

REPUBLICQUE DU SENEGAL  
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Ecole Supérieure Polytechnique  
Centre de THIES

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

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

Titre : ESQUISSE D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT DES  
CHAUSSEES POUR LE SENEGAL

Auteur : **Ousmane MBODJI**

Directeur : Ibrahima K. CISSE

Co-Directeur : Abdoulaye MBODJI

Année : 2002-2003

A la mémoire de ma sœur et amie Aïssatou MBODJI, que la terre lui soit  
légère

Pour mon père Ndiack MBODJI

Pour ma mère Coura DIOUF

Pour mon Grand frère Mamadou MBODJI

Qui m'ont éduqué et guidé sur le chemin de la réussite

Et enfin pour tous ceux qui me sont chers

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire a été réalisé grâce à la collaboration de l'Entreprise Jean Lefebvre Sénégal en la personne de son Directeur Technique Monsieur Abdoulaye MBODJI à qui je témoigne ma reconnaissance. Mes remerciements les plus sincères lui sont adressés pour n'avoir ménagé aucun effort pour la réussite de ce projet.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Ibrahima Khalil CISSE Professeur titulaire, responsable du Laboratoire de Matériaux, Mécanique et Hydraulique de l'Ecole Supérieure Polytechnique pour sa disponibilité tout au long du projet et pour le travail combien important qu'il mène dans le domaine de la recherche pour le développement de l'Afrique en général et du Sénégal en particulier.

Enfin j'aimerais exprimer mes remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

## SOMMAIRE

Le présent rapport fait suite aux différentes études réalisées par les élèves ingénieurs de l'Ecole Supérieure Polytechnique en collaboration avec les entreprises et administrateurs du secteur des transports routiers.

Il vient en appoint aux différentes réponses relatives aux spécifications assez dispersées, au dimensionnement des chaussées qui, depuis quelques années subissent des dégradations prématurées avec des durées de vie largement inférieures à la moyenne et enfin à la nécessité de maîtriser les paramètres d'entrée dans les logiciels de calcul de dimensionnement comme Ecoroute et Alizé.

Ce rapport étudie d'abord les chaussées. Les matériaux utilisés en technique routière au Sénégal sont présentés ainsi que leur répartition dans le territoire national. Ensuite, il étudie les différentes méthodes de dimensionnement utilisées au Sénégal ainsi que les relations qu'elles pourraient avoir avec l'état actuel de nos routes. La démarche de dimensionnement utilisée pour faire le calcul de dimensionnement des structures proposées dans le catalogue est présentée au chapitre 5. Le chapitre 6 constitue le catalogue avec ces différentes composantes (fiches procédures, fiches matériaux et fiches structures). Les fiches matériaux et les fiches structures pourront être complétées dans le cadre de futurs projets de fin d'études.

Pour terminer, des recommandations ont été formulées pour de bonnes routes dans le cadre d'un développement durable et portent sur les matériaux utilisés en technique routière ainsi que la réalisation d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal.

TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
Remerciements	I
Sommaire	II
Table des matières	III
Liste des annexes	V
Liste des figures	V
Liste des tableaux du texte	V
Liste des tableaux Annexes A	VI
Liste des tableaux Annexes B	VI
Liste des tableaux Annexes C	VII
Liste des tableaux Annexes D	XII
Liste des abréviations	VIII
Liste des symboles	VIII
<b>INTRODUCTION</b>	
<b>Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>I- Les différents types de chaussées</b>	3
I-1 Les chaussées souples ou flexibles	3
I-2 Les chaussées semi-rigides	3
I-3 Les chaussées rigides	4
<b>II- Constitution de la chaussée</b>	5
II-1 Le sol de plate-forme	6
II-2 La couche de forme	6
II-3 La couche de fondation	7
II-4 La couche de base	7
II-4-1 Composition et rôle	7
II-4-2 Cas des matériaux traités au liants hydrauliques	8
II-5 La couche de surface	9
<b>III- Le dimensionnement</b>	10
III-1 Action d'un véhicule sur un sol	10
III-2 Principe du dimensionnement	11
III-2-1 Le trafic	12
III-2-2 Les matériaux	13
III-2-3 Le dimensionnement	13
<b>Chapitre II : LES MATERIAUX UTILISES EN TECHNIQUE ROUTIERE AU SENEGAL</b>	15
<b>I Les sables</b>	16
I-1 Les sables naturels	16
I-2 Sables traités au ciment	16
I-3 Sables traités au bitume	17
<b>II Les graveleux latéritiques</b>	17
<b>III Les graves</b>	18
<b>IV Les enduits superficiels (ESU)</b>	19
<b>V Les bétons bitumineux et enrobés denses</b>	19
<b>VI Le sand-asphalt</b>	20
<b>Chapitre III : APERCU SUR LA REPARTITION DES MATERIAUX AU NIVEAU DU SENEGAL</b>	
<b>I Les sables argileux et grés tendres</b>	21
<b>II Les alluvions marines et fluviales</b>	22
<b>III Les cuirasses ferrugineuses et dépôts en terrasse (Graviers)</b>	22
<b>IV Le calcaire</b>	22
<b>V Les Granites et Diorites</b>	23
<b>VI Les grés consolidés</b>	23

	<b>Page</b>
<b>VII Les quartzites et grés quartzites</b>	23
<b>VIII Les dolérites et basaltes</b>	23
<b>IX Le silexite</b>	23
<b>Chapitre IV : METHODES DE DIMENSIONNEMENT</b>	
<b>I- Les méthodes empiriques et semi-empiriques</b>	24
I-1 Méthode du CBR ( Californian Bearing Ratio )	24
I-2 Méthode du CEBTP	24
<b>II- Les méthodes rationnelles</b>	25
II-1 Le modèle de Boussinesq	25
II-2 Le modèle Bicouche	27
II-3 Modèle de Hogg	27
II-4 Modèle de Westergaard	28
II-5 Modèle multicouche de Burmister	29
<b>III- Paradoxe des méthodes de dimensionnement</b>	31
<b>IV- Revue du catalogue français</b>	33
<b>V- Conceptualisation du catalogue sénégalais</b>	34
V-1 But	34
V-2 Composition	35
<b>Chapitre V : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES PROPOSEES</b>	
<b>I- Modélisation des structures proposées</b>	37
I-1 Les chaussées souples	37
I-2 Les chaussées semi-rigides	38
I-3 cas du béton de sable	39
<b>II- Dimensionnement par la méthode du CEBTP</b>	39
<b>III- Dimensionnement par les méthodes rationnelles</b>	41
III-1 Les paramètres de dimensionnement	42
III-1-1 Le trafic	42
III-1-2 Les sols de plate-forme	43
III-1-3 Le climat et l'hydrologie	44
III-1-4 Paramètres de correction	45
III-2 Calcul des limites admissibles	46
III-3 Procédés de calcul des contraintes dans les couches de structure	49
<b>Chapitre VI : LE CATALOGUE DE STRUCTURES PROPRESMENT DIT</b>	50
<b>I Les fiches de procédure</b>	51
<b>Etape 1 : Détermination du trafic poids lourds</b>	51
<b>Etape 2 : Détermination de la classe de plate-forme</b>	53
a) les paramètres de nature	53
a-1 La granularité	53
a-2 L'argilosité	53
b) les paramètres de comportement mécanique	54
c) les paramètres d'état	54
<b>Etape 3 : Détermination des variantes de structures avec les épaisseurs des couches composantes</b>	55
<b>II Les fiches matériaux</b>	56
<b>III Les fiches structures</b>	56
<b>CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS</b>	58

### LISTE DES ANNEXES

Page

<b>Annexes A</b> : Spécifications sur les matériaux utilisés au Sénégal	61
<b>Annexes B</b> : Fiches matériaux	76
<b>Annexes C</b> : dimensionnement avec le guide du CEBTP	92
<b>Annexes D</b> : Carte de répartition des matériaux	96

### LISTE DES FIGURES

<b>Fig. 1</b> - Principe de distribution des charges à travers une chaussée souple	4
<b>Fig. 2</b> - Principe de distribution des charges à travers une chaussée rigide	5
<b>Fig. 3</b> - Schéma structural d'une chaussée	5
<b>Fig. 4</b> - Principales contraintes auxquelles doit répondre une couche de fondation	7
<b>Fig. 5</b> - Principales contraintes auxquelles doit répondre une couche de base	8
<b>Fig. 6</b> - Différence de comportement entre matériau amélioré et matériau stabilisé	9
<b>Fig. 7</b> - Principales contraintes auxquelles doit répondre une couche de roulement	10
<b>Fig. 8</b> - Schéma du principe illustrant la déflexion d'un sol sous l'effet d'une charge	11
<b>Fig. 9</b> - Diffusion de la contrainte selon Boussinesq	26
<b>Fig. 10</b> - Modèle du bicouche	27
<b>Fig. 11</b> - Diffusion de la contrainte selon hogg	28
<b>Fig. 12</b> - Diffusion de la contrainte selon Westergaard	29
<b>Fig. 13</b> - Modèle multicouche de Burmister	30
<b>Fig. 14</b> - Schématisation des charges	52
<b>Fig. 15</b> - Exemple de fiche structure	57

### LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> - Principaux types de structures de chaussées et critères de dimensionnement (Martinez, 1990)	12
<b>Tableau 2</b> - classes de trafic définies par le CEBTP EN Afrique francophone	13
<b>Tableau 3</b> - Différences entre le béton bitumineux et les enrobes denses	20
<b>Tableau 4</b> - Variantes de structures en chaussées souples	37
<b>Tableau 5</b> - Variantes de structures en chaussées semi-rigides	38
<b>Tableau 6</b> - Variantes de structures type spécial	38
<b>Tableau 7</b> - Classes de trafic et de plates-formes utilisées dans le dimensionnement des chaussées par	40
<b>Tableau 8</b> - Exemple de dimensionnement avec le guide du CEBTP	40
<b>Tableau 9</b> - Correspondances entre trafic du CEBTP et de l'étude	41
<b>Tableau 10</b> - Calcul des classes de trafic PL de l'étude	43
<b>Tableau 11</b> - Trafic équivalent choisi pour le dimensionnement	43
<b>Tableau 12</b> - Classification des plates-formes selon le LCPC-SETRA	44
<b>Tableau 13</b> - Feuille de présentation du calcul des contraintes admissibles des matériaux	49
<b>Tableau 14</b> - Tableau de présentation des paramètres de dimensionnement des structures	49
<b>Tableau 15</b> - Tableau de présentation des résultats du calcul avec Ecoroute	49

<b>LISTE DES TABLEAUX    ANNEXES A</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b> : Spécifications sur les sables	62
<b>Tableau 2</b> : Spécifications sur les sables traitables au ciment	63
<b>Tableau 3</b> : Spécifications sur mélange sol-ciment	63
<b>Tableau 4</b> : Spécifications sur les sols traitables au bitume	64
<b>Tableau 5</b> : Spécifications sur le sable-bitume enrobé à chaud	64
<b>Tableau 6</b> : Spécifications sur les graveleux latéritiques crus	65
<b>Tableau 7</b> : Fuseau grave latéritique après compactage (CEBTP)	65
<b>Tableau 8</b> : Fuseau grave latéritique (CEBTP)	65
<b>Tableau 9</b> : Spécifications sur les graveleux latéritiques utilisés	66
<b>Tableau 10</b> : Fuseaux Grave 0 / 31.5 (basalte ou silixite)	66
<b>Tableau 11</b> : Spécifications sur grave 0/31.5	66
<b>Tableau 12</b> : Spécifications sur grave calcaire	66
<b>Tableau 14</b> : Spécifications sur les latérites améliorables aux liants hydrauliques	67
<b>Tableau 15</b> : Spécifications sur les latérites améliorées au ciment	67
<b>Tableau 16</b> : Spécifications sur la grave naturelle	68
<b>Tableau 17</b> : Spécifications sur la grave non traitée	69
<b>Tableau 18</b> : Spécifications sur la grave reconstituée humide	70
<b>Tableau 18</b> : Spécifications sur les granulats à utiliser pour la grave-bitume	71
<b>Tableau 19b</b> : Fuseaux GB CEBTP	71
<b>Tableau 20</b> : Spécifications sur le mélange	71
<b>Tableau 21</b> : Spécifications sur la qualité des granulats pour les ESU	72
<b>Tableau 22</b> : Spécifications sur les enduits superficiels	72
<b>Tableau 23</b> : Spécifications sur la qualité des granulats des bétons bitumineux	73
<b>Tableau 24</b> : Fuseaux BB LCPC-SETRA	73
<b>Tableau 25</b> : Fuseaux BB CEBTP	73
<b>Tableau 26</b> : Spécifications sur les bétons bitumineux	73
<b>Tableau 27</b> : Spécifications sur les enrobés denses	74
<b>Tableau 28</b> : Spécification sur le Sand-Asphalt	75

**LISTE DES TABLEAUX    ANNEXES B**

<b>Tableau 1</b> : Contraintes et déformations admissibles du sable naturel	76
<b>Tableau 2</b> : Contraintes et déformations admissibles du sol-ciment	77
<b>Tableau 3</b> : Contraintes et déformations admissibles du sable bitume	78
<b>Tableau 4</b> : Contraintes et déformations admissibles des graveleux latéritiques crus	79
<b>Tableau 5</b> : Contraintes et déformations admissibles des graveleux latéritiques améliorés	80
<b>Tableau 6</b> : Contraintes et déformations admissibles des graveleux latéritique améliorés au ciment	81
<b>Tableau 7</b> : Contraintes et déformations admissibles de la grave naturelle	82
<b>Tableau 8</b> : Contraintes et déformations admissibles de la grave non traitée	83
<b>Tableau 9</b> : Contraintes et déformations admissibles de la grave reconstituées humide	83
<b>Tableau 10</b> : Contraintes et déformations admissibles de grave bitume	84
<b>Tableau 11</b> : Contraintes et déformations admissibles des béton bitumineux	86
<b>Tableau 12</b> : Contraintes et déformations admissibles des enrobés denses	87
<b>Tableau 13</b> : Contraintes et déformations admissibles du sand-ansphalt	88



<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>ANNEXES B</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 14 :</b> Contraintes et déformations admissibles dans les sols de plate-forme		89
<b>Tableau 15 :</b> Table de calcul des contraintes et déformations des matériaux traités au liant hydraulique		90
<b>Tableau 16 :</b> Table de calcul des contraintes et déformations des matériaux traités au liant bitumineux		91

<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>ANNEXES C</b>	
<b>Tableau 1 :</b> Epaisseurs obtenues avec le guide de dimensionnement du CEBTP pour un trafic $T_1$		92
<b>Tableau 2 :</b> Epaisseurs obtenues avec le guide de dimensionnement du CEBTP pour un trafic $T_2$		93
<b>Tableau 3 :</b> Epaisseurs obtenues avec le guide de dimensionnement du CEBTP pour un trafic $T_3$		94

#### **ANNEXES D**

Abaque de dimensionnement des chaussée en béton de sable	95
--	----

<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	96
----------------------	----

## LISTES DES ABREVIATIONS

<b>AIPCR</b> : Association Mondiale des Routes	<b>JLS</b> : Jean Lefebvre Sénégal
<b>CEBTP</b> : Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics	<b>LCPC</b> : Laboratoire Central de Ponts et Chaussées
<b>CEREEQ</b> : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes pour l'Equipement	<b>METT</b> : Ministère de l'Equipement et des Transports Terrestres
<b>CSE</b> : Compagnie Sahélienne d'Entreprises	<b>MIET</b> : Ministère des Infrastructures de l'Equipement et de Transports
<b>DAO</b> : Dossier d'Appels d'Offres	<b>PL</b> : Poids Lourds
<b>DTP</b> : Direction des Travaux Publics	<b>SETRA</b> : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
<b>ESP</b> : Ecole Supérieure Polytechnique	
<b>IST</b> : Institut des Sciences de la Terre	

<b>SN</b> : Sables naturels	<b>GNT1</b> : Graves Naturelles 0 / D ( criblée, roulée )
<b>SC</b> : Sols-ciment	<b>GNT2</b> : Graves Concassées 0/D
<b>SB</b> : Sable bitume	<b>GRH</b> : Graves reconstituées humides
<b>BS</b> : Béton de sable	<b>GB</b> : Grave bitume
<b>GL</b> : Graveleux latéritiques crus	<b>ESU</b> : Enduits superficiels
<b>GLC</b> : Graveleux latéritiques améliorés au ciment	<b>ED</b> : Enrobés denses
<b>GLA</b> : Graveleux latéritiques améliorés aux concassés 0 / D	<b>BB</b> : Bétons bitumineux
	<b>SA</b> : Sand-asphalt

<b>ACV</b> : Agregate Crushing Value	<b>IP</b> : Indice de Plasticité
<b>CBR</b> : Californian Bearing Ratio	<b>LA</b> : Los Angeles
<b>CPA</b> : Coefficient de polissage accéléré	<b>MDE</b> : Micro Deval Eau
<b>ES</b> : Equivalent de Sable	<b>VBS</b> : Valeur de Bleu du Sol

## LISTES DES SYMBOLES

<b>E</b> : Module de Young	<b>kr</b> : Coefficient de risque de calcul
<b><math>\nu</math></b> : Coefficient de poisson	<b><math>\mu</math></b> : fractile de la loi normale réduite centrée
<b><math>\sigma_6</math></b> : Contrainte à $10^6$ cycles	<b><math>\delta</math></b> : Ecart type
<b>N</b> : Trafic pondéral de dimensionnement	<b>kc</b> : Coefficient de calage
<b><math>\epsilon_6</math></b> : Elongation à $10^6$ cycles	<b>ks</b> : Coefficient de rigidité
<b>b</b> : Pente de la loi de fatigue des matériaux	<b><math>k_d</math></b> : Coefficient de discontinuité.

<b>A</b> : Coefficient d'aplatissement	<b>m</b> : mortier (%passant tamis 0.425)
<b>CBR</b> : Indice portant	<b>Rc</b> : Rapport de Concassage
<b><math>C_c</math></b> : Coefficient de courbure	<b>Rc</b> : Résistance à la compression simple
<b><math>C_u</math></b> : Coefficient d'uniformité	<b><math>R_{728}</math></b> : Compression diamétrale ( à 28 j )
<b>D</b> : Dimension maximale	<b>W</b> : Teneur en eau
<b>d</b> : Dimension minimale	<b>Wn</b> : Teneur en eau naturelle
<b>f</b> : % fines (%passant tamis 80 $\mu$ m)	<b>Wopt</b> : Teneur en eau optimale
<b>IC</b> : Indice de Concassage	<b><math>\gamma_d</math></b> : Densité sèche
<b><math>I_c</math></b> : Indice de Consistance	
<b>K</b> : module de rigidité	
<b>LL</b> : Limite de Liquidité	

## INTRODUCTION

Le Ministre des Infrastructures, de l'Equipeement et des Transports dans son message lors de l'ouverture du "SEMINAIRE INTERNATIONAL SUR LA ROUTE ET LE TRANSPORT INTEGRE ( MIET / AIPCR ) disait : *"Offrir à tous les usagers des infrastructures et des services de transport de qualité constitue le préalable à un développement économique et social harmonieux."* [29]

De tels propos montrent toute l'importance de la place et du rôle du transport, de la route en particulier, dans le tissu économique et social de la nation. En effet, le transport routier est présent dans tous les secteurs de la vie moderne (éducation, santé, loisirs, commerce etc.), de la production à la consommation. Le transport équilibre l'aménagement par le rôle qu'il joue dans l'optimisation des investissements sociaux. Il renforce l'unité nationale en permettant d'assurer l'intégrité territoriale par le désenclavement, la facilité des échanges sociaux et la mobilité des populations.

En l'état actuel du niveau d'intégration et de développement des pays de l'Afrique, le transport routier devient un élément à prendre en compte pour une intégration économique et sociale efficace. Ceci à été compris par le New Partnership for Africa Development (NEPAD) qui place les infrastructures parmi les secteurs prioritaires.

Le Sénégal, dans sa politique de développement économique et sociale à travers les Programmes Quadriennaux de Développement (PQD), les Plans d'Orientation pour le Développement Economique et Social(PODES), les Programmes Triennaux d'Investissement Public (PTIP), le Programme d'Ajustement Sectoriel des Transport (PAST) et le dernier né, le deuxième Projet Sectoriel de Transports (PST2), a eu à développer un vaste programme de construction, de réhabilitation et de maintenance des routes. Cette politique a permis de faire passer le réseau de 30 Km environ de route revêtues en 1924 à plus de 4250 en 2000. Durant la même période les routes non revêtues sont passées de 500 Km (routes empierrées) à plus de 10000 Km.

Cependant, la plupart de ces routes subissent des déformations intenses ou sont en état de dégradation accrue et atteignent une phase de rupture prématurée ( DTP 2000 ). Ceci remet

en cause le dimensionnement, les normes de construction, les spécifications sur les matériaux à utiliser.

Par conséquent, 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;
- ❖ de redéfinir les techniques de caractérisation des sols de plate-forme;
- ❖ de déterminer le trafic et les coefficients d'agressivité du trafic sur les différents tronçons routiers du pays.
- ❖ Enfin utiliser des méthodes de dimensionnement adaptées à nos matériaux.

C'est dans cette optique que le sujet que nous allons traiter et qui s'intitule "ESQUISSE D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES POUR LE SENEGAL" a été choisi.

Pour le réaliser, il était nécessaire de faire une étude documentaire visant la révision des spécifications sur les matériaux routiers au Sénégal. Ce qui a permis de présenter un répertoire des matériaux existant et pouvant être utilisés en technique routière, complété par des spécifications et des hypothèses de dimensionnement sur ces matériaux.

Des méthodes de dimensionnement rationnelles seront utilisées pour faire le calcul de dimensionnement des structures de chaussées proposées. Des fiches matériaux tout comme des fiches procédures décrivant le processus de dimensionnement ont été établies. Et enfin des fiches structures qui contiennent différentes structures précalculées complètent cet ensemble qui constitue un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal.

Nous présentons ainsi dans ce rapport au chapitre 1 l'étude bibliographique. Le chapitre 2, quant à lui, traite des matériaux utilisés en technique routière au Sénégal et le chapitre 3 de leur répartition au niveau national. Dans le chapitre 4 nous exposons les différentes méthodes de dimensionnement utilisées au Sénégal ainsi que les relations qu'elles pourraient avoir avec l'état actuel de nos routes. Puis le chapitre 5 présente la démarche de dimensionnement utilisée pour faire le catalogue et enfin le chapitre 6 étudie le catalogue et ses composantes.

Pour terminer, nous tirons les conclusions de cette étude avant de procéder aux recommandations permettant d'obtenir de bonnes routes dans le cadre d'un développement durable.

## Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Des pistes carrossables apparues depuis 3500 ans avant J.C. l'homme 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 du trafic dans de bonnes conditions de sécurité et de confort pour les usagers et assurer sa fonction pour une période de service minimal fixée au stade de l'élaboration du projet.

Le rôle du corps de la chaussée est de ramener les contraintes exercées par les pneumatiques à un niveau compatible à la contrainte de rupture 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, etc.) des différentes couches constituant la chaussée. Les aspects économiques portent sur le coût de l'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**

Selon le mode de fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement :

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

Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface et d'une assise en matériaux granulaire. 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.

#### **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, elle 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 béton sous l'effet des charges

Le principe de distribution des contraintes dans les différents types de structures routiers sont donnés aux figures 1 et 2.

