

**REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**



**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
Centre de Thiès**

Département de génie civil

GC.0529

**PROJET DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION**

Titre :

**CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN GUIDE DE DIMENSIONNEMENT
DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEES NEUVES AU SENEGAL**

**Auteurs :
Khadim NDIAYE
Amadou THIAM**

Directeur interne : Pr. Ibrahima K. CISSE

Directeur externe : Lamine CISSE, A.A.T.R.

Juillet 2008

DEDICACES

A nos parents, pour nous avoir toujours soutenus dans nos études,

A nos frères et sœurs, toute notre affection,

A nos promotionnaires, en souvenir des moments partagés,

A tous ceux qui nous sont chers, vous avez partagé joies et peines.

REMERCIEMENTS

Très sincères remerciements :

- *Au Pr Ibrahima Khalil CISSE, directeur de l'E.P.T., pour sa disponibilité, son encadrement et son soutien continu et la mise à notre disposition de documents de base. Au cours de notre formation vous nous avez dispensé un enseignement d'une haute valeur scientifique et vous avez pu rendre assimilable une matière aussi ardue que les routes. Vous nous avez insufflé l'amour des routes. Aujourd'hui encore, vous nous faites l'honneur d'être notre encadreur. Nous vous sommes infiniment reconnaissants.*
- *A M. Lamine CISSE, chef de la division de la Programmation et de la BDR (Banque de Données Routières) à l'A.A.T.R., pour la formulation du sujet, l'aide bibliographique et la supervision de l'étude, et la disponibilité nonobstant les lourdes charges. Nous remercions par la même l'ensemble du personnel de l'A.A.T.R.*

Nos remerciements vont également à l'endroit de :

- *Monsieur Serigne Sam SAMB ingénieur au SENELABO pour la documentation mise à notre disposition et pour sa disponibilité.*
- *Messieurs Ousmane MBODJI de la 4^{ème} promotion, Ibrahima CISSOKHO, Serigne Modou GUEYE de la 5^{ème} promotion et Cheikh Yatt DIOUF de la 8^{ème} promotion pour l'orientation apportée au sujet à travers leur précédent PFE.*

Nous ne saurons finir sans rendre un hommage sincère et plus que mérité à l'ensemble du corps professoral pour la qualité de l'enseignement dispensé et la justesse des conseils prodigués, cinq années durant. Vous avez toute notre gratitude.

SOMMAIRE

Le but de ce travail était de proposer une contribution à l'élaboration du catalogue sénégalais des structures types de chaussées neuves. Ceci étant fait en fonction, de tous les matériaux de construction routière disponibles au Sénégal et, du contexte économique de notre pays. Ainsi, nous devions produire des fiches de matériaux précisant toutes les spécifications requises pour la construction routière, produire des fiches de structures qui nous donnent en fonction de la classe de plateforme (S2, S3, S4 et S5) et de la classe de trafic (T1, T2, T3, T4, T5, T6), de déterminer les épaisseurs des matériaux d'assise et du revêtement et, faire une petite introduction sur les chaussées en béton de ciment.

Pour mener à bien cette tâche, une recherche bibliographique approfondie a été menée afin de déterminer les matériaux (leurs caractéristiques et les servitudes liées à leur mise en œuvre) entrant dans notre étude, la définition des principes de la méthode de dimensionnement jugée appropriée. Après avoir réuni ces données et aussi après avoir identifié et modifié les hypothèses établies dans les travaux antérieurs qui devaient être améliorés, nous avons déterminé les contraintes et déformations admissibles pour chaque matériau, défini des scénarios de structures dont les choix d'épaisseurs sont vérifiés avec ALIZE III, et pour finir faire une brève introduction sur les chaussées en béton de ciment.

Ainsi, nous avons produit treize (13) fiches de matériaux, quarante (40) fiches de structure réparties comme suit : vingt-six (26) pour les structures souples, neuf (9) pour les structures semi-rigides, trois (3) pour les structures mixtes et deux (2) pour les structures inverses.

Des recommandations ont été faites et sont consignées en fin de mémoire, sur la nécessité de mettre sur pied le catalogue sénégalais définitif en impliquant tous les acteurs du secteur routier, et de confectionner aussi les documents d'accompagnement (normes, guide sur les dégradations, tous les guides techniques nécessaires), etc.

Mots clés : catalogue – dimensionnement– fiches de structures– fiches de matériaux – Alizé III

TABLE DES MATIERES

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES ANNEXES	vii
ANNEXES A : FICHES DE STRUCTURES	vii
ANNEXES B : FICHES DE MATERIAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES TABLEAUX DES ANNEXES	xii
LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS	xv
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX SUR L'ELABORATION D'UN GUIDE DE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEES NEUVES AU SENEGAL.....	3
INTRODUCTION	3
I.1 TRAVAUX EFFECTUES EN 2003:.....	3
I.1.1 Rappel des différents types de chaussées.....	3
I.1.2 Rappel sur la constitution de la superstructure :.....	4
I.1.3 Matériaux utilisés en technique routière au Sénégal et leur répartition :.....	5
I.1.4 Rappel des différentes méthodes de dimensionnement :.....	6
I.1.5 Structure du catalogue retenue (Fiches de structures et fiches de matériaux).....	12
I.2 TRAVAUX EFFECTUES EN 2004 :	12
I.2.1 Stabilisation des couches de chaussée :.....	12
I.2.1.2 Stabilisation chimique :.....	13
I.2.1.3 Traitement aux liants hydrocarbonés :.....	13
I.2.2 Présentation des matériaux et détermination des caractéristiques de ces derniers :	13
I.2.3 Elaboration du catalogue	14
I.3 TRAVAUX EFFECTUES EN 2007:.....	15
I.3.1 Chaussée mixte / Chaussée inverse	15
I.3.2 Elaboration du catalogue sénégalais.....	17

CONCLUSION	19
CHAPITRE II : METHODE FRANCAISE DE DIMENSIONNEMENT	20
II. 1 Les données requises pour le dimensionnement	20
II.1.1 Le trafic	20
II.1.2 Les paramètres de base du calcul	24
II.1.3 Les conditions climatiques et environnementales	25
II.1.4 Les paramètres descriptifs de la plate-forme support de chaussée	25
II.1.5 Les caractéristiques des matériaux	27
II. 2 Démarche de dimensionnement	30
II.2.1 Première étape : Prédimensionnement	31
II.2.2 Deuxième étape : Calcul de la structure	31
II.2.3 Troisième étape : Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support	31
II.2.4 Quatrième étape : Ajustement des épaisseurs calculées	31
II.2.5 Cinquième étape : Définition de la coupe transversale	32
II. 3 Dimensionnement des différentes familles de structures	32
II.3.1 Vérification commune vis à vis du sol-support et couches non liées	32
II.3.2 Chaussées souples et bitumineuses épaisses	33
II.3.3 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques (MTLH)	36
II.3.4 Chaussées à structure mixte	37
II.3.5 Chaussées à structure inverse	39
CONCLUSION	42
CHAPITRE III : ELABORATION DES STRUCTURES TYPES	43
INTRODUCTION	43
III.1 Définition des paramètres d'entrée	43
III.1.1 Les régions	44
III.1.2 Le sol de plate-forme	44
III.1.3 Le trafic	45
III.1.4 Le coefficient d'agressivité moyen	46
III.1.5 Durée de vie	46
III.1.6 Taux de croissance annuel du trafic des poids lourds	47
III.1.7 Les caractéristiques mécaniques des matériaux	48
III.1.8 Choix de la couche de roulement	48

III.1.9	Epaisseurs de mise en œuvre des matériaux.....	49
III.1.10	La liaison aux interfaces	49
III. 2	Le choix des types de structures	50
III.2.1	Les chaussées souples	51
III.2.2	Les chaussées semi-rigides.....	52
III.2.3.	Les chaussées à structure mixte.....	52
III.3	Aménagement progressif et entretien préventif	53
III. 3.1	Solution traditionnelle.....	53
III. 3.2	Entretien préventif	53
III. 4	Structure du guide de dimensionnement	54
III.4.1	La fiche de procédure.....	54
III.4.2	Les Fiches de matériaux	54
III.5	Fiche de structures	54
III. 6	Exemple d'utilisation du guide de dimensionnement.....	55
CONCLUSION :		59
CHAPITRE IV : LES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT.....		60
INTRODUCTION :		60
IV.1	Modélisation de la structure de chaussée	60
IV.2	Critères retenus pour le dimensionnement :	61
IV.2.1	Les structures avec couches de fondation:.....	61
IV.2.2	Les structures en béton armé continu sur couche de forme:.....	61
IV.3	Détermination de la contrainte de traction admissible σ_t, ad dans la couche de base en béton	62
IV.4	Détermination de la contrainte de traction admissible σ_t, ad dans la couche de fondation en béton maigre ou en matériaux traités aux liants hydrauliques	63
IV.5	Choix des valeurs de risque pour les chaussées en béton	63
IV.6	Dimensionnement des aciers.....	63
IV.6.1	Les fers de liaison	63
IV.6.2	Les goujons pour chaussées en dalles	64
IV.6.3	Les armatures longitudinales du béton armé continu	65
Exemple de dimensionnement :		65
CONCLUSION :		68
CONCLUSION GENERALE :		69

LISTE DES ANNEXES

ANNEXES A : FICHES DE STRUCTURES

S1 : SN / GB.....	A1
S2 : SN / GN.....	A2
S3 : SN / LAT2.....	A3
S4 : SN / LACo.....	A4
S5 : SN / GNT.....	A5
S6 : SN / GRH.....	A6
S7 : LAT1 / LAT2.....	A7
S8 : LAT1 / GN.....	A8
S9 : LAT1 / GNT.....	A9
S10 : LAT1 / LACo.....	A10
S11 : LAT1 / GRH.....	A11
S12 : LAT2 / GB.....	A12
S13 : GN / GN.....	A13
S14 : GN / LAT2.....	A14
S15 : GN / LACo.....	A15
S16 : GN / GNT.....	A16
S17 : GN / GRH.....	A17
S18 : GN / GB.....	A18
S19 : GNT / GNT.....	A19
S20 : GNT / LAT2.....	A20
S21 : GNT / LACo.....	A21
S22 : GNT / GRH.....	A22
S23 : GRH / GRH.....	A23
S24 : GRH / LACo.....	A24
S25 : LACo / LACo.....	A25

S26 : LACo / GB.....	A26
H1 : SC / LAC.....	A27
H2 : LAC / LAC.....	A28
H3 : LAT2 / LAC.....	A29
H4 : GN / LAC.....	A30
H5 : GNT / LAC.....	A31
H6 : GRH / LAC.....	A32
H7 : LACo / LAC.....	A33
H8 : SC / GC.....	A34
H9 : GC / GC.....	A35
M1 : LACo / LAC.....	A36
M2 : LAC / GB.....	A37
M3 : GC / GB.....	A37
I1 : SC / GRH/GB.....	A38
I2 : LAC / GRH/GB.....	A39

ANNEXES B : FICHES DE MATERIAUX

HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT	B1
SOL DE PLATEFORME	B3
FM 1 : SABLE NATUREL (SN)	B4
FM 2 : GRAVELEUX LATERITIQUES CRUS (LAT)	B5
FM 3 : GRAVE NATURELLE (GN)	B6
FM 4 : GRAVE NON TRAITEE (GNT) ET GRAVE RECONSTITUEE HUMIDE (GRH)	B7
FM 5 : GRAVELEUX LATERITIQUES AMELIORES AU CONCASSES (LACo)	B8
FM 6 : SABLES TRAITES AU CIMENT (SC).....	B9
FM 7 : GRAVELEUX LATERITIQUES TRAITES AU CIMENT (LAC)	B10
FM 8 : GRAVES TRAITES AUX LIANTS HYDRAULIQUES (GC)	B11
FM 9 : GRAVE-BITUME (GB) / GRAVE EMULSION (GE)	B12
FM 10 : SABLE-BITUME (SB).....	B13
FM 11: BETON BITUMINEUX (BB)	B14
FM 12: ENROBES DENSES (ED)	B16
FM 13: SAND ASPHALT	B17

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : épaisseurs de la couche de surface en matériaux bitumineux pour les chaussées à faible trafic, à assise granulaire [2].....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 2 : Démarche de calcul du dimensionnement des structures de chaussée.....</i>	<i>55</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: classe de trafic	17
Tableau 2 :classe de plate-forme	18
Tableau 3: Répartition du trafic poids lourds par voie de circulation. [2]	21
Tableau 4: Définition des classes de trafic [2]	21
Tableau 5: Valeurs de K et α pour le calcul de l'agressivité d'un essieu [2]	23
Tableau 6: Coefficients d'agressivité selon le trafic et le type de chaussée [2]	24
Tableau 7: Risque de calcul retenu à 20 ans pour le Catalogue 1998 des chaussées des routes nationales. [2]	25
Tableau 8: Classe de portance à long terme au niveau de l'arase de la PST. [2]	26
Tableau 9: Classification des plates-formes selon LCPC-SETRA, 1981.	27
Tableau 10 : Écart-type sur les épaisseurs à la mise en œuvre de couches en matériaux bitumineux [2]	29
Tableau 11: Valeurs du coefficient d'agressivité moyenne du trafic pour la justification de la tenue du sol support [2]	33
Tableau 12: Valeur de u associée au risque r [2]	35
Tableau 13: Valeurs du coefficient k_c pour les chaussées bitumineuses [2]	35
Tableau 14: Valeurs du coefficient k_s [2]	35
Tableau 15: Valeurs du coefficient k_r pour chaussées en MTLH	37
Tableau 16: valeur du risque de calcul r_2 pour la couche en MTLH	39
Tableau 17: Modules de calcul de la plate-forme support de chaussée	45
Tableau 18: Les classes de trafic de l'étude	46
Tableau 19: Coefficients d'agressivité selon le trafic et le type de chaussée	46
Tableau 20: trafic cumulé (en millions d'essieux équivalents NE)	47
Tableau 21: Type et épaisseur de la couche de roulement selon le trafic [9]	48
Tableau 22: Epaisseurs minimales et maximales de mise en œuvre	49
Tableau 23 : Scénarii de structures pour les chaussées souples	51
Tableau 24: Scénarii de structures pour les chaussées semi-rigides	52
Tableau 25: Scénarii de structures pour les chaussées à structures mixtes	52
Tableau 26: Scénarii de structures pour les chaussées à structures inversés	52
Tableau 27: Valeurs du coefficient k_s [2]	63
Tableau 28: caractéristiques de goujons [2]	64
Tableau 29: caractéristique du béton de ciment	65
Tableau 30: Contraintes dans le béton de la structure en BAC	67

LISTE DES TABLEAUX DES ANNEXES

Tableau A 1 : Les paramètres de calage	A1.
Tableau A 2 : définition des régions : caractéristiques climatiques	A2
Tableau A 3 : Caractérisation des sols de plateforme	A3.
Tableau A 4 : Déformations admissibles pour les sols de plateforme	A3
Tableau A 5 : Spécifications sur les sables naturels [9]	A4
Tableau A 6 : Domaine d'utilisation des graves naturelles	A4
Tableau A 7 : Déformations admissibles pour les sables naturels	A4
Tableau A 8 : Domaine d'emploi des graveleux latéritiques crus	A5
Tableau A 9 : Spécifications sur les graveleux latéritiques crus [9]	
Taux de croissance annuel du trafic $t = 5\%$	A5.
Tableau A 10 : Déformations admissibles pour les graveleux latéritiques crus	A5.
Tableau A 11 : Fuseaux granulaires pour les graveleux latéritiques crus après compactage (CEBTP) [9]	A5.
Tableau A 12 : Spécifications sur les graves naturelles [9]	A6.
Tableau A 15 : Domaine d'utilisation des graves naturelles	A6.
Tableau A 13 : Fuseaux granulaires pour les graves naturelles [9]	A6.
Tableau A 14 : Déformations admissibles pour les graves naturelles	A6.
Tableau A 16 : Valeurs minimales de ES, LA et MDE pour les GNT et GRH [5]	A7.
Tableau A 17 : Fuseaux granulaires pour les GNT/GRH [7]	A7.
Tableau A 19 : Domaine d'emploi des GNT/GRH	A7.
Tableau A 18 : Déformations admissibles pour les GNT/GRH	A7.
Tableau A 23 : Domaine d'utilisation des graveleux latéritiques améliorés aux concassés	A8.
Tableau A 20 : Spécifications sur les graveleux latéritiques améliorés aux concassés [9]	A8.
Tableau A 21: Fuseaux granulaires pour les latéritiques améliorés aux concassés [9]	A8.
Tableau A 22 : Déformations admissibles pour les graveleux latéritiques améliorés aux concassés	A8.
Tableau A 24 : Domaine d'utilisation des sables traités au ciment	A8.

Tableau A 26 : Spécifications sur les sables traitables au ciment [9]	A9.
Tableau A 27 : Spécifications sur le mélange sol-ciment [9]	A9.
Tableau A 25 : Déformations admissibles pour Le sol-ciment	A9
Tableau A 28 : Domaine d'utilisation des graveleux latéritiques traités au ciment	A9
Tableau A 30 : Spécifications sur la latérite crue utilisée [9]	A10.
Tableau A 31 : Spécifications sur le mélange des graveleux latéritiques traités au ciment	A10.
Tableau A 29 : Déformations admissibles pour les graveleux latéritiques traités au ciment	A10.
Tableau A 32 : Performances à un an des graves traitées [5]	A10.
Tableau A 34 : Dosages en liants moyens admissibles [5]	A11.
Tableau A 35 : Ordre de grandeur des épaisseurs pour assises traitées aux liants hydrauliques [3]	A11.
Tableau A 36 : Domaine d'utilisation des graves traitées au ciment	A11.
Tableau A 33 : Déformations admissibles pour les graves traitées au ciment	A11.
Tableau A 37 : Fuseaux granulaires pour les graves-bitume 0/31.5 (CERTP) [9]	A11.
Tableau A 39 : Spécifications sur les granulats pour graves-bitume et graves-émulsion [9]	A12.
Tableau A 40 : Performances des graves-bitume dans l'essai d'immersion compression LCPC à 18°C [5]	A12.
Tableau A 38 : Déformations admissibles pour les graves-bitume	A12.
Tableau A 41 : Domaine d'utilisation des graves-bitume	A12.
Tableau A 43 : Spécifications sur les sables traitables au bitume [9]	A13.
Tableau A 44 : Performances sur les mélanges de sables- bitume [9]	A13.
Tableau A 45: Domaine d'emploi des sables-bitume	A13.
Tableau A 42 : Déformations admissibles pour les sables-bitume	A13.
Tableau A 46 : Spécifications sur les granulats pour bétons bitumineux [9]	A14.
Tableau A 48: Fuseaux granulométriques pour bétons bitumineux [9]	A14.
Tableau A 49: Domaine d'emploi des bétons bitumineux	A14.
Tableau A 47 : Spécifications sur le mélange des bétons bitumineux [9]	A14.
Tableau A 50 : Déformations admissibles pour les bétons bitumineux	A15.

Tableau A 51: Spécifications sur les granulats pour enrobés denses [9]	A16
Tableau A 52 : Fuseaux granulométriques pour enrobés denses [9]	A16.
Tableau A 54 : Spécifications sur le mélange des enrobés denses [9]	A16.
Tableau A 55 : Domaine d'utilisation des enrobés denses.	A16.
Tableau A 53 : Déformations admissibles pour les enrobés denses.	A16.
Tableau A 57 : Spécifications sur le mélange des sand-asphalt [9]	A17.
Tableau A 56 : Spécifications sur les granulats pour Sand Asphalt [9]	A17.
Tableau A 58 : Domaine d'utilisation des sand-asphalt.	A17.
Tableau A 59: Fuseaux granulométriques CEBTP pour sand-asphalt [9]	A17.

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOTATIONS

ORGANISMES ROUTIERS

AATR	Agence Autonome des Travaux routiers
AASHO	American Association of State Highways Officials
CEBTP	Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
ESP	Ecole Supérieure Polytechnique
LCPC	Laboratoire central des Ponts et Chaussées
SETRA	Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes
PTG	Programme Triennal Glissant

MATERIAUX

BB	Béton bitumineux	GRH	Grave reconstituée humide
LAC	Graveleux latéritiques traités au ciment	GNT	Grave non traitée
LACo	Graveleux latéritiques améliorés aux concassés	SN	Sable naturel
ED	Enrobés denses	LAT	Graveleux latéritiques crus
GB	Grave-bitume	SA	Sand asphalt
GC	Grave-ciment	SB	Sable-bitume
GN	Grave naturelle	SC	Sable-ciment

PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT

b	pente de fatigue du matériau exprimée sous forme d'une loi bi-logarithmique
c (m ⁻¹)	coefficient associant la variation de déformation à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée Δh
E	module d'Young (MPa)
E(θ, f)	module d'Young à la température θ et à la fréquence f (MPa)
f	fréquence (Hz)
k _c	coefficient de calage
k _d	coefficient tenant compte des discontinuités des structures de chaussées rigides
k _r	coefficient ajustant la valeur de déformation ou de contrainte admissible en fonction du risque de calcul ou des facteurs de dispersion
k _s	coefficient de prise en compte des hétérogénéités locales de la portance de la couche non liée sous-jacente
K	rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale (pour les structures mixtes)

p	période de calcul
Sh	écart-type sur l'épaisseur de la couche mise en œuvre (m)
SN	écart-type sur le logarithme du nombre de cycles entraînant la rupture par fatigue
u	variable aléatoire de la loi normale centrée réduite associée au risque r
β	pente de fatigue du matériau exprimée sous forme d'une loi semi-logarithmique
δ	écart-type combinant la dispersion sur les épaisseurs et celle sur les résultats d'essais en fatigue
$\epsilon_{t,ad}$	déformation horizontale admissible en traction
$\epsilon_{z,ad}$	déformation verticale admissible en compression
ϵ_t	déformation en traction/compression maximale dans le plan horizontale
ϵ_z	déformation verticale maximale
ϵ_6	déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexion sur éprouvette est obtenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de 50 %, à 10°C et 25Hz
$\epsilon_6(\theta, f)$	déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexion sur éprouvette est obtenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de 50 %, à la température $\theta^\circ\text{C}$ et pour une fréquence f
$\epsilon(N, \theta, f)$	déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexions sur éprouvette est obtenue au bout de N cycles avec une probabilité de 50 %, à la température $\theta^\circ\text{C}$ et pour une fréquence f
ν	coefficient de Poisson
$\nu(\theta, f)$	coefficient de Poisson à la température $\theta^\circ\text{C}$ et pour une fréquence f
θ	température de calcul ($\theta^\circ\text{C}$)
θ_{eq}	température équivalente ($\theta^\circ\text{C}$)
$\sigma_{t,ad}$	contrainte admissible en traction à la base d'une couche (MPa)
σ_t	contrainte en traction/compression maximale dans le plan horizontal (MPa)
σ_6	contrainte pour laquelle la rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360 j est obtenue pour 10^6 cycles (MPa)
$\sigma_1(N)$	contrainte pour laquelle la rupture par traction en flexion sur éprouvette de 360 j est obtenue pour N cycles (MPa)

ESSAIS ET GRANDEURS

CBR	indice de portance californien (Californian Bearing Ratio) (%)
d	diamètre des plus petits éléments du matériaux
D	diamètre des plus gros éléments du matériaux
ES	équivalent de sable
EV2	module à la plaque au second cycle de chargement

I_c	indice de concassage
I_p	indice de plasticité (%)
LA	coefficient de Los Angeles (%)
MDE	coefficient micro-Deval en présence d'eau (%)
OPM	optimum Proctor modifié
r	résistance à la compression simple après immersion à l'essai Duriez (MPa)
R	résistance à la compression simple avant immersion à l'essai Duriez (MPa)
R_t	résistance à la traction directe (MPa)
w	teneur en eau (%)
ρ	masse volumique (kg/m^3)

TRAFFIC

CAM	coefficient d'agressivité moyenne
N	nombre cumulé de véhicules sur la période calcul
NE	nombre équivalent d'essieux de référence correspondant au trafic poids lourds
MJA	moyenne journalière annuelle
PL	poids lourds
t	taux annuel de croissance géométrique du trafic (%)
Ti	classe de trafic
TCi	classe de trafic cumulé

SOL-SUPPORT

ARi	classe de portance à long terme de l'arase de plateforme
PFi	classe i de portance à long terme de la plate-forme support de chaussée
PST	partie supérieure des terrassements
Si	classe de plate-forme CEBTP

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, il n'est pas rare d'entendre les autorités étatiques dire qu'elles aimeraient avoir au Sénégal des routes qui durent 40 ans. Pour arriver à réaliser ce rêve, il est inévitable que tous les acteurs – Bureaux d'étude, entreprises d'exécution, laboratoires, pôles de recherches et centres universitaires, exploitants de carrières, organes étatiques concernés – doivent travailler en synergie pour aboutir à un consensus, une manière partagée par tous de construire des routes répondant à nos réalités. Dans plusieurs pays, devant la primeur d'avoir une harmonie et une maîtrise dans la construction routière, des documents à cet effet ont été conçus : des catalogues de structures types de chaussées neuves et leurs documents d'accompagnement (normes, guides techniques ...)

