

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



GC.0035

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

Centre de Thiès

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

Titre : *ELABORATION D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT  
DES CHAUSSEES SOUPLES POUR LA ZONE OUEST DU SENEGAL*

Auteurs : M. Ibrahima CISSOKHO  
M. Serigne Modou GUEYE

Directeur : M. Ibrahima K. CISSE

Co-directeur : M. Abdoulaye MBODJ

Année scolaire 2003-2004

## DEDICACES

*Après avoir rendu grâce à DIEU le tout puissant et son prophète Mouhamet (PSL)  
nous dédions ce mémoire à :*

- *nos parents pour nous avoir toujours soutenu dans nos études*
- *nos frères et sœurs*
- *nos amis*
- *nos promotionnaires*
- *tous ceux qui nous sont chers*

## REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à nos directeurs de projet à savoir M. Ibrahima Khalil CISSE, Professeur à l'Ecole Supérieure Polytechnique et M. Abdoulaye MBODJ, Directeur Technique Jean Lefebvre Sénégal, pour leur disponibilité et leurs nombreux conseils tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont également à l'endroit de :

✓ M. Ndane DIOUF, Ingénieur Chef de travaux à Jean Lefebvre Sénégal pour nous avoir permis de réaliser l'ensemble des essais géotechniques et pour sa disponibilité;

✓ M. Bocar Malick MBOW, Ingénieur à Jean Lefebvre Sénégal pour la documentation mise à notre disposition et pour sa disponibilité ;

✓ M. Ousmane MBODJI, Ingénieur, qui est l'instigateur de ce projet, pour ses conseils et son soutien tout au long de ce projet ;

✓ M. Ndiawar CAMARA, Chef du laboratoire de Jean Lefebvre Sénégal à Thiès, et toute son équipe pour nous avoir facilité les prélèvements et la réalisation des essais géotechniques ;

✓ M. Gamedy NIANG, Chef du laboratoire du CEEREQ, pour la documentation mise à notre disposition et pour sa disponibilité ;

✓ M. Karamoko TRAORE, Ingénieur chef de Projet à l'A.A.T.R, pour la documentation mise à notre disposition et pour sa disponibilité ;

✓ Le personnel du laboratoire de matériaux de l'Ecole Supérieure centre de Thiès ;

## SOMMAIRE

Ce rapport est le prolongement des études réalisées par Monsieur Ousmane MBODJ dans le cadre de son Projet de Fin d'Etudes notamment une esquisse d'un catalogue de dimensionnement des chaussées souples pour le Sénégal. Cette présente étude a pour but d'élaborer un catalogue de dimensionnement des chaussées souples pour la zone ouest du Sénégal, où se déroule une grande partie des projets routiers de notre pays. Cette zone se limite aux régions de Dakar, Thiès et Diourbel.

Dans un premier temps, il sera question de présenter le potentiel géologique, minier de cette partie du pays. Un recensement des carrières de matériaux routiers de la zone s'en suivra, afin de les cartographier. Ceci permettra d'orienter plus aisément les prospections de gîtes lors des avant-projets de routes.

Par la suite, des données géotechniques sur ces carrières répertoriées, sont collectées à travers des études déjà réalisées, dans l'optique de constituer une base de données géotechniques. Cette dernière est présentée sous forme de fiches, pour chaque carrière et chaque type de matériau, où sont consignés les résultats d'essais et les recommandations sur ses caractéristiques ; ce qui permet de voir les possibilités d'utilisation en technique routière, du matériau fiché.

En complément et en guise de confirmation, une étude du tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5 est faite en vue de son utilisation en couche de base. Dans le même temps, la lithostabilisation de latérite avec ce même calcaire. Les latérites de Sindia et de Ndakhar Mbaye, du fait de leur proximité avec le site de Bandia, ont été mélangé chacune au calcaire 0/31.5 aux proportions suivantes : 70% de latérite + 30% de tout-venant de calcaire et 60% de latérite + 40% de tout-venant de calcaire.

Ainsi, avec les matériaux aptes à être utilisés en couche de base, des structures de chaussées sont proposées, pour une durée de design de vingt (20) ans, suite à un dimensionnement rationnel. Les contraintes dans ces structures sont déterminées à l'aide du logiciel ALIZE et comparées aux limites admissibles. Le catalogue qui en découle est présenté sous forme de fiches-structures, qui chacune correspond à une classe de plateforme donnée, combinée à un trafic bien déterminé.

Enfin, les conclusions de l'étude sont tirées et des recommandations données pour une utilisation efficiente et efficace du catalogue.

## TABLE DES MATIERES

	Page
DEDICACES.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
SOMMAIRE.....	III
TABLE DES MATIERES.....	IV
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des symboles et des abréviations.....	X
Liste des annexes.....	XI
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>3</b>
<b>I - les différents types de chaussées au Sénégal</b> .....	<b>3</b>
I-1 Les chaussées souples.....	3
I-2 Les chaussées semi-rigides.....	4
I-3 Les chaussées rigides.....	4
<b>II - Constitution d'une chaussée souple revêtue</b> .....	<b>5</b>
II-1 Le sol de plate-forme.....	6
II-2 La couche de forme.....	7
II-3 Les sous-couches.....	8
II-3-1 Sous-couche anticontaminante.....	8
II-3-2 Sous-couche drainante et anticapillaire.....	8
II-4 La couche de fondation.....	8
II-5 La couche de base.....	9
II-6 La couche de surface.....	10
II-7 Les accotements.....	11
<b>III - Stabilisation des couches de chaussée</b> .....	<b>12</b>
III-1 Définition.....	12
III-2 Stabilisation mécanique.....	12
III-3 Stabilisation chimique.....	13
III-3-1 Traitement au ciment.....	13
III-3-2 Stabilisation à la chaux.....	13
III-4 Stabilisation aux liants hydrocarbonés.....	13
<b>Chapitre II : PRÉSENTATION DES MATÉRIAUX DE LA ZONE D'ÉTUDE</b> .....	<b>14</b>

<b>I - Les graveleux latéritiques</b> .....	14
I - 1 Définition .....	14
I - 2 Les latérites de la zone ouest du Sénégal .....	15
I-2-1 La latérite-ciment .....	15
I-2-2 Mélanges de matériaux avec la latérite .....	16
<b>II - Les graves concassées</b> .....	16
II - 1 Le basalte .....	16
II - 2 Le calcaire .....	16
II - 3 Le grès .....	17
II - 4 Le silexite .....	17
II- 4 - 1 Localisation des silexites .....	17
II- 4 - 2 Composition et pétrographie .....	18
II- 4 - 3 Comportement des silexites .....	18
II- 4 - 4 Forme des granulats de silexite .....	18
<b>III - La grave-bitume</b> .....	19
<b>IV - Les enrobés denses et bétons bitumineux</b> .....	20
<b>V - Les enduits superficiels</b> .....	21
V - 1 Les granulats .....	22
V - 2 Le liant .....	23
V - 3 Les dopes d'adhésivité .....	23
<b>VI - Les sables</b> .....	23
<b>Chapitre III : ETUDE EXPERIMENTALE</b> .....	24
<b>I - Etude du tout venant de calcaire de Bandia 0/31.5</b> .....	24
I - 1 Présentation des résultats des essais .....	24
I - 1 - 1 Caractéristiques mécaniques .....	24
I - 1 - 2 Analyse granulométrique .....	25
I - 1 - 3 Les limites d'Atterberg .....	26
I - 1 - 3 - 1 La limite de liquidité .....	27
I - 1 - 3 - 2 La limite de plasticité .....	27
I - 1 - 3 - 3 Indice de plasticité .....	28
I - 1 - 4 Proctor modifié .....	28
I - 1 - 5 Essai CBR .....	28
I - 2 Analyse et interprétation des résultats .....	29

<b>II - Etude de la lithostabilisation de la latérite de Ndakhar Mbaye par du</b>	
tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5 .....	30
II - 1 Présentation des résultats .....	30
II - 2 Interprétation et conclusions .....	30
<b>III - Etude de la lithostabilisation de la latérite de Sindia par du tout venant</b>	
de calcaire de Bandia 0/31.5.....	31
III - 1 Présentation des résultats .....	31
III - 2 Interprétation et conclusions .....	31
<b>IV - Lithostabilisation du silixite par la latérite .....</b>	<b>32</b>
IV- 1 Présentation des résultats .....	32
IV - 2 Interprétation et conclusions .....	33
<b>V - Essais sur des granulats de la zone .....</b>	<b>33</b>
<b>Chapitre IV : Dimensionnement .....</b>	<b>34</b>
<b>I - Les méthodes empiriques .....</b>	<b>35</b>
I-1 Méthode du CBR .....	35
I-2 Méthode du CEBTP .....	36
<b>II - Les méthodes rationnelles .....</b>	<b>36</b>
II - 1 Le modèle de Boussinesq .....	36
II - 2 Le modèle bicouche .....	37
II - 3 Modèle de Hogg .....	38
II - 4 Modèle de Westergard .....	39
II - 5 Modèle multicouche de Burmister .....	40
<b>III - Les paramètres de dimensionnement .....</b>	<b>42</b>
III - 1 Le trafic .....	42
III - 2 Les sols de plate-forme .....	44
III - 3 Etude climatologique .....	45
III - 3 - 1 Climat de la zone ouest .....	45
III - 3 - 2 Impact du climat sur les chaussées .....	45
III - 3 - 2 - 1 Impact de la précipitation .....	46
III - 3 - 2 - 2 Impact de la température .....	46
<b>IV - La démarche de dimensionnement .....</b>	<b>47</b>
IV - 1 Predimensionnement .....	47
IV - 2 Calcul de la structure .....	48

IV - 3 Vérification en fatigue de la structure et de la déformation de l'assise .....	48
IV - 4 Définition de la coupe transversale de la chaussée .....	48
<b>V - Calcul des limites admissibles .....</b>	<b>48</b>
V - 1 Sol support et matériaux non traités .....	49
V - 2 Matériaux traités aux liants hydrauliques .....	49
V - 3 Matériaux traités aux liants hydrocarbonés .....	50
<b>Chapitre V : Elaboration du catalogue .....</b>	<b>52</b>
<b>I - Composition .....</b>	<b>52</b>
I - 1 Les fiches de matériaux .....	52
I - 2 Les fiches de structures .....	52
<b>II – Hypothèses de dimensionnement .....</b>	<b>52</b>
II - 1- Pour la couche de surface .....	52
II - 2 - Pour la couche de base .....	53
II - 3 - La couche de fondation .....	54
<b>III - Recommandations sur le catalogue .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>73</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nouvelles classes de plate-forme à prendre en compte.....	7
Tableau 2 : Caractéristiques géotechniques du silixite et du basalte.....	19
Tableau 3 : Différences entre le béton bitumineux et les enrobés denses.....	21
Tableau 4 : Résultats de essais mécaniques sur le calcaire.....	25
Tableau 5 : Résultats de l'analyse granulométrique sur le calcaire.....	26
Tableau 6 : Résultats sur les mélanges 1 et 2 faites avec la latérite de Ndakhar Mbaye...	30
Tableau 7 : Résultats sur les mélanges 1 et 2 faites avec la latérite de Sindia.....	31
Tableau 8 : Résultats des essais réalisés sur les différents mélanges de silixite + latérite de Sindia.....	32
Tableau 9 : Résultats des essais mécaniques sur les granulats de la zone.....	33
Tableau 10 : Calcul des classes de trafic PL du catalogue.....	43
Tableau 11 : Trafic équivalent choisi pour le dimensionnement..	44
Tableau 12 : Classification des plates-formes selon le CEBTP.....	44
Tableau 13 : Précipitations moyennes mensuelles en 2001, en mm.....	45
Tableau 14 : Code des mélanges de matériaux étudiés.....	53

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Principe de distribution des charges à travers une chaussée souple.....	4
<b>Figure 2</b> : Principe de distribution des charges à travers une chaussée rigide.....	5
<b>Figure 3</b> : Schéma structural d'une chaussée revêtue.....	5
<b>Figure 4</b> : Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de fondation .....	9
<b>Figure 5</b> : Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de base.....	10
<b>Figure 6</b> : Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de surface .....	11
<b>Figure 7</b> : Courbe représentant la teneur en eau en fonction du nombre de chocs.....	27
<b>Figure 8</b> : Diffusion de la contrainte selon Boussinesq.....	37
<b>Figure 9</b> : Modèle bicouche.....	38
<b>Figure 10</b> : Diffusion des contraintes selon Hogg.....	39
<b>Figure 11</b> : Diffusion des contraintes selon Westergard.....	40
<b>Figure 12</b> : Modèle multicouches de Burmister.....	41
<b>Figure 13</b> : Evolution de la rigidité de la grave-bitume en fonction de la température ....	47

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

**IP** : Indice de plasticité (%)

**LL**: Limite de liquidité (%)

**LP**: Limite de plasticité (%)

**f** : Pourcentage de fines (%)

**W<sub>opt</sub>** : Teneur en eau optimale (%)

**γ<sub>dmax</sub>** : Densité sèche maximale (t/m<sup>3</sup>)

**C<sub>u</sub>** : Coefficient d'uniformité

**C<sub>c</sub>** : Coefficient de continuité

**D<sub>10</sub>** : Diamètre des particules correspondant à 10% de passant

**D<sub>30</sub>** : Diamètre des particules correspondant à 30% de passant

**D<sub>60</sub>** : Diamètre des particules correspondant à 60% de passant

**σ** : Contrainte (Bars)

**adm ou ad**: admissible

**ε** : Déformation

**E**: Module de rigidité (Bars)

**N** : nombre cumulé de véhicules de type poids lourds exprimé en essieux standard de 13 t

**LA** : Los Angeles

**MDE** : **Micro Deval à l'eau**

**A.C.V.** : Aggregate Crushing Value

**E.S.** : Equivalent de Sable

**ESU** : Enduit Superficiel

**BB**: Béton bitumineux

**ED**: Enrobé dense

**O.P.M.**: Optimum Proctor Modifié

**C.B.R.**: Californian Bearing Ratio

**C.E.B.T.P.** : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux  
Publics

**T.R.R.L.**: Transport and Road Research Laboratory

**SETRA**: Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

**LCPC**: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

## LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE A : Résultats des essais géotechniques
- ANNEXE B : Présentation des fiches matériaux
- ANNEXE C : Calcul des contraintes et déformations admissibles
- ANNEXE D : Résultats des calculs sur Alizé
- ANNEXE E : Cartographie de la zone

## INTRODUCTION

Le réseau routier du Sénégal est constitué d'environ cinq mille (5 000) kilomètres de routes bitumées, en ce début de vingt-et-unième siècle. Plus de la moitié de ce réseau est affectée de dégradations avancées et précoces et pourtant ces routes ont rarement quinze (15) ans d'âge. Il s'en suit une remise en question du dimensionnement et de la qualité des matériaux utilisés en technique routière. En effet, les méthodes les plus usitées jusqu'à présent sont les méthodes empiriques et semi- empiriques (méthodes C.B.R., STEELE, C.E.B.T.P.) qui se basent sur des caractéristiques physiques relativement simples des matériaux. Aussi, au Sénégal et même dans la sous- région, le matériau routier le plus prisé est la latérite qui est surexploitée dans certaines zones ; et dont les caractéristiques ne sont pas bien maîtrisées.

Ainsi, les méthodes utilisées ne prennent pas souvent en compte des caractéristiques mécaniques et élastiques des matériaux, comme dans le cas du dimensionnement rationnel. De ce fait, les routes n'atteignent pas souvent la durée de vie projetée. En plus il y'a un constat inquiétant à savoir une raréfaction des matériaux routiers de bonne qualité, notamment des latérites. D'où le rapport qualité-prix n'est pas très fameux pour les routes du Sénégal.

Pour remédier à cette situation, il est nécessaire de recourir à des matériaux autres que la latérite et à des techniques d'amélioration moins courantes. afin d'optimiser la construction de routes au Sénégal.

En ce qui concerne les dégradations précoces de nos routes. il serait souhaitable voire nécessaire de:

- faire une caractérisation des matériaux utilisés en technique routière, au Sénégal afin de reformuler les spécifications sur ces matériaux et de vérifier les hypothèses de dimensionnement ;
  - redéfinir les techniques de caractérisation des sols de plateforme ;
  - déterminer le trafic et les coefficients d'agressivité du trafic en fonction de la durée de vie escomptée ;
  - utiliser les méthodes de dimensionnement rationnelles.

Il faut noter que l'ensemble de ces points ont été déjà abordés dans le cadre d'un Projet de Fin d'Etudes intitulé « *Esquisse d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal* » et c'est dans le but d'une application concrète dans une partie du territoire sénégalais que le sujet que nous allons traiter et s'intitulant « *Elaboration d'un*

*catalogue de dimensionnement des chaussées souples pour la zone ouest du Sénégal* » a été choisi.

Pour le réaliser, il était nécessaire de faire une campagne géotechnique visant à répertorier l'ensemble des carrières disponibles dans la zone d'étude à savoir les régions de Dakar, Thiès et Diourbel ; afin de déterminer par des essais, les caractéristiques géotechniques de ces matériaux. Les résultats d'études antérieures fiables sur des carrières autres que celles testées, peuvent aussi servir dans la présente étude. Ensuite, les données géotechniques collectées ainsi que les recommandations données par le CEBTP sur leur utilisation, seront présentées sous forme de fiches pour chaque matériau.

A partir de là, les matériaux répondant aux spécifications seront combinés pour donner des structures de chaussée. Pour chaque structure, les contraintes réelles seront déterminées à l'aide du logiciel ALIZE, puis comparées à celles admissibles calculées suivant les méthodes de dimensionnement rationnel. Enfin, le catalogue sera présenté sous forme de fiches- structures contenant les structures pré-calculées en fonction de la classe de trafic et de plateforme.

Dans ce rapport il sera question de faire tour à tour: une étude bibliographique, une présentation des différents matériaux utilisables de la zone d'étude, une étude expérimental sur ces matériaux, un exposé des méthodes de dimensionnement ainsi que la démarche adoptée et une présentation du catalogue.

Pour terminer, nous tirons les conclusions de cette étude avant de procéder aux recommandations d'une bonne utilisation du catalogue afin d'obtenir des routes durables.

## **Chapitre I**

### **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

Des pistes carrossables apparues depuis 3500 ans avant J.C., on a évolué vers les chaussées les plus complexes qui soient aujourd'hui.

Une chaussée est une structure plane et imperméable, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement d'un trafic dans de bonnes conditions de sécurité, de confort et de visibilité pour les usagers. Elle doit assurer ces fonctions pour une période de service minimale qui est généralement de 15 ou 30 ans suivant qu'il s'agisse d'une chaussée souple ou rigide ; cette période est fixée au stade de l'élaboration du projet. Le rôle du corps de chaussée est de ramener les contraintes exercées par les pneumatiques à un niveau compatible à la contrainte du sol support.

Sa réalisation fait appel à des critères économiques, techniques et écologiques. Les aspects techniques portent sur le choix de la structure et des matériaux (liants, granulats ...) des différentes couches constituant la chaussée. Les aspects économiques reposent sur le coût d'investissement mais aussi sur le coût d'usage et d'entretien pendant la période de service donnée. Les aspects écologiques sont relatifs à son impact sur l'environnement.

#### **I – Les différents types de chaussées au Sénégal**

Selon le mode de fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement : les chaussées souples, semi-rigides et rigides.

##### **I-1 – Les chaussées souples ou flexibles**

Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface et d'une assise en matériaux granulaires. Elles présentent l'aptitude de se déformer sans se fissurer. Une chaussée souple distribue les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se faisant de façon à ce que l'effort sur la plate-forme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol. Le principe de distribution des contraintes dans les chaussées souples est représenté dans la figure 1 ci-dessous.

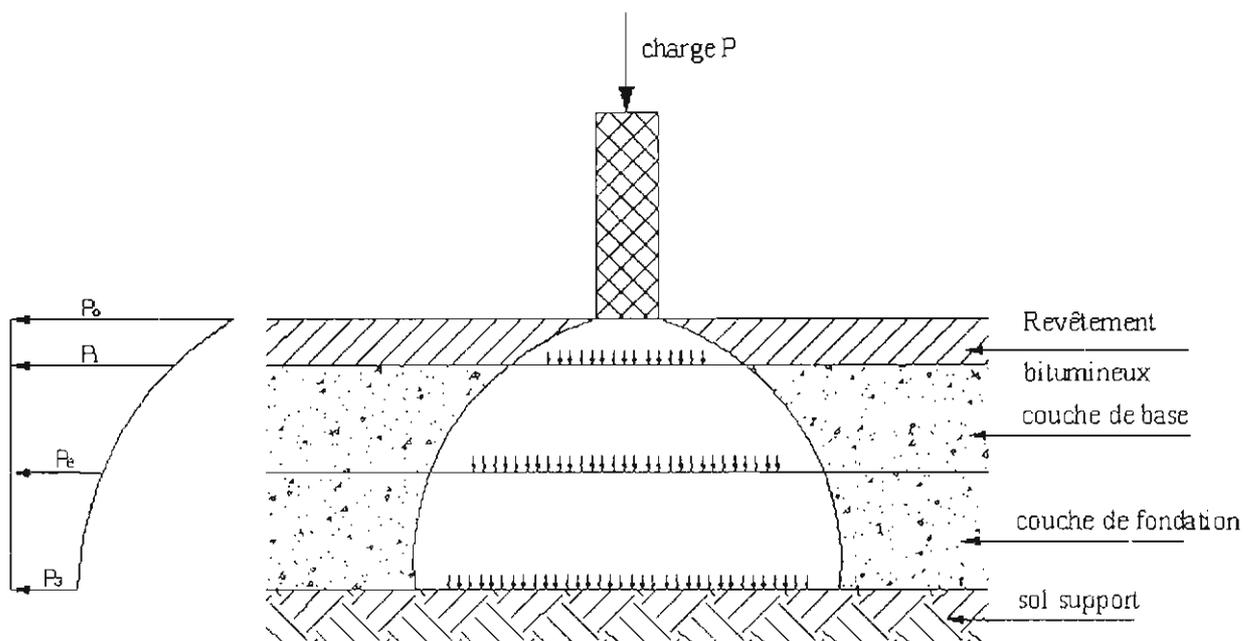


Figure 1 : Principe de distribution des charges à travers une chaussée souple

### I-2 les chaussées semi-rigides

Une chaussée semi-rigide est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux, la couche de base étant améliorée au ciment et la couche de fondation granulaire. Le dimensionnement des structures semi-rigides porte sur la rupture par fatigue à la base de la couche liée et l'orniérage du sol support. Il faut donc s'assurer que la contrainte de traction à la base de la couche traitée est inférieure à la contrainte de traction admissible du matériau et que la déformation verticale à la surface des couches non liées et du sol support est inférieure à une valeur limite admissible.

### I-3 Les chaussées rigides

Une chaussée rigide est comme une dalle de béton. Elle est peu déformable et absorbe la charge afin d'éviter une déformation sur la fondation ou l'infrastructure susceptible de causer la rupture. De telles structures mobilisent des efforts notables de traction par flexion très importants par rapport à ceux subis par les structures semi-rigides et se déforment essentiellement par fissuration. Par contre les contraintes et déformations verticales sont très faibles.

Le principe de dimensionnement des chaussées rigides consiste à limiter les efforts de traction par flexion du b​​ton sous l'effet des charges. Le principe de distribution des contraintes dans les chaussées rigides est montr​​ dans la figure 2 ci-dessous.

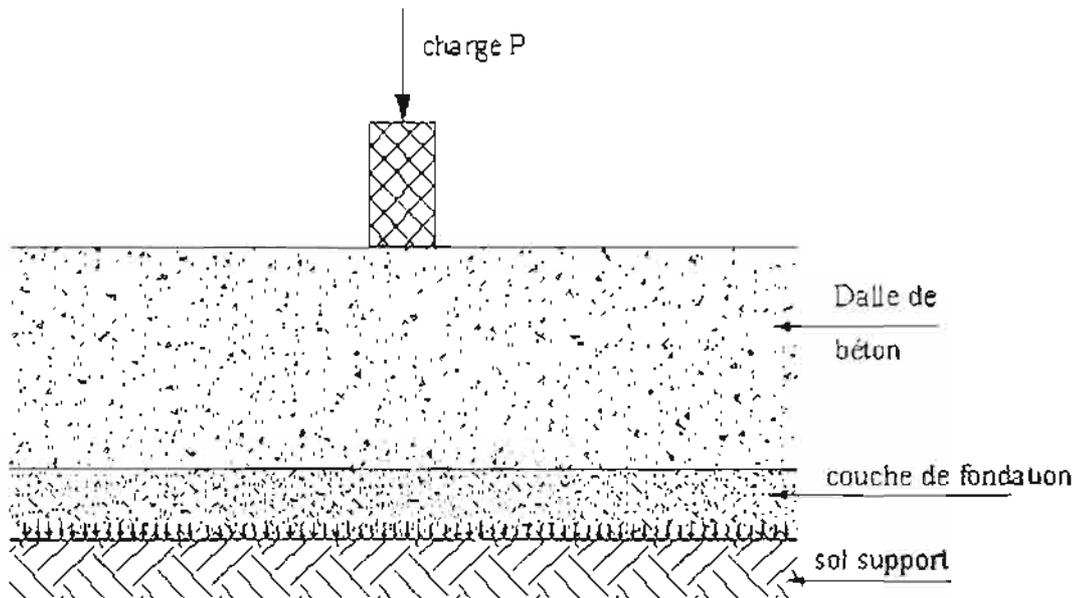


Figure 2 : Principe de distribution des charges à travers une chaussée rigide

## II – Constitution d'une chaussée souple revêtue

Ces chaussées se pr​​sentent comme des structures multicouches mises en œuv​​ sur le sol-support. Parmi ces couches, on a g​​n​​ralement la couche de roulement ou de surface et la couche d'assise constituée des couches de base et de fondation. Les diff​​rentes parties d'une chaussée sont repr​​sent​​es sur la figure 3 ci-dessous

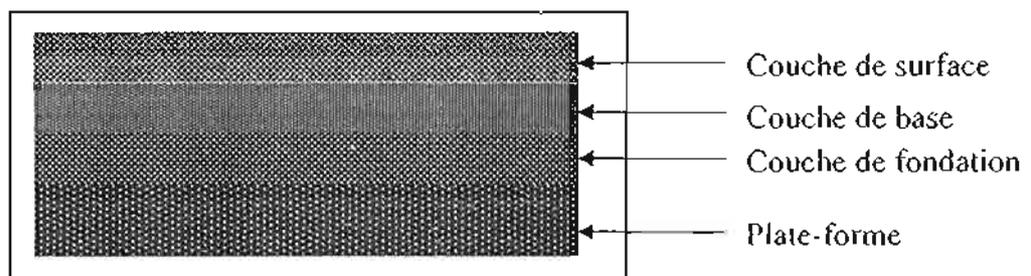


Figure 3 : Schéma structural d'une chaussée revêtue

## II-1 Le sol de plate-forme

Le sol support ou plate forme correspond au terrain occupant les parties supérieures des terrassements. Elle 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. Il est indispensable de disposer d'une bonne assise pour que le corps de chaussée soit mis en place dans des conditions satisfaisantes et pour qu'il conserve, dans le temps, une indéformabilité suffisante. En effet une bonne portance permet d'éviter les déformations sous chargement lourd ou répété entraînant une dégradation prématurée de la chaussée.

Les sols à éliminer ou à traiter ont, outre un CBR très faible, les caractéristiques géotechniques suivantes :

Indice de plasticité :  $IP > 40$

Limite de liquidité :  $LL > 70$

Gonflement linéaire dans le moule CBR  $> 2 \%$

Teneur en matières organiques  $> 3 \%$

Selon le cas, on peut avoir recours à :

- la pose de couche de forme ;
- des purges puis des remblais ;
- une substitution de matériaux ;
- un traitement du sol à la chaux qui permettra d'abaisser l'indice de plasticité (IP) et la teneur en eau ;
- la pose d'un matériau anti-contaminant de type géotextile.

Dans les pays tropicaux et plus particulièrement au Sénégal on distingue cinq (5) classes de portance de sols de plate-forme définis par le C.E.B.T.P :

S1 :			CBR	<	5
S2 :	5	<	CBR	<	10
S3 :	10	<	CBR	<	15
S4 :	15	<	CBR	<	30
S5 :			CBR	>	30

Dans la pratique, les sols de portance de type S1 sont à proscrire. Il est préconisé un des traitements spéciaux cités ci-dessus (amélioration, purge, substitution sur environ 50 cm aux sols de déblais par des matériaux de meilleure qualité, remblais d'apport, et / ou drainage) selon le type de sol rencontré (argiles gonflantes, sable de faible portance ...).

Ainsi le CBR à prendre en compte pour le dimensionnement dépendra de l'épaisseur et de la qualité du matériau de substitution.

## II-2 La couche de forme

Elle est réalisée dans le but de faire reposer la chaussée sur une plate-forme homogène de bonne qualité et en tout état de cause le matériau la constituant doit avoir un CBR entre 5 et 10. Elle est indispensable sur les plates-formes pour lesquelles il est impossible d'atteindre 95% de compacité après compactage.

Ainsi cette couche assurera une transition entre le sol en place ou rapporté et la chaussée et résistera aussi aux sollicitations des engins de terrassement, elle doit rester insensible aux variations hydriques et participer au drainage de la chaussée. De ce fait, la nouvelle classe de plate-forme améliorée en prendre en compte pour le dimensionnement de la chaussée sera déterminée d'après la qualité et l'épaisseur du matériau de substitution placé en couche de forme. Ainsi on aura des nouvelles classes consignées dans le tableau ci-après :

Matériau d'apport		Nouvelle classe de plate-forme à prendre en compte
CBR	Epaisseur minimale cm	
5-10 (S <sub>2</sub> )	45	S <sub>2</sub>
10-15 (S <sub>3</sub> )	35	S <sub>2</sub>
10-15 (S <sub>3</sub> )	45	S <sub>3</sub>
15-30 (S <sub>4</sub> )	30	S <sub>2</sub>
15-30 (S <sub>4</sub> )	35	S <sub>3</sub>
15-30 (S <sub>4</sub> )	50	S <sub>4</sub>

Tableau 1 : Nouvelles classes de plate-forme à prendre en compte

De nombreux sols peuvent être utilisés, on évitera cependant :

- ceux dont la granulométrie maximale est supérieure à 150 mm ;

- ceux dont le pourcentage de fines est supérieur à 35 ou 45% et l'IP supérieur à 20 ou 30.

Pourront être traités des sols fins dont l'IP est inférieur à 25 et des sols grenus, pourvu que ceux-ci ne contiennent pas d'éléments supérieurs à 80 ou 100mm.

### **II-3 Les sous-couches**

Elles ne sont pas toujours nécessaires sur une chaussée sauf si on veut empêcher certaines agressions du milieu sur la chaussée. Elles peuvent être anticontaminante ou drainante selon le rôle joué.

#### **II-3-1 Sous-couche anticontaminante**

Lorsqu'un matériau granulaire repose sur un sol argileux sous l'effet des circulations et de l'eau, le matériau granulaire ne remplit plus son rôle, puis qu'il perd sa capacité de support et sa perméabilité. Pour empêcher cette co-pénétration des matériaux, on place entre les deux couches, une couche appelée anticontaminante d'environ 7.5 cm d'épaisseur dont la granulométrie doit répondre à certaines critères :

$$D_{15} < 5 d_{85} \quad \text{et} \quad D_{50} < 25 d_{50}$$

D : dimension du tamis calibrant en masse le matériau de la sous-couche

d : dimension du tamis calibrant en masse le matériau de la couche sous-jacente (plate-forme argileuse)

#### **II-3-2 Sous-couche drainante et anticapillaire**

Lorsque l'eau est susceptible de s'accumuler sous une chaussée, une couche drainante posée à même le sol d'une épaisseur 10 à 22 cm permet de capter l'eau et de la canaliser vers les fossés. Le principal critère granulométrique est :

$$D_{15} > 5 d_{15}$$

D : dimension du tamis calibrant en masse le matériau de la sous-couche

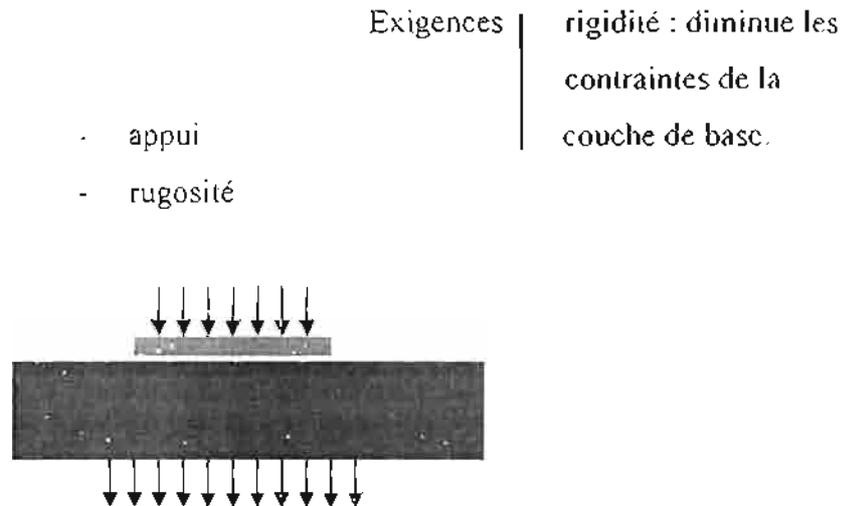
d : dimension du tamis calibrant en masse le matériau de la couche sous-jacente (plate-forme ou couche de forme éventuellement)

### **II-4 La couche de fondation**

Couche sus-jacente à la plate forme, la couche de fondation assure une diffusion des contraintes afin de les amener à un taux compatible avec la portance du sol de plate-forme. Si la couche de fondation n'est pas trop rigide (effet de dalle) elle ne subit que des

contraintes verticales de compression. Les matériaux qui la composent devront avoir un CBR supérieur ou égal à 30 obtenu pour une densité sèche correspondant à 95% de l'OPM (25 pourra être admis pour un trafic qui n'excède pas les 300 véhicules/jour).

La dimension maximale des éléments n'excédera pas 60 mm. Il est recommandé d'utiliser des matériaux de moindre granulométrie pour éviter la ségrégation. Elle doit permettre de diminuer les contraintes arrivant au niveau de la couche de base. La figure 4 montre les différentes exigences auxquelles doit répondre une couche de fondation.



Atténuation et répartition de la pression sur le sol

Figure 4 : Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de fondation

## II-5 La couche de base

Elle constitue avec la couche de fondation, l'assise. Elle est soumise à des contraintes verticales, à l'effet de poinçonnement dû à la pression des pneumatiques et des contraintes de cisaillement à la base d'autant plus important que la couche de surface est mince. Elle doit être constituée de matériaux suffisamment durs et avoir une bonne résistance à la fragmentation pour résister à l'attrition sous trafic qui est d'autant plus importante que la couche n'est pas rigidifiée. La résistance au cisaillement est alors entièrement reprise par le frottement des grains entre eux.

L'indice portant CBR sera au moins égal à 80 pour une densité sèche correspondant à 95% de l'O.P.M. Si le matériau n'atteint pas cette portance, il devra être amélioré ou stabilisé. Pour être amélioré il faut au moins que le matériau naturel présente un CBR de 60 afin de satisfaire aux spécifications requises en matière de résistance et de portance. Un pourcentage élevé de ciment ou de chaux peut rendre la chaussée rigide causant ainsi un

effet de dalle et des contraintes de traction se développent à sa base. Par ailleurs, la compatibilité chimique du liant avec le matériau à traiter doit faire l'objet d'une étude sérieuse.

Tous ces éléments font que les caractéristiques physiques et mécaniques exigées pour un matériau utilisé en couche de base sont sévères, comparées à celles d'une couche de fondation. La figure 5 montre les différentes exigences auxquelles doit répondre une couche de base.