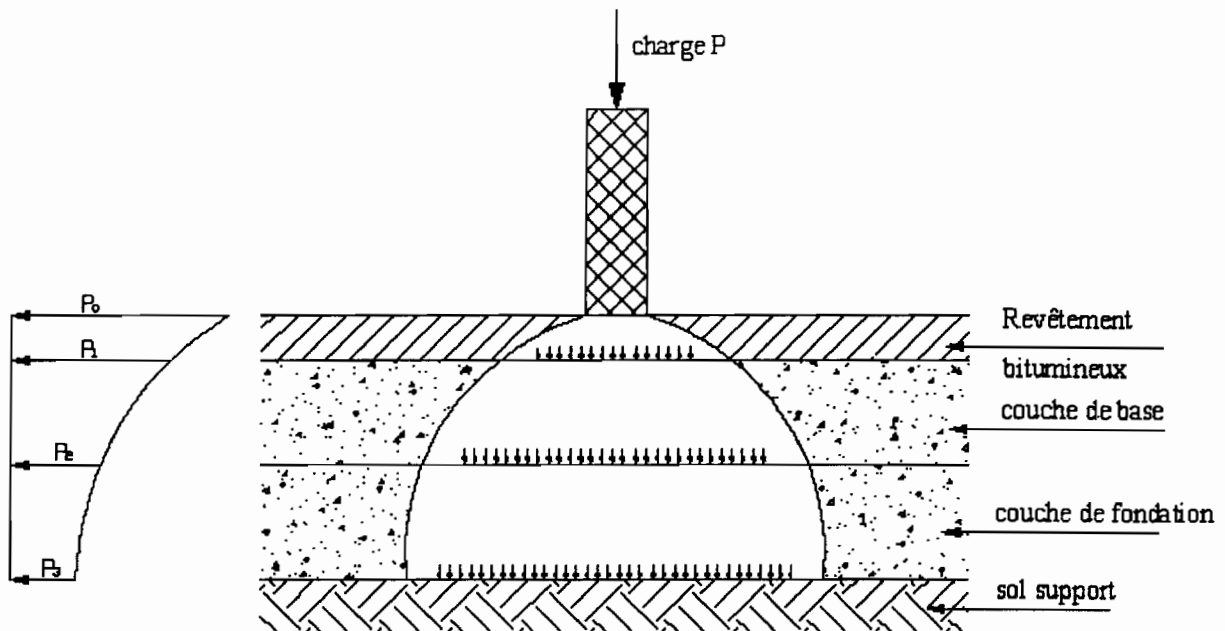


Figure 1 - Principe de distribution des charges à travers une chaussée souple

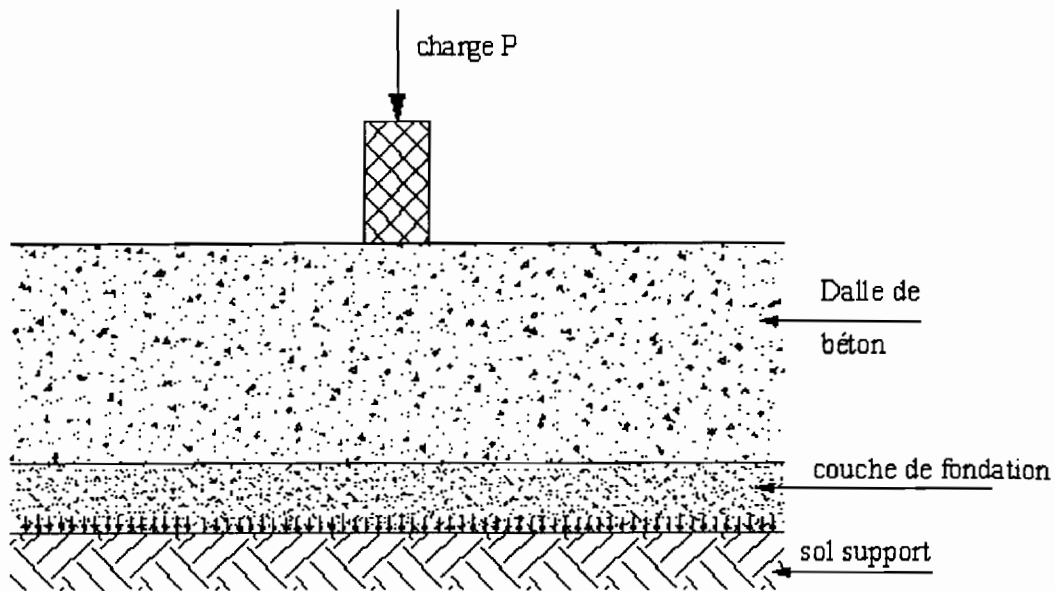


Figure 2 - Principe de distribution des charges à travers une chaussée rigide

Il existe aussi dans le jargon français des chaussées à structure mixte ou inverse qui ne sont presque pas utilisées dans notre pays. Ces types de chaussées devraient faire l'objet d'études et, le cas échéant, de vulgarisation dans la mesure où leur choix peut dans certains cas s'avérer plus pertinent que les structures traditionnellement connues.

## II Constitution de la chaussée

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur le sol-support de chaussée. Parmi ces couches, on a généralement la couche de roulement ou de surface et la couche d'assise constituée des couches de base et de fondation (figure 3).

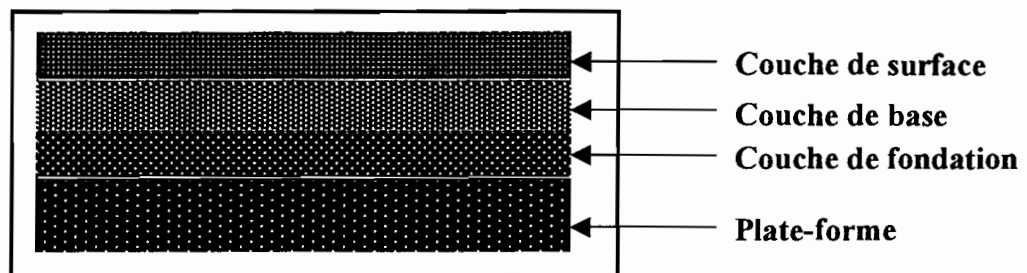


Figure 3 - Schéma structural d'une chaussée

## II-1 Le sol de plate-forme

Le sol-support ou plate-forme correspond au terrain occupant les parties supérieures des terrassements (30 à 100 cm). 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 part l'épaisseur des couches de chaussée qui reposent sur elle. Une bonne portance permet d'éviter les déformations sous chargement lourd ou répété entraînant une dégradation prématurée de la chaussée.

Selon les cas, on peut avoir recours à :

- la pose d'une couche de forme ;
- des purges puis des remblais ;
- une substitution de matériaux ;
- un traitement du sol en place par la chaux ;
- la pose d'un matériau anti-contaminant de type géotextile.

Dans les pays tropicaux et plus particulièrement au Sénégal, on distingue cinq (05) classes de portance des sols de plate-forme.

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 inférieure à 5 sont à proscrire. Il est préconisé un des traitements spéciaux cités plus loin (amélioration, purge, substitution, remblais d'apport, et / ou drainage) selon le type de sol rencontré (argiles gonflantes, sable de faible portance etc.).

## 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. Elle doit avoir une épaisseur suffisante et constituée de matériaux de bonne portance.

Ainsi, elle assurera une transition, de fait, entre le sol en place ou rapporté et la chaussée. Elle résistera aussi aux sollicitations des engins de terrassement.

Elle doit rester insensible aux variations hydriques et participer au drainage de la chaussée.



### II-3 La couche de fondation (figure 4)

Couche sus-jacente à la plate-forme, la couche de fondation permet d'assurer une répartition homogène des contraintes sur la couche de forme ou sur la plate-forme supérieure des terrassements. Pour cela, elle doit présenter une certaine résistance mécanique. Les matériaux qui la composent doivent avoir un CBR supérieur à 30 % selon le trafic et ne doivent pas être friables. La couche de fondation doit assurer aussi un bon drainage et avoir une compacité minimale de 95 % de l'OPM.

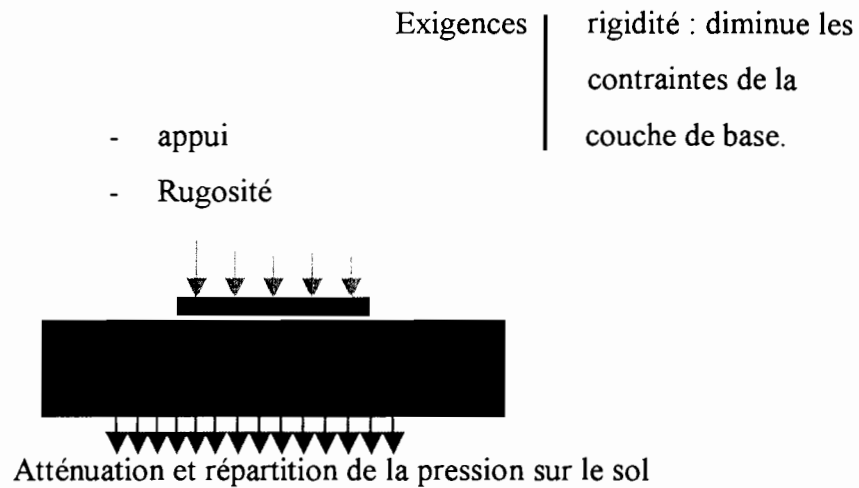


Figure 4 - Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de fondation

### II-4 La couche de base

#### II-4-1 Composition et rôle

Elle constitue avec la couche de fondation, l'assise de la chaussée. Elle est soumise à des contraintes verticales, effet de poinçonnement dû à la pression des pneumatiques et des contraintes de cisaillement à la base dans le cas des matériaux traités aux liants blancs d'autant plus important que la couche de surface est mince. Elle doit être constituée de matériaux suffisamment durs pour résister à l'attrition et avoir un grand indice portant ou stabilité.

Les matériaux de qualité faisant de plus en plus défaut, les couches de base sont souvent en matériaux traités au ciment. Il est spécifié que le matériau présente d'abord un CBR supérieur à 60 et un CBR supérieur à 160 après traitement. Il est important de veiller à la répartition du ciment. En effet une forte concentration rigidifie la chaussée. Si elle possède une rigidité élevée, comme dans le cas de couches stabilisées, il se produit 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 [22]

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

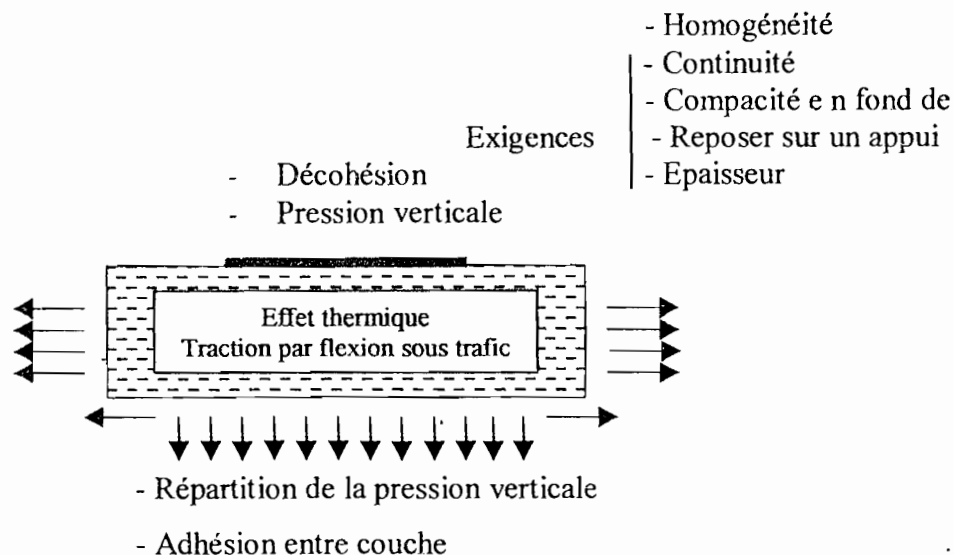


Fig. 5 - Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de base [17]

#### II-4-2 Cas des matériaux traités au liants hydrauliques

Ce sont des matériaux à granulométrie continue, mais dans lesquelles, pour améliorer la stabilité et la résistance mécanique, on ajoute un liant

- à prise lente : laitier granulé, cendres volantes, pouzzolanes naturels ;
- à prise rapide : ciment.

##### Notion d'amélioration et de stabilisation

Il convient de distinguer deux types très différents de traitement : l'amélioration et la stabilisation au ciment. Bagarre [31] distingue :

- les sols améliorés au ciment où le pourcentage de ciment est  $\leq 3\%$  ;
- les sols stabilisés au ciment où le pourcentage de ciment peut varier de 4 à 6 % ;
- les sols-ciments où le pourcentage de ciment peut varier de 10 à 12 %.

On retiendra que les matériaux améliorés sont ceux pour lesquels l'amendement, en général à faible dosage, a pour but de modifier les qualités sans changer profondément la

rigidité et que les matériaux stabilisés sont ceux pour lesquels le traitement entraîne une augmentation importante de la rigidité [32].

Ces définitions très différentes de celles que l'on fournit habituellement (matériaux améliorés : dosage 3 à 4 % et matériaux stabilisés : dosage  $\geq 5$  %) sont très importantes. Les méthodes d'études sont très différentes, le comportement également. La figure 6 illustre la différence entre ces deux conceptions. Les matériaux 1 et 2 ont la même résistance à la compression simple, mais le premier a un comportement rigide et l'autre un comportement souple.

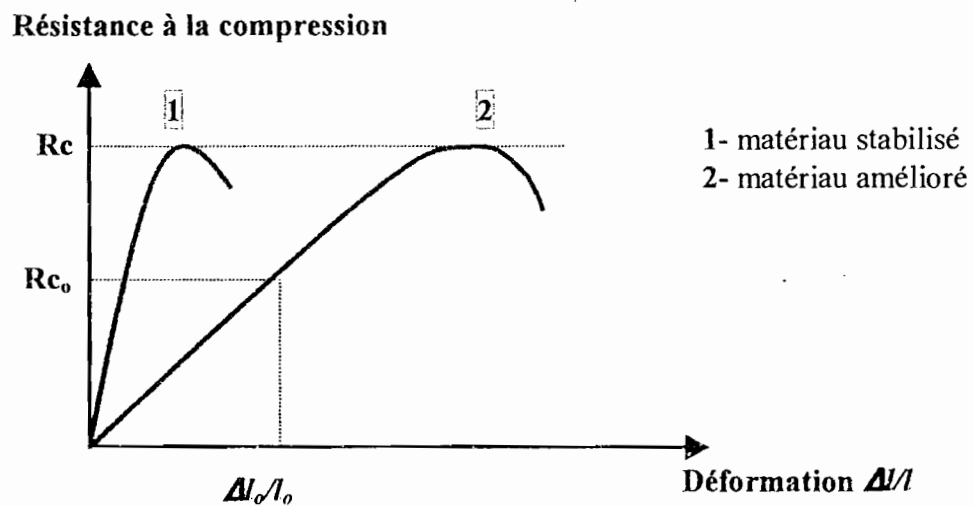


Fig. 6 - Différence de comportement entre matériau amélioré et matériau stabilisé

## II-5 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 du trafic et 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 7 ci-dessous

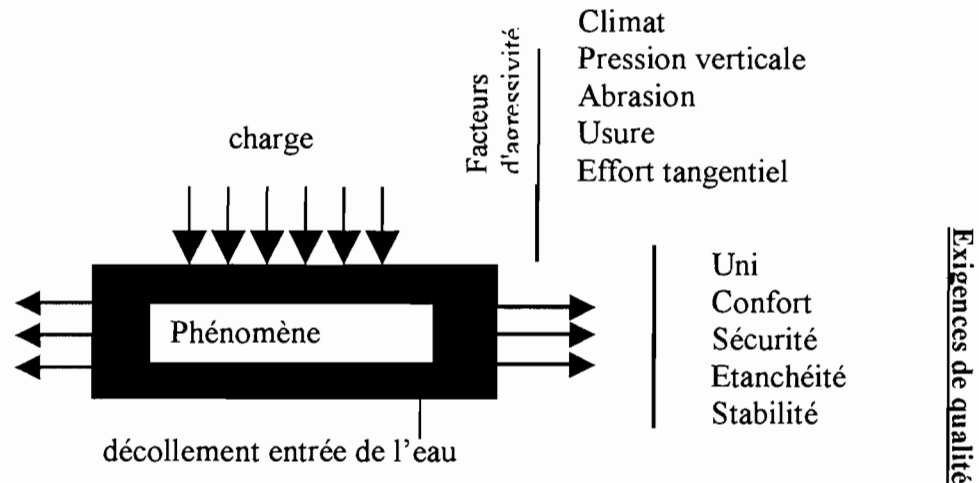


Fig. 7 - Principales exigences auxquelles doit répondre une couche de roulement

La mise en œuvre de toute cette infrastructure passe au préalable par un dimensionnement des différentes couches qui la composent afin qu'elle puisse résister aux différentes sollicitations sus-citées.

### III- Le dimensionnement

#### III-1 Action d'un véhicule sur un sol

Lorsqu'un véhicule se déplace sur un sol, son poids est transmis au sol sous forme de pression par l'intermédiaire des pneumatiques.

D'une manière générale, les sols ne peuvent supporter sans dommage de telles pressions. Si le sol n'est pas assez porteur, le pneu le comprime et il se forme une ornière.

Par contre si le sol est porteur ; il se passe deux choses imperceptibles mais qu'il faut bien comprendre

- Le sol s'affaisse sous le pneu : c'est la déformation totale  $W_t$
- lorsque, la roue s'éloigne, le sol remonte mais pas totalement : il reste une déformation résiduelle  $W_r$ .

La différence  $d = W_t - W_r$  s'appelle la « déflection »

L'orniérage est la déformation résiduelle  $W_r$  qui s'accroît au fur et à mesure des passages des véhicules et proportionnellement à leur charge. Ce processus est schématisé à la figure 8.

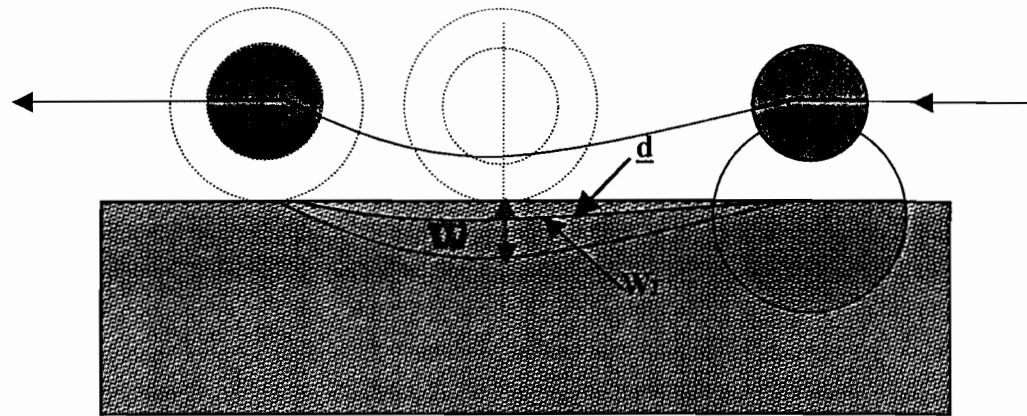


Figure 8 - Schéma du principe illustrant la déflexion d'un sol sous l'effet d'une charge

### III-2 Principe du dimensionnement

Le principe du dimensionnement est de limiter la charge transmise par la roue au sol support afin de minimiser ses déformations et éviter de l'amener à la rupture. Ce dimensionnement passe par la détermination sous l'effet du trafic des contraintes et déformations à travers les corps de chaussée et sur le sol support et la comparaison de ses contraintes et déformations avec celles admissibles. Le tableau 1 ci-dessous indique les différents types de structures et leurs critères de dimensionnement.

Dénomination	Souple		Semi-rigide			Rigide Béton	
	Traditionnelle	A assise hydrocarbonée	Mixte	A assise hydraulique	Inverse	Classique	A dalle épaisse
Géométrie + critère mécanique principal	BB ou ES					Béton de ciment	
	$\varepsilon_z$ ↓ GNT	GB $\varepsilon_r$ ← →	GB $\varepsilon_r$ ← →	CLH $\sigma_r$ ← →	GNT $\varepsilon_z$ ↓	← $\sigma_r$ →	
	$\varepsilon_z$ ↓ GNT	GB ou GNT	CLH $\sigma_r$ ← →	CLH $\sigma_r$ ← →	CLH $\sigma_r$ ← →	GRAVE TRAITÉE ou BETON MAIGRE	GRAVE NON DRAINANTE
	PLATE FORME						
Autres critères	Imperméabilité	Orniérage	Remontée des fissures		Orniérage	Imperméabilité	Déplacement des dalles

Tableau 1. - Principaux types de structures de chaussées et critères de dimensionnement [33]

BB : Béton bitumineux      GB : Grave bitume      GNT : Grave non traitée  
 ES : Enduit superficiel      CLH : Couche traitée aux liants hydrauliques

Pour faire le dimensionnement il faut au préalable

- déterminer le trafic auquel la chaussée sera soumise et choisir la durée de vie escomptée
- faire l'évaluation des matériaux disponibles et déterminer leurs caractéristiques.
- Etudier les types de plate-forme qui vont recevoir la chaussée et leur capacité portante.

### III-2-1 Le trafic

La détermination du trafic se fait à partir d'études statistiques de la demande actuelle et passée. Ces études permettront de déterminer le taux de croissance et de faire la prédiction des trafics futurs.

Le trafic considéré dans les études de dimensionnement est le trafic cumulé poids lourds sur la durée de vie escomptée. Le poids lourd est le véhicule dont la charge utile dépasse 3,5 tonnes. Ce trafic est constitué dans la plupart du temps de camions, de semi-remorques et de bus.

Dans les pays tropicaux on distingue cinq classes de trafics (tableau 2) : l'essieu équivalent est celui de 13 tonnes et la durée de vie est de quinze (15 ans)

N équivalent PL	CLASSE DE TRAFIC	N équivalent Véh / j
< 5 10 <sup>5</sup>	T <sub>1</sub>	< 300
de 5 10 <sup>5</sup> à 1.5 10 <sup>6</sup>	T <sub>2</sub>	de 300 à 1000
de 1.5 10 <sup>6</sup> à 4 10 <sup>6</sup>	T <sub>3</sub>	de 1000 à 3000
de 4 10 <sup>6</sup> à 10 <sup>7</sup>	T <sub>4</sub>	de 3000 à 6000
de 10 <sup>7</sup> à 2 10 <sup>7</sup>	T <sub>5</sub>	de 6000 à 12000

**Tableau 2** : Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique francophone

De nos jours, la durée de vie est de plus en plus considérée à vingt ans (20 ans) d'où la remise en cause de cette classification. Les limites des classes de trafic vont changer nous rapprochant le plus des limites françaises.

### III-2-2 Les matériaux

Les matériaux constituant les différentes couches de chaussée peuvent être d'origines diverses. Concassés ou roulés, ils doivent répondre à certaines spécifications relatives à leurs caractéristiques physiques (état de surface, propreté du mélange...), mécanique (résistance aux chocs, à l'abrasion, au polissage, et à l'attrition), géométrique (angularité, la forme et la granularité) et chimique (vieillessement).

La qualité des matériaux croit de la plate forme au revêtement, cette qualité faisant de plus en plus défaut, on a recours au traitement des matériaux locaux. La latérite est le matériau le plus utilisé en technique routière au Sénégal. Mais sa surexploitation fait qu'on assiste aujourd'hui à des études pour sa substitution par le silixite ou un matériau lithostabilisé (mélange de calcaire -latérite).