C'est pour résorber ce gap, que dès 2003 l'Ecole Supérieure Polytechnique de Thiès avec le concours de Jean Lefebvre Sénégal, avait jugé nécessaire de confier en projet de fin d'études la confection d'un catalogue des structures types de chaussées neuves au Sénégal, en la personne de M. Ousmane MBODJI. Le sujet était libellé comme suit : « Esquisse d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal ». Dans ce travail, les hypothèses principales ainsi que l'orientation et la forme du futur catalogue futur furent définies. Puis, pour montrer l'intérêt porté à ce sujet, en 2004 les élèves ingénieurs Ibrahima CISSOKHO et Serigne Modou GUEYE continueront dans la même lancée lors de leur projet de fin d'études intitulé « Elaboration d'un catalogue de dimensionnement des chaussées souples pour la zone ouest du Sénégal ». Ces derniers ont porté leur étude sur la zone ouest et ont pu produire des fiches de matériaux. Et récemment, en 2007, M. Cheikh Yatt DIOUF pour son mémoire en collaboration avec l'Agence Autonome des Travaux Routiers (A.A.T.R.) a travaillé sur le sujet : « Elaboration d'un catalogue des structures types de chaussées neuves au Sénégal ». Il a pu outre la mise à jour de quelques paramètres de dimensionnement, produire des fiches de matériaux et des fiches de structure, structures techniquement réalisables et économiquement rentables.

Il était désormais nécessaire, de confirmer ou d'infirmer les hypothèses formulées jusqu'alors, de les améliorer avant de produire à nouveau des fiches de matériaux et des fiches de structure jugées mieux adaptées.

Dès lors, notre étude aura comme but de cibler et d'améliorer toutes les hypothèses devant l'être puis, de passer à la production des fiches de matériaux et des fiches de structure et enfin, d'introduire les chaussées en béton de ciment. Donc ce document regroupe des structures de chaussées déjà pré-calculées et leurs fiches des matériaux.

Pour réaliser le travail demandé, on a procédé à une recherche bibliographique approfondie afin de déterminer les matériaux (leurs caractéristiques et les servitudes liées à leur mise en œuvre) entrant dans notre étude, à une analyse critique des classes de trafic et de plateforme et, à la définition des principes de la méthode de dimensionnement jugée appropriée. Après avoir réuni ces données et aussi après avoir identifié les hypothèses établies dans les travaux antérieurs et qui devaient être améliorés, nous avons déterminé les contraintes et déformations admissibles pour chaque matériau, défini des scénarios de structures dont les choix d'épaisseurs sont vérifiés avec ALIZE III et, nous avons pu faire une ébauche des hypothèses pour le calcul des chaussées en béton de ciment.

Notre mémoire est composé de quatre grands chapitres. Le chapitre I fait un rappel des points saillants des travaux antérieurs portant sur ce sujet, le suivant passe en revue de manière assez approfondie la méthode française de dimensionnement, le troisième concerne l'élaboration des structures à savoir l'ensemble des hypothèses et tout le préalable à l'élaboration d'un catalogue et, pour finir, le quatrième chapitre parle exclusivement des chaussées rigides. Les fiches de matériaux et les fiches de structures sont jointes en annexe.

CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX SUR L'ELABORATION D'UN GUIDE DE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEES NEUVES AU SENEGAL.

INTRODUCTION

Dans cette partie, il s'agit de faire un résumé des trois projets de fin d'étude ayant précédé le notre dans ce domaine. En effet, vu qu'il s'agit d'une contribution, il est nécessaire de faire un rappel de l'ensemble des travaux antérieurs.

Ainsi, nous pourrons fixer nos objectifs, sachant clairement ce qui reste à faire.

1.1 TRAVAUX EFFECTUES EN 2003:

Il s'agit du mémoire de fin d'études, de Mr. Ousmane MBODJ (2003, ESP) [7].

1.1.1 Rappel des différents types de chaussées

1.1.1.1 Chaussées souples ou flexibles :

Ces chaussées tiennent leur nom du fait qu'elles ont l'aptitude de se déformer réversiblement sous les sollicitations. Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface et d'une assise en matériau granulaire. Elles ont l'aptitude à se déformer sans se fissurer. Elles distribuent les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se fait de façon que l'effort sur la plate-forme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol.

Les chaussées flexibles comportent

- Une couverture bitumineuse relativement mince ;
- Une couche de base en matériaux non traités ;
- Une couche de fondation en matériaux non traités.

Plus la chaussée est épaisse moins la contrainte appliquée à la base de la plateforme est importante.

Le dimensionnement de ces structures repose sur la limitation de la déformation verticale ϵ_v du sol support.

1.1.1.2 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 sol support est inférieure à une valeur limite admissible.

1.1.1.3 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 la déformation verticale est très faible.

Son dimensionnement repose sur la limitation des efforts de traction par flexion du béton sous l'effet des charges.

Pour des trafics élevés, ces types de chaussées ont des performances mécaniques très intéressantes, comparées aux autres types de structures ; seulement l'investissement initial est plus lourd.

1.1.2 Rappel sur la constitution de la superstructure :

La superstructure constituée par l'ensemble des couches de matériaux mis en œuvre au dessus de l'infrastructure est composée de deux couches fondamentales :

- La couche d'assise :

L'assise est composée généralement de deux couches : la couche de base et la couche de fondation. Elle est réalisée avec des matériaux à granulométrie continue et elle contribue grandement à la résistance de la chaussée et à la diffusion des sollicitations verticales induites par les pneumatiques.

- *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.

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.

Elle doit, de façon générale, être capable de supporter les charges du trafic, de les répartir sur l'infrastructure et de subir sans dégâts l'effet des agents atmosphériques.

1.1.3 Matériaux utilisés en technique routière au Sénégal et leur répartition :

Les matériaux pierreux traités dans le cadre de cette partie concernent uniquement la construction de la superstructure routière. Les travaux routiers nécessitent l'exploitation, la préparation et la mise en place d'une quantité considérable de matériaux de bonnes qualités.

Ces matériaux sont exploités soit dans des carrières, soit dans des gravières à partir de matériaux rocheux naturels et sont également nécessaires à la réalisation de tous les ouvrages du génie civil. Les besoins sont tels qu'une pénurie commence à se faire sentir dans de nombreuses régions.

Ils proviennent soit de l'exploitation des roches en place, soit l'exploitation de gisements de graviers et de sables résultant de l'érosion naturelle de ces rochers. Les roches peuvent être classées en 3 catégories :

- Roches éruptives (ignées) : basaltes, dolomites granites ;
- Roches sédimentaires : sables, latérites, grès ;
- Roches métamorphiques : latérites, gneiss parfois, quartzites.

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

- ✓ Sables naturels
- ✓ Sols-ciment
- ✓ Sables bitume

- ✓ Béton bitumineux ;
- ✓ Graveleux latéritiques crus ;
- ✓ Graveleux latéritiques améliorés au ciment ;
- ✓ Graveleux latéritiques améliorés aux concassés de calcaire ou de silicite latérites (litho stabilisation), de latérites ciblée, de basalte etc
- ✓ Graves naturelles à 0/D (criblée, roulée) (GNT1)
- ✓ Grave concassées 0/D (de calcaire, de basalte, de silicite) (GNT2)
- ✓ Graves reconstituées humides (GRH)
- ✓ Grave bitume (GB)
- ✓ Enrobés denses
- ✓ Bétons bitumineux
- ✓ Sand-asphalt

Quant à la répartition, on peut dire que le Sénégal est couvert sur sa plus grande partie par les sables et les grès 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 utilisable en technique routière.

1.1.4 Rappel des différentes méthodes 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 :

1.1.4.1 Méthodes empiriques et semi-empiriques

Elles sont basées pour la plupart, sur des essais et des observations effectuées sur des routes expérimentales. Elles établissent une relation entre la durée de vie et les propriétés mécaniques des matériaux.

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

Parmi ces méthodes on peut citer :

- **La méthode du CBR**

Elle a été conçue par O. J. PORTER du California State Highway Department dès 1938 à la suite d'une expérience de 14 années sur les routes californiennes. Il trouva une relation entre l'indice CBR d'un sol et l'épaisseur de chaussée minimale nécessaire pour empêcher la rupture par déformation plastique de la chaussée. Il a établi un abaque donnant l'épaisseur du corps de chaussée pour deux types de trafic : un trafic moyen-lourd qui est équivalent au passage d'une roue maximale de 5,4 tonnes et un trafic léger (équivalent au passage d'une roue maximale de 3,1 tonnes).

- **La Méthode du CEBTP**

Cette méthode est sans doute la mieux adaptée au contexte environnemental, technologique et économique sénégalais car étant le fruit d'expérimentations sur le comportement et le renforcement de 7000 km de chaussée en Afrique tropicale et à Madagascar.

Elle est basée sur deux principes :

« Dans le cas des chaussées ne comportant aucune couche tant soit rigidifiée, la méthode admet que l'indice portant de la forme d'une part et l'intensité du trafic d'autre part déterminent l'épaisseur totale de la chaussée »

« Dans le cas des chaussées comportant une ou plusieurs couches susceptibles, par leur raideur, d'une rupture en traction, le dimensionnement précédent qui vise uniquement à éviter le poinçonnement de la forme, doit être complété par une analyse théorique dont l'objet est de vérifier que les contraintes effectives de traction développées à la base des couches rigidifiées sont compatibles avec les performances probables de ces matériaux ».

1.1.4.2 Méthodes rationnelles

Ces méthodes sont basées sur la mécanique des milieux continus et sur la résistance des matériaux.

Il est tentant d'appliquer les théories de la méthode rationnelle au calcul des chaussées, mais malgré les efforts des chercheurs, il n'existe pas encore à l'heure actuelle de méthode théorique de calcul des chaussées tout à fait satisfaisante. Ceci est dû d'une part à la

complexité des phénomènes physiques et d'autre part à la difficulté des solutions mathématiques de ce problème, même très simplifié. Il est cependant intéressant de classer et d'étudier les différentes tentatives qui ont été entreprises dans ce domaine.

Si le problème est exprimé analytiquement, sa résolution peut être soit analytique (modèles analytiques), soit numérique (modèles numériques).

Dans d'autres modèles, en renonçant à résoudre analytiquement le système d'équations aux dérivées partielles, on aborde directement le calcul à l'aide de la méthode aux différences finies.

Une autre voie consiste à établir un modèle aux éléments finis. On découpe le solide étudié en un certain nombre de mailles. On exprime les déplacements des nœuds du maillage. La dérivation des fonctions décrivant ces déplacements permet de définir les déformations et les contraintes en tout point d'une maille. L'énergie de déformation élastique du système est approchée par la somme des énergies élémentaires, fonctions des déplacements des sommets de la maille considérée. Il est alors à minimiser cette énergie, en général par une méthode numérique itérative

Les principaux modèles retenus sont :

- ✓ Boussinesq
- ✓ Hogg
- ✓ Westergaard
- ✓ Burmister
- ✓ Jeuffroy-Bachelez

Boussinesq :(1885)

Il considère le sol comme un massif élastique homogène et semi-infini et suppose que le corps de chaussée en matériau granulaire ne lui est pas très différent. Ce massif homogène est chargé en surface par une charge verticale répartie uniformément selon une forme circulaire.

Ses hypothèses sont les suivantes :

- matériaux homogènes et isotropes
- comportement linéaire élastique des matériaux

- charge modélisée par une pression q_0 sur un cercle de rayon a

Hogg :(1938)

Le modèle de Hogg est la transposition du modèle de Boussinesq dans un modèle bicouche.

Il assimile la chaussée à une plaque mince qui satisfait à l'équation de Lagrange pour déterminer les contraintes et les déplacements. Cette équation se met sous la forme :

$$D \times \Delta^2 w = p$$

avec $D = \frac{E I \times H^3}{12 \times (1 - \nu_1^2)}$: caractéristique de la rigidité de la plaque

p : somme des pressions verticales

$p = \sigma_z - q_0$ à l'aplomb du cercle de charge

$p = \sigma_z$ à l'extérieur du cercle de charge

$\Delta^2 = \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \right)^2$: double Laplacien en coordonnées polaires

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.

Westergaard :(1926)

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

Burmister :

La première analyse d'un modèle tenant compte des propriétés élastiques de différentes couches a été faite par Burmister en 1943. Il a posé le problème pour le cas général d'une multicouche soumise à une charge circulaire uniforme et en a proposé la solution pour les systèmes bicouche et tri-couche. La solution générale du problème suppose remplies les

conditions générales de la théorie de l'élasticité et que soient satisfaites certaines conditions aux limites et certaines conditions de continuité aux interfaces entre les différentes couches :

- ↓ les couches sont supposées être homogènes, élastiques et isotropes, la loi de Hooke est valide
- ↓ les couches supérieures ont des dimensions horizontales infinies, mais sont d'épaisseurs finies ; la couche inférieure est un espace semi-infini
- ↓ les conditions aux limites sont telles qu'il n'y a ni contrainte de cisaillement ni contrainte normale en dehors de la zone chargée à la surface de la couche inférieure : les contraintes et les déplacements sont nuls dans la couche inférieure à une profondeur infinie.

Jeuffroy-Bachelez

Jeuffroy-Bachelez ont établi, à partir des travaux de Burmister, des abaques permettant d'obtenir certaines contraintes et un déplacement dans un système tri-couche

Ils ont admis que :

- ✓ la couche supérieure est une plaque
- ✓ la plaque repose sans frottement sur la couche sous-jacente
- ✓ il y a contact parfait entre les couches inférieures
- ✓ le coefficient de Poisson ν est égal à 0.5

1.1.4.3 Choix de la méthode de dimensionnement

Les difficultés rencontrées par les méthodes théoriques de dimensionnement, basées essentiellement sur les théories de l'élasticité proviennent des facteurs suivantes :

- Insuffisance des modèles physiques utilisés, en particulier ce qui concerne le comportement viscoélastique et semi élastique de certaines couches
- Difficulté dans le choix des facteurs déterminant le comportement des différentes couches
- Variation des conditions de portance en fonction des conditions climatiques
- Complexité des modèles mathématiques pour des systèmes multicouches complexes
- Imprécisions des modèles pour des systèmes multicouches complexes

- Imprécision dans la détermination des efforts dynamiques des chargements de circulation.

Les méthodes empiriques les plus simples se bornent à présenter un catalogue de superstructures recommandées en fonction de la classification des sols d'assise et de l'importance du trafic

Ces méthodes, d'un usage très simple, présentent les inconvénients suivants :

- ✓ L'influence des différents paramètres tels que caractéristiques mécaniques des sols, composition du trafic, conditions climatiques particulières ne peuvent être prise en considération que de façon suffisamment explicite
- ✓ Il est difficile, voire impossible d'évaluer le dimensionnement de superstructures qui n'ont pas été prévues dans le catalogue. Les conditions locales particulières requièrent pourtant très souvent le choix de solutions spécifiques plus économiques
- ✓ Ces méthodes ont souvent pour effet de stériliser à peu près complètement la recherche de progrès techniques en conduisant à des solutions systématiques et en excluant l'emploi des matériaux locaux bon marché

Néanmoins, les méthodes rationnelles sont apparues pour régler ces problèmes. En effet ces méthodes se basent sur trois principes fondamentaux qui sont :

- 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.
- Si une couche rigide, cohérente est prévue, son épaisseur doit être suffisante pour qu'elle ne se rompe pas sous l'effet de la flexion répétée
- 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.

I. 1.5 Structure du catalogue retenue (Fiches de structures et fiches de matériaux)

La structure du catalogue est assez simplifiée. Elle comportera dans sa version définitive trois parties principales : une fiche de procédure, des fiches de matériaux et des fiches de structures

I.2 TRAVAUX EFFECTUES EN 2004 :

Ce projet de fin d'étude, réalisé par M. Serigne Modou GUEYE et Ibrahima CISSOKHO [8], est une continuation de celui de M. Ousmane MBODJ, dont le résumé du travail est ci-dessus. Ainsi, pour ce paragraphe nous ne parlerons que des nouveautés dans ce projet.

I.2.1 Stabilisation des couches de chaussée :

La stabilisation consiste en l'amélioration des caractéristiques géotechniques d'un sol, cela a pour but de le rendre utilisable en infrastructure et en superstructure. Ce procédé a pour finalité :

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

Ce type de traitement requiert un travail à effectuer en amont, entre autres :

- ✓ L'identification des sols : granularité, argilosité, état hydrique, constituants chimiques indésirables, etc. ;
- ✓ L'identification de la chaux : teneur en chaux libre, réactivité à l'eau ;
- ✓ La détermination de la proportion et la nature des constituants des liants hydrauliques routiers.

Nous avons différents types de stabilisations :

I. 3.2.1 Stabilisation mécanique :

Cela consiste en l'amélioration du squelette granulaire d'un sol par l'ajout d'un matériau plus grossier afin d'augmenter les possibilités de compactage. La lithostabilisation est une forme de stabilisation mécanique, d'une latérite de qualité médiocre par adjonction de concassés (pourcentage souvent supérieur à 10%).

Dans la zone d'étude (Dakar, Thiès et Diourbel), il est possible d'utiliser des concassés de calcaire, de grès, de silixite et de basalte.

1.2.1.2 Stabilisation chimique :

Elle permet grâce à la réaction du produit avec les composantes du matériau une augmentation de la cohésion du matériau. Les produits chimiques utilisables sont : les chlorures de calcium, le laitier, la chaux, etc.

La stabilisation la plus utilisée au Sénégal, surtout en superstructure, est le traitement au ciment. Elle consiste à ajouter du ciment au matériau à des proportions réduites dans le but d'améliorer l'argilosité et sa sensibilité à l'eau aussi, la cohésion et donc sa résistance dans la pratique, on parle d'amélioration si on ajoute au plus 3% de ciment du poids de latérite, de stabilisation si l'ajout est entre 4 et 6% et, de béton latéritique maigre en ajoutant à la latérite 10 à 12% de ciment.

1.2.1.3 Traitement aux liants hydrocarbonés :

Dans ce cas le liant est un produit hydrocarboné (bitume, émulsion) qui imperméabilise encore plus la structure. On a presque le même résultat sans rigidifier le matériau.

1.2.2 Présentation des matériaux et détermination des caractéristiques de ces derniers :

Les matériaux ont un rôle primordial dans la construction de routes, et le fait que les constructions routières prennent de grandes quantités de matériau nous poussent à être plus regardants. La nécessité d'utiliser des matériaux en quantité suffisante et de qualité nous amènent à faire l'inventaire des matériaux disponible et leurs caractéristiques. On a :

- Les graveleux latéritiques (latérite ferrugineuse)
- Les graves concassés (basalte, calcaire, grès, silixite)
- Sable.

Des études expérimentales ont été faites sur le tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5, sur la lithostabilisation de la latérite de Ndakhar Mbaye par du tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5, sur la lithostabilisation de la latérite de Sindia par du tout-venant de calcaire de Bandia

0/31.5, sur la lithostabilisation du silexite par la latérite et sur des granulats de la zone d'étude. Ces études ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Pour le calcaire de Bandia : pour le Los Angeles et le Micro Deval Eau, les valeurs obtenues sont supérieures à celles du CEBTP qui, préconise des valeurs maximales respectives de 30 et 12. Il est à rappeler qu'une hétérogénéité au sein de la carrière peut entraîner des fluctuations des valeurs trouvées. Aussi, au-delà d'une compacité de 93.63% le CBR chute. Ceci est dû à une attrition du calcaire d'où, son utilisation en couche de base mérite d'autres études.
- ✓ Pour la lithostabilisation de la latérite de Ndakhar Mbaye par du tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5 : le CBR de la latérite à 95% de l'optimum est de 73, après ajout de 30% de calcaire celui-ci passe à 95 et à 150 pour un ajout de 40%. La conclusion est que le CBR augmente avec l'augmentation du pourcentage de calcaire.
- ✓ Pour la lithostabilisation de la latérite de Sindia par du tout-venant de calcaire de Bandia 0/31.5 : On tire les mêmes conclusions que pour La latérite de Ndakhar Mbaye. Cependant, les valeurs trouvées pour Ndakhar Mbaye sont plus élevées. Ceci s'explique par le fait que le premier à l'état cru a un CBR plus élevé.
- ✓ Pour la lithostabilisation du silexite par la latérite : L'ajout de latérite au silexite lui confère la cohésion qui permet d'avoir un compactage efficace et des valeurs élevées de CBR. Le mélange optimal est 60% de silexite non écrété 0/31.5 et 40 % de latérite de Sindia.
- ✓ Pour les essais sur les granulats de la zone : Les granulats ciblés étaient : le basalte de Diack, le grès de Toglou et le calcaire de Pout-Kagné. Cela a permis de dire que le basalte est plus résistant que le grès qui est à son tour plus résistant que le calcaire et que le grès de Toglou et le calcaire de Pout-Kagné ne peuvent être utilisés en corps de chaussée que après traitement.

1.2.3 Elaboration du catalogue

Le catalogue est composé de deux parties : les fiches de matériaux et les fiches de structures. Les vérifications de notre dimensionnement se feront avec le logiciel Alizé.