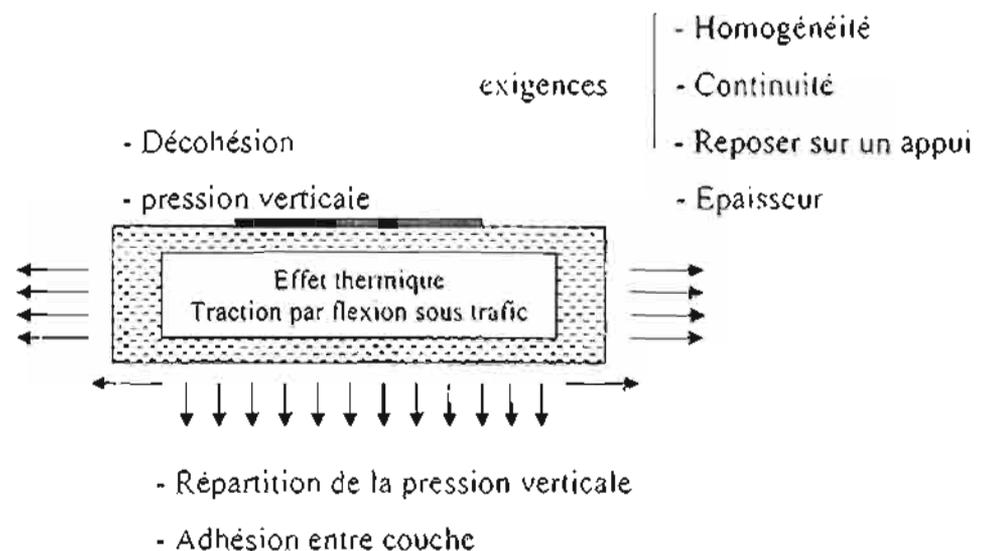


Figure 5 : Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de base

## II-6 La couche de surface

La couche de surface ou de revêtement permet d'adoucir la surface de roulement, d'assurer la distribution des charges transmises dans la chaussée et dans le sol et de protéger l'assise contre l'action des intempéries.

Un bon revêtement doit donc pouvoir jouer les rôles suivants :

- résister, sans déformation ni usure trop rapide, aux sollicitations et efforts tangentiels exercés par les charges roulantes ;
- présenter un uni de surface durable, de façon à assurer, durant toute sa 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.

La couche de roulement peut être accompagnée d'une couche de liaison qui permet, dans certains cas, d'éloigner le sommet de la couche de base de la surface de la chaussée lorsqu'elle est mince, ou encore dans le cas de forts trafics.

Les principales caractéristiques d'une couche de roulement sont indiquées à la figure 6 ci-dessous.

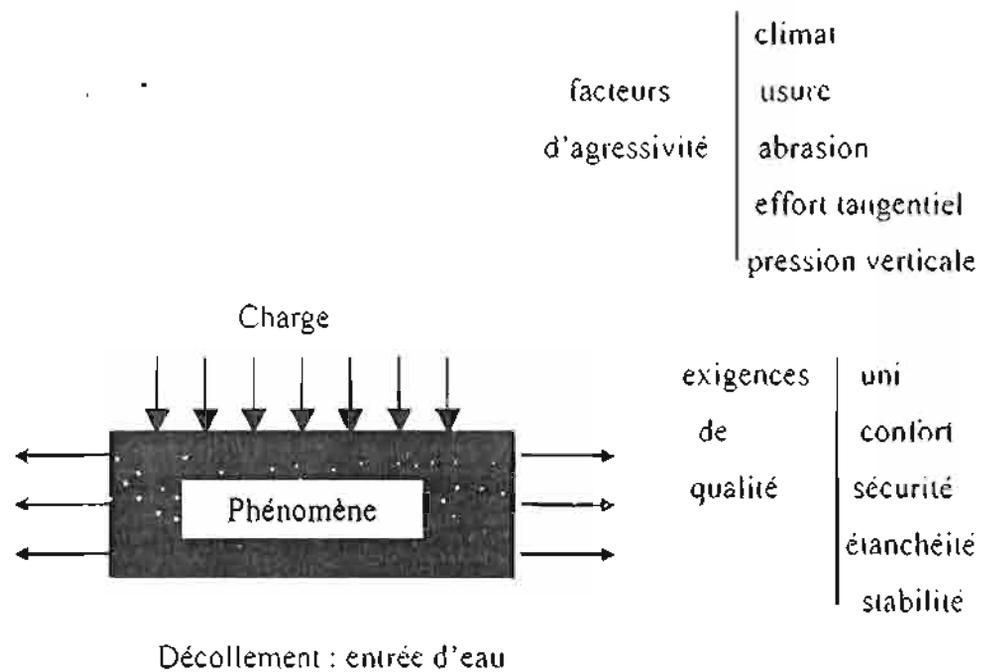


Figure 6 : Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de surface

## II-7 Les accotements

L'accotement est la partie de la chaussée qui sépare la voie carrossable du fossé. L'accotement a un rôle important de butée et de drainage de la chaussée. Stabilisé ou recouvert d'un revêtement il ne doit pas être carrossable, mais seulement offrir une aire de stationnement d'urgence. Pour ces raisons, sa surface ne doit pas avoir le même fini que la surface de roulement.

### **III- Stabilisation des couches de chaussée**

#### **III-1 Définition**

Stabiliser un sol consiste à améliorer ses caractéristiques géotechniques afin de le rendre utilisable en infrastructure ou en superstructure soit par adjonction d'une fraction granulaire d'un autre matériau : c'est une stabilisation mécanique ; soit par adjonction de liants hydrauliques ou hydrocarbonés et même de produits chimiques.

Les objectifs recherchés par une stabilisation sont :

- l'amélioration de l'aptitude au compactage ;
- la diminution de la sensibilité à l'eau et au gel ;
- l'augmentation de la résistance mécanique et de la portance.

Pour pouvoir procéder au traitement d'un sol, il faut au préalable connaître un certain nombre de paramètres indispensables. Pour cela il faut procéder à :

- l'identification des sols : granularité, argilosité, état hydrique, constituants chimiques indésirables, etc :

- l'identification de la chaux : teneur en chaux libre, réactivité à l'eau ;

- la détermination de la proportion et la nature des constituants des liants hydrauliques routiers .

Les mécanismes régissant les interactions entre les sols et les liants hydrauliques diffèrent sensiblement suivant la nature des matériaux en présence. La connaissance de ces principes permet de réaliser une bonne adéquation entre sols et produits de traitement pour un chantier donné. L'action des liants hydrauliques est principalement due à la prise hydraulique qui produit la cimentation des éléments granulaires présents dans le sol. L'action de la chaux et des liants hydrauliques routiers riches en chaux comporte plusieurs aspects. Il se produit sur les sols argileux une réduction instantanée de l'argilosité avec floculation ainsi qu'une modification de son état hydrique.

#### **III-2 Stabilisation mécanique**

C'est l'amélioration du squelette granulaire d'un sol par adjonction d'un matériau plus grossier afin d'augmenter les possibilités de compactage.

La lithostabilisation est une forme de stabilisation mécanique, d'une latérite de qualité médiocre par adjonction de concassés . le pourcentage de concassés est souvent supérieur à 10 %.

Dans la zone d'étude , on pourrait utiliser des concassés de calcaire, de grès, de silicite, de basalte. Au Sénégal, ce procédé est rarement utilisé en technique routière à

cause de son coût de réalisation élevé. Il serait intéressant de voir les cas où il serait plus avantageux, en terme de qualité et surtout de coût, de faire une stabilisation mécanique qu'une amélioration au ciment.

### **III-3 Stabilisation chimique**

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 les chlorures de calcium, le laitier, la chaux, ...

#### **III - 3 - 1 Traitement 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 donc la résistance de la couche. En plus, la prise du ciment entraîne une floculation des particules, surtout les plus petites ; ceci diminue l'argilosité du matériau et donc sa sensibilité à l'eau.

Dans la pratique on parle d'amélioration de la latérite si le pourcentage de ciment ajouté n'excède pas 3 % du poids de latérite et stabilisation si l'ajout de ciment est entre 4 et 6 %. On peut aussi réaliser un béton latéritique maigre en ajoutant à la latérite 10 à 12 % de ciment.

#### **III - 3 – 2 Stabilisation à la chaux**

Ce procédé est le plus souvent utilisé pour diminuer la teneur en eau de sol support marécageux ou saturé afin d'optimiser le compactage et donc augmenter la résistance du sol support. On utilise de préférence de la chaux vive.

#### **III - 4 Stabilisation 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.

## Chapitre II

### PRESENTATION DES MATERIAUX DE LA ZONE D' ETUDE

Les travaux routiers nécessitent de grandes quantités de matériaux. De par leur rôle, les matériaux qui constituent la superstructure doivent être de bonne qualité. Ainsi vu que les charges appliquées au niveau de la chaussée diminuent avec la profondeur il va de soi que la qualité des matériaux va croître des couches inférieures aux couches supérieures.

Dans la zone d'étude les matériaux utilisables sont d'origine rocheuse et peuvent être éruptives ou ignées (basalte plus généralement), sédimentaires (latérites, grès, calcaire, ...).

Ces matériaux sont soit sous forme de massif rocheux et dans ce cas ils sont exploités en carrière soit sous forme de graveleux naturels et sont exploités en gravière pour les terrasses alluviales et les gisements latéritiques ou par dragage pour les dépôts lacustres et fluviaux.

Les matériaux et mélanges les plus utilisés en technique routière au Sénégal sont :

- les graveleux latéritiques crus, améliorés au ciment ou mélangés avec d'autres matériaux ;
- les graves concassés 0/D de calcaire, de basalte, de silexite, de grès ;
- la grave bitume ;
- les enrobés denses et bétons bitumineux.
- les enduits superficiels ;
- le sable pour éventuellement la sous-couche.

#### I- Les graveleux latéritiques

##### I-1 Définition

Du point de vue de l'ingénieur routier, on appelle graveleux latéritiques des sols meubles, formés en milieu tropical, composés d'une fraction granulaire constituée de pisolites ou de nodules ferrugineux enveloppées dans une matrice fine limono-argileuse.

Du point de vue des pédologues, la latérite est le résultat d'un ensemble de processus en zone tropical, qui aboutissent à une altération poussée d'une roche mère silico-alumineuse et à une individualisation des éléments tels que la silice, les oxydes, hydroxydes et hydrates métallique en particulier de fer et d'aluminium, de manganèse et de titane ; ces derniers se maintiennent ou s'accumulent dans une horizon de surface ou de faible profondeur, la silice étant au moins en partie entraînée à la base, hors du profil.

Du point de vue des chimistes, le degré de latérisation est exprimé par un rapport R qui :

- si  $R < 1.33$  alors on a de la vraie latérite ;
- si  $1.33 < R < 2$  alors on a une roche latéritique ;
- si  $R > 2$  alors la roche n'est pas latéritique

Le rapport R est défini comme suit :

$$R = \frac{SiO_2 / 60}{Al_2O_3 / 102 + Fe_2O_3 / 160}$$

On rencontre deux types de latérites :

- les latérites ferrugineuses qui caractérisent la zone tropicale à pluviométrie relativement faible et à saison sèche marquée ; c'est-à-dire la zone sahélienne et la savane claire ; le cuirassement et les horizons concrétionnés riches en oxydes de fer y sont fréquents.
- les latérites ferralitiques qui caractérisent les climats chauds et humides et à forêt dense ;

## **1-2 Les latérites de la zone ouest du Sénégal**

Les latérites de cette zone sont ferrugineuses comme pour les autres parties du pays. Les gîtes sont essentiellement concentrés dans la région de Thiès qui est pour une bonne partie sur le plateau latéritique de Ndiass. Ainsi on recense de nombreuses carrières sur la route menant à Mbour en Partant de Thiès ou Diam-Niadio ; on peut citer en exemple les carrières de Sindia, Sangué, etc. Au niveau du département de Thiès on peut citer les carrières de Pout (sur la route de Dakar), Ndakhar Mbaye, Pout Diack, Mont Rolland et d'autres qui sont sur la route de Bambey vers Khombole.

### **1-2-1 La latérite-ciment**

La latérite-ciment est de la latérite à laquelle on mélange une petite quantité de ciment (le plus souvent 2 à 3 %). La principale différence avec la latérite crue est que l'ajout de ciment augmente considérablement la rigidité et diminue la sensibilité à l'eau. Le principal inconvénient est que la latérite-ciment, sous l'effet des contraintes hydrothermiques se fissure souvent ce qui pourrait conduire à une dégradation précoce. Dans la zone d'étude, de nombreuses latérites peuvent être améliorées en vue d'une utilisation en couche de base.

## **I-2-2 Mélanges de matériaux avec la latérite**

Les latérites de la zone ouest offrent de nombreuses possibilités de mélange. La lithostabilisation pourrait se faire avec des concassés de basalte, calcaire, silixites et de grès. Tous ces mélanges peuvent donner des résultats satisfaisants.

### **II - Les graves concassées**

#### **II - 1 Le basalte**

C'est une roche volcanique basique (pauvre en silice), de couleur sombre, constituée essentiellement de plagioclase, de pyroxène et d'olivine et provenant de la fusion partielle du manteau supérieur.

Il existe en quantité considérable dans la région de Thiès et particulièrement à Diack. C'est un matériau ayant une bonne résistance mécanique d'où son utilisation fréquente pour ne pas dire systématique en couche de revêtement des chaussées au Sénégal.

#### **II - 2 Le calcaire**

Les calcaires utilisables comme matériaux pierreux en technique routière se rencontrent à l'ouest de Bandia, à l'Est de Mbour à l'entrée de Papeguine, à Rufisque et Mbao où on a des calcaires grossiers, au Nord de Balabougou, entre Thiadiaye et Diaganiao, à Ngazobile, Ndianda-nguéniéne où on a des calcaires durs et assez massifs, à Bargny près de Siennidou où on a un calcaire riche en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

Dans le cadre de ce projet on s'est essentiellement intéressé au calcaire de Bandia. Auparavant des études faites dans cette zone ont montré que ces calcaires se présentent à l'affleurement sous la forme de gros blocs et de rognons. Très durs, riches en débris coquilliers, ces calcaires sont actuellement exploités pour la production de granulats à béton de ciment et pour la fabrication de chaux. Il existe des fronts de taille naturels le plus souvent à la faveur des ravins.

L'étude stratigraphique du gîte révèle l'existence de deux horizons distincts :

✓ l'horizon supérieur, représenté par des calcaires francs coquilliers et cristallins qui présentent toute une gamme de faciès intermédiaires allant jusqu'à des calcaires crayeux à grain fin faiblement fossilifères.

✓ l'horizon inférieur, caractérisé par l'apparition de niveaux siliceux riches en éléments détritiques.

L'examen des différents profils géotechniques permet de constater qu'au niveau de l'horizon supérieur, la teneur en CaCo<sub>3</sub> varie très peu, autour d'une moyenne supérieure à 98.6% tandis que la teneur en SiO<sub>2</sub> reste faible autour de 0.72%. A l'inverse, l'horizon inférieur se caractérise par des faibles teneurs en CaCo<sub>3</sub> (64.26% à 85.14%) et des teneurs élevés en SiO<sub>2</sub> pouvant atteindre 34.92%.

### **II - 3 Le grès**

C'est une roche sédimentaire détritique formée essentiellement de grains de quartz réunis par un ciment siliceux ou calcaire. Les grès du Maestrichien sont subaffleurants sur l'ensemble du massif de Ndiass où ils sont recouverts par des formations latéritiques dont la puissance peut dépasser 10 m. Les formations gréseuses indurées sont reconnues au voisinage de Paki où toutes les exploitations de grès sont concentrées sur une bande de 10 m de long.

Le gisement de Paki-Toglou, qui regroupe la quasi-totalité des exploitations de grès se situe à 50 km de Dakar, à l'ouest de Paki village sur la route de Diamniadio-Mbour. Le matériau est un grès rosâtre à ciment siliceux et à grains fins.

### **II - 4 Le silexite**

#### **II- 4 - 1 Localisation des silexites**

Au Sénégal, le principal gisement de silexite est celui des phosphates de Taïba, qui appartient au bassin sénégalo-mauritanien. Ce gisement est limité au nord par les dunes semi - fixées appelées sables des Niayes et au sud par le plateau de Thiès (source: Medan, 1994).

Le gisement est formé de trois sous - ensembles :

- Keur Mor Fall estimé à 28 800 000 tonnes
- Ndomor Diop estimé à 16 800 000 tonnes
- Tobène estimé à 9 780 000 tonnes

Les trois sous - ensembles cités ci - dessus couvrent environ une superficie de 65 km<sup>2</sup>.

(source: Direction d'Exploitation de la Compagnie Sénégalaise des Phosphates de Taïba).

L'exploitation de ces terrils revient exclusivement à l'Entreprise Mapathé NDIIOUCK.

## **II - 4 - 2 Composition et pétrographie**

Les silexites appartiennent à la famille de roches hyper-siliceuses. Ces roches autochtones (à composant intra bassin) résultent essentiellement d'une silicification secondaire.

Un échantillon d'un tout-venant de silexite effectué sur le terroir de Taïba montre que la roche a la composition moyenne en poids suivante : 91 % de silex, 6 % d'induré phosphaté dont 90 à 95 % de calcédoine et le reste de l'opale et 3 % de fines à éléments phosphatés et argileux.

Le silex se compose de 30 à 40 % d'opale et de 60 à 70 % de calcédoine. La prédominance de la calcédoine sur l'opale s'explique par une plus grande stabilité chimique.

Le silexite se présente généralement sous forme de blocs à cœur sombre et à cortex blanc. C'est le cœur qui est le plus souvent présent ; le cortex ayant été plus ou moins réduit lors de la fragmentation dynamique.

## **II - 4 - 3 Comportement des silexites**

Les silexites sont essentiellement constitués de silice amorphe qui pourrait réagir avec les ions alcalins du ciment pour donner lieu à une réaction de type alcali-silice qui est sournoise et qui se manifeste dans le long terme par des pores multidimensionnels dans le béton.

Aussi à cause de sa nature siliceuse, l'adhésivité avec le bitume n'est pas effective d'où des difficultés probables de collage entre la couche de base et le revêtement. Pour surmonter ce problème, on pourrait utiliser des dopes. Donc le silexite est un matériau très dur mais non cohésif, dont il faudrait ajouter un matériau de plasticité élevée à savoir la latérite, pour avoir un mélange présentant un bon CBR et une plasticité acceptable.

## **II - 4 - 4 Forme des granulats de silexite**

Le produit de concassage des blocs de silexite est composé à plus de 50 % d'éléments plats ; ce qui donne un coefficient de forme non convenable en construction routière. D'autre part, la granulométrie obtenue n'est pas bien étalée et graduée, en somme non conforme aux courbes-enveloppes des spécifications. Le tableau ci-après donne certaines caractéristiques du silexite et du basalte :

Caractéristiques	Silexite	Basalte
Los Angeles	9	14
Deval	21.4	16
Poids spécifique	2.63	2.91
Densité apparente	1.56	1.67
Teneur en impuretés (%)	3	0.62
Coefficient volumétrique	0.18	0.21
Coefficient de forme	14 %	7 %

Tableau 2 : Caractéristiques géotechniques du silexite et du basalte

### III - La grave-bitume

La grave-bitume est un béton bitumineux dense structurant pour couche de base supportant tous types de trafic y compris les trafics exceptionnels sur autoroute. En travaux neufs, la grave-bitume constitue la couche déterminante pour un dimensionnement de chaussée flexible. L'approche de formulation de la grave-bitume (faible teneur en liant) en fait un matériau particulièrement économique. Compte tenu de son épaisseur (100 à 150mm), la grave-bitume permet le renforcement et le reprofilage de chaussées souples ayant des carences structurelles, car elle permet de prolonger la durée de vie des chaussées fatiguées tout en posant une surface réduite d'enrobé de liaison ou de surface.

L'emploi de la grave-bitume autorise des réductions d'épaisseur et génère donc des économies notables de granulats, de liant, de transport et de travaux connexes.

La grave-bitume convient à tous types de trafic routier et est particulièrement adaptée aux chaussées présentant des risques de déformation permanente et d'orniérage aussi bien en zone urbaine qu'en rase campagne. Dans la zone d'étude on utilise le plus souvent des granulats de basalte pour réaliser la grave-bitume.

#### **IV - Les enrobés denses et bétons bitumineux**

Les enrobés denses sont des matériaux à faible pourcentage de vides, largement utilisés jusqu'ici en pays tropicaux en revêtement de chaussée supportant des trafics  $T_1$  (jusqu'à 300 véhicules/jour) à  $T_3$  (1000 à 3000 véhicules/jour). Les granulats devront avoir un Los Angeles inférieur à 40 pour les trafics  $T_1$  et  $T_2$  (300 à 1000 véhicules/jour) et à 35 pour les trafics  $T_3$  et  $T_4$  (3000 à 6000 véhicules/jour).

Quant aux bétons bitumineux ils sont des enrobés bitumineux hautement élaborés que l'on utilisera surtout pour le revêtement des chaussées supportant les trafics  $T_4$  et  $T_5$  (plus de 6000 véhicules/jour). Ils ne seront mis en œuvre que si l'on est assuré de disposer d'un excellent support : couche de base en matériau traité peu déformable, chaussée réalisée dans l'optique d'un aménagement progressif et ayant acquis une certaine maturité sous le trafic. Les granulats doivent être de bonne qualité et la composition du mélange bien étudiée. Les bétons bitumineux contiennent habituellement 5 à 8 % de bitume, les granulats entrant dans leur composition sont des gravillons concassés de taille maximale 8 à 14 mm et des sables dont l'équivalent de sable (ES) devra être supérieur à 40 dans le cas des sables concassés et supérieur à 70 pour les sables roulés. Le Los Angeles sera inférieur à 35 pour les trafics  $T_3$  et  $T_4$  et à 30 pour le trafic  $T_5$ .

Donc, aussi bien les enrobés denses que les bétons bitumineux sont des mélanges de granulats et d'une quantité de bitume posés en couche de liaison ou de roulement. Ils assurent les mêmes rôles que les enduits superficiels (ESU) pour des trafics plus élevés et avec un meilleur comportement. Ils seront tous préparés en centrale, mis en place au finisseur et compactés au moyen d'ateliers comportant des compacteurs à pneus et des tandems lisses. Suivant le pourcentage des vides, du filler d'ajout et la granulométrie on distingue, en technique routière au Sénégal, les bétons bitumineux et les enrobés denses. Il existe cependant certaines différences entre les deux comme mentionnés dans le tableau ci après.

Type de mélange	Granulats	Liant
Béton bitumineux	Concassés (sable peut être rond) Roche dure, non polissable Forme cubique, propre Fuseau étroit % filler élevé % vides de 4 à 6	Bitume ou bitume-goudron en pourcentage dépendant du pourcentage de filler
Enrobés denses	Concassés, ronds ou mélange des deux Fuseau large % filler faible (5 %) % vides de 8 à 12	Bitume % de 4 à 5

Tableau 3 : Différences entre le béton bitumineux et les enrobés denses

#### V - Les enduits superficiels (ESU)

Les enduits superficiels constitués par des couches de bitume et de gravillons répandues successivement avec une dope éventuellement étant la plus ancienne méthode utilisée en revêtement des couches de surface, ont été longtemps réservés aux chaussées supportant des trafics faibles à moyens. Ainsi, les bétons bitumineux constituaient les tapis des routes fortement circulées. Les conditions de réussite des enduits superficiels étant maintenant mieux maîtrisées on hésite moins à les utiliser beaucoup plus largement. En effet, présentant des avantages certains à condition de les rendre suffisamment fiables à l'exécution et de leur assurer un niveau de qualité satisfaisant, ils méritent d'être conservés ou qu'on leur redonne une place « à part entière » dans l'éventail des techniques routières. Parmi ces avantages citons :

- ✓ l'amélioration de la rugosité et la diminution sensible des projections d'eau à grande vitesse ; qualités de premier plan compte tenu de la proportion et de la gravité des accidents intervenant sur chaussées mouillées ;

- ✓ l'amélioration de l'étanchéité de surface qui procure une protection accrue du corps de chaussée et permet également d'envisager une diminution des exigences sur la qualité des granulats destinés à la réalisation des couches de base, exigences qui pèsent lourdement sur le coût des travaux. Cette possibilité qui se fait jour actuellement nécessite un enduit de grande qualité.

A toutes ces qualités techniques viennent s'ajouter celles que constituent la rapidité d'exécution et un coût relativement modeste, comparé à celui des bétons bitumineux. De plus, c'est la solution qui s'impose dans le cadre d'aménagement progressif des chaussées, quand on souhaite reporter à quelques années la mise en place d'un tapis de béton bitumineux. On a aussi recours à cette solution lorsque l'on doit attendre la stabilisation d'un corps de chaussée sous le trafic.

Les principaux constituants d'un enduit superficiel sont :

- les granulats ;
- le liant hydrocarboné ;
- éventuellement la dope

### **V - 1 Les granulats**

Compte tenu de leur position à la surface de la chaussée, au contact direct des pneumatiques et des intempéries, toutes les qualités mécaniques du granulat entrent en ligne de compte et sont de deux ordres :

✓ celles qui résultent de la nature de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs) ;

✓ celles qui tiennent de la fabrication des granulats (propreté, forme, granularité homogénéité, angularité)

- la dureté est définie par les essais Los Angeles et Micro-Deval humide ;

- la résistance au polissage est définie par un essai normalisé ;

- la propreté est définie par l'essai d'équivalent de sable. Si les conditions de propreté ne sont pas satisfaisantes, il faudra procéder soit à un dépoussiérage à sec, soit à un lavage à l'eau ;

- La forme des granulats est définie par la grosseur (G) et l'épaisseur (E) ; La forme est considérée comme satisfaisante lorsque  $G/E < 1.58$  ;

- L'homogénéité permet d'obtenir des granulats ayant des qualités semblables. Pour la fabrication des enduits superficiels, il convient d'éliminer les roches non homogènes qui donnent après concassage des granulats de natures pétrographiques différentes dont une partie, de qualité inférieure aux autres, amènera une certaine « pollution » pour l'ensemble de la fabrication.

Les différentes qualités des granulats entrent bien sûr en ligne de compte quelle que soit la technique utilisée en couche de roulement. Pour les enduits superficiels en

particulier, la propreté et la forme revêtent une importance primordiale ; elles conditionnent le collage du granulat par le liant ainsi que la bonne tenue du granulat (une plaquette, par exemple aura tendance à casser sous la charge).

### V - 2 Le liant

Le choix du liant est déterminé par le niveau du trafic, l'état du support, la période de mise en œuvre et l'expérience de l'entreprise. La règle générale stipule l'utilisation d'un liant d'autant plus visqueux que le trafic est lourd. Etant donné que le liant de type hydrocarboné a un comportement viscoélastique, on cherchera à se limiter à la stricte quantité de liant nécessaire pour enrober tous les grains. Un excès de liant favorise la transmission de ce type de comportement à l'ensemble du mélange. On utilise le plus souvent le bitume fluidifié (cut-back) en zones tempérées et le 800/1400 en régions chaudes.

### V - 3 Les dopes d'adhésivité

Ce sont des produits complexes qui modifient les conditions d'équilibre des constituants granulats, liant, eau. Ils favorisent le mouillage des granulats par le liant et s'opposent ultérieurement à la rupture de cette liaison. Ils sont utilisés en très faible dosage, mais ils sont assez coûteux.

## VI Les sables

Les sables couvrent plus de 70% de la superficie du Sénégal ; ce sont des formations récentes qui datent du Quaternaire. Leur épaisseur peut atteindre 50 m ou même plus. On rencontre les sables sous forme dunaire. on peut citer les dunes blanches, les dunes jaunes, les dunes oranges et les dunes rouges.

Les sables sont constitués dans l'ensemble de grains de quartz dont les diamètres ne dépassent guère 2 mm pour le Sénégal. En bordure de mer les sables sont un peu plus grossiers à cause des fragments de coquillage qui s'y mélangent.

De ce fait, les zones d'emprunts de sable existent un petit peu partout dans notre zone d'étude et en quantité suffisante.

## **Chapitre III**

### **ETUDE EXPERIMENTALE**

L'étude a pour but de tester des matériaux autres que les graveleux latéritiques, vu leur disponibilité dans la zone d'étude, afin de voir leur probable utilisation en couches de chaussées et ainsi donner d'autres alternatives à l'utilisation très courante de la latérite crue ou améliorée au ciment. Aussi les essais effectués serviront à confirmer des études antérieures faites sur ces mêmes matériaux. Les matériaux testés sont principalement le calcaire de Bandia, le basalte de Diack, le grès de Toglou.

Cependant il est à noter que l'essentiel de ces essais portent sur la lithostabilisation de la latérite par le calcaire pour voir si les caractéristiques du nouveau matériau permettent son utilisation en corps de chaussée. Les gîtes de latérites étant nombreuses dans la zone, un choix s'est imposé pour accompagner le calcaire de Bandia. Les carrières de latérites choisies sont celle de Sindia et Ndakhar Mbaye du fait de leur proximité avec Bandia.

Les résultats des essais sont présentés sous forme de fiches de matériaux en annexes où il a été mentionné suivant le type de matériaux, les caractéristiques physiques et mécaniques suivant les prescriptions techniques du CEBTP qu'il devrait remplir pour être utilisable en couches de chaussée.

#### **I – Etude du tout venant de calcaire de Bandia 0/31.5**

##### **I – 1 Présentation des résultats des différents essais**

##### **I – 1 -1 Caractéristiques mécaniques**

La qualité mécanique des granulats est souvent appréciée à partir de la résistance à la fragmentation et à l'attrition. Elles sont obtenues respectivement avec l'essai Los Angeles et l'essai Deval.

Le premier essai permet de déterminer la résistance à l'abrasion d'un granulat. Ainsi, on place l'échantillon dans un cylindre d'acier avec un nombre normalisé de boulets d'acier ayant un diamètre environ de 47 mm. Le nombre de boulets d'aciers dépend de la granulométrie du matériau étudié. Après 500 tours environ, on mesure le pourcentage d'éléments qui traversent un tamis de 1.6 mm d'ouverture. Le coefficient Los Angeles, noté LA est déterminé par la formule suivante :

$$L.A = \frac{m}{M} \times 100$$

Avec  $M$  = masse initiale du matériau

$m$  = masse des éléments inférieurs à 1.6 mm

Quant à l'essai Micro-Deval, le principe consiste à reproduire dans un cylindre en rotation les phénomènes d'usure d'un granulat. D'après la norme NF P 18-572, l'essai se pratique sur les fractions 4/5, 6/10, ou 10/14 de graviers avec une charge d'environ 5 kg. Du moment que ces classes granulaires n'existent pas au Sénégal, une adaptation s'imposait ; de ce fait l'essai a été fait avec du 8/16 de calcaire de Bandia. Le cylindre a un diamètre de 20 cm et 15.4cm de longueur. Aux 500 g de gravillons de la prise d'essai, on ajoute une charge abrasive constituée de billes d'acier sphériques de 10 mm de diamètre et 2.5 litres d'eau ; le tout est mis dans le cylindre. Ce dernier tourne à 100tr/min pendant 2h, pour l'essai Micro-Deval humide ( $M_{DE}$ ). Si  $P$  est la fraction passant tamis de 1.25 mm, le coefficient Micro-Deval à l'eau ( $M_{DE}$ ) est égal à :

$$MD_E = 100 \times \frac{P}{500}$$

Les résultats des essais sont mentionnés dans le tableau ci-après :

Désignation	Los Angeles	Deval à l'eau
valeur	27.76	47

**Tableau 4 : Résultats de essais mécaniques sur le calcaire**

#### 1 – 1 – 2 Analyses granulométriques

Dans l'objectif d'une identification complète du tout venant de calcaire, une analyse granulométrique a été effectuée sur le matériau. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous. La courbe granulométrique du tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5 est donné dans l'annexe A.

Tamis (mm)	% de passant
40	100
31.5	100
25	97
20	90
16	76
10	52
5	34
2	25
1	22
0.5	20
0.2	17
0.08	13

Tableau 5 : Résultats de l'analyse granulométrique sur le calcaire

### I – 1 – 3 Les limites d'Atterberg

La consistance d'un sol argileux peut varier dans de larges limites suivant la quantité d'eau qu'elle peut emmagasiner et la nature minéralogique du sol. Par convention, Atterberg a défini les quatre états suivants :

- l'état solide sans retrait,
- l'état solide avec retrait,
- l'état plastique,
- l'état liquide.

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre ces différents états. Elles définissent la teneur en eau du sol à l'état de transition considéré et sont exprimés en pourcentage. Elles sont mesurées sur le mortier c'est-à-dire sur la fraction du matériau qui passe au tamis de 0.42 mm.

L'intervalle entre deux limites consécutives définit la zone des teneurs en eau qui correspondent à un état déterminé et la différence entre deux limites consécutives définit l'étendue, dans l'échelle des teneurs en eau, de ce même état physique. La différence entre la limite de liquidité (LL) et la limite de plasticité (LP) est l'indice de plasticité (IP). Il définit l'étendue du domaine plastique qui est particulièrement importante.

### I - 1 - 3 - 1 La limite de liquidité $L_L$

La limite de liquidité d'un mortier est la teneur en eau exprimée en pourcentage pour laquelle les deux moitiés du mortier de sol, placé dans une coupelle et séparé par une rainure, arrivent à se rejoindre sur une longueur d'un centimètre environ après 25 chocs imprimés à la coupelle.

Pour la détermination de  $L_L$  on utilise l'appareil de Casagrande qui permet de tracer une rainure de dimensions normalisées et de réaliser mécaniquement des chocs d'intensité et de fréquence bien déterminées. Les résultats de l'essai ont permis de tracer la courbe ci-après (figure n° 7) donnant la teneur en eau en fonction du nombre de chocs.

Courbe permettant de déterminer la limite de liquidité LL

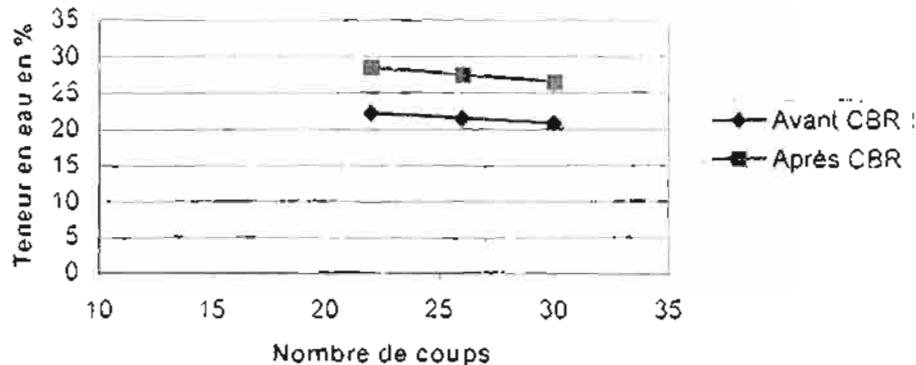


Figure 7 : Courbe représentant la teneur en eau en fonction du nombre de chocs

D'après la courbe la teneur en eau correspondant à 25 chocs est égale à 21.7% ce qui correspond à la limite de liquidité  $L_L$

### I - 1 - 3 - 2 La limite de plasticité LP

La limite de plasticité (LP) marque le passage de l'état plastique à l'état solide sans retrait qu'on appelle encore état friable. Pour la mesurer on roule l'échantillon en forme de fuseau qu'on amincit progressivement. La limite de plasticité d'un mortier est la teneur en eau exprimée en pourcentage du fuseau de sol qui se brise en petites portions au moment où son diamètre atteint 3 mm.

Les résultats des essais ont donné une limite de plasticité  $LP = 10.4$

### I - 1 - 3 - 3 Indice de plasticité IP

L'indice de plasticité constitue la différence **LL** et **LP**. A partir de ces essais une valeur de 11.3 a été trouvée pour l'indice de plasticité.