### III-2-3 Le dimensionnement

Différentes méthodes ont été proposées.

- ✓ Les méthodes empiriques basées sur des observations visuelles.
- ✓ Les méthodes semi-empiriques qui utilisent des calculs rationnels associés aux observations visuelles
- ✓ et les méthodes rationnelles qui utilisent les lois de l'élasticité et plus récemment les lois de la plasticité associées au caractère rhéologique des matériaux pour déterminer les épaisseurs.

Depuis quelques années on assiste à la mise sur pieds de catalogue de dimensionnement spécifique a chaque pays.

Un catalogue est un ensemble de structures pre-calculées en fonction des différents types de plate-formes prédéfinies, les différentes classes de trafic, les caractéristiques intrinsèques des différents types de matériaux disponibles.

Notre étude consistera à élaborer une esquisse d'un catalogue de chaussées utilisable au Sénégal.

Le travail d'expérimentation continuera durant quelques années encore et pourra être confié à des étudiants en rapport avec les laboratoires (CEREEQ), les écoles (ESP - IST) et les entreprises (JLS, CSE, Fougerolle).



## Chapitre II : MATERIAUX UTILISES EN TECHNIQUE ROUTIERE AU SENEGAL

Les travaux routiers demandent de grandes quantités de matériaux. De par leur rôle, les matériaux qui constituent la superstructure doivent être de bonne qualité. Cette exigence sur la qualité des matériaux de chaussée va croître des couches inférieures aux couches supérieures.

Les matériaux utilisés sont originaires des roches qui peuvent être :

- Eruptives ou ignées : basalte plus généralement, dolérite, granite parfois.. ;
- Sédimentaires : sables, latérites, grés .... ;
- Métamorphiques : latérites, gneiss parfois, quartzite ...

Ces matériaux sont souvent sous forme de:

- massif rocheux : ils sont alors exploités en carrière par concassage
- graveleux naturels: ils sont alors exploités :
  - ✦ en gravière pour les terrasses alluviales et les gisements latéritiques ;
  - ✦ par dragage pour les dépôts lacustres et fluviaux.

Les matériaux et mélanges utilisés en technique routière au Sénégal et décrits dans ce catalogue sont les suivants :

1. Sables naturels
2. Sols-ciment
3. Sable bitume
4. béton de sable
5. Graveleux latéritiques crus
6. Graveleux latéritiques améliorés au ciment
7. Les graveleux latéritiques améliorés aux concassés de calcaire ou de silicite (Lithostabilisation), de latérite criblée, de basalte etc.
8. Graves Naturelles 0 / D ( criblée, roulée ) ( GNT1 )
9. Graves Concassées 0/D ( de calcaire, de basalte, de silicite ) ( GNT2 )
10. Graves reconstituées humides ( GRH )
11. Grave bitume ( GB )
12. Enduits superficiels ESU
13. Enrobés denses,

14. Bétons bitumineux

15. Sand-asphalt

## **I - LES SABLES**

### **I-1 LES SABLES NATURELS**

Par définition, un sable naturel est un granulat dont la dimension maximale exprimée en passoires est inférieure ou égale à 6.3mm (  $D_{\max} \leq 6.3\text{mm}$  ) et le pourcentage de fines inférieur à 35 ( % passant le tamis N°200 ou  $80\mu\text{m} \leq 35$  ).

Ils sont utilisables en couche de fondation pour les trafics  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  rarement et lorsque la couche de base est granulaire; en effet si la couche de base est traitée il faudra avoir recours au traitement du sol du fait de leur faible déformabilité admissible (entre 125 et 350/100mm). Si les matériaux de bonne qualité font défaut dans la zone, on peut les utiliser en couche de base pour un trafic faible (  $T_1$  ).

Si les propriétés du sable ne sont pas convenables, c'est à dire s'ils ne satisfont pas aux exigences du cahier des charges, on peut les améliorer par apport de concassés 0/D ou d/D, on fait ainsi une correction granulométrique .

Ce produit amélioré peut recevoir une certaine quantité de liant hydraulique ou hydrocarboné pour augmenter ses performances.

Leur diversité d'origine et de composition minéralogique font que leur utilisation doit se faire avec précautions. Ainsi, il serait toujours souhaitable avant d'utiliser un sable de faire son identification géotechnique et de procéder à son classement.

### **I-2 Sables traités au ciment**

Sous la dénomination sols-ciment, ce traitement se fait pour les sols peu ou pas argileux.. Ils sont utilisés en couche de fondation lorsque la couche de base est en grave-bitume ou en grave-ciment. Ce traitement permettra ainsi de rigidifier la couche fondation et absorber les contraintes dues à la traction à la base des graves traitées.

Il faudra éviter le surdosage en ciment qui peut créer des effets de dalle.

### I-3 Sables traités au bitume

Le traitement au bitume est utilisé pour les sols qui ont une bonne portance avec une mauvaise tenue à l'eau. Le sable-bitume convient en couche de base pour les trafics  $T_1$  et  $T_2$  et parfois  $T_3$ . Son utilisation en couche de fondation est possible mais n'est pas très économique.

Le sable-bitume peut aussi être utilisé en couche de roulement c'est le cas des sables enrobés à chaud ou Sand-Asphalt et les enrobés fins ou micro-béton.

Suivant la teneur en fines et la propreté du sable on distingue :

- Le sol-bitume :           % fines ( passant tamis  $80\mu\text{m}$  )  $>15$   
                                  IP non nul
- Le sable enrobé à froid : % fines ( passant tamis  $80\mu\text{m}$  ) entre 5 et 15  
                                  IP nul ou en petite quantité
- Le sable-bitume :       ES  $> 40$   
                                  IP = 0

## II LES GRAVELEUX LATÉRITIQUES

Présents sur plus de 60 % du territoire national, les graveleux latéritiques sont de loin les matériaux les plus utilisés en technique routière au Sénégal et plus généralement en Afrique.

La latérite est une roche résiduelle rougeâtre issue d'un processus d'altération de roches meubles silico-alumineuses avec départ de la silice et enrichissement relatif en alumine.

C'est la partie grave et brèche qui est la plus utilisée en technique routière. Utilisées depuis plusieurs années, leur maîtrise reste toujours à l'ordre du jour et peut dépendre de l'expérience de l'utilisateur.

On peut cependant prendre quelques précautions pour les utiliser selon que l'on est en zones :

- Arides : caractérisées par des écarts de températures élevés qui engendrent des phénomènes de retrait et des fissurations précoces sur les couches traitées ;
- Humides : les teneurs en eau y sont élevées et un excès d'eau ne facilite pas le compactage et peut engendrer des pertes de portance des matériaux traités.

Actuellement les latérites de bonne qualité font beaucoup défaut ce qui fait qu'on a souvent recours au traitement du matériau cru. Ce qui fait qu'elles sont souvent utilisées en couches d'assise crues, améliorées ou stabilisées selon le trafic et la plate-forme.

Le traitement se fait soit :

- par adjonction d'une frange granulométrique 0 / D ou d / D : on renforce le squelette ce qui corrige ainsi la granulométrie qui se trouve resserrée. En même temps, on modifie la plasticité et on augmente la portance. Le mélange obtenu est souvent appelé **bétons de sols**.
- Par adjonction de chaux ou de ciment en quantité inférieure à 3% en poids : on parle d'**amélioration** ; le matériau n'est pas rigidifié, la plasticité est réduite, l'aptitude au compactage améliorée et la portance considérablement augmentée.
- Par adjonction de ciment en quantité supérieure à 3 % en poids : on parle de **stabilisation** si le pourcentage est inférieur à 7 et de sols-ciment ou bétons latéritiques maigres si le pourcentage est entre 10 et 12.

### III LES GRAVES

Ce sont des mélanges granulométriques continus de cailloux, graviers et de sables avec généralement une certaine proportion de particules plus fines.

Ils peuvent provenir de gisements alluvionnaires à courbe granulométrique à peu près satisfaisante ( Graves Naturelles ) : ils ne conviennent alors qu'aux chaussées à faible trafic du fait de leur forme arrondie et de l'absence d'une certaine frange de granulats.

Ils peuvent aussi être en concassés, criblés ( **GNT** ) ou reconstitués en central ( **GRH** ) ils peuvent alors satisfaire aux exigences pour les chaussées à trafic plus élevé.

La grave reconstituée humide ( **GRH** ) est la plus élaborée du fait de la maîtrise de sa granulométrie et de l'adjonction d'eau qui facilite son compactage.

Une grave est caractérisée par ses dimensions extrêmes, sa courbe granulométrique, la forme, l'angularité et la texture des granulats, sa propreté et sa dureté.

Actuellement, le seul gisement de roche massive en exploitation est en phase d'épuisement. Néanmoins, depuis 1995 des études poussées sont menées sur la caractérisation du silexite. Le silexite de la famille des roches hypersilicieuses, est un rejet industriel non recyclé de la Compagnie Sénégalaise des phosphates de Taiba. Les études menées à l'IST [25] ont montré que le silexite pourrait se substituer au basalte en couche de revêtement avec des performances comparables et en couche d'assise.

Dans la pratique, le module de la couche en grave devrait être proportionnel à celui du sol sous-jacent avec un coefficient pouvant varier de 2 à 4. Ceci dans le but de modérer les contraintes transmises. Cependant ce module reste toujours faible pour certains trafics. Ce qui fait qu'on a souvent recours à l'amélioration de leurs performances par traitement au ciment ( **Grave-ciment GC** ) efficace mais très coûteux pour les pays du tiers monde ou au bitume ( **Grave-bitume GB** )

#### IV LES ENDUITS SUPERFICIELS ( ESU )

Ce sont des couches de bitume et de gravillons répandues successivement avec une dope éventuellement.

Ils doivent assurer la rugosité et l'étanchéité de la couche de surface. Leur rapidité d'exécution et leur coût peu élevé font des ESU la méthode la plus utilisée en revêtement.

Cependant, leur utilisation est limitée aux trafics faibles de  $T_1$  à  $T_3$  et parfois  $T_4$ .

La granularité utilisée doit permettre de former une mosaïque de telle sorte que les granulats de petites dimensions remplissent les vides entre les gros granulats. Plusieurs variantes sont proposées dépendant de l'expérience du projeteur.

Le choix du liant est déterminé par le niveau de 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.

L'utilisation d'un agent adhésif peut être nécessaire pour assurer le mouillage et la résistance du couple liant/granat. Cette utilisation doit être guidée par la mesure de l'adhésivité passive à partir des essais de laboratoire.

#### V LES BETONS BITUMINEUX ET ENROBES DENSES

Ce 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 ESU pour des trafics plus élevés et avec un meilleur comportement. 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** ( tableau 3 )

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

## VI LE SAND-ASPHALT

C'est un sable 0/D enrobé à chaud avec D compris entre 2 et 4 ( $2 \leq D \leq 4$ ). Il est constitué de sable roulé et de bitume entre 6,5 et 7 % du poids. On peut éventuellement adjoindre du sable concassé pour améliorer sa performance. Sont utilisation est conseillée pour les trafics  $T_1$  et  $T_2$

Les matériaux utilisés en technique routière au Sénégal doivent satisfaire aux exigences du cahier des charges sur la qualité des constituants et les performances des mélanges. Ces exigences portent surtout sur les propriétés suivantes :

- la granulométrie : étalement de la courbe, pourcentage de fines, frange plastique, dimensions maximales ( D ), dimensions minimales ( d )... ;
- la qualité de la roche : résistance à l'usure par abrasion ( L.A ), résistance à l'usure par frottement ( C.P.A ), résistance à l'usure en présence d'eau ( M.D.E )
- la forme des grains : coefficient d'aplatissement ( A )
- la propreté du mélange: l'équivalent de sable ( E.S ), la sensibilité à l'eau ( V.B.S )

## Chapitre III : APERCU SUR LA REPARTITION DES MATERIAUX AU NIVEAU DU SENEGAL

Le Sénégal est couvert sur sa plus grande partie par les sables et grés argileux tendres du continental terminal ainsi que des cuirasses ferrugineuses, des sables et alluvions du quaternaire. Cependant on note quelques parties qui regorgent de matériaux durs et de bonne qualité utilisables en technique routière (voir carte jointe).

### I Les sables argileux et grés tendres

On les rencontre

- sur la bordure de la vallée du Sénégal avec des quantités plus importantes entre Kaédi et Matam ;
- A Loumbi-sud au nord ouest de Tambacounda ;
- le plus souvent près des affleurements de cuirasses ferrugineuses.

Les sables et coquillages sont d'une grande variété on distingue :

- **Les dunes rouges** : on les rencontre à Saint Louis, au Ferlo, au Sine-saloum, au sud de Mboro jusqu'à Lompoul , entre St Louis et le Lac de Guiers, du lac Tamna au lac Mekhé et de Camberéne à Lompoul. Elles sont constituées de sables grossiers avec peu de fines.
- **Les sables et coquillages de la terrasse marine ouljienne** : ce sont des dépôts sableux ou fossilifères ou uniquement sableux. On les rencontre sur le delta de la basse vallée du Sénégal, sur la Basse Casamance et dans l'estuaire du Sine-Saloum.
- **Les dépôts naturels de coquillages de plage et de fonds de lagune**: on les rencontre à St Louis et dans le delta du Sénégal.
- **Les amas artificiels de coquillages** : Souvent à proximité des marigots avec présence de baobabs, de fromagers ou de palmiers, on les rencontre surtout en Basse Casamance et dans l'estuaire du Sine-Saloum, à Joal et à St Louis.
- **Les dunes littorales** : on les rencontre en cordon entre l'embouchure du Sénégal et Yoff, plus particulièrement entre Kayar et Mboro et à hauteur de Guéoul, sur les cotes du Sine-saloum et de la Casamance. Leur dimension est inférieure à 0.40mm.

## II Les alluvions marines et fluviales

On les rencontre en Basse Casamance, dans l'estuaire du Sine-Saloum, dans le delta du Sénégal, dans la vallée du Sénégal en amont de Bakel, et sur le Falémé.

## III Les cuirasses ferrugineuses et dépôts en terrasse (Graviers)

Ils affleurent largement le Sénégal plus particulièrement dans trois zones :

- Le Sénégal oriental et la haute et moyenne vallée : dans les collines bassaris, vers Kaédi, dans les plaines de la Falémé et en Gambie aux environs de Samekouta, le long des cours d'eau, au bord ouest de la vallée entre bokéladji et Diamal au nord-ouest (ces terrasses ont fait l'objet d'études et d'utilisation par l'entreprise Jean Lefebvre Sénégal dans le cadre de son projet Ourosogui-Bakel ), à Boki-diawé et Méri.
- Le plateau continental terminal : nord Ferlo, haute et moyenne Casamance, Kolda , Sédhiou, nord Gambie, Goudiry, Bala, Tamba, Koungoul , Kaffrine, Séfa, Sakar, Madina Mandingue ( sur la rive gauche du Sougrougrou ).
- Le plateau de Thiès et le massif de Ndiass où l'on trouve des latérites de bonne qualité particulièrement à Lam-Lam, Sindia, Gandigal.

## IV 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 Popeguine, à Rufisque et Mbao où on a des calcaires grossiers, au Nord de Balabougou, entre Thiadiaye et Diaganiao, à Ngazobile, Ndianda-nguénéine où on a des calcaires durs et assez massifs, à Bargny près de Siennidou où on a un calcaire riche en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , à Keur Momar Sarr au Nord-Est, à Kotiédia dans la vallée du Ferlo, entre Mbeuleukhé et Yang-yang, entre Bokéladji au sud-est et Haéré Lao, au Nord-Ouest, à Ourosogui et Kanel ; à Bandafassi-Ibel-Landiéne, à Thiokoye-yérogoueto et le long de la Falémé où on a des calcaires métamorphiques.



## **V Granites à Diorites**

Les roches granitiques sont présentes en grande partie au Sénégal oriental : au parc Niokolo-koba, à Badon-Léoba, Yamoussa, Saraya, Soukouta, Dioudiounkonko, Tinkoto, Soumbarabougou, et à Mamakono.

## **VI Les grés consolidés**

On les rencontre à Ségou sur la frontière Malienne, dans le Boundou au sud de Bakel et dans la presqu'île du Cap-Vert ( Ndiass, Dougar)

## **VII Les quartzites et grés quartzites**

Ils sont présents à proximité de la Falémé dans les régions de Faricounda et de Koundamé, en bande dans les collines Bassaris jusqu'au nord de Bakel, entre Etiolo et Koté, à Bakel et Gouta où on a des quartzites très durs, sur la route de Kédougou-youkounkoun, sur la Gambie entre Banharé et Worouli et au sud de Dalaba

## **VIII Les dolérites et basaltes**

On les rencontre au Sénégal oriental sur la frontière guinéenne, à Bandafassi, Ndebouet, Baraboye, en bande allant de Baraboye jusqu'à Gatiari au nord en passant par les collines de Mako, de Kanéméré et les régions de Mamakono et Konkotou. On les retrouve aussi sur la falaise du Cap Manuel, au sud de Gorée, sur l'île des madeleines, à l'ouest de la ligne Yoff-Hann. Elles sont présentes en quantité considérable dans la région de Thiès et particulièrement à Diack, au nord de Pout et à l'entrée de Rufisque.

## **IX Le silexite**

On le rencontre en stock actuel de 28.800.000 tonnes au terril de Keur mor FALL et 19.800.000 au terril de Ndomor DIOP à Taiba dans la région de thiés. Elles se présente sous forme de rognons ou groupées en passés plus ou moins horizontaux.

## Chapitre IV : METHODES DE DIMENSIONNEMENT

La réalisation des différents types de chaussées passe d'abord par un dimensionnement adéquat. Pour cela différentes méthodes ont été proposées suivant deux approches.

- L'approche empirique qui établit des relations entre la durée de vie et les propriétés mécaniques des matériaux.

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

- L'approche théorique ou rationnelle qui établit un modèle représentant le mieux possible le comportement mécanique du corps de chaussée basée sur la rhéologie du matériau.

On distingue dans cette approche : le modèle de Boussinesq, le modèle du Bicouche, le modèle de Hogg, le modèle de Westergaard et le modèle multicouche de Burmister.

### I- LES METHODES EMPIRIQUES ET SEMI-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.

Leur principal désavantage est qu'elles ne peuvent être appliquées que pour les conditions climatiques et de trafic pour lesquelles elles ont été établies.

#### I-1 Méthode du CBR ( Californian Bearing Ratio )

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 aux performances de la chaussée.

## II- LES METHODES RATIONNELLES

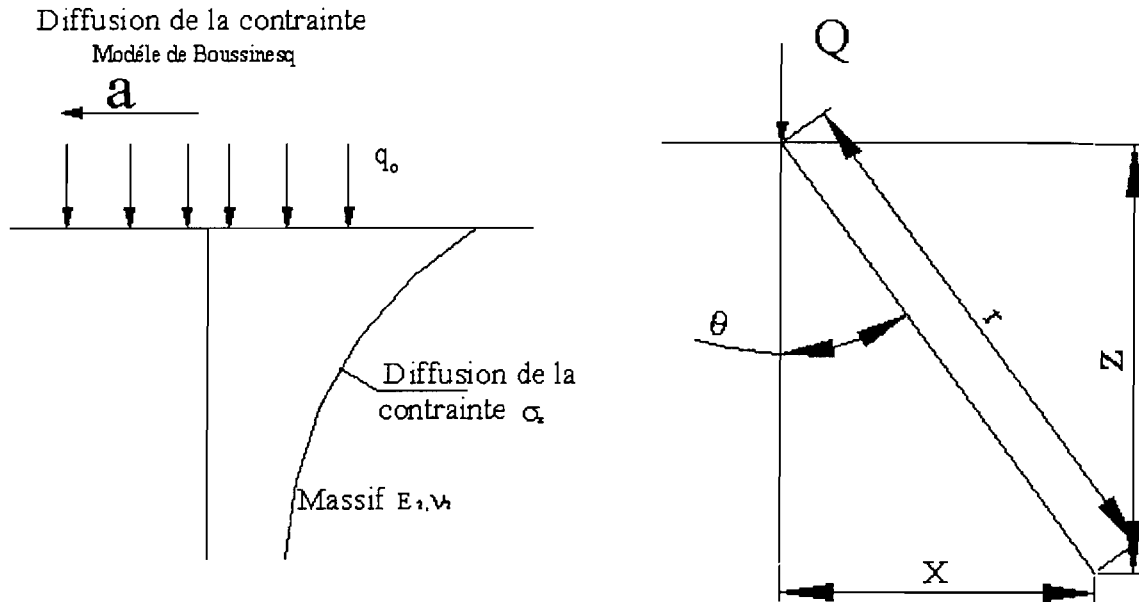
Les méthodes rationnelles sont basées sur la mécanique des milieux continus et sur la résistance des matériaux. Ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être appliquées à des structures sous différents types de climat et pour divers chargements de trafic.

Le comportement des matériaux de chaussées et de plate-forme sera représenté avec des modèles mathématiques. Les sollicitations subies par les matériaux sous l'effet du trafic seront déterminées. Elles seront ensuite comparées aux sollicitations admissibles. Ceci permettra de prévoir le développement de divers types de détérioration au cours de la durée de vie de la chaussée.

### II-1 Le modèle de Boussinesq

Boussinesq considère le sol comme un massif élastique semi-infini et suppose que le corps de chaussée en matériau granulaire ne lui est pas très différent. De ce fait, la pression se répartit dans la superstructure de la même manière que dans le sol.

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 figure 9 ci-dessous.