Les hypothèses de dimensionnement sont :

- ◆ Durée de vie 20 ans ,

- ❖ La classe de trafic T5 n'est pas prise en compte ;
- ❖ La classe de plate-forme S1 est proscrite ;
- ❖ La couche de surface est en béton bitumineux (BB) : d'épaisseur 3 à 4 cm pour le trafic T1 et T2, 5 à 7 cm pour les trafics T3 et T4. La température est fixée à 30°C, le module de Young du BB est de 13000 bars et le coefficient de poisson est de 0.35 ;
- ❖ La couche de base est réalisée par les formulations faites de l'étude expérimentale. Le coefficient de poisson est de 0.25 pour les matériaux granulaires et leur module par $E = 50 \text{ CBR}$ (matériaux granulaires traités ou non) ;
- ❖ La couche de fondation est réalisée en latérite crue.

1.3 TRAVAUX EFFECTUES EN 2007:

Ces travaux ont été réalisés par M. Cheikh Yatt DIOUF [9].

1.3.1 Chaussée mixte / Chaussée inverse

Chaussée mixte :

Dans ce type de structure, la couche de fondation traitée aux liants hydrauliques, de par sa bonne raideur, atténue et dissipe les contraintes transmises au sol-support. Les couches bitumineuses assurent d'une part la qualité de l'uni de surface, et d'autre part elles empêchent la remontée des fissurations transversales de la couche de fondation traitée aux liants hydrauliques et réduisent les contraintes de flexion à la base de la fondation.

Tant que les différentes couches restent adhérentes, la couche bitumineuse est très faiblement sollicitée. Cependant, la combinaison de l'action du trafic et de la dilatation différentielle entre la grave-bitume et la couche traitée aux liants hydrauliques réduit considérablement l'adhérence entre les couches. Il naît ainsi des efforts de traction importants sur la grave-bitume qui peut se rompre par fatigue.

Les structures mixtes sont aussi sensibles aux conditions environnementales : la couche traitée aux liants hydrauliques est sujette au retrait thermique et la couche bitumineuse connaît des fissurations sous les effets combinés des gradients thermiques journaliers et du trafic.

Les structures mixtes se comportent généralement bien, leur endommagement bien que rare peut se produire dans les cas suivants :

- L'utilisation de matériaux à fort coefficient de dilatation, ce qui se traduit par des fissurations ;

- La présence d'un sol de mauvaise portance et l'insuffisance de la qualité et de l'épaisseur des graves aux liants hydrauliques qui se traduit par l'apparition de flaches de grandes dimensions pouvant aboutir à un faïençage des couches bitumineuses.

Chaussée inverse :

Par rapport aux chaussées à structure mixte, les chaussées à structure inverse comporte une couche supplémentaire de matériau granulaire intercalé entre la couche de fondation (traitée au liant hydraulique) et les couches bitumineuses.

Cette couche a pour but d'éviter la remontée des fissures de la couche de fondation.

Sand-asphalt :

« Un sand-asphalt de granularité 0/D (en général 0/5) est un mélange de sable bien gradué et de bitume. » [1]

Le sand-asphalt appartient, avec les « sheet-asphalt » et les « micro-béton », à la famille des mortiers bitumineux. Bien qu'il soit très sensible aux fortes variations journalières de température et à l'imbibition, il est couramment utilisé sous climat tropical et a donné des résultats satisfaisants au Sénégal, au Bénin et en Côte d'Ivoire.

Les exigences liées à l'utilisation d'un sable pour la confection d'un sand-asphalt sont relatives à :

- La qualité et la nature des granulats : diamètre maximal D_{max} (3 - 4 ou 5 mm), la propreté (ES), la dureté de la roche mère ($LA < 40$), la qualité du filler d'apport ;
- La granularité : un fuseau granulométrique propre aux sand-asphalt est défini ;
- La qualité et le dosage du liant : les bitumes 80/100, 60/70 et 40/50 peuvent être utilisés avec une préférence pour les bitumes durs dans les zones de forte chaleur. Le dosage est généralement compris entre 6 et 8%.

1.3.2 Elaboration du guide sénégalais

La méthode de dimensionnement utilisée est la méthode française. Les données d'entrée sont : le trafic, les paramètres de base, les conditions climatiques et les caractéristiques des matériaux.

1.3.2.1 Le trafic :

↳ On note dans ce rapport l'introduction d'une nouvelle classe de trafic T6 pour les moyennes journalières annuelles supérieures à 3600PJ/jour

NJA		10		40		100		400		1000		4000
CLASSE CPT		T1		T2		T3		T4		T5		T6
MJA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLASSE CPT		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
CLASSE LCR/EDPA	T1	T4	T3	T2	T1	T4	T3	T2	T1	T4	T3	T2
MJA	1	20	30	40	50	60	80	100	150	200	300	400

Tableau 1 Classe de trafic

↳ Les valeurs du coefficient d'agressivité moyen (CAM) sont :

- Chaussées souples : 0.8
- Chaussées semi-rigides : 1.5
- Chaussées mixtes : 1.2
- Chaussées inverses : 0.8

↳ Quant au taux d'accroissement du trafic, le choix est porté sur 5% (accroissement géométrique).

1.3.2.2 Les paramètres de base :

↳ Caractéristiques de la plate-forme : le module de Young des sols de plate-forme est donné par $E = 5 \text{ CBR}$. Le module choisi pour chaque classe de plate-forme (S1 proscrite) est consigné dans le tableau ci-dessous :

CBR	$5 < \text{CBR} < 10$	$10 < \text{CBR} < 15$	$15 < \text{CBR} < 30$	$30 < \text{CBR} < 60$
Classe de plateforme	S2	S3	S4	S5
CBR de calcul	7.5	12.5	22.5	45
Module de calcul (MPa)	37.5	62.5	112.5	225

Tableau 2. Classe de plate-forme

- ↓ La déformation admissible est calculée par la Formule de Shell

$$F_{\text{cal}} = 0.028 \times (NE)^{0.25} \quad \text{en mm}$$

- ↓ La contrainte admissible est calculée par la formule de Dormon et Kerkoven

Remarque : Formules valables pour les matériaux granulaires.

- ↓ Conditions climatiques : Une conversion sera apportée sur le module de Young, le coefficient de Poisson et la déformation admissible des matériaux bitumineux car ils sont tous donnés pour des températures comprises entre 10 et 15°C alors que, la température choisie pour le dimensionnement est de 30°C.

CONCLUSION :

En définitive, dans ce chapitre consacré aux généralités sur les travaux antérieurs, nous avons pu faire un bref résumé de ces derniers.

Ainsi, nous avons vu dans ce chapitre les différents modèles de type d'analyse qui se sont succédés dans le temps. C'est ainsi que d'emblé, il nous semble plus que nécessaire de poursuivre ce travail en commençant par un exposé sur la méthode avec les rectificatifs apportés avant de faire les calculs requis. Nous essayerons en plus de compléter les fiches de structures manquantes avec l'introduction de fiches pour les chaussées inverses entre autres et aussi, faire une brève introduction sur les chaussées en béton de ciment.

CHAPITRE II : METHODE FRANCAISE DE DIMENSIONNEMENT

L'étude de dimensionnement de la structure de chaussée s'insère dans l'ensemble des études techniques, en aval des études socio-économiques qui auront servi à cerner la fonction économique du projet d'infrastructure routière.

Cette étude sera menée avec la méthodologie élaborée dans le catalogue français de 1977 qui a déterminé les principes d'une démarche de dimensionnement rationnelle conservés à ce jour.

II.1 Les données requises pour le dimensionnement

Pour la phase de dimensionnement proprement dite, la méthode française relève d'une démarche combinant les apports de la mécanique rationnelle et les événements expérimentaux. L'une des particularités de cette méthode est son caractère probabiliste. Ceci tient à l'importance de la dispersion et du caractère aléatoire des divers facteurs ayant un effet significatif sur la tenue dans le temps de la chaussée. Si le processus d'élaboration des matériaux des couches de chaussée et les précautions prises à la mise en œuvre permettent de limiter certaines variations de caractéristiques, le développement de l'endommagement par fatigue garde intrinsèquement un caractère aléatoire dont témoigne la dispersion des résultats d'essai de fatigue sur éprouvette en laboratoire.

Le dimensionnement nécessite les données sur le trafic, les paramètres de base du calcul, les conditions climatiques et environnementales, les caractéristiques des matériaux.

II.1.1 Le trafic

La connaissance du trafic poids lourds intervient :

- ✓ Comme critère de choix des qualités de certains constituants entrant dans la fabrication des matériaux de chaussée (par exemple dureté des granulats),
- ✓ Comme paramètre d'entrée pour l'analyse mécanique du comportement en fatigue de la structure de chaussée.

Ainsi sont définis comme poids lourds les « *véhicules de charge utile supérieure ou égale à 50 kN.* » Dans l'édition de 1998 du Catalogue des structures types de chaussées neuves, les poids lourds sont définis autrement : la norme NF P 98-082 définit les poids lourds comme

des véhicules de plus de 35 kN de poids total autorisé en charge (PTAC). La conversion des poids « charge utile » en poids PTAC peut être effectuée selon la formule ci-dessous (formule valable uniquement en rase campagne) :

$$N_{PTAC} = 1.25 \times N_{CU}$$

N_{PTAC} : nombre de véhicules de poids total autorisé en charge supérieur à 35 kN

Pour le calcul de dimensionnement, c'est le trafic cumulé sur la durée initiale de calcul qui est à prendre en considération ; ceci est fait à travers la notion de trafic équivalent.

II. 1.1.1 Les classes de trafic

La classe de trafic T_i est déterminée à partir du trafic poids lourds par sens compté en moyenne journalière annuelle (MJA), pour la voie la plus chargée à l'année de mise en service. Dans le cas des chaussées à deux voies de faible largeur (inférieure à 6m), pour tenir compte du recouvrement des bandes de roulement, on retiendra la règle suivante pour calculer MJA. Dans le cas des chaussées à voies séparées, la voie la plus chargée est généralement la voie lente. A défaut d'information sur la répartition probable, on pourra se référer au tableau ci-dessous.

Type de chaussée	Nombre de voies	Trafic poids lourds affecté
Chaussées unidirectionnelles	2x2 voies	- voie lente 90 % du trafic poids lourds pour le sens considéré - voie rapide 10 %
	2x3 voies	- 80 % du trafic poids lourds sur la voie lente - 20 % du trafic poids lourds sur la voie médiane
Chaussées bidirectionnelles	Largeur < 5m	100 % du trafic poids lourds dans les deux sens
	5m < Largeur < 6m	75 % du trafic poids lourds dans les deux sens

Tableau 3: Répartition du trafic poids lourds par voie de circulation [2]

Les classes de trafic sont déterminées par les limites données par le tableau suivant

Classe	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		TEX
			T3-	T3+	T2-	T2+	T1-	T1+	T0-	T0+	TS-	TS+	
MJA	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000

Tableau 4: Définition des classes de trafic [2]

II.1.1.2 *Le trafic équivalent :*

Pour le calcul de dimensionnement, le trafic est caractérisé par le nombre équivalent d'essieux de référence NE correspondant au trafic poids lourds cumulé sur la durée initiale de calcul retenue. Il est fonction :

- ↳ Des valeurs escomptées du trafic à la mise en service et du taux de croissance τ
- ↳ De la composition du trafic
- ↳ De la nature de la structure de chaussée.

Il est calculé par la relation : $NE = TC \times CAM$

TC : nombre cumulé de poids lourds pour la période de calcul de p années,

CAM : coefficient d'agressivité moyenne des poids lourds par rapport à l'essieu de référence

Calcul du nombre total de poids lourds

Il est donné par la relation suivante : $TC = 365 \times MJA \times C$

Si la classe de trafic est déterminée, on prend généralement, comme valeur pour la MJA, la moyenne géométrique des limites de la classe de trafic.

C est le facteur de cumul sur la période de calcul

Pour p années et un taux de croissance géométrique τ constant sur cette période, C s'obtient par la formule : $C = \frac{(1+\tau)^p - 1}{\tau}$

p : période de calcul (durée de vie)

t : taux de croissance géométrique constant sur la période de calcul

Si l'hypothèse d'un taux de croissance constant semble peu probable, le calcul de C est affiné en modulant ce taux à l'intérieur des p années.

Détermination du coefficient d'agressivité moyen

La configuration des essieux (isolé, tandem, tridem), des roues (simples ou jumelées) et leur charge sont variables d'un poids lourds à l'autre. Vis-à-vis du comportement en fatigue enfin,

l'endommagement provoqué par l'application d'une charge donnée dépend de la nature des matériaux.

b.1. Agressivité d'un essieu

Elle correspond au dommage par fatigue provoqué par un passage d'un essieu de charge P par rapport au dommage dû à un passage de l'essieu de référence P_0 . L'agressivité est calculée par la formule :

$$A = K \left(\frac{P}{P_0} \right)^\alpha$$

K : coefficient tenant compte du type d'essieu (simple, tandem ou tridem). Un essieu est considéré comme isolé lorsque sa distance par rapport à l'essieu voisin le plus proche est supérieure à 2m. K et α dépendent de la nature du matériau et de la structure de chaussée. Des valeurs moyennes sont indiquées dans le tableau suivant :

Types de structures	α	K		
		Essieu simple	Essieu tandem	Essieu tridem
Structures souples et bitumineuses	5	1	0,75	1,1
Structures semi-rigides	12	1	12	113
Structures en béton :				
- dalles	12	1	12	113
- béton armé continu	12	1	§	§

Tableau 5: Valeurs de K et α pour le calcul de l'agressivité d'un essieu [2]

b.1.1 Agressivité d'un poids lourd

L'agressivité d'un poids lourd est égale à la somme des agressivités de ses essieux.

b.1.2 Agressivité d'un trafic (CAM)

Connaissant l'histogramme des charges par type d'essieu pour un trafic donné, l'agressivité d'un trafic est qualifiée par le CAM correspondant à l'agressivité moyenne des poids lourds composant le trafic par rapport à l'essieu pris pour référence.

$$CAM = \frac{1}{N_{PL}} \left[\sum_i \sum_{j=1}^3 K_j n_{ij} \left(\frac{P_i}{P_0} \right)^\alpha \right]$$

N_{PL} : nombre de poids lourds pendant la période de comptage,

K_j : coefficient correspondant au type d'essieu : simple ($j=1$) ; tandem ($j=2$) ; tridem ($j=3$)

n_{ij} : nombre d'essieux élémentaires de type j et de classe de charge P_i

En l'absence des informations nécessaires pour mener un tel calcul, on pourra retenir pour le CAM les valeurs données par le tableau qui suit :

Chaussées à faible trafic	CAM	0.4	0.5	0.7	0.8	1
	Classe	T5	T4	T3-	T3+	≥ T2
	CAM	0.8		1	1.3	
Chaussées à trafic moyen et fort		Couches hydrocarbonées des structures mixtes et inverses		Chaussées bitumineuses d'épaisseur supérieure à 20 cm	Couches de matériaux traités aux liants hydrauliques et en béton de ciment	
		Couches hydrocarbonées d'épaisseur au plus égale à 20 cm des chaussées bitumineuses		Couches non liées et sols Support		

Tableau 6 : Coefficients d'ingressivité selon le trafic et le type de chaussées. [1]

11.1.2 Les paramètres de base du calcul

L'étude et le dimensionnement d'une structure de chaussée doit être envisagée en termes probabilistes. La première étape de démarche est de faire le choix d'une valeur de probabilité de rupture de la chaussée à l'issue de p années, compte tenu du trafic escompté. Le choix de cette durée initiale de calcul et du risque de calcul qui est associé correspond à un objectif économique.

« Un risque de calcul de $x\%$ sur une période de p années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité qu'apparaissent au cours de ces p années des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilables à une reconstruction de la chaussée, en l'absence de toute intervention d'entretien structurel dans l'intervalle. » [2]

Le tableau suivant présente à titre d'illustration les valeurs retenues pour l'actualisation du catalogue 1977 des chaussées des routes nationales.

Matériaux		Classes de trafic			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Structures usées	MB	2 %	5 %	12 %	25 %
	MTLH	2,5 %	5 %	7,5 %	12 %
Structures inverses	MB	2 %	5 %	12 %	25 %
	MTLH	5 %	10 %	15 %	24 %
Structures mixtes	MB	2 %	5 %	12 %	25 %
	MTLH	3 %	10 %	20 %	35 %

Tableau 7 : Risque de calcul retenu à 20 ans pour le Catalogue 1977 des chaussées des routes nationales. [7]

II.1.3 Les conditions climatiques et environnementales

Les conditions climatiques telles que l'abondance des précipitations en liaison avec le drainage, les cycles saisonniers et les valeurs extrêmes de la température ont une influence sur la résistance, la durabilité et les caractéristiques de déformabilité des chaussées et de leur support. Ces conditions interviennent dans le choix de la nature des liants hydrocarbonés. Les conditions hydrologiques en liaison avec le profil géométrique (déblai ou remblai) et les dispositions de drainage ont une incidence importante sur l'état hydrique de la plate-forme support.

La connaissance pour un projet des cycles saisonniers de température est utile du fait :

- de la sensibilité des propriétés de déformabilité et de résistance des matériaux bitumineux à la température
- de l'importance des sollicitations engendrées par les gradients thermiques, dans les structures rigides.

II.1.4 Les paramètres descriptifs de la plate-forme support de chaussée :

Les structures de chaussée sont construites sur un ensemble appelé *plate-forme support de chaussée* constitué d'une part par du sol support et d'autre part par d'une couche de forme éventuellement. Le sol support est désigné dans sa zone supérieure sur 1m d'épaisseur environ par le terme *partie supérieure des terrassements (PST)*, et dont la surface constitue l'*arase de terrassement (AR)*.

Le dimensionnement de la couche de forme et de la structure de chaussée part d'une caractérisation mécanique des sols constituant la PST.

La démarche classique veut que l'on détermine, pour le sol-support, le cas de PST en fonction de la nature du sol en place, de l'état hydrique et des conditions de drainage. A chaque cas de PST est associée une classe d'usage (AR) définie par la portance à long terme de l'usage de terrassement.

Module (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'usage	AR1	AR2	AR3	AR4

Tableau 8. Classe de portance à long terme au niveau de l'usage de la PST. [2]

La méthode de dimensionnement retient pour le sol support un modèle élastique linéaire caractérisé par une valeur de module de Young et un coefficient de poisson pris égale à 0,35 à défaut d'autre indication. Le module de Young retenu est la valeur de la borne inférieure de la classe de portance à long terme de l'usage de la PST.

Souvent cette simplification se justifie parce que la rigidité beaucoup plus élevée des couches d'assise en matériaux liés et les épaisseurs retenues pour le dimensionnement font que la diffusion des contraintes dues au trafic conduit à des sollicitations faibles au niveau du sol support.

Le tableau suivant donne la classification des plates-formes selon le LCPC-SETRA

Classe de plate-forme	Examen visuel essieu 13t	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV2 (MPa)	Module de réaction du sol K (daN/cm ²)	Type de sol
P ₀	Circulation Impossible: sol	$CBR \leq 3$	$EV2 \leq 15$	$K \leq 3$	Argiles fines saturées, faible densité sèche, sols contenant des matières organiques.
P ₁	inapte très déformable	$3 < CBR \leq 6$	$15 < EV2 \leq 30$	$3 < K \leq 5$	Limons plastiques, argileux et argiloplastiques, argiles à silex, alluvions grossières etc. Très sensibles à l'eau
P ₂ ou PF1	Déformable	$6 < CBR \leq 10$	$30 < EV2 \leq 50$	$5 < K \leq 6$	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, graves argileuses ou limoneuses, sols marneux contenant moins de 35% de fines
P ₃ ou PF2	Peu déformable	$10 < CBR \leq 20$	$50 < EV2 \leq 120$	$6 < K \leq 7$	Sables alluvionnaires propres avec fines < 5%, graves argileuses ou limoneuses avec fines < 12%
P ₄ ou PF3	Très peu déformable	$20 < CBR \leq 50$	$120 < EV2 < 250$	$7 < K \leq 15$	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux saints etc., chaussées anciennes
P _{EX} ou PF4	Déformable	$CBR > 50$	$EV2 > 250$	$K > 15$	

Tableau 9: Classification des plates-formes selon LCPC-SETRA, 1981.

II.1.5 Les caractéristiques des matériaux

Elles sont variables selon le type de matériaux et peuvent être divisées en deux grands groupes : les caractéristiques intrinsèques et les caractéristiques de mise en œuvre.

II.1.5.1 Les graves non traitées (GNT)

Pour les GNT, leurs caractéristiques se limitent aux caractéristiques intrinsèques nécessaires à la représentation du comportement réversible sous une charge à savoir :

- le module d'Young E ;
- le coefficient de Poisson qui peut être pris égal à 0.35

II.1.5.2 Les matériaux traités aux liants hydrauliques

a. Caractéristiques intrinsèques

Compte tenu de l'évolution dans le temps, avec le phénomène de prise, des caractéristiques mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques, celles-ci doivent être appréciées :

- à long terme, pour juger du comportement pendant la durée de service projetée ;
- à court terme, pour vérifier que la résistance acquise est suffisante vis-à-vis des premières sollicitations (trafic de chantier ou lors de la mise en service).

Pour le long terme, on considère les *caractéristiques à un an*. Le court terme est fonction de la programmation des travaux. La méthode de calcul nécessite :

- ✓ Pour la représentation du comportement réversible sous une charge, la donnée du module d'Young E et du *coefficient de Poisson pris égal à 0.25* pour ces matériaux.
- ✓ Pour représenter l'endommagement par fatigue :
 - des paramètres σ_6 et b de l'expression de la loi de fatigue choisie la forme $\frac{\sigma}{\sigma_6} = \left(\frac{N}{10^6}\right)^b$
 - de l'écart-type SN de la distribution de logN à la rupture pour 10^6 cycles.

Si σ_0 est la contrainte de rupture à la première charge, le nombre de cycles N_6 pour lequel la contrainte de rupture σ est la moitié de σ_0 est en général considéré comme la durée de vie de l'éprouvette à la fatigue pour $N = 10^6$ cycles. En fait, l'essai est fait à différentes contraintes imposées σ , ou à différentes déformations imposées ε , et à différentes températures ; un grand nombre de répétitions est nécessaire, car la dispersion des mesures est élevée [6].

b. Caractéristiques de mise en œuvre :

Le calcul fait intervenir la dispersion, caractérisée par l'écart-type Sh , sur l'épaisseur des couches à la mise en œuvre. Avec les prescriptions courantes sur le nivellement de la plateforme support de chaussée et la portance minimale du support, on retient pour $Sh=3$ cm.

II.1.5.3 Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés :

a. Caractéristiques intrinsèques

Les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux dépendent de la température et de la fréquence des sollicitations (généralement $f = 10\text{Hz}$). Le calcul doit être fait pour des valeurs représentatives des conditions du projet. La méthode de calcul nécessite :

- ✓ Pour la représentation du comportement réversible sous une charge, la donnée du module d'Young E et du *coefficient de Poisson pris égal à 0.35*.
- ✓ Pour représenter l'endommagement par fatigue :
 - La donnée de la déformation ε
 - La pente b de la loi de fatigue $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_6} = \left(\frac{N}{10^6}\right)^b$
 - l'écart-type SN de la distribution de $\log N$ à la rupture pour 10^6 cycles.

