



# ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER GENIE CIVIL  
OPTION : Route et Ouvrage d'Art (R.O.A)

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 27 octobre 2015 par

**Fatimata SAWADOGO**

**Travaux dirigés par :**

**Dr. Ismaïla GUEYE** (Responsable de la formation génie civil)  
**M. Ali SANA** (Chef de département Géotechnique Routière au LNBTP)  
**M. Kalsibiri KABORE** (Directeur Technique au LNBTP)

Jury d'évaluation:

Président : Dr LAWANE Abdou

Membres et correcteurs :

M. Célestin OVONO MEZUI

M. Décroly DJOUBISSIE DENOUEWE

**Promotion [2014/2015]**

# Dédicace

*Je dédie le présent mémoire, fruit de multiples efforts à mes parents pour leurs bénédictions et encouragements.*

# Remerciements

« Quelle que soit la valeur du présent fait à un homme, il n'y a qu'un mot pour témoigner la reconnaissance inspirée par la liberté, c'est MERCI » Amadou Hampâté Ba.

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je cite entre autre :

- ❖ Le Directeur Général du LNBTP, M. Dramane MILLOHO pour l'accord de mon stage au sein de leur structure.
- ❖ Le Directeur Technique du LNBTP, M. Kalsibiri KABORE pour le suivi de mon travail.
- ❖ Le chef du département Géotechnique Routière, M. Ali SANA, mon encadreur.
- ❖ M. Ismaïla GUEYE, mon tuteur pédagogique.
- ❖ M.OUEDRAOGO Mathieu, Directeur Technique du bureau d'étude ACE Ingénieurs Conseils.
- ❖ L'ensemble du corps enseignant qui n'a ménagé aucun effort pour notre formation ;
- ❖ l'ensemble du personnel du LNBTP pour leur sincère collaboration.

A tous les amis et camarades pour leur soutien de tout genre, qu'ils trouvent chacun à la lecture de ce mémoire l'expression de ma profonde reconnaissance.

## RESUME

Aujourd'hui, malgré la construction de nombreuses routes au Burkina Faso, force est de constater que certaines présentent des niveaux de dégradations qui, hormis l'insuffisance des budgets alloués à l'entretien routier, nécessitent des études approfondies pour mieux cerner leur état. Le but de ce travail est d'identifier les problèmes liés aux méthodes de dimensionnement au Burkina Faso. L'étude s'est essentiellement axé sur la méthode CEBTP et la méthode rationnelle ALIZE qui sont les plus utilisées lors des projets de construction routière.

La méthode empirique du guide CEBTP donne des dimensions de structures parfois insuffisantes comparativement aux méthodes rationnelles. Elle a besoin d'une réadaptation au contexte actuel de chaque pays. Aussi le guide devrait intégrer certains facteurs tels que la caractérisation des matériaux à des températures précises qui jouent également un rôle important dans le dimensionnement structural des chaussées. L'utilisation du logiciel ALIZE, bien qu'elle soit une méthode complète pose problème au niveau du choix des valeurs des paramètres d'entrée tels que les caractéristiques mécaniques des matériaux, le coefficient d'agressivité du trafic et les conditions environnementales plus appropriées. Il apparaît dès lors indispensable de mener des travaux de recherche pour affiner la connaissance des matériaux constitutifs des structures de chaussée et les interfaces afin d'utiliser des méthodes de dimensionnement adaptées à ces matériaux et au contexte du Burkina Faso.

### **Mots Clés :**

---

- 1- Chaussée
- 2- Méthodes
- 3- Dimensionnement
- 4- Comparative
- 5- Paramètres

## **ABSTRACT**

Nowadays, despite the building of many roads in Burkina Faso, we notice that some roads show levels of degradation which save the insufficiency of allocated budget of road maintenance need detailed studies to better define their state. This study goal is to identify the problems linked to the sizing methods in Burkina Faso. The study is mainly based on CEBTP method and the rational method, ALIZE, which are the most used for road building project.

The empirical method of CEBTP guide, gives the structures dimensions, sometimes insufficient compared to rational method. It needs a readjustment to each country present context. The guide should also integrate some factors like the materials characteristics at precise temperatures, which play an important role in the structural sizing of roads. The use of the software ALIZE, even though being complete meets some problems at the choice of input values like the mechanical characteristics of materials, the traffic aggressiveness coefficient and the appropriate environmental conditions. Therefore it appears essential to carry researches to increase the knowledge of roads structure constitutive materials, and the interfaces, in order to use the appropriate sizing methods for these materials and Burkina Faso context.

### **Keywords:**

- 1- Road
- 2- Method
- 3- Sizing
- 4- Comparative
- 5- Parameters

**LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES**

<b>AGEPAR</b>	: Agence des Partenaires de la Route
<b>BCEOM</b>	: Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer
<b>CAM</b>	: Coefficient d'Agressivité Moyen
<b>CBR</b>	: Californian Bearing Ratio
<b>CEBTP</b>	: Centre Expérimental de Recherches et d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics
<b>CEDEAO</b>	: Communauté Economique Des Etats de l'Afrique de l'Ouest
<b>Ec7</b>	: Module de compression à 7jours
<b>GB</b>	: Grave Bitume
<b>GC</b>	: Grave concassée
<b>GNT</b>	: Grave Non traité
<b>IP</b>	: Indice de Plasticité
<b>LCPC</b>	: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
<b>LNBTTP</b>	: Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
<b>MO</b>	: Maitre d'Ouvrage
<b>MPa</b>	: Méga pascal
<b>OPM</b>	: Optimum Proctor Modifié
<b>PL</b>	: Poids Lourd
<b>PST</b>	: Programme Sectoriel de Transport
<b>Rc7</b>	: Résistance à la compression simple à 7 jours
<b>RN</b>	: Route Nationale
<b>UEMOA</b>	: Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>CHAPITRE I : CONTEXTE DU BURKINA FASO</b> .....	<b>5</b>
I.    LE CARACTERE PHYSIQUE DU BURKINA FASO.....	5
II.   LE CONTEXTE ECONOMIQUE .....	6
<b>CHAPITRE II : LES DIFFERENTES STRUCTURES DE CHAUSSEE UTILISEES AU BURKINA FASO</b> .....	<b>8</b>
I.    LES FAMILLES DE STRUCTURES DE CHAUSSEE.....	9
II.   FONCTIONNEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES DIFFÉRENTES FAMILLES DE STRUCTURES .....	11
<b>CHAPITRE III : METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE UTILISEES AU BURKINA FASO</b> .....	<b>19</b>
I.    HISTORIQUE .....	19
II.   METHODES CLASSIQUES OU EMPIRIQUES.....	19
III.  METHODES SEMI-EMPIRIQUES .....	21
IV.  METHODES RATIONNELLES .....	23
<b>CHAPITRE IV : LES CARACTERISTIQUES DES PARAMETRES UTILISES AU BURKINA POUR LE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES ROUTIERES</b> .....	<b>29</b>
I.    LE TRAFIC .....	29
II.   LES MATERIAUX DISPONIBLES .....	31
III.  LE SOL DE PLATEFORME.....	31
IV.  LES CONDITIONS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES.....	32
<b>CHAPITRE V : ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT (ETUDE DE CAS)</b> .....	<b>33</b>
I.    PROJET N°1 .....	33
II.   PROJET N°2.....	38
III.  AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES METHODES CEBTP ET ALIZE.....	41
<b>CHAPITRE VI : ANALYSE CRITIQUE DES METHODES UTILISEES (CEBTP ET ALIZE LCPC)</b> .....	<b>43</b>
I.    DOMAINE D'APPLICATION .....	43
II.   LIMITES ET CRITIQUES .....	44
<b>CHAPITRE VII : RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>50</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>52</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>53</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>54</b>