Figures 9 : Diffusion de la contrainte selon Boussinesq

La contrainte est donnée par :

$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} Z^3 (X^2 + Z^2)^{5/2}$$

ou encore pour  $\cos\theta = \frac{Z}{(X^2 + Z^2)^{1/2}}$   $\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi Z^2} \cos^5\theta$

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 plateforme reste inférieure à la contrainte admissible du sol ( $\sigma_z < \sigma_{ad}$ )

## II-2 Le modèle Bicouche (figure 10)

Lorsqu'on est en présence de matériaux traités aux liants hydrauliques, des contraintes de traction apparaissent à la base de la couche traitée. Le modèle de Boussinesq ne se prête plus du fait de la nécessité de la vérification de la traction à la base. On fait alors recours à la méthode du bicouche dans laquelle la vérification du travail en flexion de la couche liée est prépondérante. Il faut ainsi satisfaire

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

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

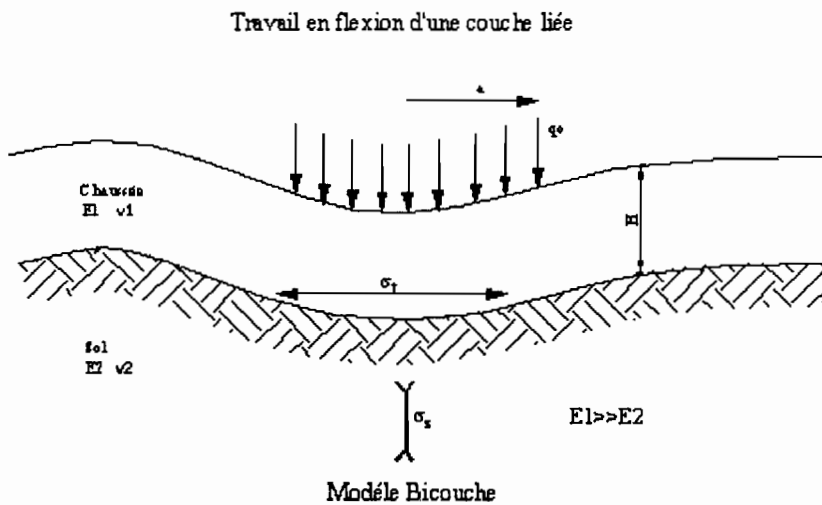
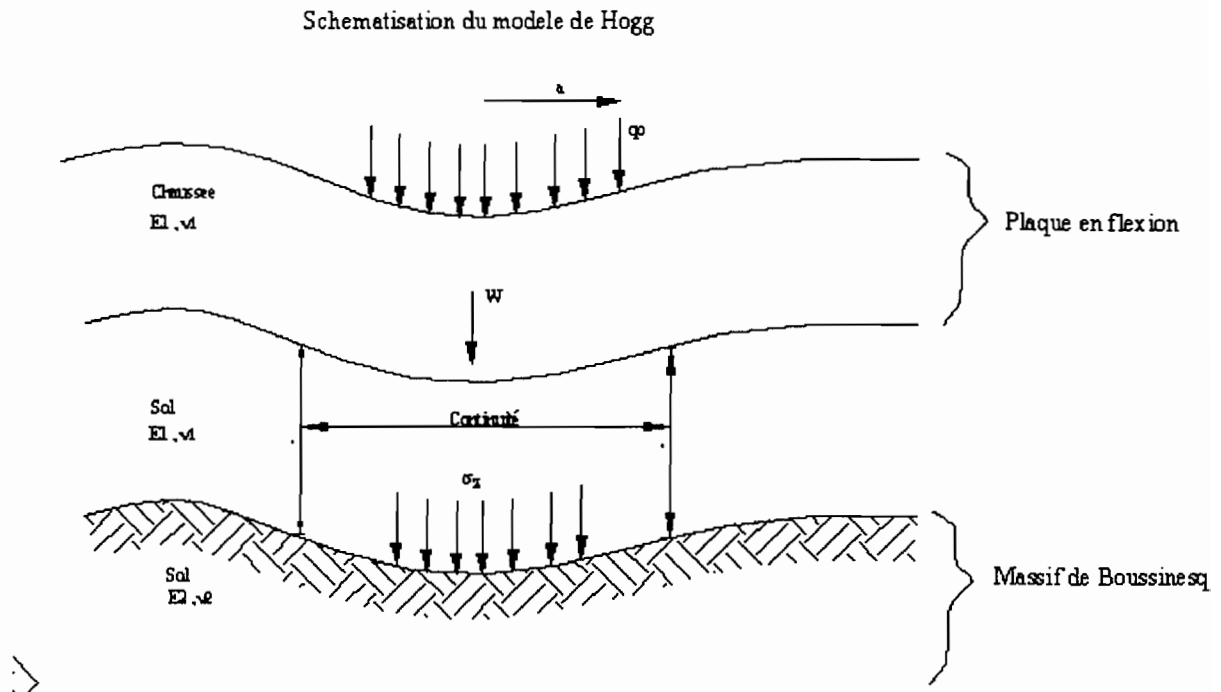


Figure 10 : Modèle bicouche

## II-3 Modèle de Hogg (figure 11)

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

Où  $D = \frac{E1H^3}{12(1-\nu^2)}$  est un facteur de rigidité,  $w$  la deflexion et  $\Delta^2 w = \frac{\sigma_z - q_0}{D}$



**Fig 11 : 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 : 
$$\sigma_t = \frac{P}{H^2} \frac{1+\nu}{2\pi} F\left(\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{H^3}{a^3}\right) \quad \text{où} \quad \frac{1+\nu}{2\pi} F\left(\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{H^3}{a^3}\right) \quad \text{est le facteur de rigidité}$$

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

#### II-4 Modèle de Westergaard (figure 12)

Il utilise le même modèle que Hogg. Cependant il considère le sol support comme un assemblage de ressorts dont le déplacement vertical est proportionnel à la pression verticale  $V$  :

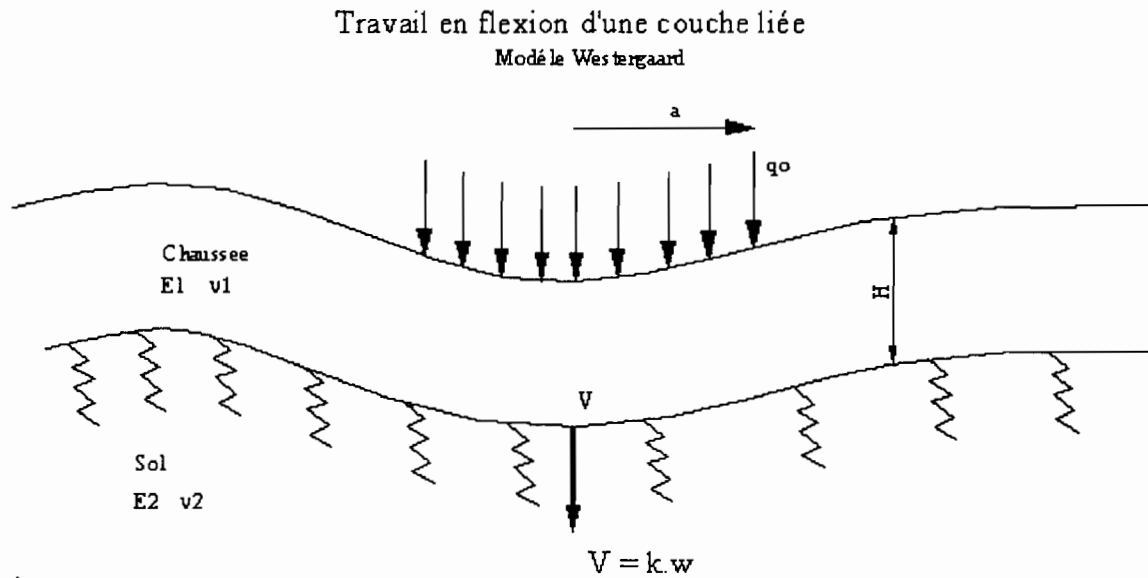


Fig 12 : Diffusion des contraintes selon Westergaard

$$V = K \cdot W$$

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 :

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

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

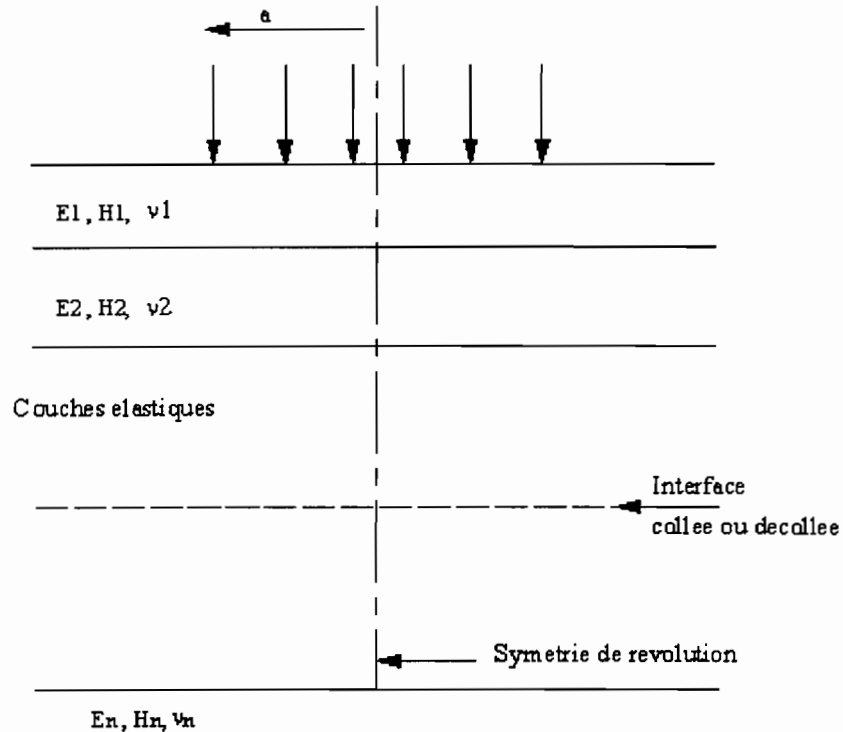
P : charge par roue

C : fonction croissante de I dépendant de la position de la charge

## II-5 Modèle multicouche de Burmister (figure 13)

Face à la multiplicité de types de structures et au renforcement lors de leur entretien, Burmister a développé un modèle qui peut tenir compte de plusieurs couches. Dans ce modèle, les couches sont considérées comme des solides élastiques, la liaison entre les couches peut être avec glissement ou sans glissement. En cas de charges multiples, la méthode de superposition est applicable.

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.



**Fig 13 : Modèle multicouche de Burmister**

Actuellement, avec le développement de l'outil informatique, ce modèle est le plus utilisé. Les logiciels comme **AlizeIII** 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- PARADOXE DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Depuis l'antiquité, l'homme a toujours été confronté aux problèmes de voies de circulation. Il a toujours eu à les surmonter allant de la surface de roulement à base de goudron inventée par Mac Adam dans les années 1750 aux chaussées revêtues de nos jours.

Dans cette longue quête du confort, d'importants travaux de recherche ont été menés dans le domaine du dimensionnement des chaussées. Différentes méthodes ont été proposées.

Des méthodes empiriques aux méthodes dites rationnelles, les chercheurs se sont toujours dit qu'il est évident que si l'on est en mesure, pour une structure, à priori :

- de calculer les contraintes et déformations en chaque couche et dans le sol support,
- de fixer des limites eu égard au cycle de chargement, aux contraintes ou aux déformations :

il est alors possible de chercher les structures

- Les plus économiques
- Les plus harmonieuses du point de vue de leur évolution dans le temps

La recherche de ces qualités est la cause effective du dimensionnement structural.

C'est ainsi que par des expériences sur une longue durée (essais AASHOO) différents principes de dimensionnement ont été proposés. On a vu ensuite la méthode du CBR et celle du TRRL.

Cette approche a surtout permis aux chercheurs notamment aux physiciens d'essayer d'appréhender le comportement rhéologique des matériaux de chaussée. Ce qui aboutit à la modélisation des chaussées, et à l'utilisation de la théorie de l'élasticité pour résoudre le problème de dimensionnement.

Cependant, ces méthodes empiriques, semi-empiriques et rationnelles n'ont pas encore trouvé d'application universelle surtout en Afrique. En effet chaque pays, voire chaque région, a ses propres règles et appliquent les méthodes de dimensionnement à sa guise.

Les paramètres d'entrées dans les logiciels Ecoroute et Alizé III, issus du développement de l'outil informatique pour la résolution des équations des méthodes rationnelles, ne sont pas maîtrisés par les tierces personnes qui utilisent ces logiciels. Ce qui n'est pas sans conséquences sur l'état actuel des routes. En effet les routes construites depuis

quelques années ont subi des déflexions notables ou atteignent une phase de rupture prématurée ( DTP 2000).

Ce qui met en cause les méthodes de dimensionnement utilisées. Ceci serait dû à la nature des matériaux et certainement au mode d'évaluation de leurs propriétés.

Les méthodes empiriques ont été réalisées dans des conditions spécifiques et leur extrapolation pour des pays tropicaux devraient se faire avec attention. Une précision sur les essais afin de refléter le comportement exact du sol est une condition sine qua non.

Or comme on le remarque dans la plupart de nos travaux, les entreprises voulant tirer trop profit financier se fient peu de la qualité du matériau. Il faut noter aussi la non maîtrise par les aides laborantin des essais, ce qui fait que les résultats ne sont pas précis et on se doute même si on ne triche pas à la limite.

Par rapport aux méthodes de dimensionnement, il faut noter aussi que la méthode CBR et celle du TRRL exposées plus haut utilisent le critère de rupture par poinçonnement or la plupart des routes construites au Sénégal depuis quelques années sont à assise améliorée au ciment vu la raréfaction des matériaux de bonne qualité. Ce qui fait que la structure travaille plutôt en traction et que donc le critère qui devrait être considéré est la rupture par traction à la base de la couche traitée. Ceci devrait mettre d'emblée ces méthodes hors d'usage, mais ce n'est pas le cas. Ces méthodes sont utilisées quelle que soit la structure et dans les Dossiers d'Appel d'Offres (DAO) on se contente même de demander un CBR de 160 après traitement au liant hydraulique.

Néanmoins, les méthodes rationnelles sont apparues pour régler tous ces problèmes. En effet ses méthodes de dimensionnement rationnelles se basent sur trois principes fondamentaux qui leur sont communs.

1. La pression verticale au droit de la charge imposée en surface doit être compatible avec la résistance du sol, compte tenu de sa teneur en eau d'équilibre.
2. Si une couche rigide, cohérente, est prévue, son épaisseur doit être suffisante pour qu'elle ne se fracture pas sous l'effet des flexions répétées.
3. Si une couche bitumineuse épaisse de surface est prévue ou si une base non traitée est prévue, ces couches ne doivent pas fluer sous l'effet du trafic.

Ce sont là trois règles fondamentales dont tiennent compte la plupart des méthodes de dimensionnement rationnelles exposées plus haut à la lumière des résultats théoriques sur les méthodes mécaniques et des observations des chaussées en Europe.

Malgré l'apport des méthodes rationnelles, se pose le problème des matériaux. L'application de ces méthodes se faisant à travers des logiciels, la maîtrise des paramètres d'entrées devient nécessaire pour un bon dimensionnement. Ces paramètres étant liés aux caractéristiques intrinsèques du matériau, la manière de les déterminer ou de les calculer a beaucoup d'influence sur la suite. En Afrique et surtout au Sénégal, le matériel de laboratoire fait défaut. Ce qui fait que la plupart des caractéristiques intrinsèques des matériaux utilisés sont a priori déterminées avec une marge d'erreur d'où un résultat souvent biaisé.

Il faut noter aussi que ses méthodes nous viennent d'Europe. Les coefficients utilisés pour le calcul des contraintes admissibles sont ceux déterminés par le LCPC. Certes ces paramètres ont une petite influence ( ils tendent tous vers 1) sur le dimensionnement mais on gagnerait à trouver leur « raison d'être » afin de pouvoir les quantifier nous-mêmes.

Les classes de trafic données par le CEBTP et utilisées par les bureaux d'études Sénégalaises présentent des écarts par rapport à la durée de vie qui se généralise maintenant à vingt (20) ans. Ce qui a des influences notables sur la contrainte dite admissible prise en compte par les calculs.

Cette analyse faite sur les méthodes de dimensionnement nous permet de remettre en cause tout un processus de travail effectué depuis un bon moment et de préconiser une mouture des Dossiers d'Appel d'Offre (DAO) qui ne ressemblent qu'à des « copier-coller ». Une réorganisation des principes de contrôle avec l'exigence des services qualité, l'élaboration de manuels de procédures pour chaque entreprise réalisatrice s'avèrent nécessaires. Des entreprises plus engagées, avec un esprit patriote pour que tout soit fait dans les règles de l'art sont également indispensables.

#### IV- REVUE DU CATALOGUE FRANÇAIS ( extrait Résumé Catalogue des structures types de chaussées neuves. Réseau routier national document du 01. 10. 1998 )

Le catalogue français se présente sous la forme de trois fascicules et de deux séries de fiches de structures, une série pour les voies du réseau structurant (VRS) et une série pour les voies du réseau non structurant (VRNS)

i. La "**notice d'utilisation**" constitue le mode d'emploi des fiches de structures. Elle explicite la démarche de détermination d'une structure de chaussée (détermination de la

catégorie de la voie, de la classe de trafic et de la plate-forme support de chaussée, choix de la composition de la couche de surface, vérification au gel-dégel, coupe transversale de la chaussée, mise en concurrence de structures d'épaisseurs différentes, exemples d'utilisation).

Ce fascicule est complété par des annexes :

-bibliographie,

-indices de gel,

- classes de sensibilité au gel.

ii) Le fascicule "**hypothèses et données de calcul**", explicite et motive les choix qui ont été effectués pour conduire aux structures proposées. On y trouvera ainsi toutes les valeurs numériques et les hypothèses qui permettent de recalculer les structures.

Il se compose des chapitres suivants :

- constitution des structures de chaussées (familles retenues dans ce catalogue : chaussées bitumineuses épaisses, chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques, structures mixtes, chaussées en béton de ciment, structures souples, structures inverses).

- description des structures et classes des matériaux utilisés,

- détermination des épaisseurs nominales d'assise au bord droit,

- données d'entrée du dimensionnement

iii) Les **annexes** proposent des synthèses sommaires de documents techniques utiles pour l'utilisation de ce catalogue

## **V- CONCEPTUALISATION DU CATALOGUE SENEGALAIS**

### **V-1 But**

Dans les avants projets routiers, on met plus l'accent sur le dimensionnement des chaussées que sur une prospection du terrain. Actuellement avec la raréfaction des matériaux de bonne qualité, Il serait souhaitable d'inverser cette tendance.

En outre depuis une décennie on note une dégradation et des ruptures prématurées de certains tronçons routiers. Ceci met en cause les méthodes de dimensionnement et engendre des surcoûts additionnels.

La mise sur pieds d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le 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 réduire le temps mis au bureau au profit des recherches sur le terrain, de revaloriser les matériaux locaux et de réaliser des réductions de coûts dans les projets routiers.

## V-2 Composition

Ce catalogue sera composé de trois parties :

### ❖ Les fiches de procédures

Elles constituent le mode d'emploi des fiches de structures. Dans ces fiches on donnera la démarche à suivre pour la détermination d'une structure de chaussée (détermination de la catégorie de la voie, de la classe du trafic et de la plate-forme support de chaussée, choix de la composition de la couche de surface, coupe transversale de la chaussée , exemples d'utilisation).

### ❖ Les fiches de matériaux

Chaque matériau sera fiché et dans chaque cas on aura :

- les spécifications sur son utilisation en technique routière selon les résultats des expériences réalisées ;
- Les hypothèses de dimensionnement à savoir le trafic, la contrainte à  $10^6$  cycles du matériau  $\sigma_6$ , la pente  $b$  de la droite de fatigue, l'écart-type  $\sigma_n$  sur la loi de fatigue, l'écart-type  $\sigma_h$  sur les épaisseurs, le coefficient  $KT$  (trafic), le coefficient  $Kc$  (calage), le coefficient  $Kr$  (risque et dispersion), le coefficient  $Kd$  (discontinuité), le coefficient  $1/Ks$  (rigidité de la couche support)
- Les contraintes admissibles  $\sigma_{ad}$  pour les différents trafics que le matériau peut supporter ;
- Les paramètres d'entrée, sur Ecoroute, utilisés pour le calcul des contraintes s'exerçant sur la couche composée par ce matériau le module de Young  $E$ , le coefficient de Poisson  $\nu$ .

❖ **les fiches de structures**

Dans ces fiches on présentera en fonction de la zone climatique (pour l'influence de la température sur la couche de surface et les distances de transport sur le coût) et des matériaux disponibles, les différentes structures qu'on peut avoir en fonction du trafic et de la classe du sol de plate-forme. On présentera une coupe transversale type de la chaussée afin de spécifier les différentes composantes et les distances et pentes adéquates ainsi que les épaisseurs minimales et les tolérances  $\Delta h$  sur ces épaisseurs.

## Chapitre V : DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES PROPOSEES

### I- Modélisation des structures proposées

Nous allons présentés, après la revue des matériaux existant au Sénégal, les différentes structures que l'on peut rencontrer en matière de technique routière.

#### I-1 Les chaussées souples :

Comme défini dans les chapitres précédents ce sont de chaussées à revêtement hydrocarboné et dont l'assise est en matériaux granulaire ou traitée au bitume. On peut avoir les variantes qui suivent (tableau 4):

N°	Couche fondation	Couche de base	Nom d'identification
1	Sable naturel	Sable bitume	SNSB
2	Sable naturel	Graves latéritiques II	SNGL2
3	Sable naturel	Graves naturelles 0 / 31.5	SNGNT1
4	Sable naturel	Grave non traitée	SNGNT2
5	Graves latéritiques I	Graves latéritiques II	GL1GL2
6	Graves latéritiques I	Graves latéritiques améliorées	GL1GLA
7	Graves latéritiques I	Graves naturelles 0 / 31.5	GL1GNT1
8	Graves latéritiques I	Grave non traitée	GL1GNT2
9	Graves latéritiques I	Grave bitume	GL1GB
10	Graves naturelles 0 / 31.5	Graves naturelles 0 / 31.5	GNT1GNT1
11	Graves naturelles 0 / 31.5	Graves latéritiques II	GNT1GL2
12	Graves naturelles 0 / 31.5	Graves latéritiques améliorées	GNT1GLA
13	Graves naturelles 0 / 31.5	Grave non traitée	GNT1GNT2
14	Graves naturelles 0 / 31.5	Grave bitume	GNT1GB
15	Grave non traitée	Grave bitume	GNT2GB

**Tableau 4 : Variantes de structures en chaussées souples**

Ces structures sont souvent réalisées pour des trafics moyens  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ . Pour des trafics plus denses, les sollicitations deviennent plus importantes et les exigences sur les matériaux sont plus sévères. Les matériaux de bonne qualité faisant défaut, on a souvent recours à l'amélioration de la latérite par du ciment pour accroître ses performances.

## 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 améliorée au ciment et la couche de fondation granulaire.

Au Sénégal c'est surtout la latérite qui est utilisée comme matériau de base. On peut retenir les structures du tableau 5 ci-dessous :

N°	Couche fondation	Couche de base	Nom d'identification
16	Sable naturel	Sol ciment	SNSC
17	Sable naturel	Graves latéritiques ciment	SNGLC
18	Graves latéritiques I	Graves latéritiques ciment	GL1GLC
19	Graves naturelles 0 / 31.5	Graves latéritiques ciment	GNT1GLC
20	Grave non traitée	Graves latéritiques ciment	GNT2GLC

Tableau 5 : Variantes de structures en chaussées semi-rigides

Il peut arriver que le trafic soit très élevé et que les matériaux en place ne répondent pas aux normes pour leur utilisation en fondation. On a parfois recours à l'amélioration de la couche de fondation en latérite par du ciment ou l'utilisation d'un traitement spécial. On a ainsi des structures spéciale décrites au tableau 6:

N°	Couche fondation	Couche de base	Nom d'identification
21	Graves latéritiques ciment	Graves latéritiques ciment	GLCGLC
22	Graves latéritiques ciment	Graves bitume	GLCGB

Tableau 6 : Variantes de structures type spéciale

Pour revêtement on utilisera les variantes qui suivent :

- les enduits superficiels
- les bétons bitumineux 0 / 10 et 0 / 14;
- l'enrobé dense ;
- le sand asphalt



### I-3 Cas du béton de sable

Le Sénégal étant couvert sur 70 % de sa superficie de sables argileux et de dune, avec la nouvelle politique d'utilisation des matériaux locaux, le béton de sable devient un matériau à valoriser. Le béton de sable est un mélange avec un fort dosage de sable, l'absence ou le faible dosage en gravillons et l'incorporation d'additions.

Il peut être utilisé en couche de fondation ou en couche de roulement avec une protection en enduit superficiel ou en béton bitumineux très mince.

Le dimensionnement des béton de sable est conduit selon la démarche du LCPC-SETRA. Il se fait en quatre étapes:

- Choix du trafic : c'est le trafic cumulé en nombre d'essieux standard ( 13 t ); ce trafic est limité à  $4 \cdot 10^6$  PL, au delà de ce trafic l'utilisation du béton de sable n'est plus conseillée en couche de roulement
- Evaluation de la portance de la plate-forme;
- Définition des classes de résistance du béton : pour faire face aux sollicitations du trafic et des effets climatiques
- Dimensionnement à partir de l'abaque de dimensionnement des chaussées en béton de sable. ( Voir abaque en annexes )

La réalisation de chaussées en béton de sable nécessite quelques dispositions constructives [24]

## II- DIMENSIONNEMENT PAR LA METHODE DU CEBTP

Ce dimensionnement nous permettra d'avoir une idée sur les épaisseurs que donnerai la méthode empirique du guide du CEBTP. En outre on aura un ordre de grandeur entre les épaisseurs données par le calcul rationnel et celles données par la méthode du CEBTP.