Les valeurs de E , ε_6 et b étant choisies pour la valeur de la température équivalente.

b. Caractéristiques de mise en œuvre

L'écart-type Sh sur l'épaisseur des couches mises en œuvre est donné par le tableau suivant en fonction de l'épaisseur e de matériaux bitumineux.

e (cm)	$e \leq 10$	$10 < e < 15$	$15 \leq e$
Sh (cm)	1	$1 + 0.3(e-10)$	2.5

Tableau 10 : Écart-type sur les épaisseurs à la mise en œuvre de couches en matériaux bitumineux [2]

II. 1.5.4 Les bétons de ciment

a. *Caractéristiques intrinsèques*

Pour les bétons à prise normale, les données retenues pour les calculs de vérification sont déterminées à 28 jours. Quant aux bétons dont le liant est à prise lente l'échéance peut être reportée à 56 jours. La méthode de calcul nécessite :

- ✓ Pour la représentation du comportement réversible sous une charge, la donnée du module d'Young E et du *coefficient de Poisson pris égal à 0.25*.
- ✓ Pour représenter l'endommagement par fatigue :
 - des paramètres σ_6 et b de l'expression de la loi de fatigue choisie la forme
$$\frac{\sigma}{\sigma_6} = \left(\frac{N}{10^6} \right)^b$$
 - de l'écart-type SN de la distribution de $\log N$ à la rupture pour 10^6 cycles.

b. *Caractéristiques de mise en œuvre :*

Lorsque la chaussée est réalisée avec un matériel correspondant au type B, C de la norme NF P 98-170 (c'est-à-dire que le serrage du béton est assuré par des machines équipées d'une batterie d'aiguilles vibrantes), on retient comme écart-type Sh de l'épaisseur des couches mises en œuvre :

- Pour les couches de base sur fondation traitée, $Sh=1$ cm
- Pour les autres cas $Sh=3$ cm

Lorsque les couches sont réalisées avec un matériau correspondant au Type A de la norme, (le serrage du béton est uniquement assuré par vibration de surface), on retient $Sh=3$ cm.

II. 2 Démarche de dimensionnement

La méthode française de dimensionnement des structures de chaussées neuves combine :

- ↳ une analyse mécanique de fonctionnement de la structure ;
- ↳ les résultats d'essais de laboratoire sur l'endommagement par fatigue des matériaux.
- ↳ les connaissances tirées de l'observation du comportement de chaussées réelles, données provenant des sections tests ou d'expériences faites sur le manège d'étude des structures routières du laboratoire Central des Ponts et chaussées.

II.2.1 Première étape : Prédimensionnement

Après avoir réuni les données nécessaires au calcul, on procède :

- ↳ à un premier choix de la couche de roulement ;
- ↳ à un prédimensionnement de la structure par référence à des situations comparables.

II.2.2 Deuxième étape : Calcul de la structure

On calcule les contraintes et déformations pour le modèle mathématique de la structure de chaussée prédimensionnée à la première étape, sous l'essieu de référence 130 kN.

L'essieu de référence est défini tel que chaque demi-essieu comporte un jumelage à roues simples, représenté par deux charges exerçant une pression uniformément répartie de 0,662 MPA, sur deux disques de 0,125m de rayon avec un entraxe de 0,375m.

II.2.3 Troisième étape : Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support

La vérification consiste à comparer les contraintes et déformations calculées dans la deuxième étape aux valeurs admissibles déterminées en fonction :

- ↳ du trafic cumulé sur la période de calcul considérée ;
- ↳ du risque de ruine admis sur cette période
- ↳ des caractéristiques de résistance en fatigue des matériaux ;
- ↳ des effets thermiques ;
- ↳ des données d'observation du comportement des chaussées du même type qui se traduit par l'introduction d'un coefficient de calage (k_c)

II.2.4 Quatrième étape : Ajustement des épaisseurs calculées

Il faut procéder à l'ajustement des épaisseurs déjà déterminées à l'étape 3 pour :

- ↳ tenir compte des contraintes technologique d'épaisseurs maximale et minimale pour atteindre les objectifs de compactage et d'uni ;
- ↳ réduire les risques de défaut de liaison aux interfaces en limitant le nombre d'interfaces ;

- ⬇ assurer une protection suffisante des assises traitées vis-à-vis de phénomènes non appréhendés par le calcul précédent (remontée de fissures en particulier).

II.2.5 Cinquième étape : Définition de la coupe transversale

Les épaisseurs trouvées précédemment sont celles du bord droit de la voie la plus chargée. Les matériaux se raréfiant de plus en plus et leur coût devenant plus élevé, il convient de réajuster la coupe transversale. Les variations des épaisseurs sont fixées en fonction :

- ⬇ du trafic par voie ;
- ⬇ des caractéristiques géométriques du tracé ;
- ⬇ du rattrapage des pentes transversales entre la plate-forme support de la chaussée et la couche de surface.

La définition de la structure de chaussée sera finalisée par celle des surlargeurs des différentes couches, des accotements et des dispositions constructives.

II. 3 Dimensionnement des différentes familles de structures

Dans cette partie, pour chaque technique, sont explicités :

- la modélisation retenue pour les calculs,
- les critères retenus pour le dimensionnement,
- les étapes de la démarche de dimensionnement,

II. 3.1 Vérification commune vis à vis du sol-support et couches non liées

II. 3.1.1 Sol support

Pour les différentes structures de chaussée, il sera vérifié que l'orniérage du sol support reste inférieur à la valeur tenue pour admissible. Les valeurs admissibles de la déformation verticale ϵ_z peuvent être calculées avec les formules ci-dessous :

- Pour les chaussées à moyen et fort trafic ($T \geq T3$): $\epsilon_{z,ad}(mm) = 0.012(NE)^{-0.222}$
- Pour les chaussées à faible trafic ($T < T3$): $\epsilon_{z,ad}(mm) = 0.016(NE)^{-0.222}$

Le nombre équivalent d'essieux standards est calculé en utilisant les valeurs de CAM données le tableau suivant.

Classe	T5	T4	T3-	T3+	≥ T2
CAM	0.4	0.5	0.7	0.8	1

Tableau 11- Valeurs du coefficient d'agressivité moyenne du trafic pour la justification de la tenue du sol support [2]

11.3.1.2 La couche d'assise granulaire

« Dans le cas des chaussées à faible trafic (trafic cumulé inférieur à 250 000 essieux standards), composées d'une couche de roulement de faible épaisseur sur une assise granulaire non traitée, il n'est pas introduit de critère de calcul sur le matériau d'assise. C'est par le choix des caractéristiques du matériau que l'on s'assure empiriquement d'une tenue acceptable du grave non traité vis-à-vis de l'orniérage.

Dans les autres cas : chaussées bitumineuses sur fondation en grave non traité, structure inverse, une vérification vis-à-vis de l'orniérage est faite aussi au sommet de la couche granulaire non traitée selon les mêmes critères que ceux retenus pour le sol-support. » [2]

11.3.2 Chaussées souples et bitumineuses épaisses

Elle est modélisée par un multicouche élastique, les couches étant collées entre elles. Les critères de dimensionnement sont basés sur l'intensité du trafic.

✓ Cas des chaussées à faible trafic

Elle est constituée d'une mince couche de roulement sur une couche de grave non traitée. La couche de roulement peut être en simple enduit jusqu'à un trafic cumulé équivalent NE de 100 000 essieux ou en béton bitumineux dont l'épaisseur est donnée par l'abaque suivant.



Figure 1 : épaisseurs de la couche de surface en matériaux bitumineux pour les chaussées à faible trafic, à assise granulaire [2]

L'épaisseur de la couche de base en grave non traitée est fixée à 15 cm jusqu'à un NE de 100 000 essieux et à 20 cm au-delà. La déformation verticale doit toujours être inférieure à la limite admissible.

✓ *Cas des autres chaussées souples ou bitumineuses épaisses*

Le dimensionnement s'appuie sur la vérification des limites admissibles :

- l'allongement ε_1 à la base des couches bitumineuses reste inférieur à une valeur admissible,
- la déformation verticale ε_z à la surface des couches non liées et du sol support (formules ci-dessus)

Détermination de l'allongement $\varepsilon_{t,ad}$ admissible à la base des couches bitumineuses

Elle est calculée avec la relation suivante : $\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon(NE, \theta_{eq}, f) k_r k_c k_s$

- ↓ $\varepsilon(NE, \theta_{eq}, f)$: déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexion sur éprouvette est obtenue au bout de NE cycles avec une probabilité de 50% pour la température équivalente θ_{eq} et à la fréquence caractéristique des sollicitations subies par la couche. La loi de fatigue des matériaux bitumineux est représentée par une relation type : $\varepsilon(NE, \theta_{eq}, f) = \varepsilon_6(\theta_{eq}, f) \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b$

En climat tempéré et des températures positives $\varepsilon_6(\theta)E(\theta)^{0.5} = \text{constante}$

La loi de fatigue est exprimée expérimentalement avec la température de 10°C et la fréquence de 25 Hz donc $\varepsilon(NE, \theta_{eq}, f) = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \left[\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}\right]^{0.5} \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b$

- ↓ Le coefficient d'ajustement de la déformation admissible est de $k_r = 10^{-ub\delta}$

u : variable centrée réduite associée au risque r

b : pente de la loi de fatigue du matériau (loi bi-logarithmique)

δ : écart-type de la distribution de logN à la rupture $\delta = \left[SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2}\right)Sh^2\right]^{0.5}$

c : coefficient reliant la variation de déformation à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée, pour les chaussées courantes, il est de l'ordre de 0.02 cm^{-1} .

Les variables centrées réduites u associées au risque r sont données dans par le tableau suivant.

$r\%$	u	$r\%$	u	$r\%$	u
1	-2.326	5.8	-1.590	23	-0.739
1.5	-2.178	7.5	-1.439	24	-0.706
2	-2.054	10	-1.282	25	-0.674
2.5	-1.960	11.5	-1.200	30	-0.524
2.8	-1.911	12	-1.175	35	-0.385
3	-1.881	15	-1.036	40	-0.253
5	-1.645	20	-0.842	50	0

Tableau 12 : Valeur de u associée au risque r [2]

↳ k_2 : coefficient de calage pour ajuster les résultats du modèle

Matériau	k_2
Grave-bitume	1.3
Béton bitumineux	1.1
EME	1

Tableau 13 : Valeurs de coefficient k_2 pour les chaussées bitumineuses [2]

↳ k_3 : coefficient minorateur tenant compte de l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant des couches liées.

Module en MPa	PF1 : $E < 50$	PF2 : $50 \leq E < 120$	PF3 : $E \geq 120$
k_3	1/1.2	1/1.1	1

Tableau 14 : Valeurs du coefficient k_3 [2]

Le module à considérer est celui de la couche sous-jacente et non celui caractérisant la raideur de la plateforme. Ainsi avec une couche de forme épaisse, de module $> 120 \text{ MPa}$, même si la portance de la plate-forme support de chaussée est $< 120 \text{ MPa}$ il n'y a pas de minoration à effectuer [2].

11.3.3 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques (MTLH)

Sa modélisation comporte deux cas de structures :

- *Cas des structures comportant deux couches d'assise*

La chaussée est considérée comme un ensemble multicouche élastique continue.

- *Cas des structures comportant une seule couche d'assise en MTLH*

Pour ces structures la schématisation par une structure continue devient sujette à caution. L'accroissement très important des déformations imposées au support au voisinage des discontinuités que représentent les fissures fait des sollicitations sur le support un élément essentiel pour la tenue de ces chaussées.

11.3.3.1 Critère retenu pour le dimensionnement

Il repose sur la vérification de

- ❖ la rupture par fatigue à la base des couches liées : c'est-à-dire que la contrainte de traction σ_t à la base reste inférieure à une valeur admissible. Le niveau à considérer est la base de l'assise traitée, s'il n'y a qu'une couche ou si les couches restent collées ; sinon, c'est la base de chaque couche traitée
- ❖ l'orniérage du support : en effet la déformation verticale ϵ_z à la surface des couches non liées et du sol support est inférieure à une valeur limite.

11.3.3.2 Détermination de la contrainte de traction σ admissible à la base des couches traitées

Elle est déterminée avec la formule suivante : $\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE)k_s k_d k_c k_y$

$\sigma_t(NE)$: contrainte pour laquelle la rupture en flexion sur éprouvette de 360) est obtenue pour NE chargements.

La loi de fatigue des MTLH est représentée par une relation de la forme $\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1 + \beta \log N$ mais elle peut être approchée par commodité, par l'expression : $\sigma = AN^b$

Si le calage est effectué à 10^5 et 10^7 cycles, β et b sont liés par: $b = -0.5 \log \left(\frac{1+5\beta}{1+7\beta} \right)$

Cette relation nous permet d'écrire que: $\sigma_t(N) = (1 + 6\beta) \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \sigma_0$

Quand on utilise la valeur de σ_6 , on pourra calculer la valeur par la formule suivante $\sigma_t(NE) = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b$

Lorsque la chaussée est dimensionnée pour un TC hors de l'intervalle $[10^5; 10^7]$, l'ajustement précédent de la fatigue doit être adapté en conséquence.

k_t et k_s idem qu'en haut

- k_d : coefficient introduit pour tenir compte de l'effet des discontinuités pour la couche de base

- $k_d = 1/1.25$ pour les graves traitées de classe G4 ou G5 et pour le béton compacté

- $k_d = 1$ pour les graves traitées de classe G2 ou G3

- ✦ k_c : coefficient de calage pour ajuster les résultats du modèle

Matériau	k_c
grave-ciment et graves-liants spéciaux routiers de classe G3	1.4
autres MTLH	1.5

Tableau 15: Valeurs du coefficient k_c pour chaussées en MTLH

Le GC et les autres MTLH sont tous des MTLH mais la différence se situe au niveau du dosage et de la rigidité donc l'effet de discontinuité transversale est pris en compte. En outre le GC est un liant à caractère hydraulique à prise rapide alors que les autres MTLH sont à prise lente.

11.3.4 Chaussées à structure mixte

Les chaussées mixtes sont utilisées pour ne pas avoir de remontée de fissure en surface pendant la durée de service considérée. Pour cela, il faut une valeur minimale du rapport K de

l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale. Cette épaisseur d'enrobé permet par ailleurs de limiter l'incidence des défauts de transfert de charge au droit des fissures de l'assise traitée aux liants hydrauliques. La valeur K à retenir doit dépendre du rapport des modules des matériaux hydrocarbonés et traités aux liants hydrauliques, ainsi que de la durée de calcul. Pour une durée de 20 ans, les valeurs de K retenues pour des structures avec couche de base en grave-bitume sont de l'ordre de 0,5. Cependant, si cette condition sur K n'est pas remplie, la structure de chaussée doit être justifiée comme une chaussée en MTLH.

Les structures mixtes sont assimilées à un ensemble multicouche élastique. A la mise en service, les couches sont collées (continuité des déplacements aux interfaces). Les elongations dans la couche bitumineuse sont faibles, ce sont les matériaux de la fondation qui sont les plus sollicités. Après un certain temps, cette couche traitée aux liants hydrauliques est endommagée par fatigue. Un glissement se produit à l'interface matériaux bitumineux – MTLH et le module de la fondation chute ; on retient pour le dimensionnement une valeur résiduelle de $1/5^{cmc}$ du module initial. A partir de ce stade, c'est la couche de matériaux bitumineux qui est endommagée par fatigue tandis que la couche de fondation n'évolue presque plus.

Ce type de chaussée est vérifiée par le calcul vis-à-vis de :

- ↓ la rupture par fatigue des couches bitumineuses par une limitation de l'allongement ε_t à leur base ;
- ↓ la rupture par fatigue de la couche traitée aux liants hydrauliques par une limitation de la contrainte de traction σ_t à sa base ;
- ↓ l'orniérage du sol-support par une limitation de la déformation verticale ε_z à sa surface ;
- ↓ la valeur de K .

✓ **Détermination de la déformation $\varepsilon_{t,ad}$ admissible à la base des couches bitumineuses**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon(NE, \theta_{eq}, f) k_r k_c$$

Les définitions de $\varepsilon(NE, \theta_{eq}, f)$, k_r et k_c sont similaires à celles données pour les chaussées souples et bitumineuses épaisses.

Remarque : La valeur de NE est obtenue en prenant pour la couche bitumineuse une valeur de CAM = 0.8.

✓ **Détermination de la contrainte de traction $\sigma_{t,ad}$ admissible à la base des couches traitées aux liants hydrauliques**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE)k_r k_c k_s$$

Les définitions de $\sigma_t(NE)$, k_r , k_c et k_s sont similaires à celles données pour les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.

Remarque : La valeur de NE est obtenue en prenant pour la couche traitée aux liants hydrauliques une valeur de CAM = 1.3.

✓ **Choix du risque de calcul pour les chaussées à structure mixte**

- Pour la couche bitumineuse, si l'on appelle r_1 le risque de calcul, on retient la même valeur que l'on aurait choisie pour une structure bitumineuse.
- Pour la couche en MTLH, le risque de calcul r_2 prend une valeur supérieure à celle que l'on aurait choisie pour une structure à assise traitée aux liants hydrauliques. Le tableau suivant donne les valeurs du risque r_2 :

Classe de trafic	T0	T1	T2	T3
Risque r_2 (%)	3	10	20	35

Tableau 16: valeur du risque de calcul r_2 pour la couche en MTLH

II.3.5 Chaussées à structure inverse :

Les chaussées à structure inverse sont modélisées comme un système multicouche élastique, les couches étant collées entre elles (continuité des déplacements aux interfaces). Il est à rappeler que pour une chaussée à structure inverse on a de haut vers le bas : la couche de roulement, une couche en matériau traité aux liants hydrocarbonés, une couche en grave reconstituée humide (GRH) et une couche en MTLH.

Les chaussées à structure inverse sont vérifiées dans le dimensionnement vis-à-vis de :

- ↳ la rupture par fatigue des couches bitumineuses par une limitation de l'allongement ε_t à leur base ;
- ↳ la rupture par fatigue de la couche traitée aux liants hydrauliques par une limitation de la contrainte de traction σ_t à sa base ;
- ↳ l'orniérage du sol-support et de la couche en GRH par une limitation de leur déformation verticale ε_z à leur surface.

✓ **Détermination de la déformation $\varepsilon_{t,ad}$ admissible à la base des couches bitumineuses**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon(NE, \theta_{eq}, f) k_r k_c$$

Les définitions de $\varepsilon(NE, \theta_{eq}, f)$, k_r et k_c sont similaires à celles données pour les chaussées souples et bitumineuses épaisses.

Il faut signaler ici que comme la couche bitumineuse repose sur une couche de GRH de module élevé (supérieur à 120 MPa), la valeur de k_s est fixée à 1 ($K_s = 1$).

Le coefficient de calage prend les valeurs suivantes :

- Pour une couche de base en béton bitumineux, $k_c = 1,1$
- Pour une couche de base en grave bitume, $k_c = 1,3$ si la couche de surface a au moins 4 cm d'épaisseur, sinon $k_c = 1,1$

Remarque : La valeur de NE est obtenue en prenant pour la couche bitumineuse une valeur de CAM = 0.8.

✓ **Détermination de la contrainte de traction $\sigma_{t,ad}$ admissible à la base des couches traitées aux liants hydrauliques**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE) k_r k_c k_s$$

Les définitions de $\sigma_t(NE)$, k_r , k_c et k_s sont similaires à celles données pour les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.

Remarque : La valeur de NE est obtenue en prenant pour la couche traitée aux liants hydrauliques une valeur de CAM = 1.3.

- ✓ **Détermination de la déformation verticale admissible $\varepsilon_{z,ad}$ du sol support et de la couche de GRH**

Pour le sol support se référer au paragraphe H.3.1.

Vue l'épaisseur et la qualité de la couche de GRH, il est admis au niveau de cette couche une déformation verticale limite $\varepsilon_{z,ad}(GRH)$ supérieure à 20% à celle retenue pour le sol-support.

- ✓ **Choix du risque de calcul pour les chaussées à structure inverse**
 - ↳ Pour la couche bitumineuse, si l'on appelle r_1 le risque de calcul, on retient la même valeur que l'on aurait choisie pour une structure bitumineuse.
 - ↳ Pour la couche MTLH, le risque de calcul r_2 prend une valeur double à celle que l'on aurait choisie pour une structure à assise traitée aux liants hydrauliques.

CONCLUSION :

En définitive, la méthode française présentée dans ce chapitre, permettant une modélisation des structures, est d'utilisation courante au Sénégal pour le dimensionnement des chaussées.

Cette méthode utilise en pratique deux modèles :

- un modèle de déformation de la structure, c'est-à-dire une relation liant, pour chaque type de structure, la sollicitation à l'épaisseur des couches ;
- un modèle d'accumulation des dommages de fatigue, qui permet de calculer l'endommagement en fatigue de la structure en fonction du temps.

Le principe de l'optimisation est de minimiser la fonction coût sur une longue période avec pour contrainte que l'endommagement en fatigue de la structure ne dépasse pas le dommage limite, ce dernier étant en relation avec l'état ultime de chaussées ; sa valeur est plus ou moins proche de l'unité suivant le niveau de risque choisi.

Les paramètres d'entrée, même s'ils sont nombreux et quelquefois complexes à déterminer parce que nécessitant beaucoup d'expérimentations sur le comportement des matériaux, l'évolution du trafic et sa composition, pourront être adaptés à notre contexte par des similitudes ou des interpolations.

CHAPITRE III : ELABORATION DES STRUCTURES TYPES

INTRODUCTION

Le guide de dimensionnement des chaussées se présente sous forme de fiches de dimensionnement dans lesquelles les structures sont déjà pré-calculées. Ces structures pré-calculées font appel à la connaissance d'un certain nombre de documents d'accompagnement (norme, guide techniques, recommandation ...). Pour ce qui concerne la démarche adoptée pour le catalogue et qui est présentée ci-dessous, elle fait appel aux spécificités géologiques et climatiques du pays ainsi que les ressources en matériaux disponibles pour chaque région. Elle donne la possibilité au projecteur de faire un choix entre plusieurs variantes de structures de dimensionnement, selon les données technico-économiques locales et régionales relatives au projet.

III.1 Définition des paramètres d'entrée :

L'utilisation du guide de dimensionnement implique que l'on définisse au préalable trois paramètres qui sont :

- ↳ La région que traverse l'itinéraire concerné, paramètre caractérisé par la lettre R
- ↳ Le sol de plate-forme qui servira d'assise à la chaussée, paramètre caractérisé par la lettre S
- ↳ Le trafic que la chaussée est appelée à supporter, paramètre caractérisé par la lettre T

Ce sont ces trois paramètres R, S, T, qui conditionneront le choix des structures de chaussée et dans une certaine mesure les conditions de mise en œuvre.

Il s'avère utile aussi de savoir aussi l'état des variations climatiques afin de déterminer l'état hydrique de la plate-forme et de prévoir le comportement des matériaux bitumineux sous l'effet de la température.