**LISTE DES FIGURES**

**Figure 1 : coupe d'une chaussée..... 8**  
**Figure 2 : Quelques types de véhicules constituant le trafic. .... 24**  
**Figure 3 : Illustration du trafic équivalent. .... 25**  
**Figure 4 : Les entrants du calcul de la structure de chaussée (méthode rationnelle)..... 26**  
**Figure 5 : Modèle de BURMISTER. .... 27**  
**Figure 6 : Evolution du trafic journalier entre 2011 et 2014 ..... 30**

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1 : Classes de trafic définies par le CEBTP .....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 2 : Classes de portance de la plateforme (CEBTP) .....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 3 : Sollicitations internes de la structure proposée par le M.O (Projet N°1).....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau 4 : Sollicitations internes à la structure proposée par le guide du CEBTP.....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 5 : Structure de la variante N°1 proposée par l’entreprise (projet N°1).....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 6 : Structure de la variante N°2 proposée par l’entreprise (projet N°1).....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 7 : Structure de la variante N°3 proposée par l’entreprise (projet N°1).....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 8 : Résultat du dimensionnement du projet N°2 .....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau 9 : Sollicitations internes à la structure proposée par le guide du CEBTP.....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau 10 : Sollicitations internes à la structure proposée par ALIZE .....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau 11 : Structure retenue par le bureau d’étude (Projet N°2) .....</b>	<b>41</b>
<b>Tableau 12 : Performances des méthodes .....</b>	<b>41</b>
<b>Tableau 13 : Avantages et inconvénients des méthodes.....</b>	<b>42</b>
<b>Tableau 14 : Détermination du coefficient d'agressivité suite au pesage de juillet-aout 2007.....</b>	<b>46</b>

## INTRODUCTION

Le réseau routier burkinabè classé a progressé durant la dernière décennie aussi bien en linéaire qu'en qualité. Il est passé de 9500 km en 1998 à 15 271 km en 2010 et le linéaire des routes bitumées a progressé de 50%. L'état du réseau s'est également amélioré considérablement grâce aux efforts de réhabilitation et de bitumage menés dans le cadre du PST-2 qui ont permis de pratiquement tripler la part du réseau routier en bon état, pour atteindre 54% en 2008. En dépit de ces importantes avancées, la couverture du réseau routier classé Burkinabè reste faible et connaît une dégradation superficielle et structurelle précoce des chaussées neuves et par conséquent des durées de service très courtes. D'où la nécessité de mener une réflexion sur les causes réelles de ces dégradations précoces. Une analyse des méthodes de dimensionnement s'avère impérative compte tenu de l'importance du dimensionnement. En effet, il est une étape essentielle dans la conception routière pour atteindre les objectifs fixés au départ.

Le but de cette étude est de mener une réflexion sur les méthodes de dimensionnement utilisées au Burkina Faso mais aussi d'attirer l'attention quant à la nécessité d'adapter ces méthodes à notre environnement afin d'améliorer les méthodes et les techniques de dimensionnement des routes au Burkina Faso. Il sera présenté d'abord les différentes structures de chaussée et leur mode de fonctionnement, les caractéristiques des paramètres de dimensionnement utilisés au Burkina Faso, ensuite les différentes méthodes de dimensionnement, l'étude comparative proprement dite à partir d'une étude de cas, et enfin une analyse critique de ces méthodes.

## CHAPITRE I : CONTEXTE DU BURKINA FASO

### I. LE CARACTERE PHYSIQUE DU BURKINA FASO

Situé dans la boucle du Niger, le Burkina Faso est un pays continental de 274 200 km<sup>2</sup> sans débouché sur la mer. Il est limité au Nord et à l'Ouest par le Mali, au Nord-Est par le Niger au Sud-Est par le Bénin et au Sud par le Togo, le Ghana et la Cote d'Ivoire. Le Mouhoun, le Nazinon et le Nakambé, (anciennes Volta noire, Volta rouge et Volta blanche) sont les trois (3) principaux cours d'eau qui drainent le pays. Le point le plus proche de l'Atlantique est éloigné de 500 km. L'altitude moyenne des plateaux est de 500 m. Le point le plus haut, le Ténakourou culmine à 747 m et se situe à l'ouest du pays. De climat tropical, le Burkina possède deux (2) saisons ; une saison sèche et une saison des pluies.

#### 1. Le climat

Malgré sa taille modeste, le Burkina Faso comporte trois principales zones climatiques différenciées principalement par leur niveau annuel de précipitations. Ainsi, de Markoy à l'extrême-nord à Fourkoura à l'extrême sud-ouest, le niveau de pluies varie du simple au quadruple (300mm à 1300mm). Hélas, les caprices des saisons et les changements climatiques font que les variations d'une année à l'autre peuvent être importantes et entraîner des dérèglements sociaux dus aux ravages sur les cultures vivrières de la sécheresse ou des pluies hors-saison. Si la saison dite "des pluies" peut certaines années ne durer qu'une quarantaine de jours dans la zone sahélienne de Gorom-Gorom, elle peut s'étendre sur 250 jours à la frontière ivoiro-Burkinabè. Les températures, elles, sont relativement homogènes sur l'ensemble du territoire avec des moyennes de températures ne variant que rarement de plus de 3°C entre les régions les moins chaudes et les zones les plus chaudes. L'amplitude thermique entre le jour et la nuit peut cependant être importante entre novembre et février avec des températures diurnes deux fois plus chaudes que les valeurs nocturnes.

#### 2. Le relief, la géologie et l'hydrographie

Le Burkina Faso est un pays relativement plat. Mais ça ne l'empêche pas d'être situé à une altitude moyenne de 400 mètres car il est constitué principalement de plateaux et de collines.

Les trois quarts du pays sont situés sur une gigantesque pénéplaine (large espace de faibles dénivellations résultant d'une longue érosion et de la jonction des bassins hydrographiques).

Cette pénéplaine appelée le "Plateau Central" (et comprenant le plateau Mossi) voit s'étendre sur son ensemble de basses collines et des vallées peu profondes forgées par des rivières tout aussi peu capricieuses. Les parties basses et planes correspondent aux granites et gneiss du socle,

consolidés et usés par l'érosion depuis le Précambrien. Les masses rocheuses isolées qui ont résisté à l'érosion se présentent sous des formes diverses. On trouve des alignements de collines qui s'apparentent au relief appalachien. Le Ténakourou est le sommet le plus élevé du pays, avec ses 747 mètres il domine la région la plus haute du Burkina Faso constituée d'un massif gréseux. C'est dans cette zone à cheval sur les provinces du Kéné Dougou, de la Comoé et de la Léraba que se succèdent un certain nombre de curiosités géologiques appréciées des touristes tels que les dômes de Fabédougou, les pics de Sindou et les falaises de Banfora. Les curieux pics de Sindou, inscrits au patrimoine touristique national, sont de curieuses manifestations géologiques forgées par l'érosion. Le pays est divisé en trois (3) principaux bassins : ceux de la Volta, de la Comoé et du Niger.