Le guide de dimensionnement du CEBTP à été établi en 1972 par le Centre Expérimental du Bâtiment et de Travaux Publics ( CEBTP ). Ce guide a vu la participation de beaucoup d'ingénieurs des Laboratoires Nationaux des Travaux Publics en relation avec le CEBTP.

Il fait suite aux études réalisées en 1969 sur le comportement et le renforcement de 7000 km de chaussées bitumées en Afrique tropicale et au Madagascar.

Ce guide présente sous forme de tableau les épaisseurs des couches de chaussées, granulaires ou traitées en fonction du trafic et du CBR du sol de plate-forme (tableau 7).

Pour l'utiliser on doit disposer du CBR du sol de plate-forme qui reçoit la route selon la classification du CEBTP et de la classe de trafic sur le tronçon recevant la route. On pourra ainsi à partir du guide et des matériaux disponibles choisir les épaisseurs des couches de chaussée de la structure qui conviendraient.

CLASSE DE TRAFIC	N équivalent PL CEBTP	Trafic équivalent Véh / j	Classe de plate-forme CEBTP	
T <sub>0</sub>				
T <sub>1</sub>	< 5 10 <sup>5</sup>	< 300	5 < CBR < 10	S <sub>1</sub>
T <sub>2</sub>	de 5 10 <sup>5</sup> à 1.5 10 <sup>6</sup>	de 300 à 1000	10 < CBR < 15	S <sub>2</sub>
T <sub>3</sub>	de 1.5 10 <sup>6</sup> à 4 10 <sup>6</sup>	de 1000 à 3000	15 < CBR < 30	S <sub>3</sub>
T <sub>4</sub>	de 4 10 <sup>6</sup> à 10 <sup>7</sup>	de 3000 à 6000	30 < CBR < 80	S <sub>4</sub>
T <sub>5</sub>	de 10 <sup>7</sup> à 2 10 <sup>7</sup>	de 6000 à 12000	CBR < 80	S <sub>5</sub>

Tableau 7 : Classes de trafic et de plates-formes utilisées dans le dimensionnement des chaussées par la méthode du CEBTP ( Guide du CEBTP )

**Exemple:** Pour un sol de plate-forme de type S2 sous un trafic T3 on peut avoir selon les matériaux disponibles dans la zone les épaisseurs indiquées au tableau 8.

Fondation	Base	Revêtement
30 cm Graveleux latéritiques	20 cm Graveleux latéritiques	5 cm BB
25 cm grave naturelle 0/D	20 cm de grave naturelle traitée au ciment	5 cm BB
30 cm Graveleux latéritiques naturel ou grave naturelle 0/D ou tout venant de concassage	20 cm concassé 0/D	5 cm BB
30 cm de sable argileux	25 cm grave naturelle ou concassé 0/D	5 cm BB
25 cm Graveleux latéritiques ou grave naturelle ou concassé 0/D	20 cm de grave ciment	5 cm BB
25 cm sable argileux ciment ou graveleux amélioré au ciment ou sable amélioré au bitume	15 cm de grave bitume	5 cm BB

Tableau 8 : Exemple de dimensionnement avec le guide du CEBTP

On détermine ainsi les épaisseurs nécessaires pour une durée de vie de 15 ans  
 Pour utiliser cette méthode de dimensionnement, nous allons caler nos trafics

calculés pour une durée de vie escomptée de vingt ans aux classes proposées par le CEBTP.

On aura donc la correspondance suivante (tableau 9):

Classe de Trafic CEBTP	N équivalent PL Pour une durée de vie de 15 ans et un essieu équivalent de 13 t	N équivalent PL Pour une durée de vie de 20 ans et un essieu équivalent de 13 t dans l'étude		Classe de Trafic correspondant CEBTP
T <sub>0</sub>				
T <sub>1</sub>	< 5 10 <sup>5</sup>	T <sub>1</sub>	8.75 10 <sup>5</sup>	T <sub>2</sub>
T <sub>2</sub>	de 5 10 <sup>5</sup> à 1.5 10 <sup>6</sup>	T <sub>2</sub>	3.80 10 <sup>6</sup>	T <sub>3</sub>
T <sub>3</sub>	de 1.5 10 <sup>6</sup> à 4 10 <sup>6</sup>	T <sub>3</sub>	1.17 10 <sup>7</sup>	T <sub>5</sub>
T <sub>4</sub>	de 4 10 <sup>6</sup> à 10 <sup>7</sup>	T <sub>4</sub>	2.63 10 <sup>7</sup>	-
T <sub>5</sub>	de 10 <sup>7</sup> à 2 10 <sup>7</sup>	T <sub>5</sub>	5.27 10 <sup>7</sup>	-

**Tableau 9 : Correspondances entre trafic du CEBTP et de l'étude**

Pour une durée de vie escomptée de 20 ans la classification du CEBTP n'est plus d'usage, il faut néanmoins se caler sur cette classification pour utiliser le guide.

Les épaisseurs choisies sont présentées en annexes

### III- DIMENSIONNEMENT PAR LES METHODES RATIONNELLES

Le dimensionnement par les méthodes rationnelles passe par la détermination des contraintes et déformations admissibles des matériaux sous l'effet du trafic considéré et la durée de vie escomptée. Les sollicitations subies par les matériaux sous l'effet du trafic seront ensuite calculées et comparées aux sollicitations admissibles.

Le développement de l'outil informatique a fait que les méthodes de dimensionnement rationnelles sont devenues plus accessibles. Avec la facilité de résolution des équations multiples à dérivées partielles, des logiciels comme Ecoroute et Alizé ont été développés.

Ce sont des logiciels qui modélisent les structures multicouches et calculent les contraintes transversales et radiales ainsi que les déformations à travers les couches de chaussées. Pour cela, il faut :

- Le type de poids lourd et la charge standard
- Le nombre de couches composant la chaussée, leur épaisseur et le mode de liaison entre ces différentes couches
- Les caractéristiques pour chaque matériau composant la chaussée : le module de Young et le coefficient de Poisson.

### III-1 Les paramètres de dimensionnement

Bien que performant, les logiciels utilisés pour le dimensionnement nécessitent la maîtrise des paramètres caractérisant :

- 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.
- L'aspect probabiliste du dimensionnement ( risque de rupture ).

#### III-1-1 Le trafic

Le trafic à prendre en compte dans le dimensionnement des chaussées est le trafic cumulé poids lourds  $N$  ( en nombre d'essieux standard ) donné par :

$$N = 365 \times t \times A \times n(1 - i)^n$$

Si  $C = n(1 - i)^n$  appelé facteur de cumul on a :

$$N = 365 * t * A * C$$

$t$  : 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 : il peut être pris entre 7 et 10 % si on ne dispose pas d'informations précises.

$n$  : 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. Actuellement avec la croissance du trafic, le niveau de service demandé et les budgets libérés pour les routes, la tendance est à la réalisation de routes avec une durée de vie escomptée de vingt ( 20 ) ans.

Les classes de trafic journaliers proposées par le CEBTP seront utilisées afin de déterminer le trafic cumulé pour la durée de vie escomptée de vingt ans qu'on a choisi pour la conception de ce catalogue

Les classes de trafic pour le dimensionnement seront les suivantes (tableau 10):

	TRAFIC EQUIVALENT PL					
	T1	T2	T3	T4	T5	
trafic journalier (Pl/j)	1	90	300	900	1800	3600
nb de jours par an	365	365	365	365	365	365
durée (année)	20	20	20	20	20	20
croissance	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
TRAFIC CUMULE (million)	0,01	1,35	4,49	13,47	26,93	53,87
CAM (agressivité)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
TRAFIC EQUIVALENT (million)	0,02	1,75	5,84	17,51	35,01	70,03

Tableau 10 : Calcul des classes de trafic PL de l'étude

Pour le dimensionnement on va utiliser le centre des classes. On aura ainsi (tableau 11):

**N 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	70,3
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		52,655	

Tableau 11 : Trafic équivalent choisi pour le dimensionnement

### II-1-2 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 explicitée dans le tableau 12 qui suit et définies dans le Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic, LCPC-SETRA, 1981:

Portance des sols : Classification et essais					
Type	Examen visuel ( essieu de 13 t )	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV2 ( Mpa )	Module de réaction du sol K (daN/cm <sup>2</sup> )	Type de sol
P <sub>0</sub>	Circulation impossible; sol inapte très déformable	CBR ≤ 3	EV2 ≤ 15	K ≤ 3	Argiles fines saturées, sols tourbeux, faible densité sèche, sol contenant des matières organiques, etc.
P <sub>1</sub>		3 ≤ CBR ≤ 6	15 < EV2 ≤ 30	3 < K ≤ 5	Limon plastiques, argileux et argiloplastiques, argiles à silice, alluvions grossières, etc. Très sensible à l'eau
P <sub>2</sub> ou PF <sub>1</sub>	Déformable	6 ≤ CBR ≤ 10	30 < EV2 ≤ 50	5 < K ≤ 6	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, graves argileuses ou limoneuses, sols marneux contenant moins de 35% de fines
P <sub>3</sub> ou PF <sub>2</sub>	Peu déformable	10 ≤ CBR ≤ 20	50 < EV2 ≤ 120	6 < K ≤ 7	Sables alluvionnaires propres avec fines < 5%, graves argileuses ou limoneuses avec fines < 12%
P <sub>4</sub> ou PF <sub>3</sub>	Très peu déformable	20 ≤ CBR ≤ 50	120 < EV2 ≤ 250	7 < K ≤ 15	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux saints, etc., Chaussées anciennes
P <sub>EX</sub> ou PF <sub>4</sub>		CBR > 50	EV2 > 250	K > 15	

Tableau 12 : Classification des plates-formes selon le LCPC-SETRA

Le Sénégal est couvert à 70 % par des sable limoneux avec un CBR variant de 10 à 35. Ce qui correspond aux plates-formes de type PF3 et plus. Cependant il existe dans certaines parties des sol 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-1-3 Le climat et hydrologie

Les effets du climat sont surtout notables sur le comportement des matériaux bitumineux et ceux traités au ciment.

A des températures élevées, les matériaux bitumineux perdent leur résistance et fluent très rapidement.

Les variations de température entraînent des ouvertures de fissures dans les matériaux traités au ciment.

Les variations de température sont plus accentuées vers l'est du Sénégal dans le Sénégal oriental et sur la bande du littoral nord, avec des températures pouvant aller jusqu'à 45 °C vers l'est et des différences de température avoisinant 15 à 20°C

La pluviométrie influe sur la teneur en eau naturelle et sur le CBR qui est tributaire des états hydriques de la plate-forme.

Les hauteurs de pluies sont importantes dans la zone sud et la teneur en eau naturelle peut dépasser la teneur en eau optimale de compactage sur une période de quatre à huit mois de l'année. La teneur en eau naturelle peut être très faible dans la zone nord, le Ferlo et dans une partie du Saloum. Néanmoins la teneur en eau naturelle peut être supérieure à la teneur en eau optimale de compactage en période humide.

La durée de vie d'une route peut beaucoup être affectée par des défauts d'assainissement. Si la collecte et l'évacuation des eaux pluviales et souterraines hors de l'emprise des chaussées n'est pas bien faite, l'eau étant "l'ennemi numéro un" de la route, il peut s'en suivre des pertes de portance des matériaux de chaussée et de la plate-forme et une dégradation prématurée de la chaussée et même des ruptures de plate-forme.

L'évaluation des eaux drainées par les bassins versants de la zone doit faire l'objet d'études poussées afin de bien dimensionner les ouvrages d'assainissement assurant ainsi la mise hors d'eau de la chaussée.

#### III-1-4 Paramètres de correction

Ils sont liés à l'aspect probabiliste du dimensionnement. En effet l'utilisation d'un modèle mathématique des structures de chaussées, les essais réalisés sur les matériaux sont basés sur des hypothèses probabilistes.

Pour en tenir compte, des coefficients sont utilisés dans le calcul des contraintes admissibles.

**Le coefficient de calage  $k_c$**  : permet de corriger l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul ( modèle mathématique ) et l'observation du comportement de chaussées par rapport aux résultats des essais de laboratoire.

**Le coefficient de risque  $k_r$**  : il est lié à l'aspect aléatoire de la durée de vie d'une route déterminée à partir d'essais à chargement cyclique. Ce coefficient permet d'ajuster la déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur ( écart type  $\sigma_h$  ) et sur les résultats des essais de fatigue ( écart type  $\sigma_n$  )

Le risque de calcul est défini par le Guide technique du LCPC comme suit :

*Un risque de x% sur une période de p années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces p années des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilable à une reconstruction de la chaussée, en l'absence de toute intervention d'entretien structural dans l'intervalle.*

**Le coefficient de rigidité  $k_s$**  : pour tenir compte de l'hétérogénéité de la portance de la couche de faible rigidité devant supporter les couches liées;

**Le coefficient de discontinuité  $k_d$**  : dans les matériaux traités au liant hydraulique, ce coefficient permet de prendre en compte l'effet de discontinuité de la couche de base

### III-2 Calcul des limites admissibles

Les limites admissibles correspondent soit à une contrainte soit à une déformation selon l'assise considérée.

Pour les chaussées souples, à assise granulaire, on vérifiera la déformation verticale  $\varepsilon_z$  à la surface des couches non liées et du sol support ainsi que l'élongation transversale  $\varepsilon_t$  à la base des couches bitumineuses. On vérifiera néanmoins la contrainte verticale  $\sigma_z$  à la surface de la couche et la déflexion W du sol support.

Pour les chaussées à assise améliorée ou traitée au ciment, la contrainte de traction  $\sigma_t$  à la base des couches améliorées ou traitées sera vérifiée ainsi que la déformation verticale  $\varepsilon_z$  à la surface des couches non liées et du sol support

#### ✚ Sol support et matériaux non traités

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

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

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



### \* Matériaux traités au liants hydrauliques

Pour ces genres de matériaux, la limite admissible est caractérisée par la contrainte de traction par flexion  $\sigma_{t adm}$  à la base de la couche traitée. Elle s'exprime par la relation :

$$\sigma_{t adm} = k_r \times k_d \times k_c \times k_s \times \sigma_i$$

$\sigma_i = (1-6\beta) \times (N/10^6)^{-b} \sigma_0$  ;  $\sigma_0$  est la contrainte de flexion pour un cycle ;

ou

$\sigma_i = (N/10^6)^{-b} \sigma_6$  ; avec  $\sigma_6 = (1-6\beta) \times \sigma_0$  , la contrainte de flexion pour  $10^6$  cycles

$\beta$  est la pente de la courbe de fatigue semi-logarithmique ;

$k_r$  est lié au risque supporté par la chaussée avec  $k_r = 10^{-t.b.\delta}$  ;

$t$  est la fractile de la loi normale réduite centrée et est directement liée aux risques de dépassement du nombre de poids lourds;

$b$  est la pente de la droite de fatigue bilogarithmique dans le domaine  $10^5-10^6$  cycles

avec :  $b = 0,5 \times \log \frac{1-5\beta}{1-7\beta}$  ;

$\delta$  est l'écart type sur les épaisseurs en cm avec  $\delta = \sqrt{\delta_N^2 + \left(\frac{c}{b}\right)^2 \times \delta_H^2}$  ;

$\delta_N$  est la dispersion de la fatigue ;

$\delta_H$  est la dispersion des épaisseurs ;

$c$  est le coefficient reliant la variation de déformation à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée ,  $c$  est de l'ordre de  $0,02 \text{ cm}^{-1}$  ;

$k_d$  est le coefficient de discontinuité.

$k_c$  est le coefficient de calage.

$k_s$  est le facteur de stabilité tenant compte des hétérogénéités locales de portance d'une couche d

### ✦ Matériaux traités aux liants hydrocarbonés

La limite admissible pour les matériaux traités au bitume est l'élongation par traction à leur base  $\varepsilon_{t \text{ adm}}$ . Elle est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon_{t \text{ adm}} = \varepsilon_6 \times \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0,5} \times \left(\frac{N}{6}\right)^{-b} \times kr \times kc \times ks$$

$E_1$  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) ;

$N$  est le trafic pondéral de dimensionnement ;

$\varepsilon_6$  est l'élongation admissible pour une fréquence de 25 Hz et une température de 10°C ;

$b$  est la pente de la loi de fatigue des matériaux ;

$kr$  est le coefficient qui ajuste la valeur de la déformation admissible au risque de calcul retenu  $kr = 10^{-\mu \cdot b \cdot \delta}$  ;

$\mu$  est la fractile de la loi normale réduite centrée et est directement liée au niveau de risque choisi en fonction du niveau de trafic et de la catégorie de route ;

$\delta$  est l'écart type sur les épaisseurs en cm avec  $\delta = \sqrt{\delta_N^2 + \left(\frac{c}{b}\right)^2 \times \delta_H^2}$  ;

$\delta_N$  est la dispersion de la fatigue ;

$\delta_H$  est la dispersion des épaisseurs ;

$c$  est le coefficient reliant la variation de déformation à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée ,  $c$  est de l'ordre de  $0,02 \text{ cm}^{-1}$  ;

$kc$  est le facteur de calage pour ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement réel observé des chaussées ;

$ks$  est le facteur de stabilité tenant compte des hétérogénéités locales de portance d'une couche d

### III-3 Procédés de calcul des contraintes dans les couches de structure

Le calcul des contraintes admissibles sera réalisé à partir de feuilles Excel et est présenté dans les fiches de matériaux en fonction des différentes classes de trafic que peut supporter le matériau. Un exemple est donné au tableau 13.

Matériaux	PF1	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars ) =	300	T1 =	8,80E+05	0,348	914	
v =	0,25	T2 =	3,80E+06	0,321	634	
$e_{min}$ ( cm ) =		T3 =	1,17E+07	0,302	479	
		T4 =	2,63E+07	0,29	391	
		T5 =	5,27E+07	0,281	329	

Tableau 13 : Feuille de présentation du calcul des contraintes admissibles des matériaux

Le calcul des contraintes dans les couches de chaussée est réalisé à partir du logiciel Ecoroute et / ou Alizé. Pour ce faire chaque structure est modélisée et les matériaux entrant dans sa composition identifiés. Les paramètres d'entrée sur le code Ecoroute et / ou Alizé sont spécifiés ainsi que les contraintes et déformations admissibles des ces différents matériaux (tableau 14).

Couches	Matériaux	E	v	$e_{min}$ ( cm )	$\sigma_{Zad}$ (bars)	$\epsilon_{Zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
Revêtement								
Base								
Fondation								
Plate-forme	PF1							
	PF2							
	PF3							
	PF4							
	PF5							

Tableau 14 : Tableau de présentation des paramètres de dimensionnement des structures

Les contraintes calculées sont relevées sur un tableau présenté ci-dessous (tableau 15) pour ensuite être comparées aux contraintes admissibles calculées auparavant.

Couches	Matériaux	$e_{min} + 5$				$e_{min} + 10$			
		$\sigma_z$ (bars)	$\epsilon_z$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_t$ (bars)	$\epsilon_t$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_z$ (bars)	$\epsilon_z$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_t$ (bars)	$\epsilon_t$ ( $10^{-6}$ )
Revêtement									
Base									
Fondation									
Plate-forme									
	$W_{sol}$ mm/100								

Tableau 15 : Tableau de présentation des résultats du calcul avec Ecoroute

## **Chapitre VI : LE CATALOGUE DES STRUCTURES PROPREMENT DIT**

Ce catalogue présente les différents types de structures pré-calculées. Il est composé de trois parties.

- ◆ La première partie constitue la fiche de procédure. Elle trace les différentes étapes à suivre pour dimensionner une structure donnée.
- ◆ La seconde partie présente les matériaux utilisés et leurs paramètres d'entrée dans les logiciels Ecoroute et/ou Alizé. On y trouvera aussi les contraintes admissibles suivant les différentes classes de trafic et les hypothèses de dimensionnement.
- ◆ La troisième partie est constituée des fiches de structures. Ces fiches présentent les différentes structures proposées, les épaisseurs des couches qui les composent en fonction des classes de trafic et du type de plate-forme ainsi que le profil en travers type proposé.

## I- LES FICHES DE PROCEDURE

L'utilisation du catalogue nécessite la connaissance des données suivantes:

- ❖ Le trafic poids lourd par sens de circulation;
- ❖ Les caractéristiques et la classe de plate-forme sur laquelle repose la structure.

Avec ces deux paramètres et les matériaux disponibles dans la zone, on peut utiliser les fiches structures pour déterminer la ou les structures possibles avec les épaisseurs des couches composantes.

### Etape 1 : Détermination du trafic poids lourds

Le trafic est donné en millions de poids lourds sur la durée de vie escomptée de la route.

Il est exprimé par le trafic cumulé poids lourds  $N$  ( en nombre d'essieux standard ):

$$N = 365 \times t \times A \times n(1 - i)^n$$

Si  $C = n(1 - i)^n$  appelé facteur de cumul on a :

$$N = 365 * t * A * C$$

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

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

$n$  : la durée de vie ( ou de service ) escomptée en nombre d'années : c'est la période minimale de fonctionnement de la chaussée avant l'apparition de dégradations nécessitant un entretien.

$i$  : taux de croissance annuel du trafic en pourcentage : il peut être pris entre 7 et 10 % si on ne dispose pas d'informations précises.

L'essieu standard est celui de **130 kN** ou 13 tonnes, à deux ( 02 ) **roues jumelées**

La **charge de référence** est une charge uniformément répartie sur deux cercles de rayon  $a$  et dont les centres sont distants de 37.4 cm. Elle est schématisée par la figure 14.

$$q = 6.62 \text{ bars}$$

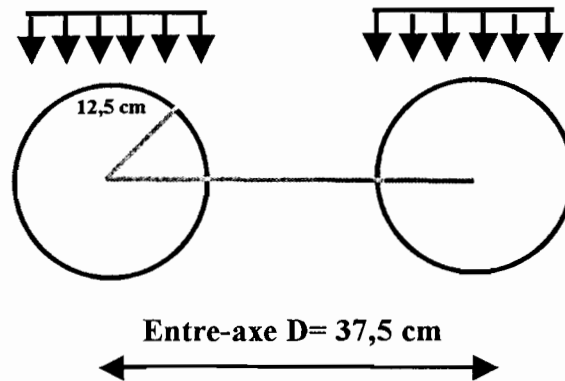


Figure 14: Schématisation des charges

#### Détermination des paramètres du trafic

- Le trafic journalier moyen TJM est obtenu après comptage des poids lourds par sens de circulation et des traitements statistiques; ou encore par des méthodes indirectes ( tonnage transporté en trafic, estimation du trafic "drainé" par la nouvelle route à partir des itinéraires qu'elle déleste )
- Le taux de croissance  $i$  est déterminé à partir des résultats des comptages actuels et passés.

Si ces résultats ne sont pas disponibles, pour nos pays en voie de développement, il faudra prendre un taux de 7 %;

- La charge à l'essieux est celui de 13 tonnes. Cependant les véhicules circulant sur la chaussée ont une charge plus ou moins supérieure à cette dernière, il faut donc appliquer un coefficient d'équivalence qui prendra en compte cet écart entre le poids standard et celui circulant sur la chaussée: c'est le coefficient d'agressivité  $A$ .

