ÉLABORATION D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES NEUVES AVEC LA MÉTHODE RATIONNELLE

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION **: GÉNIE CIVIL/** Route et Ouvrage d'art

Présenté par : **Wilfried Nicaise Natabzanga Armel NIKIEMA**

Travaux dirigés par :

Dr Adamah MESSAN — Enseignant chercheur - 2IE

Ing Boubacar GANGO — chef de projet – AGEIM- IC

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Abdou LAWANE GANA

Membres et correcteurs : Mr Césaire HEMA

N. SAWADOGO

Promotion [2014/2015]

DÉDICACES

Je dédie ce travail à :

Mon très cher père NIKIEMA Boukari Prosper pour son courage, l'éducation et les conseils prodigués ; pour le soutien moral et l'ensemble des sacrifices consentis à la réussite non seulement de ma vie et plus précisément pour ma formation ;

Ma très chère mère ABOUGA isabelle Weppan, pour son amour qui m'est inestimable ; pour ses bénédictions, son soutien moral ;

Mes frères et sœurs, pour leurs accompagnements ;

Aux amis et connaissances pour leurs soutiens moraux qui m'ont permis de réaliser ce document.

REMERCIEMENTS

Je remercie le Directeur Général de AGEIM Ingénieurs Conseils **Mr Tiraogo Hervé OUÉDRAOGO** pour la confiance placée à ma modeste personne en m'accueillant dans son service et me mettant dans de bonnes dispositions pour l'élaboration de ce document.

Je remercie très particulièrement mon maître de mémoire **Mr Boubacar GANGO,** Ingénieur (chef de projet) - AGEIM, pour son encadrement et le temps accordé au suivi de ce document.

Je remercie tous les départements et tout le personnel du Bureau d'études AGEIM Ingénieurs Conseils qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de ce travail.

Je remercie **Mr Adamah MESSAN**, Enseignant-chercheur - 2IE pour sa disponibilité en tant que professeur de suivi pour l'élaboration du présent document. Ses précieux conseils et suggestions m'ont été inestimables.

J'adresse mes profonds remerciements à **2IE** à travers l'ensemble du corps professoral pour la qualité de l'enseignement dispensé tout au long de mon parcours. Je les remercie particulièrement pour les efforts mis à répondre toujours présent tout au long de mon cycle et en particulier pour la réalisation du présent document.

À tous ceux, de près ou de loin qui ont participé à la réalisation de ce document, du fond du cœur je vous remercie.

RÉSUME

L'objet de notre étude« ÉLABORATION D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES NEUVES AVEC LA MÉTHODE RATIONNELLE » s'inscrit dans la démarche des Pays africains en général et le BURKINA FASO en particulier, de s'approprier des outils de dimensionnement tenant compte des réalités intrinsèques à chacun d'eux en terme de composition du trafic, données climatiques et environnementales et surtout de la disponibilité des matériaux locaux exploitables. D'un point de vue mécanique, Ce catalogue présente deux objectifs globaux. Il s'agit d'une part d'éviter les surdimensionnements ou les sous dimensionnements, l'utilisation rationnelle des matériaux disponibles et d'autre part, de guider les utilisateurs sur la conception, le choix des paramètres mécaniques des matériaux à mettre en œuvre. Dans cette approche rationnelle, un maillage des trafics poids lourds a été appliqué par rapport aux retours d'expériences de comptage sur des projets réels et par rapport à ceux du CEBTP « Guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux de 1980». Cela nous a amené à considérer les structures suivantes: les structures souples en trafic faible où le trafic cumulé n'excède pas $1{,}5.10^6$ PL et les structures souples, semi rigides en trafic élevé limité par un trafic cumulé de 10^7PL. En trafic faible, l'utilisation des matériaux granulaires de Module faible [20 – 900 Mpa] en assise nous a permis d'obtenir des épaisseurs minimales de 15 cm et maximales de 30 cm. La ténue de ces structures dépend de la rigidité du sol support. Pour les structures sous trafic élevé, l'on constate de faible épaisseurs mais aussi la ténue de ces structures dépend plus des matériaux améliorés.

Mots Clés :

1 - Dimensionnement des structures

2 - Chaussée

3 - Portance des matériaux

4 - Trafic

ABSTRACT

The purpose of our study " CATALOGUE ELABORATION OF NEW ROADS PAVEMENT WITH RATIONAL METHOD" is in the process of African Countries in general and BURKINA FASO in particular, to appropriate dimensioning tools taking into account the realities inherent to each of them in terms of automobile fleet composition, climate and environmental data and availability of exploitable local materials. From a mechanical point of view, this catalogue presents two total objectives. It is on the one hand about avoiding them on dimensioning or under dimensioning, the rational use of materials available and on the other hand, it acts to guide the users on the design, the choice of the mechanical parameters of materials to be implemented. In this rational approach, a grid of the traffics heavy lorries were applied compared to the experience feedbacks of counting to real projects and compared to those of the CEBTP " Guide of design pavements for the tropical countries of 1980". That to lead us to consider the following structures: Flexible structures in weak traffic where the cumulated traffic does not exceed $1,5.10^6$ PL and flexible, semi structures rigid in high traffic to limit by a traffic cumulated of 10^7PL. In weak traffic, the use of granular materials of weak Module [20 – 900 Mpa] into sited enabled us to obtain minimal thicknesses of 15 cm and maximum is 30 cm. The thin one of these structure depends on rigidity of the ground support. For the structures under traffic raised, one notes weak thicknesses but also the thin one of these structures depends more of improved materials.

Key words:

1- Structure pavement

2- Road

3- Bearing pressure of materials

4- Traffic

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Les termes qui demandent une explication et qui sont fréquemment employés dans le mémoire sont regroupés dans cette rubrique. Ils sont listés par ordre alphabétique.

AASHTO	American Association of Highway and Transportation Officials
AGEIM-IC	AGence d'Études d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvre (Ingénieurs Conseils)
BB	Béton Bitumineux
BBM	béton bitumineux mince
BBME	béton bitumineux à module élevé
BBS	béton bitumineux pour Chaussées souples à faible trafic
BBSG	béton bitumineux semi grenu
BBTM	béton bitumineux très mince
BC	béton de ciment
CBR :	Californian Bearing Radio
CEBTP	Centre Expérimental de recherche et d'Étude du bâtiment et des travaux Publics
E	Module de Young
EME	enrobé à module élevé.
GB	grave bitume
GC	Grave Ciment
GH	graves traitées aux liants hydrauliques
GLL	Grave Litho-Stabilisée
GLN	Grave latéritique Naturelle
GNT	graves non traitées

LCPC	Laboratoire Central des Ponts et chaussées
MIOM	traités aux liants hydrauliques
MTLH	Matériaux traités aux liants hydrauliques
NS	Nouvelles Structures
PL	Poids Lourds
SC	Sol Ciment
SETRA	Services d'Étude Technique des Routes et autoroutes
SH	sables traités aux liants hydrauliques
TRRL	Transport Road Reseach Laboratory

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES I

REMERCIEMENTS II

RÉSUME III

ABSTRACT IV

LISTE DES ABRÉVIATIONS V

TABLE DES MATIÈRES 1

LISTE DES TABLEAUX 5

LISTE DES FIGURES 7

INTRODUCTION 8

I. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE L'ÉTUDE 10

I.1 PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL 10

I.2 PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE 11

Présentation de la zone d'étude 11

Justifications de l'étude 11

Identification des perturbations routières présentes au BURKINA FASO 11

Objectifs de l'étude 15

Méthodologie de l'étude 15

CHAPITRE I. PRÉAMBULE 17

I. GÉOLOGIE DU BURKINA FASO 17

II. LES ROCHES UTILISÉES EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE 18

III. L'HYDROLOGIE 20

CHAPITRE II. FAMILLES DE CHAUSSÉES ET MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT 21

I. LES FAMILLES DE CHAUSSÉES, FONCTIONNEMENT ET MODE DE RUINE 21

I.1 Les chaussées souples 22

I.2 Les chaussées semi rigides 24

I.3 Les chaussées mixtes 26

II. APERÇU DES MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT 28

II.1. L'approche empirique 28

II.2. L'approche théorique ou rationnelle 29

II.3. Autres approches : Les catalogues et les méthodes forfaitaires 33

CHAPITRE III. FONDEMENT DE LA MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT RATIONNELLE DES CHAUSSÉES 35

I. GÉNÉRALITÉS 35

I.1 Définition de la chaussée 35

I.2 Descriptif des couches de chaussées 36

II. PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT 37

II.1. Les paramètres essentielles au dimensionnement 38

II.2. Le caractère probabiliste du dimensionnement 38

II.3. Durée théorique initiale et le risque de calcul 39

II.4. Détermination des sollicitations 39

II.5. Définition des épaisseurs des couches 40

CHAPITRE IV. HYPOTHÈSES DE CALCULES 41

I. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES 41

II. CLASSE DE ROUTE 42

III. VALEUR DES COEFFICIENTS D'AGRESSIVITÉ PL 43

IV. DURÉE DE SERVICE THÉORIQUE DE LA STRUCTURE 43

V. LE TRAFIC 43

VI. MOTEUR DE CALCUL 46

VII. HYPOTHÈSES DES MATÉRIAUX 46

VII.1 Hypothèse – plate-forme 46

VII.2 Matériaux granulaires (GLN ; GNT) 47

VII.3 Matériaux-Portance 48

VII.4 Paramètre de vérification 50

VIII. LES CARACTÉRISTIQUES EN FATIGUE 53

IX. LE CALCUL DES SOLLICITATIONS 56

X. DÉMARCHE ET SCHÉMA RATIONNELLE DE DIMENSIONNEMENT 57

X.1 Démarche de dimensionnement 57

X.2 Schéma de dimensionnement 59

CHAPITRE V. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS 60

I. RÉSULTATS 60

II. ANALYSES ET DISCUSSIONS 63

III. CONCLUSION 65

IV. RECOMMANDATIONS 67

IV.1. Recommandations d'ordre stratégique 67

IV.2. Recommandations d'ordre technique 67

V. PERSPECTIVE 68

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE 69

ANNEXE 1 73

MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA PORTANCE DU SOL SUPPORT 73

LE CLASSEMENT GÉOTECHNIQUE DES SOLS 73

LES PARAMÈTRES DE NATURE 74

LES PARAMÈTRES DE COMPORTEMENT MÉCANIQUE 75

LES PARAMÈTRES D'ÉTAT 75

DÉTERMINATION DE LA CLASSE D'ARASE DE TERRASSEMENT 76

ANNEXE 2 78

EXEMPLE DE CALCUL DE STRUCTURES ROUTIÈRES 78

1) INCRÉMENTATION SOUS TRAFIC FAIBLE (STRUCTURE SOUPLE) 78

2) INCRÉMENTATION SOUS TRAFIC FORT 79

ANNEXE 3 ..... **84**

SEUILS DES ÉPAISSEURS DES COUCHES DE CHAUSSÉES **84**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des perturbations rencontrées sur les chaussées. 12

Tableau 2 : Vue de quelques dégradations sur les chaussées 14

Tableau 3 : Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement 34

Tableau 4 : Risque de trafic en fonction des classes trafic LCPC. 42

Tableau 5 : Coefficient d'agressivité du trafic PL en fonction du type de voirie en présence Selon le catalogue CEBTP 1998 43

Tableau 6 : avantage et inconvénient des méthodes d'estimation du trafic 44

Tableau 7 : formules d'estimation du trafic cumulé 44

Tableau 8 : classe de trafic cumulé et superposition au trafic CEBTP 45

Tableau 9 : portance des sols support 47

Tableau 10 : portance théoriques des matériaux granulaires 48

Tableau 11 : récapitulatif du mode d'utilisation de la GLL et GNT. 49

Tableau 12 : valeurs indicatives des déformations permanentes « a » et de la pente « b » de la loi de fatigue 53

Tableau 13 : valeur de U (variable réduit de gauss) pour quelques probabilités au non dépassement 54

Tableau 14 : valeurs indicatives des coefficients de dimensionnement 55

Tableau 15 : Formules d'estimations des sollicitations admissibles 56

Tableau 16 : descriptifs et valeurs des coefficients 56

Tableau 17 : schéma de dimensionnement des structures routières 59

Tableau 20 : comparaisons des revêtements en BB sous trafic fort 64

Tableau 21 : Classe géotechnique des sols 74

Tableau 22 : Classe d'arase et portance de sol correspondant 76

Tableau 23 : tableau synthèse des correspondances entre la classe géotechnique du sol support, son état hydrique et la classe de la partie supérieure des terrassements (PST N° i) associée à la classe d'arase (ARj) 77

Tableau 24 : condition de collage des matériaux 77

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Composition des sols du BURKINA FASO 20

Figure 2: diffusion des contraintes des structures granulaires 23

Figure 3: diffusion des contraintes des structures bitumineuses 24

Figure 4 : diffusion des contraintes des structures semi rigides 26

Figure 5 : diffusion des contraintes des structures mixtes 27

Figure 6 : Illustration du modèle Bicouche 30

Figure 7 : Diffusion des contraintes selon Boussinesq 31

Figure 8 : diffusion des contraintes selon Hogg 31

Figure 9 : diffusion des contraintes selon Westergaard 32

Figure 10 : diffusion des contraintes selon Busmister 33

Figure 11: terminologie de la chaussée 35

Figure 12 : détermination de la déformation admissible εadm à partir d'essai de fatigue .. 54

Figure 13 : Trafic faible : analyse sur la couche de fondation des structures 63

Figure 14 : Trafic fort : analyse sur la couche de base des matériaux 63

Figure 15 : structure de la plate-forme support de chaussée 73

INTRODUCTION

« La plupart des pays africains sont en voie de développement. L'accélération de la croissance économique de ces pays ne peut se faire sans une infrastructure de transport moderne, efficiente et qui répond aux besoins des populations et des acteurs socio-économiques » [**Gilbert EKPINI**; Directeur de cabinet du ministre des infrastructures économique, *séminaire de dimensionnement des chaussées, cote d'ivoire 2015*]. Dans les pays africains, les constructions routières sont dépendantes des études occidentales. Cela a pour conséquence une mauvaise appréciation des performances des couches au niveau locales. Il est donc impératif et urgent de se doter des outils prenant en compte les réalités en termes de disponibilité des matériaux locaux ainsi que les technicités mieux adaptées à ces pays.

Des percées notables ont été enregistrées dans certains pays notamment le Sénégal, l'Afrique du sud et surtout les pays du Maghreb sur cette problématique. Des recherches récentes faites au Sénégal [Dimensionnement mécanique empirique des structures de chaussées (sandoumbé THIAW, 2005-2006)] ont montré que la plupart des couches de bases en latérite améliorée au ciment subissent des déformations intenses donc atteignent une phase de rupture précoce. On assiste aussi à une intégration des instituts comme le nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique (NEPAD) qui a pour principal objectif de solutionner entre autre, le déficit d'infrastructures routières de l'Afrique par la mise en place des accords adoptables en vue de permettre la planification de nouveaux projets d'infrastructures routières. Des approches locales et régionales ont été aussi effectuées ex : **Pierre LOMPO**; *les matériaux utilisés en construction routière en HAUTE-VOLTA ;* 1980

À travers les séminaires, colloques et formations, la problématique est aussi d'actualité. À titre d'exemple on retient **: le séminaire scientifique international tenu à Yamoussoukro-CÔTE D'IVOIRE du 31 Mars au 01 avril 2015** dont l'objectif était la durabilité et le dimensionnement des chaussées neuves ainsi que l'élargissement de leurs performances dans l'espace sous régional qui a réuni plus de 300 experts à travers le monde. On a aussi la formation sur l'utilisation du logiciel ALIZE LCPC initiée par le comité national Burkinabè de l'Association des gestionnaires et partenaires Africains de la route en collaboration avec la société ITECH.

Ce document entre dans le cadre de la recherche et s'articule en quatre (05) chapitres.

Le premier chapitre, présente l'étude dans un cadre général ;

Le deuxième chapitre présente les familles de structures, leurs fonctionnements et leurs modes de ruine ainsi qu'un aperçu des méthodes de dimensionnement des structures de chaussées routiers ;

Le troisième chapitre fait ressortir les fondements de la méthode rationnelle. Il présente l'ensemble des paramètres essentiels à l'élaboration du catalogue ;

Le quatrième chapitre dresse des hypothèses purement mécaniques. Il traite dans sa majeure partie sur la détermination des comportements mécaniques des matériaux routiers afin de dresser au final un catalogue de structure type de matériaux plus appropriés au BURKINA FASO ;

Le cinquième chapitre présente les résultats de notre étude en fonction des hypothèses présentées au chapitre quatre (04).

I. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE L'ÉTUDE

Dans le cadre de notre formation d'ingénieur de conception et pour consolider nos connaissances théoriques, nous avons été amenés à effectuer un stage pour la rédaction de notre mémoire de fin de cycle master génie civil option Route et ouvrage d'art à 2IE. C'est dans ce cadre que nous avons été accueilli au sein de l'AGence d'Étude d'Ingénieurie et de Maîtrise d'œuvre (AGEIM –IC) pour la période allant d'Octobre 2015 à Mars 2016. Le Sujet de ce stage est l'élaboration d'un catalogue de structures neuves avec la méthode rationnelle.

Ce volet présente un sommaire de la structure d'accueil, le projet dans un cadre général ainsi que la méthodologie mise en place pour sa réalisation.

I.1 PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

AGEIM-IC : AGence d'études d'Ingénierie et de Maîtrise d'œuvre est un bureau d'étude crée en janvier 2000 dans une perspective pluridisciplinaire. L'agence exerce son activité aussi bien au BURKINA FASO qu'à l'étranger. **AGEIM-Ingénieurs Conseils** est inscrite auprès des organismes de financement tels que la BOAD, la BADEA, l'AFD, le FED, la BID, la Coopération Néerlandaise, …. Reconnue sous le statut juridique de société à responsabilité limitée (SARL), AGEIM-IC intervient dans les disciplines du développement économique et social :

- ✓ **Infrastructures de transport**
- ✓ **Aménagements hydrauliques et environnement**
- ✓ **Bâtiments et ouvrages d'art.**

AGEIM Ingénieurs Conseil intervient dans tous les stades de l'élaboration des projets c'est-à-dire l'identification et la reconnaissance des sites des projets, les études préliminaires et études détaillées, préparations des cahiers de charges et des documents d'appels d'offres, l'assistance au maître d'ouvrage pour l'analyse et le jugement des offres des entreprises, l'assistance à l'exploitation à la gestion et à la maintenance des projets et enfin la surveillance et le contrôle des travaux.

I.2 PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Dans cette rubrique, il s'agit de donner l'ensemble des renseignements entrant dans le cadre de notre étude.

Présentation de la zone d'étude

La zone de l'étude est le BURKINA FASO. IL est situé au cœur de l'Afrique de l'ouest. Sa population est estimée à environ 14 017 262 habitants **[Ministère de l'économie et des finances**, Bureau Central du recensement ; *Recensement général de la population et de l'habitation, résultats définitifs ; 2006*]. Sa superficie est estimée à 274 222 km².

Justifications de l'étude

Selon le Ministre des Infrastructures et du désenclavement (MID), « Le réseau routier Burkinabè est estimé à 15 272 km dont ¼ bitumé. En ce qui concerne les pistes rurales, elles sont estimées à 46 000 km dont 12 000 km aménagées, le réseau routier subit de fortes dégradations.