- Le bassin de la Comoé : C'est le plus méridional du pays. Il draine l'extrémité sud-ouest du Burkina Faso sur une superficie de 18 000km<sup>2</sup>. Cette zone, qui reçoit le plus de précipitations, bénéficie de cours d'eau permanents (Sinlo, Léraba...) ainsi que de lacs et de mares importants (lacs de Banfora, de Tengrela...) dont le niveau ou le débit gonfle durant les mois d'hivernage.
- Le bassin de la Volta : C'est le bassin couvrant la plus grande partie du pays. De l'est à l'ouest du pays, il couvre une superficie de 178 000km<sup>2</sup>. Il est constitué par trois sous-bassins majeurs: ceux du Mouhoun, du Nakambé et de la Pendjari. Les eaux de ses bassins se rejoignent au centre du Ghana, où elles forment le lac Volta.
- Le bassin du Niger : Il draine le nord-est et l'est du pays sur 72 000km<sup>2</sup>. Les affluents Burkinabè du Niger les plus septentrionaux sont en grande partie endoréiques (le Béli, le Gorouol, le Goudébo et le Dargol) et peuvent provoquer des crues importantes ; il est à noter que le fleuve Niger lui-même ne passe pas par le territoire Burkinabè. Par contre, les affluents soudano-sahéliens (la Faga, la Sirba, la Bonsoaga, le Diamangou et la Tapoa) ont des régimes un peu moins irréguliers. Ces cours d'eau de faible débit ne forment souvent qu'un chapelet de mares.

## II. LE CONTEXTE ECONOMIQUE

Le Burkina Faso est un pays enclavé situé en Afrique de l'Ouest et entouré par six (6) pays voisins dont quatre (4) ont une façade maritime. Ouagadougou, la capitale est à environ 1000kilomètres de la côte la plus proche. L'enclavement du pays, sans accès direct à l'océan, est l'un des principaux facteurs qui paralysent son tissu économique. Le secteur agricole, l'élevage et la pêche constituent 70% des recettes d'exportation et représentent plus de 40%

du PIB. Son produit intérieur brut par habitant est de cent quatre-vingt-dix-huit mille huit cent quatre-vingt-quatre (198884) Francs.

Le Burkina Faso compte quatre (4) corridors de dessertes routières et un corridor ferroviaire d'environ 1000 km chacun. Ce réseau relie le pays aux ports maritimes des pays côtiers limitrophes (le port d'Abidjan en Côte d'Ivoire, de Téma au Ghana, de Lomé au Togo et de Cotonou au Bénin). Les corridors routiers du Burkina Faso sont utilisés tant par le Burkina Faso que le Niger et le Mali pour effectuer leurs échanges commerciaux internationaux et inter-régionaux. Plus de 80% des importations et des exportations s'effectuent par la route. Cette situation fait du sous-secteur des infrastructures routières un moteur du développement économique et social du pays. En effet, en même temps qu'il permet d'accroître la production et de rendre plus compétitives les exportations, le réseau routier permet une meilleure répartition des fruits de la croissance et constitue un moyen efficace de la lutte contre la pauvreté. Le pays est vulnérable à la conjoncture climatique, à la hausse du cours du dollar pour ses importations de produits pétroliers et la baisse du prix du coton. Le secteur du transport routier contribue à hauteur de 8% au PIB et mobilise 15% de la population active. Par ses multiples fonctions macro-économiques, le secteur des transports soutient les autres activités économiques. Il intervient tout particulièrement en amont et en aval de la production agricole et du développement du commerce. Il est un important générateur d'emploi. C'est donc ce contexte macro-économique qui influencera la stratégie globale d'investissement et d'entretien. Il servira de base pour l'évaluation économique des paramètres des projets d'infrastructures routières.

## CHAPITRE II : LES DIFFERENTES STRUCTURES DE CHAUSSEE UTILISEES AU BURKINA FASO

La chaussée se présente comme une structure multicouche mise en œuvre sur le sol de plateforme.

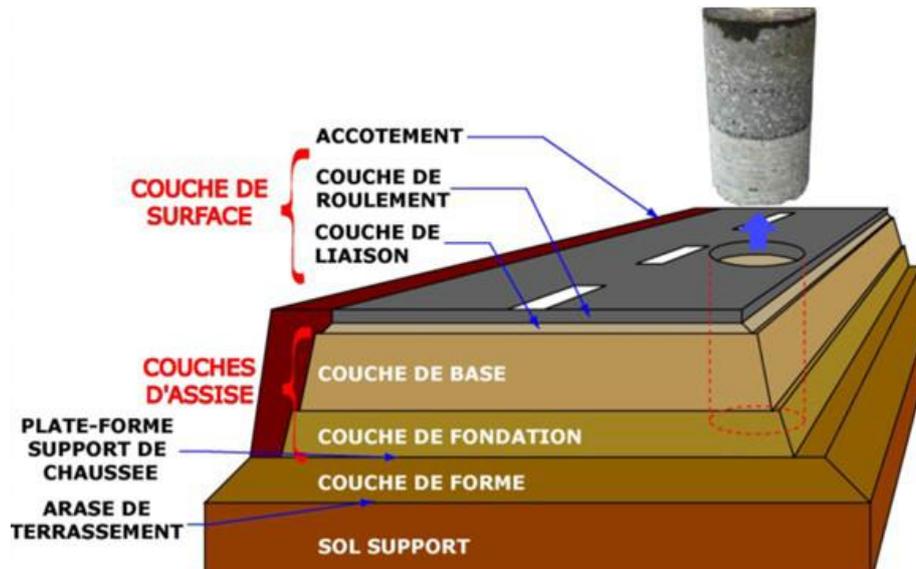


Figure 1 : Coupe d'une chaussée

Les chaussées évoluent et se dégradent sous l'effet généralement combiné de la répétition des charges roulantes (trafic), des agents climatiques et du temps. La connaissance de la nature des dégradations et de leurs modes d'évolution est essentielle pour ;

- comprendre le mode de fonctionnement des structures de chaussées ;
- choisir le modèle de calcul adapté à la technique ;
- ajuster enfin les résultats des calculs pour les aspects mal appréhendés par le modèle mécanique utilisé pour le dimensionnement de la structure de chaussée.

Les dégradations les plus couramment rencontrées, selon la nature et la qualité des différentes couches, sont :

- Couche de roulement
  - Usure due aux efforts tangentiels exercés par les charges roulantes ;
  - orniérage par fluage dans des conditions excessives de température et de sollicitations par le trafic ;
  - fissuration de fatigue par suite d'une mauvaise adhérence de la couche de roulement bitumineuse à l'assise ;
  - fissuration par remontée des fissures des couches d'assise de chaussée ;

- fissuration par fatigue thermique suite à un vieillissement du bitume.
    - Couches d'assise traitées
  - Fissuration de fatigue due à la répétition des efforts de traction par flexion au passage des charges ;
  - fissuration de prise et de retrait thermique des graves traitées aux liants hydrauliques ;
  - fissuration due aux gradients thermiques des dalles de béton ;
  - pompage et décalage de dalles dans les couches présentant des fissures de retrait ou des joints, du fait d'une mauvaise qualité du transfert de charge et de l'érodabilité du support.
    - Couches d'assise non liées et support de chaussée
  - Déformations permanentes de la structure (affaissement, orniéage...) dues au cumul de déformations plastiques.
- Pour chaque type de structure de chaussée, il existe des défauts prépondérants traduisant des modes de fonctionnement particuliers.

## **I. LES FAMILLES DE STRUCTURES DE CHAUSSEE**

Au Burkina Faso, on y rencontre majoritairement deux (2) structures selon la classification classique: Les chaussées souples ou flexibles et les chaussées semi-rigides. Les chaussées rigides sont essentiellement réalisées sur de petits tronçons.