Si des études n'ont pas été pas été réalisées auparavant, il faudra prendre pour le dimensionnement une approximation de l'agressivité :  $A = 1.3$ .

Cependant, il faut signaler que pour être plus précis, il faut faire des campagnes de comptages et de pesages. Les résultats obtenus feront l'objet d'études statistiques, ce qui permettra de déterminer des classes de poids par essieu  $P$ . A chaque classe correspond ainsi un coefficient d'agressivité  $A = (P/13)^4$

- 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. Actuellement avec la

croissance du trafic, le niveau de service demandé et les budgets libérés pour les routes, la tendance est à la réalisation de routes avec une durée de vie escomptée de vingt ( 20 ) ans.

Le trafic ainsi déterminé est le trafic poids lourd du projet  $N_p$ . Il sera par la suite comparé aux classes de trafic définis pour la conception du catalogue en vue de son utilisation dans les fiches structures.

### **Etape 2 : Détermination de la classe de plate-forme**

La classe de plate-forme est obtenue après une identification complète du matériau de plate-forme et la détermination du module de rigidité par essai à la plaque.

Le type de plate-forme se détermine après détermination des différentes paramètres que sont :

- les paramètres de nature
- les paramètres de comportement mécanique
- les paramètres d'état

#### **a)- les paramètres de nature :**

##### **a-1- La granularité**

- Le diamètre maximal :  $D_{max}$
- Le tamisât à  $80\mu m$  : Pour évaluer leur sensibilité à l'eau.
- Le tamisat à 2 mm : Ce paramètre permet de définir les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

##### **a-2 L'argilosité**

- L'indice de plasticité : elle met en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau.
  - L'indice de consistance relative (  $I_c$  ) : La consistance d'un matériau est la caractéristique rhéologique qui traduit le comportement plastique ou non plastique, et qui change avec les variations de teneur en eau. Il permet de situer le comportement du sol à l'état naturel par rapport à sa plasticité définie par les limites d'Atterberg.
  - La valeur de bleu de méthylène
- L'analyse par sédimentométrie : Elle est utilisée pour définir la répartition des grains dont le diamètre est inférieur à 0,1 mm .

## b) Les paramètres de comportement mécanique

Le comportement mécanique des sols de plate-forme est beaucoup tributaire du niveau de sollicitation donc du trafic et de l'état hydrique. La détermination des caractéristiques mécaniques doit donc se faire dans les conditions les plus défavorables de pluviométrie.

La portance à long terme permet de dimensionner les structures. Celle-ci est égale à la portance à long terme du sol augmentée le cas échéant, du gain de portance obtenu soit par une éventuelle couche de forme, soit par un éventuel traitement en place [205]. La portance du sol est mesurée par la détermination de l'indice CBR, du module de déformation  $EV_2$ , ou du coefficient de rigidité  $k$  par essai à la plaque. On peut aussi procéder par examen visuel qui est néanmoins approximatif. Le coefficient de Poisson sera utile et est pris en moyenne égale à 0,35 pour les plates-formes

## c) Les paramètres d'état

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve. Ces paramètres permettent de caractériser des sols et, pour certains d'entre eux, leur état de compacité en place.

C'est surtout l'état hydrique de la plate-forme qu'il faut connaître. En effet les variations de l'état hydrique de la plate-forme ont une grande influence sur la portance de cette dernière.

Généralement cinq états hydriques sont distingués dans les différentes classifications.

### ➤ L'état très humide (th)

C'est un état d'humidité très élevé ne permettant plus en général la réutilisation du sol;

### ➤ L'état humide (h)

C'est un état d'humidité élevé autorisant toutefois la réutilisation du sol en prenant des dispositions particulières (aération, traitement, etc.)

### ➤ L'état d'humidité moyenne (hm)

C'est l'état d'humidité optimale avec un minimum de contraintes pour la mise en œuvre

### ➤ L'état sec (s)

C'est un état d'humidité faible mais autorisant encore une mise en œuvre en des dispositions particulières (arrosage, surcompactage, etc.)



➤ **L'état très sec (ts)**

C'est un état d'humidité très faible ne permettant pas la réutilisation du sol dans des conditions technico-economiques actuelles.

Le classement suivant l'état hydrique se base sur les paramètres suivants:

- La position de la teneur en eau naturelle  $W_n$  par rapport à la teneur en eau de l'optimum Proctor normal :  $W_n / W_{opt}$
- La position de la teneur en eau naturelle  $W_n$  par rapport aux limites, qui s'exprime par l'indice de consistance  $I_c$

$$I_c = (W_L - W_n) / I_p$$

- l'indice portant immédiat (**IPI**) qui exprime la valeur de l'indice **CBR** immédiat mesuré sans surcharge, ni immersion sur une éprouvette de sol compacté à l'énergie Proctor normal et à sa teneur en eau naturelle.

Il est donc nécessaire de connaître les teneurs en eau naturelle et la pluviométrie de la zone afin de savoir les conditions d'emploi de la plate-forme, de réalisation de certains essais, les traitements nécessaires et les modalités de mise en œuvre.

Ces paramètres étant déterminés, on pourra par la classification du sol de plate-forme et par la suite utiliser le tableau de classification des sols de plate-forme présenté au chapitre précédent pour déterminer le type de plate-forme auquel il correspond.

**Etape 3 : Détermination des variantes de structures avec les épaisseurs des couches composantes**

Après avoir déterminé le trafic poids lourd sur le tronçon du projet et les classes de plate-forme, on peut passer aux fiches de structures.

Dans les fiches structures, les données d'entrée sont le trafic et la classe de plate-forme tandis que les données de sortie sont les épaisseurs de la structure. En fonction des matériaux existant dans la zone, il est possible de choisir une structure ou des variantes. Une analyse économique comparative permettra ensuite de choisir une option parmi ces variantes en fonction du budget.

## II- LES FICHES MATERIAUX

Les fiches matériaux présentent pour un matériau utilisé dans l'esquisse du catalogue:

- Les hypothèses de dimensionnement à savoir: le trafic sous lequel le matériau garde toujours ses propriétés mécaniques, la contrainte à  $10^6$  cycles du matériau ( $\sigma_6$ ), la pente  $b$  de la droite de fatigue, l'écart-type ( $\sigma_n$ ) sur la loi de fatigue, l'écart-type ( $\sigma_h$ ) sur les épaisseurs, le coefficient  $KT$  (trafic), le coefficient  $Kc$  (calage), le coefficient  $Kr$  (risque et dispersion), le coefficient  $Kd$  (discontinuité), le coefficient  $1/Ks$  (rigidité de la couche support)
- Le calcul des contraintes admissibles  $\sigma_{ad}$  pour les différents trafics que le matériau peut supporter ;
- Les paramètres d'entrée sur Ecoroute ou Alizé, utilisés pour le calcul des contraintes s'exerçant sur la couche composée par ce matériau : le Module  $E$ , le coefficient de Poisson  $\nu$  ainsi que l'épaisseur minimale de mise en œuvre .

C'est la fiche d'identité du matériau utilisé dans ce catalogue. Ce matériau doit néanmoins satisfaire aux spécifications présentées au chapitre 3 pour son utilisation en technique routière.

Les fiches matériau sont présentées en annexes

## III- LES FICHES DE STRUCTURES

C'est une représentation schématique des structures du catalogue. Une fiche de structure présente pour une structure proposée les épaisseurs des différentes couches obtenues après calcul sur Ecoroute. Les données d'entrée sont le trafic et la classe du sol de plate-forme.

Elles auront la forme suivante (figure 15):

SUJET : ESQUISSE D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES POUR LE SENEGAL

N° 1		TYPE : SN / GL2			
Travers type		SUPERSTRUCTURE CLASSIQUE AU SENEGAL CHAUSSEE REVETUE			
TRAFIC		PF1	PF2	PF3	PF4
↓	300 Bars	500 Bars	1200 Bars	2500 Bars	
T <sub>1</sub>					
0,875 millions PL					
T <sub>2</sub>					
3,795 millions PL					
T <sub>3</sub>					
11,675 millions PL					
T <sub>4</sub>					
26,26 millions PL					
T <sub>5</sub>					
52,65 millions PL					

## CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Cette présente étude avait comme objectif, entre autres, la mise sur pied d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal, la standardisation des spécifications sur l'utilisation des matériaux en technique routière et enfin la promotion des matériaux locaux dont l'utilisation pourrait permettre d'optimiser les investissements lourds consentis par l'Etat pour satisfaire la demande en infrastructures routières.

Pour atteindre ses objectifs, la documentation mise à notre disposition, d'une part par l'entreprise Jean Lefévre Sénégal et d'autre part par notre Directeur interne et par notre établissement a été déterminante. Des entrevues avec des ingénieurs Polytechniciens et sortant de l'Institut des Sciences de la Terre, et des entretiens avec les Directeurs interne et externe nous ont permis souvent d'affiner nos idées et de prendre des positions par rapport à certaines situations.

Les difficultés rencontrées étaient surtout liées à l'utilisation de la méthode de dimensionnement présentée par le Guide du LCPC-SETRA. En effet, le calcul des contraintes admissibles nécessite la détermination de certains coefficients liés aux matériaux, au trafic..., qui n'étaient pas déterminés pour le Sénégal.

Dans la recherche documentaire aussi, il faut signaler les larges plages de variation des spécifications sur les propriétés des matériaux. Se posait alors le problème de sources de données sur lesquelles se basent les maîtres d'œuvres pour faire les dossiers d'appel d'offres.

Le calcul des contraintes avec Ecoroute nécessitant la sortie de plus de mille cinq cent tableaux (1500); on était alors confronté à un problème de temps ou de main d'œuvre pour faire tous les calculs.

Le temps dont nous disposions et les moyens matériels et financiers ne nous ont pas permis de faire les essais contradictoires pour confirmer les spécifications sur les matériaux et leurs paramètres d'entrée dans Ecoroute.

Ainsi pour utiliser ce catalogue, il faudra pour chaque matériau, faire les essais contradictoires afin de vérifier si un matériau répondant aux spécifications données a les mêmes paramètres (module E, contrainte et déformation à  $10^6$  cycles, coefficient de calage...) d'entrée dans les logiciels Ecoroute et Alizé. L'utilisation de ce catalogue nécessite la vérification de la bonne correspondance entre les hypothèses admises et les conditions spécifiques du projet.

Ce travail complémentaire pourra faire l'objet de projet de fin d'études pour les élèves de l'Ecole Supérieure Polytechnique et de l'Institut des Sciences de la Terre en collaboration avec les entreprises du domaine des travaux publics comme JLS, CSE, Fougerolle.

Le taux de croissance utilisé ( $i = 7\%$ ) peut s'avérer excessif, il serait donc plus judicieux de faire des études sur le trafic actuel et passé pour déterminer un taux plus réaliste. Il en est de même pour le coefficient d'agressivité qui peut être plus petit sur la plupart des tronçons de route au Sénégal.

En terme de recommandations, nous pouvons dire que cette étude réalisée pour l'esquisse d'un catalogue de dimensionnement fait ressortir certains points sur lesquels les ingénieurs et décideurs doivent se focaliser pour un développement durable des infrastructures routières.

### 1°) Sur les matériaux utilisés en technique routière

❖ Une reformulation des spécifications sur les matériaux s'avère nécessaire afin qu'elles soient standards pour tous les maîtres d'œuvres. Pour cela, les structures dirigeantes, les Bureaux d'Etudes, les entreprises et les écoles d'ingénieurs devraient former un groupe pour :

‣ travailler sur une uniformisation de ces spécifications sur les matériaux utilisés en technique routière ;

‣ faire des essais qui, coûteraient plus chers pour une seule structure afin de déterminer les paramètres de dimensionnement propres à nos matériaux et aux températures sous lesquelles nous vivons. A défaut, mettre sur pied un laboratoire africain dans le cadre du NEPAD. Ce qui permettra d'acquérir le matériel coûteux avec la participation de tous les pays.

❖ Il serait souhaitable que l'administration des routes adopte une nouvelle approche de caractérisation des matériaux qui soit en adéquation avec les méthodes rationnelles de dimensionnement des chaussées. Il faut dire aussi que l'on doit se départir des anciennes méthodes de dimensionnement et de ces nombreuses corrélations qui ont une spécificité par rapport au climat, au processus de formation du matériau, aux conditions de réalisation des essais etc.

❖ La politique de valorisation des matériaux locaux devrait être poursuivie et soutenue avec l'application des différentes recommandations sur l'utilisation de la lithostabilisation, le silixite, le béton de sable, le banco-coquillage etc. Il serait donc nécessaire de faire des essais contradictoires sur les formulations proposées par les grandes écoles comme l'Ecole Supérieure Polytechnique (ex EPT) et l'Institut de Sciences de la Terre en collaboration avec le CEREEQ et les entreprises du domaine des travaux publics. Des planches d'essais devront être réalisées avec ces différents matériaux afin d'apprécier leur comportement réel sous trafic à moyen et long terme.

❖ La caractérisation de la plate-forme à partir du module de rigidité  $k$ , obtenu par l'essai à la plaque doit être retenu comme préalable à l'exécution d'un projet de construction de route.

## 2°) Pour la réalisation d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal

La réalisation d'un catalogue de dimensionnement nécessite la maîtrise de certains paramètres qui sont surtout liés au trafic et aux caractéristiques des matériaux.

❖ Il faudra organiser des campagnes de comptages et de pesages afin d'avoir une meilleure idée sur la croissance et l'agressivité du trafic sur les différents tronçons du pays.

L'exemple du Maroc pourra servir de référence. En effet par comptage et pesage automatique, les Marocains sont arrivés à catégoriser leurs routes et définir pour chaque type le coefficient d'agressivité et la charge de référence à prendre en compte dans le dimensionnement des chaussées.

❖ Les paramètres entrant dans le dimensionnement par les méthodes rationnelles devraient être déterminés de manière précise et à des conditions semblables à celles de leur utilisation. Pour ce faire il serait plus judicieux, à défaut de matériel adéquat, d'utiliser les services de la France. Les matériaux seront acheminés à Nantes où des simulations seraient faites sur le manège de fatigue du LCPC. Ainsi pour chaque matériau, on pourra déterminer le module, les contraintes et déformations à  $10^6$  cycles, le coefficient de calage etc. paramètres sur lesquels se fonde le dimensionnement par les méthodes rationnelles.

❖ Le dimensionnement des structures du catalogue devra tenir compte des zones climatiques à cause du fluage des matériaux bitumineux sous forte température. Ce phénomène qui, semble-t-il, était rarement pris en compte lors du dimensionnement pourrait être à l'origine des dégradations prématurées des chaussées dans les zones chaudes.

❖ La caractérisation des plates-formes devrait désormais se faire après la détermination du module de rigidité par l'essai à la plaque qui doit être exigé.

❖ La création de pôle de recherche et développement pourrait permettre de rendre le modèle de dimensionnement français plus performant et plus adapté à nos conditions. Ce pôle de recherche et développement pourra mettre sur pied un logiciel de dimensionnement à l'image de Alizé et Ecoroute qui prendra en compte nos réalités. Il pourra aussi s'atteler à revoir les fuseaux, aussi dispersés et parfois même incomplets, de certains matériaux et en proposer d'autres qui permettraient d'avoir des mélanges adéquats.

## ANNEXES A

Les matériaux utilisés en technique routière doivent satisfaire à certains propriétés d'ordre mécaniques, physiques et chimiques. Pour leur utilisation sur une couche donnée, on doit d'abord s'assurer que leurs propriétés satisfont aux exigences des spécifications données dans les CCTP et CPTP.

Les spécifications qui suivent sur les matériaux utilisés au Sénégal ont été retenues après une étude documentaire de 45 jours passés au niveau de l'entreprise Jean Lefebvre Sénégal. Cette étude était réalisée dans le but d'avoir des spécifications standards sur l'utilisation des matériaux en couche de chaussées. En effet depuis une certaine période, on assiste à une multiplication des bureaux d'études qui établissent des dossiers d'appels d'offres avec des spécifications aussi éparses sur l'utilisation d'un même matériau.

Les spécifications présentées dans ces annexes sont surtout basées sur les directives et recommandations sur l'utilisation des matériaux du CEBTP et du LCPC-SETRA.

La vérification des ces spécifications n'a pas été fait au laboratoire. Il pourra être réalisée dans le cadre de futurs projets de fin d'étude par les élèves des grandes écoles en collaboration avec les entreprises du domaine routier.

## 1. LES SABLES NATURELS

### SPECIFICATIONS SUR LES SABLES

PROPRIETES	FONDATION
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CBR</li> <li>• % fines (%passant tamis 80<math>\mu</math>m)</li> <li>• IP</li> <li>• <math>C_u</math></li> <li>• <math>\gamma_d</math> ( à 95 % de OPM )</li> <li>• <math>f \times IP</math></li> <li>• <math>W_{opt}</math></li> <li>• Gonflement maximal</li> </ul>	<p>&gt; 30 pour <math>T_1</math>                      &gt; 35 pour <math>T_2</math>                      entre 10 et 30  <math>\leq 15</math>  <math>\geq 5</math>  <math>\geq 1.80</math>                      entre 100 et 500                      entre 7 et 13 %                      2.5</p>

f : % de fines (%passant tamis 80 $\mu$ m )

**Tableau 1** : Spécifications sur les sables



## 2. SABLES TRAITES AU CIMENT SC

### SPECIFICATIONS SUR LES SABLES UTILISES

PROPRIETES	Fondation pour T <sub>1</sub> et T <sub>2</sub>	Base pour T <sub>1</sub> et T <sub>2</sub>
• Dimension maximale	Entre 0.5 et 10 mm	Entre 1 et 10 mm
• % fines ( passant tamis 80µm )	≤ 50	≤ 35
• IP	≤ 30	≤ 25
• C <sub>u</sub>	≥ 5	≥ 5
• γ <sub>d</sub> ( à 95 % de OPM )	≥ 1.80	≥ 2.1
• module de plasticité m x IP	≤ 2500	≤ 2000
• Teneur en matières organiques	≤ 2%	≤ 1 %

**Tableau 2** : Spécifications sur les sables traitables au ciment

**m** : mortier ( % passant le tamis 0.425 )

### SPECIFICATIONS SUR LE MELANGE

- Dosage en ciment 2 à 3 %
- Hauteur entre 15 et 25 cm

	FONDATION	BASE
	T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>
Résistance à la compression simple après 7 jours de cure à l'air ( Rc en bars ).....	5	Entre 16 et 30
Résistance à la compression simple après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau ( R'c en bars ).....	2.5	≥ 5
Rapport $\frac{R'c}{Rc}$	0.5	
Compression diamétrale ( à 28 j ) ( R <sub>T28</sub> en bars ) .....	≥ 3	
CBR ( après 7 jours de cure à l'air. )	80	
CBR ( après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau )	60	≥ 160

**Tableau 3** : Spécifications sur mélange sol-ciment

### 3. SABLES TRAITES AU BITUME

#### SPECIFICATIONS SUR LES SABLES UTILISES

PROPRIETES	FONDATION T <sub>4</sub> et T <sub>5</sub>	BASE pour T <sub>1</sub> à T <sub>3</sub>
• % fines ( passant tamis 80µm )	Entre 10 et 30	Entre 10 et 30
• IP	≤ 15	≤ 15
• C <sub>u</sub>	≥ 5	≥ 5
• γ <sub>d</sub> ( à 95 % de OPM )	≥ 1.80	≥ 1.80
• LL	≤ 35	≤ 35
• ES	entre 15 et 50	entre 15 et 50

**Tableau 4 :** Spécifications sur les sols traitables au bitume

#### SPECIFICATIONS SUR LE MELANGE

- **Sable -bitume enrobé à chaud**

Liants : bitumes 50 - 70 (voir spécifications sur les bitumes )

Hauteur entre 15 et 30 cm

		FONDATION		BASE	
		T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>1</sub> - T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Valeur min. de résistance à la compression	Rc min. (conservation à l'air)	2 MPa	4 MPa	4 MPa	6 MPa
LCPC (Duriez)	% perte maxi de résistance après immersion	50	50	40	50

**Tableau 5 :** Spécifications sur le sable-bitume enrobé à chaud

## 4. GRAVELEUX LATERITIQUES CRUS

### SPECIFICATIONS SUR LES GRAVELEUX LATERITIQUES CRUS

PROPRIETES	FONDATION	BASE	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimension maximale</li> <li>• <math>C_u</math></li> <li>• % fines ( passant tamis 80<math>\mu</math>m)</li> <li>• IP</li> <li>• <math>\gamma_d</math> ( à 95 % de OPM )</li> <li>• Teneur en matières organiques</li> <li>• CBR à 90 % de l'OPM</li> <li>• Gonflement linéaire.....</li> <li>• Epaisseur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\leq 60</math> mm</li> <li><math>\geq 5</math></li> <li><math>\leq 30</math></li> <li><math>\leq 22</math></li> <li><math>\geq 1.90</math> à 2</li> <li><math>\leq 1.5\%</math></li> <li><math>&gt; 30</math></li> <li><math>&gt;35</math> pour <math>T_4</math> et <math>T_5</math></li> <li>entre 1 et 2</li> <li>15 cm min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\leq 50</math></li> <li><math>\geq 5</math></li> <li><math>\leq 20</math></li> <li><math>\leq 15</math></li> <li><math>\geq 2.1</math></li> <li><math>\leq 1\%</math></li> <li><math>&gt; 80</math></li> <li>60 admis pour <math>T_1</math></li> <li><math>\leq 1\%</math></li> <li>15 cm min</li> </ul>	
	T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> -T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• % fines ( passant tamis 80<math>\mu</math>m )</li> <li>• IP ( fondation )</li> <li>• IP ( Base )</li> </ul>	$\leq 35$	$\leq 30$	$\leq 30$
	$\leq 30$	$\leq 20$	$\leq 20$
	$\leq 22$	$\leq 20$	$\leq 18$

**Tableau 6 :** Spécifications sur les graveleux latéritiques crus

FONDATION	
Tamis(mm)	%passant
40	100
31.5	95 – 100
20	75 – 100
10	58 – 100
5	40 – 78
2	28 – 65
1	22 – 56
0.5	18 – 50
0.08	5 - 35

**Tableau 7 :** fuseau grave latéritique après compactage ( CEBTP )

BASE	
Tamis(mm)	%passant
40	95 – 100
31.5	85 – 100
20	60 – 100
10	35 – 90
5	20 – 75
2	12 – 50
1	10 – 40
0.5	7 – 35
0.08	4 - 20

**Tableau 8:** fuseau grave latéritique ( CEBTP )

## 5. GRAVELEUX LATERITIQUES AMELIORES AUX CONCASSES (GLA)

### Graveleux latéritiques utilisés

• % passant à 40mm	100
• % passant à 2mm	20 à 50
• % fines ( passant tamis 80µm )	10 à 25
• IP	< 20
• CBR à 95 % de l'OPM	entre 40 et 60
• ES	> 50
• LA	< 30

**Tableau 9:** Spécifications sur les graveleux latéritiques utilisés

### Matériaux d'ajout (20 à 50 % du poids)

#### • Grave 0/31.5

• % passant à 2mm	< 30
• % fines ( passant tamis 80µm )	<18
• $\gamma_d$ ( à 95 % de OPM )	$\geq 2.2$
• IP	0
• CBR à 95 % de l'OPM	>80
• ES	> 50
• LA	< 30

**Tableau 11 :** Spécifications sur grave 0/31.5

### Grave concassé de calcaire

• % passant à 2mm	< 30
• % fines ( passant tamis 80µm )	<18
• IP	0
• CBR à 95 % de l'OPM	>80
• $\gamma_d$ ( à 95 % de OPM )	$\geq 2.2$
• ES	> 50
• MDE	< 30
• LA	< 12
• ACV	< 25