En effet 25% des routes ont subi des dégradations avec un taux moyen de 60%. Vue l'étendu des dégradations, il est urgent de s'atteler à présenter des solutions durables et réalistes pour résoudre les problèmes de dégradations des routes au BURKINA FASO face à une population attendu à 60 million en 2050 [réf : MID]

Identification des perturbations routières présentes au BURKINA FASO

Les perturbations diverses trouvent leurs origines de plusieurs facteurs combinés. **Le tableau 1** présente les définitions et les causes des perturbations classées en quatre (04) catégories.

- **Les déformations**
- **Les fissures**
- **Les arrachements**
- **Les remontées**

Tableau 1 : Synthèse des perturbations rencontrées sur les chaussées.

CATÉGORIES	TYPE	DÉFINITIONS	CAUSES
déformations	Affaissements	Variation du niveau des profils	Épaisseur insuffisante de matériaux par endroit du corps de chaussée.
			Pollution du corps de chaussée ou des rives par remontée d'argiles par manque de drainage ou souvent inexistant.
			Affleurement de la nappe phréatique
	Flaches	Dépression des formes arrondies	Compactage insuffisant de la couche de roulement et de base en un point ponctuel
			Pollution du corps de chaussée et/ou drainage insuffisant.
	Bourrelets	Renflement visible à la surface de la chaussée	Fluage de l'enrobé au voisinage d'une flanche
			Zone de décélération brutale
			Température élevée de l'enrobé
	Empreintes	Impression de différence de niveau de la couche de roulement	Prolongement et répétition de temps de station des véhicules poids lourds
	Ornières	Déformation sous passage des essieux	Couche de roulement mal compacté
			Sous dimensionnement de l'assise
			Granularité peu adaptée
			Niveau proche de la surface de la nappe phréatique
			Portance du sol support douteuse
Fissures	fissures	Ligne de ruptures	Retrait de la couche de roulement
			Pas d'accrochage de la couche de roulement à la couche de base
	Faïençages	Fissuration maillée de la couche de roulement	Sous dimensionnement des couches inferieures
			Fatigue des couches d'assises
			Insuffisance de la couche de roulement
Arrachements	Desenrobage	Décollement du liant enrobant les matériaux	Attaque du liant par l'argile
			Action des infiltrations répétées d'eau de pluie
	Nid de poules	Cavité de forme arrondie crée par arrachement de matériaux	Évolution d'une flache
			Rupture du liant sous effet mécanique
			Drainage inexistant
	pelages	Décollement de la couche de roulement à certains endroits plus ou moins localisé	Contraintes trop élevées à la base de la couche de roulement
			Épaisseurs insuffisantes de la couche de roulement
	plumages		Arrachement des gravillons mal accrochés au moment de l'émulsion

CATÉGORIES	TYPE	DÉFINITIONS	CAUSES
		Arrachement des gravillons du revêtement	Rupture de liant sous actions mécaniques
			Enrobé de mauvaise qualité
Remontées	Remontée de liant (ressuage)	Zone localisée ou un excès de liant apparait en surface	Surdosage en liant
			Bitumage trop mou
			Températures élevées dans le revêtement
	Remontée d'eau	Apparition de zone humide à la surface de la chaussée	Évaporations intenses
			Présence de Nappe phréatique
			Drainage insuffisant
	Remontée de mortier	Séparation du mortier et du granulat descendu plus bas dans les couches inférieures	Excès de liant et de particules fines
			Températures trop élevées dans le revêtement

Réf : cours : enseignement de route page 18-20

La synthèse des perturbations routières développées nous amène à considérer comme causes probables, **le trafic**, **les conditions climatiques et environnementales**, **les techniques de dimensionnement des corps de chaussées** ainsi que **la qualité de mise en œuvre des matériaux.**

Le tableau 2 ci-dessous présente une vue de quelques dégradations présentées dans **le tableau 1**

Tableau 2 : Vue de quelques dégradations sur les chaussées

1-**Faïences**

2-**ornières Longitudinales**

3-**fissures en carrelage**

4- **fissures longitudinales**

5-**desenrobages et arrachements de revêtement**

6-**perte de revêtement**

Source : Wikipédia.com

Objectifs de l'étude

Notre étude se propose d'apporter des solutions aux manquements des structures de chaussées dans le pays des hommes intègres. Cette étude se présente sous forme de catalogue. Ce catalogue tiendra compte de la disponibilité de certains matériaux comme la latérite, les matériaux améliorés (graves ciments) car le pays est producteur de liant hydraulique (ciment) mais aussi des caractéristiques mécaniques et physiques (CBR, l'indice de plasticité, module de Young et coefficient de poisson) et enfin ledit catalogue tiendra compte des conditions de trafic les plus observés au BURKINA FASO.

Objectifs globaux

Les objectifs globaux au terme de cette étude sont :

Proposer des structures adaptées au BURKINA FASO ;

Il s'agit aussi au terme de cette étude de maitriser le comportement mécanique des matériaux routiers.

Objectifs Spécifiques

Éviter les sous-dimensionnements et les surdimensionnements ;

Faire des choix judicieux des paramètres de comportement des matériaux et des structures routiers.

Méthodologie de l'étude

Afin de réalise cette étude, une méthodologie de travail a été adoptée. Ainsi des études préliminaires seront effectuées afin de collecter les données nécessaires à la réalisation de du catalogue. Comme études préliminaires nous pouvons citer :

Les investigations géotechniques : Ces investigations ont pour but de déterminer et de caractériser les matériaux susceptibles d'être utilisé en couche routière. Elles permettront aussi de connaitre les structures de la chaussée existante au Burkina Faso et la classe de portance des sols de plate-forme en place.

Les études de pathologie routière : Ces études ont pour but de déterminer les perturbations que subissent les routes Burkinabè ainsi que leurs causes

Les études sur l'historique des méthodes de dimensionnement : Ces études ont pour but de mieux comprendre le fonctionnement de ces méthodes afin pour une meilleure adaptation de notre étude au contexte Burkinabè.

Les études hydrologique et hydraulique : Elles sont effectuées grâce aux différents plans de la zone de projet et avec le logiciel Global Mapper.

Le comptage de trafic : Le comptage permet de déterminer le nombre et le type de véhicules disponibles. Dans le cadre de notre étude, le comptage est issu des retours d'expérience du Bureau d'étude AGEIM-IC sur les multiples projets routiers réalisés depuis sa création.

CHAPITRE I. PRÉAMBULE

L'Object de ce chapitre est de présenter les roches susceptibles d'être utilisées en construction routière ainsi que l'hydrologie du BURKINA FASO

- **Objectifs du chapitre**

- ✓ **savoir quels est les roches routières en présence dans le pays des hommes intègres ;**
- ✓ **Connaitre l'hydrologie du BURKINA FASO.**

La route est une voie de communication, un espace aménagé pour assurer la circulation des différents moyens de transport. (Ing Marc COMBERE, Cours de voirie Licence 3ème année 2016 - 2IE)

On distingue deux types de voiries (SETRA, et al., Décembre 1994) : La Voirie à Réseaux Structurantes (VRS) qui présente des structures dont la durée de vie est supérieure ou égale à 20 ans et la voirie à Réseaux Non Structurantes (VRNS) qui propose des structures dont la durée de vie est inferieure a 20 ans. Cela influe particulièrement sur les précautions à prendre lors de la réalisation en ce qui concerne les infrastructures ou les réseaux enterrés existants et le choix du coefficient d'agressivité moyen du trafic.

Il est important de connaitre le sous-sol ainsi que la composition des roches qu'il contient. Cela tire toute son importance dans le choix des matériaux, la portance, les stratégies d'investissement, d'entretien des routes et enfin sur le drainage des chaussées.

I. GÉOLOGIE DU BURKINA FASO

L'étude de la morphologie rocheuse permet de distinguer une pénéplaine occupant la majeure partie du pays. Le relief y est homogène mais marqué par quelques collines résultant du massif précambrien. Dans sa partie inférieure, on retrouve du granite, du gneis consolidé qui ont subi des érosions continues depuis cette période. On retrouve aussi dans ce paysage des alignements de collines constituées de roches dures shisto-gressieuse ou quartz qui ont été épargnées par l'erosion. (Pierre LOMPO, 1980) .

II. LES ROCHES UTILISÉES EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE

* *Les roches dures*

Les tout-venants de concassage : employés en couche de base, elles doivent avoir une granulométrie continue. Le diamètre maximal des grains est limité à 40 mm ou 50 mm au plus. Le dépassement de cette limite entraîne des risques sérieux de ségrégation au déchargement ou à la mise en œuvre. Inversement, si le diamètre est en dessous de 30 mm, il y a risque de déformation de l'assise de la chaussée qui est d'autant plus importante que la dimension maximale des grains est faible et l'imprégnation est plus difficile à réaliser.

* *Les roches tendres*

Utilisées en fondation, ces roches sont parfois très vite altérées. Leur dégradation est plus accélérée lorsqu'elles sont employées pour la couche de roulement des routes en terre. Parmi les roches tendres on peut citer **les schistes et les grès.**

* *Les latérites*

Sol rougeâtre de la zone tropicale humide très riche en oxyde de fer et en alumine formé sous un climat chaud. Dans le cadre de la géologie, ces matériaux sont perçus comme des roches sédimentaires. Elles sont surtout de composition chimique siliceuse, alumineuse et ferrugineuse.

On distingue trois (03) trois catégories de ces sols :

- ✓ Les sols fins latéritiques ou latérite ;
- ✓ Les graveleux latéritiques, sols à concrétions ferrugineuses ;
- ✓ Les carapaces et cuirasses latéritiques.

La deuxième catégorie est la plus utilisée en construction routière au BURKINA FASO.

* *Les sables et sols fins*

Ces matériaux sont dépourvus de squelette et sont généralement utilisés dans les zones où il n'existe pas de matériaux graveleux.

Les sables à granularité étalée non plastique peuvent être utilisés en couche de fondation après simple compactage et en couche de base après stabilisation au bitume pur, au cut-back, à l'émulsion ou au ciment.

On peut faire des revêtements en sable enrobé, mais la formulation doit être étudiée pour éviter l'apparition rapide de désordres sérieux souvent sous forme de fissurations (longitudinales d'abord puis transversales).

* *Les argiles*

Ces matériaux sont caractérisés par leur couleur noire ou brune et par un phénomène de retrait très remarquable en saison sèche et une fissuration pouvant atteindre plusieurs centimètres de large et 1 mètre de profondeur (CODO, et al., 2000). Ces fissurent facilitent la pénétration de l'eau et dès les premières pluies, le sol non revêtu se transforme en boue liquide.

Elles constituent parfois la couche de fondation des chaussées revêtues. Quelques fois, les variations saisonnières de volumes peuvent entraîner des désordres sérieux. Pour combattre ces perturbations, il faut maintenir la teneur en eau aussi constante que possible (exemple : recouvrir les accotements avec un matériau à granularité fermée sous forte épaisseur. Lorsqu'elles constituent la couche de roulement, la chaussée est absolument impraticable après la pluie.

On peut remédier à cet état de chose en répandant des quantités très faibles, 2 à 3 cm, de latérite ou de matériaux non plastiques. Après malaxage sous l'effet de la circulation, on obtient un amaigrissement de la pellicule superficielle.

La figure 1 ci-dessous présente la carde du BURKINA FASO dans laquelle on retrouve la situation géographique des matériaux utilisées en construction routière.

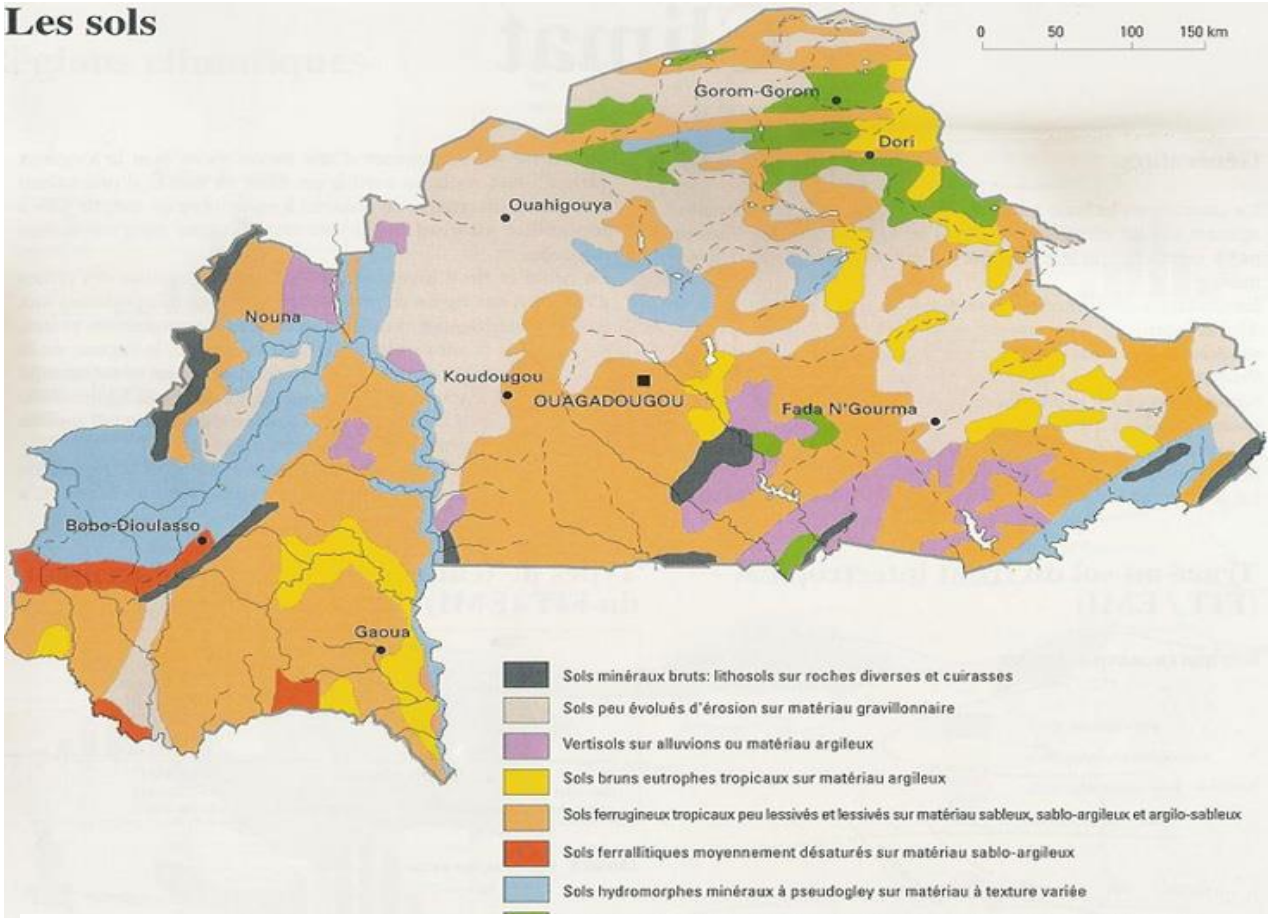


Figure 1 : Composition des sols du BURKINA FASO

Réf. : www.fluctifera.org

L'on s'aperçoit au vue de la **figure 1** présenté, que le BURKINA FASO regorge d'une grande diversité de roches exploitables dans la construction routière. Par contre, le pays ne possède pas d'estimation claire en ce qui concerne leurs volumes exploitables.

III. L'HYDROLOGIE

L'hydrologie Burkinabè est de type soudano sahélien caractérisé par deux (02) saisons : une saison sèche qui dure 8 mois environ ou souffle un vent chaud et sec en provenance du désert du Sahara et la saison des pluies qui dure environ 4 mois du mois de Juin à septembre où la pluviométrie atteint souvent 1 200mm. La majeure partie des eaux coulent vers le Ghana à travers trois bassins majeurs la Comoé, la volta et le Niger.

CHAPITRE II. FAMILLES DE CHAUSSÉES ET MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT

Dans ce chapitre, il s'agit de comprendre le fonctionnement des structures de chaussées et de proposer sans entrer dans les détails un aperçu des méthodes de dimensionnement routier.

- **Objectifs du chapitre**

✓ **Connaitre les structures de chaussées utilisées au BURKINA leurs fonctionnements et leurs modes de ruine.**

✓ **Savoir quels sont les méthodes existantes en matière de dimensionnement structurelle d'une route.**

I. LES FAMILLES DE CHAUSSÉES, FONCTIONNEMENT ET MODE DE RUINE

La chaussée est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules.

Elle désigne aussi l'ensemble des différentes parties empilées les unes sur les autres en vue de résister aux charges appliquées ou portées par la circulation et aux dégradations causées par les agents atmosphériques. La chaussée ne comprend pas les sur-largeurs qui supportent les bandes de guidage éventuelles qui font partie de l'accotement ou du terre-plein central.

Il existe une grande diversité de structures de chaussées que l'on classe en famille. On distingue :

- **Les chaussées souples**
  - ✓ Les chaussées à assise granulaire non traitée
  - ✓ Les chaussées à assise granulaire traitée au liant hydrocarboné.
- **Les chaussées semi rigides**
- **Les chaussées mixtes**

Seuls ces types de chaussées ci-haut citées seront étudiés car elles constituent la majeure partie des routes rencontrées au BURKINA FASO.

I.1 Les chaussées souples

C'est une chaussée à couche de surface hydrocarbonée dont la couche de base est non traitée ou traitée par un liant hydrocarboné.

* *Les chaussées souples à assise granulaire*

Cette structure possède en revêtement, une couverture en liant hydrocarboné relativement mince (inférieure à 12 cm), qui sera réduit en un simple enduit superficiel en trafic faible, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires traitées au liant hydrocarboné ou non. L'épaisseur de l'ensemble est généralement inferieure à 1m.

- **Les sollicitations dues aux trafics**

Les matériaux granulaires constitutifs de l'assise de la chaussée possèdent une faible rigidité, la dite rigidité de l'assise est donc influencée par celui du sol support. La couche de revêtement étant mince, les efforts verticaux dus aux trafics arrivent au sol support avec une faible diffusion latérale. Par leurs répétitions, les contraintes verticales créent des déformations de l'assise ou du sol support conduisant à une réaction de déformations permanentes en surface de la chaussée.

- **Influence des conditions environnementales**

La faible rigidité de ces structures les rend particulièrement sensibles aux variations hydriques qui se matérialisent généralement par la baisse de portance en saison hivernale.

- **Mode de ruine**

Dans un premier temps, on observe des déformations permanentes de type ornière et des affaissements. Les sollicitations permanentes de flexion détériorent la couche de surface créant des dégradations sous forme de fissures d'abord isolées puis évoluant peu à peu vers des faïençages .L'eau s'infiltre alors plus facilement et amplifie le phénomène. En second temps, des nids de poules apparaissent.

La figure suivante référencée **figure 2,** présente le mode de diffusion des contraintes des structures granulaires.

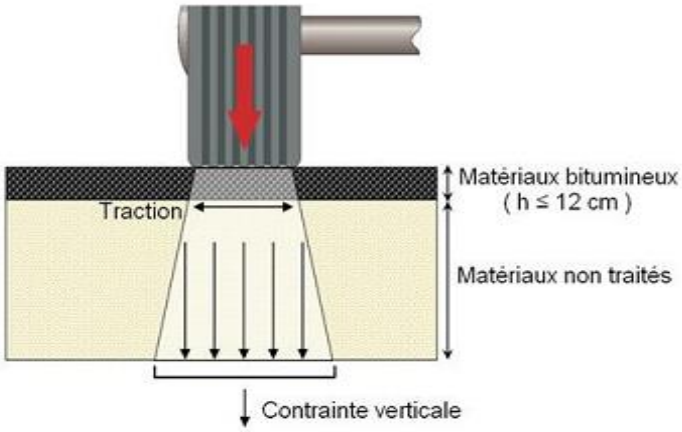


Figure 2: diffusion des contraintes des structures granulaires

Réf : Logiciel Alizé-LCPC Formation à l'utilisateur ITECH

* *Les chaussées à assise hydrocarbonée*

Composées d'une couche de revêtement en béton bitumineux, elles possèdent en revanche une assise en matériaux traités aux liants hydrocarbonés. L'épaisseur des couches varie de 15 à 40 cm.