### I - 1 - 4 Proctor modifié

L'essai Proctor a pour but de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale. L'essai consiste à compacter dans un moule standard, à l'aide d'une dame standard et selon un processus bien déterminé, un échantillon du sol à étudier et à déterminer la teneur en eau du sol et sa densité sèche après compactage. Le compactage est répété plusieurs fois de suite sur différents moules contenant des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes. Ayant une série de points on trace la courbe en forme de cloche représentant la densité sèche en fonction de la teneur en eau ; elle présente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimum Proctor, et l'ordonnée la densité sèche maximum Proctor.

Les résultats des essais ont donné une densité sèche ( $\gamma_{dmax}$ ) qui est de 2.215 pour un teneur en eau optimum ( $W_{opt}$ ) de 7%.

### I - 1 - 5 Essai CBR

L'indice portant C.B.R (Californian Bearing Ratio) est un nombre sans dimension exprimant la résistance au poinçonnement d'un matériau. L'essai est effectué avec un appareillage normalisé et consiste à compacter à des niveaux d'énergie croissants le matériau, dans des moules différents. La valeur du CBR est obtenue avec la formule suivante :

$$CBR = \max \left\{ \frac{P_{2.5}}{0.7} ; \frac{P_5}{1.05} \right\}$$

Où

$P_{2.5}$  = pression qui entraîne un enfoncement de 2.5 mm du piston dans le matériau compacté

$P_5$  = pression qui entraîne un enfoncement de 5 mm du piston dans le matériau compacté  
Le piston de charge a une section d'environ 19.3 cm<sup>2</sup> et les pressions sont exprimées en daN/ cm<sup>2</sup>.

D'après les résultats le C.B.R est de 78 à 93.63 % de l'OPM et aurait dû être de 88 à 95% de l'optimum. Toutefois il faut remarquer que la valeur de 88 de CBR ne pourra pas être

atteinte car le CBR chute pour le moule de 55 coups/couche même si la compacité continue à croître avec l'énergie de compactage.

## I - 2 Analyse et interprétation des résultats

▪ L'analyse de la courbe granulométrique a permis de trouver un coefficient d'uniformité  $C_u$  de 156 et un coefficient de courbure  $C_c$  de 14.7

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{et} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

$D_{60}$  = diamètre des particules correspondant à 60% de passant

$D_{30}$  = diamètre des particules correspondant à 30% de passant

$D_{10}$  = diamètre des particules correspondant à 10% de passant

De même l'analyse granulométrique nous montre que 13% des particules sont inférieures à 0.08 mm et 34 % sont inférieures à 5 mm donc à partir de ces deux caractéristiques et des valeurs de  $IP = 11.3\%$  et celle de  $LL = 27.1\%$  on peut dire que le calcaire se présente comme un sol de type GC (grave concassée) avec une granulométrie continue et étalée. Cet étalement de la courbe va beaucoup contribuer à l'augmentation des performances mécaniques.

▪ On peut dire que les valeurs obtenues pour le LA et le MDE du calcaire sont supérieures aux prescriptions du CEBTP qui proposent des valeurs maximales respectives de 30 et 12. Cependant il faut noter que des études antérieures effectuées sur ce même calcaire, avaient donné des valeurs respectives de 25 et 8.33. Ce qui nous indique qu'il serait apte à être utilisé en couche de base. Cette différence est souvent due au manque d'homogénéité des caractéristiques des matériaux même au sein d'une même carrière.

▪ Il est à signaler qu'au delà d'une compacité de 93.63 % le CBR commence à chuter. Donc on présume d'une attrition du calcaire, c'est-à-dire une fragmentation des granulats, à partir d'un certain niveau de compactage. Ceci est confirmé par la courbe granulométrique après CBR qui montre une augmentation importante des particules de petite taille après compactage ; cette courbe sort du fuseau préconisé par le CEBTP. De ce fait il ne serait pas raisonnable d'essayer de dépasser une compacité de 93 % de l'OPM pour ce tout venant de calcaire.

De ce fait, pour utiliser le calcaire de Bandia en couche de base, il devrait faire l'objet d'autres études pour lever le litige.

## II – Etude de la lithostabilisation de la latérite de Ndakhar Mbaye par du tout venant de calcaire de Bandia 0/31.5

### II – 1 Présentation des résultats

On a eu à faire deux mélanges différents, jugés économiques suivant les proportions de latérite et de calcaire et se présentant comme suit :

- mélange 1 : 70% de latérite + 30% de calcaire
- mélange 2 : 60% de latérite + 40% de calcaire

Sur chaque mélange des essais d'identification ont été réalisés ; les courbes granulométriques sont données en annexes A et les autres résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Désignation	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$	CBR	IP	% de fines
Mélange 1	2.22	10.6	95	18.95	12
Mélange 2	2.275	8.5	150	12.55	8

Tableau 6 : Quelques résultats sur les mélanges 1 et 2 faites avec la latérite de Ndakhar Mbaye

### II – 2 Interprétation et conclusions

En se référant à la fiche- matériau de la carrière de Ndakhar Mbaye on remarque que le CBR de la latérite à 95% de l'optimum est de 73. En ajoutant un certain pourcentage de calcaire à cette latérite, on note une augmentation du CBR. Celui ci passe à 95 pour 30% d'ajout de calcaire et à 150 pour un ajout de 40%. Toutefois il faut remarquer que cette valeur est d'autant plus grande que le pourcentage de calcaire est élevé comme on le voit à travers le tableau ci-dessus.

### III – Etude de la lithostabilisation de la latérite de Sindia par du tout venant de calcaire de Bandia 0/31.5

#### III – 1 Présentation des résultats

Comme pour la latérite de Ndakhar Mbaye il a été effectué sur celle de Sindia deux formulations se présentant comme suit :

- mélange 1 : 70% de latérite + 30% de calcaire
- mélange 2 : 60% de latérite + 40% de calcaire

Sur chaque mélange des essais d'identification complète ont été réalisés les courbes granulométriques sont présentées au niveau de l'annexe A et les résultats de ces essais sont mentionnés dans le tableau ci-après :

Désignation	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$	CBR	$I_p$	% de fines
Mélange 1	2.155	8.2	99	14.25	18
Mélange 2	2.14	8.7	119	13.8	21

Tableau 7 : Quelques résultats sur les mélanges 1 et 2 faites avec la latérite de Sindia

#### III – 2 Interprétation et conclusions

On tire les mêmes conclusions que celles faites sur la lithostabilisation de la latérite de Ndakhar Mbaye c'est-à-dire une augmentation du CBR par ajout d'une proportion plus élevée en calcaire. Cependant en comparant les deux, on remarque que dans tous les cas le CBR de la lithostabilisation de la latérite de Ndakhar Mbaye est plus élevé que celui de Sindia. Ceci s'explique par le fait que la première à l'état cru, a un CBR de 73 qui est supérieur à celui de la seconde qui est de 67.

**IV – Lithostabilisation du silexite par la latérite****IV- 1 Présentation des résultats**

Le procédé consiste à mélanger de la latérite à du silexite. Le but est d'apporter des fines (issues de la latérite) qui joueront le rôle de liant, aux granulats de silexite qui sont durs et résistants mais non cohésifs. Ainsi les granulats de silexite constitueront le squelette du mélange et la latérite sera la matrice ; de ce fait, le compactage sera plus efficace du fait de la granulométrie étalée et la présence de fines argileuses en quantité raisonnable. Pour trouver le mélange optimal, c'est-à-dire avec suffisamment de fines, une bonne résistance après compactage et tout en restant économique, plusieurs formulations sont faites :

Mélange 1 : 70 % silexite non écrêté 0/31.5 + 30 % de latérite

Mélange 2 : 60 % silexite non écrêté 0/31.5 + 40 % de latérite

Mélange 3 : 50 % silexite non écrêté 0/31.5 + 50 % de latérite

Mélange 1\* : 70 % silexite écrêté 0/20 + 30 % de latérite

Mélange 2\* : 60 % silexite écrêté 0/20 + 40 % de latérite

Mélange 3\* : 50 % silexite écrêté 0/20 + 50 % de latérite

La latérite utilisée ici est celle de Sindia.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Désignations	$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$	CBR 95% de l'OPM	IP	% de fines
Silexite non écrêtée 0/31.5	2.09	11.2	183	0	8
Latérite crue Sindia	2.06	14.2	63	19	10
Mélange1	2.16	9.1	281	0	5
Mélange2	2.17	9.5	350	12	5
Mélange3	2.12	9.5	200	15	5
Mélange1*	2.21	10.8	148	0	4
Mélange2*	2.20	10.8	130	12	5
Mélange3*	2.18	10.6	114	15	6

**Tableau 8** : Résultats des essais réalisés sur les différents mélanges de silexite + latérite de Sindia

#### IV – 2 Interprétation et conclusions

L'ajout de latérite au silexite lui confère la cohésion qui permet un compactage efficace, et donne des valeurs de CBR élevées. Toutefois pour le silexite 0/31.5 non écrêté, il faut une quantité optimale de latérite pour avoir le maximum de CBR. Ce dernier correspond au Mélange 2 (60 % silexite non écrêté 0/31.5 + 40 % de latérite de Sindia). Pour la fraction de silexite 0/20 écrêtée, le CBR chute avec l'ajout de latérite. De ce fait pour avoir le maximum de CBR, il faudrait ajouter un pourcentage de latérite de l'ordre de 30% voire moins. Le Mélange 1\* (70 % silexite écrêté 0/20 + 30 % de latérite) donne un CBR d'environ de 148.

#### V – Essais sur les granulats de la zone

	Los Angeles	MDE
Basalte de Diack	9,6	8,8
Grès de Toglou	30,9	58,2
Calcaire de Pout-Kagne	34,72	65,5

Tableau 9 : Résultats des essais mécaniques sur les granulats de la zone

Ces résultats montrent la suprématie du granulat de basalte en terme de résistance mécanique sur les autres granulats sur la zone d'étude. En effet il est recommandé pour l'utilisation d'un granulat (tout-venant) un LA < 40 et un MDE < 25 pour couche de base et un LA < 50 et un MDE < 30 pour couche de fondation. De ce fait, on ne pourrait utiliser du tout-venant de grès de Toglou ou Pout Kagne en corps de chaussée, sans amélioration.

D'autres études ont montré que seul le silexite pouvait rivaliser avec le basalte en terme de résistance mécanique ; mais la forme généralement aplatie du granulat de silexite fait qu'on ne l'utilise pas pour le moment en revêtement. Ainsi dans le futur, des études pourraient être faites dans le but de voir les possibilités d'utilisation du silexite en béton bitumineux.

## Chapitre IV

### DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des chaussées présente des particularités liées au mode d'application des charges et au développement des différents modes de rupture. Les méthodes de dimensionnement utilisées de nos jours relèvent de deux approches dont les principes sont à priori très différents. Il existe deux approches :

- L'approche empirique : elle s'appuie sur l'observation du comportement sous trafic de chaussées réelles ou expérimentales. L'objectif est d'établir, par régression multiple, des relations entre la durée de vie, les caractéristiques géométriques des structures (épaisseur des couches) et les propriétés mécaniques des matériaux. Cette corrélation nécessite, pour donner des résultats fiables, un nombre important de sections expérimentales et de mesures ; ce qui entraîne évidemment un coût très élevé. D'autres inconvénients peuvent se greffer à ce problème: un temps de réponse trop long, des extrapolations hasardeuses ainsi qu'une difficulté certaine à généraliser les relations obtenues à d'autres tronçons de route car étant valables que pour les conditions climatiques et de trafic pour lesquelles elles ont été établies.

La méthode la plus utilisée au Sénégal est celle du CEBTP. A côté de cette méthode on a aussi la méthode des indices de groupe, la méthode du CBR et celle du TRRL (Transport and Road Research Laboratory)

- L'approche théorique : elle consiste à établir un modèle représentant le mieux possible le comportement mécanique du corps de chaussée. A l'aide de ce modèle, on détermine les sollicitations subies par les matériaux de chaussée et le sol -support sous l'effet du trafic. Ces sollicitations sont ensuite comparées aux sollicitations admissibles.

Dans la première étape qui consiste en la détermination des contraintes et des déformations dans les couches de chaussées, on a recours à un modèle mathématique fondé sur la mécanique des milieux continus. Le développement considérable de l'informatique par l'apparition de logiciels tels que ECOROUTE, ALIZE, a favorisé une sophistication de ces modèles au cours des deux dernières décennies.

La deuxième étape de l'aspect théorique consiste en une vérification portant sur deux aspects à savoir :

- si la rupture par fatigue ne survient pas avant la fin de la durée de vie souhaitée pour la chaussée

- si les déformations permanentes dans les matériaux susceptibles d'en subir (matériaux non liés, à liant hydrocarboné, sol support) ne produisent pas des ornières ou des défauts d'uni rendant le trafic inconfortable, voire dangereux)

L'approche théorique est, en réalité, entachée d'empirisme puisque les propriétés des matériaux introduites comme données dans les modèles de calcul sont déterminées lors d'une phase expérimentale. De ce point de vue, elle recoupe l'approche empirique proprement dite.

On distingue dans cette approche le modèle de Boussinesq, le modèle du bicouche, le modèle de Hogg, le modèle de Westergard, le modèle multicouche de Burmister.

### **I- Les méthodes empiriques**

Ce sont des méthodes basées, pour la plupart, sur des essais accélérés et des observations effectuées sur routes expérimentales. Ces approches empiriques ont apporté de nombreux renseignements sur l'action des charges de trafic et des sollicitations thermiques, sur les propriétés des matériaux constitutifs de la chaussée ainsi que sur le comportement à long terme des structures routières.

#### **I-1 Méthode du CBR**

Elle considère la résistance au poinçonnement du sol de plate-forme et la transmission des charges selon la méthode de Boussinesq.

Elle donne en fonction du CBR de la plate-forme l'épaisseur de la couche sus-jacente à partir de la formule de Peltier.

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{CBR + 5} \quad \text{où}$$

P : charge par roue en tonne

Après les travaux du TRRL qui ont abouti à des abaques, la formule a été améliorée pour tenir compte du trafic réel.

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P(75 + 50\log(\frac{N}{10}))}}{CBR + 5}$$

N : nombre moyen journalier de véhicules de plus de 1500 kg à vide qui circulent sur la chaussée.

## I-2 Méthode du CEBTP

Elle tient compte de deux critères :

- L'intensité du trafic et la portance de la plate-forme, paramètres à partir desquels on a les épaisseurs des couches de fondation, de base et de revêtement d'une chaussée souple.

- L'intensité du trafic et la nature des différents matériaux afin de vérifier les spécifications pour leurs possibilités d'utilisation.

Si la chaussée a des couches traitées au liant hydraulique il faut en plus, vérifier que les contraintes de traction à la base des matériaux traités restent compatibles avec les performances de ces matériaux.

## II Les méthodes rationnelles

Les méthodes rationnelles sont basées sur la mécanique des milieux continus et sur la résistance des matériaux. Ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être appliquées à des structures sous différents types de climat et pour divers chargements de trafic.

### II – 1 Le modèle de Boussinesq

Ce modèle s'appuie sur l'hypothèse que si le corps de chaussée n'est pas trop différent du terrain naturel (matériau granulaire par exemple), on peut raisonnablement supposer que la pression se répartit dans la superstructure de la même manière que dans les sols. Il en découle la méthode de dimensionnement ci-dessous :

- charge schématisée par une pression  $q_0$  appliquée uniformément sur un cercle de rayon  $a$
- sol support élastique

Ainsi, la charge  $Q$  de la roue sur la chaussée crée une contrainte  $\sigma_z$  dont l'allure du diagramme à différentes profondeurs est représentée sur la figure ci-dessous

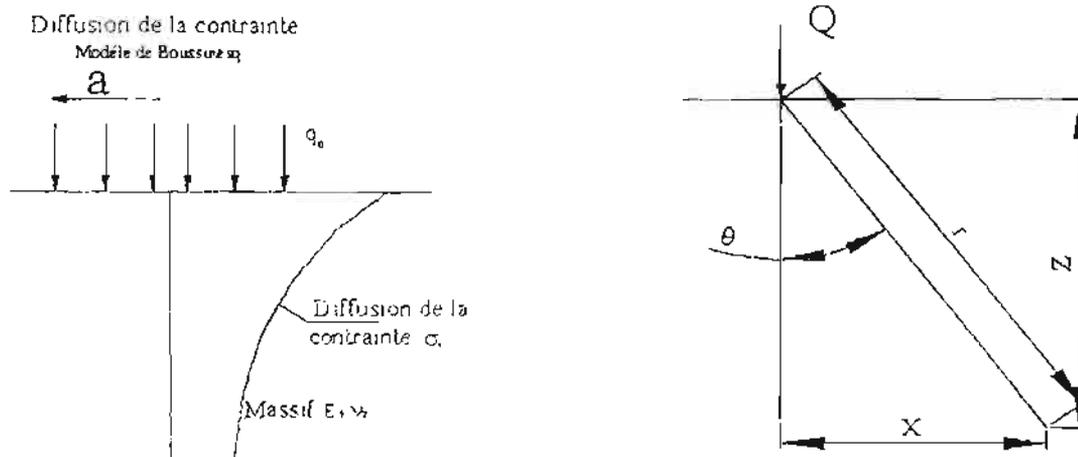


Figure 8 : Diffusion de la contrainte selon Boussinesq

La contrainte est donnée par :

$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \frac{Z^3}{(X^2 + Z^2)^{3/2}}$$

ou encore pour  $\cos\theta = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Z^2}}$   $\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi Z^2} \cos^3\theta$

Il s'agit donc de déterminer la contrainte admissible  $\sigma_{ad}$  du sol ainsi que la profondeur  $z$  (épaisseur  $h$  du corps de chaussée) pour laquelle, la contrainte verticale  $\sigma_z$  sur le sol de plate-forme reste inférieure à la contrainte admissible du sol ( $\sigma_z < \sigma_{ad}$ ).

## II-2 Le modèle bicouche

Lorsque la contrainte verticale sur le sol support est limitée à une valeur très faible (1/10 ou 1/20 de la pression exercée en surface par exemple), la répartition des pressions par un corps granulaire peut être coûteux, l'épaisseur  $H$  est très forte. Pour diminuer cette épaisseur, il suffit d'augmenter le rapport de module entre la couche  $E1$  de la chaussée et  $E2$  du sol support, à l'aide d'un liant hydraulique (ciment, laitier).

On peut avec une assise traitée aux liants hydrauliques obtenir une faible pression sur le sol support, sans que l'épaisseur de chaussée ne soit importante. La couche de chaussée fléchit sous la charge appliquée, ce fléchissement est accompagné de contraintes de traction par flexion à la base de la chaussée. Le dimensionnement de la chaussée consiste alors à vérifier deux critères qui conditionnent son comportement dans le temps :

- la contrainte verticale sur le sol support doit être inférieure à une valeur limitée, fonction de la nature du sol support et du nombre de chargements envisagés.

- la contrainte de traction par flexion à la base de la couche de chaussée doit être également inférieure à une valeur limitée fonction de la nature du matériau de chaussée et du nombre de cycles.

Avec des assises traitées aux liants hydrauliques, le premier critère du dimensionnement est généralement satisfait lorsque le deuxième l'est, il suffit donc de vérifier le 2<sup>e</sup> critère. C'est en cela que le dimensionnement d'une couche de chaussée diffère d'une fondation. Puisqu'en mécanique des sols, c'est le premier critère c'est-à-dire la pression sur le sol qui est prépondérant. L'étude d'un tel problème ne peut se faire à l'aide d'un modèle de Boussinesq. L'utilisation d'un modèle bicouche est nécessaire. En somme il faudra :

$$\sigma_z \leq \sigma_{zad} \text{ et}$$

$$\sigma_t \leq \sigma_{tad} \text{ qui est une condition nécessaire et suffisante ; en effet } \sigma_t \leq \sigma_{tad} \rightarrow \sigma_z \leq \sigma_{zad}$$

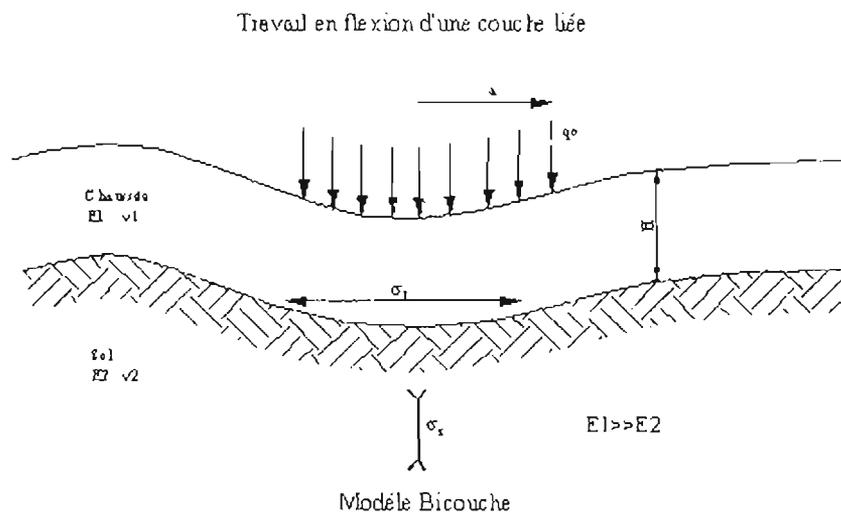


Figure 9 : Modèle bicouche

### II-3 Modèle de Hogg

Le modèle bicouche est difficile à résoudre, et on a essayé de le simplifier en posant les hypothèses suivantes :

- le plan moyen est confondu avec la fibre neutre ;
- les sections planes transversales restent planes pendant la déformation ;
- les contraintes normales suivant une direction transversale peuvent être négligées.

Hogg, pour déterminer les contraintes et déplacements dans les chaussées, assimile ces dernières à une plaque mince qui satisfait à l'équation de Lagrange :  $D^* \Delta^2 w = 0$  où

$D = \frac{E_1 H^3}{12(1-\nu_1^2)}$  est un facteur de rigidité,  $w$  la déflexion et  $\Delta^2 w = \frac{\sigma_1 - q_0}{D}$

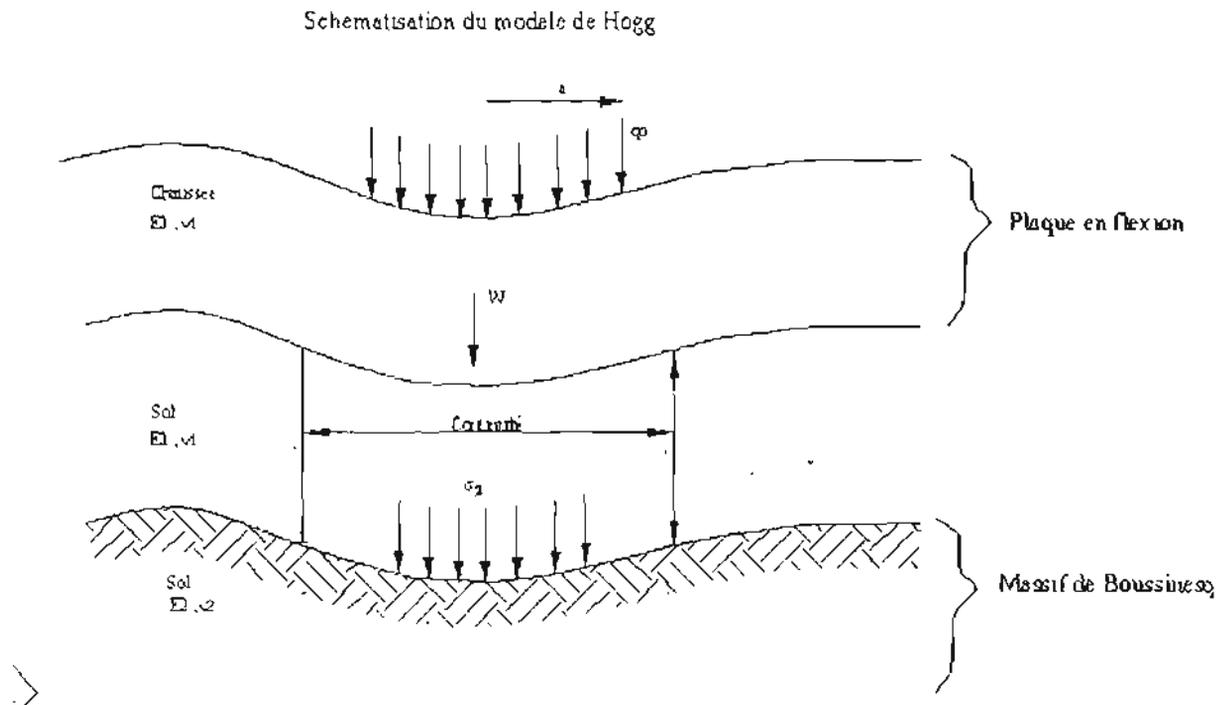


Figure 10 : Diffusion des contraintes selon Hogg

Il utilise ensuite la théorie de l'élasticité et les hypothèses de Navier pour les plaques minces afin de résoudre ses équations.

En plus des hypothèses de Navier, il considère que les déplacements verticaux de la fibre neutre de la chaussée sont égaux aux déplacements verticaux du massif. Il considère enfin un glissement parfait entre les couches.

Ainsi, si  $P = \pi q_0 a^2$  est la charge par roue, la contrainte de traction est donnée par la

formule de Hogg :  $\sigma_1 = \frac{P}{H^2} \frac{1+\nu}{2\pi} F\left(\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{H^3}{a^3}\right)$  où  $\frac{1+\nu}{2\pi} F\left(\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{H^3}{a^3}\right)$  est le facteur de

rigidité

et  $\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{H^3}{a^3}$  un facteur de rigidité relative

#### II-4 Modèle de Westergard

Ce modèle est antérieur à celui de Hogg. Westergard conduit une approche tout à fait différente en adoptant pour le sol une autre hypothèse simplificatrice qui a le mérite de faciliter les calculs. Autre hypothèse de plaque mince pour la chaussée, ce modèle comporte la schématisation suivante du sol support : celui-ci est assimilé à un assemblage

de ressorts dont le déplacement ( $w$ ) en un point est proportionnel à la pression verticale  $V$  en ce point,

Soit  $V = kw$ .

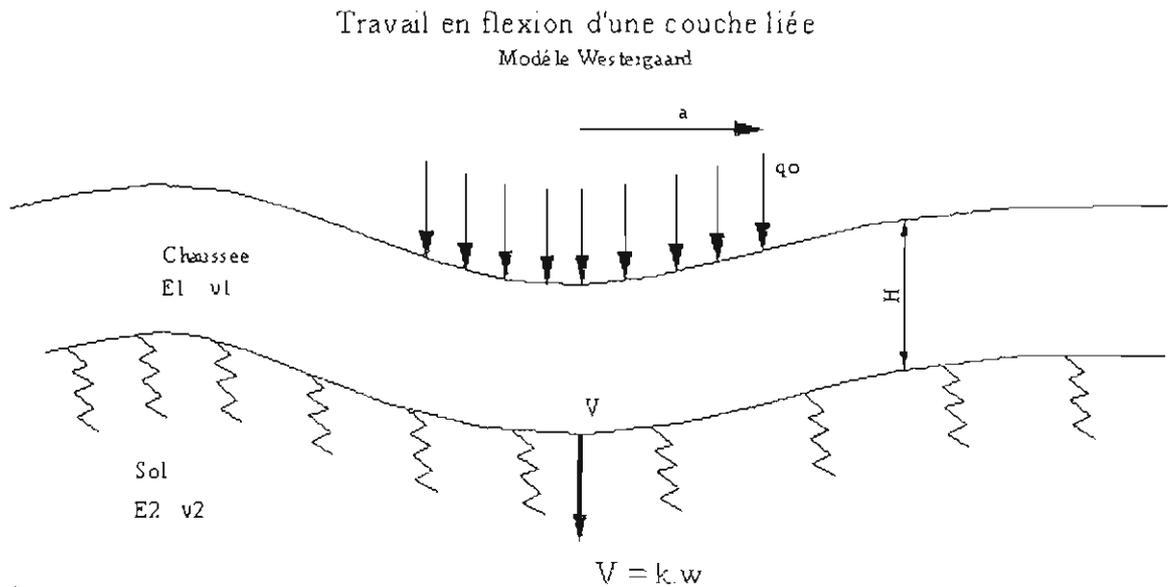


Figure 11 : Diffusion des contraintes selon Westergaard

$$V = K \cdot W$$

$K$  : module de réaction du sol support

Hypothèse simplificatrice qui facilitera la résolution des équations de quatrième ordre de Westergaard par les transformations de Hankel.

La contrainte de traction est donnée par :

$$\sigma_t = \frac{P}{H^2} C\left(\frac{l}{a}\right) \quad \text{où}$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{D}{k}} = \sqrt[4]{\frac{E_1 H^3}{\rho(1-\nu_1) \cdot k}} \quad \text{est le rayon de rigidité de la chaussée}$$

$P$  : charge par roue

$C$  : fonction croissante de  $l$  dépendant de la position de la charge

### II-5 Modèle multicouche de Burmister

Compte tenu de la structure traditionnelle des chaussées (mieux représentée par un schéma tricouche) et de l'augmentation du nombre de couches dans le cas des chaussées renforcées, il s'est avéré très vite nécessaire de passer à des modèles à  $n$  couches. De tels modèles facilitent en effet la schématisation des structures en vue du dimensionnement.

Ce modèle a été traité par Burmister qui a mis au point un modèle dont les caractéristiques illustrent toute sa puissance :

- les différentes couches sont traitées comme des solides élastiques ce qui permet d'éviter l'hypothèse de plaque retenue dans les modèles bicouches ;
- les interfaces entre couches peuvent être admises collées ou décollées et ce indépendamment les unes des autres ;
- les cas de charges multiples (jumelage, essieux tandem ou tridem..) peuvent être traités par méthode de superposition.

Par contre, ce modèle comporte une limitation : l'impossibilité de prendre en charge les effets de bord (charge en bord de chaussée ou bord d'une fissure). Néanmoins, compte tenu de l'éloignement des bords par rapport à la bande de roulement, cette hypothèse de couches planes infinies peut être adoptée.

Pour déterminer ses contraintes, Burmister a utilisé la théorie de l'élasticité et l'hypothèse de la symétrie de révolution du chargement. Les équations obtenues ont été résolues par les transformations de Hankel.

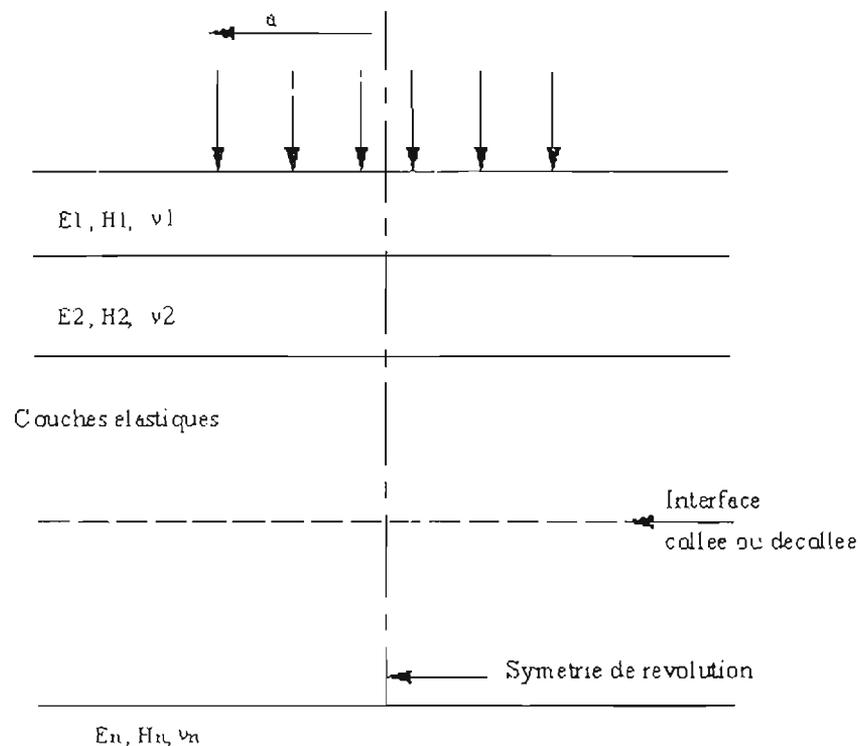


Figure 12 : Modèle multicouches de Burmister

Actuellement, avec le développement de l'outil informatique, ce modèle est le plus utilisé. Les logiciels comme ALIZE du LCPC, Bistro de Shell et CHEV de Chevron sont basés sur ce modèle.

Ce modèle a abouti pour la première fois à la production d'un jeu d'abaques par Jeuffroy et Bachelez qui ont tenté de résoudre les problèmes d'une plaque reposant sur un massif bicouche de type Burmister.

Il faut signaler aussi que ce modèle ne tient pas compte des effets de bord. Son utilisation nécessite donc l'évaluation de l'effet des charges en bord.

### III Les paramètres de dimensionnement

Le dimensionnement des structures de chaussées nécessite la maîtrise des paramètres suivants :

- Le trafic
- Les sols de plate-forme sur lesquels seront posées les chaussées;
- Les variations climatiques afin de déterminer l'état hydrique des plates-formes et de prévoir le comportement des matériaux bitumineux sous l'effet de la température.

#### III-1 Le trafic

Le trafic à prendre en compte dans le dimensionnement des chaussées est le nombre cumulé de véhicules de type poids lourds NE exprimé en essieux standard de 13 tonnes. NE est donné par la formule suivante :

$$N = T \cdot A \cdot n \cdot C$$

Où C est le facteur de cumul qui est donné par :

$$C = 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{n * i}$$

T : Trafic Journalier Moyen (TJM) en poids lourd de l'année en cours : c'est le débit total d'une période donnée en jour (de plus d'un jour et de moins d'une année) divisé par le nombre de jour de cette période.

A : coefficient d'agressivité qui est fonction de la composition ou du spectre d'essieux du trafic

i : taux de croissance annuel du trafic en pourcentage : au Sénégal il est de l'ordre de 7%.

$n$  : La durée de vie d'une route est la période qui se sera écoulée depuis sa date de mise en service jusqu'à l'apparition des dommages nécessitant un entretien.

Pour la conception de ce catalogue, la durée de vie escomptée est de vingt ans. Pour obtenir les classes de trafic cumulé équivalent à ces 20 ans, on part des classes de trafic journalier proposées par le CEBTP, à savoir :

T1 : < 300 véhicules/jour

T2 : de 300 à 1000 véhicules/jour

T3 : de 1000 à 3000 véhicules/jour

T4 : de 3000 à 6000 véhicules/jour

T5 : de 6000 à 12 000 véhicules/jour

Ces derniers correspondent à une durée de vie de 15 ans et le nombre de poids lourds est considéré égal à 30% du trafic journalier moyen en véhicules/jour.