**Tableau 12:** Spécifications sur grave calcaire

### Tableau 10

Fuseaux Grave 0 / 31.5  
( basalte ou silexite )

Tamis(mm)	%passant
40	100
31.5	95 – 100
20	64 – 90
10	40 – 70
5	30 – 60
2	20 – 42
0.5	10 – 26
0.08	2 - 10

### Tableau 13

Fuseaux concassés de calcaire

Tamis(mm)	%passant
40	100
31.5	85 – 100
20	62 – 90
10	35 – 62
5	25 – 50
2	19 – 43
1	14 – 43
0.5	3 – 14
0.08	2 - 10

## 6. GRAVELEUX LATERITIQUES CIMENT GLC

### SPECIFICATIONS SUR LA LATERITE CRUE UTILISEE

PROPRIETES	FONDATION $T \geq T_3$	BASE $T_1-T_4$
• Dimension maximale	Entre 10 et 50 mm	Entre 10 et 50 mm
• % fines ( passant tamis 80 $\mu$ m )	$\leq 35$	$\leq 35$
• IP	$\leq 30$	$\leq 25$
• module de plasticité $m \times IP$	$\leq 2500$	$\leq 2000$
• Teneur en matières organiques	$\leq 1.5\%$	$\leq 1\%$
• CBR à 95 % de l'OPM	$\geq 40$	$\geq 60$

**Tableau 14:** Spécifications sur les latérites améliorables aux liants hydrauliques

### SPECIFICATIONS SUR LE MELANGE

- Dosage en ciment 2 à 3 %
- Hauteur entre 15 et 25 cm

	FONDATION	BASE
	$T_3 - T_5$	$T_1 - T_3$ et $T_4$ ( parfois )
Résistance à la compression simple après 7 jours de cure à l'air ( $R_c$ en bars ).....	10	Entre 14 et 30
Résistance à la compression simple après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau ( $R'_c$ en bars ).....	5	
Rapport $\frac{R'_c}{R_c}$	0.5	
Compression diamétrale ( à 28 j ) ( $R_{T28}$ en bars ) .....	$\geq 3$	
CBR ( après 7 jours de cure à l'air. )		
CBR ( après 3 jours de cure à l'air et 4 jours dans l'eau )	$\geq 80$	$\geq 160$

**Tableau 15:** Spécifications sur les latérites améliorées au ciment

## 7. GRAVE NATURELLE

### SPECIFICATIONS SUR LA GRAVE NATURELLE 0/D

		fondation	base
LA		< 50	< 40
MDE		< 30	< 25
C <sub>u</sub>		> 10	> 12
% passant tamis 200		> 4 si IP= 0	> 4 si IP= 0
IP		< 12	< 6
		%passant	
Tamis(mm)	criblées	roulées	
40	100	100	
31.5	80 – 100	85 – 100	
20	65 – 90	65 – 90	
10	40– 75	40– 75	
5	30 – 60	28 – 60	
2	20 – 45	20 – 45	
1	15 – 37	15 – 37	
0.5	10 – 20	10 – 20	
0.08	2 – 15	2 – 15	
	si IP ≠ 0	si IP ≠ 0	
	4 – 5	4 – 5	
	si IP = 0	si IP = 0	

**Tableau 16:** Spécifications sur la grave naturelle

## 8. GRAVE NON TRAITEE

### SPECIFICATIONS SUR LA GRAVE NON TRAITEE

		fondation	base
LA		< 35	< 30
MDE		< 20	< 12
ES		>30	> 40
% passant tamis 200		4<f<10 si IP= 0	4<f<10 si IP= 0
ACV		< 25	< 25
IP		< 6	< 6
IC		> 60	> 80
		%passant	
Tamis(mm)	0 / 31,5	0 / 40	
50		100	
40	100	95 – 100	
31.5	95 – 100	85 – 97	
20	64– 90	65– 90	
10	40 – 70	40 – 75	
6.3	30 – 60	30 – 63	
2	20 – 42	20 – 45	
0.5	10 – 26	12 – 30	
0.08	2 (4)– 10	4 – 12	

**Tableau 17:** Spécifications sur la grave non traitée

## 9. GRAVE RECONSTITUEE HUMIDE

### SPECIFICATIONS SUR LA GRH

		fondation	base
LA		< 35	< 30
MDE		< 20	< 12
ES		> 30	> 40
% passant tamis 200		4<f<10 si IP= 0	4<f<10 si IP= 0
IP		< 6	< 6
IC		< 60	< 80
		%passant	
Tamis(mm)	0 / 31,5	0 / 40	
50		100	
40	100	95 – 100	
31.5	95 – 100	85 – 97	
20	64– 90	65– 90	
10	40 – 70	40 – 75	
6.3	30 – 60	30 – 63	
2	20 – 42	20 – 45	
0.5	10 – 26	12 – 30	
0.08	2 (4)– 10	4 – 12	

**Tableau 18:** Spécifications sur la Grave Reconstituée Humide



## 10. GRAVE BITUME

Spécification sur la grave	fondation	base
LA ( Los Angeles )	< 45	< 35
ES ( Equivalent de sable )	> 30	> 40
Ic (Indice de Concassage )	80 %	100 %
A (Coefficient d'aplatissement )	< 30	< 20
IP ( Indice de Plasticité )	0	= 0
% vides	entre 8 et 12 %	entre 8 et 12 %
Refus au tamis 25mm	< 10 %	< 10 %
Quantité de filler	> 7.3 %	> 7.3 %
Teneur en matières organiques	< 1%	< 0.5%
Teneur en bitume	3 à 4%	3 à 4%

**Tableau 19 : Spécifications sur les granulats à utiliser pour la grave-bitume**

Fuseaux CEBTP 0 / 31.5		
Tamis(mm)	%passant	
40	100	100
31.5	95 – 100	95 – 100
20		
10	55 – 82	40 – 70
6.3	47– 70	30– 57
2	30 – 50	18 – 40
0.5	17 – 32	8 – 25
0.08	4 – 10	4 – 8

**Tableau 19B : Fuseaux GB CEBTP**

Tableau 20 : Spécifications sur le mélange	
<ul style="list-style-type: none"> <li>à l'essai Marshall à 60°C</li> </ul>	
Stabilité	> 35
Compacité	> 90 %
Fluage	> 4
<ul style="list-style-type: none"> <li>à l'essai Duriez dilaté à 18°C</li> </ul>	
Résistance à la compression	
Rc ( Bars ) .....	> 50
Rapport $\frac{R'c}{Rc}$ .....	> 0.6
	> 0.5 pour les Graves émulsion
Compacité .....	88 à 95 %

## 11. ENDUITS SUPERFICIEL

### SPECIFICATIONS SUR LES GRANULATS

Trafic en Véh/j	LA	MDE	ACV	CPA
< 500	< 35	< 20	< 26	> 0.4
entre 500 et 2000	< 30	< 20	< 23	> 0.4
entre 2000 et 5000	< 25	< 15	< 20	> 0.4
>5000	< 20	< 10	< 16	> 0.45

**Tableau 21:** Spécifications sur la qualité des granulats pour les ESU

<p>Liant Granulats</p> <p>Granulats : calibre maximum pour les bitumes fluidifiés 150 / 250</p> <p>Propositions</p> <p>Adhésivité ( à la plaque de Vialit )</p>	<p>Voir spécifications sur les liants</p> <p>Exempts de pellicules d' éléments fins, limons ou argiles susceptibles d' affecter le couple liant-granulat</p> <p>20 /25</p> <p>14/20 pour tricouche</p> <p>10/14 pour bicouche</p> <p>4/6 pour monocouche</p> <p>&gt; 90 en milieu humide en dessous utiliser un dope</p> <p>entre 6 et 8 %</p>
---	--

**Tableau 22:** Spécifications sur les enduits superficiels

## 12. LES BETONS BITUMINEUX

### SPECIFICATIONS SUR LES GRANULATS

LA ( Los Angeles )	< 22
ES ( Equivalent de sable )	> 50
MDE ( Micro-Deval Eau )	≤ 15
Rc (Rapport de Concassage)	≥ 4
IP ( Indice de Plasticité )	= 0
% vides	entre 6 et 8 %

**Tableau 23:** Spécifications sur la qualité des granulats des bétons bitumineux

Fuseaux LCPC-SETRA %passant		
Tamis(mm)	0 / 12	0 / 14
16	100	100
14		94 – 100
12	75 – 100	
10		72 – 84
8	60 – 85	
6.3		56– 66
4	40– 80	40 – 54
2		28 – 40
1.6	28 – 67	
0.8	20 – 55	
0.16	6 – 22	
0.08	5 – 10	7 – 10

**Tableau 24 :** Fuseaux BB LCPC-SETRA

Granulométrie Béton Bitumineux CEBTP			
Tamis ( mm )	0/10		0/14
20			100
14	100	100	95 – 100
10	80 – 100	95 – 100	75 – 100
6.3	60– 100	65 – 92	50 – 88
2	25 – 75	25 – 65	23 – 60
0.2	6 – 25	6 – 20	6 – 20
0.08	3 – 7	3 – 8	3 – 8

**Tableau 25 :** Fuseaux BB CEBTP

**Tableau 26:** Spécifications sur les bétons bitumineux

<ul style="list-style-type: none"> <li>à l'essai Marshall à 60°C</li> </ul>	
Stabilité	
Compacité	> 1000 Kg
Fluage	> 95 %
<ul style="list-style-type: none"> <li>à l'essai Duriez dilaté à 18°C</li> </ul>	< 3
Résistance à la compression	
Rc ( Bars ) .....	> 6 Mpa bitume 60/70, > 7 Mpa bitume 40/50
Rapport $\frac{R'c}{Rc}$ .....	> 0.75
Compacité .....	92 à 95 %

### 13. LES ENROBES DENSES ED

<b>Spécifications sur les granulats</b>			
LA ( Los Angeles )  ES ( Equivalent de sable ) MDE ( Micro-Deval Eau ) Dmax IP ( Indice de Plasticité ) % vides module de richesse	< 40 pour T <sub>1</sub> et T <sub>2</sub> < 35 pour T <sub>3</sub> et T <sub>4</sub> > 40 à 50 ≤ 15 entre 1/3 et ¼ épaisseur du tapis = 0 10 à 12 entre 3 et 4		
<b>Granulométrie Enrobés denses fuseaux CEBTP</b>			
Tamis ( mm )	0/10		0/14
20			100
14	100	100	95 – 100
10	80 – 100	95 – 100	75 – 100
6.3	60 – 100	65 – 92	50 – 88
2	25 – 75	25 – 65	23 – 60
0.2	6 – 25	6 – 20	6 – 20
0.08	3 – 7	3 – 8	3 – 8
<b>Spécifications sur le mélange</b>			
	80 / 100		60 / 70
<ul style="list-style-type: none"> <li>• à l'essai Marshall à 60°C</li> </ul> Stabilité Compacité Fluage <ul style="list-style-type: none"> <li>• à l'essai Duriez dilaté à 18°C</li> </ul> Résistance à la compression Rc ( Bars ) ..... Rapport $\frac{R'c}{Rc}$ ..... Compacité ..... Taux d'absorption d'eau .....	> 600 Kg >92 à 96 % < 2 - 4  > 30  ≤ 0.7 90 à 94 % < 5%		> 700 Kg >92 à 96 % < 2 - 4  > 35  ≤ 0.7 90 à 94 % < 5%

**Tableau 27** : Spécifications sur les enrobés denses

## 14. LE SAND-ASPHALTE

Spécifications sur les granulats			
% fines ( passant tamis 80 $\mu$ m )	$\leq 12$	<b>Fuseau CEBTP</b>	
ES ( Equivalent de sable )	$> 40$	Tamis(mm)	%passant
$C_c$	entre 1 et 3	6.3	100
$C_u$	entre 3.5 et 20	2	75 – 100
Teneur en bitume	6.5 à 7	1	50 – 96
Bitume	80/100 ou 60/70	0.5	25– 88
Module de richesse	entre 3.5 et 4.2	0.2	10 – 50
épaisseur	3 à 4 cm	0.08	6 – 14
Spécifications sur le mélange			
Stabilité Hubbard Field .....	$\geq 70$ Kg		
Compacité Hubbard-field .....	$\geq 88$ à 960% avec sable naturel		
	$\geq 88$ à 96% avec incorporation des sable de concassage		
Résistance Duriez 7 jours à l'air à 18°C	$\geq 50$ Kg		
Rapport $\frac{R'c}{Rc}$ .....	$\geq 0.7$		
Compacité Duriez .....	entre 85 et 95 %		

**Tableau 28:** Spécifications sur le Sand-Asphalt

## ANNEXES B

### 1. LES SABLES NATURELS

#### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- $E = 50 \text{ CBR}$
- $\nu = 0.25$
- $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)
- $\varepsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

Sable SN pour couche de fondation					
30 < CBR < 60 E ( Bars ) > 1500					
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06			
$\sigma_{z \text{ adm}}$ (Bars)	1,74380	1,60558			
$\varepsilon_{z \text{ adm}}$ (10 <sup>-6</sup> )	9,14E+02	6,34E+02			

Sable SN pour couche de fondation					
35 < CBR E ( Bars ) > 1750					
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06			
$\sigma_{z \text{ adm}}$ (Bars)	2,03444	1,87318			
$\varepsilon_{z \text{ adm}}$ (10 <sup>-6</sup> )	9,14E+02	6,34E+02			

Tableau 1 : Contraintes et déformations admissibles du sable naturel

## 2. SABLES TRAITES AU CIMENT SC

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

#### Sol Ciment SC

- Module E ( Bars ) 1800
- Coefficient de poisson  $\nu$  0.25
- Sigma 6 ( bars ) 6.1
- pente de la droite de fatigue : b -0.083
- écart-type sur la loi de fatigue : sigma N 0.80
- écart-type sur les épaisseurs : sigma H 2.5
- coefficient KT (trafic)  $:(N_{eq}/10^6)^b$  1.21
- coefficient Kc (calage) 1.5
- coefficient Kr (risque et dispersion) 1.5
- coefficient Kd (discontinuité) 1
- Coefficient 1/Ks (rigidité de la couche support)

Module couche sous-jacente ( Bars )	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
1/ Ks	1.2	1.1	1

Matériaux	SC	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	1800	T1 = 8,80E+05		574	6,73	
$\nu$	0,25	T2 = 3,80E+06		415	5,6	
$e_{min}$ ( cm )	15	T3 = 1,17E+07				

**Tableau 2 :** Contraintes et déformations admissibles du sol-ciment

### 3. SABLES TRAITES AU BITUME

#### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- Module E : ( Bars ) 4000
- Coefficient de poisson  $\nu$  0.35
- Epsilon  $\epsilon$  (  $10^{-6}$  ) 180
- pente de la droite de fatigue : b 0.2
- écart-type sur la loi de fatigue :  $\sigma_N$  0.25
- écart-type sur les épaisseurs :  $\sigma_H$  1
- coefficient KT (trafic) :  $(N_{eq}/10^6)^b$
- coefficient Kc (calage) 1.3
- coefficient Kd (discontinuité) 1

Module couche sous-jacente ( Bars )	$E < 500$	$500 \leq E \leq 1200$	$1200 < E$
• Ks (rigidité du support)	1/ 1.2	1/ 1.1	1

Matériaux	SB	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	4000	T1 = 8,80E+05		914		107,7
$\nu$	0,35	T2 = 3,80E+06		634		74,7
$e_{min}$ ( cm )	15	T3 = 1,17E+07				

**Tableau 3 :** Contraintes et déformations admissibles du sable bitume



#### 4. GRAVELEUX LATÉRITIQUES CRUS

##### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- $E = 50 \text{ CBR}$
- $V = 0.25$
- $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)
- $\varepsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell).

Graveleux latéritiques pour couche de fondation					
GL1	30 < CBR E ( Bars ) > 1500				
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06	1,17E+07	2,63E+07	
$\sigma_{z \text{ adm}}$ (Bars)	1,74380	1,60558	1,51335	1,45E+00	
$\varepsilon_{z \text{ adm}}$ (10 <sup>-6</sup> )	9,14E+02	6,34E+02	4,79E+02	3,91E+02	

Graveleux latéritiques pour couche de base					
GL2	80 < CBR E ( Bars ) > 4000				
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06	1,17E+07		
$\sigma_{z \text{ adm}}$ (Bars)	4,65014	4,28155	4,03559		
$\varepsilon_{z \text{ adm}}$ (10 <sup>-6</sup> )	9,14E+02	6,34E+02	4,79E+02		

Tableau 4 : Contraintes et déformations admissibles des graveleux latéritiques crus

## 5. GRAVELEUX LATÉRIQUES AMÉLIORÉS AUX CONCASSES ( GLA )

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- $E = 50 \text{ CBR}$
- $V = 0.25$
- $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)
- $\varepsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell).

Graveleux latéritiques améliorés aux concassés GLA					
100 < CBR E ( Bars ) > 5000					
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06	1,17E+07	2,63E+07	
$\sigma_{z \text{ adm}}$ (Bars)	5,81267	5,35194	5,04449	4,84E+00	
$\varepsilon_{z \text{ adm}}$ (10 <sup>-6</sup> )	9,14E+02	6,34E+02	4,79E+02	3,91E+02	

**Tableau 5 :** Contraintes et déformations admissibles des graveleux latéritiques améliorés

## 6. GRAVELEUX LATÉRITIQUES CIMENT GLC

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- E (Bars) 10000
- Coefficient de poisson :  $\nu$  0.25
- Sigma 6 ( bars ) 7.5
- pente de la droite de fatigue : b -1/15
- écart-type sur la loi de fatigue : sigma N 1
- écart-type sur les épaisseurs : sigma H 3
- coefficient KT (trafic) :  $(N_{eq}/10^6)^b$
- coefficient Kc (calage) 1.14
- coefficient Kd (discontinuité) 1

Module couche sous-jacente ( Bars )	$E < 500$	$500 \leq E \leq 1200$	$1200 < E$
• Ks (rigidité du support)	1/ 1.2	1/ 1.1	1

Matériaux	GLC	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	10000	T1 = 8,80E+05		574	8,28	
$\nu$	0,25	T2 = 3,80E+06		415	6,88	
$e_{min}$ ( cm )	15	T3 = 1,17E+07		323	6,11	
		T4 = 2,63E+07		270	5,43	
		T5 = 5,27E+07		231	4,94	

**Tableau 6 :** Contraintes et déformations admissibles des graveleux latéritiques améliorés au ciment

## 7. GRAVE NATURELLE

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- $E \text{ (Bars)} = 50\text{CBR}$
- $V = 0,25$
- $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1 + 0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)
- $\varepsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

GNT1	60 < CBR E ( Bars ) > 3000				
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Trafic	8,80E+05	3,80E+06	1,17E+07	2,63E+07	5,27E+07
$\sigma_{z \text{ adm}} \text{ (Bars)}$	3,48760	3,21116	3,02670	2,90627	2,81030
$\varepsilon_{z \text{ adm}} (10^{-6})$	9,14E+02	6,34E+02	4,79E+02	3,91E+02	3,29E+02

Tableau 7 : Contraintes et déformations admissibles de la grave naturelle

## 8. GRAVE NON TRAITEE

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- $E \text{ (Bars)} = 50\text{CBR}$
- $V = 0.25$
- $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)
- $\varepsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

GNT2	80 < CBR E ( Bars ) > 4000				
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06	1,17E+07	2,63E+07	5,27E+07
$\sigma_{z \text{ adm}} \text{ (Bars)}$	4,65014	4,28155	4,03559	3,87503	3,74707
$\varepsilon_{z \text{ adm}} (10^{-6})$	9,14E+02	6,34E+02	4,79E+02	3,91E+02	3,29E+02

Tableau 8 : Contraintes et déformations admissibles de la grave non traitée

## 9. GRAVE RECONSTITUEE HUMIDE

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- $E \text{ (Bars)} = 50\text{CBR}$
- $V = 0.25$
- $\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \times \text{CBR}}{1+0,7 \times \log N}$  en bars (Kerkoven et Dormon)
- $\varepsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$  en mm (Loi de tassement de Shell)

GRH	100 < CBR E ( Bars ) > 5000				
Trafic	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
	8,80E+05	3,80E+06	1,17E+07	2,63E+07	5,27E+07
$\sigma_{z \text{ adm}} \text{ (Bars)}$	5,81267	5,35194	5,04449	4,84378	4,68384
$\varepsilon_{z \text{ adm}} (10^{-6})$	9,14E+02	6,34E+02	4,79E+02	3,91E+02	3,29E+02

Tableau 9 : Contraintes et déformations admissibles de la grave reconstituée humide

## 10. GRAVE BITUME

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

- Module E (30°C) (Bars) : 8000
- Coefficient de poisson  $\nu$  0.35
- E(10°C) (MPa) 12300
- E(15°C) (MPa) 9300
- epsilon 6(10°C, 25 Hz) (  $10^{-6}$  ) 80
- pente de la droite de fatigue : b 0.2
- écart-type sur la loi de fatigue : sigma N 0.3
- écart-type sur les épaisseurs : sigma H 2.5
- coefficient KT (trafic) :  $(N_{eq}/10^6)^b$
- coefficient Kt (température) : 1.15
- coefficient Kc (calage) 1.3

Module couche sous-jacente ( Bars )	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
• Ks (rigidité du support)	1/ 1.2	1/ 1.1	1

Matériaux	GB	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	8000	T1 = 8,80E+05				
$\nu$	0,35	T2 = 3,80E+06				
$e_{min}$ ( cm )	15	T3 = 1,17E+07		479		54,4
		T4 = 2,63E+07		391		42,7
		T5 = 5,27E+07		328		34,6

**Tableau 10 :** Contraintes et déformations admissibles de la grave bitume

## 11. ENDUIT SUPERFICIEL

Pour les trafics  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  on peut retenir selon le Guide du CEBTP

**Trafic  $T_1$**  (0.88 millions PL) : Bicouche sablé puis monocouche d'entretien

**Trafic  $T_2$**  (3.80 millions PL) : Bicouche sablé puis 2.5 cm d'enrobés denses

**Trafic  $T_3$**  (11,7 millions PL) : Bicouche sablé puis 2.5 cm d'enrobés d'entretien

## 12. LES BETONS BITUMINEUX

<b>HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT:</b>	<b>0 / 10</b>	<b>0 / 14</b>
• Module E (Bars) :	13000	13000
• Coefficient de poisson $\nu$	0.35	0.35
• E(10°C) (MPa)	7200	7200
• E(15°C) (MPa)	5400	5400
• epsilon 6(10°C, 25 Hz) ( $10^{-6}$ )	100	100
• pente de la droite de fatigue : b	-0.2	-1/5.25
• écart-type sur la loi de fatigue : sigma N	0.25	0.25
• écart-type sur les épaisseurs : sigma H	1	1
• coefficient KT (trafic) :	$(N_{eq}/10^6)^b$	$(N_{eq}/10^6)^b$
• coefficient Kc (calage)	1.1	1.1
• coefficient Kd (discontinuité)	1	1

Module couche sous-jacente ( Bars )	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
• Ks (rigidité du support)	1/ 1.2	1/ 1.1	1

Matériaux	BB 0/10	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	13000	T1 = 8,80E+05				
$\nu$	0,35	T2 = 3,80E+06				
$e_{min}$ ( cm )	3	T3 = 1,17E+07		479		68,3
		T4 = 2,63E+07		391		49,9
		T5 = 5,27E+07		328		43,4
Matériaux	BB 0/14	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	13000	T1 = 8,80E+05				
$\nu$	0,35	T2 = 3,80E+06				
$e_{min}$ ( cm )	3	T3 = 1,17E+07		479		70,4
		T4 = 2,63E+07		391		52,2
		T5 = 5,27E+07		328		45,7