III.1.1 Les régions

Un examen attentif des cartes géologiques, pédologiques, climatiques et topographiques du Sénégal nous conduit à distinguer un certain nombre de régions présentant chacune des caractéristiques relativement homogènes sur le plan des ressources en matériaux, du relief ou du climat. La prise en considération de ce paramètre régional joue un rôle primordial car à chacune de ces régions sont associée d'une part, des techniques de chaussées répondant aux ressources en matériaux que ces dernières recèlent et d'autre part, des formulations de mélanges et des procédés ou critères de mise en œuvre adaptés aux conditions spécifiques de climat ou de relief.

Ainsi au Sénégal nous retrouvons généralement des températures qui varient beaucoup sur l'année. De ce point de vue, les caractéristiques mécaniques (module d'Young, coefficient de Poisson et déformation admissible) considérées seront celles correspondant à une température équivalente θ_{eq} de 30°C.

Par définition : « la température équivalente est telle que la somme des dommages subis par la chaussée pendant une année, pour une distribution de température donnée, est égale au dommage que subirait la chaussée soumise au même trafic mais pour une température constante θ_{eq} » [2]

III.1.2 Le sol de plate-forme

Le sol de plate-forme est représenté, dans le cas général, par les trente centimètres supérieurs des terrassements qu'il s'agisse du terrain naturel en place, ou de matériaux d'apport, sélectionnés. C'est sur lui que repose, normalement, la chaussée proprement dite. Elle doit être suffisamment rigide pour permettre le passage des engins de terrassement, insensible à l'eau et aux intempéries.

Dans ce guide, le paramètre S caractérise les catégories de sols de plate-forme. Le CEBTP préconise cinq classes. Elles dépendent essentiellement de la portance du sol de plate-forme, c'est-à-dire de la valeur de son indice portant C.B.R., celui-ci étant déterminé en fonction des conditions de compactage que l'on suppose réalisables sur le chantier et de la teneur en eau au maximum que pourra atteindre ce sol sous la chaussée. La catégorie S1 représentée

généralement par des sols fins de très faible portance ($CBR < 5$), a été conçue pour être utilisée en réserve. En effet, son emploi n'est pas souhaitable en tête de terrassement à cause des problèmes de variation dimensionnelle (gonflement, retrait,) qui sont généralement associés à ces sols. Par conséquent, ces sols sont à éviter dans toute mesure du possible et ne sont pas admis, dans la majorité des cas au niveau de la plate-forme. Quant' aux plates-formes de $CBR \geq 30$, la mise en place d'une couche de fondation n'est en principe plus nécessaire : cela explique le choix de S5. On pourrait imaginer une 6^{ème} catégorie de sol : ceux dont l'indice portant est supérieur à 80. Sur de telles plates-formes, ni fondation, ni base ne seraient prévues. Dans ce cas la classe S5 serait celle où $30 < CBR \leq 80$

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées LCPC [5] préconise une relation entre le module de Young des sols de plate-forme et son CBR correspondant qui est de $E(MPa) = 5 \times CBR$ La déformation admissible du sol-support est calculé comme suit :

- Pour les chaussées à moyen et fort trafic ($T \geq T3$): $\epsilon_{z,ad}(mm) = 0.012(NE)^{-0.222}$
- Pour les chaussées à faible trafic ($T < T3$): $\epsilon_{z,ad}(mm) = 0.016(NE)^{-0.222}$

Les modules de calcul pour chaque classe de plateforme sont mentionnés dans le tableau ci-dessous

Classe de plate-forme	S2	S3	S4		S5				
CBR	5< CBR<10	10< CBR<15	15<CBR<30		CBR > 30				
CBR de calcul	7,5	12,5	15<CBR<20	20<CBR<30	30<CBR<40	40<CBR<50	50<CBR<60	60<CBR<70	70<CBR<80
Module de calcul (MPa)	37,5	62,5	87,5	125	175	225	275	325	375

Tableau 17: Modules de calcul de la plate-forme support de chaussée

III.1.3 Le trafic

Le trafic et notamment le trafic poids lourds, est l'un des paramètres prépondérants du dimensionnement des chaussées ; il est donc nécessaire de l'analyser en terme d'agressivité vis-à-vis des chaussées sur lesquelles il circule. Les classes de trafic proposées par le CEBTP

seront utilisées afin de déterminer le trafic cumulé pour la durée de vie escomptée. Cependant on y ajoute une classe T6 pour les MJA supérieures à 3600 PL/jour. Les bornes supérieures et inférieures de chaque classe de trafic sont représentées dans le tableau suivant :

Classe	T1	T2		T3		T4		T5		T6		
		T2-	T2+	T3-	T3+	T4-	T4+	T5-	T5+	T6-	T6+	
MJA	0	90	160	300	500	900	1200	1800	2400	3600	5100	8000

Tableau 18 : Les classes de trafic de l'étude

III.1.4 Le coefficient d'agressivité moyen

N'ayant pas des estimations fiables sur la composition du trafic (distribution des essieux et des charges à l'essieu) qui doivent être fournies grâce à des mesures de pesée d'essieux sur des routes de même catégorie et dans un même contexte géographique nous ne pouvons calculer le CAM conformément à la formule énoncée au paragraphe b.1.2. (Chapitre II). Ainsi nous allons utiliser le tableau ci-dessous :

Type de structures	Souples	Semi-rigides	Mixtes	Inverses
CAM	1	1,3	1,2	0,8

Tableau 19 : Coefficients d'agressivité selon le trafic et le type de chaussée

III.1.5 Durée de vie

« Pour ce qui est de l'âge des chaussées, l'Agence Autonome des Travaux routiers (A.A.T.R.) dispose de quelques informations à partir de l'historique. Pour les routes dont l'historique n'est pas disponible, les estimations du Programme Triennal Glissant (P.T.G.) 2003 – 2005 ont été considérées. Ces données sont les suivantes :

- âge ≤ 5 ans pour chaussée en bon état ;
- âge = 7 ans pour chaussée nécessitant un renouvellement de la couche de surface ;
- âge = 14 ans pour chaussée nécessitant un renforcement ;
- âge = 18 ans pour chaussée nécessitant une réhabilitation. »

Nous retiendrons pour cette étude une durée de vie de 20 ans, valeur qui nous semble sécuritaire vu les politiques d'entretien et de réhabilitation fixées par les autorités ad hoc, et qui sont telles qu'il y a un décalage entre la prise de décision et l'exécution.

III.1.6 Taux de croissance annuel du trafic des poids lourds

« Les taux de croissance annuelle du trafic normal ont été calés sur la croissance du PIB, égal à 5%, pour les véhicules de transport de marchandises et sur l'évolution de la population, estimée à 3%, pour les véhicules de transport de personnes. Pour les routes à caractère régional, comme les pistes et les voies urbaines, il était prévu de caler les taux de croissance des véhicules de transport de personnes aux taux de croissance de population régionale. Cependant, cette précision serait sans intérêt puisque ces routes ne font pas l'objet de comptages de trafics tant en volumes qu'en composition en différentes catégories de véhicules) et les données disponibles ne sont que très grossièrement estimées par STUDI en 2002. » [12]

En se basant sur le PTG 2007-2009 (Programme Triennal Glissant), le paragraphe ci-dessus nous permet de fixer notre taux de croissance annuel à 5%. Le tableau suivant résume le trafic équivalent à prendre en compte pour le dimensionnement.

Classe de trafic			T1	T2	T3	T4	T5	T6
Borne supérieure du trafic journalier (PL/j)			45	160	500	1200	2400	5100
Nombre de jours /an			365	365	365	365	365	365
Durée de vie (année)			20	20	20	20	20	20
Taux croissance			0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Trafic cumulé (million)			0,54	1,93	6,03	14,48	28,97	61,55
Trafic équivalent (million)			TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6
Chaussée souple	CAM	0,8	0,43	1,54	4,83	11,59	23,17	49,24
Chaussée semi-rigide	CAM	1,3	0,71	2,51	7,84	18,83	37,66	80,02
Chaussée mixte	CAM	0,8	0,43	1,54	4,83	11,59	23,17	49,24
Chaussée inverse	CAM	0,8	0,43	1,54	4,83	11,59	23,17	49,24

Tableau 20: trafic cumulé (en millions d'essieux équivalents NE).

III.1.7 Les caractéristiques mécaniques des matériaux

Pour les matériaux granulaires, ils ont un comportement non-linéaire. Les caractéristiques mécaniques affectées à ces couches dans un calcul de dimensionnement devraient donc en toute rigueur dépendre de la structure (épaisseur et rigidité des couches liées, portance du support).

Quant aux matériaux traités aux liants hydrauliques les performances mécaniques prises en compte pour le dimensionnement sont les valeurs obtenues à 360 jours :

- la résistance en traction directe $R_{ct(360)}$
- le module sécant E_{360} , à 30% de la charge de rupture

Pour les matériaux bitumineux, les données nécessaires au dimensionnement sont déduites de résultats d'essais de laboratoire normalisés effectués dans des conditions bien définies de température et de sollicitation, sur des éprouvettes confectionnées en laboratoire ou éventuellement prélevées en place.

III.1.8 Choix de la couche de roulement

Toutes les fiches techniques de dimensionnement, excepté celle concernant les chaussées en béton de ciment, font apparaître une couche de roulement. Le choix de la couche de roulement est fait en fonction de la sécurité et du confort des usagers, le maintien de l'intégrité de la structure, l'impact sur l'environnement (réduction des bruits de roulement), et les possibilités de régénération des caractéristiques de surface.

Le tableau ci-dessous présente, selon le trafic, les épaisseurs requises pour les différents types de revêtement.

Type de Revêtement	Épaisseurs requises selon la classe de trafic					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Béton Bitumineux	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm
Embois Denses	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm
Sand-Asphalt	3 cm	4 cm	non recommandé	non recommandé	non recommandé	non recommandé

Tableau 21: Type et épaisseur de la couche de roulement selon le trafic [9]

III.1.9 Epaisseurs de mise en œuvre des matériaux

Les épaisseurs nominales de mise en œuvre dépendent grandement soit de la granularité des matériaux prévus pour constituer les corps de chaussée, soit des modes habituels de répannage sur le chantier. Pour les structures de chaussée comportant des couches liées au ciment ou au bitume et susceptibles d'être sollicitées en flexion, le choix des épaisseurs minimales a été fait de manière à ce que les contraintes de traction développées à la base de ces couches ne dépassent pas certains seuils considérés comme admissibles.

Matériaux	SN/SB	GN/GNT/GRH	LAT/LACo	COQ/COQC	GB	LAC
Mini	20	15	15	15	8	15
Max	35	35	35	35	15	25

Tableau 22: Epaisseurs minimales et maximales de mise en œuvre

III.1.10 La liaison aux interfaces

Une mauvaise maîtrise de la liaison aux interfaces contribue très souvent à la dégradation prématurée de la chaussée. Le problème de comportement se pose aussi bien à l'interface couche de surface/couche de base, qu'à l'interface couche de base/couche de fondation. Selon les natures de matériaux utilisés et les dispositions prises, deux cas de figures se présentent : soit collage, soit possibilité de glissement d'une couche par rapport à l'autre.

Dans le premier cas (collage), la continuité des sollicitations est assurée contrairement au second, où il y a discontinuité donc augmentation des contraintes de traction ; par rapport au cas où il y a collage.

Le comportement n'est pas toujours le même suivant la nature du traitement des assises :

- Pour les grave-ciment (GC) et les graves-cendres volantes (GCV), il y a rarement collage ; ceci entraîne des discontinuités dans les contraintes et déformations ; le risque de rupture (fissuration) est accru.
- Dans le cas des graves-laitier (GL) le collage est plus fréquent ; on peut penser qu'en raison de la lenteur de la prise du laitier, le liant de la couche sous-jacente qui reçoit une nouvelle couche est encore actif, ce qui permettrait une certaine interaction entre la couche nouvellement mise en œuvre et la précédente, d'où collage.

- Quant aux graves-bitume (GB) et grave-émulsion (GE), il y a généralement collage, surtout si l'on prend la précaution de prévoir une couche de collage, généralement à émulsion de bitume.

En définitive, nous supposerons, dans nos calculs, que toutes les couches sont collées. Dans le cas d'une superposition de deux couches de matériaux dont les caractéristiques n'assurent pas un collage à l'interface, on devra à l'exécution, mettre en œuvre une couche d'accrochage.

III. 2 Le choix des types de structures

Le choix des structures proposées a été basé sur les considérations techniques ou économiques suivantes :

- ✦ nous avons tenu compte évidemment, des principales ressources en matériaux disponibles au SENEGAL c'est-à-dire des graveleux naturels, des roches de concassage et des sables d'origine résiduelle ou sédimentaire
- ✦ l'emploi des matériaux élaborés, confectionnés de toutes pièces, du type grave-ciment ou grave-bitume, n'est envisagé en couche de base que pour satisfaire aux exigences des plus fortes intensités de trafic (T3, T4, T5)
- ✦ dans toute la mesure du possible, une attention particulière a été accordée aux problèmes d'incompatibilité de modules entre matériaux de couche de fondation et matériaux de couche de base $\frac{E_{couche\ base}}{E_{couche\ de\ fondation}} \leq 4$

Les structures de chaussées envisageables sont consignées dans les tableaux suivants :

III.2.1 Les chaussées souples

Fondation		Bâse		Code de la structure	
Matériau	Code	Matériau	Code		
Sable naturel	SN	Sable bitume	SB	SN/SB	S1
Sable naturel	SN	Grave naturelle	GN	ENGN	S2
Sable naturel	SN	Graveleux latéritiques crus 2	LAT2	SN/LAT2	S3
Sable naturel	SN	Graveleux latéritiques améliorés	LACo	SN/LACo	S4
Sable naturel	SN	Grave non traitée	GNT	ENGN/GNT	S5
Sable naturel	SN	Grave reconstruite humide	GRH	ENGRH	S6
Graveleux latéritiques crus 1	LAT1	Graveleux latéritiques crus 2	LAT2	LAT1/LAT2	S7
Graveleux latéritiques crus 1	LAT1	Grave naturelle	GN	LAT1/GN	S8
Graveleux latéritiques crus 1	LAT1	Grave non traitée	GNT	LAT1/GNT	S9
Graveleux latéritiques crus 1	LAT1	Graveleux latéritiques améliorés aux concassés	LACo	LAT1/LACo	S10
Graveleux latéritiques crus 1	LAT1	Grave reconstruite humide	GRH	LAT1/GRH	S11
Graveleux latéritiques crus 2	LAT2	Grave bitume	GB	LAT2/GB	S12
Grave naturelle	GN	Grave naturelle	GN	GNGN	S13
Grave naturelle	GN	Graveleux latéritiques crus 2	LAT2	GN/LAT2	S14
Grave naturelle	GN	Graveleux latéritiques améliorés	LACo	GN/LACo	S15
Grave naturelle	GN	Grave non traitée	GNT	GNGNT	S16
Grave naturelle	GN	Grave reconstruite humide	GRH	GN/GRH	S17
Grave naturelle	GN	Grave bitume	GB	GNGB	S18
Grave non traitée	GNT	Grave non traitée	GNT	GNT/GNT	S19
Grave non traitée	GNT	Graveleux latéritiques crus 2	LAT2	GNT/LAT2	S20
Grave non traitée	GNT	Graveleux latéritiques améliorés	LACo	GNT/LACo	S21
Grave non traitée	GNT	Grave reconstruite humide	GRH	GNT/GRH	S22
Grave reconstruite humide	GRH	Grave reconstruite humide	GRH	GRH/GRH	S23
Grave reconstruite humide	GRH	Graveleux latéritiques améliorés aux concassés	LACo	GRH/LACo	S24
Graveleux latéritiques améliorés aux concassés	LACo	Graveleux latéritiques améliorés aux concassés	LACo	LACo/LACo	S25
Graveleux latéritiques améliorés aux concassés	LACo	Grave bitume	GB	LACo/GB	S26

Tableau 23 - Schémas de structures pour les chaussées souples

III.2.2 Les chaussées semi-rigides

Fondation		Base		Code de la structure	
Matériaux	Code	Matériau	Code		
Assise à deux couches traitées aux liants hydrauliques					
Sols ciment	SC	Graveleux latéritiques ciment	LAC	SC/LAC	H1
Graveleux latéritiques ciment	LAC	Graveleux latéritiques ciment	LAC	LAC/LAC	H2
Sols ciment	SC	Grave ciment	GC	GC/GC	H3
Grave ciment	GC	Grave ciment	GC	GC/GC	H4
Assise à une couche traitée aux liants hydrauliques					
Graveleux latéritiques crus I	LATI	Graveleux latéritiques ciment	LAC	LATI/LAC	H5
Grave naturelle	GN	Graveleux latéritiques ciment	LAC	GN/LAC	H6
Grave non traitée	GNT	Graveleux latéritiques ciment	LAC	GNT/LAC	H7
Grave reconstituée humide	GRH	Graveleux latéritiques ciment	LAC	GRH/LAC	H8
Graveleux latéritiques améliorés aux concassées	LACo	Graveleux latéritiques ciment	LAC	LACo /LAC	H9

Tableau 24: Scénarii de structures pour les chaussées semi-rigides

III.2.3. Les chaussées à structure mixte

Fondation		Base		Code de la structure	
Matériaux	Code	Matériau	Code		
Sol ciment	SC	Grave bitume	GB	SC/GB	M1
Graveleux latéritiques ciment	LAC	Grave bitume	GB	LAC/GB	M2
Grave ciment	GC	Grave bitume	GB	GC/GB	M3

Tableau 25: Scénarii de structures pour les chaussées à structures mixtes

III.2.4 Les chaussées inverses

Fondation		Couche intermédiaire		Base		Code de la structure	
Matériaux	Code	Matériaux	Code	Matériau	Code		
Sol ciment	SC	Grave reconstitué humide	GRH	Grave bitume	GB	SC/GRH/GB	I1
Graveleux latéritiques ciment	LAC	Grave reconstitué humide	GRH	Grave bitume	GB	LAC/GRH/GB	I2

Tableau 26: Scénarii de structures pour les chaussées à structures inverses

III.3 Aménagement progressif et entretien préventif

La durée de vie est une notion très classique. Une autre attitude, plus récente semble se dégager. Elle consiste à ne plus retenir la notion de durée de vie dans la mesure où elle peut en effet conduire à accepter le principe d'une dégradation progressive du capital investi. En revanche elle conseille et entend promouvoir l'idée de la sauvegarde permanente de ce capital grâce à l'adaptation progressive de la chaussée aux impératifs du trafic. Cet aménagement progressif étant assuré par l'entretien dit « progressif » dont l'objectif est d'une part offrir en permanence à l'usager de la route un indice de service (confort, sécurité, économie) présentant un niveau tout à fait convenable et d'autre part d'apporter le nécessaire surcroît de résistance aux structures de chaussée.

III.3.1 Solution traditionnelle

Elle consiste à dimensionner la chaussée en fixant au départ l'espérance de vie souhaitée et en admettant implicitement la nécessité de la renforcer au terme de cette durée de vie, c'est-à-dire lorsqu'elle aura atteint sa « limite de rupture » ou sa phase « plastique » : nous admettrons que cet état limite de rupture ou de fatigue est atteint lorsque l'une ou l'autre des deux conditions suivantes se manifeste dans la bande de roulement du trafic :

- ✓ profondeur de flache sous une règle droite de 1,20 m \geq 3 cm
- ✓ densité de fissuration dans un cadre de 1 m² \geq 3 ml

III.3.2 Entretien préventif

La solution d'aménagement par entretien préventif comporte une phase initiale et plusieurs phases successives. La phase initiale ou premier investissement correspond à la mise en place de la première couche de roulement. Les phases ultérieures, successives correspondent à des investissements complémentaires préventifs qui se concrétisent par la mise en place à intervalle plus ou moins réguliers de nouvelles couches de roulement.

Ce type d'entretien ne dispense pas toutefois de l'entretien de routine ou de celui des dépendances de la chaussée. Par contre, elle exclut pratiquement toute possibilité de faire appel à des matériaux de renforcement autre que le béton bitumineux.

III. 4 Structure du guide de dimensionnement

Ce guide présente les différents types de structures pré-calculées. Il est composé de trois parties : la fiche de procédure, les fiches de structures, et les fiches de matériaux.

III.4.1 La fiche de procédure

Elle constitue la notice d'utilisation des fiches de structures. Elle trace les différentes étapes à suivre pour dimensionner une structure donnée.

III.4.2 Les Fiches de matériaux

Elles sont composées de deux parties :

Une partie décrivant les spécifications sur l'utilisation des matériaux en technique routière. Elle présente donc les valeurs de grandeurs ou essais standards, les fuseaux granulométriques normalisés et toute autre spécification permettant de caractériser les matériaux.

Une seconde partie définissant les hypothèses de dimensionnement propres à chaque matériau ainsi que les limites admissibles des contraintes et déformations.

III.5 Fiche de structures

Dans ces fiches on présentera en fonction de la zone climatique et des matériaux disponibles, les différentes structures proposées, les épaisseurs des couches qui les composent en fonction du trafic et de la classe du sol de plate-forme ainsi que le profil en travers type proposé.

III. 6 Exemple d'utilisation du guide de dimensionnement

La démarche de calcul du dimensionnement des structures de chaussées est schématisée comme ci-dessous.