- **Les sollicitations dues aux trafics**

La résistance due à la rigidité de ses matériaux d'assise atténue fortement les contraintes verticales transmises au sol support. En outre les efforts sont repris en traction-flexion par l'assise.

- **Influence des conditions environnementales**

Elles sont identiques à celles développées précédemment. Par contre la présence de béton bitumineux rend ses structures moins sensibles à l'eau.

- **Mode de ruine**

On peut observer en priori l'apparition des dégradations en surface puis des fissures longitudinales le long des traces des roues. Sans entretien adéquat, ses fissures évoluent en faïençage dont la dimension des mailles se réduit peu à peu surtout dans les zones de faible portance (sol support, zone de décallement de la couche de surface.)

L'eau s'infiltre plus facilement dans le corps de chaussée causant l'attrition des lèvres des fissures, des départs de matériaux et des formations de nids de poules.

La figure suivante référencée **figure 3**, présente le mode de diffusion des contraintes des structures bitumineuses.

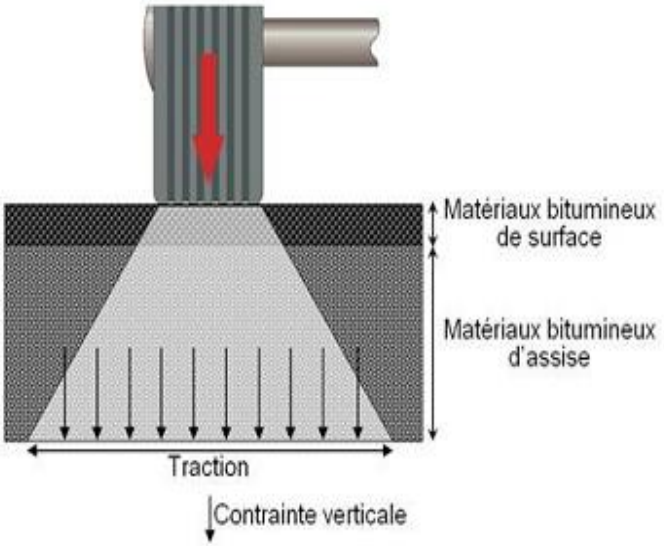


Figure 3: diffusion des contraintes des structures bitumineuses

Réf : Logiciel Alizé-LCPC Formation à l'utilisateur ITECH

I.2 Les chaussées semi rigides

ce type présente une couche de surface en matériaux bitumineux et en couche d'assise des matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une ou deux couches constituant la base et éventuellement la fondation, l'épaisseur de l'assise n'excédant pas généralement 50cm.

- **Les sollicitations dues aux trafics**

Elles offrent une grande rigidité à la structure en encaissant les contraintes verticales. Par contre, elles subissent des contraintes de tractions-flexions qui s'avèrent déterminant pour le dimensionnement de ce type de chaussée.

- **Influence des conditions environnementales**

Ces matériaux sont marqués par des retraits thermiques et de prises provoquant des fissures transversales. Sans dispositifs constructifs particuliers, les fissures remontent et contaminent la couche de roulement. Leur ouverture varie entre quelques dixièmes à quelques millimètres avec des espacements de 5 à 15 cm. Le trafic élevé à proximité des fissures crée une augmentation des contraintes transversales par rapport à la valeur observée pour un milieu continu. En conséquence, des infiltrations d'eaux causant des dégâts :

- Aux interfaces, avec des diminutions de la qualité du collage et de la partie supérieure de l'assise, une augmentation de l'allongement à la base de la couverture bitumineuse, une augmentation des contraintes de traction à la base des couches traitées.
- Sur le transfert de charge entre les lèvres de la fissure avec une attrition favorisée, une augmentation de la contrainte transversale de traction à la base des couches traitées et de la contrainte verticale sur le sol de chaussée.

- **Mode de ruine**

Dans les années 60, la couverture bitumineuse en assise de chaussée était relativement mince et perméable. Ceci combiné à la mauvaise réalisation (compactage médiocre) provoquait des remontés de boues dues à l'écoulement des eaux en saison hivernale. Ces dégradations évoluent très vite en flaches avec des faïençages puis en nids de poules. Avec les nouvelles méthodes d'exécution, une plus grande attention portée à la qualité de la couche de surface de l'assise, une meilleure protection par augmentation de l'épaisseur de la couche d'assise, l'on arrive à limiter considérablement le phénomène de remontée de boue. En ce qui concerne les fissures de retraites, des procédés ont été mises au point pour les contrôler. (Pré-fissuration des couches d'assises) et ralentir la remontée des fissures à travers la couche de roulement complexes « anti-fissures »

La figure suivante référencée **figure 4**, présente le mode de diffusion des contraintes des structures semi rigides.

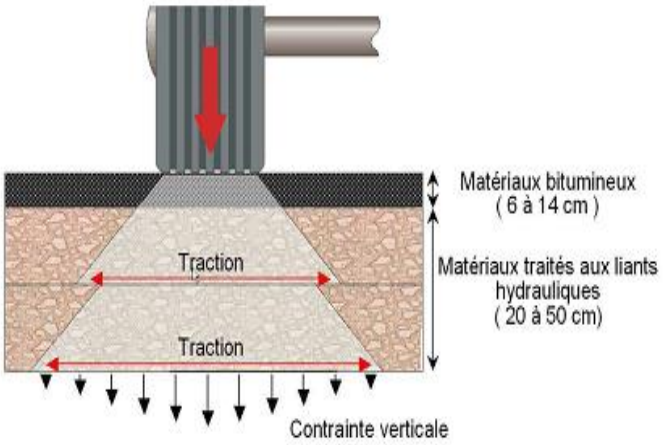


Figure 4 : diffusion des contraintes des structures semi rigides

Réf : Logiciel Alizé-LCPC Formation à l'utilisateur ITECH

I.3 Les chaussées mixtes

Elles sont constituées d'une couche de surface et d'une couche de base en matériaux bitumineux (l'épaisseur de la base inférieure à 15 cm) sur éventuellement une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques de l'ordre de 20 à 50 cm.

- **Sollicitations dues au trafic**

Les couches restent adhérentes dans un premier temps. La couche bitumineuse reste peu sollicitée en traction (sauf à l'approche des zones près de fissures transversales présentes dans les couches traitées aux liants hydrauliques.) Par contre la base de la couche MTLH est sollicitée en flexion.

Par la suite des mouvements de dilatation différentielle entre la grave bitume et la grave traitée aux liants hydrauliques combinés de l'action du trafic, l'adhérence de ces couches peut finir par se rompre dans certaines zones. Ceci entraine une forte augmentation des contraintes de tractions dans la couche de grave bitume qui peut alors périr à son tour.

- **Influence des conditions d'environnement**

La couche de MTLH est sujette à de retraits thermiques et de prises[1] provoquant des fissures transversales. Cependant la couche bitumineuse assure l'atténuation des variations de températures journalières. L'effet du trafic et des températures contribue à propager les fissures dans la couche bitumineuse (l'épaisseur de cette couche réduit les facteurs d'intensités de contraintes.)

- **Mode de ruine**

On constate un comportement satisfaisant dans l'ensemble pour les structures élaborées selon les règles du catalogue de structures neuves de 1977. Les fissurations sont rares voire exceptionnelles. Les fissures transversales des couches bitumineuses, peu denses et fines, nécessitent cependant un entretien pour éviter l'accélération par les entrées d'eaux. De plus, sur des sols de mauvaise portance et lorsque l'épaisseur et la qualité des graves traitées aux liants hydrauliques étaient insuffisantes, on a pu constater des flaches de grandes dimensions conduisant à un faïençage des couches bitumineuses.

La figure suivante référencée **figure 5,** présente le mode de diffusion des contraintes des structures mixtes.

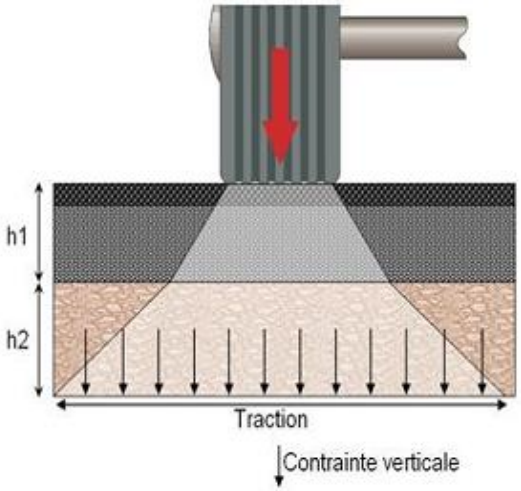


Figure 5 : diffusion des contraintes des structures mixtes

Réf : Logiciel Alizé-LCPC Formation à l'utilisateur ITECH

[1] Phénomène causé par l'évaporation rapide ou le gel de l'eau des MTLH sous température extrême.

En somme, l'analyse des différentes structures faites dans ce chapitre nous amène aux conclusions suivantes :

Les couches d'assise non traitée ou granulaire a pour principale dégradation: les ornières qui sont dues aux déformations verticale irréversible des matériaux non traités (ε_z en haut des des matériaux non traités).

Quant aux couches d'assises améliorées aux liants hydrauliques, le principale problème est : les fissurations par traction-flexion des matériaux traités aux liants hydrauliques (σ_t en bas des des matériaux traités)

Par contre, ceux dont l'assise accuse la présence de matériaux granulaires traités au liant hydrocarbonés a pour principale dégradation : les fissurations par traction-Flexion des matériaux bitumineux « εt » à la base des matériaux bitumineux)

Notre dimensionnement visera à éviter ces problèmes spécifiques à chaque type de couches

II. APERÇU DES MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement routier consiste en langage simple à déterminer les épaisseurs et la qualité des matériaux routiers afin de s'assurer que les contraintes et les déformations induites par les sollicitations susceptibles de détruire la structure de chaussée, restent inférieures à des proportions raisonnables. Pour la réalisation des différentes structures de route, plusieurs modèles de dimensionnement ont été élaborés suivant deux approches.

II.1. L'approche empirique

Cette approche est basée sur l'observation sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales et le suivi de leurs évolutions dans le temps afin d'établir une corrélation entre la durée de vie de la structure et les observations (géométrie, natures des matériaux, trafic, l'état global de la chaussée). Elle a permis de tirer des informations des actions combinées (charge du trafic, sollicitations thermiques sur la structure de chaussée et leurs comportements à long terme).
On retrouve dans cette approche, les méthodes suivantes :

- *Méthode CBR (Californian Bearing Radio ou Indice Portant californien)*

Cette méthode permet d'obtenir l'épaisseur totale de la chaussée en fonction de la portance de la plate-forme.

- *Méthode du CEBTP (Centre Expérimentale de recherche et d'Étude du Bâtiment et des Travaux Publics)*

En général, ces travaux se présentent sous forme de guide ex : (CEBTP, 1980) présentant des tableaux qui permettent le choix des épaisseurs des couches de chaussées ainsi que les matériaux (granulaires ou traits) en fonction du trafic et du CBR du sol de plate-forme.

- *La méthode du TRRL (Transport Road Reseach Laboratory)*

Elle s'appuie sur celle du CBR. Elle est issue de l'observation des chaussées britanniques sur une durée de 15 ans. Ces abaques fixent l'épaisseur de la couche de revêtement et de la base en concassé en fonction du trafic et celle de la fondation et de la plate-forme support en fonction de CBR de la plate-forme.

II.2. L'approche théorique ou rationnelle

Cette approche propose un modèle mathématique représentant le mieux possible le comportement de la structure de chaussée. On a dans cette approche, le modèle de boussinesq, bicouche, de hoog, westergraad et le modèle multicouche de busmister.

La figure cis-bas référencée **figure 6**, illustre le principe du modèle Bicouche avec **E** : module de déformation du matériaux et **V** : coefficient de poisson $\boldsymbol{\sigma_{t,s}}$ respectivement les contraintes tangentielles et verticales.

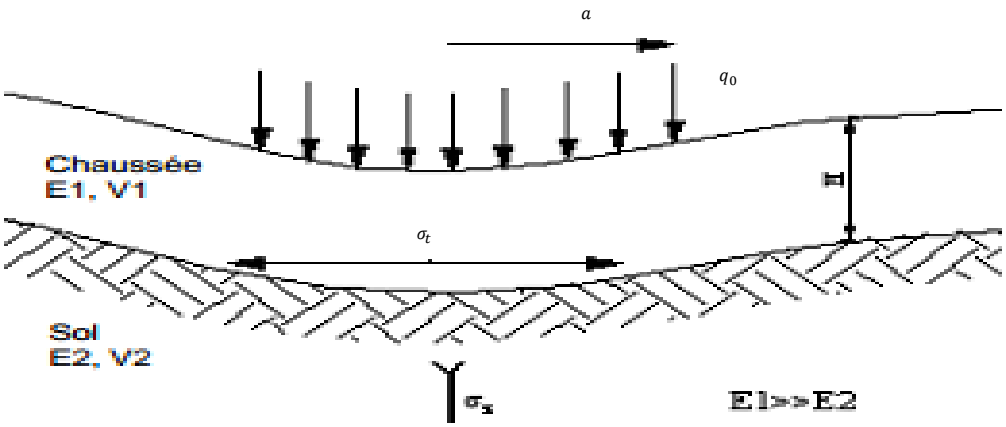


Figure 6 : Illustration du modèle Bicouche

Réf. : (Ousmane MBOGJI, 2002-2003)

- *Le modèle de Boussinesq (1885)*

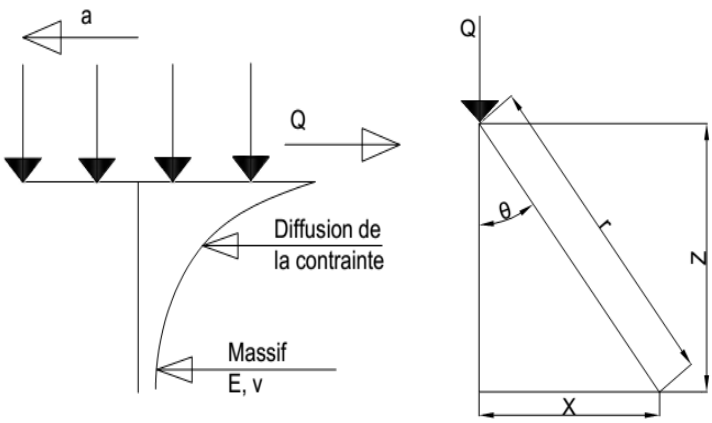
Il modélise un massif élastique semi-fini soumis à l'action d'une charge statique ponctuelle.

La déformation σ_Z est donnée par la formule $\sigma_Z = \frac{3Q}{2\pi} \cos\theta^5$ avec q : pression de la pneumatique z : la profondeur et θ : l'angle de diffusion des sollicitations

Lorsqu'on est en présence de matériaux améliorés aux liants hydrauliques, des contraintes de tractions apparaissent à la base des couches traitées voire (*mode de ruine des structures traitées*). Le model de Boussinesq se retrouve limité. Alors il faut faire appel à la méthode bicouche qui permet de vérifier les contraintes à surface de ces matériaux traités.

Ainsi donc il faut vérifier que : $\sigma_z \leq \sigma_z$ Admissible et $\sigma_t \leq \sigma_t$ Admissible. Avec σ_z: contrainte verticale et σ_t contrainte horizontale.

La figure cis-bas référencée **figure 7**, illustre le principe du modèle de Boussinesq.



Avec

θ : angle de diffusion

Z: profondeur d'influence.

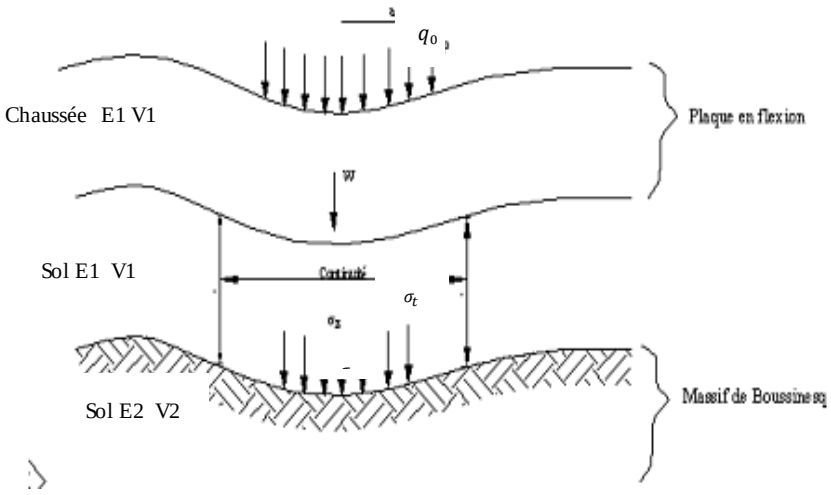
Figure 7 : Diffusion des contraintes selon Boussinesq

Réf. : (sandoumbé THIAW, 2005-2006)

- *Le modèle bicouche de hogg (1938)*

Modèle donnant les contraintes et déformations des chaussées. Il assimile ces derniers à une plaque reposant sur un massif élastique semi-infini satisfaisant à l'équation de Lagrange :

La figure cis-bas référencée **figure 8**, illustre le principe du modèle de Hogg.



Avec D x D^2w = p et

D $=\frac{E1\,H^3}{12(1-V_1{}^2)}$ est un facteur de rigidité, W la déflexion

$$\boldsymbol{D^2 w = \frac{\sigma_Z - q_0}{D}}$$

Figure 8 : diffusion des contraintes selon Hogg

Réf. : (sandoumbé THIAW, 2005-2006)

- *Le modèle de westergaard (1926)*

Ce modèle donne les contraintes et déformations d'un système constitué d'une plaque reposant sur un sol assimilable à un ensemble de ressorts dont le déplacement vertical en un point donné est proportionnel à la pression verticale en ce point.

La figure cis-bas référencée **figure 8**, illustre le principe du modèle de Westergaard.

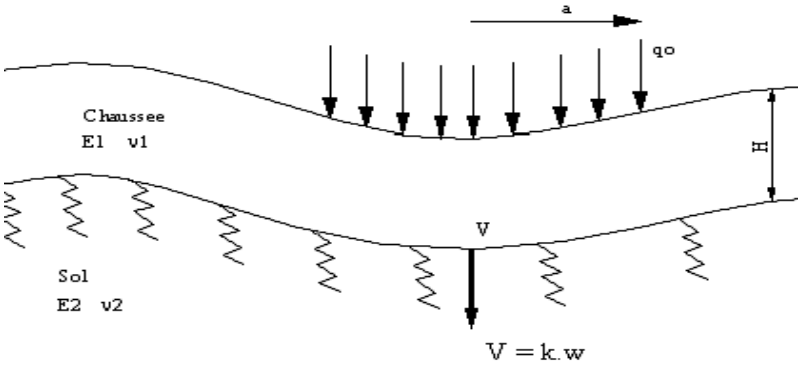


Figure 9 : diffusion des contraintes selon Westergaard

Réf. : (sandoumbé THIAW, 2005-2006)

Avec

$$\sigma_t = \frac{P}{H^2}\, c\, \left(\frac{I}{a}\right) \text{ avec } I = \sqrt[4]{\frac{D}{K}} = \sqrt[4]{\frac{E_1\, x\, H^3}{p(1-v1)xk}}$$

Avec p : $\pi x q_{0x}$ a : Charge par roue et

D le facteur de rigidité **D :** $\frac{1+V}{2\pi}.F\left(\frac{E_1}{E_2}.\frac{H^3}{a^3}\right)$

V = K.W et K : Module de réaction du sol support.