**Tableau 11 : Contraintes et déformations admissibles des bétons bitumineux**



### 13. LES ENROBES DENSES ED

**HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :**

- Module E (Bars) : 13000
- Coefficient de poisson V 0.35
- E(10°C) (MPa) 7200
- E(15°C) (MPa) 5400
- epsilon 6(10°C, 25 Hz) ( 10<sup>-6</sup> ) 100
- pente de la droite de fatigue : b 0.2
- écart-type sur la loi de fatigue : sigma N 0.25
- écart-type sur les épaisseurs : sigma H 1
- coefficient KT (trafic) : (Neq/10<sup>6</sup>)<sup>b</sup>
- coefficient Kc (calage) 1
- coefficient Kd (discontinuité) 1

Module couche sous-jacente ( Bars )	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
• Ks (rigidité du support)	1/ 1.2	1/ 1.1	1

Matériaux	ED	Trafic PL	σ <sub>zad</sub> (bars)	ε <sub>zad</sub> (10 <sup>-6</sup> )	σ <sub>tad</sub> (bars)	ε <sub>tad</sub> (10 <sup>-6</sup> )
E ( bars )	13000	T1 = 8,80E+05				
v	0,35	T2 = 3,80E+06				
e <sub>min</sub> ( cm )	3	T3 = 1,17E+07		479		70,3
		T4 = 2,63E+07		391		55,9
		T5 = 5,27E+07		328		45,8

**Tableau 12 :** Contraintes et déformations admissibles des enrobés denses

## 14.LE SAND-ASPHALTE

### HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

- Module E (Bars) : 6000
- Coefficient de poisson :  $\nu$  0.35
- E(10°C) (MPa) 7200
- E(15°C) (MPa) 5400
- epsilon 6(10°C, 25 Hz) (  $10^{-6}$  ) 90
- pente de la droite de fatigue : b - 0.067
- écart-type sur la loi de fatigue : sigma N 1
- écart-type sur les épaisseurs : sigma H 3
- coefficient KT (trafic) :  $(N_{eq}/10^6)^b$
- coefficient Kc (calage) 1.4
- coefficient Kd (discontinuité) 1

Module couche sous-jacente ( Bars )	E < 500	500 ≤ E ≤ 1200	1200 < E
• Ks (rigidité du support)	1/ 1.2	1/ 1.1	1

Matériaux	SA	Trafic PL	$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	6000	T1 = 8,80E+05		914		98,2
$\nu$	0,35	T2 = 3,80E+06		634		82,5
$e_{min}$ ( cm )	3	T3 = 1,17E+07		479		59,7
		T4 = 2,63E+07				
		T5 = 5,27E+07				

**Tableau 13** : Contraintes et déformations admissibles du sand-ansphalt

**LES SOLS DE PLATE-FORME**

Matériaux	PF1	Trafic PL		$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	300	T1 =	8,80E+05	0,348	914		
$\nu$	0,25	T2 =	3,80E+06	0,321	634		
		T3 =	1,17E+07	0,302	479		
		T4 =	2,63E+07	0,29	391		
		T5 =	5,27E+07	0,281	329		
Matériaux	PF2	Trafic PL		$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	500	T1 =	8,80E+05	0,581	914		
$\nu$	0,25	T2 =	3,80E+06	0,535	634		
		T3 =	1,17E+07	0,504	479		
		T4 =	2,63E+07	0,484	391		
		T5 =	5,27E+07	0,468	329		
Matériaux	PF3	Trafic PL		$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	1200	T1 =	8,80E+05	1,40	914		
$\nu$	0,25	T2 =	3,80E+06	1,28	634		
		T3 =	1,17E+07	1,21	479		
		T4 =	2,63E+07	1,16	391		
		T5 =	5,27E+07	1,12	329		
Matériaux	PF4	Trafic PL		$\sigma_{zad}$ (bars)	$\epsilon_{zad}$ ( $10^{-6}$ )	$\sigma_{tad}$ (bars)	$\epsilon_{tad}$ ( $10^{-6}$ )
E ( bars )	2500	T1 =	8,80E+05	2,9	914		
$\nu$	0,25	T2 =	3,80E+06	2,67	634		
		T3 =	1,17E+07	2,52	479		
		T4 =	2,63E+07	2,42	391		
		T5 =	5,27E+07	2,34	329		

**Tableau 14 :** Contraintes et déformations admissibles dans les sols de plate-forme

**CALCULS DES LIMITES ADMISSIBLES**

**SOL-CIMENT SC**

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>TRAFIC EQUIVALENT (million)</b>	<b>0,88</b>	<b>3,80</b>
<i>Sigma 6 ( bars )</i>	6,1	6,1
<i>pente de la droite de fatigue : b</i>	-0,083	-0,083
<i>écart-type sur la loi de fatigue : sigma N</i>	0,8	0,8
<i>écart-type sur les épaisseurs : sigma H</i>	2,5	2,5
risque ( % )	24	15
t	-0,706	-1,036
coefficient KT (trafic) : $(N_{eq}/10^6)^b$	1,01	0,90
Delta	1,00	1,00
coefficient Kr (risque)	0,87	0,82
coefficient Kc (calage)	1,5	1,5
coefficient Kd (discontinuité)	1,0	1,0
coefficient 1/Ks (rigidité de la couche support)	1,2	1,2
<b>SIGMA admissible ( bars )</b>	<b>6,73</b>	<b>5,60</b>
<b>EPSILON Z admissible (10 E-6)</b>	<b>574,8</b>	<b>415,5</b>

Risque	t
2,5	-1,96
5	-1,645
7,5	-1,439
10	-1,282
12	-1,175
15	-1,04
24	-0,706

**Tableau 15 :** Table de calcul des contraintes et déformations admissibles des matériaux traités au ciment

Sable-bitume	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
<b>TRAFIC EQUIVALENT (million)</b>	<b>0,880</b>	<b>3,795</b>
<i>E(10°C) (MPa)</i>	4 500	4 500
<i>E(15°C) (MPa)</i>	3 000	3 000
<i>epsilon 6 (10°C;25Hz) (10 E-6)</i>	80	80
<i>pente de la droite de fatigue : b</i>	-0,2	-0,2
<i>écart-type sur la loi de fatigue : sigma N</i>	0,30	0,30
<i>écart-type sur les épaisseurs : sigma H</i>	2,5	2,5
<i>t</i>	25 -0,674	12 -1,175
<i>coefficient KT (trafic) : (Neq/10^6)^b</i>	1,026	0,766
<i>coefficient Kt (température) : (E(10°C)/E(15°C))^0,5</i>	1,225	1,225
<i>Delta</i>	0,39	0,39
<i>coefficient Kr (risque)</i>	0,886	0,810
<i>coefficient Kc (calage)</i>	1,3	1,3
<i>coefficient 1/Ks (rigidité de la couche support)</i>	1,1	1,1
<b>EPSILON T admissible (10 E-6) <math>\epsilon_{t ad} =</math></b>	<b>105,2</b>	<b>71,8</b>
<b>EPSILON Z admissible (10 E-6) <math>\epsilon_{z ad} =</math></b>	<b>914,2</b>	<b>634,4</b>

	-2,054	t
	-1,645	
	-1,175	
	-0,674	

**Tableau 16** : table de calcul des contraintes et déformations admissibles des matériaux traités au bitume

## ANNEXES C

$T_1 = 8,75 \cdot 10^5$	Matériaux	S1	S2	S3	S4	S5
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	SB	15	15	15	15	15
Fondation	SN	45	30	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GL2	20	20	20	20	25
Fondation	SN	40	30	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GNT 1 / 2	20	20	20	20	25
Fondation	SN	40	30	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GL2	15	15	15	15	25
Fondation	GL1	45	35	30	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GLA	15	15	15	15	20
Fondation	GL1	45	35	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GNT1	15	15	15	15	25
Fondation	GL1	45	35	30	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GNT2	15	15	15	15	20
Fondation	GL1	45	35	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GNT1	20	20	20	20	25
Fondation	GNT1	45	35	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GL2	15	15	15	15	20
Fondation	GNT1	45	35	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GNT2	15	15	15	15	20
Fondation	GNT1	45	35	25	20	0
Revêtement		Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E	Bc ou 3E
Base	GLA	15	15	15	15	20
Fondation	GNT1	45	35	25	20	0

Tableau 1 : Epaisseurs obtenues avec le guide de dimensionnement du CEBTP pour un trafic  $T_1$

Bc : enduits superficiel bicouche

3 E: 3 cm d'enrobé dense ou de sand-asphalt

<b>T2 = 3,795 10<sup>6</sup></b>	<b>Matériaux</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
Revêtement	BB	5	5	5	5	5
Base	GL2	20	20	20	20	25
Fondation	GL1	40	30	20	15	0
Revêtement	BB	5	5	5	5	5
Base	GNT1	20	20	20	20	20
Fondation	GL1	45	25	20	15	0
Revêtement	BB	5	5	5	5	5
Base	GNT2	20	20	20	20	20
Fondation	GL1	40	30	25	20	0
Revêtement	BB		5	5	5	5
Base	GLC		20	20	20	20
Fondation	GL1		30	25	20	0
Revêtement	BB	4	4	4	4	4
Base	GB	15	15	15	15	15
Fondation	GLC	40	25	20	15	0
Revêtement	BB	5	5	5	5	5
Base	GL2	20	20	20	20	20
Fondation	GNT1	45	25	20	15	0
Revêtement	BB	5	5	5	5	5
Base	GNT2	20	20	20	20	20
Fondation	GNT1	40	30	25	20	0
Revêtement	BB	4	4	4	4	4
Base	GB	15	15	15	15	15
Fondation	GNT1	45	30	25	15	0
Revêtement	BB		5	5	5	5
Base	GLC		20	20	20	20
Fondation	GNT1		30	25	20	0
Revêtement	BB	5	5	5	5	5
Base	GNT2	60	45	40	30	20
Fondation	GNT2					

Tableau 2 : Epaisseurs obtenues avec le guide de dimensionnement du CEBTP pour un trafic T<sub>2</sub>

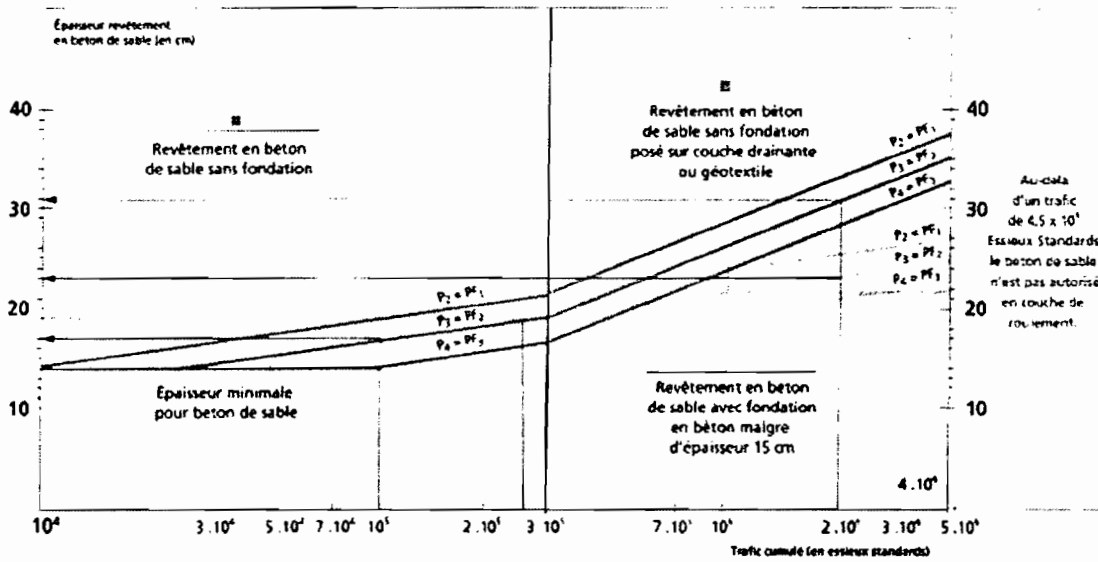
<b>T3 = 11,675 10<sup>6</sup></b>	<b>Matériaux</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
<b>Revêtement</b>	<b>BB</b>	7	7	7	7	7
<b>Base</b>	<b>GB</b>	17	17	17	17	20
<b>Fondation</b>	<b>GLC</b>	45	25	20	15	0
<b>Revêtement</b>	<b>BB</b>	7	7	7	7	7
<b>Base</b>	<b>GB</b>	18	18	18	18	18
<b>Fondation</b>	<b>GL1</b>	50	35	30	25	0
<b>Revêtement</b>	<b>BB</b>	7	7	7	7	7
<b>Base</b>	<b>GB</b>	18	18	18	18	18
<b>Fondation</b>	<b>GNT1</b>	50	35	30	25	0
<b>Revêtement</b>	<b>BB</b>		10	10	10	10
<b>Base</b>	<b>GLC</b>		22	22	22	25
<b>Fondation</b>	<b>GL1</b>		35	20	25	0
<b>Revêtement</b>	<b>BB</b>		10	10	10	10
<b>Base</b>	<b>GLC</b>		22	22	22	25
<b>Fondation</b>	<b>GNT1</b>		35	20	25	0

Tableau 3 : Epaisseurs obtenues avec le guide de dimensionnement du CEBTP pour un trafic

T<sub>3</sub>



## ANNEXES D


















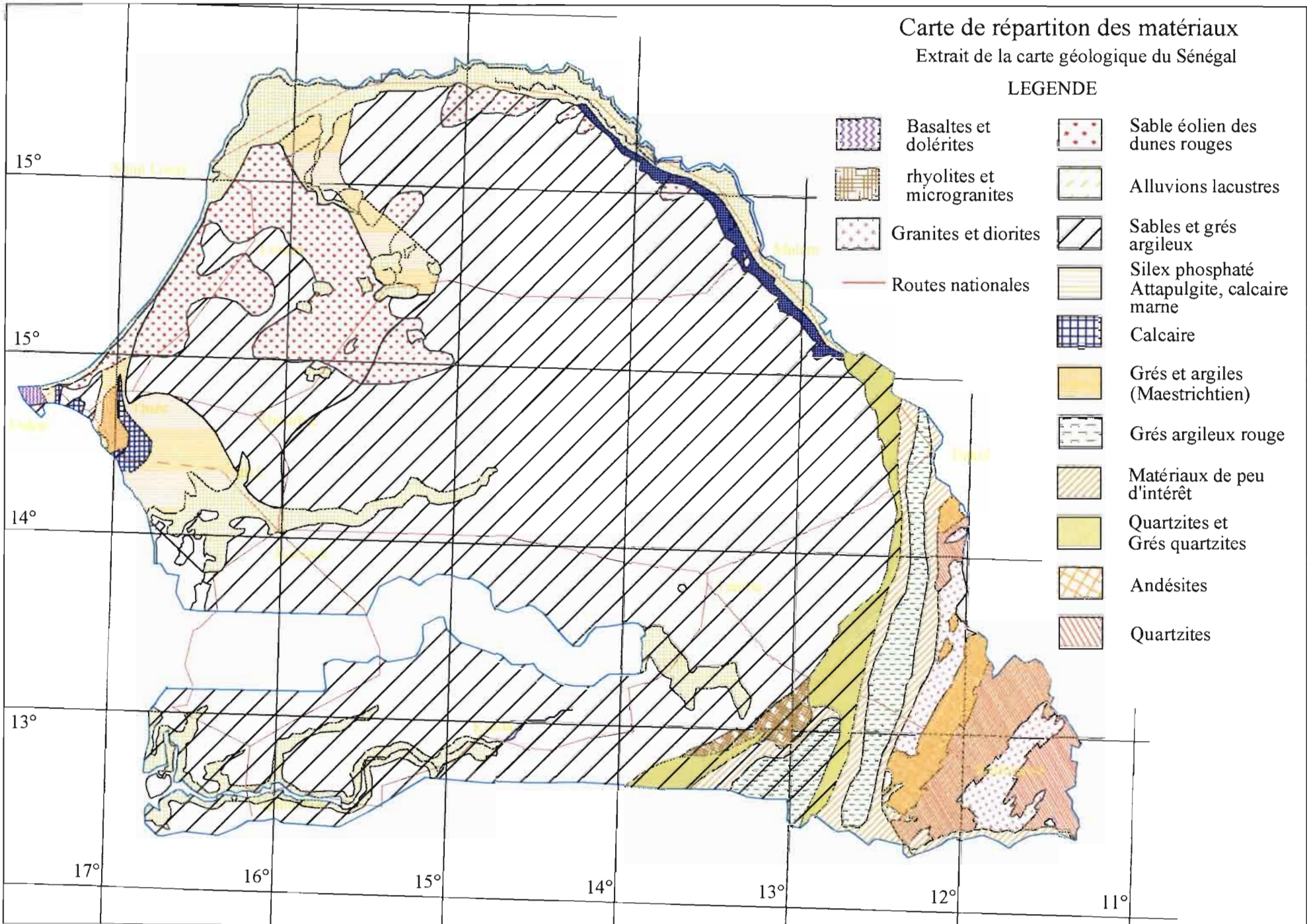
Abaque de dimensionnement des chaussées en béton de sable

# Carte de répartition des matériaux

Extrait de la carte géologique du Sénégal

## LEGENDE

- |   |                            |   |  |
|---|----------------------------|---|--|
|  | Basaltes et dolérites      |    | Sable éolien des dunes rouges              |
|  | rhyolites et microgranites |    | Alluvions lacustres                        |
|  | Granites et diorites       |    | Sables et grés argileux                    |
|  | Routes nationales          |    | Silex phosphaté Attapulгите, calcaire mame |
|   |                            |    | Calcaire                                   |
|   |                            |    | Grés et argiles (Maestrichtien)            |
|   |                            |    | Grés argileux rouge                        |
|   |                            |    | Matériaux de peu d'intérêt                 |
|   |                            |    | Quartzites et Grés quartzites              |
|   |                            |   | Andésites                                  |
|   |                            |  | Quartzites                                 |



## BIBLIOGRAPHIE

1. Dossiers d'Appel d'Offres :
  - Projet de renforcement et d'élargissement de la Route Nationale N°1 M.E.T AATR B.E : **PolyConsult** Ingénierie Mai 2001
  - Travaux de renforcement de la route Kaffrine- Mbacké **M.E.T.T – D.T.P** B.E : **GIC / STUDI**
  - Etude technique d'exécution de la route Touba-Kébémér-Lompoul METT- TP B.E : **UNITEC** janvier 1988
  - Réhabilitation de la route Ourossogui-Bakel Lettre de marché **METT – DTP**
  - Renforcement de la RN5 Bignona-Diouloulou METT-DTP BE : **Simon & Chritiansen septembre 1998**
  - Réhabilitation de la route Touba-Dahra Lettre de marché **METT – DTP**
  - Extrait Etudes de la route de l'aéroport et de passages supérieurs de la Patte d'oie, de Camberéne, de Pikine, de Thiaroye et de Diameguene. **UNETEC-LIMITED / DAVIES-TECHSULT**
2. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux **CEBTP** Année d'édition 1984
3. Manuel de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux **CEBTP**
4. Conception et dimensionnement des structures de chaussée Guide technique **LCPC-SETRA**
5. Synthèse : Les sables Guide pratique d'utilisation routière **ISTED**
6. Etudes : Latérites et graveleux latéritiques **ISTED**
7. Synthèses : Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière **ISTED**
8. Traitement des sols à la chaux ou aux liants hydrauliques  
Application à la réalisation des remblais et des couches de formes  
Guide technique **LCPC-SETRA**
9. Les enduits superficiels et les routes économiques **LCPC**
10. Techniques de l'Ingénieur : Projet de construction de route **Jean Berthier**
11. Notice explicative de la carte géotechnique du Sénégal **BRGM**
12. Catalogue des structures types de chaussées neuves Ed. 1998 **LCPC-SETRA**
13. Etude de corrélation  $E=kCBR$  Influence du module d'élasticité comme paramètre d'entrée dans le code de dimensionnement routier Alizé III du LCPC  
**Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue Pape Diallo NDIAYE**
14. Enrobés denses et bétons bitumineux au Sénégal : analyse des données et expérimentations sur de nouveaux matériaux de substitution. Performances et intérêt économique. **Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue Mamadou FAYE**
15. Paramètre de rupture / caractéristiques élastiques de la latérite-ciment : Influence sur le dimensionnement routier.  
Application aux tronçons Thiès-Sindi et Séo-Diourbel. **Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue Bocar malick MBOW**
16. **CEBTP** - Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques
17. **FALL M.** (1993) - Identification et caractérisation mécanique de graveleux latéritiques du Sénégal: application au domaine routier. Thèse de doctorat de l'I.N.P.L. en génie civil minier .
18. **GROUPEMENT LOUIS BERGER SA/GIC** (1997) - Etude d'élargissement de la route nationale n°1 entre le carrefour de Fass Mbao et le carrefour de Diamniadio. Annexes géotechniques. Ministère de l'équipement du Sénégal

19. **LAVALIN INTERNATIONAL (1988)** - Préparation au premier projet sectoriel de transport composante routière marché N°C/08/FM. Rapport : renforcement des chaussées. Direction des travaux publics du Sénégal
20. **Communications** : Séminaire international sur les routes et le transport intègre Dakar: 07 au09 avril 2003 (MIET / AIPCR)
201. **M. Ndiaye DIOUF NDIAYE** - Caractérisation de latérite et lithostabilisation de latérite par du concasse de calcaire pour couche de base de chaussée au Sénégal
202. **CISSE I. K. & NDOYE M.A.** - Caractérisation physico-chimique des couches de base en latérite-ciment. LABORATOIRE DE Matériaux, Mécanique, Ecole Supérieure polytechnique, BP A 10 Thiès Sénégal
203. **Meïssa FALL - Abdoulaye MBODJI - Bocar Malick MBOW** - Etat actuel des connaissances sur le dimensionnement routier au Sénégal.
204. **Dominique NDONG** - Problématiques de l'application des spécifications d'usage face à la vétusté de nos outils d'expérimentation.
205. **CISSE I. K.** - Le béton de sable routier, matériau d'infrastructure fédérateur dans le cadre du NEPAD
206. **M. Aloui et M. Afechkar** - Analyse fine du trafic routier (Maroc)
21. **Rapport final** : séminaire international sur la qualité des travaux routiers (Septembre 2000)
22. **LCPC** - Les enduits superficiels et les routes économiques.
23. **LCPC -SETRA** - Dimensionnement des renforcements de chaussées souple - Guide technique juin 1978
24. **LCPC - SETRA** - Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic
25. **Mor Gueye GAYE** - Mémoire de fin d'étude d'ingénieur- géologue Caractérisation et performance d'un granulat type nouveau en corps de chaussée : les silixites (produits secondaires dans la chaîne de production de la CSPT-Taïba)
26. **BAGARRE E. (1990)** - Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière, édition CEBTP / ISTED
27. **LCPC (1975)** - Complément à la directive pour la réalisation des chaussées en grave-ciment
28. **Martinez J.** - Contribution au dimensionnement rationnel des structures de chaussées souples et inverses. Comportement des graves non traités et des sols support. Thèse Doct. Univ. Montpellier II, 1990
29. Discours d'ouverture du Ministre des Infrastructures de l'Equipement et des transports terrestres du Séminaire international sur les routes et le transport intègre Dakar: 07 au09 avril 2003 (MIET / AIPCR)