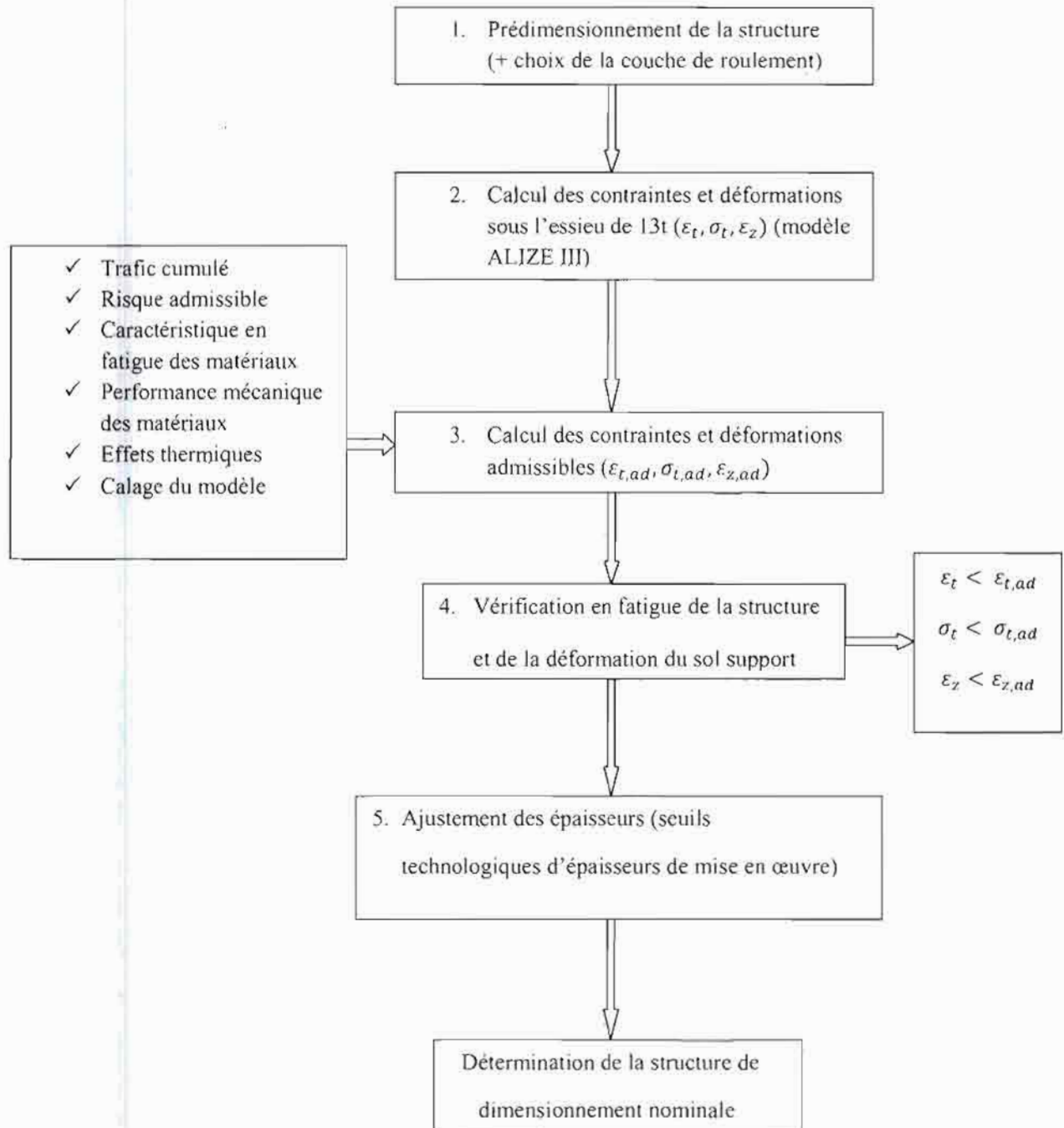


Figure 2 : Démarche de calcul du dimensionnement des structures de chaussée

Exemple I : cas de matériaux non traité (GNT)

Trafic :

- Trafic de poids lourds $TPL \approx 220 PL_j / \text{sens}$
- Durée de vie : $n = 20$ ans
- Taux d'accroissement : $i = 5\%$
- Agressivité : $A = 0.8$

Détermination du nombre total de poids lourds

$$NE = 365 \times TPL \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \times A = 2.1 \cdot 10^6 \text{ essieux équivalents de 13 tonnes}$$

Couche de roulement : béton bitumineux BB

Sol support : classe du sol S2 : $E = 50 \text{ MPa} = 500 \text{ bars}$ et $\nu = 0.35$

Caractéristiques de la GNT :

Pour la couche de base : $E = 500 \text{ MPa}$ et $\nu = 0.35$

Pour la couche de fondation : h fondation à déterminer par sous couches de 25 cm

$$E_{CF1} = 2.5 E_{sol} = 125 \text{ MPa et } \nu = 0.35$$

$$E_{CF2} = 2.5 E_{CF1} = 312.5 \text{ MPa et } \nu = 0.35$$

Conditions aux interfaces : toutes les interfaces sont collées

Calcul de la déformation admissible sur le sol support :

$$\epsilon_{x,ad} = 0.016(2.1 \cdot 10^6)^{-0.222} = 630 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

Modélisation

Couche de base	$E_{base} = 500 \text{ MPa}$	$\nu = 0.35$	$h_1 ?$
Couche de fondation	$E_2 = 2.5 E_1 = 312.5 \text{ MPa}$	$\nu = 0.35$	$h_2 ?$
Couche de fondation	$E_1 = 2.5 E_{sol} = 125 \text{ MPa}$	$\nu = 0.35$	$h_3 ?$
	$E_{sol} = 50 \text{ MPa}$	$\nu = 0.35$	

Avec les épaisseurs $h_1=20\text{cm}$; $h_2=18\text{cm}$; $h_3=25\text{cm}$ on trouve avec le logiciel Alizé une déformation du sol support de 546.10^{-6}mm . Il faut noter que cette valeur est inférieure à la valeur admissible ce qui correspond à l'objectif visé

Donc la structure finale est constituée de 4BB+20GNT+43GNT

4 cm de BB
20 cm de GNT
43 cm de GNT

En utilisant la fiche de structure

$NE=2.1 \cdot 10^6$ essieux équivalents

Ce qui correspond à une classe de trafic cumulé TC2.

Le types de structure 4BB+30GNT+30GNT satisfierait à cette classe avec les hypothèses de départ pour une structure GNT / GNT (couche de base et de fondation en grave non traité) et pour une classe de plateforme S2. [cf. fiche de structures S19].

4 cm de BB
30 cm de GNT
30 cm de GNT

Exemple2 : Cas de matériaux traités aux liants hydrauliques, structure GC/GC

1. données:

- Trafic de poids lourds TPL=420PL/j/sens
- Taux d'accroissement : i=5%
- Durée de vie : n=20 ans
- Agressivité : A=1

• **Détermination du nombre total de poids lourds**

$$NE = 365 \times TPL \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \times A = 5.1 \cdot 10^6 \text{ essieux équivalents de 13 tonnes}$$

• **Risque de calcul :** r=10%

Sol support : classe du sol S1 ; E=125 MPa et $\nu = 0.35$

Caractéristiques de la GC et du BB

- GC : E=20000 MPa et $\nu = 0.25$ $\sigma_b = 0.50 \text{ MPa}$ $b = 0.05435$, $SN = 1.24$, $Sh = 3\text{cm}$
- BB : E (30°C)= 4000MPa et $\nu = 0.35$

• **Conditions aux interfaces :** toutes les interfaces sont collées

2. Calcul de la déformation admissible sur le sol support :

$$\epsilon_{z,ad} = 0.016(5.1 \cdot 10^6)^{-0.222} = 519 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

3. Calcul de la déformation à la base de la GC : $\sigma_{t,ad}(\text{bars}) = \sigma_b \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times 10^{-ub\delta} k_d k_c k_s$

Avec $k_c=1.5$; $k_d=1$ $k_s=1$ $c=0.02$ $\delta = \left[SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2}\right)Sh^2\right]^{0.5} = 1.66$ risque de 10% $u=-1.282$

$$\sigma_{t,ad} = 0.5 \times (5.1)^{-0.05435} \times 10^{-1.282 \times 0.05435 \times 1.66} \times 1 \times 1.5 \times 1 = 0.526 \text{ MPa} = 5.26 \text{ bars}$$

4. Résultats des différentes simulations : il faut vérifier que $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$ et $\sigma_t < \sigma_{t,ad}$

Epaisseurs	35	36.76	37.5
Contraintes calculées bars	5,67 $\sigma_t > \sigma_{t,ad}$	5,26 $\sigma_t = \sigma_{t,ad}$	5,09 $\sigma_t < \sigma_{t,ad}$
Déformations calculées 10^{-6}	72.8 $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$	66.9 $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$	64.7 $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$

Donc la structure finale est constituée de 5BB+19GC+19GC

CONCLUSION :

Cette présente étude fait appel à certaines hypothèses et données qui permettent au projeteur de mieux appréhender le dimensionnement des chaussées. Ce rapport, outre la terminologie adoptée dans les fiches techniques de dimensionnement, présente aussi toutes les hypothèses et données prises en compte dans la méthode de dimensionnement dite rationnelle entreprise pour l'établissement de ce guide. Aussi, nous nous sommes attelés à améliorer certains paramètres tels que la fragmentation des classes de plateforme, pour avoir un travail plus utilisable, et l'utilisation de formules plus en adéquation avec le logiciel de vérification quant à la détermination des contraintes et déformations admissibles. Et de surcroît, il se trouve que la formule de Dormon et Kerkoven, utilisée dans les travaux antérieurs, était moins sévère, empirique, plus appropriée pour les latérites, et surtout n'est plus aussi usitée dans le milieu des projeteurs au Sénégal.

Après avoir apportées ces modifications, nous avons pu produire 40 nouvelles fiches de structure en utilisant les combinaisons déjà établies par nos prédécesseurs et en y ajoutant les structures inverses. Cependant, nous avons changé la structure H3 (LAT1/LAC) en H3 (LAT2/LAC), la première étant sujette à un effet de dalle. En effet, le module de Young du LAC est 8 fois supérieur à celui du LAT1 alors que, la norme nous impose que le module de Young de la couche de base ne doit pas être 4 fois plus important que celui de la fondation.

Néanmoins, les structures en banco-ciment et banco-coquillage n'ont pu être réalisées par manque de données sur ces dits matériaux.

CHAPITRE IV : LES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT

INTRODUCTION :

Avant de présenter les principes généraux de conception et les règles pratiques de dimensionnement des structures, il convient au préalable de faire l'analyse du fonctionnement des chaussées en béton en insistant sur les aspects spécifiques.

L'analyse du fonctionnement des chaussées repose sur trois types principaux d'éléments :

- Le suivi expérimental de section de chaussées et les observations à long terme ;
- L'étude sur modèles mathématiques ;
- L'étude du comportement des matériaux en laboratoire.

IV.1 Modélisation de la structure de chaussée

Les modèles de la mécanique des chaussées utilisables pour l'analyse du fonctionnement et le dimensionnement des chaussées en béton sont : le modèle de Westergaard, le modèle de Burmister et des modèles d'éléments finis.

Le calcul est donc effectué sur un multicouche élastique avec les conditions de liaisons suivantes :

- La dalle est de forme quelconque, elle n'est pas nécessairement homogène ;
- Le substratum est représenté par un massif multicouche de Burmister ;
- La réaction du massif sur la dalle est d'orientation quelconque ;
- Toutes les couches sont traitées comme des solides élastiques c'est-à-dire que l'hypothèse de la plaque est évitée ;
- L'interface couche de fondation- plate-forme support est considérée comme collée ;
- Le cas de charges multiples (jumelage, essieux tandem ou tridem), peut être traité en additionnant les effets de charges élémentaires.

Pour ces types de chaussées les phénomènes de retrait qui les affectent sont à l'origine de discontinuités. Dans une dalle en béton, les contraintes dues au trafic sont plus importantes lorsque la charge est disposée près des joints transversaux, en coin ou en bord que lorsqu'elle est en milieu de dalle.

Les contraintes sous charge en milieu de la dalle sont calculées en assimilant la chaussée en béton à une structure continue. Les discontinuités transversales et les effets des gradients thermiques sont ensuite pris en compte en majorant les contraintes précédentes par un coefficient dépendant de la qualité du transfert de charge escompté entre la dalle pendant la durée de service de la chaussée

Pour ce qui concerne les chaussées en béton armé continu, la poursuite du raisonnement tendant à limiter le nombre des points faibles que sont les joints conduit tout naturellement à envisager leur suppression, en utilisant d'une autre manière les armatures. Plutôt que de travailler en béton armé classique, les aciers reprennent les efforts de traction dus au moment fléchissant, les armatures sont placées en fibre neutre uniquement pour répartir par adhérence, à l'aide de fissures nombreuses mais très fines, les déformations dues au retrait du béton. Cela consiste à mettre en place une nappe d'armatures longitudinales dont la section est comprise entre 0.6 et 0.7% de la section du béton.

IV.2 Critères retenus pour le dimensionnement :

IV.2.1 Les structures avec couches de fondation:

Les chaussées en béton avec couche de fondation sont calculées vis-à-vis de la rupture par fatigue de la couche de base et de fondation, en vérifiant que les contraintes de traction à la base de ces couches sont inférieures aux valeurs admissibles.

Les déformations verticales à la surface de la plate-forme support sont également suffisamment faibles pour ne pas être déterminantes dans le dimensionnement.

IV.2.2 Les structures en béton armé continu sur couche de forme:

Lorsque la couche de forme est traitée et de qualité suffisante, la couche de fondation n'est pas nécessaire pour une structure en béton armé continu. La couche de forme est prise en compte dans le calcul de la structure soit par :

- les règles de surclassement qui consistent à :
 - ✓ examiner l'incidence de l'épaisseur et la qualité de la couche de forme sur les contraintes et déformations dans les couches de chaussées et de sol support ;
 - ✓ vérifier que les contraintes de traction restent admissibles dans les couches de forme en matériaux traités.

- o Une étude globale couche de forme/chaussée. Des problèmes sont souvent répertoriés à l'interface couche de forme/chaussée en béton (érosion de la couche de forme...). Pour y pallier, on met en œuvre une couche d'enrobés d'une épaisseur minimale de 5cm sur la couche de forme.

Le critère à vérifier est que la contrainte de traction à la base de la couche de béton armé continu et de la couche de forme traitée reste inférieure à une valeur admissible.

IV.3 Détermination de la contrainte de traction admissible $\sigma_{t,ad}$ dans la couche de base en béton

Elle est déterminée avec la formule suivante : $\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE)k_r k_d k_c$

$\sigma_t(NE)$: contrainte pour laquelle la rupture en fendage est obtenue pour NE chargements.

NE : nombre de chargement équivalent calculé à partir du trafic cumulé et du coefficient d'agressivité CAM

La valeur de σ_t est donnée par la relation : $\sigma_t(NE) = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b$

- Le coefficient d'ajustement de la déformation admissible est de $k_r = 10^{-ub\delta}$

u : variable centrée réduite associée au risque r

b : pente de la loi de fatigue du matériau (loi bi-logarithmique)

δ : écart-type de la distribution de logN à la rupture $\delta = \left[SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2} \right) SH^2 \right]^{0.5}$

- k_d : coefficient introduit pour tenir compte de l'effet des discontinuités des structures des chaussées en béton et l'incidence des gradients thermiques.
 - $k_d = 1/1,70$ pour les structures non armées continues
 - $k_d = 1/1,47$ pour le béton armé continu
- k_c : coefficient de calage pour ajuster les résultats du modèle de calcul. La valeur retenue est de 1.5 lorsqu'on utilise la résistance du béton par fendage.

IV.4 Détermination de la contrainte de traction admissible $\sigma_{t,ad}$ dans la couche de fondation en béton maigre ou en matériaux traités aux liants hydrauliques

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE)k_r k_c k_s$$

Où $\sigma_t(NE)$, k_r , k_c , et k_s ont les mêmes définitions et expressions définies plus haut.

k_c : coefficient minorateur tenant compte de l'effet d'hétérogénéité locale de portance d'une couche de faible rigidité supportant des couches liées.

Module en MPa	PF1 : $E < 50$	PF2 : $50 \leq E \leq 120$	PF3 : $E > 120$
k_c	1/1.2	1/1.1	1

Tableau 27: Valeurs du coefficient k_s [2]

IV.5 Choix des valeurs de risque pour les chaussées en béton

Pour les chaussées en béton sur couche de fondation on considère que :

- Dans un premier stade, les développements des dégradations dans la couche de base et fondation sont indépendants,
- Le comportement de la couche de base n'est influencé par la dégradation de la couche de fondation qu'après un certain délai.

Ainsi :

- ⬇ Pour les structures sans dispositif de transfert de charge entre dalles, si r_1 est le risque de calcul retenu pour la couche de base, le risque de calcul retenu pour la couche de fondation est pris égal à $r_2=2r_1$
- ⬇ Pour les structures en béton armé continu et en béton goujonné le risque de calcul r_2 est pris égal 50 %

IV.6 Dimensionnement des aciers

IV.6.1 Les fers de liaison

Ils sont mis en place au droit des joints longitudinaux afin de maintenir le joint fermé. Le transfert de charge est alors assuré par l'engrènement des profils latéraux des bandes de béton adjacentes. Leur utilisation est nécessaire pour les joints des dalles de béton recevant un trafic supérieur ou égal à T1. Les fers sont placés perpendiculairement au plan formé par le joint, et

à mi-épaisseur de dalle. Il faut noter que ces dispositions s'appliquent à toutes les techniques, dalles ou béton armé continu.

Les fers de liaison sont conformes à la norme NF A 35-016, l'acier est au moins de nuance Fe-E400 et leur longueur est égale à 0.60m

La section d'armature de liaison par mètre de longueur est donnée par la formule :

$$S = f \times l \times \frac{P}{L_s}$$

Avec, f : coefficient de frottement du béton sur le sol support, généralement pris égal à 1.5 ;

l : largeur séparant le joint liaisonné du bord libre le plus proche ;

P : poids du revêtement au m^2 ;

L_s : contrainte admissible dans l'acier prise égale à 75% de la limite élastique.

Le diamètre des fers de liaison est choisi à partir de S , afin que leur espacement soit compris entre 0.70 et 1m.

IV.6.2 Les goujons pour chaussées en dalles

Les goujons sont des fers ronds lisses mis en place au droit des joints transversaux de certaines structures pour assurer le transfert de charge. Ils sont placés parallèlement à l'axe de la chaussée et à mi-épaisseur de la dalle.

Les dimensions et espacement de goujons recommandé par le LCPC et SETRA sont portés dans le tableau suivant.

Epaisseur dalle (cm)	Diamètre goujon (cm)	Longueur des goujons (cm)	Espacement des goujons (cm)
13 à 15	2	40	30
16 à 20	2.5	45	30
21 à 28	3	45	30
29 à 40	4	50	40
41 à 50	4.5	55	45

Tableau 28: caractéristiques de goujons [2]

IV.6.3 Les armatures longitudinales du béton armé continu

Elles sont mises en place dans les structures armées continues afin de :

- ↓ Répartir le retrait du béton ;
- ↓ Contenir l'ouverture de ces fissures.

Ces armatures sont disposées dans un plan parallèle à la surface de la chaussée au dessus de la fibre neutre (mi-épaisseur de la dalle) ; dans la zone comprimée et à plus de 8cm de la surface de la chaussée pour éviter la corrosion.

Le rapport p des sections d'acier et de béton est fonction de l'adhérence entre les deux matériaux, de la nuance de l'acier et de la résistance en traction du béton : $p = 0.67 \times \frac{f_t}{3.3}$

f_t : résistance moyenne en traction par fendage du béton à 28j ou (56 jours si le béton est à prise lente)

Le diamètre des armatures doit être compris entre 12 et 16 mm.

Exemple de dimensionnement :

Enoncé : Construction d'une chaussée bidirectionnelle de 8m de large avec un joint longitudinal en milieu de chaussée pour une durée de vie de 20 ans. Le trafic total dans les deux sens de circulation est de 475 PL/j. Le taux de croissance du trafic sera considéré comme géométrique et égal à 5 % par an. La plate-forme est de classe PF2 avec $E=50$ MPa et $\nu = 0.35$. Le coefficient d'agressivité moyen CAM=1.3, pour la couche en BAC, le risque de calcul est $r_1=5\%$ et pour la couche de fondation $r_2=50\%$.

- **Détermination du nombre total de poids lourds**

$$NE = 365 \times TPL \times \frac{(1+i)^n - 1}{i} \times A = 7.45 \cdot 10^6 \text{ essieux équivalents de 13 tonnes}$$

Caractéristiques du béton

	E (MPa)	F_t (MPa)	σ_6 (MPa)	b	SN
BAC	35000	3.3	2.15	-1/16	1
Béton maigre	24000	2.0	1.63	-1/15	1

Tableau 29: caractéristique du béton de ciment

Dispersion sur les épaisseurs des couches

- Sh=1 cm pour la couche de base
- Sh=3cm pour la couche de fondation

Données de calage $k_c = 1.5$

Les aciers sont de nuance FE-E400 de longueur 60cm

• **Calcul des valeurs limites admissibles:**

✓ **Béton de la couche de base**

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE)k_r k_d k_c$$

$$\sigma_t(NE) = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b = 2.15 (7.45)^{\frac{-1}{16}} = 1.90 \text{ MPa}$$

Avec $k_c=1.5$; $k_d=1/1.47$ $k_s=1$ $c=0.02$

$$\delta = \left[SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2} \right) Sh^2 \right]^{0.5} = 1.05$$

risque $r=5\%$ $u = -1.645$

$$kr = 10^{-1.645 \times 0.0625 \times 1.05} = 0.78$$

$$\sigma_{t,ad} = 1.90 \times 0.78 \times 0.680 \times 1.5 = 1.51 \text{ MPa}$$

✓ **Béton de la couche de fondation**

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t(NE)k_r k_c k_s$$

$$\sigma_t(NE) = \sigma_6 \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b = 1.63 \times (7.45)^{\frac{-1}{16}} = 1.43 \text{ MPa}$$

$$k_s=1/1.1 \quad k_c=1.5 \quad \delta = \left[SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2} \right) Sh^2 \right]^{0.5} = 1.05 \quad \text{risque } r=50\% \quad u=0$$

$$kr = 10^{-0 \times 0.0625 \times 1.05} = 1$$

$$\sigma_{t,ad} = 1.43 \times 1 \times 1.5 \times 0.909 = 1.95 \text{ MPa}$$

- **Dimensionnement des couches :**

Pour ce qui concerne le dimensionnement il faut vérifier les contraintes et déformations mais le critère économique doit être étudié aussi. Il faut donc éviter les structures épaisses car elles ne sont pas économiques.

	Épaisseur (cm)	Contrainte à la base couche (MPa)	Contrainte admissible (MPa)
Couche de base	18	1,06	1,51
Couche de fondation	15	0,54	1,05

Tableau 10: Contraintes dans le béton de la structure en BAC

Les valeurs du tableau montrent que la structure optimale est composée de

- ✓ 18 cm de béton de ciment en couche de base
- ✓ 15 cm de béton maigre en couche de fondation.

- **Dimensionnement des armatures :**

Armatures longitudinales :

Le pourcentage d'acier $p = 0,67 \times \frac{f_c}{f_t} = 0,67 \times \frac{1,1}{1,3} = 0,67\%$

La section d'acier est de $A_s = (800 \times 18) \times 0,0067 = 96,48 \text{ cm}^2$

Soit 63HA14 réparties sur la largeur de la chaussée, avec un espacement de 13 cm

Armatures de liaison :

La section par mètre linéaire de joint longitudinale est de $S = f \times l \times \frac{P}{L_0}$

$$f = 1,5$$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$P = 0,18 \times 2400 \times 10 = 4,32 \text{ kPa}$$

$$L_0 = 0,75 \times 400 = 300 \text{ MPa}$$

$$S = 1,5 \times 4 \times \frac{4,32}{300} = 0,864 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On retiendra 1HA12 par 80 cm (distance entre fer de liaison étant comprise entre 0,7 et 1m)

CONCLUSION :

En définitive, le béton de ciment est un matériau courant dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages d'art en général. Dans le domaine des chaussées, au Sénégal, il est moins connu car il y est très peu utilisé par rapport à de nombreux pays étrangers.

Certes, ces types de chaussées rigides sont utilisés dans le cadre d'une stratégie construction-entretien sensiblement différente de celle des structures souples ou semi-rigides. Cette stratégie se caractérise par :

- L'investissement un peu plus élevé consenti à la construction ;
- L'absence presque totale de travaux d'entretien en raison de faible vitesse d'évolution ;
- L'entretien préventif très réduit et, pour les trafics les plus faibles inexistant pendant la durée de service.