- *Le modèle Multicouches de Busmister en 1943.*

Après une première étude sur les bicouches qui lui a permis d'apprécier le rôle de l'épaisseur et l'influence du rapport entre module et rayon de chargement, Busmister a développé le cas du modèle à plusieurs couches. Les couches sont considérées comme des solides élastiques. Les Interfaces des couches peuvent être soient collées soit glissantes. Le cas des charges multiples peut être appliqué en additionnant les effets de charges élémentaires. Afin d'analyser les réponses à la méthode (déplacements et Contraintes), Busmister s'est servi de la théorie de l'élasticité et l'hypothèse de la symétrie de révolution de chargement.

La figure cis-bas référencée **figure 10**, illustre le principe du modèle de Busmister.

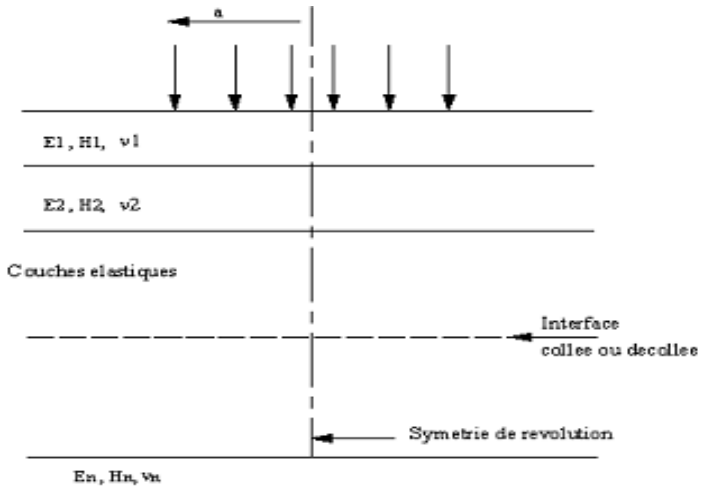


Figure 10 : diffusion des contraintes selon Busmister

Réf. : (sandoumbé THIAW, 2005-2006)

Les transformations de Hankel ont facilité la résolution des équations du problème d'élasticité en coordonnées cylindriques. Les formules sont généralisées pour plusieurs couches. Ce qui devient fastidieux car pour un point donné, il faut 4n fonctions en ce point et on déduit les valeurs des contraintes (O"z) i et des déformations (w), C'est avec le développement de l'outil informatique que ce modèle est maintenant plus accessible et est le plus utilisé en modélisation de chaussée au BURKINA FASO. Les logiciels de calcul permettant de résoudre ce modèle sont: Alizé3® du LCPC, Ecoroute® de l'ENPC, Bistro de Shell et Chev de Chevron.

II.3. Autres approches : Les catalogues et les méthodes forfaitaires

Certains pays essayent d'élaborer leurs propres catalogues en fonction de ses réalités. On distingue essentiellement deux principes de la méthode.

Le dimensionnement visant à éviter le poinçonnement de la plate-forme support pour les matériaux non rigides.

Il s'agit de vérifier que la déformation verticale calculée reste Inférieure au seuil admissible. Les épaisseurs sont contrôlées par la portance du sol support et du trafic.

Pour les structures comportant des couches susceptibles de se rigidifier, la vérification au poinçonnement est insuffisante, il convient aussi de vérifier que la contrainte tangentielle théorique à la surface des couches reste acceptable.

- *Le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux* élaboré par le CEBTP, il fournit des fiches de dimensionnement basées sur la portance CBR des sols de plate-forme, déterminée après une durée d'imbibition variant entre 0 à 7jours, et pour des sols dont la teneur en eau naturelle variant en fonction de la zone d'étude. Il donne aussi des recommandations sur le choix et la mise en œuvre des matériaux

- *Le manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic*. Il décrit une méthode qui a été développée en France pour s'appliquer à des chaussées devant supporter des trafics inferieurs à 150 poids lourds par jours dans un sens de circulation.

- *Le catalogue des structures types de chaussées neuves*

  Il semble mieux adapté aux contextes économiques, climatiques et techniques des pays européens et aux méthodes de constructions qui y sont pratiquées. Il sera préférable dans les zones tropicales et désertiques de considérer ces autres catalogues précités.

Au vue de ce qui a été développé dans cette partie, Nous constatons que chaque approche présente des avantages et inconvénients résumés dans le **tableau 3** :

Tableau 3 : Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement

Méthode	**Avantages**	**Inconvénients**
Empirique	* facilité de calcul	Les résultats des analyses ne peuvent pas être généralisés car ne s'appliquant qu'aux matériaux étudiés, aux conditions d'environnement de l'expérience et aux sols supports rencontrés
Rationnelle	* Minimise les erreurs * Prise en compte des compositions réelles du Trafic et des matériaux locaux. * Adaptation aux différentes conditions environnementales et climatiques	Base théorique donc aucune certitude pratique

CHAPITRE III. FONDEMENT DE LA MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT RATIONNELLE DES CHAUSSÉES

Le thème de l'étude étant le dimensionnement structurel des chaussées avec la méthode rationnelle, il s'agit dans ce chapitre de porter dans un premier temps des définitions claires et le mode de fonctionnement des composants des structures routières. Dans un second temps, il s'agit de présenter le principe essentiel de la méthode rationnelle.

- **Objectifs du chapitre**

✓ **Connaitre les composant des structures routières ainsi que leurs utilités ;**

✓ **Savoir quels sont les données indispensables à la méthode rationnelle.**

I. GÉNÉRALITÉS

I.1 Définition de la chaussée

La chaussée se présente comme une superposition de couches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme et constitué du sol support de chaussée surmonté éventuellement d'une couche appelée forme. (Voir **figure 11** ci-dessous)

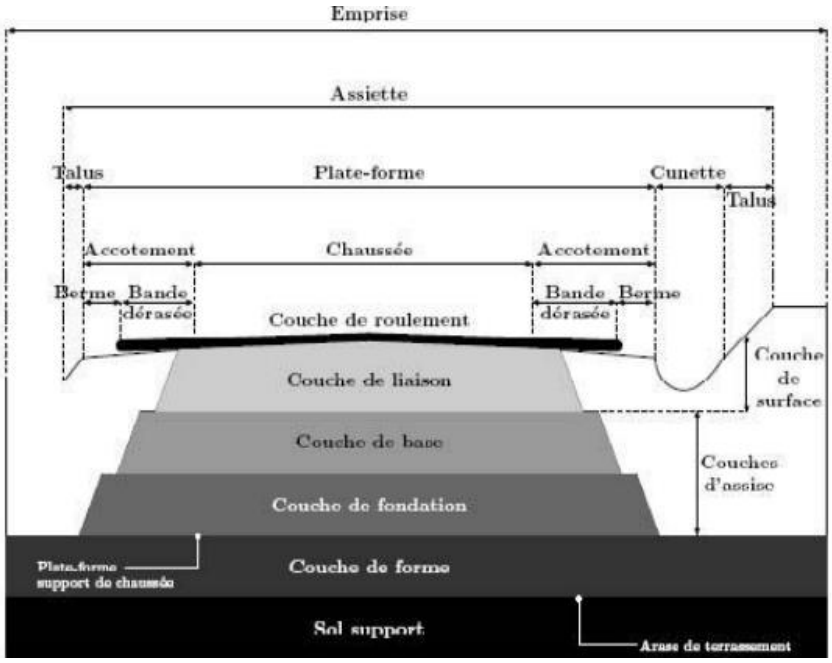


Figure 11 : terminologie de la Chaussée

Réf. : Ing Marc COMBERE, Cours de voirie Licence 3ème année 2016 - 2IE

I.2 Descriptif des couches de chaussées

✓ *La couche de surface*

La couche de surface est constituée de :

La couche de roulement qui est la partie supérieure en contact direct de l'action conjuguée du trafic et du climat et la couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assises. C'est dans cette partie que l'on retrouve les dispositifs anti remontés d'eau et/ou des fissures des couches sous-jacentes.

La nature de la couche de surface dépend de la qualité d'usage de la chaussée. De ce fait, en trafic élevé, on retrouve des matériaux bitumineux contribuant à la résistance mécanique et en trafic faible, cette couche sera réduite à un simple enduit superficiel jouant le rôle de couche d'étanchéité. Mais pour des raisons de confort, on peut être amené à faire le choix d'une couche de roulement en béton bitumineux en trafic faible.

✓ *Les couches d'assises*

Les couches d'assises sont généralement composées de la couche de fondation surmontée de la couche de base. Elles sont continuées de matériaux granulaires en trafic faible et de matériaux élaborés en trafic élevé. Ces couches apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles repartissent les pressions sur la plate-forme support afin de limiter les déformations à ce niveau à des limites acceptables.

Il est important de signaler que dans certains cas, le rôle de la couche de base peut être assuré par un traitement du sol en place.

✓ *Couche de forme*

La couche de forme est la couche de transition entre le sol support et le corps de la chaussée. De ce fait elle doit posséder certaines qualités.

À court terme : elle doit être suffisamment indéformable pour permettre le compactage des différentes couches supérieures et le déplacement des engins de terrassements. Donc sa

portance à court terme doit être suffisante. Si celui-ci est insuffisant une amélioration sera nécessaire.

À long terme : Elle doit être bien drainée pour que sa portance ne chute pas par ré-imbibition car le dimensionnement de la chaussée s'effectue avec la portance à long terme (portance sous chaussée en service) constitué par le sol terrassé et éventuellement de la couche de forme.

II. PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT

La méthode rationnelle française combine deux (02) apports à savoir :

- ✓ **L'analyse mécanique :**

Pour l'élaboration du modèle mathématique de la structure et le calcul des sollicitations engendrées par les charges standards.

- ✓ **Les éléments expérimentaux**

* **Les essais aux laboratoires** : les résultats des essais aux laboratoires permettent d'apprécier les résistances en fatigue de la structure de chaussée en tenant compte des hypothèses mécaniques.

* **Les observations sur des chaussées réelles**: les analyses faites sur des chaussées réelles (déformations vis à vis du sol support, contraintes surfaciques des assises composites et de la couche de roulement) permettent d'apprécier les écarts afin d'apporter des corrections au modèle en intégrant d'autres facteurs aux hypothèses.

De cette manière, on tient compte d'une part, de l'effet de la modélisation mathématique car elle ne peut prétendre à elle seule caractériser le comportement des structures du fait des simplifications faites et d'autre part, les problèmes d'écarts de représentativité des échantillons de laboratoires peuvent biaiser les résultats obtenus.

II.1. Les paramètres essentielles au dimensionnement

Les facteurs à considérer pour le dimensionnement de la structure sont les suivants :

Le trafic

Les chaussées sont dimensionnées vis-à-vis du trafic poids lourds. La méthode de calcul implique la conversion en un nombre cumulé NE de passages d'essieux de référence.

L'essieu de référence : Jumelage standard français de 13t.

Les données climatiques et hydrologiques

La température et la pluviométrie influent sur le comportement des différents types de chaussées.

Pour les matériaux bitumineux, la température influe sur la caractéristique mécanique (baisse du module de déformation). Pour les structures rigides, le gradient de température provoque des déformations et des infiltrations d'eau pour les structures souples en matériaux granulaires

La portance du sol support

La caractérisation du sol support et le choix des matériaux utilisables pour la couche de forme tire toute son importance dans le faite que celui-ci constitue le socle ou se repose les différentes couches. Plusieurs études ont été menées pour mieux appréhender sa compréhension et son utilisation ex : le guide technique Réalisation des remblais et des couches de forme publiée en 1992. Pour le dimensionnement des structures de chaussées, en général le sol support est décrit par son module de Young considéré comme représentative de son état hydrique le plus défavorable. Dans la mesure où le drainage constitue un facteur de décision sur le Choix des matériaux de forme, son influence sur la portance est prise en compte au niveau du module affecté au support.

II.2. Le caractère probabiliste du dimensionnement

Si la caractérisation mécanique des matériaux et la maitrise des techniques de mise en œuvre permet de limiter les incertitudes, certaines variables comme le développement de

l'endommagement par fatigue gardent dans une certaine mesure un caractère aléatoire. À cet aspect s'ajoute la variabilité des épaisseurs des couches réalisées au chantier, les paramètres environnementaux et le trafic varient au cours de la durée de vie de la chaussée sans qu'il soit possible d'en faire une prévision précise.

II.3. Durée théorique initiale et le risque de calcul

La notion de durée théorique exprime le temps de fonctionnement de la chaussée sans qu'un entretien affectant la structure ne lui soit nécessaire. Cette notion est difficile à appréhender car les dégradations ne se font pas de manière homogène du fait de la variabilité des sols supports le long des tracées.

On calcule donc la probabilité d'apparition d'une perturbation (d'une nature ou d'une amplitude donnée) avant une période de « N » années soit inférieure à la valeur fixée.

Le guide technique de dimensionnement des structures de chaussées définie la durée initiale comme suit : la probabilité de rupture est appelée « risque de calcul » et la période de durée de **n** années la « durée initiale ». De ce fait, le risque de calcul se définit comme la probabilité d'apparition au cours des n années des désordres impliquant un renforcement de la structure de la chaussée à l'absence de tous travaux d'entretien de la chaussée.

II.4. Détermination des sollicitations

On détermine les sollicitations à partir des caractéristiques du comportement en fatigue des matériaux sous trafic cumulé et du risque de calcul. Des coefficients d'ajustement ou de calage seront rajoutés pour les structures présentant des couches pour tenir compte des écarts entre les prédictions tirées de la démarche de calcul et les observations du comportement des chaussées existantes.

Les écarts de variation du comportement mécanique des matériaux de structure étant maintenant maitrisés et limités à des proportions relativement faibles du fait de l'évolution de la technologie de leurs élaborations, les seuls variables à considérer pour rendre compte de la variabilité des apparitions des désordres et leurs développements sont : **Les résultats des essais aux laboratoires et les épaisseurs des couches.** Dans notre étude, seules les épaisseurs seront considérées pour rendre compte de ces variations.

II.5. Définition des épaisseurs des couches

La détermination des épaisseurs des couches est effectuée afin de remplir des conditions bien précises mais non à l'abondance des matériaux. Donc c'est pas parce qu'on dispose d'un matériau en quantité et qualité suffisante qu'on l'utilise à notre guise. Il faut penser aux générations futures. Les conditions de mise en œuvre des épaisseurs sont les suivantes :

- ✓ Tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseurs minimales et maximales. Cela est primordial pour un bon compactage de ces matériaux.

- ✓ Minimiser le nombre d'interface afin de réduire les risques de défaut à ce niveau
- ✓ D'assurer une protection suffisante des assises traitées pour limiter les remontées de fissures dont le modèle mécanique ne tient pas compte directement.

Ce chapitre a apporté des définitions claires et le rôle des parties d'une structure de chaussées. Il nous renseigne aussi sur le mécanisme d'élaboration des structures de chaussées avec la méthode rationnelle.

Le chapitre suivant a pour objectifs spécifiques : **l'établissement des bases pour le Burkina Faso en particulier en fonction des retours de comportement des chaussées existantes vis-à-vis des conditions climatiques et environnementales, des nouvelles caractérisations des matériaux plus précis et une estimation du trafic.**

CHAPITRE IV. HYPOTHÈSES DE CALCULES

Plusieurs paramètres sont à étudier afin de rendre la méthode plus adaptée au contexte Burkinabè.

Ce chapitre traite des données nécessaires à l'application de la méthode de dimensionnement type rationnel au BURKINA FASO. La méthode dont nous nous inspirons est celui de Busmister élaboré en 1943.

Objectifs du chapitre

- ✓ **Présenter les hypothèses générales aux structures routières ;**
- ✓ **Présenter les hypothèses intrinsèques à chaque structure considérée.**

I. HYPOTHÈSES GÉNÉRALES

Ces hypothèses restent valables quel que soit le matériau à utiliser.

- ✓ Les matériaux faisant l'objet de notre étude, obéissent aux principes fondamentaux de la mécanique en milieu continue c'est-à-dire continue homogène[2], isotrope[3] avec des conditions aux limites latérales négligeables[4].
- ✓ Les interfaces des couches sont collées ou glissantes selon les matériaux utilisés.
- ✓ Le module des matériaux améliorés au liant hydrocarboné varie en fonction de la température.
- ✓ Les Interfaces sont supposées tous collées
- ✓ Les matériaux sont représentés par leurs modules de Young (E) et leurs coefficients de poisson (γ)

[2]Dans une couche, les matériaux sont de même nature.

[3] Les matériaux gardent les mêmes propriétés quel que soit la direction.

[4] Seules les charges sont prises en compte. Aucun apport latéral.

Pour représenter l'endommagement par fatigue des matériaux améliorés, on a besoin de :

* ε_6 : Déformation
* b : pente de la loi de fatigue.
* $\varepsilon/\varepsilon_6 = (N/10^6)$ réf. (SETRA, et al., Décembre 1994)

II. CLASSE DE ROUTE

L'étude se portera sur la voirie à réseaux non structurantes (VRNS)

Justificatifs : nous nous intéressons à la voirie à réseau non structurante (VRNS) c'est-à-dire que nous ne tenons pas compte des réseaux enterrés qui pourraient subsister sur le tracé de la route. Le choix du coefficient d'agressivité du trafic et du risque de calcul développé sur le tableau qui suit référencé **tableau 4** découle de cette hypothèse.

Tableau 4 : Risque de trafic en fonction des classes trafic LCPC.

Classe du trafic (Limite des classes en millions de véhicules de (PL)								
VRS	[0 -0.5 [	[0.5 – 1 [	[1 – 3 [	[3 – 6 [	[6 – 14 [	[14 – 38 [	[38 – 94 [	[94..
VRNS	[0 - 0.2 [	[0.2- 0.5 [	[0.5 - 1.5 [	[1.5 - 2.5 [	[2.5 - 6.5 [	[6.5 - 17.5 [	[17.5 - 43.5 [	[43.5..
Risque associé au trafic								
Mat Bitumineux	-	30%	18%	10%	5%	2%	1%	1%
Mtlh et béton	-	12.5%	10%	7.5%	5%	2.5%	1%	1%
Fondation struct. mixte	-	50%	35%	20%	10%	3%	2%	1%

III. VALEUR DES COEFFICIENTS D'AGRESSIVITÉ PL

Les valeurs indicatives des coefficients d'agressivité du trafic sont regroupées dans **le tableau 5.**

Tableau 5 : Coefficient d'agressivité du trafic PL en fonction du type de voirie en présence Selon le catalogue CEBTP 1998

CAM du Trafic		
Structure	***VRS***	***VRNS***
Bitumineuse et inverse	0.8	0.5
GNT/GNT	1	1
Mixte	1.2	0.8
Semi rigide et béton	1.3	0.8

IV. DURÉE DE SERVICE THÉORIQUE DE LA STRUCTURE

Définition: voire [principes *de la méthode de dimensionnement/la durée* initiale et le risque de calcul].