A Partir de ce moment on est en mesure de calculer le trafic équivalent à 20ans en appliquant un coefficient d'agressivité de 1.3 au lieu de 1 (pour  $n=15$ ans). Les résultats sont donnés sur le tableau suivant :

<b>TRAFIC EQUIVALENT (PL) pour 20ans</b>						
	T1	T2	T3	T4	T5	
Trafic journalier (PI/j):T	1	90	300	900	1800	3600
Nombre de jours par an	365	365	365	365	365	365
Durée de vie (ans):n	20	20	20	20	20	20
Taux de croissance	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Agressivité: A	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
<b>Trafic Equivalent (10<sup>6</sup> PL)</b>	<b>0,02</b>	<b>1,75</b>	<b>5,84</b>	<b>17,51</b>	<b>35,01</b>	<b>70,03</b>

**Tableau 10** : Calcul des classes de trafic PL du catalogue

Pour le dimensionnement on va utiliser le centre des classes de trafic pour allier sécurité et économie. En effet utiliser la limite inférieure des classes serait certes plus sûr mais peu économique car les structures obtenues seraient surdimensionnées. Par contre l'utilisation de la limite supérieure est plus économique mais moins sécuritaire car il existerait des risques de sous dimensionnement, surtout quand la classe est étendue. On aura ainsi :

NE en million de PL pour une durée de vie escomptée de 20 ans

T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>		T <sub>3</sub>		T <sub>4</sub>		T <sub>5</sub>	
0	1,75	1,75	5,84	5,84	17,51	17,51	35,01	35,01	70,03
T <sub>1</sub> <sup>-</sup>	T <sub>1</sub> <sup>+</sup>	T <sub>2</sub> <sup>-</sup>	T <sub>2</sub> <sup>+</sup>	T <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T <sub>3</sub> <sup>+</sup>	T <sub>4</sub> <sup>-</sup>	T <sub>4</sub> <sup>+</sup>	T <sub>5</sub> <sup>-</sup>	T <sub>5</sub> <sup>+</sup>
0,875		3,795		11,675		26,26		52,52	

Tableau 11 : Trafic équivalent choisi pour le dimensionnement

### III-2 Les sols de plate-forme

La plate-forme, couche du mètre supérieure des terrassements, doit pouvoir supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir de dommages.

Les plates-formes définies dans ce catalogue sont celles répondant à la classification selon le CEBTP explicitée dans le tableau suivant :

	Valeurs de CBR	Valeur de CBR utilisé pour calcul	Type de sol
S1	CBR < 5	5	Argiles fines saturées, sols tourbeux, limon plastiques, sol contenant des matières organiques, etc Sols très sensibles à l'eau et à faible densité sèche.
S2	5 < CBR < 10	7.5	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, graves argileuses ou limoneuses, sols marneux contenant moins de 35% de fines
S3	10 < CBR < 15	12.5	Sables alluvionnaires propres avec fines < 5%, graves argileuses ou limoneuses avec fines < 12%
S4	15 < CBR < 30	22.5	
S5	CBR > 30	45	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux sains, etc., Chaussées anciennes

Tableau 12 : Classification des plates-formes selon le CEBTP

Le Sénégal est couvert à 70 % par des sables limoneux avec un CBR variant de 10 à 35. Ce qui correspond aux plates-formes de type S3 et plus. Cependant il existe dans certaines parties des sols de CBR très faibles. Ce sont en général des plates-formes

constituées de limons, de limons sableux et argileux, de tourbes ou situées en zones marécageuses.

### III-3 Etude climatologique

#### III-3-1 Climat de la zone ouest

Le Sénégal se trouve dans la zone intertropicale et est doté d'un climat tropical avec une nuance aride, sauf en Basse-Casamance (tropical humide), qui diminue du nord au sud. La zone côtière est tempérée par l'alizé marin. La durée de la saison des pluies augmente du nord au sud : juillet à octobre dans la zone sahélienne (nord), avril à novembre en zone casamançaise (sud-ouest). Enfin, le climat du Sénégal, comme celui de tous les pays sahélo-soudaniens, se caractérise par une grande variabilité des précipitations et des températures d'une année à l'autre.

Concernant la zone d'étude les températures sont plus clémentes sur la partie côtière (région de Dakar et une partie de la région de Thiès à savoir la petite côte) où agit l'alizé marin ; et augmentent en allant à l'Est. Pour la première partie les températures les moins élevées tournent autour de 18°C et les plus élevées entre 31-36 °C. Pour la seconde partie (Thiès, Tivaouane et la région de Diourbel) les températures moyennes minimales enregistrées sont d'environ 20°C et les plus élevées entre 34 et 40 °C.

Le tableau suivant permet d'avoir une idée sur les précipitations sur la zone.

Ville	Mois											
	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Dakar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	66.5	103.9	55.4	9.2	0.0	0.0
Diourbel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	253.1	128.8	177.8	9.6	0.0	0.0
Thiès	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	185.4	154.8	191.5	52.6	0.0	0.0
Mbour	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	139.0	158.2	238.3	44.2	0.0	0.0

Tableau 13 : Précipitations moyennes mensuelles en 2001, en mm

#### III-3-2 Impact du climat sur les chaussées

Les paramètres climatiques qui peuvent influencer sur la stabilité d'une structure routière sont principalement les précipitations et la température. D'autres paramètres climatiques tels que l'hygrométrie, peuvent aussi agir mais les désagréments qu'ils causent sont négligeables.

### **III-3-2-1 Impact de la Précipitation**

L'eau a toujours été un ennemi de la route. Un contact prolongé de l'eau avec les couches de chaussée entraîne une instabilité de toute la structure et il s'en suit une dégradation rapide de la route. L'eau peut venir du bas si la plateforme est marécageuse ou s'il y a une remontée de la nappe. Dans ces cas particuliers on pourrait traiter la plateforme à la chaux, faire des purges puis remblayer avec un matériau d'apport, mettre une sous-couche drainante, utiliser du géotextile ou même modifier le tracé de la route pour éviter ces zones. Par contre c'est de l'eau de pluie que l'on se méfie le plus car, inévitablement, elle viendra au contact de la route. Si la route est dotée d'un revêtement qui joue bien son rôle d'étanchéité et de devers convenable, alors sa partie supérieure est en principe protégée de l'eau de pluie. Une autre partie de la pluie ruisselle le long de la route et provoque une érosion. Cette dernière ronge progressivement les talus qui ne sont pas protégés avant de s'attaquer à la chaussée.

Ainsi il est indispensable de protéger la chaussée des précipitations. Pour cela il faut d'une part exécuter un revêtement étanche et des devers et déclivités normalisés pour protéger la partie supérieure. D'autre part il faut toujours prévoir un système d'assainissement efficace fait de puisards, fossés stabilisés ou protéger le talus si les fossés ne sont pas nécessaires.

### **III-3-2-2 Impact de la température**

La température est un facteur important à prendre en compte en technique routière. Dans les pays à climat tempéré où la température peut chuter en dessous de zéro degré Celsius, le gel est très déterminant et est même pris en compte dans le dimensionnement. Pour les zones chaudes comme la nôtre on prend en compte surtout les élévations de température. Celles-ci agissent sur les matériaux, leur comportement et sur les liants utilisés.

Pour les matériaux granulaires non traités les variations de températures entraînent des modifications surtout sur la teneur en eau.

✦ Pour les matériaux traités aux liants hydrauliques (par exemple la latérite-ciment qui est très utilisée dans la région), des températures élevées favorisent l'apparition de fissures de retraits thermiques et c'est valable pour les bétons. Aussi elles causent une augmentation de l'évaporation de l'eau dans le matériau traité ce qui n'est pas favorable à la réaction d'hydratation du liant en particulier le ciment qui nécessite un minimum d'eau pour être efficace.

✦ Pour les matériaux traités aux liants hydrocarbonés une élévation de température a comme conséquence une perte de résistance ; cette dernière est d'autant plus importante que la température est élevée. La figure suivante donne l'évolution du module de rigidité en fonction de la température, d'une assise en grave-bitume sur laquelle roule un véhicule lourd à 60-80 Km/h :

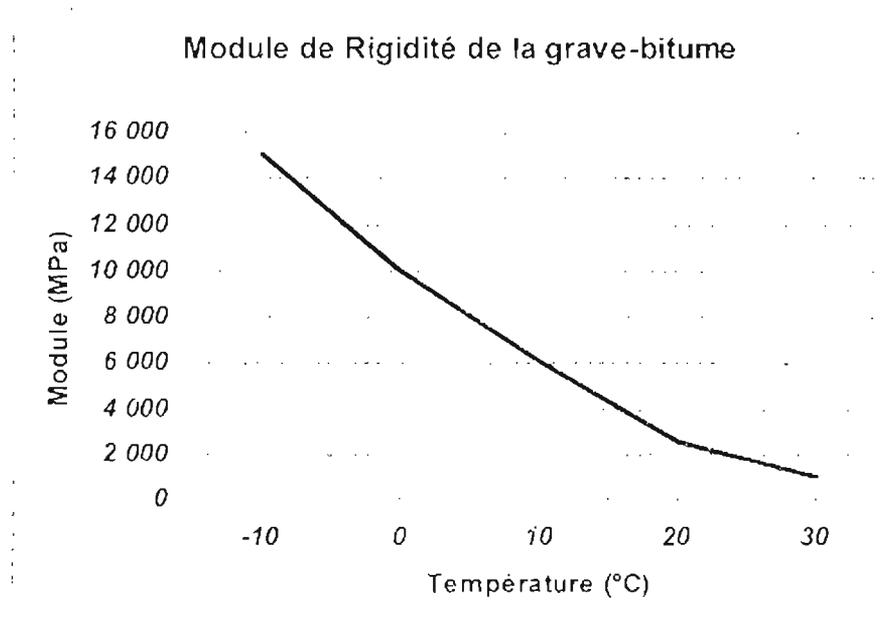


Figure 13 : Evolution de la rigidité de la grave-bitume en fonction de la température

#### IV- La démarche de dimensionnement

Quelles que soient les techniques de chaussée, la démarche de dimensionnement et l'articulation des différentes étapes sont sensiblement les mêmes. La démarche générale se présente de la manière suivante :

##### IV - 1 Prédimensionnement

Une fois qu'on a réuni les données nécessaires au calcul (caractéristiques physiques et mécaniques telles que le CBR, le module d'élasticité E des matériaux destinés à être utilisés comme couche de chaussée), on procède à un premier choix de la couche de roulement et au prédimensionnement de la structure en se fixant à priori les épaisseurs des autres couches de la chaussée.

#### **IV - 2 Calcul de la structure**

Ayant les modules des différents matériaux de notre chaussée et les épaisseurs des différentes couches à la suite du prédimensionnement, on procède aux calculs des contraintes et déformations réelles de la structure de chaussée prédimensionnée à l'étape 1 sous l'essieu de référence de 130KN à l'aide du logiciel ALIZE. Chaque demi-essieu comporte un jumelage type, représenté par deux charges exerçant une pression uniformément répartie de 6.62 bars sur deux disques de 12.5 cm de rayon, avec un entre-axe de 37.5cm.

#### **IV - 3 Vérification en fatigue de la structure et de la déformation de l'assise**

La vérification est faite en comparant les contraintes et déformations données par le logiciel Alizé aux valeurs admissibles. Ces valeurs limites sont déterminées en fonction :

- du trafic cumulé sur la période de calcul considéré,
- du risque de ruine admis sur cette période
- des caractéristiques de résistance en fatigue des matériaux,
- de effets thermiques,
- des données d'observation du comportement de chaussée de même type.

Ainsi on fait des itérations successives jusqu'à obtenir les épaisseurs adéquates c'est-à-dire permettant de ne pas dépasser les contraintes et déformations admissibles. Cependant il est nécessaire de tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseurs minimales et maximales pour atteindre les objectifs de compacité et d'uni.

#### **IV - 4 Définition de la coupe transversale de la chaussée**

L'ensemble des vérifications précédentes étant positives, pour la structure dite normale il reste à préciser le profil en travers de la couche de la chaussée.

#### **V- Calcul des limites admissibles**

Dans la démarche de dimensionnement des chaussées souples la détermination des limites admissibles des matériaux revêt une grande importance. Ces limites correspondent soit à une contrainte, soit à une déformation selon l'assise considérée.

Pour les chaussées souples, à assise granulaire, on vérifiera la déformation  $\epsilon_z$  à la surface des couches et du sol support ainsi que l'élongation transversale  $\epsilon_t$  à la base des

couches bitumineuses. On vérifiera néanmoins la contrainte verticale  $\sigma_z$  à la surface des couches et du sol de plate forme.

Pour les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques, la contrainte de traction  $\sigma_t$  de la couche d'assise sera vérifiée ainsi que la déformation verticale  $\varepsilon_z$  de la couche de plate forme.

Pour les chaussées à assise traitée au bitume, il faudra vérifier l'élongation  $\varepsilon_l$  des couches de base et fondation ainsi que la déformation verticale  $\varepsilon_z$  de la couche de plate forme.

### V-1 Sol support et matériaux non traités

Pour la plate-forme et les matériaux non traités (constitués de matériaux granulaires tels que: les latérites crus, les calcaires...), les contraintes sont caractérisées par les contraintes  $\sigma_{z adm}$  et déformations  $\varepsilon_{z adm}$  verticales admissibles au sommet de la couche. Elles sont calculées à partir des formules suivantes :

$$\sigma_{z adm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \times \log N} \quad \text{en bars} \quad (\text{Kerkoven et Dormon})$$

$$\varepsilon_{z adm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25} \quad \text{en mm} \quad (\text{Loi de tassement de Shell}).$$

$\sigma_{z adm}$  : contrainte verticale admissible

$\varepsilon_{z adm}$  : déformation verticale admissible

N = NE = nombre de chargements équivalents calculé à partir du trafic cumulé et du coefficient d'agressivité A

### V-2 Matériaux traités aux liants hydrauliques

Pour ces genres de matériaux, les limites admissibles sont caractérisées par la contrainte de traction par flexion  $\sigma_{t adm}$  à la base de la couche traitée et la déformation verticale  $\varepsilon_{z adm}$  du sol de plate forme. Pour NE chargements, la contrainte de traction est donnée par la formule ci-après :

$$\sigma_{t adm} = \sigma_{t adm}(NE) \times k_i \times k_d \times k_c \times k_s$$

$\sigma_{t adm}(NE)$  est la contrainte pour laquelle la rupture en flexion sur éprouvette de 360j est obtenue pour NE chargements

$$\sigma_{adm} = \sigma_6 \times \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b$$

$\sigma_6$  est une contrainte en bars fonction du type de matériaux

$b$  est la pente de la droite de fatigue du matériau

$k_r$  est un coefficient qui ajuste la valeur de déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur (écart type  $Sh$ ) et sur les résultats des essais de fatigue (écart type  $SN$ )

$$k_r = 10^{-ub\delta}$$

$u$  est une variable centrée réduite associée au risque  $r$

$\delta$  est l'écart type sur les épaisseurs

$$\delta = \left[ SN^2 + \left( \frac{c}{b^2} \right) \times Sh^2 \right]^{0.5}$$

$c$  est le coefficient reliant la variation de contrainte à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée ; il est de l'ordre de  $0.02\text{cm}^{-1}$

$k_d$  est un coefficient introduit pour prendre en compte l'effet des discontinuités pour la couche de base.

$k_c$  est un coefficient de calage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement observé de chaussées du même type.

Concernant la déformation verticale du sol de plate forme elle est donnée par la formule ci-après.

$$\varepsilon_{z adm} = 0.012 (NE)^{-0.222} \text{ en mm}$$

### V-3 Matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Pour ces matériaux les limites admissibles sont caractérisées par la déformation par traction  $\varepsilon_{t adm}$  à la base de la couche et la déformation verticale  $\varepsilon_{z adm}$  du sol de plate forme. L'élongation par traction admissible est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon_{t adm} = \varepsilon_6 \times \left( \frac{NE}{10^6} \right) \times \left( \frac{E_1}{E_2} \right)^{0.5} \times k_r \times k_c \times k_d$$

$E_1$  est le module du matériau à la température équivalente de 10°C ;

$E_2$  est le module du matériau à la température équivalente du milieu d'utilisation (soit 30°C dans notre cas) ;

$NE$  est le nombre de chargements équivalents calculé à partir du trafic cumulé et du coefficient d'agressivité CAM

$\epsilon_6$  est l'élongation admissible pour une fréquence de 25 Hz et une température de 10°C ;

$b$  est la pente de la droite de fatigue du matériau

$k_r$  est un coefficient qui ajuste la valeur de déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur (écart type  $Sh$ ) et sur les résultats des essais de fatigue (écart type  $SN$ )

$$k_r = 10^{-u b \delta}$$

$u$  est une variable centrée réduite associée au risque  $r$

$\delta$  est l'écart type sur les épaisseurs

$$\delta = \left[ SN^2 + \left( \frac{c}{b^2} \right) \times Sh^2 \right]^{0.5}$$

$c$  est le coefficient reliant la variation de contrainte à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée ; il est de l'ordre de 0.02cm<sup>-1</sup>

$k_c$  est un coefficient de calage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement observé de chaussées du même type.

Concernant la déformation admissible  $\epsilon_{z \text{ adm}}$  du sol de plate forme, elle est donnée par :

$$\epsilon_{z \text{ adm}} = 0.016 (NE)^{-0.222} \text{ en mm}$$

Les contraintes admissibles obtenues après calcul sont données en annexe C.

## Chapitre V

### ELABORATION DU CATALOGUE

La mise sur pied d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour la zone ouest du Sénégal a pour objectif de donner aux maîtres d'œuvres et administrateurs gestionnaires des réseaux un outil leur permettant à partir de la portance de leur sol de plate-forme (indice portant CBR), du trafic, des contraintes locales et des matériaux disponibles dans la zone de choisir une structure de chaussée économique et des techniques de mise en œuvres adéquates. Le catalogue constituera une base de données essentielle avec des spécifications établies après une analyse des paramètres réels des matériaux locaux. Sans nul doute les résultats obtenus devraient permettre de gagner du temps et de revaloriser les matériaux locaux.

#### I - Composition

##### I - 1 Les fiches de matériaux (cf. annexe B)

Chaque matériau sera fiché et dans chaque cas on aura :

- les spécifications sur son utilisation en technique routière ;
- les résultats des essais géotechniques sur les matériaux.

##### I - 2 Les fiches de structures

Elles constituent en fait le catalogue proprement dit. On y présente les épaisseurs des différentes couches de la chaussée du revêtement à la couche de fondation. Ces épaisseurs dépendent du matériau utilisé en couche de base, du trafic et de la classe de plate forme.

#### II – Hypothèses de dimensionnement

Pour l'élaboration de ce catalogue il a été adopté des chaussées à 3 couches (revêtement, base, fondation) ou à 2 couches (revêtement, base). Pour chaque couche. les hypothèses sont les suivantes :

##### II- 1 – Pour la couche de surface

Le revêtement prévu est le béton bitumineux dont l'utilisation sur les chantiers est de plus en plus courante ; son épaisseur sera :

- de 3 à 4 cm pour les trafics T1 et T2 ;
- de 5 à 7 cm pour les trafics T3 et T4.

Pour l'élaboration de ce catalogue, la température de référence est fixée à 30°C suivant le climat de la zone d'étude. A cette température, le module du béton bitumineux est de 13000 bars et le coefficient de poisson est de 0.35.

## II - 2 – Pour la couche de base

Pour l'élaboration du catalogue il a été supposé au départ que la couche de base pouvait être réalisée par l'ensemble des formulations présentées dans le tableau ci-dessous. Cependant au terme des calculs effectués sur ALIZE, les formulations dont les codes sont les suivants 60SN40LS, 70SN40LS, 60SE40LS et 70SE30LS ont été rejetées pour des raisons économiques, du fait qu'on aboutissait pratiquement à des épaisseurs identiques à celles données par le 50SN50LS et le 50SE50LS.

Le coefficient de poisson est égal à 0.25 pour les matériaux granulaires.

Pour l'estimation du module des différents matériaux, il a été adopté la corrélation suivante :

$$E = 50 \text{ CBR (bars) pour les matériaux granulaires traités ou non}$$

Les valeurs de CBR utilisées dans ces formules sont celles trouvées lors des essais mais réduites de 10 % pour tenir compte du manque d'homogénéité des carrières et des imperfections pouvant survenir lors de l'essai CBR.

Formulation	Code	CBR de calcul	Module (Bars)
Latérite de Sindia + 3 % ciment	LS3C	277	13850
Latérite de Mt Rolland + 3 % ciment	LMR3C	231	11550
Latérite de Mt Rolland + 2.5 % ciment	LMR2C	186	9300
60% Latérite de Ndakhar Mbaye + 40% calcaire de Bandia	60LNM40CB	131	6550
70% Latérite de Ndakhar Mbaye + 30% calcaire de Bandia	70LNM30CB	75	3750
60% Latérite de Sindia + 40 calcaire de Bandia	60LS40CB	100	5000
70% Latérite de Sindia + 30% calcaire de Bandia	70LS30CB	93	4650
50% Silexite non écrêté 0/31.5 + 50% Latérite de Sindia	50SN50LS	180	9000
60% Silexite non écrêté 0/31.5 + 40% Latérite de Sindia	60SN40LS	315	15750
70% Silexite non écrêté 0/31.5 + 30% Latérite de Sindia	70SN30LS	253	12650
50% Silexite écrêté 0/20 + 50% Latérite de Sindia	50SE50LS	102	5100
60% Silexite écrêté 0/20 + 40% Latérite de Sindia	60SE40LS	117	5850
70% Silexite écrêté 0/20 + 30% Latérite de Sindia	70SE30LS	133	6650

Tableau 14 : Code des mélanges de matériaux étudiés

### **II - 3 – la couche de fondation**

La fondation sera réalisée en latérite crue dont le CBR est égal à 60 ce qui correspond à un module de 3000 bars et le coefficient de poisson est de 0.25.

### **III – Recommandations sur le catalogue**

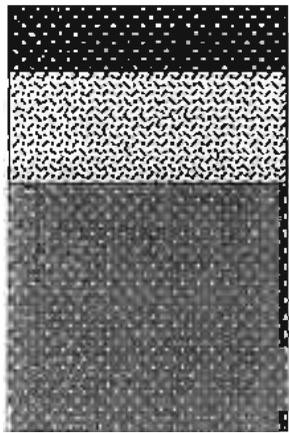
Dans ce catalogue les plates-formes de classe S1 ne sont pas prises en compte car dans la pratique il est déconseillé d'y mettre directement une structure de chaussée même si on arrive à faire arriver des contraintes faibles compatibles avec la plateforme, en jouant sur les épaisseurs du corps de chaussée. En effet la classe S1 correspond le plus souvent à des argiles fines saturées, sols tourbeux, limon plastiques, sols contenant des matières organiques, etc. Il serait donc hasardeux de réaliser une route sur ces sols très sensibles à l'eau et à faible densité sèche. Le risque de rupture de la chaussée est très élevé, du fait de l'instabilité des ces sols surtout au contact de l'eau.

Il faut remarquer que pour les plates-formes de portance moyenne (S2, S3), l'épaisseur de la chaussée augmente avec le trafic, ce qui fait que le niveau fini de la couche de roulement se retrouve considérablement surélevé par rapport au niveau du terrain naturel. Ceci peut être un inconvénient, surtout en zone urbaine où les contraintes environnementales doivent être prises en compte. Dans ces cas un déblai est préconisé avant la mise en place des couches de chaussée.

La classe de trafic T5 n'est pas considérée dans ce catalogue car les structures de chaussée compatibles sont complexes : chaussées rigides ou chaussées avec base et fondation traitée,....

Les différentes fiches constituant le catalogue sont présentées ci-après. Chaque fiche correspond à une classe de trafic et de plateforme donnée.

Fiche de structure n°1: T1-S2



Revêtement

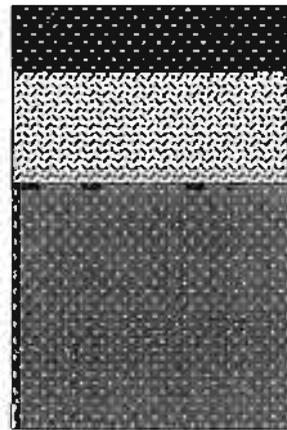
Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	15	50	3 cm BB
	LMR2C	20	40	4 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	15	30	4 cm BB
	60LS40CB	15	30	5 cm BB
	70LS30CB	20	30	5 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silicite	50SN50LS	15	35	3 cm BB
	50SE50LS	15	35	3 cm BB

BB : Béton bitumineux

Fiche de structure n°2: T1-S3



Revêtement

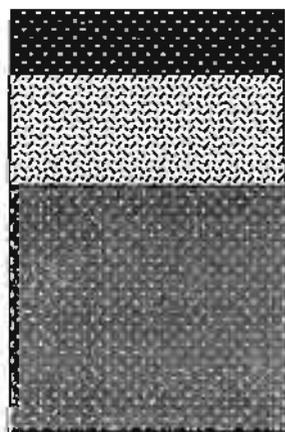
Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
<b>Latérite-ciment</b>	LS3C	15	40	3 cm BB
	LMR2C	20	30	4 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia</b>	60LNM40CB	15	25	4 cm BB
	60LS40CB	15	20	5 cm BB
	70LS30CB	20	20	5 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de silexite</b>	50SN50LS	15	25	3 cm BB
	50SE50LS	15	25	3 cm BB

BB : Béton bitumineux

Fiche de structure n°3: T1-S4



Revêtement

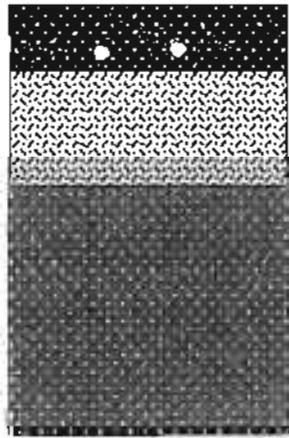
Base

Fondation

	Nature Base	Épaisseur Base (cm)	Épaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	15	25	3 cm BB
	LMR2C	20	20	4 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	15	15	4 cm BB
	60LS40CB	15	10	5 cm BB
	70LS30CB	20	10	5 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silicite	50SN50LS	15	10	3 cm BB
	50SE50LS	15	15	3 cm BB

BB : Béton bitumineux

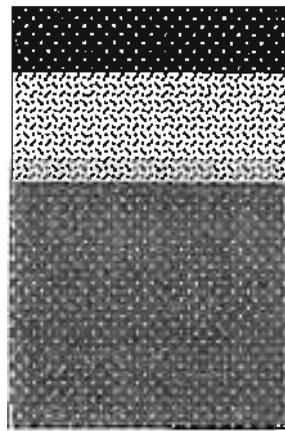
Fiche de structure n°4: T1-S5



BB : Béton bitumineux

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
<b>Latérite-ciment</b>	LS3C	15	10	3 cm BB
	LMR2C	20	10	4 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia</b>	60LNM40CB	15	0	4 cm BB
	60LS40CB	15	0	5 cm BB
	70LS30CB	20	0	5 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de silixite</b>	50SN50LS	15	0	3 cm BB
	50SE50LS	15	10	3 cm BB

Fiche de structure n°5: T2-S2



Revêtement

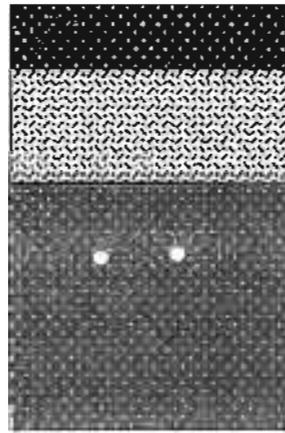
Base

Fondation

BB : Béton bitumineux

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	15	60	4 cm BB
	LMR2C	20	55	4 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	15	45	4 cm BB
	60LS40CB	15	45	6 cm BB
	70LS30CB	20	40	6 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silexite	50SN50LS	15	45	4 cm BB
	50SE50LS	15	45	4 cm BB

Fiche de structure n°6: T2-S3



Revêtement

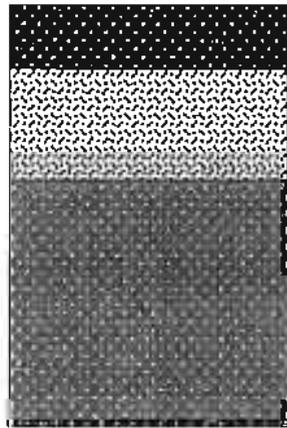
Base

Fondation

BB : Béton bitumineux

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
<b>Latérite-ciment</b>	LS3C	15	50	4 cm BB
	LMR2C	20	45	4 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia</b>	60LNM40CB	15	35	4 cm BB
	60LS40CB	15	35	6 cm BB
	70LS30CB	20	30	6 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de silexite</b>	50SN50LS	15	35	4 cm BB
	50SE50LS	15	35	4 cm BB

**Fiche de structure n°7: T2-S4**



Revêtement

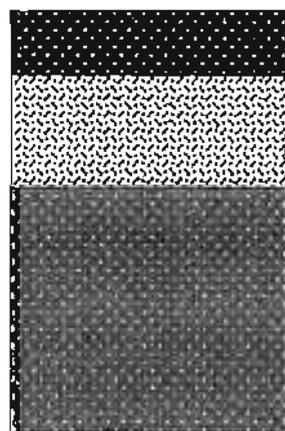
Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	15	35	4 cm BB
	LMR2C	20	30	4 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	15	25	4 cm BB
	60LS40CB	15	20	6 cm BB
	70LS30CB	20	20	6 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silexite	50SN50LS	15	25	4 cm BB
	50SE50LS	15	25	4 cm BB

BB : Béton bitumineux

**Fiche de structure n°8: T2-S5**



Revêtement

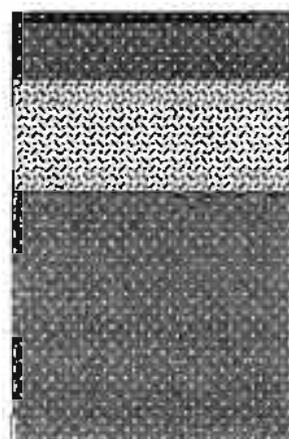
Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	15	20	4 cm BB
	LMR2C	20	15	4 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	15	15	4 cm BB
	60LS40CB	15	10	6 cm BB
	70LS30CB	20	10	6 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silexite	50SN50LS	15	10	4 cm BB
	50SE50LS	15	10	4 cm BB

BB : Béton bitumineux

Fiche de structure n°9: T3-S2



Revêtement

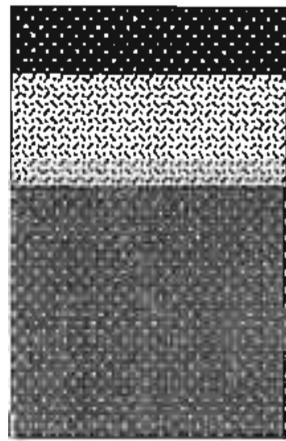
Base

Fondation

	Nature Base	Épaisseur Base (cm)	Épaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	20	65	5 cm BB
	LMR2C	25	60	5 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	20	60	5 cm BB
	60LS40CB	20	50	7 cm BB
	70LS30CB	20	50	7 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silicite	50SN50LS	20	50	5 cm BB
	50SE50LS	20	50	5 cm BB

BB : Béton bitumineux

**Fiche de structure n°10: T3-S3**



Revêtement

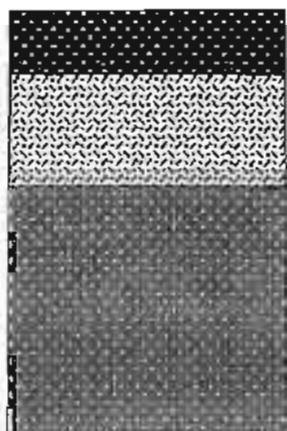
Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	20	55	5 cm BB
	LMR2C	25	50	5 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	20	40	5 cm BB
	60LS40CB	20	40	7 cm BB
	70LS30CB	20	40	7 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silexite	50SN50LS	20	40	5 cm BB
	50SE50LS	20	40	5 cm BB

BB : Béton bitumineux

Fiche de structure n°11: T3-S4



Revêtement

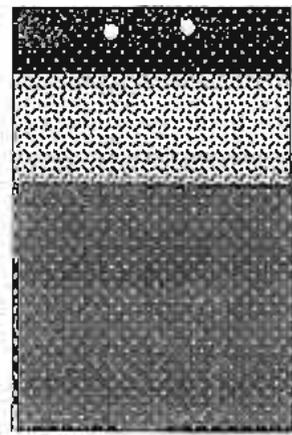
Base

Fondation

BB : Béton bitumineux

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	20	40	5 cm BB
	LMR2C	25	35	5 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	20	25	5 cm BB
	60LS40CB	20	30	7 cm BB
	70LS30CB	20	30	7 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silicite	50SN50LS	20	25	5 cm BB
	50SE50LS	20	30	5 cm BB

**Fiche de structure n°12: T3-S5**



Revêtement

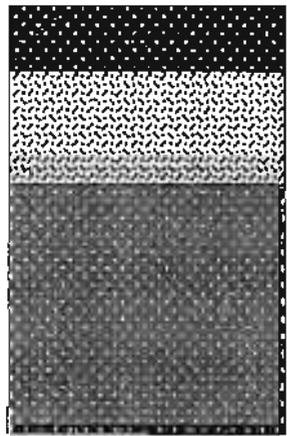
Base

Fondation

BB : Béton bitumineux

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	20	20	5 cm BB
	LMR2C	25	15	5 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	20	10	5 cm BB
	60LS40CB	20	15	7 cm BB
	70LS30CB	20	15	7 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de silixite	50SN50LS	20	10	5 cm BB
	50SE50LS	20	10	5 cm BB

**Fiche de structure n°13: T4-S2**



Revêtement

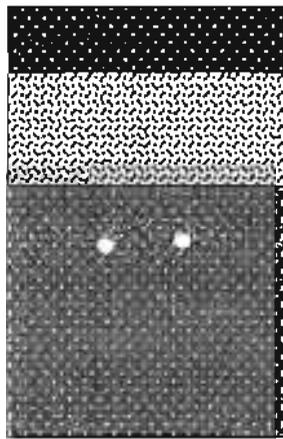
Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
<b>Latérite-ciment</b>	LS3C	20	75	7 cm BB
	LMR2C	25	65	7 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia</b>	60LNM40CB	20	55	7 cm BB
	60LS40CB			
	70LS30CB			
<b>Latérite améliorée aux concassés de silexite</b>	50SN50LS	20	55	7 cm BB
	50SE50LS	20	60	7 cm BB

BB : Béton bitumineux

**Fiche de structure n°14: T4-S3**



Revêtement

Base

Fondation

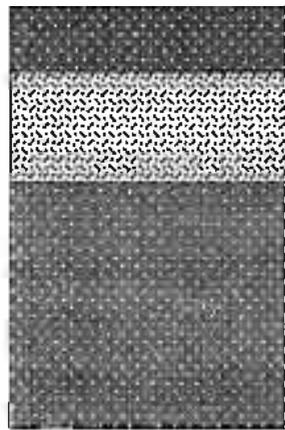
	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
<b>Latérite-ciment</b>	LS3C	20	60	7 cm BB
	LMR2C	25	55	7 cm BB
<b>Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia</b>	60LNM40CB	20	45	7 cm BB
	60LS40CB			
	70LS30CB			
<b>Latérite améliorée aux concassés de silexite</b>	50SN50LS	20	45	7 cm BB
	50SE50LS	20	45	7 cm BB

BB : Béton bitumineux

**Recommandation :**

Les structures avec une base 60LS40CB ou 70LS30CB sont à proscrire pour la classe de trafic T4 quelque soit la plate-forme

Fiche de structure n°15: T4-S4



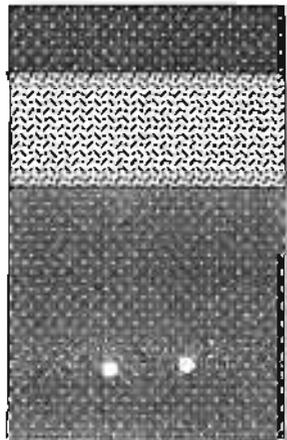
BB : Béton bitumineux

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Base	LS3C	20	45	7 cm BB
	LMR2C	25	40	7 cm BB
Fondation	60LNM40CB	20	30	7 cm BB
	60LS40CB			
	70LS30CB			
Fondation	50SN50LS	20	30	7 cm BB
	50SE50LS	20	35	7 cm BB

Recommandation :

Les structures avec une base 60LS40CB ou 70LS30CB sont à proscrire pour la classe de trafic T4 quelque soit la plate-forme

Fiche de structure n°16: T4-S5



Revêtement

Base

Fondation

	Nature Base	Epaisseur Base (cm)	Epaisseur Fondation (cm)	Revêtement : Nature et épaisseur (cm)
Latérite-ciment	LS3C	20	25	7 cm BB
	LMR2C	25	20	7 cm BB
Latérite améliorée aux concassés de calcaire de Bandia	60LNM40CB	20	15	7 cm BB
	60LS40CB			
	70LS30CB			
Latérite améliorée aux concassés de silexite	50SN50LS	20	15	7 cm BB
	50SE50LS	20	20	7 cm BB

BB : Béton bitumineux

Recommandation :

Les structures avec une base 60LS40CB ou 70LS30CB sont à proscrire pour la classe de trafic T4 quelque soit la plate-forme

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette présente étude avait pour objectif, de recenser et de cartographier les carrières de matériaux routiers de la zone ouest du Sénégal à savoir les régions de Dakar, Thiès et Diourbel. Ensuite, avec les résultats d'essais géotechniques sur ces gîtes, il était question de proposer des structures de chaussées souples fiables, suite à un dimensionnement rationnel.