Mais depuis un certain temps d'autres structures sont apparues et selon la classification des types de chaussées neuves du SETRA-LCPC de 1998 elles se regroupent dans les familles suivantes :

- Souples ;
- bitumineuses épaisses ;
- semi-rigides ;
- mixtes ;
- inverses ;
- rigides.

Les familles de chaussée rencontrées au Burkina Faso selon cette classification, sont les chaussées souples, bitumineuses épaisses, semi- rigides et mixtes.

### **1. Souples**

Ces structures comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieur à 15 cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible trafic, reposant sur une ou

plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm.

## **2. Bitumineuses épaisses**

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base et fondation). L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm.

## **3. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques**

Ces structures sont qualifiées couramment de "semi-rigide". Elles comportent une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une ou deux couches (base et fondation) dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm.

## **4. Les chaussées à structure mixte**

Ces structures comportent une couche de roulement et une couche de base en matériaux bitumineux (épaisseur de la base : 10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). Les structures qualifiées de mixtes sont telles que le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée soit de l'ordre de 1/2.

## **5. Les chaussées à structure inverse**

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur totale, sur une couche en grave non traitée (d'environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm.

## **6. Les chaussées en béton de ciment**

Ces structures comportent une couche de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur éventuellement recouverte d'une couche de roulement mince en matériaux bitumineux. La couche de béton repose soit sur une couche de fondation (qui peut être en matériaux traités aux liants hydrauliques, en béton de ciment, ou drainante non traitée), soit directement sur le support de chaussée avec, dans ce cas, interposition fréquente d'une couche bitumineuse. La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal ("béton armé continu"), ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints.

## II. FONCTIONNEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES DIFFÉRENTES FAMILLES DE STRUCTURES

### 1. Les chaussées souples

- Sollicitations dues au trafic

Les matériaux granulaires non liés, qui constituent l'assise de ces chaussées, ont une faible rigidité qui dépend de celle du sol et de leur épaisseur. Comme la couverture bitumineuse est relativement mince, les efforts verticaux dus au trafic sont transmis au support avec une faible diffusion latérale. Les contraintes verticales élevées engendrent par leur répétition des déformations plastiques du sol ou de la grave qui se répercutent en déformations permanentes en surface de la chaussée. La couverture bitumineuse subit à sa base des efforts répétés de traction-flexion.

- Influence des conditions d'environnement

La faible rigidité de la structure rend ces chaussées particulièrement sensibles aux variations d'état hydrique des sols supports. Ceci se manifeste notamment par les "effets de bord" : réduction de portance en période humide pouvant conduire à des affaissements de rive et fissuration de retrait hydrique en période de dessiccation.

- Évolution du mode d'endommagement

L'évolution la plus fréquente des chaussées souples se manifeste d'abord par l'apparition de déformations permanentes du type orniérage à grand rayon, flaches et affaissements qui détériorent les qualités du profil en travers et du profil en long.

Ces déformations croissent avec le trafic cumulé, en gravité (amplitude verticale) et en étendue, selon la qualité moyenne de la structure et la dispersion des caractéristiques mécaniques du corps de chaussée et du sol.

Les sollicitations répétées de flexion alternée dans la couverture bitumineuse entraînent une dégradation par fatigue, sous la forme de fissures d'abord isolées puis évoluant peu à peu vers un faïençage à maille de faibles dimensions.

L'eau s'infiltrant alors plus facilement provoque une accélération des phénomènes : épaufrures aux lèvres des fissures avec départ de matériaux, puis formation de nids de poule.

Si la chaussée était alors laissée sans entretien, elle évoluerait très rapidement vers une destruction complète.

## 2. Les chaussées bitumineuses épaisses

- Sollicitations dues au trafic

La rigidité et la résistance en traction des couches d'assise en matériaux bitumineux permettent de diffuser en les atténuant fortement les contraintes verticales transmises au support. En contrepartie, les efforts induits par les charges roulantes sont repris en traction flexion dans les couches liées.

Ces chaussées comportent en général plusieurs couches. Lorsque celles-ci sont collées, les allongements maximaux se produisent à la base de la couche la plus profonde. Mais, si les couches sont décollées, chacune d'elles se trouvera sollicitée en traction et pourra se rompre par fatigue. La qualité des interfaces a donc une grande incidence sur le comportement de ces chaussées.

Quant aux efforts sur le support, ils sont généralement suffisamment faibles pour ne pas entraîner en surface des déformations permanentes avant l'endommagement par fatigue des couches bitumineuses liées.

- Influence des conditions d'environnement

Elle est semblable à celle décrite pour les chaussées souples. L'orniérage par fluage, favorisé par des températures élevées et un trafic lourd lent, n'affecte en général que la couche de surface. Il tient à des choix inadaptés de nature de matériaux et de formulation.

- Evolution du mode d'endommagement

Sans entretien, le processus de dégradation des chaussées bitumineuses épaisses se développe ainsi jusqu'à la ruine.

Du fait du dimensionnement en fatigue retenu en France, l'apparition de fissures longitudinales de fatigue dans les traces de roues est généralement postérieure aux dégradations de surface. Les fissures longitudinales se transforment progressivement en faïençage dont la dimension des mailles se réduit peu à peu. Cette transformation s'amorce dans les zones de plus faible qualité (portance du support, caractéristiques du matériau lié, zone de décollement de la couche de roulement).

La dégradation des fissures accélère le processus avec l'infiltration de l'eau à travers le corps de chaussée. Ceci favorise en retour l'attrition des lèvres de fissures, le départ de matériaux et la formation de nids de poule. A ce stade de désorganisation des couches liées, le mode de fonctionnement de la chaussée est profondément modifié, les blocs réagissant isolement sous les charges.

### 3. Les chaussées semi-rigides

- Sollicitations dues au trafic

Compte tenu de la grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques, les contraintes verticales transmises au support de chaussée sont faibles. En revanche, l'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion qui s'avèrent déterminantes pour le dimensionnement de ce type de chaussée.

Ces structures comportent souvent une couche de base et une couche de fondation. Lorsque l'adhérence entre ces couches assure la continuité des déplacements, la contrainte maximale de traction est observée à la base de la couche de fondation. Dans le cas contraire (où il se produit un glissement relatif), les couches travaillent toutes deux en traction à leur base.

L'interface couche de surface bitumineuse-couche de base est aussi une zone sensible car :

- elle est soumise à des contraintes normales et de cisaillement horizontal,
- les quelques centimètres supérieurs de l'assise traitée sont souvent de plus faible résistance.

- Influence des conditions d'environnement

Les assises traitées aux liants hydrauliques sont sujettes aux retraits thermiques et de prise.

Le retrait, empêché par le frottement de la couche d'assise sur son support, provoque une fissuration transversale. Sans disposition constructive particulière, ces fissures remontent à travers la couche de roulement. Elles apparaissent en surface de la chaussée avec un espacement assez régulier (entre 5 et 15 m). Leur ouverture varie avec la température entre quelques dixièmes de millimètres et quelques millimètres. Souvent franches lors de leur apparition en surface, les fissures de retrait tendent à se dédoubler et se ramifier sous l'effet du trafic.

Du point de vue mécanique, ces discontinuités créent, à leur proximité au passage des véhicules, une augmentation de la contrainte transversale par rapport à la valeur observée pour un milieu continu. Cet accroissement de contrainte est fonction inverse de la qualité du transfert de charge entre les deux bords de la fissure. En outre, si le transfert est faible, la pression sur le support augmente fortement sous la charge.