Choix : La durée de service théorique de la structure de chaussée est de 15 ans

Justificatifs : hypothèse du guide (CEBTP, 1980 page 22)

V. LE TRAFIC

La chaussée est dimensionnée vis-à-vis du trafic poids lourds (SETRA, et al., Décembre 1994). Il est donc important d'estimer le trafic en place sur celui projeté, de prévoir leur évolution ainsi que leur composition. Pour se faire, l'on passe généralement par un comptage afin de connaitre la classe de trafic (Ti) **à la date de mise en service de la chaussée.**

Le guide (CEBTP, 1980 pp. pages : 23-25) fixe la classe de trafic en fonction de plusieurs degrés de précision des données disponibles, Ce sont :

- **Le trafic en nombre de véhicules par jour** : Il considère le trafic moyen journalier sur une durée de l'ordre de 15 ans, toute classe de véhicule incluse. Le Pourcentage de poids lourds (PL) est supposé de l'ordre de 30%.
- **Le trafic en nombre de passage d'essieu standard** : Il se propose d'exploiter la formule d'équivalence Liddle des essais AASHO. Chaque essieu vaut : $c = (\frac{P}{8.2})^{\propto}$ avec $4<\propto<8$.
- **Le trafic en nombre cumulé de poids lourd** : Il considère uniquement le nombre cumulé des véhicules de charge total > 3t.

Chaque méthode d'estimation présente des avantages et des inconvénients développés dans le tableau 6 ci-dessous :

Tableau 6 : avantage et inconvénient des méthodes d'estimation du trafic

Mode d'estimation	Avantages	Inconvénients
Trafic en Nombre de véhicules par jour	Données faciles à collecter (service du transport)	Tiens compte de l'ensemble du parc automobile
Le trafic en nombre de passage d'essieu standard	Permet d'obtenir le trafic cumulé quel que soit la référence.	Suppose à la mise en place d'une station de pesage Coefficient c de Liddle à actualiser
Le trafic en nombre cumulé de poids lourds	Ne tiens compte que du trafic en PL.	Même inconvénients cités précédemment

Choix de la méthode : La méthode d'estimation du trafic sera celle du trafic en nombre cumulé NE de passage d'essieux de référence 13 tonnes. Le trafic cumulé est déterminé à partir des formules référencé dans le tableau suivantes :

Tableau 7 : formules d'estimation du trafic cumulé

Type de trafic	croissance exponentiel	croissance linéaire
Trafic initial	$T_n = T_1 (1+i)^{n-1}$	$T_n = T_1 [1+ (n-1) i]$
Trafic Cumulé	$365 \times \sum_1^N T_n = 365 \times T_n [\frac{(1+i)^N-1}{i}]$	$365 \times \sum_1^N T_n = 365 \times N T_1 [\frac{2+(N-1) i}{2}]$

Répartition du trafic sur l'itinéraire :

- Route ≤ 7m prendre en compte l'ensemble du trafic dans les deux sens de circulation
- Route > 7m ou voies unidirectionnelle, prendre en compte le trafic dans les sens le plus chargé.

Avec : $\mathbf{T_1}$**:** Trafic moyen journalier à l'année de comptage ; « **n** » : durée de construction de la route ; $\mathbf{T_n}$ **:** Trafic moyen journalier par sens à l'année de mise en circulation ; « **N** » : nombre d'année (durée de service) à partir de la mise en circulation.

Les classes de trafic cumulé retenues sont listés dans le tableau suivant référencé **tableau** 8:

Tableau 8 : classe de trafic cumulé et superposition au trafic CEBTP

Niveau	Classe de trafic retenue en nombre cumulé du trafic	Classification (CEBTP, 1980)
Trafic faible	$5{,}0\ 10^5 \leq \mathbf{T1_A} < 1{,}0\ .10^6$	$\mathbf{5{,}0\ .10^5 \leq T2 < 1{,}5\ .10^6}$
	$1{,}0\ .10^6 \leq \mathbf{T1_B} < 1{,}5\ .10^6$	
Trafic Moyen	$1{,}5\ .10^6 \leq \mathbf{T2_A} < 2{,}75.\ 10^6$	$\mathbf{1{,}5\ .10^6 \leq T3 < 4{,}0\ .10^6}$
	$2{,}75\ .10^6 \leq \mathbf{T2_B} < 4{,}0.\ 10^6$	
Trafic fort	$4{,}0\ .10^6 \leq \mathbf{T3_A} < 7{,}0\ .10^6$	$\mathbf{4{,}0\ .10^6 \leq T4 < 1{,}0\ .10^7}$
	$7{,}0\ .10^6 \leq \mathbf{T3_B} < 10^7$	
Rappel : La Charge normalisée est celle du jumelage standard français 13t composé de deux roues 2x65 KN. La pression de contact est de 662 Kpa sur un rayon de 125.5 cm. Le poids d'une roue est de 32.5KN.		

***Justificatifs* :** Pour le contexte du BURKINA FASO, nous n'avons pas une estimation précise de parc automobile et de sa projection future. Les infrastructures routières doivent donc être les plus économiques possibles mais aussi limiter les entretiens couteux. De ce fait, Le trafic Cumulé T_1 et T_5 du CEBTP 1980 a été supprimé car en générale, l'on ne retrouve pas ces trafics lors des campagnes de comptage.

VI. MOTEUR DE CALCUL

Le moteur de calcul utilisé pour l'élaboration du catalogue est ALIZÉ-LCPC. Ce moteur est un programme informatique réalisé par le Laboratoire LCPC et le SETRA permettant de mettre en œuvre la méthode rationnelle Française de dimensionnement mécanique. Il permet de calculer sous une charge de référence standard ou spéciale, les valeurs des déflexions et sollicitations internes dans les structures de chaussées. Il permet par extension d'autres utilisations par exemple le renforcement des chaussées endommagées.

En utilisation courante, il permet :

- Le choix du type de structures et des matériaux qui la compose
- La détermination des sollicitations admissibles dans les différents matériaux
- La détermination des épaisseurs des différentes couches de matériaux

VII. HYPOTHÈSES DES MATÉRIAUX

Ces hypothèses présentent les matériaux en se basant sur leurs critères mécaniques: module de Young E et du coefficient de poisson γ.

VII.1 Hypothèse – plate-forme

La plate-forme support est assimilable à un milieu élastique de module de Young et de coefficient de poisson de 0.35 (voir **tableau 9** cis-bas). L'indice de portance est une grandeur utilisée pour évaluer l'aptitude d'un sol ou d'un matériau élaboré à supporter le trafic. En absence de résultat d'essai plus précis en ce qui concerne le Burkina Faso, ses valeurs seront donc considérées par défaut pour l'élaboration des couches de chaussée.

Tableau 9 : portance des sols support

type		Catalogue CEBTP 1980	Cbr	K	E	V
PF	1	S2	≤5	4	**20**	0.35
	2	S3	5 -10	5	**50**	0.35
	3	S4	10-20	6	**120**	0.35
	4	S5	≥30	7	**200**	0.35

N.B. : La correspondance des Plate-forme (PF) à celle du catalogue CEBTP 1980 est approximative.

La méthodologie de détermination de la portance des sols supports est décrite à l'annexe 1.

VII.2 Matériaux granulaires (GLN ; GNT)

Les graves Latéritiques Naturelles (GLN)

Ce sont les matériaux naturels les plus couramment utilisés au BURKINA FASO. Il sera privilégié en corps de chaussée exclusivement en trafic faible et fondation sur trafic fort.

En suivant les simulations courantes, on se référera dans un premier temps au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**s présentant les paramètres mécaniques de la GLN. Un réajustement peut être proposé en précision de la méthode rationnelle à condition que ce dernier ait subi des études au laboratoire.

Graves Litho-stabilisées

La litho-stabilisé est une technique d'amélioration de la graveleux latéritique par du concassé de granulométrie spécifique. Cette amélioration présente des avantages d'un point de vue économique et technique.

- D'un point de vue économique, il s'agit de réduire les coûts d'une amélioration aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés.
- D'un point de vue technique, il s'agit dans un premier temps de renforcer le module latéritique de la franche de 10 à 20 mm qui est le plus sensibles aux différentes étapes de traitement des

matériaux : gerbage, brassage, réglage et compactage mais aussi de renforcer le squelette de l'assise en graveleux latéritique par ajout de gros éléments. (Pierre LOMPO, 1980)

VII.3 Matériaux-Portance

Sont présentés dans le **tableau 10**, les hypothèses non exhaustives des matériaux ainsi que leurs modules et Indices CBR utilisés dans la mise en œuvre du catalogue. Ils seront utilisés en trafic faible et en base ou forme en trafic fort des structures semi rigides et bitumineuses.

Tableau 10 : portance théoriques des matériaux granulaires

Matériaux	module	CBR (Mpa) Min	CBR (Mpa) Max	CBR Théorique	Coef. K
GLL	900	90	105	105	9
	800		100	100	8
	750		95	100	8
GLN/ GNT 1	650	80	90	90	7
	600	85	80	80	8
GLN/ GNT 2	500	50	60	60	8
	450			60	8
	400	30		60	7
Conditions d'utilisations générales					
Couche de base		**Couche de Fondation**		**Couche de forme**	
CBR ≥80		**CBR ≥ 30**		**CBR ≥ 15 Mpa**	

Matériaux	module	CBR (Mpa) Min	CBR (Mpa) Max	CBR Théorique	Coef. K
GLN/ GNT 3	360	35	50	50	7.2
	350	30		50	7
	300		40	40	8
	200	20	30	30	7
GL-N/ GL-N	150	20	30	30	5
	120		25	20	6
	100	15	20	20	5
	85	12		20	4
	50	10	15	10	5
	30	5	10	10	3
	20	3.5	5	5	4

Tableau 11 : récapitulatif du mode d'utilisation de la GLL et GNT.

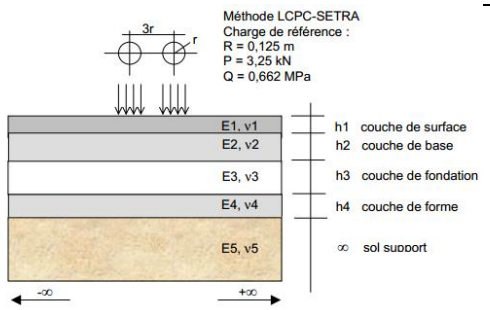
Condition d'utilisation des GLL et GL-N		*Mode d'endommagement*
Trafic faible	Exclusivement Formant des structures souples	Déformations verticales irréversibles des matériaux non traités
Trafic fort	fondation des structures bitumineuses ou semi-rigides.	**Critère de vérification** Trafic fort → Verifiction pour la GL-N et GLL ainsi que la PF Trafic faible → Vérication pour la PF uniquement $\varepsilon_Z \leq \varepsilon_Z$ adm En haut des matériaux non traités

Exigence du modèle

Le tableau suivant présente les prescriptions techniques pour la mise en œuvre des matériaux granulaires.

Chaussée à faible trafic	
Couche de Base	Catégorie 1* E_{GNT} = 600 Mpa Catégorie 2* E_{GNT} = 400 Mpa Catégorie 3* E_{GNT} = 200 Mpa
Couche de Fondation (GNT subdivisé e sous couche de 25 cm d'épaisseurs avec minoration du module)	Couche de fondation en GNT …… E_i = min(KE_{i-1}; E_{GNT}) 25 cm maximum E_2 = min(KE_1; E_{GNT}) 25 cm maximum E_1 = min(KE_0; E_{GNT}) Plate-forme module E_0

Catégorie	3	2	1
K	3.0	2.5	2.0



Chaussée à faible fort

Couche de Base	Catégorie 1* E_{GNT} = 600 Mpa Catégorie 2* E_{GNT} = 400 Mpa
Couche de Fondation (GNT subdivisé en sous couche de 25 cm d'épaisseurs avec minoration du module)	**Couche de fondation en GNT** …… $E_i = \min(KE_{i-1}; E_{GNT})$ 25 cm maximum $E_2 = \min(KE_1; E_{GNT})$ 25 cm maximum $E_1 = \min(KE_0; E_{GNT})$ **Plate-forme module E_0** catégorie 1 2 K 3 2.5

Les valeurs des modules ont été sélectionnées en tenant compte du comportement non linéaire des GNT (Module plus élevés en couche de base, fondation et dû la couche de forme). Il est a rappelé que le coefficient de poisson de la GNT = 0,35.

VII.4 Paramètre de vérification

Matériaux granulaires

Coefficient de poisson $\gamma = 0.35$
CAM du trafic : 1.0 en trafic faible et 0.90 en trafic fort.
Pente de la loi de fatigue b = -0.22.

Vérification Vis-à-vis de l'appréciation de l'orniérage par cumul de déformations permanentes, la méthode usuelle consiste à limiter la déformation verticale ε_Z au sommet de la couche non liée. Dans ce cas, aucune description complémentaire mécanique n'est nécessaire.

Matériaux liés aux liants hydrocarbonés

Les caractéristiques mécaniques des Matériaux Bitumineux (MB) sont dépendantes de la température et de la fréquence de sollicitation. De ce fait, le calcul doit être fait pour des valeurs représentatives des conditions de projet.

* Pour la température équivalente, la valeur de 30°C sera retenue.
* Pour la fréquence de sollicitation, on retient 10Hz.

En se basant sur la disponibilité des matériaux, la température et la fréquence des sollicitations, les matériaux suivants ont été retenus :

Matériaux-Portance

Matériaux	Module (E) Mpa	C.poisson (γ)
Bitumineux température 30° fréquence 10Hz		
BBdr	720	0.35
BB	1 300	
GB 1	2 000	
GB 2	2 700	
GB 3	2 700	

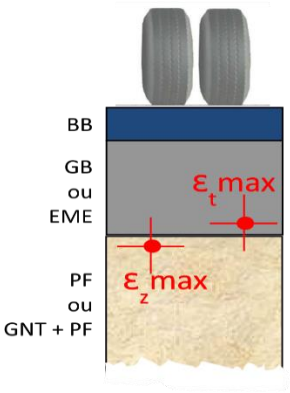
Conditions d'utilisation

Trafic fort

Couche de roulement	BB ; BBdr
Couche de base	GB 1 ; GB 2 ; GB3

Calcul des chaussées bitumineuses

Mode d'endommagement : fissuration par traction-Flexion des matériaux bitumineux (εt en base des matériaux bitumineux) ou orniérage des matériaux non traités (déformation verticale irréversible des matériaux non traités)



Création du modèle de la structure :

– Trafic maximal pour les structures avec fondation en GNT : 750 PL/j
Pas de limitation du trafic pour les structures avec fondation en MB.

– Epaisseur de GNT en couche de Fondation. Décomposition par tranches de 25cm d'épaisseur avec minoration du module :

Couche de base MB	
...	$E_i = \min(3\ E_{i-1}, E_{GNT})$
25 cm maxi	$E_2 = \min(3\ E_1, E_{GNT})$
25 cm maxi	$E_1 = \min(3\ E_0, E_{GNT})$
Plate-forme module E_0	

H_{GNT} fond

E_{GNT} limité à 360 MPa

Epaisseur minimale de GNT en fondation, fonction de la PF :
- 15cm pour une PF3
- 25cm pour une PF2
- 45cm pour une PF1

Critère à

Pour les MB : GB ou EME	Pour les Matériaux non traités : GNT et PF
$\varepsilon_t < \varepsilon_{t\,adm}$ En base de la couche de MB	$\varepsilon_z < \varepsilon_{zadm}$ En haut de la couche de GNT ou de la PF

Matériaux liés aux liants hydrauliques

Le ciment est le liant hydraulique le plus utilisé du fait de son accessibilité et de la maitrise de sa technique d'utilisation. De plus, le pays est lui-même producteur de ce liant. Le choix des matériaux ci-dessous cités tient compte de l'évolution du trafic dans le temps, combiné aux phénomènes de prise.

Matériaux et portance du modèle

Matériaux et portance du modèle		
Matériaux	Module (E) Mpa	C.poisson (γ)
Matériaux améliorés au liant hydraulique		
grave latéritique amélioré au ciment		0.25
GC 3	23 000	
GC 4	25 000	
sol ciment		
Sc 1	5 000	
Sc 2	12 000	

Conditions d'utilisation

Trafic moyen et fort

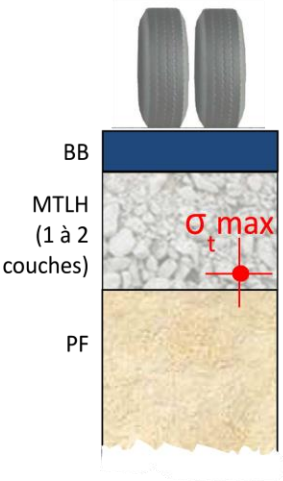
Couche de base

GC 3 ; SC1; SC 2

Calcul des chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

Mode d'endommagement : fissuration par traction-flexion des matériaux traités aux liants hydrauliques (σ_t en bas des des matériaux trautés)

(σ_t en base des matériaux traités)



Création du modèle de la structure :

- Pour les structures avec 2 couches d'assise en MTLH, attention à l'interface entre couche de base et couche de fondation : fonction des matériaux
- Ep. couche de fondation ≤ Ep. couche de base ≤ Ep. couche de fondation + 5cm
  Sauf pour les structures avec fondation en SH2 : Ep. couche de base ≥ Ep. couche de fondation + 10cm
- Epaisseur minimale de la couche de fondation, fonction de la PF :
  - 15cm pour une PF4
  - 18cm pour une PF3
  - 20cm pour une PF2

Critères à vérifier:

Pour les MTLH

$\sigma_t < \sigma_{t\,adm}$

En base des couches de MTLH

VIII. LES CARACTÉRISTIQUES EN FATIGUE

La courbe de rupture en fatigue des essais aux laboratoires sont définies pour une probabilité de rupture de 50% (SETRA, et al., Décembre 1994).

Matériaux granulaires

Les paramètres sont les suivants :

A : déformation permanente et b : pente de la loi de fatigue.

Le tableau suivant liste les valeurs des coefficients » a » et « b »

Tableau 12 : valeurs indicatives des déformations permanentes « a » et de la pente « b » de la loi de fatigue

Trafic fort	trafic faible	
a	**a**	**Pente « b »**
16 000	12 000	-0.222

Matériaux traités

Les résultats des essais exprimés en logarithme décimal du nombre de cycle à la rupture (Log N) sont distribués suivant une loi normale d'écart type SN. Les épaisseurs des couches sont supposées être distribuées suivant la même loi mais d'écart type noté Sh.

Le risque « r » est l'intégrale de la densité de probabilité de la variable centrée réduite LogN. L'écart type « δ » associé à la variable logN se détruit de la combinaison des facteurs de dispersion sur la loi de fatigue et sur l'épaisseur des couches, par la relation :

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

C : coefficient reliant les variations de contraintes ou de déformations pour les chaussées aux variables aléatoires d'épaisseurs ($\log\varepsilon = \log\varepsilon_0 - c\,\Delta h$).

La figure représente la fiche d'essai de fatigue pour une probabilité de rupture de 50%.