Ainsi, on a constaté que cette zone offre une large gamme de matériaux utilisables en technique routière, avec une forte dominance de la latérite. La remarque générale est que la majeure partie de ces carrières est localisée dans la région de Thiès où on relève une importante quantité de graveleux latéritiques. D'autres matériaux, exploités sous forme de concassés, existent dans la zone ouest mais en quantité moindre par rapport aux latérites. Il s'agit du calcaire qui est partagé entre les régions de Dakar et de Thiès ; aussi du grès, du silicite et du basalte qui sont exploités exclusivement dans la région de Thiès. La latérite en terme de quantité et de qualité se raréfie du côté Est de la zone ; c'est-à-dire la région de Diourbel où prédominent les dunes de sables.

Des études géotechniques sur les latérites de la zone d'étude montre qu'elles sont de qualité acceptable dans l'ensemble voire quelquefois de bonne qualité. Donc la plupart des graveleux latéritiques répertoriés peuvent faire l'objet d'une amélioration au ciment ou d'une stabilisation mécanique à l'aide de concassés que l'on trouve sur cette même zone, en vue de leur utilisation en couche de base.

Ainsi, au cours de cette étude, la lithostabilisation de la latérite de Sindia et Ndakhar Mbaye par du tout-venant de calcaire 0/31.5 de Bandia a été étudié. Les résultats concluants des essais géotechniques, ont permis d'envisager l'utilisation de ces mélanges en couche de base avec les formulations suivantes : 60% de latérite de Ndakhar Mbaye + 40% de tout-venant de calcaire 0/31.5 de Bandia, 70% de latérite de Sindia + 30% de tout-venant de calcaire 0/31.5 de Bandia et 60% de latérite de Sindia + 40% de tout-venant de calcaire 0/31.5 de Bandia. Par contre ce tout-venant de calcaire, seul, ne pourrait être utilisé en couche de base à cause du fort risque d'attrition suite au compactage. Ce phénomène peut aussi arriver pour les mélanges latérite-calcaire de Bandia si le pourcentage de calcaire est élevé.

A la suite des études sur des mélanges de matériaux de la zone, des structures de chaussée fiables, dimensionnées pour une durée de vie de vingt ans, ont été proposées après vérification des contraintes.

Ce catalogue peut tout de même être complété car seule une partie des carrières a été identifiée jusqu'à présent. En complément de ce catalogue, il est envisageable de tester, dans

des études futures, des matériaux tels que le sable-ciment et le sable-bitume en couche de base et le sand-asphalte en revêtement. Ainsi, seront valorisés les sables de la région de Diourbel ce qui pourrait s'avérer plus économique dans certains cas. Aussi dans le cadre de projets de fin d'études, il est possible de vérifier l'utilisation du granulat de silexite pour la formulation de bétons bitumineux ; de ce fait le silexite qui a de bonnes caractéristiques mécaniques pourrait suppléer le basalte en revêtement.

Pour, assurer l'efficacité et la longévité des structures de ce catalogue, les recommandations suivantes doivent être mises en pratique :

⊕ avant utilisation de ce catalogue, faire des études de trafic les plus précises possibles, dans le but de déterminer la classe de trafic à entrer dans le catalogue ;

⊕ avant utilisation de ce catalogue, faire des sondages sur la plateforme dans le but de déterminer la classe du sol d'assise à entrer dans le catalogue ;

⊕ pour les couches de fondation supérieure à 25 cm, la réalisation in situ se fera par couches de 15 ou 20 cm soigneusement compactées ;

⊕ afin de choisir la structure optimale pour un endroit donné de la zone, faire une étude financière qui prendrait en compte les distances de transport des matériaux;

⊕ toujours s'assurer de la compatibilité des matériaux par des essais, avant d'utiliser une variante des structures de chaussée de ce catalogue ;

⊕ prévoir, au stade de l'élaboration du projet, un programme d'entretien de la structure choisie ; ce qui permettrait d'atteindre et certainement de dépasser la période de design.

## ANNEXES

**ANNEXE A** : Résultats des essais géotechniques

**ANNEXE B** : Présentation des fiches matériaux

**ANNEXE C** : Calcul des contraintes et déformations admissibles

**ANNEXE D** : Résultats des calculs sur Alizé

**ANNEXE E** : Cartographie de la zone

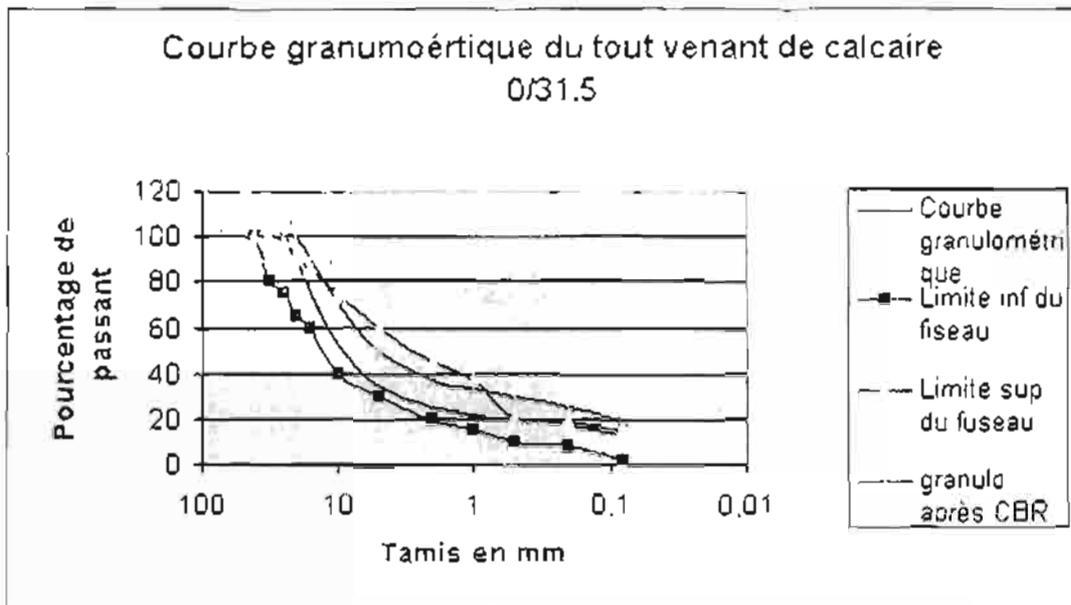
# ANNEXE A :

## Résultats des essais géotechniques

## I - Présentation des essais pour le calcaire de Bandia

### Analyse granulométrique

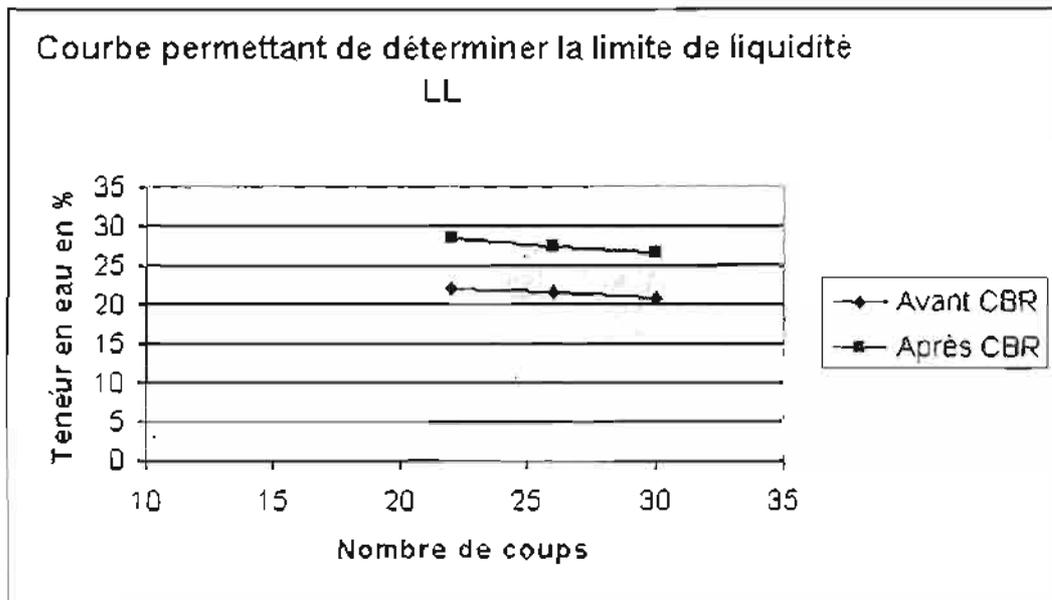
Tamis (mm)	%passant av CBR	%pass apr CBR
0,08	13	20
0,2	17	25
0,5	20	30
1	22	33
2	25	37
5	34	50
10	52	70
16	76	90
20	90	100
25	97	100
31,5	100	100
40	100	100



### Limites d'Atterberg

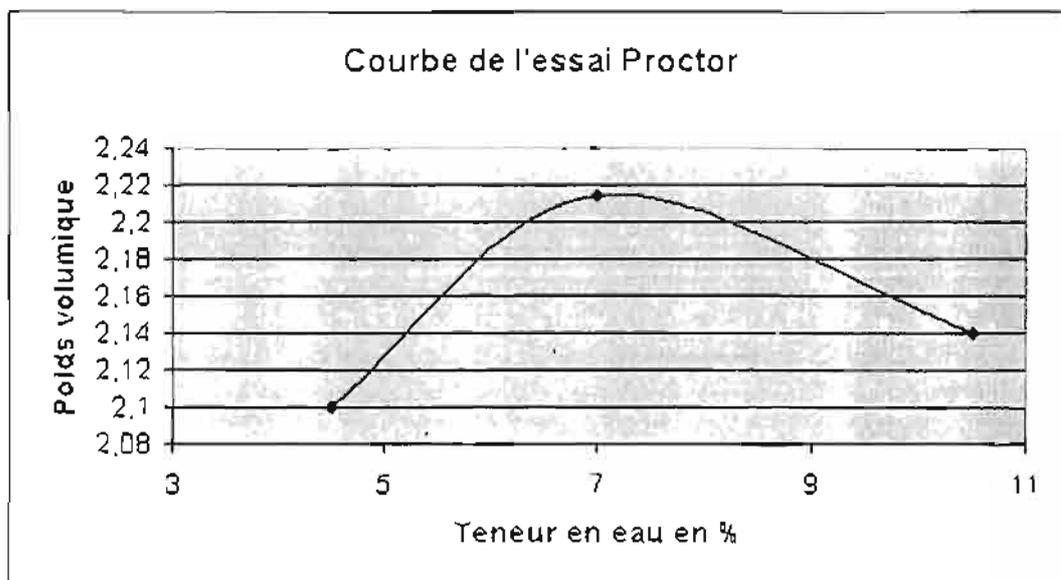
Couche étudiée	LL	LP	IP
Avant CBR	27,1	10,4	11,3
Après CBR	27,3	15	12,3

Nombre de coups	W avant	W après
18	22,7	29,6
22	22,4	28,3
26	21,8	27,5
30	20,5	26,5



Essai Proctor

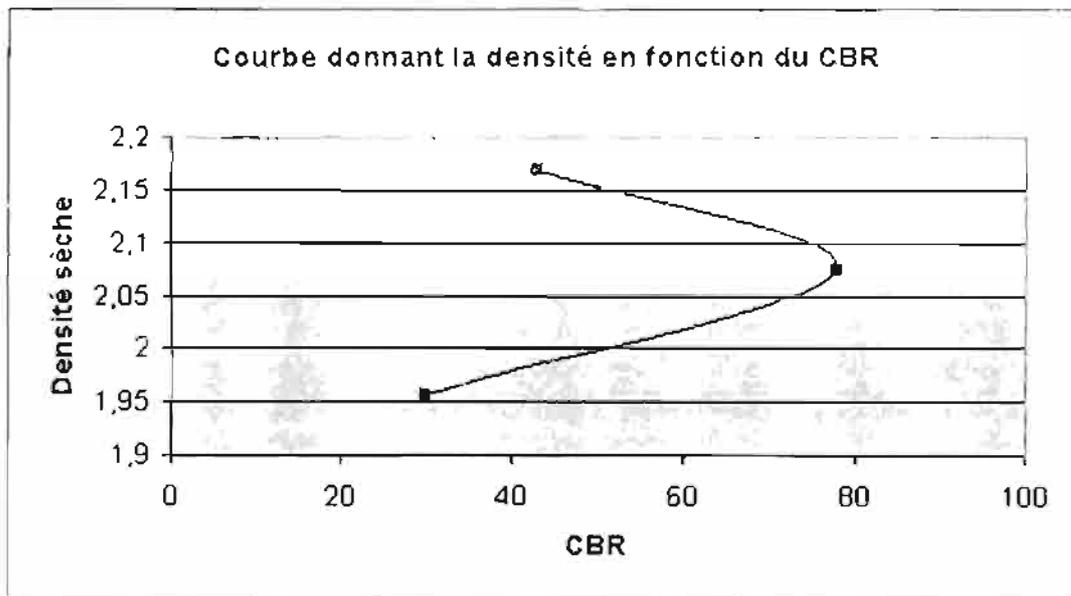
$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$
2,215	7



### Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	43	2,17
25	78	2,074
10	30	1,957

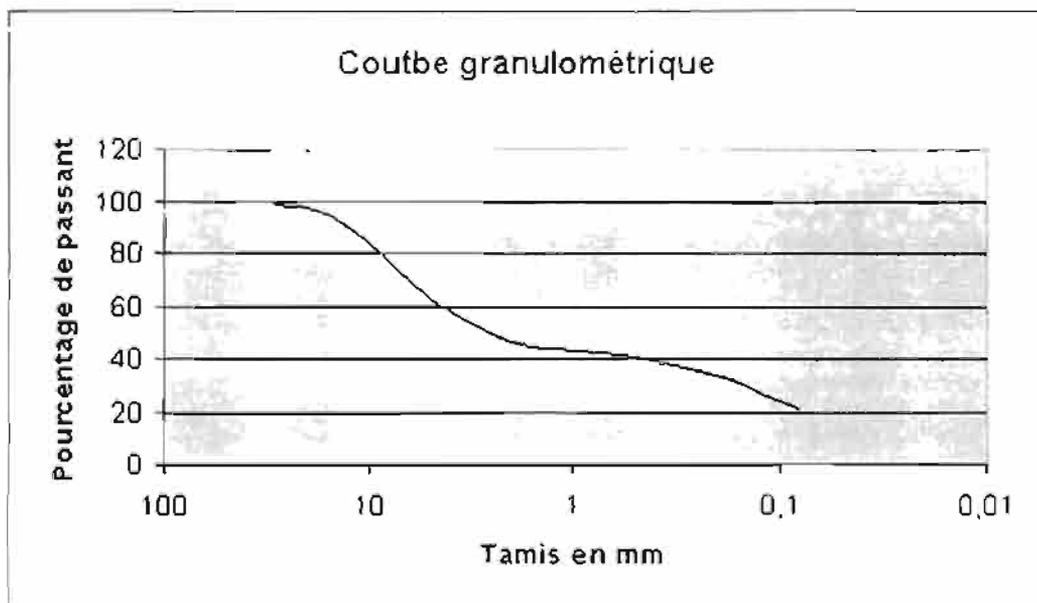
Le CBR a 93 % de l'optimum est de 78



## II - Présentation des essais de la latérite de Sindia

### Analyse granulométrique

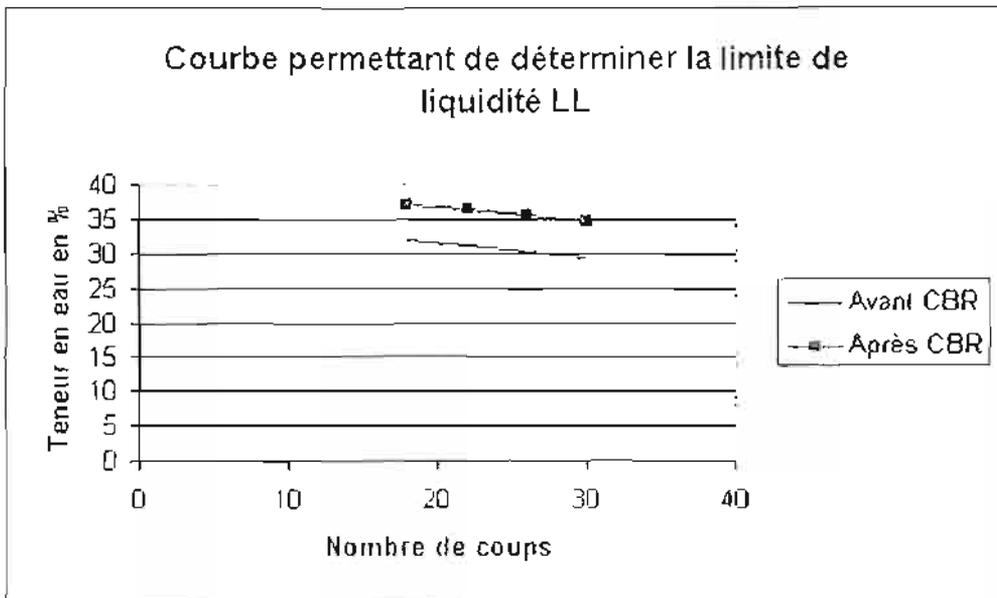
Tamis (mm)	%passant av CBR
0,08	21
0,2	34
0,5	41
1	43
2	46
5	63
10	84
16	95
20	97
25	98
31,5	100
40	100



### Limites d'Atterberg

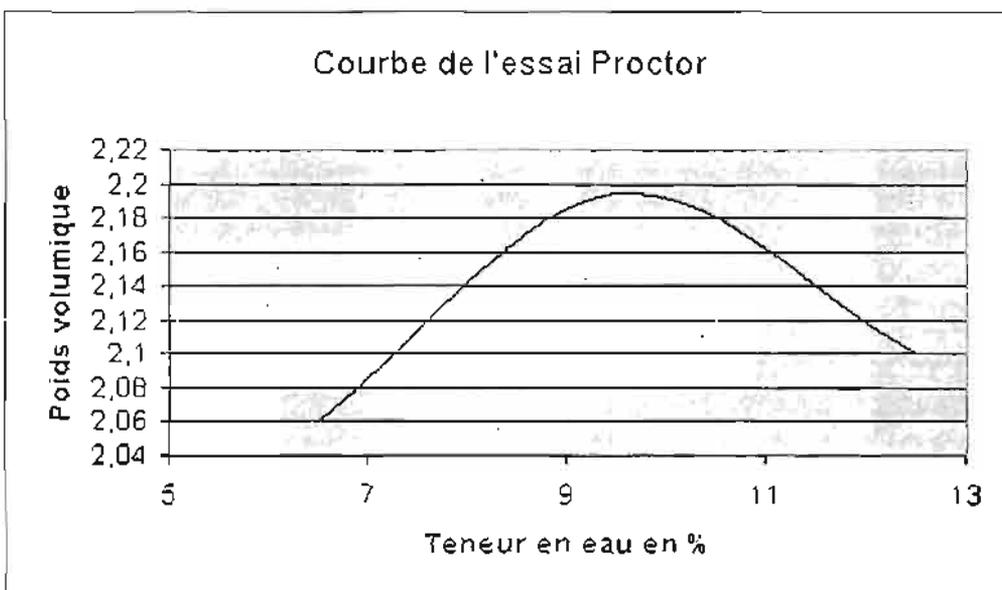
	LL	LP	IP
Avant CBR	29,7	14,95	14,75
Après CBR	35,5	19,25	16,25

Nombre de coups	W avant	W après
18	32,1	36,9
22	31	36,6
26	30,7	35,6
30	29,2	34,5



**Essai Proctor**

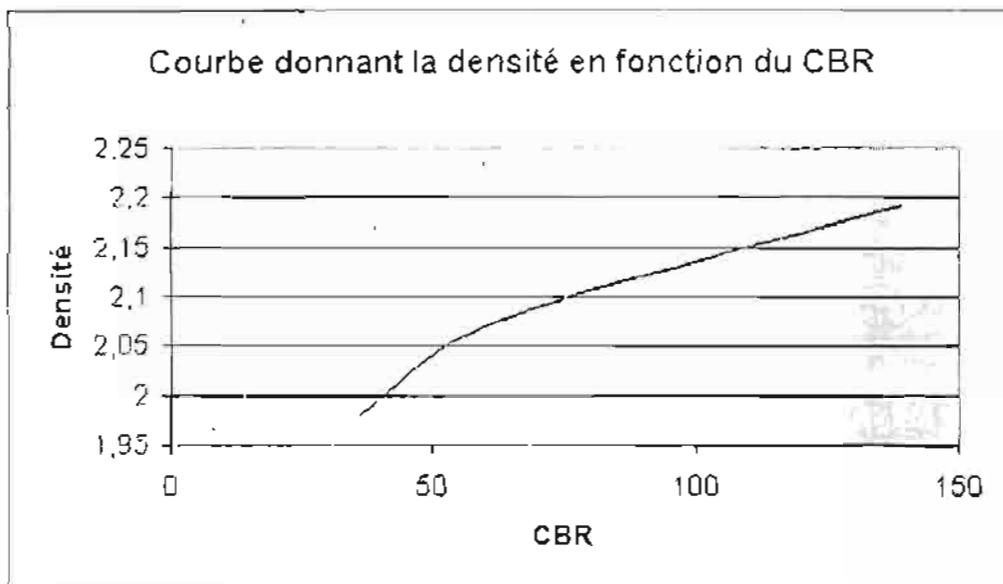
$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$
2,195	9,5



## Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	139	2,193
25	61	2,073
10	36	1,978

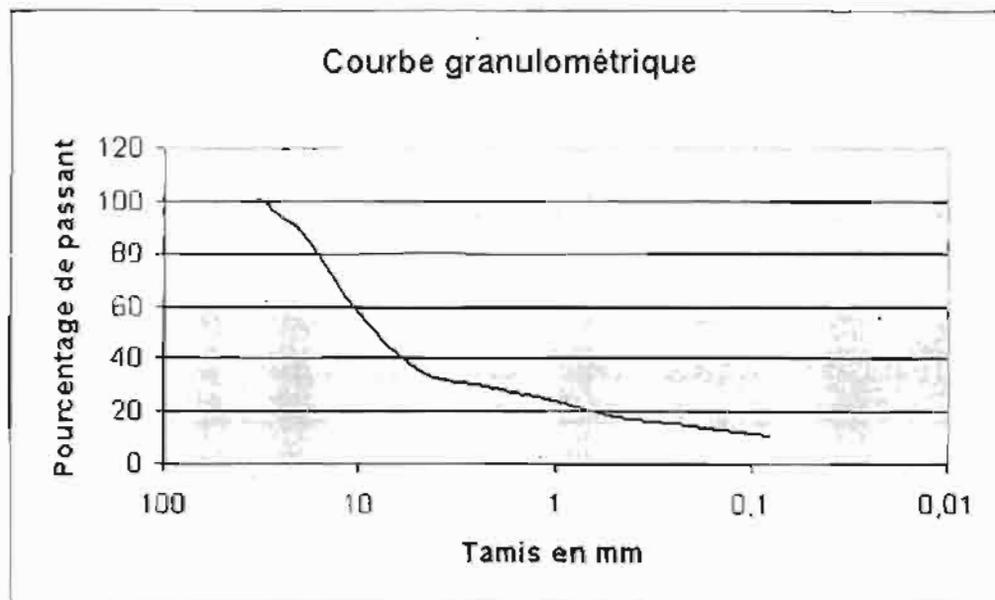
Le CBR à 95% de l'optimum Proctor est de 78



### III - Présentation des essais de la latérite de Ndakhar Mbaye

#### Analyse granulométrique

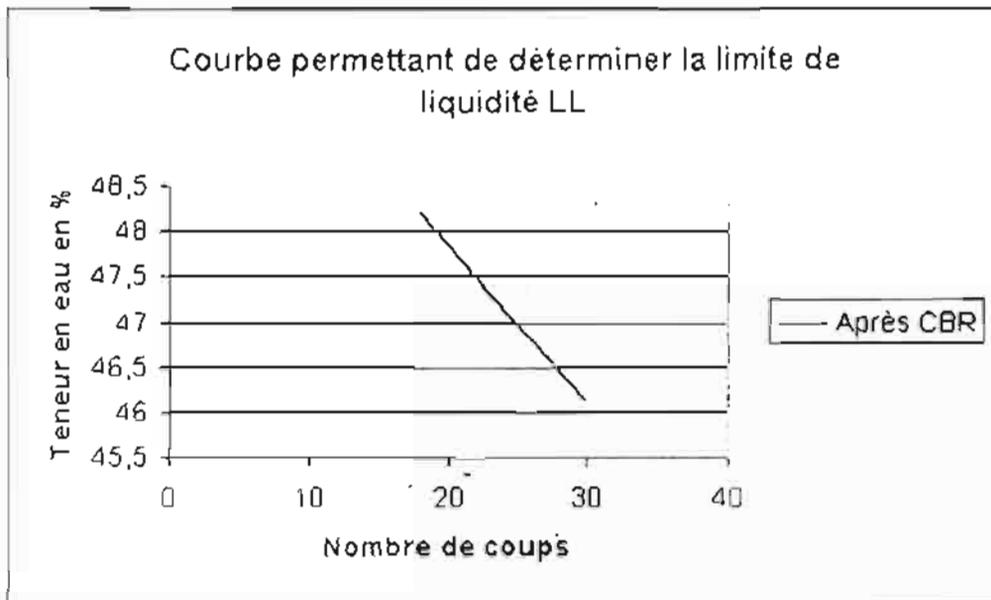
Tamis (mm)	%passant av CBR
0,08	11
0,2	15
0,5	18
1	24
2	29
5	36
10	58
16	80
20	89
25	94
31,5	100
40	100



#### Limites d'Atterberg

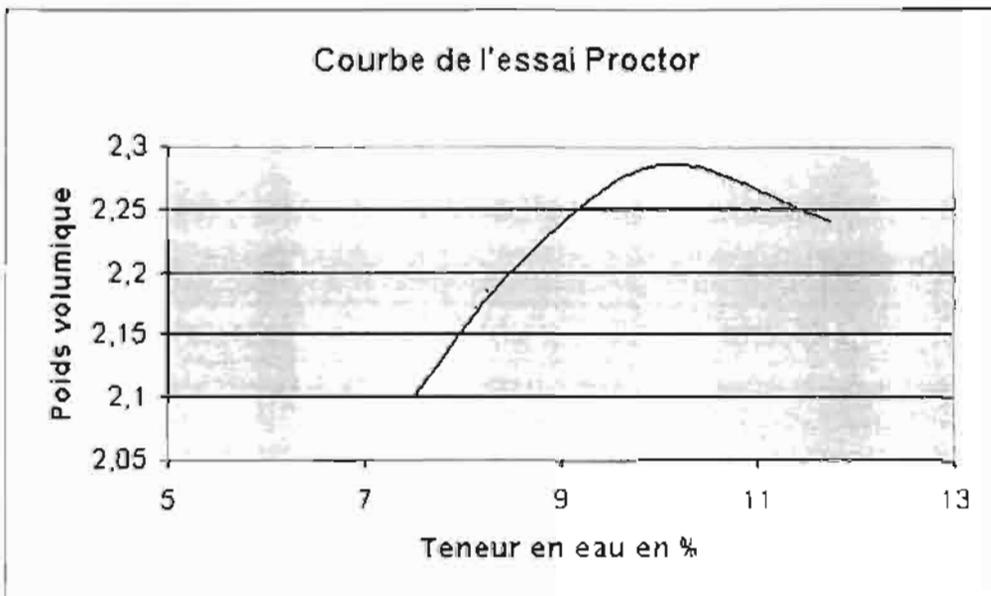
	LL	LP	IP
Avant CBR	46,4	25,2	21,2
Après CBR	42,8	23,2	19,6

Nombre de coups	W après
18	48,5
22	47,1
26	46,7
30	46,3



**Essai Proctor**

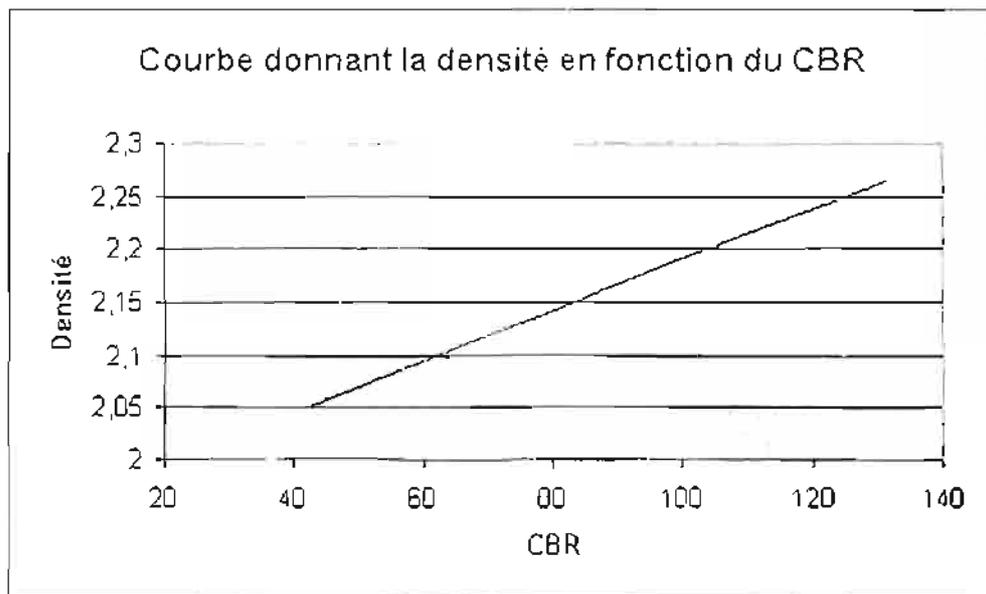
$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$
2,286	10



## Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	131	2,265
25	92	2,171
10	42	2,051

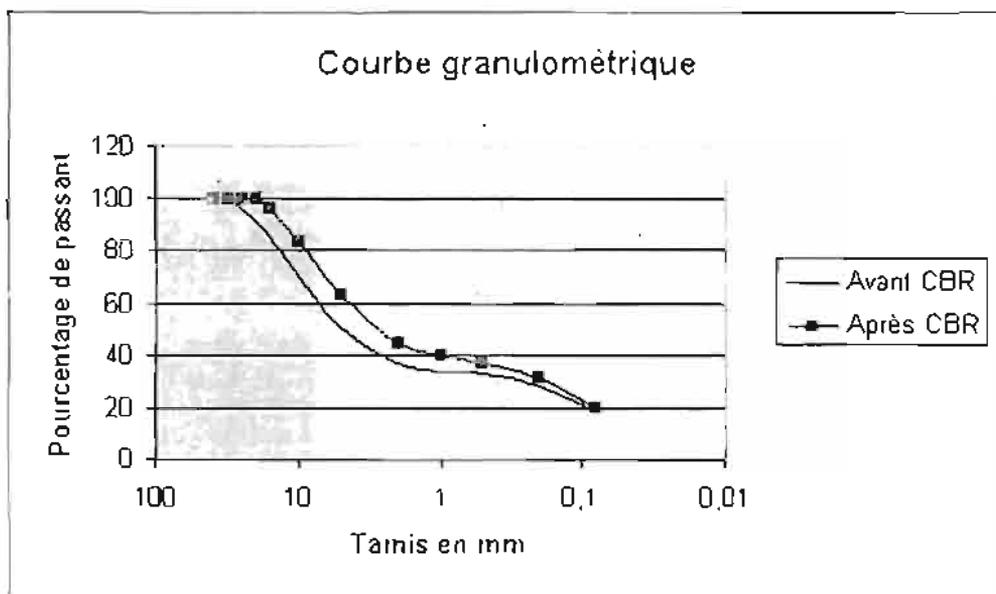
Le CBR à 95% de l'optimum Proctor est de 94



#### IV - Présentation des essais pour le mélange de 30% de calcaire 0/31,5 de Bandia et 70% de la latérite de Sindia

##### Analyse granulométrique

Tamis (mm)	%passant av CBR	%passant après CBR
0.08	18	20
0.2	28	31
0.5	33	37
1	34	40
2	37	45
5	50	63
10	70	83
16	85	96
20	91	100
25	96	100
31,5	100	100
40	100	100

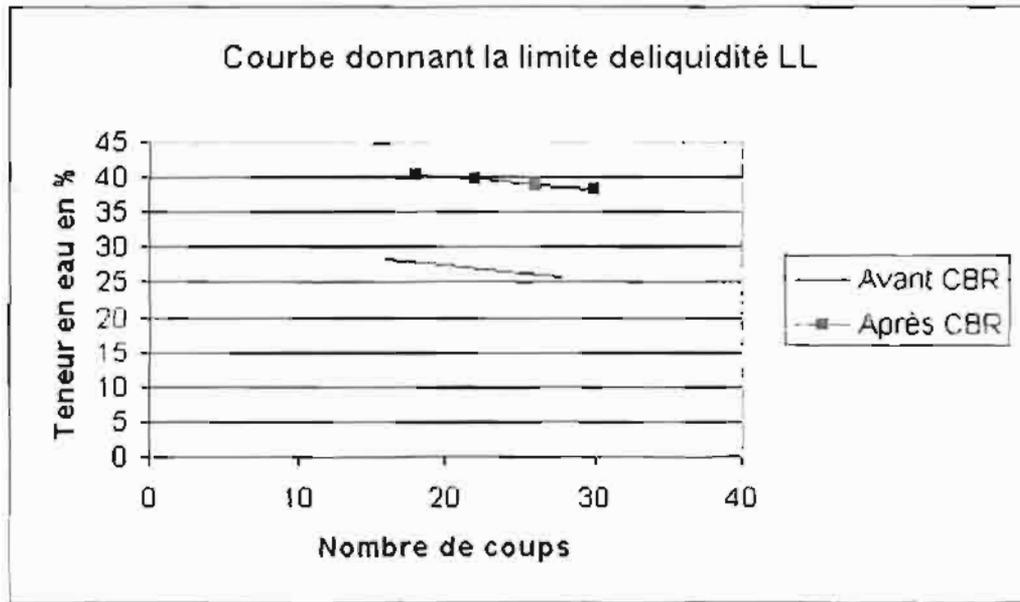


##### Limites d'Atterberg

	LL	LP	IP
Avant CBR	26,4	12,15	14,25
Après CBR	39,2	17	22,2

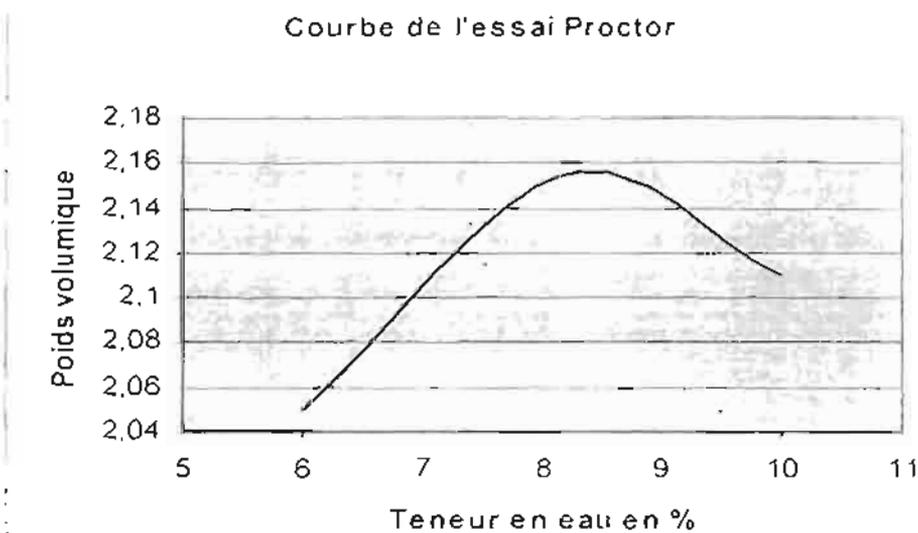
Nombre de coups	W avant
16	28,4
20	27
24	26,7
28	25,7