La fissuration de retrait favorise la pénétration de l'eau, ce qui a des conséquences :

- aux interfaces, avec une diminution 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, un accroissement des contraintes de traction à la base des couches traitées ainsi que la modification des conditions d'appui sur le support de chaussée,
- 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 support de chaussée.

- Evolution du mode d'endommagement

La couverture bitumineuse des premières assises traitées réalisées dans les années 60 était de faible épaisseur (5 cm) et souvent perméable. La surface de l'assise, mal protégée, et à la réalisation de laquelle on n'apportait pas un soin suffisant (faible compacité et feuillete, dessiccation par inefficacité de l'enduit de cure), se dégradait rapidement par attrition avec la pénétration de l'eau (par les fissures de retrait thermique ou dans les zones d'enrobés perméables). Ceci entraînait l'apparition de remontées de boues en surface en période humide. Ces dégradations évoluaient rapidement en floches avec des faïençages puis en nids de poule. Pour les chaussées construites après 1975, la plus grande attention portée à la qualité de la surface de l'assise, une meilleure protection par augmentation de l'épaisseur de la couverture bitumineuse, et un scellement des fissures de retrait ont rendu ces phénomènes de remontées de boues très peu fréquents.

Par ailleurs, un certain nombre de procédés ont été mis au point pour contrôler la fissuration de retrait (pré-fissuration des couches d'assise) et limiter ou ralentir la remontée des fissures à travers la couche de roulement (complexes "anti-fissures").

Des réalisations anciennes, sous trafic modéré et dont l'interface roulement-base était de qualité, ont montré que l'accroissement de la fissuration longitudinale de fatigue dans les bandes de roulement conduisait, à terme, à la formation de petites dalles rectangulaires entre les fissures de retrait, avec localement des décalages par modification des conditions d'appui. A ce stade, le mode de fonctionnement de la chaussée est modifié avec une assise formée d'éléments discontinus. En pratique, on ne laisse pas les chaussées évoluer jusqu'à ce stade, les opérations d'entretien structurel étant généralement déclenchées à l'apparition des premières fissures de fatigue.

#### **4. Les chaussées à structure mixte**

Les différentes couches des structures mixtes ont un rôle fonctionnel distinct. La couche de matériau traité aux liants hydrauliques placée en fondation diffuse et atténuée, du fait de sa raideur élevée, les efforts transmis au sol support. Cette couche constitue par ailleurs un support de faible déformabilité pour les couches bitumineuses supérieures.

Les couches bitumineuses (dont l'une est généralement constituée de grave-bitume) ont plusieurs rôles. Elles assurent les qualités d'uni et de continuité que ce type de matériau permet ; grâce à leur épaisseur, elles servent à ralentir la remontée des fissures transversales de la couche de matériaux traités aux liants hydrauliques et réduisent les contraintes de

flexion à la base de la couche de fondation.

- Sollicitations dues au trafic

En première phase, les différentes couches restent adhérentes. La couche bitumineuse est alors peu sollicitée en traction (à l'exception toutefois des zones proches des fissures transversales présentes dans la couche traitée aux liants hydrauliques). C'est en revanche la base de la couche traitée aux liants hydrauliques qui est sollicitée en fatigue par flexion.

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

- Influence des conditions d'environnement

La couche traitée aux liants hydrauliques est sujette au retrait, la couche bitumineuse assurant cependant une atténuation des gradients thermiques journaliers. Les écarts de température journaliers participent avec l'effet du trafic à la propagation de la fissuration à travers la couche bitumineuse (l'épaisseur de cette couche réduisant les facteurs d'intensité de contraintes).

- Evolution du mode d'endommagement

Pour les structures construites selon les règles du Catalogue des structures types de chaussées neuves de 1977, on constate dans l'ensemble un comportement satisfaisant. La fissuration, rare sinon exceptionnelle dans les régions de climat océanique, a été observée dans des climats plus continentaux avec des matériaux employant des granulats à fort coefficient de dilatation. Les fissures transversales des couches bitumineuses, peu denses et fines, nécessitent cependant un entretien pour éviter l'accélération par les entrées d'eau des phénomènes de détérioration.

Sur des sols de mauvaise portance et lorsque l'épaisseur et la qualité des graves traitées aux liants hydrauliques était insuffisante, on a pu constater des floches de grandes dimensions conduisant à un faïençage des couches bitumineuses.

## **5. Les chaussées à structure inverse**

Les chaussées à structure inverse sont des structures composées de trois couches ayant chacune un rôle fonctionnel spécifique.

La couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques a pour objet d'atténuer les contraintes sur le sol et d'assurer par ailleurs aux couches supérieures un support de faible déformabilité. C'est dans certains cas et sous certaines conditions que la couche de forme traitée tient lieu de couche de fondation.

La couche granulaire, relativement déformable dans le sens horizontal, a pour fonction d'éviter la remontée des fissures consécutives aux phénomènes de retrait et aux mouvements d'origine thermique de la couche en matériaux traités aux liants hydrauliques.

La couverture bitumineuse assure les qualités d'uni et d'étanchéité.

- Sollicitations dues au trafic

La couche traitée aux liants hydrauliques assure une grande partie de la rigidité en flexion de la structure.

La couche bitumineuse travaille également en traction à la base de la couche, l'amplitude des allongements étant fonction de l'épaisseur et de la rigidité du support granulaire.

La couche granulaire, de faible épaisseur, est confinée par les couches liées. Reposant sur un support rigide, elle subit des contraintes relativement élevées. La grave concassée est choisie pour résister à l'attrition et avoir un module intrinsèque élevé afin de limiter la déformation de la couche bitumineuse. L'épaisseur de la couche granulaire est en général voisine de 12 cm pour obtenir une compacité élevée.

- Influence des conditions d'environnement

Les effets thermiques sur le développement de la fissuration de retrait des couches traitées aux liants hydrauliques et sur la déformabilité des couches bitumineuses, déjà signalés pour les autres structures de chaussée, se manifestent aussi sur les structures inverses.

- Evolution du mode d'endommagement

Les premières réalisations datent de 1975. Les essais effectués sur le manège de fatigue du LCPC ont mis en évidence les modes de dégradation potentiels : un léger orniérage attribuable à la couche granulaire et une fissuration transversale de fatigue des couches bitumineuses survenant après un grand nombre de cycles. Cette fissuration n'était pas très dense et les fissures sont restées fines. Il a par ailleurs été constaté que le pas des fissures n'était pas systématiquement relié à l'état de fissuration de la couche de matériaux traités aux liants hydrauliques, ce qui tend à établir l'efficacité de la couche granulaire vis-à-vis de la remontée des fissures. Dans le cas d'exécution imparfaite, on a relevé des détériorations rapides lorsque l'eau pouvait pénétrer et s'accumuler dans la couche granulaire.

## **6. Les chaussées en béton de ciment**

- Sollicitations dues au trafic

Du fait du module d'élasticité élevé du béton de ciment, les efforts induits par le trafic sont essentiellement repris en flexion par la couche de béton. Les contraintes de compression transmises au sol sont faibles. Comme pour les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques, la sollicitation déterminante est la contrainte de traction par flexion à la base.

Lors de la prise et des cycles thermiques, le béton subit des phases de retrait. La fissuration correspondante est généralement contrôlée, soit par la réalisation de joints transversaux, soit par la mise en place d'armatures continues longitudinales destinées à répartir par adhérence les déformations de retrait en créant de nombreuses fissures fines.