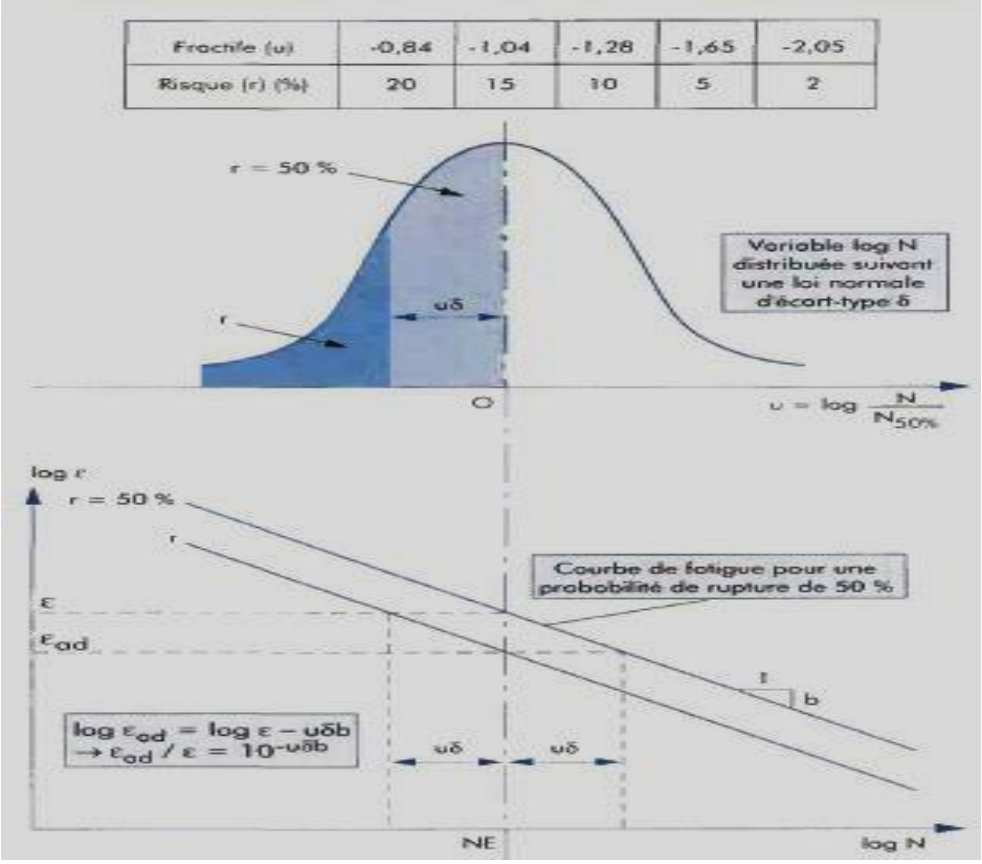


Figure 11 : détermination de la déformation admissible ε_{adm} à partir d'essai de fatigue

« B » : pente de la loi de fatigue du matériau exprimé sous la forme d'une loi bi-logarithmique.

Valeur de u associé au risque r

Les valeurs du coefficient « u » sont résumés dans le tableau suivant référencé **tableau 13**

Tableau 13 : valeur de U (variable réduit de gauss) pour quelques probabilités au non dépassement

r %	U	r %	U	r %	U
1%	-2.326	6%	-1.590	23%	-0.759
1.5%	-2.170	8%	-1.439	24%	-0.706
2%	-2.054	10%	-1.282	25%	-0.674
2.5%	-1.960	12%	-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%	-1.654	20%	-0.842	50%	0.000

Les interfaces des couches de chaussées jouent un rôle essentiel, en fonction de la méthode de superposition, les couches seront collées ou liées, semi collées ou glissantes. Le tableau suivant référencé **tableau 14**, nous renseigne sur les valeurs des coefficients de dimensionnements en fonction du matériau mise en œuvre.

Tableau 14 : valeurs indicatives des coefficients de dimensionnement

Matériaux bitumineux

	$\varepsilon_{6\ Mpa}$ $(30^0c; 10HZ)$	-1/b	SN	Sh	K_c
BB	100	5	0.25	(1)	1.1
GB 1	70	5	0.40	(1)	1.3
GB 2	80	5	0.30	(1)	1.33
GB 3	90	5	0.30	(1)	1.30
EME 1	100	5	0.30	(1)	1.0
EME 2	130	5	0.25	(1)	1.0

Sh = **0.01** m si h≤ 0.1m ; **0.025m** si h≥ 0.15m ;

0.01 + 0.30 (h-0.10) si 0.1m ≤ h ≤ 0.15m

Avec : K_c paramètre de calage et K_S : défaut de portance de la plate-forme

Matériaux traité au liant Hydraulique

	$\sigma_{6\ Mpa}$	-1/b	SN	Sh	K_c
GC	0.75	15	1.0	0.03	1.4
GVC	1.40	16	1	0.03	1.5
GLg	0.6	12.5	1	0.03	1.5
GLp	0.70	13.70	1	0.03	1.5
GLr	0.75	15	1	0.03	1.5
SC 3	0.75	12	0.8	0.025	1.5
2	0.50	12	0.8	0.025	1.5
1	0.175	12	0.8	0.025	1.5

Béton de ciment

BC	$\sigma_{6\ Mpa}$	-1/b	SN	Sh	K_S
5	2.15	16	1	(3)	1.5
4	1.95	15	1	(3)	1.5
3	1.63	15	1	(3)	1.5
2	1.37	14	1	(3)	1.5

IX. LE CALCUL DES SOLLICITATIONS

Les sollicitations sont évaluées selon les formules présentées au tableau 15.

Tableau 15 : Formules d'estimations des sollicitations admissibles

matériaux	sollicitation admissible
Matériaux Bitumineux	$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6\ (10^0c;\ 10HZ)\ x\ (\frac{NE}{10^6})^b x (\frac{E(10^0c}{E(\theta_{eq})})^{0.5} x\ K_C\ x\ K_r\ x\ K_s$
MTLH et couche de forme pour Chaussée Béton	$\sigma_{t,ad} = \sigma_6\ x\ (\frac{NE}{10^6})^b x\ K_C\ x\ K_d\ x\ K_r\ x\ K_s$
Béton de ciment (couche de base)	$\sigma_{t,ad} = \sigma_6\ x\ (\frac{NE}{10^6})^b x\ K_C\ x\ K_d\ x\ K_r$
Couche de forme traitée	$\sigma_{t,ad} = \sigma_6\ x\ (\frac{NE}{10^6})^b$
Sol et GNT	$\varepsilon_{t,ad} = A\ x\ (\ NE)^{-0.222}$

La description et valeurs des coefficients sont renseigné dans le tableau référencé **tableau 16**.

Tableau 16 : descriptifs et valeurs des coefficients

Coef.	Phénomène	Valeurs
K_C	*Calage*	Voir caractéristique en fatigue
K_d	*Discontinuité (bords et fissures)* *et gradient thermique (dalle de béton)*	1/1.70 pour BC; 1/1.47 pour BAC et BCg, 0.80 pour GCV. 1 sinon
K_r	*Risque et dispersion*	$10^{-Ub\delta}$ avec U : variable aléatoire page 29; δ: $\sqrt{[SN^2 + (\frac{c.Sh}{b})^2]}$
K_s	*Défaut de portance de PFi*	1 pour PF3, 1/1.1 pour PF2 ; 1/1.2 pour PF1
A	*Déformation permanente*	Trafic fort t≥ T2 : sol= 12 000 ; structure inverse= 14 000 ; Trafic faible T≤ T1 sol et GRH = 16 000

X. DÉMARCHE ET SCHÉMA RATIONNELLE DE DIMENSIONNEMENT

X.1 Démarche de dimensionnement

Comme indiqué dans le chapitre précédent, la méthode rationnelle combine :

- Une analyse mécanique de fonctionnement de la structure
- Des résultats d'essais de laboratoire sur l'endommagement par fatigue des matériaux de chaussées
- Les connaissances issues d'observation en situation réelles des chaussées du laboratoire.

En outre, Quel que soit la technique de dimensionnement adoptée, la démarche ainsi que les agencements des différentes étapes restent sensiblement le même. Seule la démarche générale sera présentée dans ce chapitre.

Première étape : pré-dimmensionnment

Une fois réunies les données essentielles au calcul (type de sol en présence, condition climatique et l'agressivité du trafic), on procède à un premier choix de la couche de roulement, selon le principe présenté dans le chapitre précédent.

a. **Deuxième étape :** calcul de la structure

Sous l'essieu de référence 13t, Calculer les contraintes et déformations induites pour le modèle mathématique de la structure predimensionné à l'étape 1.

b. **Troisième étape** : vérification en fatigue de la structure et de la déformation du sol support

La vérification est faite en comparant les contraintes et déformations calculées à l'étape 2 à des valeurs admissibles. Lesdites valeurs sont déterminées en fonction de paramètres suivants:

* du trafic cumulé sur la période fonctionnelle de la structure.
* des caractéristiques de résistance en fatigue des matériaux
* des effets thermiques
* des données d'observation du comportement des chaussées de même type.

c. **Quatrième étape** : Ajustement des épaisseurs calculées

Les épaisseurs des couches déterminées à l'issue de l'étape 3 sont ensuite ajustées pour :

- tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseurs minimales et maximales pour atteindre les objectifs de compacité et d'uni.
- réduire les risques de défauts de liaisons en limitant le nombre d'interfaces.
- assurer une protection suffisante des assises traitées vis à vis de phénomène non appréhendés par les calculs (remonté de fissures par exemple)

d. **Cinquième étape** : Calcul inverse

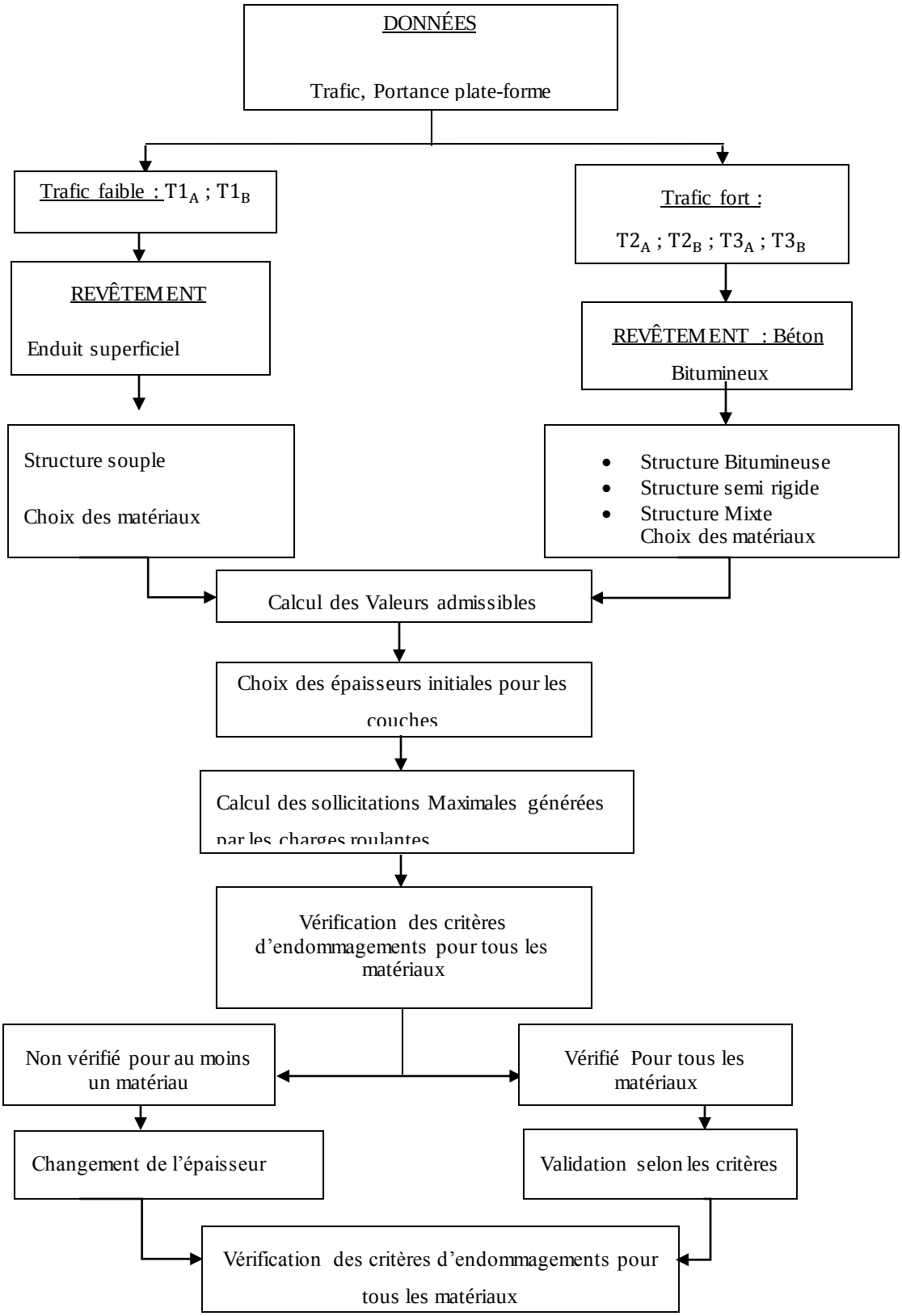
Il s'agit d'effectuer le calcul cette fois en partant des résultats issus des étapes précédentes et de revenir sur la durée de vie réelle de celle-ci. Cela permet de se rassurer que la structure respecte les conditions du projet.

e. **Sixième étape** : Définition de la coupe transversale de la chaussée

L'ensemble des vérifications étant positives, pour la structure dite nominale correspondant au bord droit de la voie la plus chargée, il reste à préciser le profil en travers de la chaussée. Pour cela, les variations transversales d'épaisseurs des couches sont fixées en fonction : du trafic par voie, des caractéristiques géométriques du tracé, du rattrapage des pentes transversales entre la plateforme support de chaussée et la couche de surface.

X.2 Schéma de dimensionnement

Tableau 17 : schéma de dimensionnement des structures routières



Des exemples de calculs sont développés à l'annexe 2.

Ce chapitre développé en dix (10) grand points déroule l'ensemble des paramètres pris en comptes ainsi que les données qui nous ont permis d'élaborer nos structures. Il est à noter que les résultats donnés dans le chapitre qui suit sont issus exclusivement des informations présentées dans ce chapitre.

CHAPITRE V. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Les résultats décrits ci-dessous présentent les structures retenues en hypothèse, les épaisseurs en (cm) des différentes couches ainsi que leurs compositions en fonction de la plate-forme support.

I. RÉSULTATS

Structure sous trafic faible

Structure souple (GNT/GNT) et 5GNT/GLL) avec revêtement en ES ou en BB selon le trafic et la portance du sol support

Sol	PF 1		PF 2		PF 3		PF 4	
Trafic T1-A	Structure souple (GNT/GNT) Revêtement Enduit Superficiel (ES)							
Base	**GNT 2**	15.00	**GNT 2**	15.00	**GNT 2**	15.00	**GNT 2**	25.00
fondation	**GNT 3**	20.00	**GNT 2**	20.00	**GNT 3**	20.00	/	0.00
	GLN	25.00	**GLN**	25.00	/	0.00		
forme	**GLN**	25.00	/	0.00	/	0.00	/	0.00
Trafic T1-B	Structure souple (GNT/GNT) Revêtement Enduit Superficiel (E.S)							
Base	**GNT 1**	15.00	**GNT 1**	15.00	**GNT 1**	15.00	**GNT 1**	25.00
fondation	**GNT 3**	20.00	**GNT 3**	20.00	**GNT 2**	20.00	/	0.00
	GLN	25.00	**GLN**	25.00	/	0.00		
forme	**GLN**	25.00	/	0.00	/	0.00	/	0.00
Trafic T2-A	Structure Souple (BB, GNT, GLL/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 4 cm							

Base	**GNT 1**	20.00	**GNT 1**	20.00	**GNT 1**	20.00	**GNT 1**	30.00
Fondation	**GNT 2**	15.00	**GNT 2**	**20**	**GNT 3**	**25**	/	0.00
	GNT 3	20.00						
Forme	**GLN**	25	**GLN**	25	**GLN**	/	/	0.00
Trafic T2-B	Structure Souple (BB, GNT, GLL/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 4 cm							
Base	**GNT 1**	25.00	**GNT 1**	25.00	**GNT 1**	**20**	**GLL**	**30**
Fondation	**GNT 2**	25.00	**GNT 3**	20.00	**GNT 2**	**25**	/	0.00
Forme	**GLN**	25	**GLN**	25	/	0.00	/	0.00

Structure sous trafic fort

Présentation des structures semi rigides et bitumineuse en fonction du trafic et de la portance des sols supports

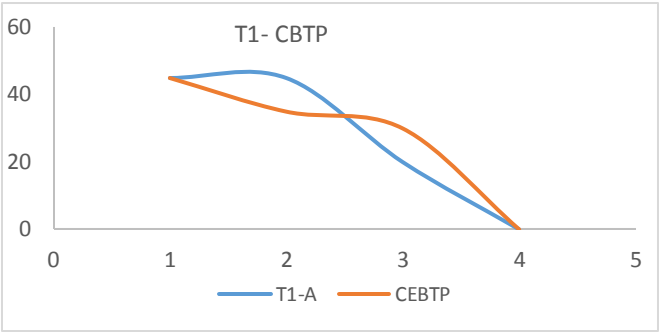
Sol	**PF 1**		**PF 2**		PF 3		PF 4	
Trafic T2-A	Structure Souple (GNT, GLN/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 5 cm							
Base	/	0.00	**GB 2**	15.00	**GB 2**	15.00	**GB 1**	12.00
Fondation	/	0.00	**GNT 2**	20.00	**GNT 3**	25.00	**GNT 1**	15.00
Forme	/	0	**GLN**	25	/	0.00	/	0.00
Trafic T2-A	Structure semi rigide (GC, GLL/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 4 cm							
Base	**GC 3**	32.00	**GC 3**	30.00	**SC 1**	18.00	**SC 1**	15.00
Fondation	**GLN**	25.00	**GNT 2**	5.00	/	0.00	/	0.00
		25.00	**GLN**	25.00				
Trafic T2-B	Structure souple (GNT/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 4cm							
Base	**GNT 1**	25.00	**GNT 1**	25.00	**GNT 1**	**20**	**GLL**	**30**
Fondation	**GNT 2**	25.00	**GNT 3**	20.00	**GNT 2**	**25**	/	**0.00**
Forme	**GLN**	25	**GLN**	25	/	0.00	/	0.00

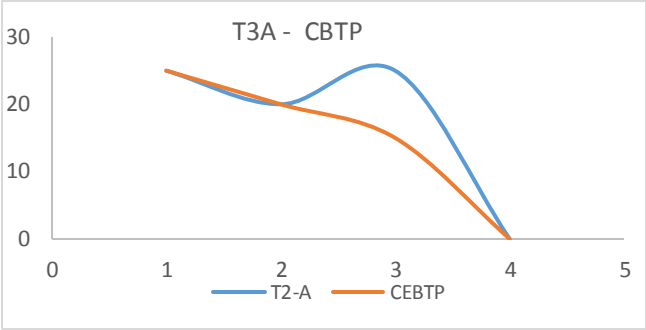
Trafic T2-B	Structure Semi rigide (GC, GLL/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 4cm							
Base	/	0.00	**GB 2**	15.00	**GB 2**	14.00	**GB 2**	20.00
Fondation	/	0.00	**GNT 1**	10.00	**GNT 1**	10.00	/	0.00
	/	0.00	**GNT 3**	25.00	**GNT 3**	25.00	/	0.00
Trafic T2-B	Structure Souple (GB2, GLN/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 5 cm							
Base	**GC 3**	35.00	**GC 3**	20.00	**GC 3**	28.00	**GC 3**	25.00
Fondation	**GLN**	20.00	**GNT 2**	15.00	**GLN**	20.00	/	0.00
		25.00	**GLN**	25.00	/	0.00	/	0.00
Trafic T3-A	Structure souple (GB1, GLN/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 5 cm							
Base	/	0.00	**GB 2**	15.00	**GB 2**	15.00	**BB**	5.00
Fondation	/	0.00	**GNT 1**	10.00	**GLL**	5.00	**GB 2**	13.00
	/	0.00	**GNT 3**	25.00	**GNT 3**	25.00	**GNT 1**	20.00
Trafic T3-A	Structure Semi-rigide (GC, GLL/GNT) Revêtement Béton Bitumineux 5 cm							
Base	/	0.00	**GC 3**	30.00	**GC 3**	30.00	**GC 3**	32.00
Fondation	/	0.00	**GNT 1**	15.00	**GNT 3**	15.00	/	0.00
	/	0.00	**GNT 3**	25.00	/	0.00	/	0.00
Trafic T3-B	Structure Semi-rigide (GB2, GLP) Revêtement Béton Bitumineux 5 - 7 cm							
Revêtement	/	0.00	**BB**	5 Cm	**BB**	7 Cm	**BB**	7 Cm
Base	/	0.00	**GB 2**	14.00	**GB 2**	12.00	**GB 2**	12.00
Fondation	/	0.00	**GC 3**	20.00	**GC 3**	15.00	**GC 3**	15.00

Des exemples de calcul de structures sous trafic faible et fort sont proposés à l'annexe 2

II. ANALYSES ET DISCUSSIONS

La figure 13 et 14 présentes les comparaisons des épaisseurs des couches des NS et du CEBTP 1980.