Nombre de coups	W après
18	40,4
22	39,5
26	39
30	38,4



### Essai Proctor

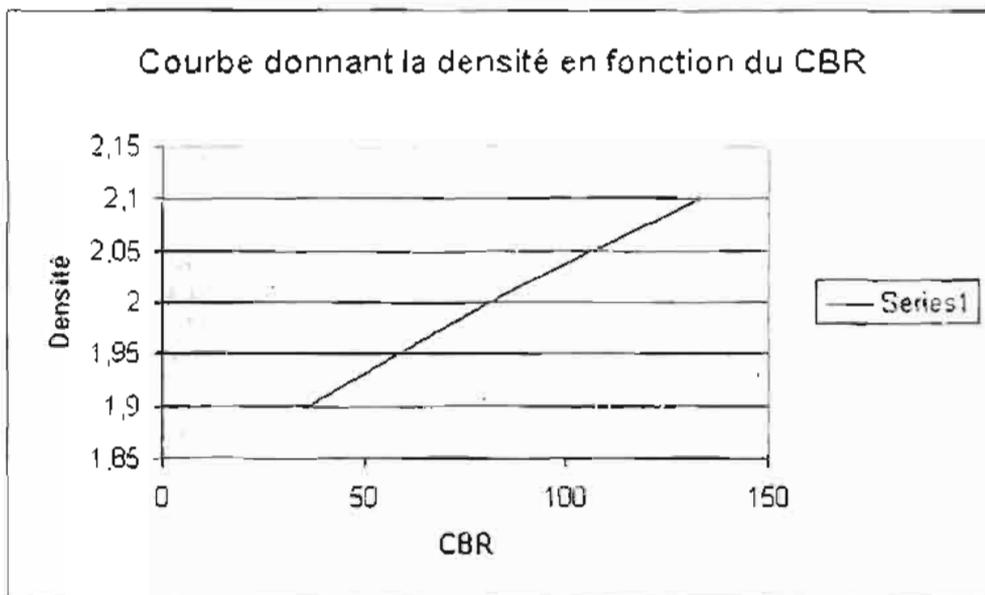
$\gamma_{max}$	$W_{opt}$
2,155	8,2



### Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	134	2,101
25	83	2,004
10	35	1,897

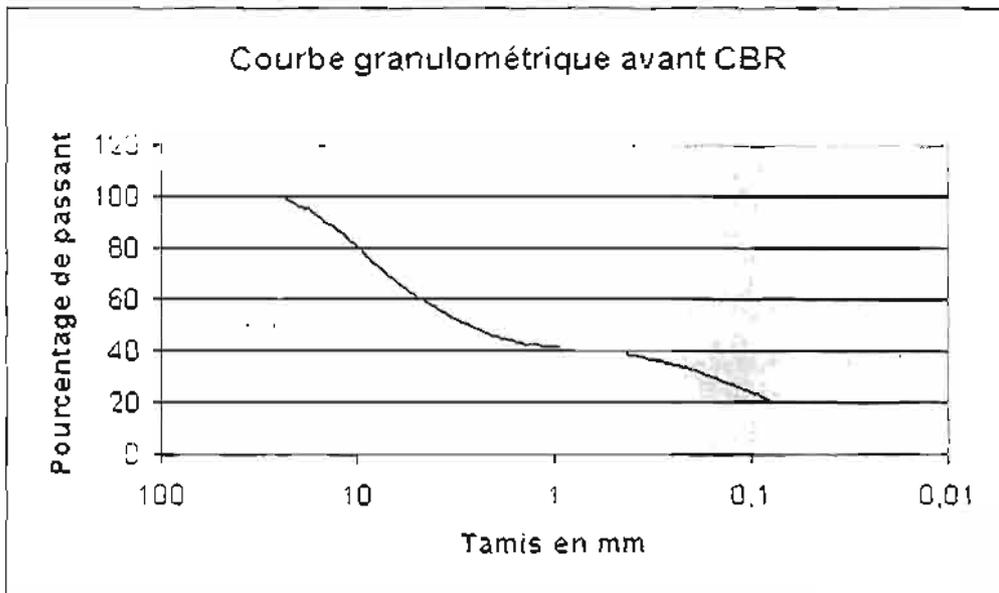
Le CBR à 95% de l'optimum Proctor est de 104



## V - Présentation des essais pour le mélange de 40% de calcaire 0/31,5 de Bandia et 60% de la latérite de Sindia

### Analyse granulométrique

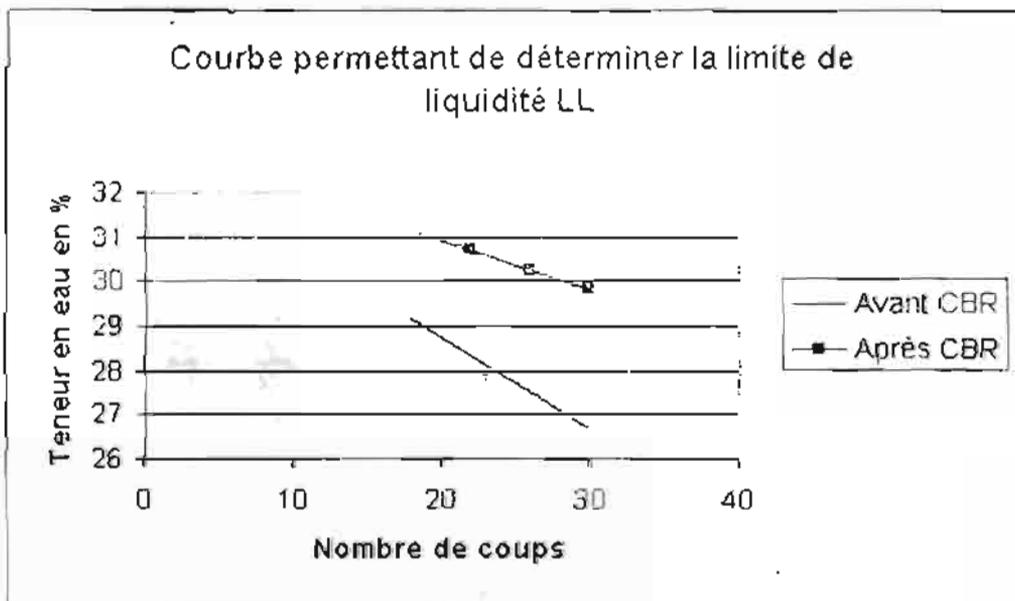
Tamils (mm)	%passant av CBR
0,08	21
0,2	33
0,5	40
1	42
2	46
5	61
10	81
16	93
20	96
25	100
31,5	100
40	100



### Limites d'Atterberg

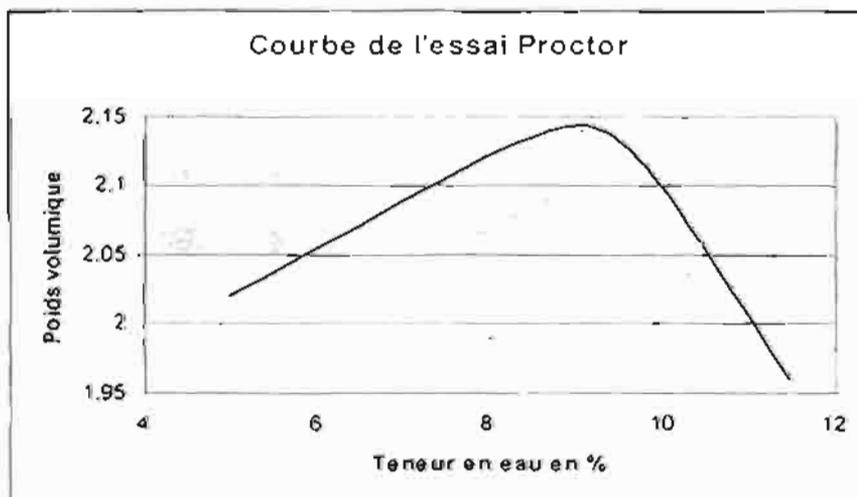
	LL	LP	IP
Avant CBR	27,2	13,4	13,8
Après CBR	30,3	13,8	16,4

Nombre de coups	W avant	W après
18	29,3	31
22	28,3	30,8
26	27,2	30,4
30	26,9	29,7



### Essai Proctor

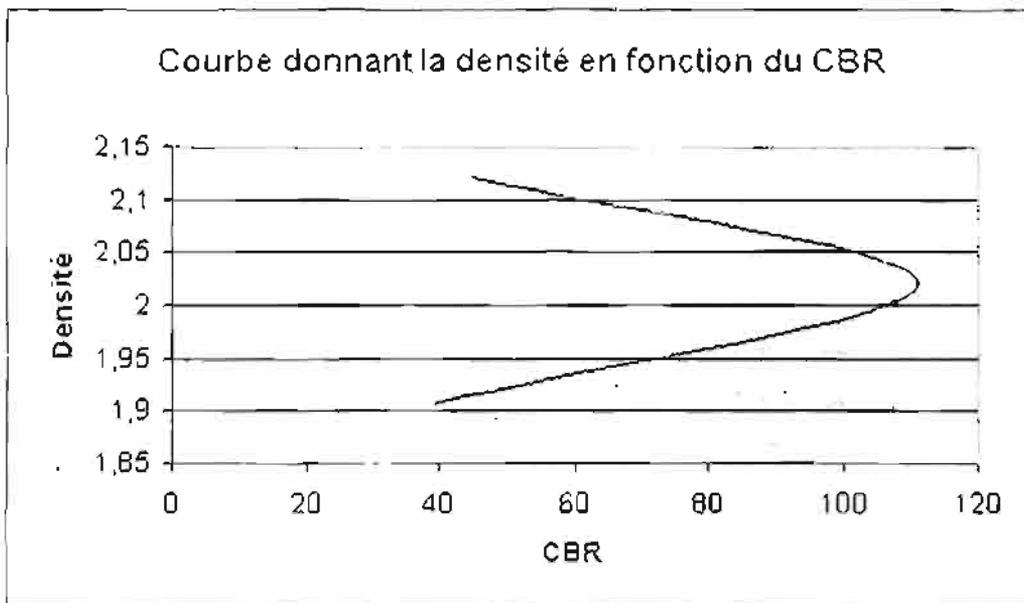
$\gamma_{\text{dmax}}$	$W_{\text{opt}}$
2,14	8,7



### Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	45	2,12
25	111	2,019
10	39	1,906

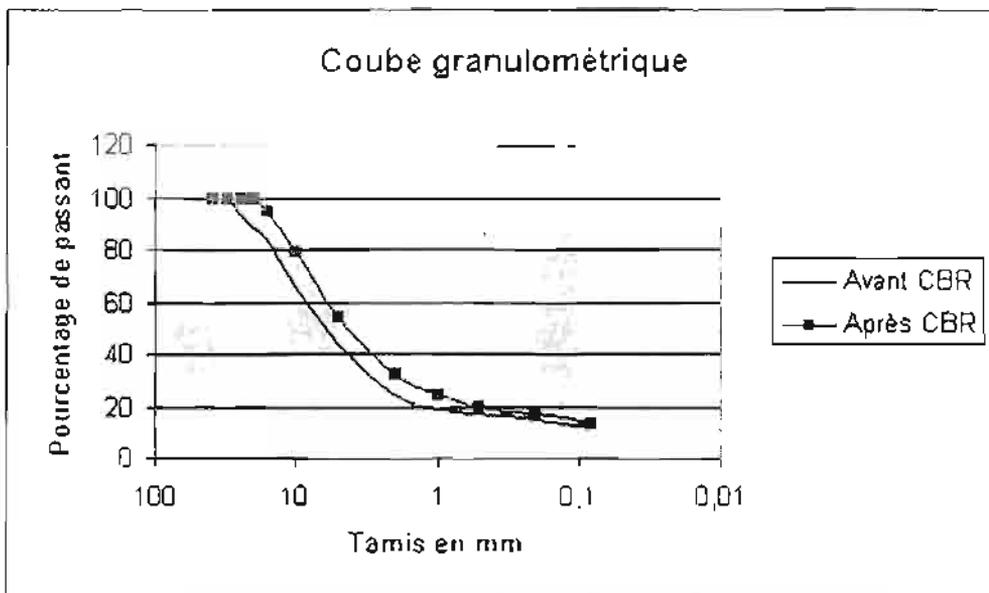
Le CBR à 94% de l'optimum Proctor est de 111



VI - Présentation des essais pour le mélange de 30% de calcaire 0/31,5 de Bandia et 70% de la latérite de Ndakhar Mbaye

Analyse granulométrique

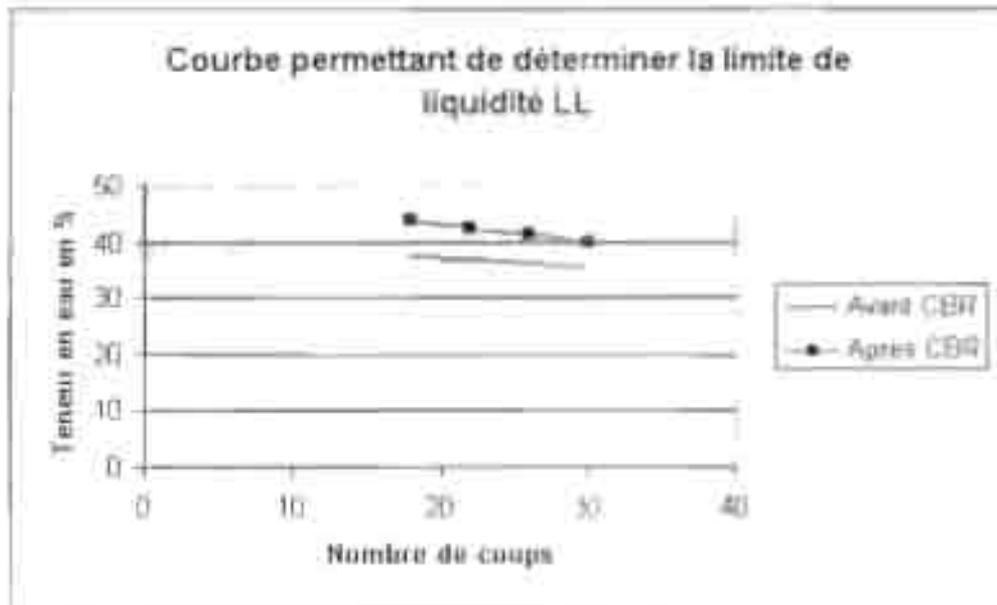
Tamis (mm)	%passant avant CBR	%passant après CBR
0,08	12	13
0,2	15	17
0,5	17	20
1	19	24
2	24	32
5	44	54
10	66	79
16	84	95
20	89	100
25	93	100
31,5	100	100
40	100	100



Limites d'Atterberg

	LL	LP	IP
Avant CBR	36,3	17,35	18,95
Après CBR	40,8	22,8	18

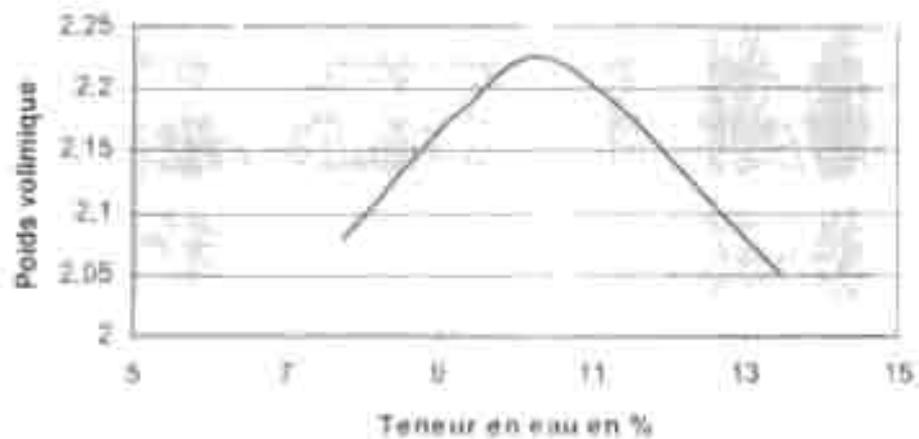
Nombre de coups	W avant	W après
18	37,5	43,7
22	36,8	42,4
26	36,1	41,1
30	35,7	40



### Essai Proctor

Ymax	Wopt
2,22	10,6

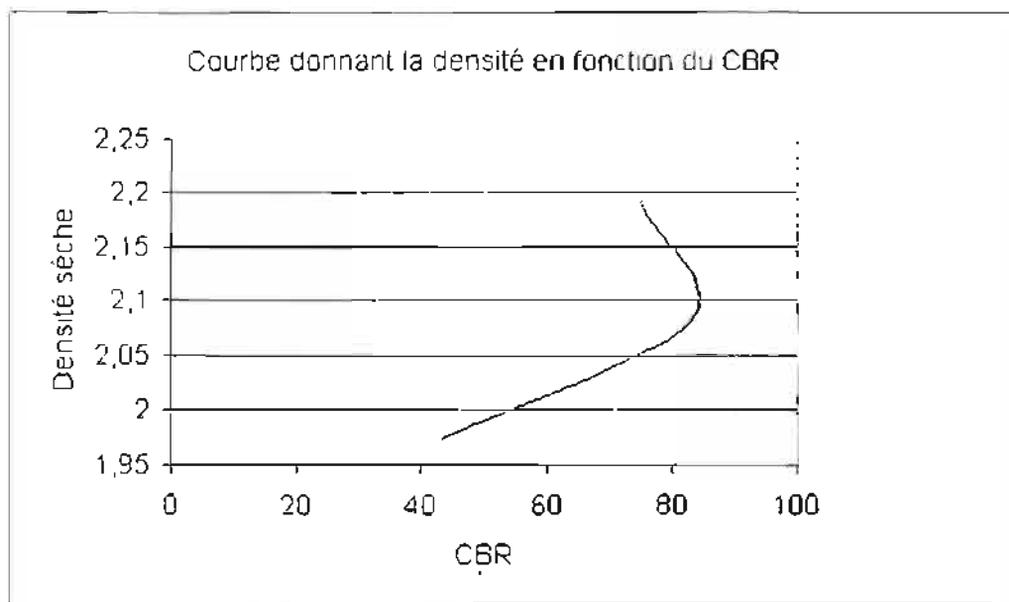
### Courbe de l'essai Proctor



### Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	75	2,191
25	83	2,082
10	43	1,974

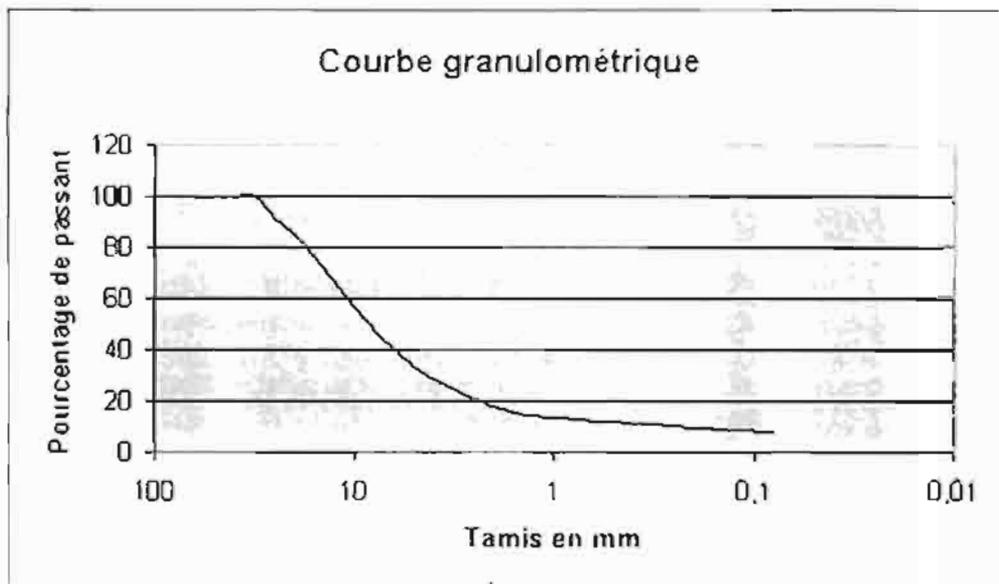
Le CBR à 93% de l'optimum est de 83



**VII - Présentation des essais pour le mélange de 40% de calcaire 0/31,5 de Bandia et 60% de la latérite de Ndakhar Mbaye**

**Analyse granulométrique**

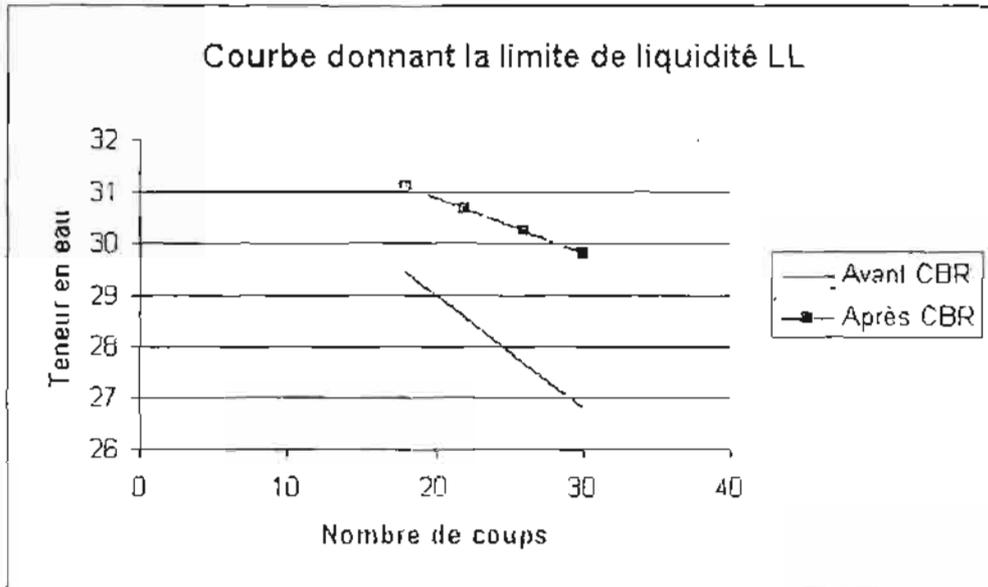
Tamis (mm)	%passant av CBR
0,08	8
0,2	10
0,5	12
1	14
2	18
5	34
10	57
16	77
20	86
25	91
31,5	100
40	100



**Limites d'Atterberg**

	LL	LP	IP
Avant CBR	27,3	14,75	12,55
Après CBR	30,3	13,85	16,45

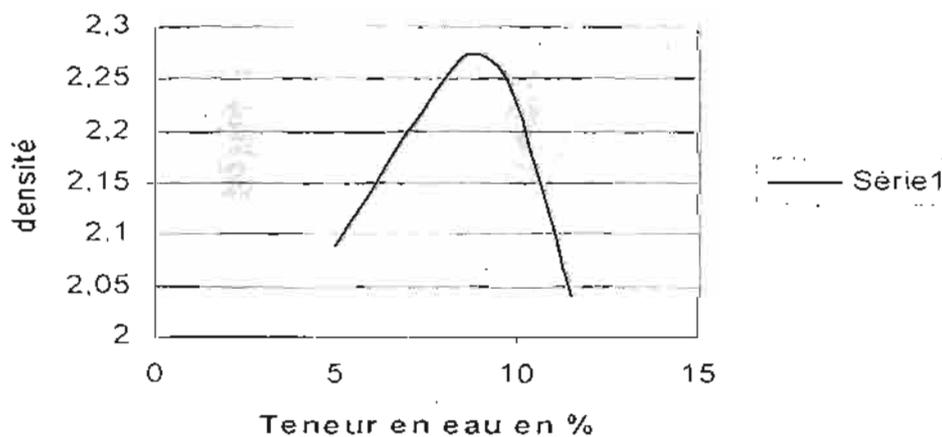
Nombre de coups	W avant	W après
18	29,7	31
22	28,3	30,8
26	27,5	30,4
30	27	29,7



### Essai Proctor

$\gamma_{dmax}$	$W_{opt}$
2,275	8,5

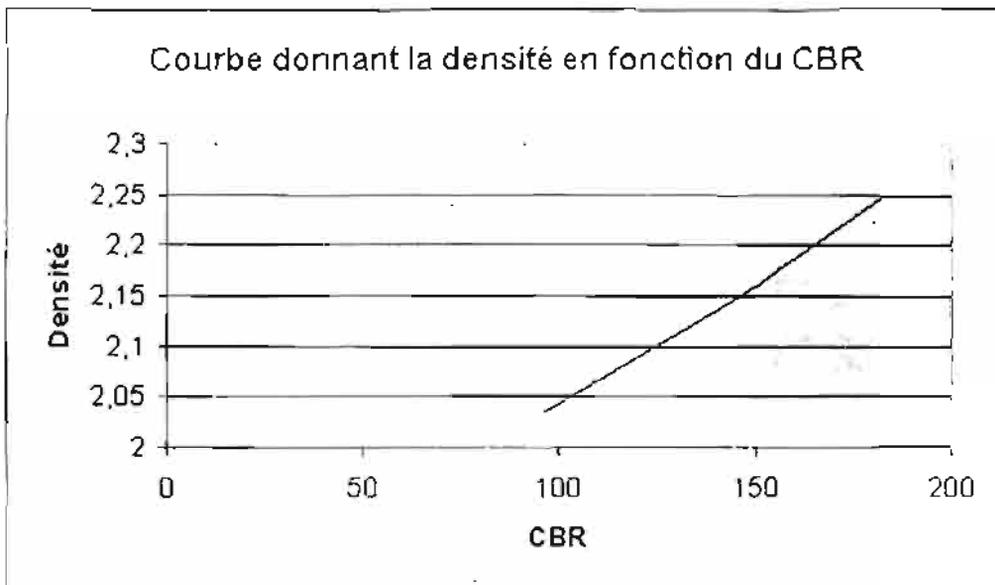
**Courbe de l'essai Proctor**



### Essai CBR

Nombre de coups	CBR	densité sèche
55	182	2,248
25	146	2,149
10	96	2,035

Le CBR à 95% de l'optimum Proctor est de 146



# ANNEXE B :

## *Présentation des fiches matériaux*

LATERITE CRUE de *Pout Diack* I (G13)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	12 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	> 75	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	18 %	≤ 30	≤ 20
IP	45 / 43	≤ 22	≤ 15
δ <sub>dmax</sub>	2.127	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	38	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	0.08	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
Wopt	11.0 %		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	100	100	100	95 - 100
31.5	100	100	95 - 100	85 - 100
20	100	100	75 - 100	60 - 100
10	85	90	58 - 100	35 - 90
5	51	62	40 - 78	20 - 75
2	22	32	28 - 65	12 - 50
1	20	27	22 - 56	10 - 40
0.5	18	26	18 - 50	7 - 35
0.08	11	18	5 - 35	4 - 20

LATERITE CRUE de *Pout Diack 2* (G13)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	20 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	> 75	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	21 %	≤ 30	≤ 20
IP	30 / 42	≤ 22	≤ 15
$\delta_{dmax}$	1.847	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	48	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	0.05	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
Wopt	14.2 %		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	100	100	100	95 - 100
31.5	100	100	95 - 100	85 - 100
20	98	100	75 - 100	60 - 100
10	79	90	58 - 100	35 - 90
5	45	65	40 - 78	20 - 75
2	23	32	28 - 65	12 - 50
1	22	27	22 - 56	10 - 40
0.5	20	26	18 - 50	7 - 35
0.08	16	21	5 - 35	4 - 20

LATERITE CRUE de *Pout Diack 3* (G1 1)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	27 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	> 100	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	20 %	≤ 30	≤ 20
IP	19 / 17	≤ 22	≤ 15
δ <sub>dmax</sub>	2.027	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	67	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	0.02	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
Wopt	12.8 %		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	100	100	100	95 - 100
31.5	100	100	95 - 100	85 - 100
20	89	100	75 - 100	60 - 100
10	64	82	58 - 100	35 - 90
5	45	57	40 - 78	20 - 75
2	30	38	28 - 65	12 - 50
1	24	29	22 - 56	10 - 40
0.5	23	27	18 - 50	7 - 35
0.08	19	20	5 - 35	4 - 20

LATERITE CRUE de *Sangué* (G1 2)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	40 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	133	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80 $\mu$ m) : f	24 %	≤ 30	≤ 20
IP	19 / 27	< 22	≤ 15
$\delta_{dmax}$	2.049	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 15 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	67	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	0.13	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
Wopt	10.2 %		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80 $\mu$ m) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	88	100	100	95 - 100
31.5	82	100	95 - 100	85 - 100
20	77	100	75 - 100	60 - 100
10	58	82	58 - 100	35 - 90
5	36	60	40 - 78	20 - 75
2	22	41	28 - 65	12 - 50
1	20	37	22 - 56	10 - 40
0.5	18	34	18 - 50	7 - 35
0.08	9	24	5 - 35	4 - 20

LATERITE CRUE de *Ndakar Mbaye* (G1 I)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	27 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	> 133	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	11-16 %	≤ 30	≤ 20
IP	22 / 21	≤ 22	≤ 15
δ <sub>dmax</sub>	2.05-2.28	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	73 - 94	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	0.02	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
W <sub>opt</sub>	10.6 %		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	100	100	100	95 - 100
31.5	100	100	95 - 100	85 - 100
20	83	100	75 - 100	60 - 100
10	54	79	58 - 100	35 - 90
5	35	63	40 - 78	20 - 75
2	19	38	28 - 65	12 - 50
1	18	28	22 - 56	10 - 40
0.5	15	26	18 - 50	7 - 35
0.08	12	16	5 - 35	4 - 20

### LATERITE CRUE de *Sindia* (G1 I)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	20 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	> 75	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	20 %	≤ 30	≤ 20
IP	19 / 18	≤ 22	≤ 15
$\delta_{dmax}$	2.03-2.1	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	63 - 83	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	0 - 0.05	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
Wopt (%)	12.6 - 14.2		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	100	100	100	95 - 100
31.5	100	100	95 - 100	85 - 100
20	99	100	75 - 100	60 - 100
10	82	89	58 - 100	35 - 90
5	61	71	40 - 78	20 - 75
2	40	47	28 - 65	12 - 50
1	34	38	22 - 56	10 - 40
0.5	30	34	18 - 50	7 - 35
0.08	17	20	5 - 35	4 - 20

### LATERITE CRUE de *Mont Rolland* (G1 1)

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation	Base
Dimension maximale	40 mm	≤ 60 mm	≤ 50 mm
Cu	> 100	≥ 5	≥ 5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm)	17 %	≤ 30	≤ 20
IP	18/19	≤ 22	≤ 15
δ <sub>max</sub>	2.18	≥ 1.9 à 2	≥ 2.1
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	66 - 92	> 30 > 35 pour T4 et T5	> 80 60 admis T1
Gonflement linéaire	nul	entre 1 et 2 %	≤ 1 %
Wopt	10 - 11.7		

	T1 - T2	T3 - T4	T5
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) : f	≤ 35	≤ 30	≤ 30
IP (Fondation)	≤ 30	≤ 20	≤ 20
IP (Base)	≤ 22	≤ 20	≤ 18

Tamis (mm)	Valeurs obtenues		Recommandations	
	% passant avant compactage	% passant après compactage	Couche de Fondation	Couche de Base
40	100	100	100	95 - 100
31.5	97	100	95 - 100	85 - 100
20	91	100	75 - 100	60 - 100
10	70	78	58 - 100	35 - 90
5	44	52	40 - 78	20 - 75
2	28	30	28 - 65	12 - 50
1	24	24	22 - 56	10 - 40
0.5	20	22	18 - 50	7 - 35
0.08	14	17	5 - 35	4 - 20

## GRAVE NATURELLE

### *Calcaire de Bandia*

#### Spécifications sur la grave naturelle 0/31.5

	Valeurs obtenues	fondation	Base
LA	27.76	< 50	< 40
MDE	47	< 30	< 25
Cu		> 10	> 12
%passant tamis 200	13%	> 4 si IP = 0	> 4 si IP = 0
IP	11.3	< 12	< 6

Tamis (mm)	Valeurs obtenues	% passant
40	100	100
31.5	100	80 - 100
20	90	65 - 90
10	52	40 - 75
5	34	30 - 60
2	25	20 - 45
1	22	15 - 37
0.5	20	10 - 20
0.08	13	2 - 15
		si IP ≠ 0
		4-5
		si IP = 0

## LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 30% calcaire 0/31.5 de Bandia + 70% de latérite de Ndakhar Mbaye

Spécifications sur latérite utilisée : Sindia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	19	20 à 50
% fines	16	10 à 25
IP	21 - 22	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	73	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

Spécifications sur matériaux d'ajout : tout venant 0/31.5 de calcaire de Bandia

	Valeurs obtenus	Recommandations	Tamis (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
% passant à 2 mm	25	< 30	40	100	100
% fines	13	< 18	31.5	100	95 - 100
IP	11.3	0	20	90	64 - 90
CBR à 95 % de l'OPM	88	> 80	10	52	40 - 70
$\delta_{dmax}$	2.215	$\geq 2.2$	5	34	30 - 60
ES		> 50	2	25	20 - 42
MDE	47	< 30	0.5	20	10 - 26
LA	27.76	< 12	0.08	13	2 - 10
ACV		< 25			

### Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	32
% fines	13
IP	19/18
CBR à 95 % de l'OPM	95
$\delta_{dmax}$	2.22
Wopt	10.6

### LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 40% calcaire 0/31.5 de Bandia + 60% de latérite de Ndakar Mboye

Spécifications sur latérite utilisée : Sindia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	19	20 à 50
% fines	16	10 à 25
IP	21 - 22	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	73	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

Spécifications sur matériaux d'ajout : tout venant 0/31.5 de calcaire de Bandia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 2 mm	25	< 30
% fines	13	< 18
IP	11.3	0
CBR à 95 % de l'OPM	88	> 80
$\delta_{dmax}$	2.215	$\geq 2.2$
ES		> 50
MDE	47	< 30
LA	27.76	< 12
ACV		< 25

Tamis (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
40	100	100
31.5	100	95 - 100
20	90	64 - 90
10	52	40 - 70
5	34	30 - 60
2	25	20 - 42
0.5	20	10 - 26
0.08	13	2 - 10

Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	18
% fines	8
IP	13
CBR à 95 % de l'OPM	150
$\delta_{dmax}$	2.275
Wopt	8.5

### LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 30% calcaire 0/31.5 de Bandia + 70% de latérite de Sindia

Spécifications sur latérite utilisée : Sindia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	46	20 à 50
% fines	21	10 à 25
IP	14.75	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	67	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