L'accroissement des contraintes transversales sous trafic en bord de dalles est d'autant plus important que le transfert de charge entre dalles est faible. La finesse des fissures du béton armé continu permet d'assurer une quasi continuité de la structure. Pour les structures en béton goudonné, le transfert de charge est assuré par des pièces d'acier situées au droit des joints transversaux.

- Influence des conditions d'environnement

Pour ces structures, les sollicitations créées par les variations des conditions d'environnement peuvent être nettement supérieures à celles dues au trafic. C'est cependant la combinaison des sollicitations dues aux charges et au gradient thermique qui provoque l'endommagement par fatigue.

Les variations saisonnières de température entraînent des variations de longueur des dalles contrariées par le frottement sur le support. Les contraintes de traction (phase de retrait) qui en résultent sont d'autant plus faibles que la désolidarisation entre la dalle et son support est efficace, et que les dalles sont courtes.

Les variations journalières de la température ambiante créent dans les dalles des gradients thermiques. Les dalles ont alors tendance à se déformer. Il s'ensuit une modification des conditions d'appui sur le support conduisant à majorer l'effet du trafic.

- Evolution du mode d'endommagement

Pour les chaussées en bétons classiques à dalles discontinues, la fissuration créée par des contraintes de traction par flexion excessives à la base des dalles est l'un des deux modes principaux de dégradation. Les dispositions construites employées en France : sur largeur de chaussée et liaison des bandes longitudinales permettent de différer et de limiter l'apparition de fissures transversales et des cassures de coin de dalle.

Le second mode principal de dégradation tient à l'évolution des conditions d'appui au voisinage des joints et des fissures ; il s'agit des phénomènes de pompage. Cette évolution est essentiellement due à la présence d'eau à l'interface dalle-fondation dont l'effet se conjugue :

- à l'érodabilité du support ;
- aux chargements transitoires répétés du trafic ;

- à de faibles transferts de charges entre dalles, se traduisant par une dissymétrie des efforts et des déplacements de part et d'autre de ces discontinuités.

L'emploi de matériaux peu érodables en couche de fondation, et un drainage convenable aux interfaces (entre la dalle et son support, entre la dalle et l'accotement), sont des dispositions constructives, maintenant régulièrement adoptées en France, qui permettent d'éviter la dégradation des chaussées en béton par pompage puis décalage des dalles.

Le mode de dégradation des chaussées en béton armé continu reste encore mal connu.

Les premières réalisations de ce type de structures sur le réseau français datent de 1983. Pour la fissuration, on peut penser que le processus d'initialisation des dégradations est comparable à celui des autres structures. Les discontinuités transversales possèdent en revanche, du fait des aciers et de la finesse des fissures, une qualité de transfert de charge pratiquement identique à celle obtenue au droit des joints longitudinaux.

## CHAPITRE III : METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE UTILISEES AU BURKINA FASO

### I. HISTORIQUE

A l'image des autres pays de l'Afrique tropicale, les démarches de dimensionnement des chaussées au Burkina Faso ont connu trois grandes étapes:

- De 1945 à 1970

Après l'utilisation des macadams, la période est caractérisée par l'utilisation des abaques de TRRL et de la formule de PELTIER. Ils ont permis de réaliser 5672 km de route en terre.

De nos jours cette formule n'est encore utilisée que pour le dimensionnement des routes en terre classées et pour le dimensionnement des parkings des routes revêtues.

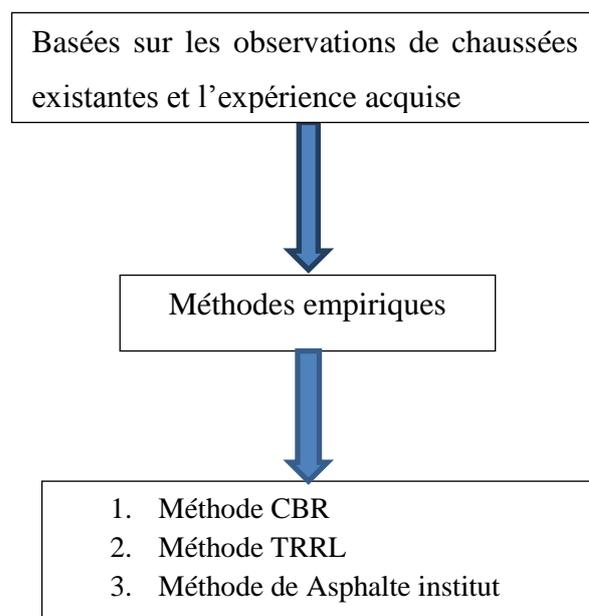
- De 1970 à 1980

Cette période correspond à un début d'adaptation des techniques aux conditions locales avec la parution en 1971 du premier manuel de dimensionnement pour les pays tropicaux publié par le CEBTP de Paris.

- A partir de 1980 jusqu'à nos jours

Les chaussées revêtues sont toujours réalisées selon la méthode du CEBTP, celle mise à jour en 1984 dans « le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux » et d'autres méthodes telle que Asphalt Institute des Etats-Unis.

### II. METHODES CLASSIQUES OU EMPIRIQUES



## 1. Méthode CBR

Cette méthode connue en 1938, est basée sur deux abaques complémentaires qui donnent en fonction du CBR de la plateforme, l'épaisseur totale de la chaussée. Cette épaisseur est donnée par la formule de Peltier (1953, 1956) :

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

Avec les résultats des recherches, cette formule a été améliorée en 1956 pour donner :

$$e = \frac{100 + 150 \sqrt{(P(75 - 50 \log(N/10)))}}{CBR + 5} ; \text{ avec :}$$

e, l'épaisseur de la couche de chaussée en cm

N est le nombre moyen de poids lourds de plus de 3.5 tonnes à l'essieu,

P est la charge par roue en tonne.

## 2. Méthode TRRL (Transportation Road Research Laboratory)

Du nom de Transport Road Research Laboratory, la TRRL fait partie des méthodes pratiques de dimensionnement. Elle est issue de la méthode CBR et s'appuie sur cette dernière pour publier des abaques en 1962 appelés Road Note 29 à la suite des observations des chaussées britanniques durant 15ans. Ces abaques fixent les épaisseurs minimum du revêtement et de la couche de base en fonction du trafic. Seule l'épaisseur de la couche de fondation dépend de la valeur du CBR du sol de plateforme, la couche de base étant en concassé. Ainsi en 1971 le TRRL de Londres publie la Road Note 31 pour les territoires anglophones (la 29 étant relégué à la métropole).Ce guide insiste sur les aspects essentiels :

- la prise en compte de l'influence du climat tropical sur les conditions de teneur en eau de sol de plateforme. Les sols de plateforme sont classés en fonction du niveau de la nappe et de ses fluctuations en fonction des saisons.

- Adoption souhaitable d'un aménagement par étapes de la chaussée lorsque le taux d'accroissement du trafic est élevé ou que les prévisions à long terme sont incertaines. Tout comme la Road Note 29. Les épaisseurs de la couche de base et du revêtement sont fixées en fonction du trafic exprimé en nombre d'essieux standards de 8.2tonnes cumulés par sens de circulation pendant la durée de vie qui va de 0 à 20 ans. La couche de fondation est déterminée en fonction du CBR de la plateforme avec cependant une épaisseur minimale de la fondation prise à 10 cm. Le CBR de la plateforme correspond à la teneur en eau la plus élevée susceptible de se produire dans le sol après la mise en service de la route.