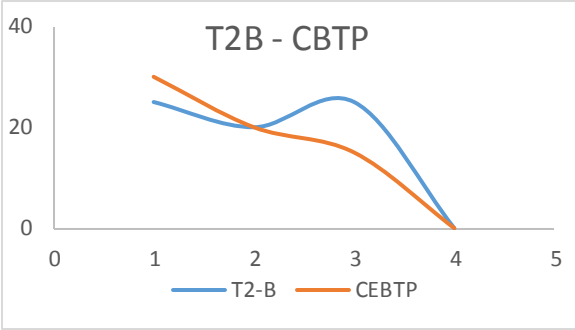
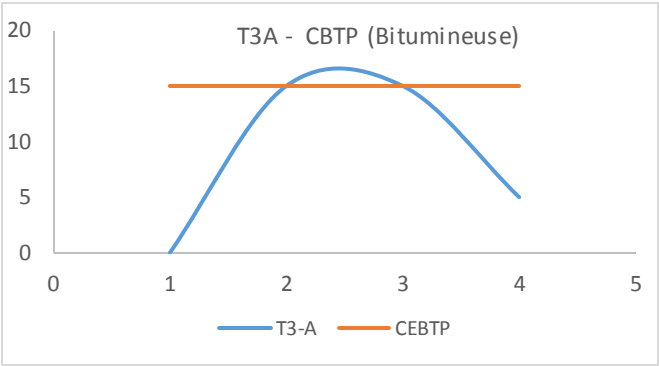
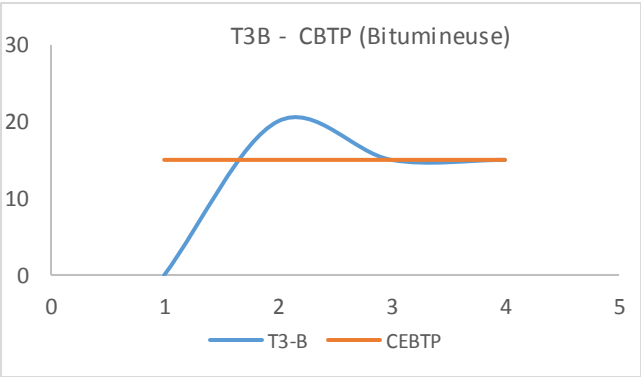


Figure 12 : Trafic faible : analyse sur la couche de fondation des structures





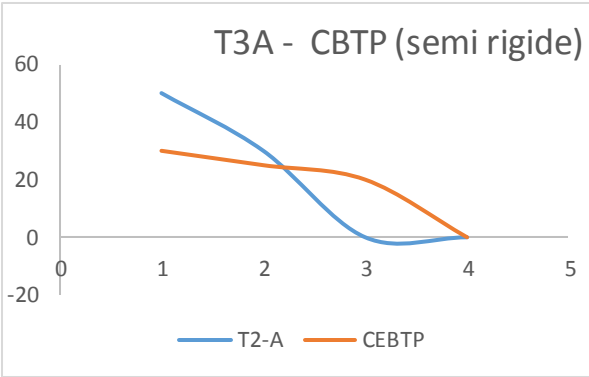


Figure 13 : Trafic fort : analyse sur la couche de base des matériaux

Abscisse : les numéros des points **Ordonnée** : les épaisseurs des couches

Au vue des figures 13 et 14 ci-dessus, on remarque que les nouvelles structures (NS) présentent des épaisseurs de couche de fondation légèrement plus grandes en trafic faible par rapport à celles du CEBTP. Cela peut être expliqué par les points suivants :

Le trafic de dimensionnement : En effet, le trafic utilisé pour le dimensionnement représente 80 % du trafic réel. Cela dit, une marge d'erreur de 20% a été donc permise. Ce qui n'est pas en conformité avec les trafics de dimensionnement du Guide CEBTP 1980.

Les paramètres mécaniques: Seuls les paramètres mécaniques sont utilisés pour l'établissement des différentes structures dans le cas des NS. Tandis que d'autres paramètres complémentaires sont utilisés dans le cas du CEBTP (Analyse granulométrie, indice de plasticité etc.) Ce qui joue encore considérablement sur les épaisseurs des couches.

La couche d'assise : Dans la majeure partie, les assises des NS possèdent au moins une couche en matériaux granulaires et éventuellement une couche traitée afin de rationaliser l'utilisation des matériaux. Tandis que celles du CBTP 1980 présentent des couches en matériaux traités. Les contraintes et déformations induites par les sollicitations sont réduites au maximum.

Le revêtement :

Le revêtement en béton bitumineux participe à la résistance mécanique en travaillant en traction flexion. Le tableau ci-dessous présente les épaisseurs de revêtement des NS et celles du CEPTP.

Tableau 18 : comparaisons des revêtements en BB sous trafic fort

Classe de structure	Épaisseurs CEPTP	Épaisseurs NS
T2- B (souple GB/GNT)	4	5
T3-B- Souple (GB/GNT)	4	5
T2-B (souple GNT/GNT)	5	4
T2-B (semi rigide)	5	4
T3-B (semi rigide)	7	5

Ces différences d'épaisseurs sont dues à nos obligations de rationaliser l'utilisation des matériaux hydrocarbonés

III. CONCLUSION

Ce mémoire a présenté les outils essentiels au dimensionnement des chaussées routières. La réflexion entreprise ainsi que les résultats obtenus dans le cadre de dimensionnement structural des voiries au BURKINA FASO. Le défi a été de produire un catalogue en lien étroit avec les besoins du BURKINA FASO.

Le travail consistait à dresser une synthèse des perturbations des routes au BURKINA FASO qui nous a amené à considérer comme causes probables : le trafic, les conditions climatiques et environnementales, le dimensionnement des corps de chaussée. En présentant les approches de dimensionnement qui nous a permis de tirer les forces et les faiblesses de chacune d'elles, force est de croire que les deux méthodes peuvent être complémentaires dans les modes mécaniques. Alors, le catalogue est basé sur l'utilisation du modèle multicouche de busmister (1943), des résultats de laboratoires et des observations réelles afin de fédérer les diverses approches.

Pour la réalisation, le catalogue établit une distinction entre les voiries à réseaux structurantes et non structurantes.

En ce qui concerne les voiries à réseaux non structurantes, qui constitue la variante étudiée, le travail a consisté à dresser des hypothèses pointilleuses pour le cas du pays des hommes intègres qui ont permis de tirer comme grandes lignes : le trafic et l'agressivité du trafic poids lourds, les matériaux utilisés pour la réalisation, les conditions environnementales et la qualité du sol support de chaussée. Cela nous a permis de réaliser le catalogue proprement dit.

En ce qui concerne le catalogue, l'ensemble des hypothèses nous a amené à l'idée de considérer deux classes de structures : les structures sous trafic faible où le trafic cumulé n'excède pas $1.5.10^6$ PL et celles sous trafic élevé limité par un trafic cumulé de 10^7PL.

Pour les structures sous trafic faible, l'idée était d'utiliser des matériaux granulaires constitués de grave latéritique naturel en assise et un enduit superficiel en revêtement ce qui constitue une structure souple.

Pour les structures sous trafic élevés, l'idée est de considéré dans un premier temps les matériaux granulaires, puis avec le caractère élevé du trafic nous a amené à considérer les matériaux nobles composites (grave hydraulique, grave hydrocarboné) constituant des ensembles de structure semi rigides, bitumineuses. Ce travail nous a permis de constaté qu'à

certains endroits où le sol support est de faible portance $\leq 20\ Mpa$ et sous trafic $4.0.10^6$ et $7.0.10^6$, le sol support doit faire l'objet d'une étude en vue de rehausser la portance par une substitution du sol ou par des apports de matériaux grossiers stabilisants.

Les structures élaborées avec des assises traitées ont des avantages notoires :

- Présence de matériaux nobles dont on peut se prétendre maitriser les comportements mécaniques sous trafic.
- L'utilisation systématique du grave bitume en couche de revêtement contribue à la résistance.
- L'utilisation de matériaux composites (GC, GB) a pour conséquence la quasi inexistence de couche de forme.
- Sous trafic fort, les structures semi rigides présentent des modules presque indépendants de la température : E (Grave Ciment) =23 000Mpa et des Caractéristiques mécaniques élevées : Rt = 1.5 à 2 Mpa.
- Quant aux structures à matériaux traités au bitume ; Leurs modules d'élasticité E [100 à 15 000 [ce qui est acceptable par rapport aux structures souples GNT/GNT.

  En ce qui concerne les inconvénients, on a des risques de fissuration de retrait des matériaux améliorés aux liants hydrauliques. On a aussi des fluctuations du module d'élasticité « E » dû aux variations du gradient de température des matériaux bitumineux donc : On a des risques d'orniérage mais aussi des sensibilités aux hydrocarbures.

IV. RECOMMANDATIONS

En terme de recommandations, nous pouvons faire ressortir certains points sur lesquels les ingénieurs et décideurs doivent se focaliser pour un développement durable des infrastructures routières. Ces recommandations s'articulent en deux points : les recommandations d'ordre stratégique et les recommandations d'ordre technique.

IV.1. Recommandations d'ordre stratégique

- **Définir une politique claire en matière de collecte de données d'auscultations routières (mise en place d'une banque des données et des procédures d'actualisations) ;**

- **La nécessité d'actualiser la documentation sur la caractérisation physique des matériaux utilisés en techniques routières au BURKINA FASO** ;

  Malgré les précautions prises au niveau des études et à la réalisation, la plupart des routes subissent des dégradations prématurées. Il est important de caractériser les matériaux disponibles afin de gagner en précision. Car jusqu'à présent l'on utilise des paramètres dont on ne maitrise pas entièrement les contours.

- **Créer une base de données sur les matériaux locaux ;**

- **Capitaliser les retours d'expériences de terrain qui serviront à adapter les paramètres de la méthode de dimensionnement adoptée ;**

- **Réfléchir sur l'optimisation des données géotechniques.**

IV.2. Recommandations d'ordre technique

- **S'approprier une méthode adaptée au contexte local pour la formulation des matériaux pour vérifier les hypothèses des propriétés mécaniques introduites sur les modèles de calcul ;**

- **Veiller à une meilleure connaissance du trafic par des compagnes de comptages et des pesées régulières ;**

❖ **La surveillance des chaussées neuves**

Ceci consiste à suivre l'évolution dans le temps des différents facteurs qui influent sur la ténue de la chaussée. Cela est bénéfique car ces données seront utilisées dans le cadre des entretiens courants ou des travaux de renforcements s'il y a lieu. Les paramètres de surveillance sont :

- L'évolution du trafic
- Les infiltrations et les remontées (d'eau, de matériaux.)
- La déflexion

❖ **Dresser de nouvelles règles de sécurité routière**

Qui dit nouvelles chaussées neuves dit nouvelles règles de sécurité routière. Une voie à vitesse lente dégrade plus la chaussée qu'une voie à vitesse rapide. Il faut aussi revoir la normalisation en matière de sécurité routières.

V. PERSPECTIVE

Le catalogue présente un modèle mécanique basé sur des hypothèses purement théoriques.

Il serait gré de réaliser des essais au laboratoire afin de soumettre les résultats de cette étude à des simulations d'essais de fatigue. Ces résultats permettront sans doute de réajuster certains paramètres.

Il n'est fait cas dans cette étude que des chaussées neuves. Il serait bon véritablement de faire des études permettant l'actualisation des techniques de renforcement des chaussées existantes lorsque le besoin se fait sentir.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[Ouvrage] / aut. Ing Marc COMBERE. - [s.l.] : Instutut International de l'Eau de l'Energie et de l'Environnement - 2IE, Cours de voirie Licence 3ème année 2016 - 2IE.

Assises de chaussées 'guide d'application des normes pour le reseau routier national [Ouvrage] / aut. LCPC, SETRA . - Paris : Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, 1998.

Catalogue des structures types de chaussées neuves [Ouvrage] / aut. Direction des routes et de la circulation routière. - ROYAUME DU MAROC : Ministère de l'équipement, 1995.

Cours de géotechnique routière [Ouvrage] / aut. Dr Ismaila GUEYE. - Institut International de l'Eau de l'Energie et de l'Environnement : 2IE, 2011.

Cours de route 2 [Ouvrage] / aut. CODO Dr. François de Paule et ALLOBA Dr. Ezéchiel I.. - 2000.

Cours de statistique et probabilité 2ème année LICENCE [Ouvrage] / aut. Souleymane OUEDRAOGO. - Instutut International de l'eau de l'Energie et de l'Environnment "2IE" : [s.n.], 2011.

Développement d'un catalogue de conception des chaussées pour les pays Sub-sahariens [Ouvrage] / aut. Claude Hugo KOUBIKANA PAMBOU. - Mémoire de fin d'étude cycle ingenieur en Génie civil : Ecole de technologie supérieure 'Université du QUEBEC", Juin 2013.

Dimensionnement mécanique empirique des structures de chaussées [Ouvrage] / aut. sandoumbé THIAW. - Mémoire de fin d'étude de cycle ingenieur en génie civil : [s.n.], 2005-2006.

Dimmensionnement d'une assise de chaussée à base d'un sol latéritique traité au ciment à differents dosage [Ouvrage] / aut. MENGUE Emmanuel [et al.]. - Bayonne 'FRANCE" : [s.n.], Mai 2005.

esquisse d'un catalogue de dimensionnment des chaussées pour le SENEGAL [Ouvrage] / aut. Ousmane MBOGJI. - mémoire de fin d'étude d'ingenieur de conception : Ecole Superieure Polytechnique 'Centre de Thiès", 2002-2003.

Etude de la correlation entre le module d'élasticté et l'indice CBR dans le dimensionnement des structures routières [Ouvrage] / aut. Ibrahim SALL. - Mémoire de projet de fin d'études cycle Ingenieur : Ecole polytechnique de thiès, Juin 1990.

Guide pratique de dimensionnment des chaussées pour les pays tropicaux [Ouvrage] / aut. CEBTP. - Ministère de la coopération française : [s.n.], 1980.

Guide pratique de dimmensionnement des chaussées pour les pays tropicaux [Ouvrage] / aut. CEBTP. - [s.l.] : Centre Experimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics 'CEBTP', 1980. - pp. 23-25.

Guide technique de conception et de dimensionnment des structures de chaussées communautaires "Fascicule 2" [Ouvrage] / aut. C. BABILOTTE; C SOUILLIE. - Direction de la voirie 'voirie qualité laboratoire (VQL)" : Communauté urbaine de grand LYON, 1994.

Guide technique pour l'utilisation des Matériaux régionaux d'Iles de France, catalogue des structures de chaussées [Ouvrage] / aut. Laboratoire Régional de l'ouest Parisien. - Ile -de-FRANCE : [s.n.], Decembre 2003.

guide technique, Conception et dimensionnement des structures de chaussées [Ouvrage] / aut. SETRA et LCPC. - [s.l.] : Ministère de l'équipement , du Transport et du Tourisme, Decembre 1994.

Les matériaux utilisés en construction routière en haute-volta [Ouvrage] / aut. Pierre LOMPO. - [s.l.] : Service géotechnique du Laboratoire du Bâtiment et de Travaux Publics de l'ex HAUTE -VOLTA, 1980.

Les routes dans les zones tropicales et desertiques [Ouvrage] / aut. BCEOM et CEBTP. - Route et villes : Ministère de la coopération et du developpent Française, tome 2 : Etude techniques et construction.

L'état du reseau routier du BURKINA FASO [Conférence] / aut. Paténéma Oumar OUEDRAOGO et Habibata WARA. - Ouagadougou/BURKINA FASO : Le Faso.net, 30 septembre 2012.

Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux [Ouvrage] / aut. CEBTP-LCPC. - [s.l.] : REPUBLIQUE FRANCAISE "Ministère des relations Exterieures Coopération et Développement", Mai 1985.

séminaire scientifique de dimensionnement des chaussées [Conférence] / aut. Gilbert EKPINI. - CÔTE D'IVOIRE : www.bnetd.ci, 2015.

ANNEXES

Table des matières

ANNEXE 1 : MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA PORTANCE DU SOL SUPPORT 73

LES PARAMÈTRES DE NATURE 74

LES PARAMÈTRES DE COMPORTEMENT MÉCANIQUE 75

LES PARAMÈTRES D'ÉTAT 75

DÉTERMINATION DE LA CLASSE D'ARASE DE TERRASSEMENT 76

ANNEXE 2 - EXEMPLE DE CALCUL DE STRUCTURES ROUTIÈRES 78

1) INCRÉMENTATION SOUS TRAFIC FAIBLE (STRUCTURE SOUPLE) 78

2) INCRÉMENTATION SOUS TRAFIC FORT 79

ANNEXE 3 – SEUILS DES ÉPAISSEURS DES COUCHES DE CHAUSSÉES .. **ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.**

Annexe 1

MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA PORTANCE DU SOL SUPPORT

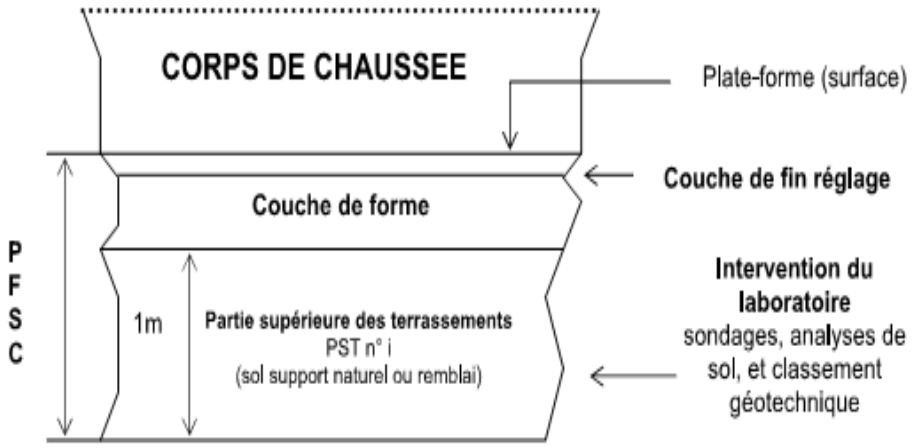


Figure 14 : structure de la plate-forme support de chaussée

PST : Partie Supérieure des Terrassements

La plate-forme est la couche la plus sensible de la route. En somme elle constitue la clé de voute Car toutes les couches se reposent sur elle. Il est nécessaire de bien l'étudier afin de trouver la solution adéquate.