Avec la flambée du prix du pétrole et l'émergence de plus en plus de cimenteries (deux bientôt trois) et, vu la rentabilité sans équivoque à moyen et long terme des chaussées en béton de ciment, vu aussi l'augmentation exponentielle du parc automobile entre autres, la vulgarisation de ce type de chaussée est plus qu'opportune.

Pour ce faire, une sensibilisation des décideurs politiques, une implication des acteurs du secteur routier (reconsidération de la politique d'achat/vente de matériels, recyclage des exécutants, mise à jour des bureaux d'études...), sont tout un préalable requis à la bonne marche de cette nouvelle donne. Pour un début, l'utilisation de cette technique ne serait-ce que pour les grands axes autoroutiers serait déjà un gain inestimable.

CONCLUSION GENERALE :

Cette présente étude avait comme objectif, entre autres de poursuivre les travaux réalisés par les étudiants de l'ESP, Centre de Thiès, en vue d'élaborer un guide de dimensionnement des chaussées validé sur la base de planches expérimentales et ensuite de proposer un catalogue de dimensionnement des chaussées spécifiques au Sénégal.

Pour atteindre ces objectifs, la documentation mise à notre disposition, par nos encadreurs internes et externes a été déterminante. Des entrevues avec ces derniers et des professionnels du secteur nous ont permis souvent d'affiner nos idées et de prendre des positions par rapport à certaines situations.

Nous avons proposé, un guide comportant des fiches de matériaux et des fiches de structures. Les fiches ont été élaborées en fonction des types de matériaux disponibles au Sénégal, de leurs performances mécaniques et de leurs aptitudes à être utilisées en technique routière, des caractéristiques du trafic, des contextes technique et économique etc.

Certes avec la recherche documentaire, on a pu avoir de larges plages de variation des spécifications sur les propriétés des matériaux. Cependant, il fallait faire des essais contradictoires pour confirmer les spécifications sur les matériaux. Il faut surtout noter que le temps dont nous disposions et les moyens matériels et financiers ne nous ont pas permis de les faire.

Ainsi pour l'utilisation de ce catalogue, il faudra pour chaque matériau faire des essais contradictoires afin de vérifier si ses caractéristiques respectent les spécifications susdits.

Les calculs ont révélé que, selon les classes de trafic, certaines structures étaient plus avantageuses ou plus économiques que d'autres, vu la disponibilité des matériaux existants.

Nous avons également essayé, d'aborder les chaussées rigides étant donné que le Sénégal importe les produits pétroliers, du fait de la flambée des prix de ces derniers, il s'avère plus que nécessaire de se ruer vers les chaussées en béton de ciment même si ces chaussées coutent chères à l'investissement initiale car, il faut raisonner avec la durée de vie qui est presque deux fois plus importante.

RECOMMANDATIONS :

A la fin de ce travail, nous pensons que ces suggestions qui suivent pourront rendre réelle et efficace ce catalogue tant attendu :

- ✚ Nécessité de compléter par une étude technico-économique, ce qui permettra une comparaison entre types de scénarios et donc un choix techniquement et économiquement justifié ;
- ✚ Nécessité de mettre les résultats sous forme de base de données, ce qui permettra une utilisation plus aisée des résultats obtenus ;
- ✚ Nécessité de faire des essais minutieux sur les matériaux (détermination du module de Young...);
- ✚ Nécessité d'impliquer l'ensemble des acteurs pour établir des consensus quant à des paramètres concernant la construction routière (définition d'un poids lourd, pertinence de la prise en compte des surcharges dans les études...)
- ✚ Nécessité de réaliser des planches d'essai compte tenu des résultats proposés dans ce présent travail en vu d'apporter les modifications ad hoc ;
- ✚ Mettre sur pied, avec le concours de tous les intervenants du secteur, un guide de mise en œuvre, un guide d'entretien et tout autre document susceptible d'harmoniser la construction des routes au Sénégal et même dans la sous-région, pour une meilleure compétitivité de nos entreprises.
- ✚ Faire une étude comparative entre les chaussées rigides et les chaussées souples (les chaussées semi-rigides y compris).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Catalogue des structures types de chaussées neuves, LCPC- SETRA, 1998
- [2] Conception et dimensionnement des structures de chaussée. LCPC- SETRA, Guide technique, Décembre 1994
- [3] Manuel pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuves (catalogue de structures types), édition provisoire, septembre 1977, L.B.T.P. république de la Côte D'Ivoire.
- [4] R. Crottaz & M. L. Pigois. Conception de la superstructure routière, tome I : conception générale, dimensionnement, matériaux pierreux et stabilisations, Laboratoire de Recherche des voies de circulation Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Avril 1978
- [5] JEUFFROY, Georges & SAUTEREY, Raymond. Dimensionnement des chaussées, 2^{ème} édition, Presses ENPC, 1984, 243 p.
- [6] JEUFFROY, Georges & SAUTEREY, Raymond. Assises de chaussées, Presses ENPC, 1985, 143 p.
- [7] MBODJI, Ousmane. Esquisse d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal, Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, ESP Thiès, Juillet 2003, 65 p.
- [8] GUEYE, Serigne Modou. & CISSOKHO, Ibrahima. Élaboration d'un catalogue de dimensionnement des chaussées souples pour la zone ouest du Sénégal, Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, ESP Thiès Juillet, 2004, 73 p.
- [9] DIOUF, Cheikh Yatt. Elaboration d'un catalogue des structures types de chaussées neuves au Sénégal, Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, ESP Thiès Juillet, 2007, 83 p.
- [10] JEUFFROY, Georges & SAUTEREY, Raymond. Chaussées en béton de ciment, Presses ENPC, 1989, 269 p.
- [11] Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, novembre 2001, République Algérienne Démocratique et Populaire : Ministère des Travaux Publics ; Direction des Routes.
- [12] Etude du plan triennal de Transport du Sénégal 2003-2005 STUDI INTERNATIONAL

ANNEXES A :

FICHES DE STRUCTURES

SN / SB

Structure
S1

Béton Bitumineux
Sable Bitume
Sable Naturel

Classe de plateforme	S2		S3		S4		S5					
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80		
CBR	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80		
E (MPa)	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400		
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR		
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR		
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR		
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR		
TC2	NR	4 cm 32 cm 32 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 35 cm	4 cm 30 cm	4 cm 25 cm	4 cm 23 cm	4 cm 20 cm	4 cm		
TC1	3 cm 26 cm 32 cm	3 cm 24 cm 28 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 30 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm		

NR : non recommandés (les sollicitations deviennent très importantes pour le matériau)

Structure S2	SN / GN											
	Baza: Beton Grava Naturală Sălbă Naturală											
Clasa de plăci C20 E (MPa)	S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
TC8	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	4 cm 35 cm	8 cm 30 cm	4 cm 25 cm	8 cm 20 cm	4 cm 30 cm	8 cm 25 cm	4 cm 35 cm	8 cm 30 cm	4 cm 25 cm	8 cm 20 cm	4 cm 25 cm
TC1	3 cm 25 cm	3 cm 24 cm	6 cm 30 cm	4 cm 30 cm	6 cm 20 cm	3 cm 18 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm

SN / LAT2

Structure	Béton Bituminéux Gravillons Latéritiques cru 2 Sable Naturel												
	S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8
Classe de plate-forme CSP E (MPa)	1	10	15	15	20	20	30	40	30	30	30	30	40
	25	50	75	75	100	100	150	200	150	150	200	200	250
TC0	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	4 cm 32 cm 32 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 35 cm 30 cm	4 cm 30 cm 30 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 23 cm 23 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm
TC1	3 cm 26 cm 32 cm	3 cm 24 cm 28 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 30 cm 30 cm	4 cm 20 cm 18 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm

Structure S4	SN / LACo												
	Géométrie Standardisée LACo Sable Naturel												
Classe de plateforme CBR (MPa)	5	12	15	18	20	25	30	40	50	60	75	90	100
CBR (MPa)	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
T0E	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
T0J	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
T0A	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
T0I	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
T0J	NR	4 cm 32 cm 32 cm	4 cm 29 cm 30 cm	4 cm 29 cm 25 cm	4 cm 35 cm 30 cm	4 cm 39 cm 25 cm	4 cm 25 cm 23 cm	4 cm 20 cm 20 cm					
T0I	3 cm 25 cm 26 cm	3 cm 21 cm 26 cm	3 cm 27 cm	3 cm 25 cm	3 cm 22 cm	3 cm 16 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm

Structure S5	SN / GNT												
	Béton Structure G142 S5												
	5	12	15	24	30	40	50	60	70	80	90	100	
Classe de plateforme CBR E (MPa)	25	35	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195
TC6	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR
TC5	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR
TC4	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR
TC3	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR
TC2	NR		4 cm 32 cm 12 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 35 cm	4 cm 50 cm	4 cm 25 cm	4 cm 23 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm
TC1	3 cm 24 cm 30 cm	3 cm 24 cm 28 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 30 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm

SN / GRH

Structure
S6

Décor Bitumineux
Grave Reconstitué Humide
Sable Naturel

Classe de précontrainte CDB E (MPa)	S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	1 25	10 50	15 75	20 100	25 150	30 150	35 100	40 250	45 100	50 150	55 250	60 400
TC6	NR		NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR		NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR		NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR		NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	4 cm 32 cm	4 cm 28 cm	4 cm 25 cm	4 cm 25 cm	4 cm 35 cm	4 cm 30 cm	4 cm 25 cm	4 cm 25 cm	4 cm 25 cm	4 cm 30 cm	4 cm 30 cm
TC1	3 cm 25 cm	2 cm 21 cm	3 cm 27 cm	3 cm 25 cm	3 cm 22 cm	3 cm 18 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm

Structure S7	Béton Bitumineux														
	LAT2							LAT1							
	S1		S2		S4			S5		S6		S7		S8	
Débit de plateforme CBR E (MPa)	5	10	15	20	30	40	50	60	75	100	150	200	250	300	400
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	7 cm 34 cm 34 cm	7 cm 32 cm 34 cm	7 cm 28 cm 30 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 25 cm 28 cm	7 cm 35 cm
TC4	NR	NR	NR	NR	6 cm 32 cm 34 cm	6 cm 28 cm 32 cm	6 cm 25 cm 25 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 24 cm 24 cm	6 cm 30 cm
TC3	NR	NR	NR	5 cm 32 cm 34 cm	5 cm 28 cm 30 cm	5 cm 25 cm 28 cm	5 cm 25 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 20 cm 25 cm	5 cm 25 cm
TC2	NR	NR	4 cm 32 cm 32 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm
TC1	NR	NR	3 cm 28 cm 32 cm	3 cm 24 cm 28 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 20 cm 30 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 17 cm 17 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm

Structure		LATI / GN											
S8		Béton préfabriqué - Gaine Nationale Ciment 3.400kg/m ³											
Classe de plateforme COP	E (MPa)	C2		C15		C10		C15		C10		C15	
		1	15	15	15	20	20	15	15	20	20	15	15
		25	55	75	75	100	100	150	150	200	200	250	250
TC6		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC5		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC4		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC3		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC2		NR	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
			35 cm	30 cm	25 cm	20 cm	30 cm	28 cm	25 cm	22 cm			
			35 cm	32 cm	25 cm	20 cm							
TC1		3 cm	3 cm	4 cm	4 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
		25 cm	24 cm	35 cm	30 cm	20 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
		30 cm	20 cm										

Structure	LAT1 / GNT															
	Módulo Experimental															
	GNT LAT1															
Classificação CBR F (MPa)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90		
TC0	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR			
TC1	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR			
TC4	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR			
TC3	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR			
TC2	NR		4 cm 32 cm 18 cm		4 cm 25 cm 20 cm		4 cm 25 cm 30 cm		4 cm 35 cm 30 cm		4 cm 25 cm 25 cm		4 cm 25 cm 25 cm		4 cm 30 cm 20 cm	
TC1		3 cm 20 cm 32 cm		3 cm 24 cm 20 cm		3 cm 20 cm 30 cm		3 cm 30 cm 30 cm		4 cm 20 cm 20 cm		3 cm 17 cm 15 cm		3 cm 18 cm 18 cm		3 cm 18 cm 18 cm

Structure S10	LATI / LACo													
	Béton Bâtimentaire LACo LATI													
Classe de plateforme CBR (MPa)	S2		S3		S4		S5		S6		S7			
	3 25	16 36	15 25	15 25	20 30	20 30	30 40	30 40	35 45	35 45	40 50	40 50		
TC0	NR		NR		NR		NR		NR		NR			
TC5	NR		NR		7 cm 22 cm 34 cm		7 cm 30 cm 30 cm		7 cm 28 cm 30 cm		7 cm 25 cm 28 cm		7 cm 25 cm 25 cm	
TC4	NR		NR		8 cm 32 cm 32 cm		8 cm 28 cm 30 cm		8 cm 25 cm 25 cm		8 cm 20 cm 20 cm		8 cm 22 cm 28 cm	
TC3	NR		NR		5 cm 32 cm 34 cm		8 cm 28 cm 30 cm		5 cm 25 cm 28 cm		5 cm 30 cm 30 cm		5 cm 25 cm 25 cm	
TC2	NR		4 cm 32 cm 32 cm		4 cm 28 cm 30 cm		4 cm 25 cm 25 cm		4 cm 30 cm 30 cm		4 cm 25 cm 25 cm		4 cm 23 cm 30 cm	
TC1		3 cm 25 cm 28 cm		3 cm 21 cm 20 cm		3 cm 27 cm 25 cm		3 cm 25 cm 22 cm		3 cm 16 cm 16 cm		3 cm 15 cm 15 cm		3 cm 15 cm 15 cm

Structure	LAT1 / GRH											
	Béton Bitumineux GRH LAT1											
Classe de plateforme CBR E (MPa)	11	11	14	14	18	18	22	22	25	25	30	30
	5 25	10 30	15 45	15 45	20 100	20 100	25 150	25 150	30 200	30 200	35 300	35 300
TC0	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC6	NR	4 cm 32 cm 34 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 20 cm 25 cm	4 cm 35 cm 30 cm	4 cm 30 cm 30 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm
TC7	3 cm 25 cm 28 cm	3 cm 21 cm 20 cm	3 cm 17 cm 20 cm	3 cm 25 cm 25 cm	3 cm 22 cm 22 cm	3 cm 18 cm 18 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm

LAT2/GB												
Structure S12												
IBRAC Bituminéux												
GB												
LAT2												
Classe de plateformes	S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	CBR	E (MPa)	CBR	E (MPa)	CBR	E (MPa)	CBR	E (MPa)	CBR	E (MPa)	CBR	E (MPa)
	5	15	10	15	20	150	30	150	40	200	50	250
	15	30	15	30	20	150	30	150	40	200	50	250
TC6	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC5	NR		NR		NR		7 cm 15 cm 35 cm		7 cm 14 cm 32 cm		7 cm 13 cm 26 cm	
TC4	NR		NR		NR		5 cm 15 cm 35 cm		5 cm 14 cm 32 cm		5 cm 11 cm 24 cm	
TC3	NR		NR		NR		5 cm 15 cm 35 cm		5 cm 13 cm 28 cm		5 cm 12 cm 20 cm	
TC2	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC1	NR		NR		NR		NR		NR		NR	

Structure S13	GN/GN											
	Sistem Băutman											
	GN											
Clasa de performanță CSP E (MPa)	S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110
TCR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TCS	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	4 cm 35 cm 35 cm	4 cm 30 cm 33 cm	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 18 cm 22 cm	3 cm 30 cm	3 cm 28 cm	3 cm 25 cm	3 cm 22 cm			
TC1	3 cm 22 cm 28 cm	3 cm 18 cm 20 cm	4 cm 15 cm	4 cm 10 cm	4 cm 20 cm	3 cm 18 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm		

GN/LAT2

Structure
S14

Béton Bétonneur
LAT2
GN

Classe de plateforme	S2		S3		S4		S5		S6		S7	
CBR	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
E (MPa)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
TC8	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC5	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC4	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC3	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC2	4 cm 26 cm 33 cm	4 cm 28 cm 32 cm	4 cm 26 cm 30 cm	4 cm 24 cm 29 cm	4 cm 15 cm 30 cm	4 cm 30 cm	4 cm 25 cm	4 cm 27 cm	4 cm 20 cm	4 cm 15 cm	4 cm 15 cm	4 cm 15 cm
TC1	3 cm 24 cm 28 cm	3 cm 22 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 30 cm	4 cm 20 cm	3 cm 17 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm

Structure S15	GN/LACo											
	Béton Dimension											
	LACo GN											
Classe de plateforme CBR E (MPa)	5 25	12 50	15 50	18 75	24 100	28 150	35 150	40 200	50 250	65 300	80 350	95 400
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	4 cm 32 cm 34 cm	4 cm 30 cm 32 cm	4 cm 28 cm 30 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 35 cm	4 cm 30 cm	4 cm 25 cm	4 cm 23 cm	4 cm 20 cm			
TC1	3 cm 15 cm 30 cm	3 cm 15 cm 25 cm	3 cm 20 cm	3 cm 24 cm	3 cm 20 cm	3 cm 18 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm		

Estructura S16	GN/GNT													
	Módulo de vivienda													
	Módulo de vivienda GNT													
Código de plataforma GNT S. 2014	12		13		14		15		16		17		18	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	4.0m		4.0m		4.0m		4.0m		4.0m		4.0m		4.0m	
	26 cm		26 cm		26 cm		24 cm		26 cm		26 cm		23 cm	
	24 cm		24 cm		26 cm		26 cm		26 cm		26 cm		26 cm	
TC3	3.0m		3.0m		3.0m		3.0m		4.0m		3.0m		3.0m	
	24 cm		22 cm		20 cm		18 cm		20 cm		17 cm		15 cm	
	19 cm		20 cm		20 cm		20 cm		20 cm		17 cm		15 cm	

GN/GRH

Structure
S17

Défini BHumideux
GRH
GN

Classe de plateforme CBR E (MPa)	S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	3	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
	25	50	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450
TC8	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC5	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC4	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC3	NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC2	4 cm 19 cm 34 cm	4 cm 30 cm 32 cm	4 cm 28 cm 30 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 32 cm	4 cm 20 cm	4 cm 25 cm	4 cm 20 cm	4 cm 25 cm	4 cm 20 cm	4 cm 20 cm
TC1	3 cm 15 cm 30 cm	3 cm 15 cm 25 cm	3 cm 28 cm	3 cm 24 cm	3 cm 20 cm	3 cm 18 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm

Structure S18	GNT/GNT													
	Béton Bitumineux													
	GNT													
Classe de plateforme COR E (MPa)	S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
E (MPa)	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155
TC6	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC5	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC4	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC3	NR		NR		NR		NR		NR		NR		NR	
TC2	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
	32 cm	30 cm	28 cm	25 cm	35 cm	30 cm	25 cm	23 cm	20 cm					
	32 cm	30 cm	28 cm	25 cm										
TC1	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
	21 cm	19 cm	15 cm	25 cm	20 cm	17 cm	15 cm	15 cm	15 cm					
	21 cm	20 cm	18 cm											

		GNT/LAT2											
Structure S19		Béton fibré armé											
		LAT2											
		GNT											
Classe de performance CAP E (Mpa)	S1	S1				S1				S1			
		1	10	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30
		25	35	35	35	45	45	45	45	55	55	55	55
TC1	NR		NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR		NR	NR
TC2	NR		NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR		NR	NR
TC3	NR		NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR		NR	NR
TC4	NR		NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR		NR	NR
TC5	NR		NR	NR	NR	NR	NR		NR	NR		NR	NR
TC6		4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	4 cm
		32 cm	30 cm	28 cm	25 cm	35 cm	30 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	20 cm	20 cm
		32 cm	30 cm	28 cm	25 cm								
TC1		3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
		21 cm	18 cm	15 cm	25 cm	20 cm	17 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
		21 cm	20 cm	18 cm									

Structure	GNT/LACo											
	Béton bitumineux											
520	LACo											
	GNT											
Classe de plateforme CBR E (MPa)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	20	50	75	100	130	160	200	250	300	350	400	450
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	4 cm 50 cm 82 cm	4 cm 26 cm 50 cm	4 cm 24 cm 25 cm	4 cm 20 cm 22 cm	4 cm 35 cm	4 cm 30 cm	4 cm 25 cm	4 cm 21 cm	4 cm 20 cm			
TC1	3 cm 20 cm 22 cm	3 cm 22 cm	3 cm 30 cm	3 cm 28 cm	3 cm 20 cm	3 cm 18 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm	3 cm 15 cm			

Structure S21	Diferența Burmeaz														
	GRH														
	GNT														
Clasa de beton C25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
FC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
FC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
FC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
FC7	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
FC8	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 24 cm 20 cm	4 cm 20 cm 22 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm
FC9	7 cm 20 cm 22 cm	8 cm 20 cm 22 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 20 cm 20 cm	

GRH/GRH

Structure
S22

Béton Bitumineux

GRH

GRH

Classe de

plateforme

CDR

E (MPa)

de 1700 mm

TC6

TC5

TC4

TC3

TC2

TC1

	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
CDR	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
E (MPa)	23	50	75	100	134	169	204	239	274	308	343
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	4 cm 28 cm 30 cm	4 cm 26 cm 28 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 30 cm 20 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 25 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 20 cm 20 cm
TC1	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 22 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 18 cm 20 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm

Structure S23	GRH/LACo											
	Béton Bitumineux LACo GRH											
Classe de plateformes	S2			S3			S4			S5		
CBR	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E (MPa)	20	34	45	60	90	120	150	180	210	240	270	300
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	4 cm 25 cm 30 cm	4 cm 20 cm 25 cm	4 cm 25 cm 25 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 15 cm 30 cm	4 cm 30 cm 25 cm	4 cm 25 cm 23 cm	4 cm 20 cm 20 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm	4 cm 15 cm 15 cm
TC1	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 22 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 16 cm 16 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm	3 cm 15 cm 15 cm

LACo/LACo

Structure
S24

Béton armé/bois

LACo

LACo

Départ de
plateforme

CBR

E (MPa)