### 3. Méthode de l'Asphalte Institut

L'asphalte Institut est une association basée aux Etats Unies, qui rassemble des entreprises internationales productrices de bitume, employant le bitume ou exerçant une activité associée au bitume. Elle a pour but de promouvoir l'usage du bitume et de mettre en avant ses avantages et ses performances, aux moyens de programmes d'ingénierie, de recherche et de formation et par la résolution des problèmes qui se posent à l'industrie. Elle a joué un rôle directeur dans l'élaboration du système de normes.

La méthode qui lui est associée est une méthode qui permet de déterminer l'épaisseur d'une chaussée en une couche unique ou en plusieurs couches. Le passage d'une couche à plusieurs couches se fait par des rapports de substitution qui proposent des combinaisons de couches en béton bitumineux, en fondation granulaire et en sous couche granulaire en respectant un rapport dont la nature du matériau a une influence sur l'épaisseur de chaque couche de la chaussée. Les rapports de substitution recommandés par Asphalte Institut sont basés sur des recherches très poussées faites avec différents types de matériaux.

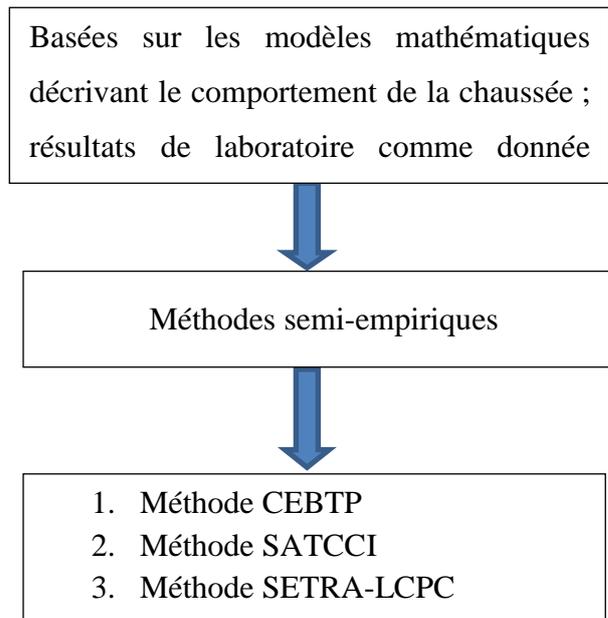
Du point de vue des chaussées souples, elle permet de déterminer l'épaisseur totale de la chaussée à revêtement bitumineux ainsi que l'épaisseur de chacune des couches qui la constitue par le biais d'un abaque dans les conditions d'un même sol et pour des circulations identiques. Les données de base étant:

- l'intensité et la nature de la circulation exprimée en trafic équivalent durant la période de design.
- la portance du sol obtenu par les essais CBR et l'essai de chargement sur plaque.

Les solutions alternatives sont déterminées en utilisant les facteurs de substitutions appropriées et en respectant les épaisseurs minimales requises du revêtement bitumineux et de la couche de base granulaire.

### III. METHODES SEMI-EMPIRIQUES

Ce sont des méthodes basées sur des catalogues de structure de chaussée. Leur utilisation est pratique ; elles mettent à la disposition des ingénieurs projeteurs des structures pré calculées et testées par l'expérience au niveau national.



### 1. Méthode du CEBTP

Cette méthode tient compte de deux critères:

- L'intensité du trafic et la portance de la plateforme et donne l'épaisseur de la couche de fondation, de la couche de base et du revêtement.
- L'intensité du trafic et la nature des matériaux des différentes couches afin de vérifier les spécifications pour leurs possibilités d'utilisation.

Elle décrit cinq classes de trafic exprimées en nombres cumulés de passages d'un essieu équivalent de 13 tonnes, et cinq classes de portance de la plateforme.

**Tableau 1 : Classes de trafic définies par le CEBTP**

Nombre équivalent de PL	Classe de trafic	Nombre équivalent de véh. /jr
$< 5.10^5$	T <sub>1</sub>	< 300
de $5.10^5$ à $1,5 10^6$	T <sub>2</sub>	de 300 à 1000
de $1,5.10^6$ à $4.10^6$	T <sub>3</sub>	de 1000 à 3000
de $4.10^6$ à $10^7$	T <sub>4</sub>	de 3000 à 6000
de $10^7$ à $2.10^7$	T <sub>5</sub>	de 6000 à 12000

**Tableau 2 : Classes de portance de la plateforme (CEBTP)**

Casse	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
CBR(%)	<5	5 - 10	10- 15	15 – 30	>30

C'est ainsi qu'à partir des deux classes elle donne les épaisseurs en centimètres de corps de chaussée en fonction de la nature du matériau (voir annexe).

## **2. Méthode SATCCI (Southern Africa Transport and Communications Commission)**

Ce guide pratique qui a été développé en Afrique du Sud récemment, est un catalogue qui est basé fondamentalement sur l'expérience du TRRL britannique, mais qui contrairement à celui-ci différencie le dimensionnement selon les régions climatiques. Les valeurs des classes de portance et du trafic sont les mêmes que celles du guide TRRL.

## **3. La méthode du guide technique SETRA-LCPC (Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)**

Le guide technique SETRA-LCPC de conception et de dimensionnement des chaussées est un catalogue de structures-types qui a connu une première édition en 1971, une refonte générale en 1977 et une actualisation en 1988. Ses objectifs principaux sont :

- De fixer une stratégie technico-économique valable pour l'ensemble du réseau des routes nationales.
- De fournir à tous les services extérieurs et au réseau technique de l'Etat des solutions bien définies et comparables;
- D'éviter au projecteur de devoir procéder à des calculs laborieux à une époque où les moyens informatiques étaient encore limités.
- Le guide ne fixe pas les options, ni les valeurs des paramètres de base dont le choix incombe au maître d'ouvrage.

## **IV. METHODES RATIONNELLES**

Ce sont des méthodes d'approche théorique basées sur des considérations mécaniques du corps de chaussée. Les méthodes rationnelles sont basées sur la mécanique des milieux continus et sur la résistance des matériaux. Ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être appliquées à des structures sous différents types de climat et pour divers chargements de trafic. Le comportement des matériaux de chaussées et de plate-forme sera représenté avec des modèles mathématiques. Les sollicitations subies par les matériaux sous l'effet du trafic seront déterminées. Elles seront ensuite-comparées aux sollicitations admissibles. Ceci permettra de prévoir le développement de divers types de détérioration au cours de la durée de vie de la chaussée. On distingue entre autre le modèle de Boussinesq, le modèle de Hogg et le modèle multicouche de Burmister.

La démarche générale du dimensionnement rationnel des chaussées se fait en quatre (4) étapes :

- 1- Hypothèses
- 2- Calcul de la structure
- 3- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du sol.
- 4- Ajustement des épaisseurs et définition de la coupe transversale finale

Alizé est un outil d'aide au dimensionnement qui met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussées développée par le LCPC et le SETRA. Cette méthode constitue la méthode réglementaire de dimensionnement des chaussées du réseau routier national français. C'est la méthode utilisée pour la vérification lors des études de dimensionnement des projets routiers au Burkina Faso.