Sans entrer dans les détails techniques, on caractérise le sol support comme suit :

Le classement géotechnique des sols

La détermination de la classe géotechnique du sol en place s'effectue selon la norme NF-11-300 couramment appelé essai GTR (Guide **T**echnique **R**outier) à partir d'essais de

laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de ce dernier. Les essais ont permis d'obtenir les classes présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 19 : Classe géotechnique des sols

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Type de sol	Fins	Sableux et graveleux avec des fins	Sols comportant fins et des gros éléments	Sol insensible à l'eau
Sous clase	A1, A2, A3, A4.	B1, B2, B3, B4, B5, B6.	C1, C2 qui associe pour la fraction 0/50 mm aux sous classes précédentes	D1, D2, D3
N.B : On retrouve souvent l'ensemble de ces matériaux au niveau du PST lors de la réalisation d'une chaussée neuve ou d'un élargissement				

Cette classification géotechnique est basée sur des conditions de réutilisation du sol Naturel et repose sur des paramètres de Nature, de comportements mécaniques et de représentativité de l'échantillon.

LES PARAMÈTRES DE NATURE

La granulométrie : La granulométrie permet de classer les sols selon les dimensions des éléments qu'ils contiennent On retient trois seuils.

- **Le Dmax à 50 millimètres** : permettant de situer le matériau entre deux groupes Ai, Bj, D1, D2 et les sols de classe C1, C2 ou D3.
- **Le tamisât à 0.**08millimetres ou passant à 80microns : Permet d'identifier la finesse (classe A) du matériau et sa sensibilité à l'eau (classe D)
- **Le tamisât à 2** millimètres ou passant à 2mm permet de distinguer les sols présentant plus d'éléments sablonneux ou graveleux.

L'argilosité : l'argilosité permet d'évaluer la part d'argile dans le matériau.

Pour caractériser l'argilosité, on se sert des deux paramètres suivants :

- **L'indice de plasticité (Ip)** : exprimé en %, il permet de savoir si l'on est en présence d'un sol vraiment argileux ou pas

- **La valeur du bleu de méthylène du sol** : il révèle la présence d'argile et exprime la quantité de celle cis.il s'exprime en g de bleu/100g de sol sec.

LES PARAMÈTRES DE COMPORTEMENT MÉCANIQUE

Ils sont pris en compte dès lors que l'on veut juger l'utilisation probable du sol naturel en place comme couche de forme. (Voir annexe pour les précisions)

LES PARAMÈTRES D'ÉTAT

Le paramètre d'état le plus étudié est l'humidité du sol. Cela dépendra de la situation géographique du projet

Toute ses essais géotechnique ont pour seul but de de se renseigner sur les matériaux constituant la PST et leurs utilisation probable en couche de forme.

L'état hydrique du sol naturel

En plus du classement géotechnique du sol, l'état hydrique joue un rôle important au niveau des possibilités des matériaux et sa réutilisation notamment l'obtention de la qualité du compactage. L'état hydrique est influencé par les conditions hydrogéologiques et météorologiques. La norme NF -11-300 retient de ce fait cinq états hydriques

Très humide (th) : État d'humidité très élevée ne permettant pas l'utilisation de ce sol dans des conditions technico-économiques normales.

Humide (h) : État d'humidité élevé mais permettant son utilisation à condition de prendre certains dispositifs (aération, traitement).

Moyen (m) : correspondant à l'optimum Proctor

Sec (s) : état hydrique faible mais permettant sa mise en œuvre en respectant certaines conditions (arrosage, surcompactage)

Pour la caractérisation de l'état hydrique, les paramètres d'analyse sont les suivantes :

- **La teneur en eau naturelle** (NF P94 - 050) associé à l'étude Proctor normal (NF P 94 - 093)
- **L'indice de portance immédiat** (NF P 94 - 078)
- **L'indice de consistance** (NF P 94 – 051)

DÉTERMINATION DE LA CLASSE D'ARASE DE TERRASSEMENT

La classe est déterminée à partir de l'état hydrique du sol naturel en place si l'accès à l'emprise de la future chaussée ainsi que de l'arase(AR) sont impossible et si les conditions de traficabilités sont remplies, il est possible de mesurer la portance en place au moyen de l'essai de chargement à la plaque Selon la norme NF P 94-117.1 qui reprend en partie le mode opératoire du laboratoire LCPC dans le but de déterminer le module élastique EV2 au second chargement. Sinon, en cas d'impossibilité liée à la profondeur de l'arase, le laboratoire à partir des échantillons de sol naturel conservés à sa teneur en eau naturel, détermine la portance.

La classe de portances des sols naturelles est résumée dans le tableau cis-bas.

Tableau 20 : Classe d'arase et portance de sol correspondant

Classe d'arase (AR_J)	Portance du sol naturel support
AR_0	Ps < 20 Mpa
AR_1	20 Mpa ≤ Ps ≤ 50 Mpa
AR_2	50 Mpa ≤ Ps ≤ 120 Mpa
AR_3	120 Mpa ≤ Ps ≤ 200 Mpa
AR_4	Ps > 200 Mpa

Tableau 21 : tableau synthèse des correspondances entre la classe géotechnique du sol support, son état hydrique et la classe de la partie supérieure des terrassements (PST N° i) associée à la classe d'arase (ARj)

SOLS NATURELS SUPPORTS				État hydriques du sol	PST n° i	Classe d'ARase AR j	Portance du sol Ps exprimée en MPa	Commentaire
Sols fins	Sols sableux et graveleux avec fines	Sols comportant des fines et des gros éléments	Sols insensibles à l'eau					
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1	/	th	PST n° 0	AR 0	Ps < 20	Mise en œuvre d'une opération de purge / substitution et/ou de drainage, pour opérer un reclassement de l'arase en AR1
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	h	PST n° 1	AR 1	20 ≤ Ps < 50	Deux démarches possibles pour passer à une classe d'arase supérieure : - soit un traitement à la chaux, - soit mettre en œuvre une couche de forme en matériau granulaire en intercalant un géotextile anti contaminant
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	m	PST n° 2	AR 1	20 ≤ Ps< 50	Réalisation d'un rabattement de nappe à une profondeur suffisante si possible, on est alors ramené au cas de la PST n° 3 - la couche de forme est indispensable
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	m	PST n° 3	AR 1	20 ≤ Ps < 50	- Pas de mesure de drainage, - La couche de forme est indispensable AR1
						AR 2	50 ≤ Ps < 120	Classement en AR2 si on effectue des dispositions de drainage pour l'évacuation des eaux à la base de la chaussée afin d'éviter leur infiltration AR2
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1	/	h	PST n° 4	AR 2	50 ≤ Ps < 120	Traitement durable des matériaux de la PST n° 1 à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Possibilités en fonction du projet de réaliser une couche de forme.
/	B1	/	D1	/	PST n° 5	AR 2	50 ≤ Ps < 120	Matériaux sableux insensibles à l'eau. Ces valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme (AR3) La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose pas.
						AR 3	120 ≤ Ps < 200	
/	B3	C2	D2 ; D3	/	PST n° 6	AR 3	120 ≤ Ps < 200	Matériaux insensibles à l'eau (mêmes remarques que précédemment)
						AR 4	Ps > 200	

Condition d'interface

Tableau 22 : condition de collage des matériaux

Condition de collage des interfaces	
couche bitumineuse épaisses	
grave liant routier / grave liant routier	semi-collé
grave laitier granulé / grave laitier granulé	collé
grave traitée / sable traité	semi -collé
sable traité / sable traité	Semi- collé
BB / GH ou SH ou MIOM traités	collé
BB / sol traité	collé
Sol fin traité / sol fin traité	collé
couche bitumineuse /granulaire	
toute combinaison possible	collé
Structure bitumineuse semi-rigide	
toute combinaison possible	collé
Structure bitumineuse béton	
toute combinaison possible	décollé

Annexe 2

EXEMPLE DE CALCUL DE STRUCTURES ROUTIÈRES

Les calculs seront menés selon le nouveau guide que nous présentons

1) Incrémentation sous trafic faible (structure souple)

Donnée

TMJA 2015(PL/j)	115
Mise en service	2020
Taux de croissance Exponentiel	5%
Durée de service VRNS	15 ans
CBR à 95% de l'OPM	15 Mpa

Résultat

Projection du trafic et portance du sol support (guide CEBTP 1980)

intitulé	**Formule (cas exponentiel)**	**Résultat**
Trafic a l'année de mise en service	$T_1 = T_0 \ x\ (1+i)^n$	146.78
Trafic cumulé	$T_N = 365x \sum_i^n t_n = 365 \ x\ T_1 \frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$1{,}16.10^6$
Module de sol support	E = 5*15	75
Classe de sol: **PF3** trafic : **T1-B**		

Choix de la structure

Trafic faible T1-B		**1.2E+06**
		Épaisseurs (cm)
Revêtement	**Enduit Superficiel (E.S)**	
Base	**GNT 1**	15.00
Fondation	**GNT 2**	20.00
sol-support	PF 3	Inf.

2) Incrémentation sous trafic fort

a. Structure mixte

Donnée

TMJA 2015(PL/j) Mise en service	595
Mise en service	2020
Taux de croissance Exponentiel	5%
Durée de service VRNS	15 ans
CBR à 95% de l'OPM	40 Mpa

Résultat

Projection du trafic et portance du sol support (guide CEBTP 1980)

intitulé	**Formule (cas exponentiel)**	**Résultat**
Trafic a l'année de mise en service	$T_1 = T_0 \ x\ (1+i)^n$	759.39 PL
Trafic cumulé	$T_N = 365x \sum_i^n t_n = 365 \ x\ T_1 \frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$5{,}98.10^6$
Module de sol support	E = 5*40	200
Sol type: **PF 4**	trafic: $\mathbf{T3_B}$	

Choix de la structure

Trafic fort	**T3-B**	8.00E+06
		Épaisseurs (cm)
Revêtement	**B.B**	7 Cm
Base	**GB 2**	12.00
Fondation	**GC 3**	15.00
Sol Support	PF 4	Inf.

Vérification

Structure souple en matériaux granulaires

- Vérification vis-à-vis de l'orniérage du sol support.

Rappel du trafic faible

- *Coefficient d'agressivité Moyen du Trafic faible CAM = 1 pour les matériaux granulaires*
- *Les matériaux d'assise a considéré sont exclusivement Naturels donc une structure souple*
- *Seule la déformation Verticale du sol support sera vérifiée*
- *Le revêtement est en enduit superficiel*

NE (trafic) $=CAM_{Sol} . T_N = 1 \times 1{,}16.10^6$ Essieu Équivalent pour le sol support

Sous trafic fort

Vérifications

couches	Vérifications
Couche bitumineuse :	vérifications de la déformation horizontale à la base de la couche.
Couche rigide :	vérification de la contrainte horizontale à la base de la couche
Couche granulaire et plate-forme	Déformation verticale à la base de la couche

Rappel du trafic fort

- *Coefficient d'agressivité Moyen du Trafic CAM pour les matériaux granulaires = 0.9*
- *La déformation Verticale du sol support sera vérifiée vis-à-vis de l'orniérage ainsi que les contraintes surfaciques des matériaux bitumineuses*
- *Le revêtement est béton bitumineux*
- *Trafic* ***[2.5-6.5 [donc Risque*** *5.0%, CAM trafic =0.5 pour les matériaux Bitumineux*

NE = $CAM_{Bitumineux} . T_N = 0.5 \times 5{,}91.10^6 = 2{,}955.10^6$ Essieu Équivalent pour les matériaux Bitumineux.

NE $=CAM_{Sol} . T_N = 0.9 \times 5.91.10^6 = 5{,}319.10^6$ Essieu Équivalent pour le sol support

NE = $CAM_{grave\ ciment} . T_N = = 0.8 \times 5{,}91.10^6 = 4.728.10^6$ Essieu Équivalent pour la grave ciment.

CALCUL DE LA DÉFORMATION ADMISSIBLE (MOTEUR DE CALCUL ALIZÉ LCPC)

Sous trafic faible

Déformation Calculée de la plate-forme

T1-B	1.20E+06	TRAFIC T1-B					
		Épaisseurs (cm)	Cbr (Mpa)	K	module E=K .Cbr	EpsZ (µdef)	valeurs admissible (µdef)
Revêtement		Enduit Superficiel (E.S)			4E ou TC		
Base	GNT 1	15.00	105.00	6	600.00	584.5	715
Fondation	**GLN**	20.00	95.00	4	400.00	397.3	
sol-support	PF 3	inf.	25.00	5	120.00	712.8	

Sous trafic fort

T3-B	8.00E+06	TRAFIC T3-B					
		Épaisseurs (cm)	Cbr (Mpa)	K	module E=K. Cbr	Déf. (µdef)	valeurs admissible (µdef)
Revêtement	**BB**	7.00	-	-	1300.00	8.1	138 $\varepsilon_{t,adm}$
Base	**GB 2**	12.00	-	-	2700.00	17.8	113 $\varepsilon_{t,adm}$
Fondation	**GC 3**	20.00	-	-	23000.00	0.674	0.62 $\sigma_{t,adm}$
Sol-support	PF 4	inf.	30.00	7	200.00	101.4	360.5 $\varepsilon_{z,adm}$

Vérification de la valeur admissible calcul de précision

Choix 1 : **<u>Structure Souple</u>** (GLN/GNT)

Calcul de la déformation admissible du sol support

<u>Déformation admissible</u>

Déformation Verticale admissible du sol support

$\boldsymbol{\varepsilon_z, adm} = 16\,000.\ (\mathbf{NE})^{\mathbf{b}}$

$16\,000.\ (\mathbf{1.16.10^6})^{-0.22}$

$\boldsymbol{\varepsilon_z, adm}$ =715,39 **µdef**

Conclusion 1 : la déformation verticale du sol support (712,80 **µdef**) est inférieure à la valeur calculée (715,39 **µdef**), ce qui montre que le dimensionnement est accepté.

Choix 2 : <u>Structure mixte</u> (BB, GB2, GC3)

Déformation tangentielle admissible des couches bitumineuses

$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon\,(NE, \theta_{eq}, f).K_c.\,K_r.\,K_s$
K_r: $10^{-ub\delta}$
Risque r = 5 %
U : Variable centré réduite de la loi de fatigue = -1.654
b: Pente de la courbe de fatigue du matériau = -0.2
Dispersion δ: $([\mathbf{SN}^2 + (c.\mathbf{sh}/\mathbf{b})^2]^{0.5}$
h_{BB} = 0.07 m donc Sh : 0.01 m
h_{GB} = 0.12 m donc Sh : 0.016 m
C : 0.02 cm^{-1}
δ BB: $([\mathbf{SN}^2 + (c.\mathbf{sh}/\mathbf{b})^2]^{0.5} = [0.25^2 + (2 \text{ x } 0.01/0.2)^2]^{0.5} = 0.27$
δ GB 2: $([\mathbf{SN}^2 + (c.\mathbf{sh}/\mathbf{b})^2]^{0.5} = [0.30^2 + (2 \text{ x } 0.016/0.2)^2]^{0.5} = 0.34$
K_r BB = 0.815
Kr GB 2 = 0.772
K_c : Coefficient de calage associé aux matériaux.
Rappel valeur de $\mathbf{K_c}$ **:** BB **:** 1.1 ; GB 2 : 1.30
K_S (BB) = 1 car la couche de béton bitumineuse repose sur une couche de grave bitume
K_S (GB2) = 1 car la couche de grave bitumineux repose sur un matériau rigide
$\varepsilon\,(NE, \theta_{eq}, f) = [(NE/10^6)^b.\,(\frac{E(10^0 c)}{E(\theta_{éq})}]^{0.5}.\,\mathcal{E}_6(10^0 c; 10HZ)$
Avec : $E(10^0 c)$ = 7 200 Mpa pour le Béton Bitumineux et 12 300 Mpa pour la grave bitume
$\theta_{éq} = 30^0 c \leftrightarrow E(30^0 c)$ = 1 300 Mpa pour le Béton Bitumineux et 2 700 Mpa pour la grave bitume.
$\mathcal{E}_{6(30^0\,c;10\,HZ)}$ BB : 100 µdef
$\mathcal{E}_{6(30^0\,c;10\,HZ)}$ Grave bitume : 80 µdef

Application numérique

ε (NE,θ_{eq}, f) = $(2.955)^{-0.2}.(7\ 200/1\ 300)^{0.5}$.100 = 189.49 **µdef**→BB

ε (NE,θ_{eq}, f) = $(2.955)^{-0.2}.(12\ 300/2\ 700)^{0.5}$.80 = 137.48 **µdef**→GB2

On en déduit de tous ce qui précède

$\varepsilon_t adm$ = ε (NE,θ_{eq}, f).K_c. K_r. K_s

$\varepsilon_t adm$: 189.49x 1.1x0.815x1 = 169.88 **µdef couche de BB**
$\varepsilon_t adm$: 137.48x 1.3x0.772x1 = 137.97 **µdef couche de GB2**

Conclusion 2 : Le calcul montre que la déformation à la base de la couche de béton bitumineuse 8.1 **µdef** est Inférieure à la valeur calculée 169.88 µdef. Au niveau de la couche de base traité au bitume, la contrainte 17.8 est inférieure à sa valeur limite 137.97 µdef

Contrainte tangentielle admissible de la couche rigide GC 3

$\varepsilon_{t,ad} = \sigma_6 \times (\frac{NE}{10^6})^b \times K_C \times K_d \times K_r \times K_s$

CAM du trafic = 0.80

Pour un risque r = 5% et une hauteur h = 20cm on a :

K_C : 1.40 K_d : **1.0** K_r : 0.712 K_s : 1.0

$\varepsilon_{t,ad} = 0.75 \times (\frac{.4.78.10^6}{10^6})^{-1/15} \times 1.40 \times 1 \times 0.712 \times 1.0$

$\varepsilon_{t,ad}$ = 0.674 µdef

Le calcul montre que la contrainte surfacique de la couche de grave ciment est de 0.674**µdef** est légèrement supérieur à la valeur calculée 0.62 µdef. Deux solutions s'offrent à nous :

Option 1 : la couche est conservée mais Il faut donc une surveillance de la couche

Choix 2 : une amélioration en grave ciment de type 4.

Annexe 3

SEUILS DES ÉPAISSEURS DES COUCHES DE CHAUSSÉES

Les seuils des épaisseurs des couches tiennent compte de la nature antisecte des matériaux en l'occurrence la granulométrie, la cohésion des grains ainsi que leur comportement aux compactages. Ainsi, le catalogue des structures neuves 1998 nous renseigne comme suit :

Seuils technologiques des épaisseurs des couches.

Matériaux d'assises : épaisseurs nominales minimale et maximale de mise en œuvre

Matériaux	GB	GH	GL-N	GNT	GLL
Granulométrie	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
Min	10	©	15	15	15
Max	15	35	35	35	40
© : épaisseurs minimale 15cm en base ou fondation sur PF4 ; 18 cm en couche de fondation sur PF3 ; 20 cm en fondation sur PF2					

Couche de surface : épaisseurs Nominales minimales et maximales de mise en œuvre

Matériaux	E.S	BB
Granulométries		
Min	-	4
Max	4	7
bicouche ou tricouches		