22

24

24

25

25

25

25

25

3

16

16

26

31

42

56

72

93

28

34

35

100

154

166

194

266

408

TC1

NR

NR

NR

NR

NR

NR

NR

NR

NR

TC5

NR

NR

7 cm

25 cm

35 cm

7 cm

22 cm

32 cm

7 cm

26 cm

30 cm

7 cm

26 cm

28 cm

7 cm

24 cm

26 cm

7 cm

22 cm

24 cm

7 cm

25 cm

25 cm

TC4

NR

6 cm

25 cm

35 cm

6 cm

22 cm

32 cm

6 cm

28 cm

30 cm

6 cm

26 cm

28 cm

6 cm

24 cm

26 cm

6 cm

22 cm

24 cm

6 cm

25 cm

30 cm

6 cm

30 cm

30 cm

TC3

3 cm

26 cm

35 cm

6 cm

22 cm

32 cm

6 cm

28 cm

30 cm

6 cm

26 cm

28 cm

6 cm

24 cm

26 cm

6 cm

22 cm

24 cm

6 cm

26 cm

30 cm

6 cm

30 cm

25 cm

6 cm

25 cm

25 cm

TC2

4 cm

28 cm

30 cm

4 cm

26 cm

28 cm

4 cm

25 cm

25 cm

4 cm

20 cm

20 cm

4 cm

16 cm

16 cm

4 cm

26 cm

26 cm

4 cm

25 cm

25 cm

4 cm

23 cm

25 cm

4 cm

25 cm

25 cm

TC1

3 cm

20 cm

20 cm

3 cm

22 cm

30 cm

3 cm

30 cm

28 cm

3 cm

20 cm

20 cm

3 cm

18 cm

18 cm

3 cm

15 cm

15 cm

3 cm

15 cm

15 cm

3 cm

15 cm

15 cm

3 cm

15 cm

15 cm

LACo/LACo

Bêlon bituminoso

LACo

LACo

Structure
S24

Classe de platifomes	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
CBR	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
E (MPa)	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	7 cm 35 cm 35 cm	7 cm 32 cm 32 cm	7 cm 29 cm 30 cm	7 cm 26 cm 28 cm	7 cm 23 cm 25 cm	7 cm 20 cm 24 cm	7 cm 17 cm 21 cm	7 cm 14 cm 18 cm	7 cm 11 cm 15 cm
TC4	NR	8 cm 35 cm 35 cm	8 cm 32 cm 32 cm	8 cm 29 cm 30 cm	8 cm 26 cm 28 cm	8 cm 23 cm 25 cm	8 cm 20 cm 24 cm	8 cm 17 cm 21 cm	8 cm 14 cm 18 cm	8 cm 11 cm 15 cm	8 cm 8 cm 12 cm
TC3	5 cm 35 cm 35 cm	5 cm 32 cm 32 cm	5 cm 29 cm 30 cm	5 cm 26 cm 28 cm	5 cm 23 cm 25 cm	5 cm 20 cm 24 cm	5 cm 17 cm 21 cm	5 cm 14 cm 18 cm	5 cm 11 cm 15 cm	5 cm 8 cm 12 cm	5 cm 5 cm 9 cm
TC2	4 cm 28 cm 30 cm	4 cm 26 cm 28 cm	4 cm 23 cm 25 cm	4 cm 20 cm 22 cm	4 cm 17 cm 19 cm	4 cm 14 cm 16 cm	4 cm 11 cm 13 cm	4 cm 8 cm 10 cm	4 cm 5 cm 7 cm	4 cm 2 cm 4 cm	4 cm 1 cm 3 cm
TC1	3 cm 20 cm 20 cm	3 cm 18 cm 20 cm	3 cm 15 cm 17 cm	3 cm 12 cm 14 cm	3 cm 9 cm 11 cm	3 cm 6 cm 8 cm	3 cm 3 cm 5 cm	3 cm 0 cm 2 cm	3 cm -1 cm 1 cm	3 cm -2 cm 0 cm	3 cm -3 cm -1 cm

LACo/GB

Structure
S25

Béton Bétonneur

GB

LACo

Classe de plateforme CBR Σ (MPa)	S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	5 25	10 50	15 75	20 100	25 150	30 180	35 210	40 240	45 270	50 300	55 330	60 360
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	7 cm 15 cm 35 cm	7 cm 14 cm 32 cm	7 cm 13 cm 26 cm	7 cm 11 cm 24 cm	7 cm 11 cm 24 cm	7 cm 10 cm 20 cm	7 cm 10 cm 20 cm
TC4					6 cm 15 cm 35 cm	6 cm 14 cm 32 cm	6 cm 13 cm 26 cm	6 cm 11 cm 24 cm	6 cm 10 cm 20 cm	6 cm 10 cm 20 cm	6 cm 9 cm 16 cm	6 cm 9 cm 16 cm
TC3	NR	NR	5 cm 15 cm 35 cm	5 cm 14 cm 32 cm	5 cm 13 cm 28 cm	5 cm 12 cm 24 cm	5 cm 12 cm 20 cm	5 cm 10 cm 18 cm	5 cm 9 cm 16 cm	5 cm 8 cm 15 cm	5 cm 8 cm 15 cm	5 cm 8 cm 15 cm
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Structure H1	SC/LAC												
	Béton Bitumineux LAC SC												
	Classe de plateforme CBR E (MPa)	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
5 25	10 50	15 75	20 100	30 150	40 200	50 250	60 300	70 350	80 400				
NE > 77,24 millions													
TC8	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8 cm 23 cm 25 cm	8 cm 21 cm 25 cm	8 cm 20 cm 24 cm	
NE > 34,76 millions													
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7 cm 25 cm 25 cm	7 cm 23 cm 25 cm	7 cm 20 cm 25 cm	7 cm 20 cm 23 cm
NE > 17,38 millions													
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	6 cm 24 cm 25 cm	6 cm 22 cm 25 cm	6 cm 20 cm 25 cm	6 cm 20 cm 23 cm
NE > 8,69 millions													
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5 cm 22 cm 25 cm	5 cm 20 cm 23 cm	5 cm 20 cm 22 cm	5 cm 20 cm 20 cm
NE > 2,17 millions													
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
NE > 0,87 millions													
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

LAC/LAC

Structure
N2

Stăruie Stăruie

LAC

LAC

Clasa de performanță CBR I (MPa)	22		23		24		25		26		27		28									
	1 25	10 50	15 75	20 100	25 125	30 150	35 175	40 200	45 225	50 250	55 275	60 300	65 325	70 350								
TCE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
															25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm
TCS	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm
															25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm
TCE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
															25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm
TCS	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
															20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TCE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
															20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TCS	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
															20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TCE	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
															20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TCS	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR								
															5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
															20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm

Structure H3	LAT2/LAC												
	Distanța dintre chabrieri												
	LAC LAT2												
Clasa de platierime CNR F (MPa)	5	11	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
TC6	NR					8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
						25 cm	22 cm	20 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
						28 cm	25 cm	22 cm	20 cm	20 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC5	NR				7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm
					25 cm	20 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
					30 cm	25 cm	25 cm	22 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC4	NR			6 cm	8 cm	8 cm	8 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
				25 cm	23 cm	20 cm	17 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
				32 cm	28 cm	24 cm	22 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC3	NR	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
		25 cm	23 cm	20 cm	16 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
		32 cm	28 cm	25 cm	23 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Structure H4	GN/LAC											
	Dates dimensionnelles											
	LAC											
DN												
Classe de plateforme	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
CBR	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
E (MPa)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
TC8	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Structure	GNT/LAC										
	Béton Bitumineux										
	LAC GNT										
Classe de plate-forme	S1		S2		S4		S5		S6		S8
CBR	1	10	11	20	20	40	10	40	40	70	80
E (MPa)	20	30	34	100	100	200	200	200	200	200	400
TC3	NR	NR	NR	NR	8 cm 25 cm 25 cm	8 cm 22 cm 25 cm	8 cm 20 cm 22 cm	8 cm 18 cm 20 cm	8 cm 15 cm 18 cm	8 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm
TC5	NR	NR	NR	7 cm 25 cm 30 cm	7 cm 22 cm 25 cm	7 cm 20 cm 22 cm	7 cm 17 cm 20 cm	7 cm 15 cm 18 cm	7 cm 15 cm 15 cm	7 cm 15 cm 15 cm	
TC4	NR	NR	8 cm 25 cm 32 cm	8 cm 25 cm 25 cm	8 cm 20 cm 25 cm	8 cm 18 cm 20 cm	8 cm 15 cm 19 cm	8 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	
TC3	NR	8 cm 25 cm 32 cm	8 cm 25 cm 26 cm	8 cm 20 cm 25 cm	8 cm 17 cm 22 cm	8 cm 15 cm 18 cm	8 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	8 cm 15 cm 15 cm	
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	

GRHLAC

Atelier Business

LAC

DM

Structure
HG

Classe de priorité CSP E (M/F)	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
T01														
T02														
T03														
T04														
T05														
T06														
T07														
T08														
T09														
T10														
T11														
T12														
T13														
T14														
T15														
T16														
T17														
T18														
T19														
T20														
T21														
T22														
T23														
T24														
T25														
T26														
T27														
T28														
T29														
T30														
T31														
T32														
T33														
T34														
T35														
T36														
T37														
T38														
T39														
T40														
T41														
T42														
T43														
T44														
T45														
T46														
T47														
T48														
T49														
T50														

LAC6/LAC

Structure
H7

Struc. Bitumineuse

LAC

LAC6

Classe de plateforme CBR E (MPa)	01		02		03		04		05		06	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
E (MPa)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
TC6	NR	NR	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
			25 cm	22 cm	20 cm	18 cm	17 cm	16 cm	16 cm	15 cm	15 cm	15 cm
			32 cm	30 cm	28 cm	23 cm	20 cm	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm	16 cm
TC5	NR	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm
		25 cm	22 cm	20 cm	18 cm	17 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
		32 cm	30 cm	27 cm	23 cm	20 cm	18 cm	18 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC4	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
	25 cm	22 cm	20 cm	18 cm	16 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
	35 cm	30 cm	28 cm	25 cm	22 cm	18 cm	18 cm	18 cm	18 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC3	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
	23 cm	20 cm	18 cm	17 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
	30 cm	27 cm	25 cm	20 cm	17 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

SCIGC

Structure
H8

Béton Bitumineux
GC
SC

Classe de plateforme CBR E (MPa)	S1		S1		S4		S5		S5		S5		S5	
	5 23	10 38	15 55	20 75	25 100	30 130	35 160	40 190	45 230	50 280	55 340	60 410	65 490	70 580
TC6	8 cm 22 cm 24 cm	8 cm 20 cm 24 cm	8 cm 20 cm 24 cm	8 cm 20 cm 22 cm	8 cm 18 cm 22 cm	8 cm 18 cm 20 cm	8 cm 17 cm 20 cm	8 cm 17 cm 20 cm	8 cm 19 cm 20 cm	8 cm 15 cm 20 cm	8 cm 15 cm 20 cm	8 cm 15 cm 19 cm	8 cm 15 cm 19 cm	8 cm 15 cm 19 cm
TC5	7 cm 21 cm 24 cm	7 cm 20 cm 23 cm	7 cm 18 cm 23 cm	7 cm 18 cm 22 cm	7 cm 16 cm 21 cm	7 cm 16 cm 20 cm	7 cm 16 cm 20 cm	7 cm 15 cm 20 cm	7 cm 15 cm 20 cm	7 cm 15 cm 19 cm	7 cm 15 cm 19 cm	7 cm 15 cm 18 cm	7 cm 15 cm 18 cm	7 cm 15 cm 18 cm
TC4	6 cm 20 cm 24 cm	6 cm 20 cm 22 cm	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 19 cm 20 cm	6 cm 17 cm 20 cm	6 cm 17 cm 18 cm	6 cm 17 cm 18 cm	6 cm 17 cm 18 cm	6 cm 19 cm 18 cm	6 cm 15 cm 18 cm	6 cm 15 cm 18 cm	6 cm 15 cm 18 cm	6 cm 15 cm 17 cm	6 cm 15 cm 17 cm
TC3	5 cm 20 cm 21 cm	5 cm 18 cm 20 cm	5 cm 18 cm 20 cm	5 cm 17 cm 20 cm	5 cm 17 cm 19 cm	5 cm 15 cm 19 cm	5 cm 15 cm 17 cm	5 cm 15 cm 17 cm	5 cm 15 cm 18 cm	5 cm 15 cm 18 cm	5 cm 15 cm 18 cm	5 cm 15 cm 18 cm	5 cm 15 cm 18 cm	5 cm 15 cm 18 cm
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

GC/GC															
Structure H9	Béton Bitumineux GC GC														
	3	52	10	52	15	54	20	18	40	20	35	50	15	50	
Classe de plateforme CBR E (MPa)	25	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
10 - 11 (300mm)															
TC5	8 cm 20 cm 22 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 19 cm 20 cm	8 cm 19 cm 20 cm	8 cm 17 cm 20 cm	8 cm 17 cm 20 cm	8 cm 16 cm 20 cm	8 cm 15 cm 19 cm	8 cm 15 cm 19 cm	8 cm 15 cm 18 cm	8 cm 15 cm 17 cm	8 cm 15 cm 17 cm	8 cm 15 cm 18 cm	8 cm 15 cm 18 cm	8 cm 15 cm 18 cm
10 - 12 (300mm)															
TC5	7 cm 20 cm 21 cm	7 cm 19 cm 20 cm	7 cm 18 cm 20 cm	7 cm 18 cm 20 cm	7 cm 18 cm 20 cm	7 cm 18 cm 20 cm	7 cm 18 cm 19 cm	7 cm 18 cm 19 cm	7 cm 18 cm 18 cm	7 cm 18 cm 18 cm	7 cm 18 cm 17 cm	7 cm 18 cm 17 cm	7 cm 18 cm 17 cm	7 cm 18 cm 16 cm	7 cm 18 cm 16 cm
10 - 13 (300mm)															
TC4	6 cm 20 cm 20 cm	6 cm 19 cm 20 cm	6 cm 17 cm 20 cm	6 cm 17 cm 20 cm	6 cm 17 cm 19 cm	6 cm 16 cm 19 cm	6 cm 15 cm 18 cm	6 cm 15 cm 18 cm	6 cm 15 cm 17 cm	6 cm 15 cm 17 cm	6 cm 15 cm 16 cm	6 cm 15 cm 16 cm	6 cm 15 cm 16 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm
10 - 14 (300mm)															
TC3	6 cm 18 cm 20 cm	6 cm 16 cm 20 cm	6 cm 15 cm 20 cm	6 cm 15 cm 19 cm	6 cm 15 cm 19 cm	6 cm 15 cm 17 cm	6 cm 15 cm 16 cm	6 cm 15 cm 16 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm	6 cm 15 cm 15 cm
10 - 15 (300mm)															
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
10 - 16 (300mm)															
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

LACofLAC

Structure
M1

Selon Bilan
GB
SC

Classe de plateforme CBR E (MPa)	Sécheresse												
	S	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
(E > 70 MPa)	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
TC6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	8 cm 15 cm 25 cm
(E > 30 MPa)													7 cm 15 cm 25 cm
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	7 cm 15 cm 25 cm
(E > 17 MPa)													
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	6 cm 15 cm 25 cm
(E > 10 MPa)													6 cm 14 cm 25 cm
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	5 cm 15 cm 25 cm
(E > 5 MPa)													5 cm 15 cm 23 cm
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
(E > 3 MPa)													NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

LACGB

Struttura
M2

Spazio Dimensione

GB

LAC

Classe di prestazione CSE (MPa)	12		15		18		21		24		27		30		33		36	
	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC0	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Structure M3	GC/GB												
	Beton B18/20max												
	GB GC												
Clasa de platformă C8A f (MPa)	9 25	S2 10 35	G1 11 35	S4 20 100	30 150	40 200	50 250	60 300	70 350	80 400			
TC6	NR		NR			8 cm 23 cm 25 cm	8 cm 21 cm 24 cm	8 cm 20 cm 24 cm	8 cm 18 cm 24 cm	8 cm 16 cm 24 cm	8 cm 15 cm 23 cm	8 cm 15 cm 23 cm	8 cm 15 cm 23 cm
TC5	NR		NR		7 cm 24 cm 25 cm	7 cm 21 cm 25 cm	7 cm 20 cm 24 cm	7 cm 18 cm 24 cm	7 cm 17 cm 23 cm	7 cm 16 cm 23 cm	7 cm 15 cm 23 cm	7 cm 15 cm 23 cm	7 cm 15 cm 23 cm
TC4	NR		8 cm 25 cm 25 cm	8 cm 23 cm 25 cm	6 cm 20 cm 25 cm	6 cm 19 cm 24 cm	6 cm 18 cm 23 cm	6 cm 18 cm 22 cm	6 cm 18 cm 22 cm	6 cm 17 cm 22 cm	6 cm 17 cm 22 cm	6 cm 16 cm 22 cm	6 cm 16 cm 22 cm
TC3	8 cm 25 cm 25 cm	8 cm 22 cm 25 cm	8 cm 20 cm 25 cm	8 cm 20 cm 23 cm	8 cm 20 cm 22 cm	8 cm 20 cm 22 cm	8 cm 20 cm 20 cm	8 cm 18 cm 20 cm	8 cm 18 cm 20 cm	8 cm 16 cm 20 cm	8 cm 15 cm 20 cm	8 cm 15 cm 20 cm	8 cm 15 cm 20 cm
TC2	NR		NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR		NR		NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

SC/GRH/GB											
Structure II	Béton B30/B35										
	GB										
Classe de plateforme CER (MPa)	30		30		34		30		35		40
	5	10	10	15	20	20	30	40	50	60	80
h (cm)	25	30	30	35	40	45	50	55	60	65	70
TC5	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
	15 cm	14 cm	12 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm
	24 cm	23 cm	22 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TC5	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm
	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	12 cm	12 cm	12 cm	12 cm	10 cm	10 cm	9 cm
	22 cm	20 cm	20 cm	20 cm	24 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TC4	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
	15 cm	15 cm	15 cm	13 cm	12 cm	12 cm	12 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm
	20 cm	20 cm	20 cm	22 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TC3	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
	15 cm	15 cm	15 cm	13 cm	13 cm	13 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm
	24 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm	20 cm
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

LAC/GR/HGB												
Structure	Béton Bitumineux											
	GB											
Classe de plateforme	LAC											
	52	33	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
CBR	5	18	15	25	32	40	50	58	70	80		
E (MPa)	25	55	75	100	150	200	250	300	350	400		
TC8	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
	15 cm	15 cm	13 cm	12 cm	12 cm	12 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
TC7	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm	7 cm
	15 cm	13 cm	10 cm	10 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
TC6	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
	15 cm	12 cm	10 cm	10 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
TC5	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
	15 cm	12 cm	12 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
TC4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC3	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
TC1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

ANNEXES B :

FICHES DE MATERIAUX

HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

Période de calcul $p = 20$ ans

Taux de croissance annuel du trafic $t = 5\%$

Module de rigidité : $E(MPa) = 5 \times \text{CBR}$ pour le sol de plate-forme

Coefficient de poisson ; $\nu = 0.35$ pour les matériaux non traités

$\nu = 0.25$ pour les matériaux traités

Sollicitations admissibles :

- ✓ **Sols, GNT et GRH** : La seule vérification est à faire sur le sol support $\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$

$$\text{Avec } \varepsilon_{z,ad}(mm) = A \times (NE)^{-0.222}$$

- ✓ **MTB**: Il faut vérifier les déformations $\varepsilon_t < \varepsilon_{t,ad}$ et $\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$

$$\varepsilon_{t,ad}(mm) = \varepsilon_b(10^\circ C, 25Hz) \left[\frac{E(10^\circ C)}{E(D_{eq})} \right]^{0.5} \times \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b k_r k_d k_c k_s$$

- ✓ **MTLH** : Il faut vérifier les contraintes et déformations $\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$ et $\sigma_t < \sigma_{t,ad}$

$$\text{Avec } \sigma_{t,ad}(bars) = \sigma_b \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b k_r k_d k_c k_s$$

Coefficient	Phénomène	Valeurs
k_c	calage	voir chap II page 15 et 18
k_d	Discontinuités (bord et fissures) et gradient thermique	voir chap II page 18
k_e	Risque et dispersions	voir chap II page 15
k_s	Défaut de portance de PFI	voir chap II page 16
A	Déformation permanente	Fort trafic ($T \geq T3$): Sol 0.012 Strut.inv 0.0144 Faible trafic ($T < T3$): Sol et GRH 0.016

Tableau A.1 - Les paramètres de calage

Region	pluviométrie en mm/an	température en °C	durée saison des pluies	type de climat
DAKAR THIES	200 et 300	Entre 22 et 38	3 mois	Soudano-sahélien
DIOURBEL LOUGA	200 et 500	Entre 22 et 40	3 mois	Soudano-sahélien
KAOLACK KAFRINE FATICK	600 et 700	Entre 22 et 40	3 mois	Soudano-sahélien
SAINT LOUIS MATAM	400	Entre 22 et 40	3 mois	Soudano-sahélien
ZIGUINCHOR SEDHIQU KOLDA	1000 et 1500	Entre 22 et 40	4 mois	Soudano-guinéen
TAMBACOUNDA REDOUGOU	600 et 700	Entre 22 et 40	4 mois	Soudanien

Tableau A 2 : définition des régions, vers une répartition climatique

SOL DE PLATEFORME

Classe de plate-forme	S2	S3	S4		S5				
CBR	5 < CBR < 10	10 < CBR < 15	15 < CBR < 30		CBR > 30				
			15 < CBR < 20	20 < CBR < 30	30 < CBR < 40	40 < CBR < 50	50 < CBR < 60	60 < CBR < 70	70 < CBR < 80
CBR de calcul	7,5	12,5	17,5	25	35	45	55	65	75
Module de calcul (MPa)	37,5	62,5	87,5	125	175	225	275	325	375

Tableau A 3 : Caractérisation des sols de plateforme

HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

Période de calcul $p = 20$ ans

Taux de croissance annuel du trafic $t = 5\%$

Sollicitations admissibles :

- Pour les chaussées à moyen et fort trafic ($T \geq T3$): $\varepsilon_{z,ad}(mm) = 0.012(NE)^{-0.222}$
- Pour les chaussées à faible trafic ($T < T3$): $\varepsilon_{z,ad}(mm) = 0.016(NE)^{-0.222}$

Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	T6
MJA	45	160	500	1200	2400	5100
CAM	0,6	0,8	1	1	1	1
NE (millions)	0,33	1,54	6,03	14,48	38,97	61,55
Limites admissibles $\varepsilon_{z,ad}$	9,55E-04	5,07E-04	3,75E-04	3,09E-04	2,65E-04	2,24E-04

Tableau A 4 : Déformations admissibles pour les sols de plateforme

FM I : SABLE NATUREL (SN)

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Propriétés	CBR	% de fines (passant au tamis 80µm)	IP	C _u	γ _d (à 95 % de l'OPM)	f x IP	w _{opt} (%)	Gonflement maximal
Valeurs	> 30 pour T ₁ > 35 pour T ₂	10 < F < 30	≤ 15	> 5	≥ 1.80	100 ≤ (f x IP) < 500	7 < w _{opt} < 13 (°%)	2.5

Tableau A 5 : Spécifications sur les sables naturels [9]

Classes de trafic	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Couches	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B
Emploi	oui	x	oui	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tableau A 6 : Domaine d'utilisation des graves naturelles

HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT :

Période de calcul p = 20 ans

Taux de croissance annuel du trafic t = 5%

Sollicitations admissibles :

- Pour les chaussées à moyen et fort trafic (T ≥ T3): $\epsilon_{z,ad}(mm) = 0.012(NE)^{-0.222}$
- Pour les chaussées à faible trafic (T < T3): $\epsilon_{z,ad}(mm) = 0.016(NE)^{-0.222}$

Trafic	T1	T2	T3	T4	T5	T6
MJA	45	160	500	1200	2400	5100
NE (millions)	0,33	1,54	6,03	14,48	28,97	61,55
ε _{z,ad}	9,55E-04	5,07E-04	3,75E-04	3,09E-04	2,65E-04	2,24E-04

Tableau A 7 : Déformations admissibles pour les sables naturels