Spécifications sur matériaux d'ajout : tout venant 0/31.5 de calcaire de Bandia

	Valeurs obtenus	Recommandations	Tamais (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
% passant à 2 mm	25	< 30	40	100	100
% fines	13	< 18	31.5	100	95 - 100
IP	11.3	0	20	90	64 - 90
CBR à 95 % de l'OPM	88	> 80	10	52	40 - 70
$\delta_{dmax}$	2.215	$\geq 2.2$	5	34	30 - 60
ES		> 50	2	25	20 - 42
MDE	47	< 30	0.5	20	10 - 26
LA	27.76	< 12	0.08	13	2 - 10
ACV		< 25			

Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	45
% fines	20
IP	14
CBR à 95 % de l'OPM	99
$\delta_{dmax}$	2.155
Wopt	8.2

## LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 40% calcaire 0/31.5 de Bandia + 60% de latérite de Sindia

### Spécifications sur latérite utilisée

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	46	20 à 50
% fines	21	10 à 25
IP	14.75	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	67	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

### Spécifications sur matériaux d'ajout : tout venant 0/31.5 de calcaire de Bandia

	Valeurs obtenus	Recommandations	Tamis (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
% passant à 2 mm	25	< 30	40	100	100
% fines	13	< 18	31.5	100	95 - 100
IP	11.3	< 0	20	90	64 - 90
CBR à 95 % de l'OPM	88	> 80	10	52	40 - 70
$\delta_{dmax}$	2.215	$\geq 2.2$	5	34	30 - 60
ES		> 50	2	25	20 - 42
MDE	47	< 30	0.5	20	10 - 26
LA	27.76	< 12	0.08	13	2 - 10
ACV		< 25			

### Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	46
% fines	21
IP	14/16
CBR à 95 % de l'OPM	119
$\delta_{dmax}$	2.14
Wopt	8.7

## LATERITE-CIMENT

*Mélange de la latérite de SINDIA + 3% de ciment*

Spécifications sur latérite crue

Propriétés	Valeurs obtenues	Fondation (T ≥ T3)	Base (T1 - T4)
Dimension maximale	20	10 - 50 mm	10 - 50 mm
% de fines (%de passant au tamis de 80µm) . f	20%	≤ 35	≤ 35
[P	19 - 18	≤ 30	≤ 25
Module de plasticité m x IP		≤ 2500	≤ 2000
Teneur en matières organiques		≤ 1.5 %	≤ 1 %
CBR à 95% de l'OPM	83 - 63	≥ 40	≥ 60

Spécification sur mélange

Dosage en ciment 2 à 3 %

Hauteur entre 15 et 25 cm

	Valeurs obtenues	Fondation	Base
		T3 - T5	T1-T3 et T4 parfois
- Résistance à la compression après 7 jours de cure à l'air ( Rc ) en bars		10	Entre 14 et 30
- Résistance à la compression après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau ( R'c ) en bars		5	
- Rapport $\frac{Rc}{R'c}$		0.5	
- Compression diamétrale à 28 jours (RT28) en bars		≥ 3	
- CBR ( après 7 jours de cure à l'air )			
- CBR ( après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau )		≥ 80	≥ 160

## BETONS BITUMINEUX

Spécification sur les granulats : basalte de COMICA

	Valeurs obtenues	Valeurs recommandées
LA	9.6	< 22
ES		> 50
MDE	8.8	≤ 15
Rapport de concassage		≥ 4
IP	0	= 0
% de vides		entre 6 et 8 %

Tamis (mm)	Valeurs obtenues	Granulométrie des enrobés denses, fuseau CEBTP		
		0 / 10		0 / 14
20	100			100
14	100	100	100	95 - 100
10	87	80 - 100	95 - 100	75 - 100
6.3	77	60 - 100	65 - 92	50 - 88
2	48	25 - 75	25 - 65	23 - 60
0.2	15	6 - 25	6 - 20	6 - 20
0.08	6	3 - 7	3 - 8	3 - 8

Spécifications sur mélange

	Valeurs obtenues	Valeurs recommandées
<ul style="list-style-type: none"> <li>Essai Marshall à 60°C</li> </ul>		
Stabilité	2833 kg	> 1000 kg
Compacité	97.7 %	> 95 %
Fluage	3.6	< 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>Essai Duriez dilaté à 18°C</li> </ul>		
Résistance à la compression (Rc) en bars		> 6 Mpa si bitume 60/70 > 7 Mpa si bitume 40/50
Rapport R <sub>c</sub> / Rc		> 0.75
Compacité		92 à 95 %

**GRAVE NON TRAITEE**  
*Silexite cru, fraction 0/31.5 non écrêtée*

	Valeurs obtenues	Valeurs recommandées	
		Couche de Fondation	Couche de Base
LA	9	< 35	< 30
MDE	21.4	< 20	< 12
ES	65	> 30	> 40
% passant tamis n°200 (f)	3 %	4 < f < 10 si IP=0	4 < f < 10 si IP=0
ACV	.	< 25	< 25
IP	0	< 6	< 6
IC		> 60	> 80
CBR à 95 % de l'OPM	183		
$\gamma_{d \max}$	2.09		
Wopt	11.2		

Tamis ( mm )	% passant obtenu	% passant recommandé	
		0 / 31.5	0 / 40
50	100		100
40	100	100	95 - 100
31.5	98	95 - 100	85 - 97
20	86	64 - 90	65 - 90
10	56	40 - 70	40 - 75
6.3	50	30 - 60	30 - 63
2	32	20 - 42	20 - 45
0.5	19	10 - 26	12 - 30
0.08	8	2 (4) - 10	4 - 12

LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 70% silexite 0/31.5 non écrêté + 30% de latérite de Sindia

Spécifications sur latérite utilisée : Sindia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	20 / 42	20 à 50
% fines	10 / 20	10 à 25
IP	19 / 18	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	63	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

Spécifications sur matériaux d'ajout : silexite non écrêté 0/31.5

	Valeurs obtenus	Recommandations	Tamisé (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
% passant à 2 mm	32	< 30	40	100	100
% fines	8	< 18	31.5	98	95 - 100
IP	0	0	20	86	64 - 90
CBR à 95 % de l'OPM	183	> 80	10	56	40 - 70
$\delta_{dmax}$	2.09	$\geq 2.2$	5	32	30 - 60
ES		> 50	2	25	20 - 42
MDE	21.4	< 30	0.5	19	10 - 26
LA	9	< 12	0.08	8	2 - 10
ACV		< 25			

Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	38
% fines	12
IP	0
CBR à 95 % de l'OPM	281
$\delta_{dmax}$	2.16
Wopt	9.1

### LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 60% silexite 0/31.5 non écrêté + 40% de latérite de Sindia

Spécifications sur latérite utilisée : Sindia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	20 / 42	20 à 50
% fines	10 / 20	10 à 25
IP	19 / 18	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	63	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

Spécifications sur matériaux d'ajout : silexite non écrêté 0/31.5

	Valeurs obtenus	Recommandations	Tamis (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
% passant à 2 mm	32	< 30	40	100	100
% fines	8	< 18	31.5	98	95 - 100
IP	0	0	20	86	64 - 90
CBR à 95 % de l'OPM	183	> 80	10	56	40 - 70
$\delta_{dmax}$	2.09	$\geq 2.2$	5	32	30 - 60
ES		> 50	2	25	20 - 42
MDE	21.4	< 30	0.5	19	10 - 26
LA	9	< 12	0.08	8	2 - 10
ACV		< 25			

Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	42
% fines	5 / 12
IP	12
CBR à 95 % de l'OPM	350
$\delta_{dmax}$	2.17
Wopt	9.5

LATERITE AMELIOREE AUX CONCASSES (GLA)

Mélange de 50% silexite 0/31.5 non écrêté + 50% de latérite de Sindia

Spécifications sur latérite utilisée : Sindia

	Valeurs obtenus	Recommandations
% passant à 40 mm	100	100
% passant à 2 mm	20 / 42	20 à 50
% fines	10 / 20	10 à 25
IP	19 / 18	< 20
CBR à 95 % de l'OPM	63	entre 40 et 60
ES		> 50
LA		< 30

Spécifications sur matériaux d'ajout : silexite non écrêté 0/31.5

	Valeurs obtenus	Recommandations	Tamis (mm)	Valeurs obtenues (%)	Recommandations (%passant)
% passant à 2 mm	32	< 30	40	100	100
% fines	8	< 18	31.5	98	95 - 100
IP	0	0	20	86	64 - 90
CBR à 95 % de l'OPM	183	> 80	10	56	40 - 70
$\delta_{dmax}$	2.09	$\geq 2.2$	5	32	30 - 60
ES		> 50	2	25	20 - 42
MDE	21.4	< 30	0.5	19	10 - 26
LA	9	< 12	0.08	8	2 - 10
ACV		< 25			

Caractéristiques géotechniques du mélange

	Valeurs obtenues
% passant au tamis de 2 mm	42
% fines	5 / 14
IP	15
CBR à 95 % de l'OPM	200
$\delta_{dmax}$	2.12
Wopt	9.5

# ANNEXE C :

## Calcul des contraintes et déformations admissibles

## I - GRAVE NATURELLE

### Calcaire de Bandia DIMENSIONNEMENT

- $E = 50 \text{ CBR}$

- $V = 0,25$

- $$\sigma_{zadm} = \frac{0.3 \times CBR}{1 + 0.7 \times \log N} \text{ en bars (Kerkoven et Dormon)}$$

- $\epsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25} \text{ en mm (Loi de tassement de Shell)}$

	70 = CBR			E (bars) = 3500	
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	4,0702E+00	3,7464E+00	3,5311E+00	3,3906E+00	3,2791E+00
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6

## II - GRAVELEUX LATÉRIQUES CRUS

### DIMENSIONNEMENT

•  $E = 50 \text{ CBR}$

•  $V = 0,25$

•  $\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)

•  $\varepsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

	80 = CBR		E (bars) = 4000		
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	4,6517E+00	4,2815E+00	4,0356E+00	3,8750E+00	3,7475E+00
$\varepsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6

Tableau 1 : Graveleux latéritique de Mont Rolland

	73 = CBR		E (bars) = 3650		
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	4,2447E+00	3,9069E+00	3,6825E+00	3,5360E+00	3,4196E+00
$\varepsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6

Tableau 2 : Graveleux latéritique de Sindia

	66 = CBR		E (bars) = 3300		
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	3,8377E+00	3,5323E+00	3,3294E+00	3,1969E+00	3,0917E+00
$\varepsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6

Tableau 3: Graveleux latéritique de Ndakhar Mbaye

60 = CBR		E (bars) = 3000			
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{adm}$ (bars)	3,4888E+00	3,2112E+00	3,0267E+00	2,9063E+00	2,8106E+00
$\epsilon_{adm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6

Tableau 4 : Graveleux latéritique de Pout-Diack

60 = CBR		E (bars) = 3000			
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{adm}$ (bars)	3,4888E+00	3,2112E+00	3,0267E+00	2,9063E+00	2,8106E+00
$\epsilon_{adm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6

Tableau 5 : Graveleux latéritique de Sangué

### III - GRAVELEUX LATERITIQUES AMELIORES AUX CONCASSES GLAC

#### DIMENSIONNEMENT

•  $E = 50 \text{ CBR}$

•  $v = 0,25$

•  $\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)

•  $\varepsilon_{zadm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

	75 = CBR			E (bars) = 3750		
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	4,3610E+00	4,0140E+00	3,7834E+00	3,6328E+00	3,5133E+00	
$\varepsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 1 : 70% latérite de Ndakhar Mbaye + 30% calcaire de Bandia

	131 = CBR			E (bars) = 6550		
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	7,6172E+00	7,0110E+00	6,6083E+00	6,3454E+00	6,1366E+00	
$\varepsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 2 : 60% latérite de Ndakhar Mbaye + 40% calcaire de Bandia

	60 = CBR			E (bars) = 3000		
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	5,4076E+00	4,9773E+00	4,6914E+00	4,5047E+00	4,3565E+00	
$\varepsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 3 : 70% latérite de Sindia + 30% calcaire de Bandia

100 = CBR		E (bars) = 5000				
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	5,8146E+00	5,3519E+00	5,0445E+00	4,8438E+00	4,6844E+00	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 4 : 60% latérite de Sindia + 40% calcaire de Bandia

253 = CBR		E (bars) = 12650				
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	1,4711E+01	1,3540E+01	1,2763E+01	1,2255E+01	1,1852E+01	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 5 : 70% silixite non écrêté 0/31,5 + 30% latérite de Sindia

315 = CBR		E (bars) = 16750				
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	1,8316E+01	1,6859E+01	1,5890E+01	1,5258E+01	1,4756E+01	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 6 : 60% silixite non écrêté 0/31,5 + 40% latérite de Sindia

180 = CBR		E (bars) = 9000				
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
	8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07	
$\sigma_{zadm}$ (bars)	1,0466E+01	9,6335E+00	9,0801E+00	8,7188E+00	8,4319E+00	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 7 : 50% silixite non écrêté 0/31,5 + 50% latérite de Sindia

		133 = CBR			E (bars) = 6650	
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
		8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	7,7334E+00	7,1181E+00	6,7092E+00	6,4422E+00	6,2303E+00	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 8 : 70% sillexite écrêté 0/20 + 30% latérite de Sindia

		117 = CBR			E (bars) = 5850	
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
		8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	6,8031E+00	6,2618E+00	5,9021E+00	5,6672E+00	5,4808E+00	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 9 : 60% sillexite écrêté 0/20 + 40% latérite de Sindia

		102 = CBR			E (bars) = 5100	
Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	
		8,7500E+05	3,7950E+06	1,1675E+07	2,6260E+07	5,2520E+07
$\sigma_{zadm}$ (bars)	5,9309E+00	5,4590E+00	5,1454E+00	4,9407E+00	4,7781E+00	
$\epsilon_{zadm}$	915,5E-6	634,4E-6	479,0E-6	391,1E-6	328,9E-6	

Tableau 10 : 50% sillexite écrêté 0/20 + 50% latérite de Sindia

## IV - LES SOLS DE PLATE FORME

### DIMENSIONNEMENT

- E = 50 CBR

- V = 0,25

•  $\sigma_{zadm} = \frac{0.3 \times CBR}{1 + 0.7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)

•  $\varepsilon_{zadm} = 2.8 \times 10^{-2} \times N^{-0.25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

Matériaux	S1	Trafic	$\sigma_{zadm}$ (bars)	$\varepsilon_{zadm}$
E (bars)	250	8,7500E+05	0,29073116	915,5E-6
U	0,25	3,7950E+06	0,2675968	634,4E-6
		1,1675E+07	0,25222463	479,0E-6
		2,6260E+07	0,24218915	391,1E-6
		5,2520E+07	0,23422029	328,9E-6

Tableau 1 : Sol de plate forme de type S1

Matériaux	S2	Trafic	$\sigma_{zadm}$ (bars)	$\varepsilon_{zadm}$
E (bars)	375	8,7500E+05	0,43609674	915,5E-6
U	0,25	3,7950E+06	0,4013952	634,4E-6
		1,1675E+07	0,37833694	479,0E-6
		2,6260E+07	0,36328372	391,1E-6
		5,2520E+07	0,35133044	328,9E-6

Tableau 2 : Sol de plate forme de type S2

Matériaux	S3	Trafic	$\sigma_{zadm}$ (bars)	$\epsilon_{zadm}$
E (bars)	625	8,7500E+05	0,72682791	915,5E-6
U	0,25	3,7950E+06	0,66899199	634,4E-6
		1,1675E+07	0,63056157	479,0E-6
		2,6260E+07	0,60547286	391,1E-6
		5,2520E+07	0,58555073	328,9E-6

Tableau 3 : Sol de plate forme de type S3

Matériaux	S4	Trafic	$\sigma_{zadm}$ (bars)	$\epsilon_{zadm}$
E (bars)	1125	8,7500E+05	1,30829023	915,5E-6
U	0,25	3,7950E+06	1,20418559	634,4E-6
		1,1675E+07	1,13501083	479,0E-6
		2,6260E+07	1,08985115	391,1E-6
		5,2520E+07	1,05399132	328,9E-6

Tableau 4 : Sol de plate forme de type S4

Matériaux	S5	Trafic	$\sigma_{zadm}$ (bars)	$\epsilon_{zadm}$
E(bars)	2250	8,7500E+05	2,61658046	915,5E-6
U	0,25	3,7950E+06	2,40837118	634,4E-6
		1,1675E+07	2,27002166	479,0E-6
		2,6260E+07	2,17970231	391,1E-6
		5,2520E+07	2,10798264	328,9E-6

Tableau 5 : Sol de plate forme de type S5

## V - GRAVES LATÉRIQUES TRAITES AU CIMENT GLC

### DIMENSIONNEMENT

latérite-ciment

- Module de la couche sous-jacente E (bars) 1500
- Coefficient de poisson V 0,25
- Sigma 6 (bars) 7,5
- Pente de la droite de fatigue: b -0,0666
- Ecart-type sur la loi de fatigue: sigma N 1
- Ecart-type sur les épaisseurs: sigma H 3
- Coefficient de variation de contraintes: C = 0,02 cm<sup>-1</sup> 0,02
- Coefficient de calage: Kc 1,4
- Variable réduite centrée associée au risque r : u
- Ecart-type de la distribution de logN à la rupture : δ 1,34596524
- Coefficient de risque et dispersion: Kr
- Coefficient de discontinuité: Kd 1
- Coefficient de rigidité de la couche support : ks 1
- $\varepsilon_{zadm} = 0.012 (NE)^{-0.222}$  en mm

Module couche sous-jacente	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
Ks	1/1,2	1,1	1

Tableau 1 : Valeurs du coefficient k<sub>s</sub> en fonction du module E

Trafic	r	u	Kr
T1	12	-1,175	0,784641889
T2	7,5	-1,439	0,743029729
T3	5	-1,645	0,712098525
T4	2,5	-1,96	0,667272276

Tableau 2 : Valeurs du coefficient k<sub>r</sub>

Matériaux	latérite-ciment	Trafic PL	$\epsilon_{zad}$	$\sigma_{tad}$ ( bars)
E (bars)	13850	T1:875000	575,5E-6	8,31234
U	0,25	T2:3795000	415,5E-6	7,13871
$e_{min}$ (cm)	15	T3:11675000	323,8E-6	6,34819
		T4:26260000	270,5E-6	5,63595
		T5:52520000		

Tableau 3 : Valeurs des limites admissibles

## VI - BETONS BITUMINEUX BB

### DIMENSIONNEMENT

#### Béton Bitumineux

- Module E (bars) 1500
- E (10°C) (MPa) 7200
- E (t<sup>°</sup>equ = 35°C) 1150
- Coefficient de poisson  $\nu$  0,35
- Epsilon 6 ( $10^{-6}$ ) (10°C, 25Hz) 0,0001
- Pente de la droite de fatigue: b -0,2
- Ecart-type sur la loi de fatigue: sigma N 0,25
- Ecart-type sur les épaisseurs: sigma H 1
- Coefficient de variation de contraintes:  $C = 0,02 \text{ cm}^{-1}$  0,02
- Coefficient de calage: Kc 1,1
- Variable réduite centrée associée au risque r : u
- Ecart-type de la distribution de logN à la rupture :  $\delta$  0,26925824
- Coefficient de risque et dispersion: Kr
- Coefficient de rigidité de la couche support : ks 1
- $\epsilon_{\text{adm}} = 0,016 (NE)^{-0,222}$  en mm

Module couche sous-jacente	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
Ks	1/1,2	1,1	1

Tableau 1 : Valeurs du coefficient  $k_s$  en fonction du module E

Trafic	r	u	Kr
T1	12	-1,175	0,864419019
T2	7,5	-1,439	0,836580001
T3	5	-1,645	0,815481361
T4	2,5	-1,96	0,784243215

Tableau 2 : Valeurs du coefficient  $k_r$

Matériaux	BB	Trafic PL	$\epsilon_{zad} (10^{-6})$	$\epsilon_{tad} (10^{-6})$
E (bars)	1500	T1:875000	767,4E-6	244,4E-6
U	0,35	T2:3795000	554,0E-6	176,3E-6
$e_{min}$ (cm)	15	T3:11675000	431,7E-6	137,3E-6
		T4:26260000	360,6E-6	112,3E-6
		T5:52520000	309,2E-6	

Tableau 3 : Valeurs des limites admissibles

# ANNEXE D :

## Résultats des calculs sur Alizé

Latérite de Sindia + 3% ciment (LS3C)

T1-S2

Classe de trafic: T1  
 Classe de plateforme : S2  
 Revêtement : 3cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 50 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	.331E-03B	.969E+01B	-.182E-03C	.662E+01A
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 3.00				
3.00	.186E-03C	.667E+01B	-.163E-03C	.640E+01B
COLLE				
3.00	.186E-03C	.517E+01B	-.961E-04C	.640E+01B
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 15.00				
18.00	-.217E-03B	-.310E+01B	.233E-03B	.188E+01B
COLLE				
18.00	-.217E-03B	-.180E+00B	.643E-03B	.188E+01B
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 50.00				
68.00	-.190E-03C	-.682E+00C	.169E-03C	.181E+00C
COLLE				
68.00	-.190E-03C	-.325E-01C	.520E-03C	.181E+00C
E= 375.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	73.62MM/100		R*D	
R	211.73M		15588.16H*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T1-S3

Classe de trafic: T1  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : 3cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 40 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
0.00	.328E-03B*	.962E+01B*	-.179E-03C*	.662E+01A*
E= 13000. NU= .35 H1= 3.00				
3.00	.182E-03C*	.659E+01B*	-.160E-03C*	.640E+01B*
COLLE				
3.00	.182E-03C*	.510E+01B*	-.937E-04C*	.640E+01B*
E= 13850. NU= .25 H2= 15.00				
18.00	-.223E-03B*	-.321E+01B*	.235E-03B*	.187E+01B*
COLLE				
18.00	-.223E-03B*	-.207E+00B*	.642E-03B*	.187E+01B*
E= 3000. NU= .25 H3= 40.00				
58.00	-.193E-03C*	-.643E+00C*	.200E-03C*	.301E+00C*
COLLE				
58.00	-.193E-03C*	-.545E-01C*	.518E-03C*	.301E+00C*
E= 625. NU= .25 H4=INFINI				
D	59.78MM/100		R*D	
R	210.55M		12587.12M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T1-S4

Classe de trafic: T1  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : 3cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 25 cm, CBR=60

sindia+3% ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILONZ	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00*	.325E-03B*	.953E+01B*	-.173E-03C*	.662E+01A*
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 3.00				
3.00*	.179E-03C*	.649E+01B*	-.155E-03C*	.640E+01B*
COLLE				
3.00*	.179E-03C*	.501E+01B*	-.908E-04C*	.640E+01B*
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 15.00				
18.00*	-.232E-03B*	-.337E+01B*	.239E-03B*	.184E+01B*
COLLE				
18.00*	-.232E-03B*	-.250E+00B*	.639E-03B*	.184E+01B*
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 25.00				
43.00*	-.206E-03C*	-.582E+00C*	.278E-03C*	.580E+00C*
COLLE				
43.00*	-.206E-03C*	-.973E-01C*	.546E-03C*	.580E+00C*
E= 1125.				
NU= .25				
H4= INFINI				
D	47.75MM/100		R*0	
R	203.32M		9708.20M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T1-S5

Classe de trafic: T1  
 Classe de plateforme : S5  
 Revêtement : 3cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 10 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILON	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 3.00	.302E-03B	.907E+01B	-.147E-03C	.662E+01A
3.00	COLLE	.159E-03C	.613E+01B	-.134E-03C	.640E+01B
3.00	E= 13850. NU= .25 H2= 15.00	.159E-03C	.467E+01B	-.778E-04C	.640E+01B
18.00	COLLE	-.231E-03B	-.334E+01B	.239E-03B	.187E+01B
18.00	E= 3000. NU= .25 H3= 10.00	-.231E-03B	-.235E+00B	.647E-03B	.187E+01B
28.00	COLLE	-.194E-03C	-.306E+00C	.407E-03B	.112E+01B
28.00	E= 2250. NU= .25 H4= INFINI	-.194E-03C	-.137E+00C	.510E-03B	.112E+01B
D	33.74MM/100			R*0	
R	209.94M			7084.41M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T2-S2

Classe de trafic: T2  
 Classe de plateforme : S2  
 Revêtement : 4cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 60 cm, CBR=60

Positionnement  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONZ	SIGMAZ	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 4.00	.300E-03B	.911E+01B	-.166E-03C	.662E+01A
4.00	COLLE	.135E-03C	.550E+01B	-.137E-03C	.624E+01B
4.00	E= 13850. NU= .25 H2= 15.00	.135E-03C	.410E+01B	-.756E-04C	.624E+01B
19.00	COLLE	-.204E-03B	-.290E+01B	.218E-03B	.178E+01B
19.00	E= 3000. NU= .25 H3= 60.00	-.204E-03B	-.164E+00B	.605E-03B	.178E+01B
79.00	COLLE	-.147E-03C	-.530E+00C	.132E-03C	.140E+00C
79.00	E= 375. NU= .25 H4= INFINI	-.147E-03C	-.253E-01C	.405E-03C	.140E+00C
D	66.89MM/100			R'D	
R	229.65M			15360.42M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS



LS3C

T2-S4

Classe de trafic: T2  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : 4cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 35 cm, CBR=60

sin dia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00*	.292E-03B*	.894E+01B*	-.145E-03C*	.662E+01A*
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 4.00				
4.00*	.127E-03C*	.532E+01B*	-.128E-03C*	.624E+01B*
COLLE				
4.00*	.127E-03C*	.394E+01B*	-.700E-04C*	.624E+01B*
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 15.00				
19.00*	-.213E-03B*	-.307E+01B*	.223E-03B*	.176E+01B*
COLLE				
19.00*	-.213E-03B*	-.205E+00B*	.605E-03B*	.176E+01B*
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 35.00				
54.00*	-.149E-03C*	-.427E+00C*	.207E-03C*	.426E+00C*
COLLE				
54.00*	-.149E-03C*	-.712E-01C*	.404E-03C*	.426E+00C*
E= 1125.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	43.56MM/100		R*D	
R	225.97M		9842.79M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T2-S5

Classe de trafic: T2  
 Classe de plateforme : S5  
 Revêtement : 4cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 20 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
0.00	.275E-03B	.858E+01B	-.138E-03C	.662E+01A
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 4.00				
4.00	.113E-03C	.506E+01B	-.113E-03C	.624E+01B
COLLE				
4.00	.113E-03C	.370E+01B	-.610E-04C	.624E+01B
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 15.00				
19.00	-.212E-03B	-.304E+01B	.224E-03B	.179E+01B
COLLE				
19.00	-.212E-03B	-.193E+00B	.613E-03B	.179E+01B
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 20.00				
39.00	-.134E-03C	-.223E+00C	.296E-03C	.808E+00C
COLLE				
39.00	-.134E-03C	-.100E+00C	.371E-03C	.808E+00C
E= 2250.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	31.76MM/100		R*D	
R	224.62M		7134.31M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T3-S2

Classe de trafic: T3  
 Classe de plateforme : S2  
 Revêtement : 5cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 65 cm, CBR=60

sinclia+3% ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 5.00	.243E-03B	.809E+01B	-.121E-03C	.662E+01A
5.00	COLLE	.868E-04C	.445E+01B	-.107E-03C	.614E+01B
5.00	E= 13850. NU= .25 H2= 20.00	.868E-04C	.313E+01B	-.521E-04C	.614E+01B
25.00	COLLE	-.160E-03C	-.224E+01B	.157E-03B	.123E+01B
25.00	E= 3000. NU= .25 H3= 65.00	-.160E-03C	-.168E+00C	.425E-03B	.123E+01B
90.00	COLLE	-.112E-03C	-.405E+00C	.102E-03C	.107E+00C
90.00	E= 375. NU= .25 H4= INFINI	-.112E-03C	-.193E-01C	.310E-03C	.107E+00C
D	58.47MM/100		R*D		
R	286.59M		16757.97M*MM/100		

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T3-S3

Classe de trafic: T3  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : 5cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 55 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* Z * * * * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
* .00 * * * * * .240E-03B * .802E+01B * -.117E-03C * .662E+01A *
* * * * * E= 13000. * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * NU= .35 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * H1= 5.00 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* 5.00 * * * * * .836E-04C * .438E+01B * -.104E-03C * .614E+01B *
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
* 5.00 * COLLE * * * * * .836E-04C * .307E+01B * -.500E-04C * .614E+01B *
* * * * * E= 13850. * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * NU= .25 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * H2= 20.00 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* 25.00 * * * * * -.162E-03C * -.228E+01B * .158E-03B * .122E+01B *
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
* 25.00 * COLLE * * * * * -.162E-03C * -.178E+00C * .425E-03B * .122E+01B *
* * * * * E= 3000. * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * NU= .25 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * H3= 55.00 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* 80.00 * * * * * -.108E-03C * -.364E+00C * .115E-03C * .171E+00C *
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
* 80.00 * COLLE * * * * * -.108E-03C * -.309E-01C * .295E-03C * .171E+00C *
* * * * * E= 625. * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * NU= .25 * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
* * * * * H4=INFINI * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*-----*
* D * * * * * 47.18MM/100 * * * * * R*D * * * * *
* R * * * * * 286.85M * * * * * 13532.75M*MM/100 * * * * *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T3-S4

Classe de trafic: T3  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : 5cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 40 cm, CBR=60

sinclia+3% ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONZ	SIGMAZ	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 5.00	.235E-03B	.792E+01B	-.112E-03C	.662E+01A
5.00	COLLE E= 13850. NU= .25 H2= 20.00	.795E-04C	.430E+01B	-.993E-04C	.614E+01B
5.00	COLLE E= 13850. NU= .25 H2= 20.00	.795E-04C	.299E+01B	-.472E-04C	.614E+01B
25.00	COLLE E= 3000. NU= .25 H3= 40.00	-.165E-03C	-.232E+01B	.160E-03B	.122E+01B
25.00	COLLE E= 3000. NU= .25 H3= 40.00	-.165E-03C	-.191E+00C	.425E-03B	.122E+01B
65.00	COLLE E= 1125. NU= .25 H4=IRFINI	-.105E-03C	-.306E+00C	.149E-03C	.305E+00C
65.00	COLLE E= 1125. NU= .25 H4=IRFINI	-.105E-03C	-.513E-01C	.291E-03C	.305E+00C
D	37.43MM/100			R*D	
R	287.29M			10752.05M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T3-S5

Classe de trafic: T3  
 Classe de plateforme : S5  
 Revêtement : 5cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 20 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES :4

Z	EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	.224E-03B	.768E+01B	-.111E-03C	.662E+01A
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 5.00				
5.00	.705E-04C	.412E+01B	-.897E-04C	.614E+01B
COLLE				
5.00	.705E-04C	.283E+01B	-.412E-04C	.614E+01B
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 20.00				
25.00	-.164E-03C	-.231E+01B	.160E-03B	.124E+01B
COLLE				
25.00	-.164E-03C	-.182E+00C	.430E-03B	.124E+01B
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 20.00				
45.00	-.105E-03C	-.180E+00C	.235E-03C	.634E+00C
COLLE				
45.00	-.105E-03C	-.823E-01C	.294E-03C	.634E+00C
E= 2250.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	27.77MM/100		R*D	
R	289.22M		8030.47M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T4-S2

Classe de trafic: T4  
 Classe de plateforme : S2  
 Revêtement : 7cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 75 cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00*	.219E-03B*	.763E+01B*	-.104E-03C*	.662E+01A*
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 7.00				
7.00*	-.166E-04A*	.320E+01B*	-.610E-04C*	.570E+01B*
COLLE				
7.00*	-.166E-04A*	.204E+01B*	-.128E-04C*	.570E+01B*
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 20.00				
27.00*	-.148E-03C*	-.203E+01B*	.142E-03B*	.111E+01B*
COLLE				
27.00*	-.148E-03C*	-.156E+00C*	.384E-03B*	.111E+01B*
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 75.00				
102.00*	-.890E-04C*	-.323E+00C*	.813E-04C*	.856E-01C*
COLLE				
102.00*	-.890E-04C*	-.154E-01C*	.248E-03C*	.856E-01C*
E= 375.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	53.50MM/100		R*D	
R	307.32M		16440.60M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

\*

LS3C

T4-S3

Classe de trafic: T4  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : 7cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 60 cm, CBR=60

sindia+3% ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON1	SIGMA1	EPSILON2	SIGMA2
0.00	.217E-03B	.761E+01B	-.103E-03C	.662E+01A
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 7.00				
7.00	-.174E-04A	.317E+01B	-.594E-04C	.570E+01B
COLLE				
7.00	-.174E-04A	.201E+01B	-.118E-04C	.570E+01B
E= 13850.				
NU= .25				
H2= 20.00				
27.00	-.150E-03C	-.208E+01B	.144E-03B	.110E+01B
COLLE				
27.00	-.150E-03C	-.170E+00C	.384E-03B	.110E+01B
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 60.00				
87.00	-.920E-04C	-.313E+00C	.993E-04C	.146E+00C
COLLE				
87.00	-.920E-04C	-.265E-01C	.254E-03C	.146E+00C
E= 625.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	44.30MM/100		R*D	
R	306.46M		13574.89M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T4-S4

Classe de trafic: T4  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : 7cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 45cm, CBR=60

sindia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620 .  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 7.00	.213E-03B	.752E+01B	-.977E-04C	.662E+01A
7.00	COLLE	-.192E-04A	.309E+01B	-.554E-04C	.570E+01B
7.00	E= 13850. NU= .25 H2= 20.00	-.192E-04A	.194E+01B	-.935E-05C	.570E+01B
27.00	COLLE	-.152E-03C	-.211E+01B	.144E-03B	.110E+01B
27.00	E= 3000. NU= .25 H3= 45.00	-.152E-03C	-.178E+00C	.384E-03B	.110E+01B
72.00	COLLE	-.881E-04C	-.258E+00C	.126E-03C	.257E+00C
72.00	E= 1125. NU= .25 H4= INFINI	-.881E-04C	-.431E-01C	.245E-03C	.257E+00C
D	35.14MM/100		R*D		
R	307.25M		10795.78M*MM/100		

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

LS3C

T4-S5

Classe de trafic: T4  
 Classe de plateforme : S5  
 Revêtement : 7cm BB  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 25 cm, CBR=60

sin dia+3%ciment  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00	.203E-03B*	.731E+01B*	-.942E-04C*	.662E+01A*
E= 13000. NU= .35 H1= 7.00				
7.00	-.228E-04A*	.296E+01B*	-.479E-04C*	.570E+01B*
COLLE				
7.00	-.228E-04A*	.181E+01B*	-.461E-05C*	.570E+01B*
E= 13850. NU= .25 H2= 20.00				
27.00	-.151E-03C*	-.209E+01B*	.145E-03B*	.112E+01B*
COLLE				
27.00	-.151E-03C*	-.169E+00C*	.388E-03B*	.112E+01B*
E= 3000. NU= .25 H3= 25.00				
52.00	-.843E-04C*	-.147E+00C*	.193E-03C*	.518E+00C*
COLLE				
52.00	-.843E-04C*	-.672E-01C*	.241E-03C*	.518E+00C*
E= 2250. NU= .25 H4=INFINI				
D	26.27MM/100		R*D	
R	292.46M		7683.24M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS



60LNM40CB

T1-S3

Classe de trafic: T1  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : 4cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 25 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILONT	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	.425E-03B	.115E+020	-.173E-03C	.662E+01A
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 4.00				
4.00	.113E-03C	.455E+01B	-.188E-03C	.622E+01B
COLLE				
4.00	.113E-03C	.262E+01B	-.713E-04C	.622E+01B
E= 6550.				
NU= .25				
H2= 15.00				
19.00	-.259E-03B	-.145E+01B	.395E-03B	.198E+01B
COLLE				
19.00	-.259E-03B	-.315E+00C	.692E-03B	.198E+01B
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 25.00				
44.00	-.311E-03C	-.101E+01C	-.308E-03C	.475E+00C
COLLE				
44.00	-.311E-03C	-.854E-01C	.810E-03C	.475E+00C
E= 625.				
NU= .25				
H4= INFINI				
D	72.23MM/100		R= D	
R	131.84M		9523.06M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

60LNM40CB

T1-S4

Classe de trafic: T1  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : 4cm BB  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 15 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*  Z   *      *  EPSILON  *  SIGMA  *  EPSILON  *  SIGMA  *
*****
*  .00 *      *  .411E-03B * .112E+02B * -.156E-03C * .662E+01A *
*      *  E= 13000. *      *      *      *      *      *
*      *  NU = .35 *      *      *      *      *      *
*      *  H1 = 4.00 *      *      *      *      *      *
*  4.00 *      *  .981E-04C * .424E+01B * -.171E-03C * .622E+01B *
*----- COLLE -----*
*  4.00 *      *  .981E-04C * .248E+01B * -.612E-04C * .622E+01B *
*      *  E= 6550. *      *      *      *      *      *
*      *  NU = .25 *      *      *      *      *      *
*      *  H2 = 15.00 *      *      *      *      *      *
*  19.00 *      * -.274E-03B * -.158E+01B * .399E-03B * .195E+01B *
*----- COLLE -----*
*  19.00 *      * -.274E-03B * -.381E+00C * .693E-03B * .195E+01B *
*      *  E= 3000. *      *      *      *      *      *
*      *  NU = .25 *      *      *      *      *      *
*      *  H3 = 15.00 *      *      *      *      *      *
*  34.00 *      * -.307E-03C * -.834E+00C * .384E-03C * .822E+00C *
*----- COLLE -----*
*  34.00 *      * -.307E-03C * -.142E+00C * .764E-03C * .822E+00C *
*      *  E= 1125. *      *      *      *      *      *
*      *  NU = .25 *      *      *      *      *      *
*      *  H4=INFINI *      *      *      *      *      *
*****
*  D   *      *  55.21MM/100 *      *      *  R*D *      *
*  R   *      *  131.10M *      *      *  7237.95M*MM/100 *
*****
    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
    
```



60LNM40CB

Classe de trafic : T2  
 Classe de plateforme : S2  
 Revêtement : BB de 4cm  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 45 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*      Z      *      *      EPSILON T      *      SIGMA T      *      EPSILON Z      *      SIGMA Z      *
*****
*      .00*      *      .406E-03B*      .112E+02B*      -.154E-03C*      .662E+01A*
*      *      E= 13000.      *      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .35      *      *      *      *      *      *      *
*      *      H1= 4.00      *      *      *      *      *      *      *
*      4.00*      *      .104E-03C*      .444E+01B*      -.180E-03C*      .623E+01B*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *      *
*      4.00*      *      .104E-03C*      .257E+01B*      -.652E-04C*      .623E+01B*
*      *      E= 6550.      *      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .25      *      *      *      *      *      *      *
*      *      H2= 15.00      *      *      *      *      *      *      *
*      17.00*      *      -.235E-03B*      -.121E+01B*      .392E-03B*      .207E+01B*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *      *
*      19.00*      *      -.235E-03B*      -.180E+00B*      .704E-03B*      .207E+01B*
*      *      E= 3000.      *      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .25      *      *      *      *      *      *      *
*      *      H3= 45.00      *      *      *      *      *      *      *
*      64.00*      *      -.222E-03C*      -.788E+00C*      .195E-03C*      .212E+00C*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *      *
*      64.00*      *      -.222E-03C*      -.366E-01C*      .608E-03C*      .212E+00C*
*      *      E= 375.      *      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .25      *      *      *      *      *      *      *
*      *      H4=INFINI      *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*****
*      D      *      80.48MM/100      *      *      *      R*D      *
*      R      *      142.28M      *      *      *      11450.54M*MM/100      *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

60LNM40CB

Classe de trafic : T2  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : BB' de 4cm  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 35 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*  Z  *      *  EPSILONI *  SIGMAI *  EPSILONZ *  SIGMAZ *
*****
*  .00 *      *  .401E-03B * .111E+02B * -.136E-03C * .662E+01A *
*      * E= 13000. *      *      *      *      *      *
*      * NU= .35 *      *      *      *      *      *
*      * H1= 4.00 *      *      *      *      *      *
*  4.00 *      *  .986E-04C * .431E+01B * -.173E-03C * .623E+01B *
*----- COLLE -----*
*  4.00 *      *  .986E-04C * .251E+01B * -.614E-04C * .623E+01B *
*      * E= 6550. *      *      *      *      *      *
*      * NU= .25 *      *      *      *      *      *
*      * H2= 15.00 *      *      *      *      *      *
*  19.00 *      * -.243E-03B * -.129E+01B * .395E-03B * .205E+01B *
*----- COLLE -----*
*  19.00 *      * -.243E-03B * -.220E+00B * .704E-03B * .205E+01B *
*      * E= 3000. *      *      *      *      *      *
*      * NU= .25 *      *      *      *      *      *
*      * H3= 35.00 *      *      *      *      *      *
*  54.00 *      * -.229E-03C * -.756E+00C * .235E-03C * .358E+00C *
*----- COLLE -----*
*  54.00 *      * -.229E-03C * -.632E-01C * .613E-03C * .358E+00C *
*      * E= 625. *      *      *      *      *      *
*      * NU= .25 *      *      *      *      *      *
*      * H4=INFINI *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *
*****
*  D  *      *  65.58MM/100 *      *      *      *      *
*  R  *      *  140.24M *      *      *  9196.70M*MM/100 *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

60LNM40CB

Classe de trafic : T2  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : BB de 4cm  
 Base : 15 cm  
 Fondation : 25 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*  Z    *      *  EPSILONZ  *  SIGMAZ  *  EPSILONZ  *  SIGMAZ  *
*****
*  .00  *      *  .368E-03B  *  .108E+02B  *  -.133E-03C  *  .662E+01A  *
*      *  E= 13000.  *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .35  *      *      *      *      *      *
*      *  H1= 4.00  *      *      *      *      *      *
*  4.00  *      *  .861E-04C  *  .406E+01B  *  -.160E-03C  *  .623E+01B  *
*-----*  COLLE  *-----*
*  4.00  *      *  .861E-04C  *  .240E+01B  *  -.532E-04C  *  .623E+01B  *
*      *  E= 6550.  *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .25  *      *      *      *      *      *
*      *  H2= 15.00  *      *      *      *      *      *
*  19.00  *      *  -.250E-03B  *  -.135E+01B  *  .399E-03B  *  .205E+01B  *
*-----*  COLLE  *-----*
*  19.00  *      *  -.250E-03B  *  -.250E+00C  *  .700E-03B  *  .205E+01B  *
*      *  E= 3000.  *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .25  *      *      *      *      *      *
*      *  H3= 25.00  *      *      *      *      *      *
*  44.00  *      *  -.218E-03C  *  -.611E+00C  *  .291E-03C  *  .610E+00C  *
*-----*  COLLE  *-----*
*  44.00  *      *  -.218E-03C  *  -.102E+00C  *  .573E-03C  *  .610E+00C  *
*      *  E= 1125.  *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .25  *      *      *      *      *      *
*      *  H4=INFINI  *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *
*****
*  D    *      *  50.65MM/100  *      *  R*D  *      *
*  R    *      *  138.00M  *      *  6989.79M*MM/100  *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS





60LNM40CB

Classe de trafic : T3  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : BB de 5cm  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 40 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*  Z    *      *  EPSILON  *  SIGMA  *  EPSILONZ *  SIGMAZ  *
*****
*  .00  *      *  .355E-03B *  .102E+02B *  -.106E-03C *  .662E+01A *
*      *  E= 13000. *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .35 *      *      *      *      *      *
*      *  H1= 5.00 *      *      *      *      *      *
*  5.00 *      *  -.525E-04A *  .204E+01B *  -.130E-03C *  .601E+01B *
*-----*  COLLE  *-----*
*  5.00 *      *  -.525E-04A *  .104E+01B *  -.111E-04C *  .601E+01B *
*      *  E= 6550. *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .25 *      *      *      *      *      *
*      *  H2= 20.00 *      *      *      *      *      *
*  25.00 *      *  -.192E-03C *  -.103E+01B *  .282E-03B *  .143E+01B *
*-----*  COLLE  *-----*
*  25.00 *      *  -.192E-03C *  -.223E+00C *  .496E-03B *  .143E+01B *
*      *  E= 3000. *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .25 *      *      *      *      *      *
*      *  H3= 40.00 *      *      *      *      *      *
*  65.00 *      *  -.165E-03C *  -.550E+00C *  .173E-03C *  .259E+00C *
*-----*  COLLE  *-----*
*  65.00 *      *  -.165E-03C *  -.463E-01C *  .446E-03C *  .259E+00C *
*      *  E= 625. *      *      *      *      *      *
*      *  NU= .25 *      *      *      *      *      *
*      *  H4=INFINI *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *
*****
*  D    *      *  57.40MM/100 *      *      *  R*D *      *
*  R    *      *  161.97M *      *      *  9297.50M*MM/100 *      *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

## 60LNM40CB

Classe de trafic : T3  
 Classe de plateforme : S4  
 Revêtement : B8 de 5cm  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 25 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 R= 12,500 D= 37,500 Q= 6,620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONZ	SIGMAZ	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 5.00	.349E+03B	.101E+02B	.111E+03C	.662E+01A
5.00	COLLE	.556E+04A	.270E+01B	.123E+03C	.601E+01B
5.00	E= 6550. NU= .25 H2= 20.00	.556E+04A	.170E+01B	.702E+05C	.601E+01B
25.00	COLLE	.200E+03C	.110E+01B	.204E+03B	.141E+01B
25.00	E= 3000. NU= .25 H3= 25.00	.200E+03C	.265E+00C	.495E+03B	.141E+01B
50.00	COLLE	.175E+03C	.499E+00C	.230E+03C	.492E+00C
50.00	E= 1125. NU= .25 H4= INFINI	.175E+03C	.847E+01C	.466E+03C	.492E+00C
D	45.87MM/100			R=0	
R	160.34M			7354.61M=MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS





60LNM40CB

Classe de trafic : T4  
 Classe de plateforme : S3  
 Revêtement : BB de 7cm  
 Base : 20 cm  
 Fondation : 45 cm, CBR=60

60LNM40CB  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*  Z    *      *  EPSILON  *  SIGMA  *  EPSILON  *  SIGMA  *
*****
*  .00  *      *  .328E-03B * .974E+01B * -.102E-03C * .662E+01A *
*      * E= 13000. *      *      *      *      *      *
*      * NU= .35   *      *      *      *      *      *
*      * H1= 7.00  *      *      *      *      *      *
*  7.00 *      *  -.115E-03A * .136E+01C * -.590E-04C * .535E+01B *
*----- COLLE -----*
*  7.00 *      *  -.115E-03A * .989E+00B * .756E-03A * .535E+01B *
*      * E= 6550.  *      *      *      *      *      *
*      * NU= .25   *      *      *      *      *      *
*      * H2= 20.00 *      *      *      *      *      *
*  27.00 *      *  -.178E-03C * -.941E+00B * .252E-03B * .127E+01B *
*----- COLLE -----*
*  27.00 *      *  -.178E-03C * -.213E+00C * .444E-03B * .127E+01B *
*      * E= 3000.  *      *      *      *      *      *
*      * NU= .25   *      *      *      *      *      *
*      * H3= 45.00 *      *      *      *      *      *
*  72.00 *      *  -.136E-03C * -.459E+00C * .145E-03C * .215E+00C *
*----- COLLE -----*
*  72.00 *      *  -.136E-03C * -.389E-01C * .372E-03C * .215E+00C *
*      * E= 625.   *      *      *      *      *      *
*      * NU= .25   *      *      *      *      *      *
*      * H4= INFINI *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *
*****
*  D    *      *  53.56MM/100 *      *      *      *      *
*  R    *      *  178.32M   *      *      *      *      *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS





50SE50LS

T1-S2

Classe de trafic : T1  
 Type de plate forme S2  
 Revêtement BB 3 cm  
 Couche de base 15 cm  
 Couche de fondation 35 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00	.478E-03B	.126E+02B	-.171E-03C	.662E+01A
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 3.00				
3.00	.173E-03C	.595E+01B	-.247E-03C	.643E+01B
COLLE				
3.00	.173E-03C	.301E+01B	-.115E-03C	.643E+01B
E= 5100.				
NU= .25				
H2= 15.00				
18.00	-.250E-03B	-.816E+00B	.517E-03B	.231E+01B
COLLE				
18.00	-.250E-03B	-.169E+00A	.781E-03B	.231E+01B
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 35.00				
53.00	-.313E-03C	-.110E+01C	.268E-03C	.298E+00C
COLLE				
53.00	-.313E-03C	-.501E-01C	.848E-03C	.298E+00C
E= 375.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	93.07MM/100		R*D	
R	113.40M		10554.66M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T1-S3

Classe de trafic : T1  
 Type de plate forme S3  
 Revêtement BB 3 cm  
 Couche de base 15 cm  
 Couche de fondation 25 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	.475E-03B*	.125E+02B*	-.165E-03C*	.662E+01A*
* E= 13000. * NU= .35 * H1= 3.00				
3.00	.167E-03C*	.579E+01B*	-.239E-03C*	.643E+01B*
* COLLE				
3.00	.167E-03C*	.296E+01B*	-.110E-03C*	.643E+01B*
* E= 5100. * NU= .25 * H2= 15.00				
18.00	-.267E-03B*	-.940E+00B*	.520E-03B*	.227E+01B*
* COLLE				
18.00	-.267E-03B*	-.247E+00C*	.779E-03B*	.227E+01B*
* E= 3000. * NU= .25 * H3= 25.00				
43.00	-.336E-03C*	-.108E+01C*	.331E-03C*	.517E+00C*
* COLLE				
43.00	-.336E-03C*	-.897E-01C*	.876E-03C*	.517E+00C*
* E= 625. * NU= .25 * H4=INFINI				
D	76.16MM/100		R*D	
R	109.94M		8373.19M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

## 50SE50LS

T1-S4

Classe de trafic : T1

Type de plate forme S4

Revêtement BB 3 cm

Couche de base 15 cm

Couche de fondation 15cm

Interfaces collées

50%silxite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONZ	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 3.00	.458E-03B*	.121E+02B*	-.144E-03C*	.662E+01A*
3.00	COLLE	-.150E-03C*	.542E+01B*	-.219E-03C*	.642E+01B*
3.00	E= 5100. NU= .25 H2= 15.00	.150E-03C*	.283E+01B*	-.980E-04C*	.642E+01B*
18.00	COLLE	-.286E-03B*	-.107E+01B*	.525E-03B*	.224E+01B*
18.00	E= 3000. NU= .25 H3= 15.00	-.286E-03B*	-.331E+00C*	.781E-03B*	.224E+01B*
33.00	COLLE	-.332E-03C*	-.891E+00C*	.412E-03C*	.895E+00C*
33.00	E= 1125. NU= .25 H4= INFINI	-.332E-03C*	-.148E+00C*	.827E-03C*	.895E+00C*
D	58.48MM/100			R*D	
R	109.04M			6376.14M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T1-S5

Classe de trafic : T1  
 Type de plate forme S5  
 Revêtement BB 3 cm  
 Couche de base 15 cm  
 Couche de fondation 10cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILONT	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00*	.402E-03B*	.111E+02B*	-.849E-04C*	.662E+01A*
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 3.00				
3.00*	.107E-03C*	.467E+01B*	-.176E-03C*	.643E+01B*
COLLE				
3.00*	.107E-03C*	.257E+01B*	-.700E-04C*	.643E+01B*
E= 5100.				
NU= .25				
H2= 15.00				
18.00*	-.271E-03B*	-.934E+00B*	.538E-03B*	.237E+01B*
COLLE				
18.00*	-.271E-03B*	-.224E+00B*	.809E-03B*	.237E+01B*
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 10.00				
28.00*	-.226E-03C*	-.347E+00C*	.485E-03B*	.134E+01B*
COLLE				
28.00*	-.226E-03C*	-.154E+00C*	.609E-03B*	.134E+01B*
E= 2250.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	38.63MM/100		R*D	
R	117.10M		4523.26M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T2-S2

Classe de trafic : T2  
 Type de plate forme S2  
 Revêtement BB 4 cm  
 Couche de base 15 cm  
 Couche de fondation 45 cm  
 Interfaces collées

50%silxite0/20+50%sendia  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
.00*	.444E-03B*	.120E+02B*	-.135E-03C*	.662E+01A*
4.00*	-.311E-04A*	.362E+01B*	-.192E-03C*	.622E+01B*
4.00*	-.311E-04A*	.218E+01B*	-.450E-04C*	.622E+01B*
19.00*	-.236E-03B*	-.761E+00B*	.485E-03B*	.218E+01B*
19.00*	-.236E-03B*	-.158E+00A*	.734E-03B*	.218E+01B*
64.00*	-.227E-03C*	-.805E+00C*	.200E-03C*	.218E+00C*
64.00*	-.227E-03C*	-.370E-01C*	.624E-03C*	.218E+00C*

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T2-S3

Classe de trafic : T2  
 Type de plate forme S3  
 Revêtement BB 4 cm  
 Couche de base 15 cm  
 Couche de fondation 35 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	.439E-03B	.118E+02B	-.116E-03C	.662E+01A
E= 13000. NU= .35 H1= 4.00				
4.00	-.342E-04A	.347E+01B	-.185E-03C	.622E+01B
COLLE				
4.00	-.342E-04A	.213E+01B	-.408E-04C	.622E+01B
E= 5100. NU= .25 H2= 15.00				
19.00	-.244E-03B	-.826E+00B	.487E-03B	.216E+01B
COLLE				
19.00	-.244E-03B	-.190E+00B	.734E-03B	.216E+01B
E= 3000. NU= .25 H3= 35.00				
54.00	-.235E-03C	-.775E+00C	.241E-03C	.368E+00C
COLLE				
54.00	-.235E-03C	-.642E-01C	.630E-03C	.368E+00C
E= 625. NU= .25 H4= INFINI				
D	67.50MM/100		R*D	
R	119.44M		8062.07M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T2-S4

Classe de trafic : T2

Type de plate forme S4

Revêtement BB 4 cm

Couche de base 15 cm

Couche de fondation 25 cm

Interfaces collées

50%silicite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONZ	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	E= 13000. NU= .35 H1= 4.00	.424E-03B*	.115E+02B*	-.112E-03C*	.662E+01A*
4.00	COLLE	-.408E-04A*	.320E+01B*	-.170E-03C*	.622E+01B*
4.00	E= 5100. NU= .25 H2= 15.00	-.408E-04A*	.204E+01B*	-.318E-04C*	.622E+01B*
19.00	COLLE	-.253E-03B*	-.884E+00B*	.492E-03B*	.215E+01B*
19.00	E= 3000. NU= .25 H3= 25.00	-.253E-03B*	-.227E+00C*	.738E-03B*	.215E+01B*
44.00	COLLE	-.225E-03C*	-.627E+00C*	.299E-03C*	.630E+00C*
44.00	E= 1125. NU= .25 H4=INFINI	-.225E-03C*	-.104E+00C*	.590E-03C*	.630E+00C*
D	52.40MM/100			R*D	
R	117.75M			6169.97M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T2-S5

Classe de trafic : T2

Type de plate forme S5

Revêtement BB 4 cm

Couche de base 15 cm

Couche de fondation 10 cm

Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONZ	SIGMAZ	EPSILONZ	SIGMAZ
.00		.397E-03B*	.110E+02B*	-.811E-04C*	.662E+01A*
	E= 13000.				
	NU= .35				
	H1= 4.00				
4.00		-.523E-04A*	.278E+01B*	-.146E-03C*	.622E+01B*
	COLLE				
4.00		-.523E-04A*	.189E+01B*	-.165E-04C*	.622E+01B*
	E= 5100.				
	NU= .25				
	H2= 15.00				
19.00		-.261E-03B*	-.920E+00B*	.501E-03B*	.219E+01B*
	COLLE				
19.00		-.261E-03B*	-.241E+00B*	.751E-03B*	.219E+01B*
	E= 3000.				
	NU= .25				
	H3= 10.00				
29.00		-.218E-03C*	-.343E+00C*	.457E-03B*	.126E+01B*
	COLLE				
29.00		-.218E-03C*	-.156E+00C*	.574E-03B*	.126E+01B*
	E= 2250.				
	NU= .25				
	H4=INFINI				
D	37.95MM/100			R*D	
R	119.93M			4551.21M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T3-S2

Classe de trafic : T3  
 Type de plate forme S2  
 Revêtement BB 5 cm  
 Couche de base 20 cm  
 Couche de fondation 50 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

```

*****
*      *      *      *      *      *      *      *
*  Z    *      *  EPSILONT *  SIGMAT *  EPSILONZ *  SIGMAZ *
*****
*  .00*      *  .407E-03B* .113E+02B* -.985E-04C* .662E+01A*
*      * E= 13000.      *      *      *      *      *
*      * NU= .35      *      *      *      *      *
*      * H1= 5.00      *      *      *      *      *
*  5.00*      * -.975E-04A* .227E+01C* -.142E-03C* .595E+01B*
*----- COLLE-----*-----*-----*-----*
*  5.00*      * -.975E-04A* .157E+01B* .104E-02A* .595E+01B*
*      * E= 5100.      *      *      *      *      *
*      * NU= .25      *      *      *      *      *
*      * H2= 20.00      *      *      *      *      *
*  25.00*      * -.188E-03C* -.642E+00B* .345E-03B* .151E+01B*
*----- COLLE-----*-----*-----*
*  25.00*      * -.188E-03C* -.178E+00C* .518E-03B* .151E+01B*
*      * E= 3000.      *      *      *      *      *
*      * NU= .25      *      *      *      *      *
*      * H3= 50.00      *      *      *      *      *
*  75.00*      * -.169E-03C* -.604E+00C* .151E-03C* .163E+00C*
*----- COLLE-----*-----*-----*
*  75.00*      * -.169E-03C* -.280E-01C* .468E-03C* .163E+00C*
*      * E= 375.      *      *      *      *      *
*      * NU= .25      *      *      *      *      *
*      * H4=INFINI      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *
*****
*  D      *      73.36MM/100      *      *      R*D      *
*  R      *      134.18M      *      *      9843.01M*MM/100      *
*****
    
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T3-S3

Classe de trafic : T3  
 Type de plate forme S3  
 Revêtement BB 5 cm  
 Couche de base 20 cm  
 Couche de fondation 40 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILON	SIGMA	EPSILONZ	SIGMAZ
.00	.401E-03B	.112E+02B	-.926E-04C	.662E+01A
E= 13000. NU= .35 H1= 5.00				
5.00	-.100E-03A	.216E+01C	-.136E-03C	.595E+01B
COLLE				
5.00	-.100E-03A	.153E+01B	.104E-02A	.595E+01B
E= 5100. NU= .25 H2= 20.00				
25.00	-.194E-03C	-.681E+00B	.346E-03B	.150E+01B
COLLE				
25.00	-.194E-03C	-.204E+00C	.518E-03B	.150E+01B
E= 3000. NU= .25 H3= 40.00				
65.00	-.170E-03C	-.567E+00C	.178E-03C	.268E+00C
COLLE				
65.00	-.170E-03C	-.473E-01C	.462E-03C	.268E+00C
E= 625. NU= .25 H4=INFINI				
D	59.83MM/100		R*D	
R	133.91M		8012.15M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

## 50SE50LS

T3-S4

Classe de trafic : T3

Type de plate forme S4

Revêtement BB 5 cm

Couche de base 20 cm

Couche de fondation 30 cm

Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00*	E= 13000. NU= .35 H1= 5.00	.389E-03B*	.109E+02B*	-.904E-04C*	.662E+01A*
5.00*	COLLE	-.105E-03A*	.195E+01C*	-.125E-03C*	.595E+01B*
5.00*	E= 5100. NU= .25 H2= 20.00	-.105E-03A*	.146E+01B*	.104E-02A*	.595E+01B*
25.00*	COLLE	-.198E-03C*	-.707E+00B*	.349E-03B*	.151E+01B*
25.00*	E= 3000. NU= .25 H3= 30.00	-.198E-03C*	-.220E+00C*	.522E-03B*	.151E+01B*
55.00*	COLLE	-.157E-03C*	-.449E+00C*	.217E-03C*	.449E+00C*
55.00*	E= 1125. NU= .25 H4= INFINI	-.157E-03C*	-.749E-01C*	.425E-03C*	.449E+00C*
D	46.78MM/100		R*D		
R	133.92M		6264.37M*MM/100		

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T3-S5

Classe de trafic : T3  
 Type de plate forme S5  
 Revêtement BB 5 cm  
 Couche de base 20 cm  
 Couche de fondation 10 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILON T	SIGMA T	EPSILON Z	SIGMA Z
.00*	E= 13000. NU= .35 H1= 5.00	.372E-03B*	.106E+02B*	-.715E-04C*	.662E+01A*
5.00*	COLLE	-.113E-03A*	.167E+01C*	-.110E-03C*	.595E+01B*
5.00*	E= 5100. NU= .25 H2= 20.00	-.113E-03A*	.136E+01B*	.105E-02A*	.595E+01B*
25.00*	COLLE	-.206E-03C*	-.746E+00B*	.356E-03B*	.153E+01B*
25.00*	E= 3000. NU= .25 H3= 10.00	-.206E-03C*	-.242E+00C*	.531E-03B*	.153E+01B*
35.00*	COLLE	-.175E-03C*	-.293E+00C*	.363E-03C*	.998E+00C*
35.00*	E= 2250. NU= .25 H4= INFINI	-.175E-03C*	-.136E+00C*	.455E-03C*	.998E+00C*
D	35.28MM/100			R*D	
R	134.94M			4760.95M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

## 50SE50LS

T4-S2

Classe de trafic : T4

Type de plate forme S2

Couche de base 20 cm

Revêtement BB 7 cm

Couche de fondation 60 cm

Interfaces collées

50Xsilexite0/20+50Xsindra  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 B= 17.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z		EPSILONI	SIGMAI	EPSILONZ	SIGMAZ
.00*	E= 13000. NU= .35 H1= 7.00	-.174E-03B*	-.106E+02B*	-.986E-04C*	.862E+03A*
7.00*	COLLE	-.164E-03A*	-.494E+00A*	-.566E-04C*	.520E+01B*
7.00*	E= 5100. NU= .25 H2= 20.00	-.164E-03A*	-.784E+00B*	.957E-03A*	.520E+01B*
27.00*	COLLE	-.175E-03C*	-.587E+00B*	.108E-03B*	.135E+01B*
27.00*	E= 3000. NU= .25 H3= 60.00	-.175E-03C*	-.170E+00C*	.463E-03B*	.135E+01B*
87.00*	COLLE	-.128E-03C*	-.461E+00C*	.116E-03C*	.124E+00C*
87.00*	E= 175. NU= .25 H4= INFINI	-.128E-03C*	-.215E-01C*	.357E-03C*	.124E+00C*
D	66.46MM/100			R*D	
R	149.95M			9965.92M*MM/100	

MODULES ET CONTRAINTE EN BARS

50SE50LS

T4-S3

Classe de trafic : T4  
 Type de plate forme S3  
 Revêtement BB 7 cm  
 Couche de base 20 cm  
 Couche de fondation 45 cm  
 Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILONZ	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00*	.373E-03B*	.106E+02B*	-.975E-04C*	.662E+01A*
E= 13000.				
NU= .35				
H1= 7.00				
7.00*	-.166E-03A*	-.523E+00A*	-.536E-04C*	.520E+01B*
COLLE				
7.00*	-.166E-03A*	.763E+00B*	.958E-03A*	.520E+01B*
E= 5100.				
NU= .25				
H2= 20.00				
27.00*	-.180E-03C*	-.629E+00B*	.309E-03B*	.133E+01B*
COLLE				
27.00*	-.180E-03C*	-.199E+00C*	.461E-03B*	.133E+01B*
E= 3000.				
NU= .25				
H3= 45.00				
72.00*	-.141E-03C*	-.473E+00C*	.149E-03C*	.222E+00C*
COLLE				
72.00*	-.141E-03C*	-.398E-01C*	.384E-03C*	.222E+00C*
E= 625.				
NU= .25				
H4=INFINI				
D	55.97MM/100		R*D	
R	149.16M		8348.69M-MM/100	

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

50SE50LS

T4-S4

Classe de trafic : T4

Type de plate forme S4

Revêtement BB 7 cm

Couche de base 20 cm

Couche de fondation 35 cm

Interfaces collées

50%silexite0/20+50%india  
 POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE  
 A SOUS UNE ROUE SIMPLE  
 B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE  
 C AU CENTRE DU JUMELAGE  
 A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620  
 NOMBRE DE COUCHES 4

Z	EPSILONZ	SIGMAT	EPSILONZ	SIGMAZ
.00*	.363E-03B*	.104E+02B*	-.940E-04C*	.662E+01A*
7.00*	-.170E-03A*	-.601E+00A*	-.452E-04C*	.520E+01B*
7.00*	-.170E-03A*	.710E+00B*	.960E-03A*	.520E+01B*
27.00*	-.183E-03C*	-.644E+00B*	.311E-03B*	.134E+01B*
27.00*	-.183E-03C*	-.208E+00C*	.464E-03B*	.134E+01B*
62.00*	-.128E-03C*	-.369E+00C*	.179E-03C*	.367E+00C*
62.00*	-.128E-03C*	-.620E-01C*	.349E-03C*	.367E+00C*
D	44.05MM/100		R*D	
R	145.28M		6399.77M*MM/100	

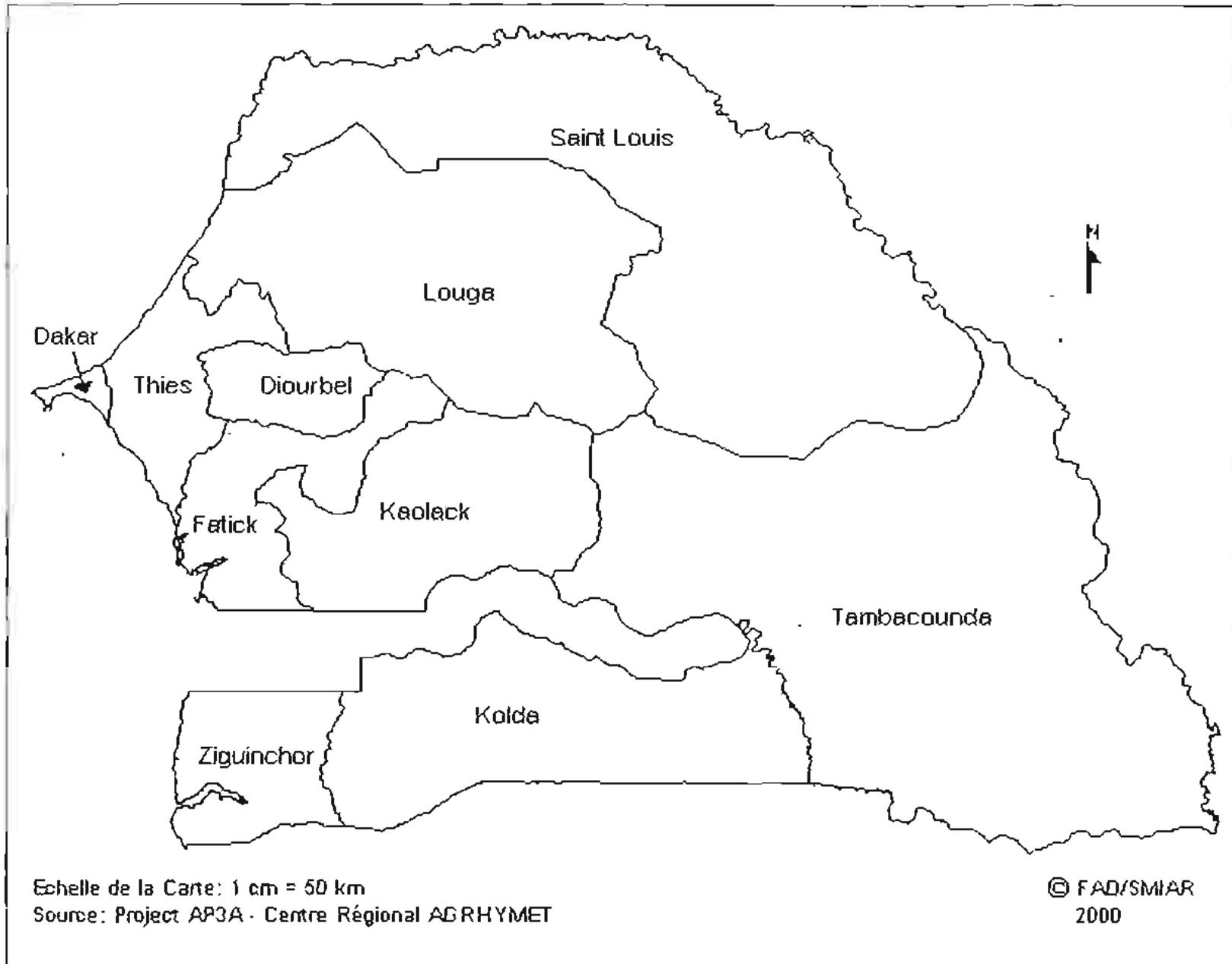
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS



# ANNEXE E :

## *Cartographie de la zone*

Carte du Sénégal :  
découpage des  
régions



# Carte donnant la position des carrières



## **BIBLIOGRAPHIE**

1. *Utilisations des graveleux latéritiques en technique routière*. Edmond BAGARRE (CEBTP), 1990
2. *Conception et dimensionnement des structures de chaussées – Guide technique*, LCPC-SETRA, 1994
3. *Cours de routes : assises de chaussées*, sous la direction de Georges JEUFFROY & Raymond SAUTERAY (Presse de l'ENPC), 1985
4. *Cours de routes : dimensionnement des chaussées* (2<sup>ème</sup> édition), sous la direction de Georges JEUFFROY & Raymond SAUTERAY (Presse de l'ENPC), 1991
5. *Cours de routes : couche de roulement*, sous la direction de Georges JEUFFROY & Raymond SAUTERAY (Presse de l'ENPC), 1988
6. *Manuel de laboratoire*, Pelletier
7. *Campagne de recherche de matériaux et cartographie des emprunts et carrières au Sénégal*, CEEREQ-Simon&Christiansen Afrique
8. Projets de fin d'études :
  - *Esquisse d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal*, Ousmane MBODJI (ESP Thiès). 2003
  - *Traitement des graveleux latéritiques suite à une substitution des particules fines nuisibles dans l'optique de leur utilisation en couche de base de chaussée sous trafic lourd*, Papa Sounkalo DOUMBIA (ESP Thiès), 2002
  - *Stabilisation mixte des graveleux latéritiques à faibles performances en vue de leur utilisation en couche de base de chaussée sous trafic lourd*, Moustapha DIAGNE (ESP Thiès), 2002
  - *Lithostabilisation du silixite par de la latérite en couche de base*, Haby KANE (EPT), 1999
  - *Amélioration par voie mécanique des graveleux latéritiques de faibles performances à l'aide e sables fillérisés de calcaire et de grès*, Abdoulaye DIARRA (EPT), 1999
  - *Utilisation du concassé de calcaire de Bandia en couche de base*, Amadou Lamine DIACK (EPT), 1996
9. *Projet de renforcement et d'élargissement de la route nationale n°1, tronçon Diam Niadio-Mbour*, POLYCONSULT Ingénierie, 2001

10. *Projet de construction des routes Thiès-Sindia et Thiès-Tassette*, Jean Lefebvre Sénégal, 2001
11. *Projet de construction de la route Mbour-Fatick*, Jean Lefebvre Sénégal, 2001
12. *Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux*, 1984 conçu par le CEBTP
13. *Notes de cours de Routes*