### 1. Hypothèses

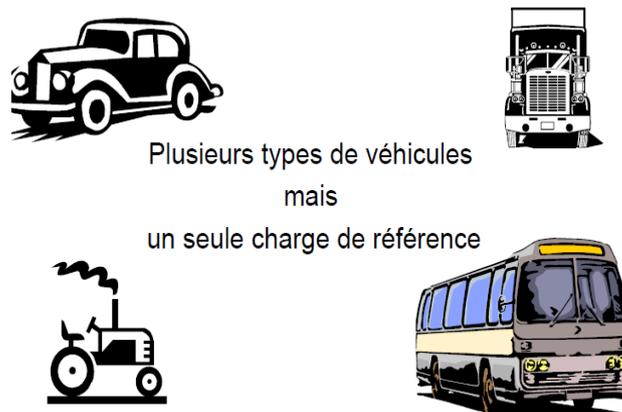
- Catégorie de voirie

On distingue :

- VRS : Réseau structurant : Autoroutes et routes express à une chaussée (dimensionnées pour 30 ans)
- VRNS : Réseau non structurant : Artères interurbaines et autres routes (dimensionnées pour 20ans)

Classement lié à l'importance de la continuité de service.

- Trafic pris en compte



**Figure 2 : Quelques types de véhicules constituant le trafic**

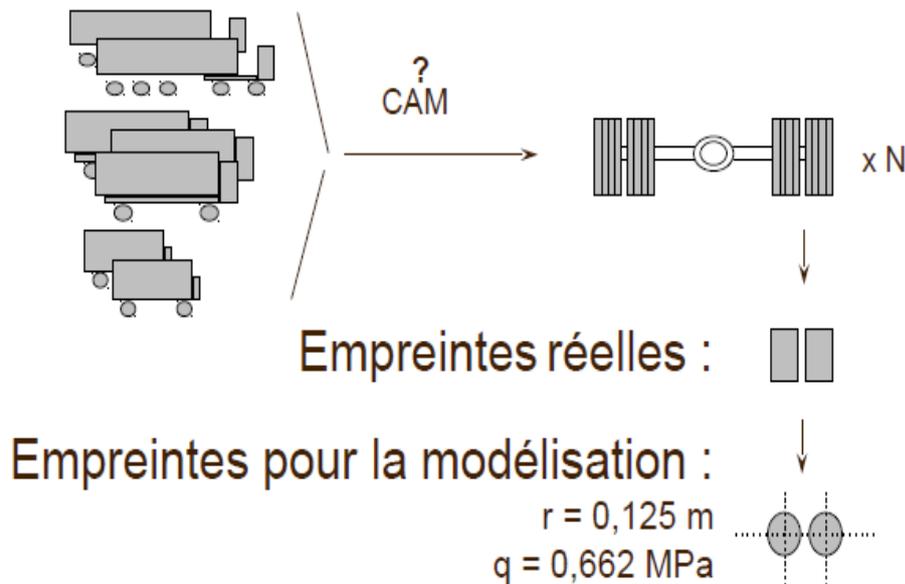
- Poids lourds : Véhicule de poids total en charge  $> 35\text{KN}$  (3,5 tonnes)
- Essieu de référence : essieu isolé à roues jumelées de  $130\text{KN}$  (13 tonnes)

- Paramètres du trafic

- MJA (Moyenne journalière annuelle)
- Accroissement

- Durée de service (durée de vie)
- Trafic cumulé (N)

➤ Trafic équivalent



**Figure 3 : Illustration du trafic équivalent**

$$NE = N \times CAM$$

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

- Choix du type de structure et des matériaux
  - Fonction du cadre et spécificité du projet (NB : C'est aussi fonction de l'entreprise) intervient :
    - Le trafic
    - La durée de service
    - Les contraintes d'entretien } Stratégie d'investissement
      - L'aspect financier
  - Structure :
 

Flexible, bitumineuse épaisse, semi-rigide, rigide, mixte ou inverse
  - Matériaux :
 

Hydrocarbonés, traités aux liants hydrauliques, bétons, matériaux non traités et sols.

➤ Interfaces entre couches de chaussée

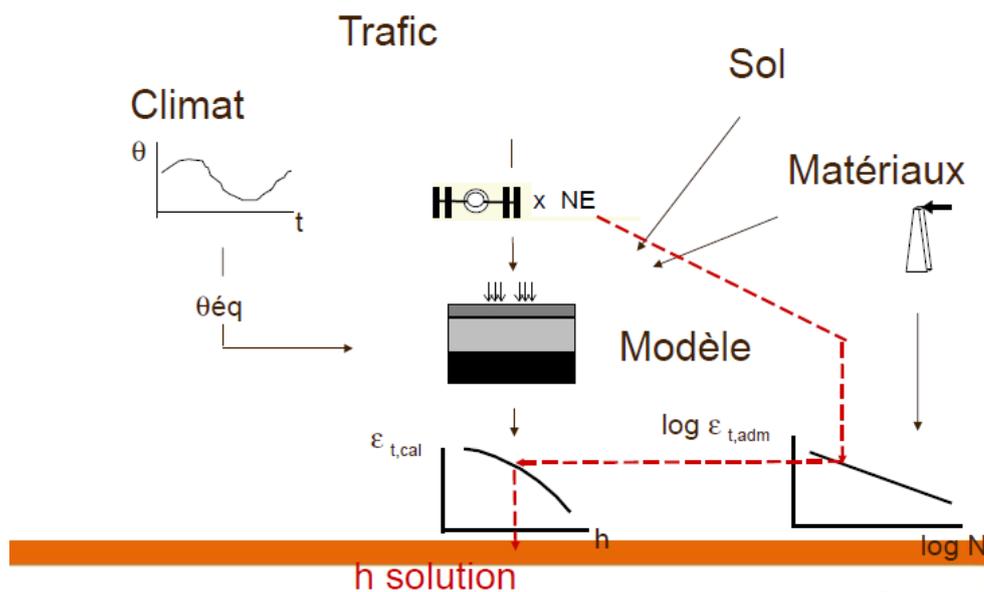
Elles sont normalisées en fonction du type de chaussée :

- Interface collée = continuité des contraintes verticales et tangentielles
- Interface glissante = discontinuité des contraintes tangentielles
- Interface semi-collée = moyenne du comportement collé et glissant

**2. Calcul de la structure**

• Les entrants :

- Modèle mécanique
- Performances des matériaux
- Conditions climatiques
- Trafic et agressivité
- Qualité des sols supports
- Ajustement des paramètres laboratoires vis-à-vis du comportement terrain

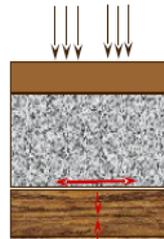
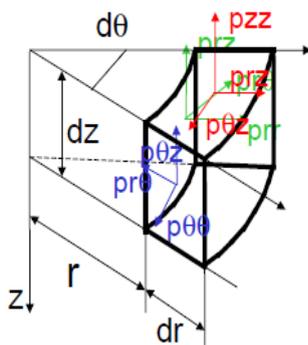


**Figure 4 : Les entrants du calcul de la structure de chaussée (méthode rationnelle)**

• Résultats :

- Sous la charge
- A l'entre-axe du jumelage
- Résultats en parties supérieures et inférieures des couches

- Méthode de calcul = Modèle de BURMISTER (1943)
- Calcul élastique linéaire
- Couches continues infinies en plan
- Couche inférieure : massif semi-infini homogène
- Chargement quelconque (méthode de superposition à partir de chargements circulaires)
- Calcul des contraintes et déformations en un point quelconque



Modèle de Burmister :

- Multicouches
- Élastique linéaire
- Couches infinies en plan
- Interfaces collées ou glissantes
- Charges → disques de pression de contact uniforme

Équation d'équilibre pour des charges circulaires symétriques

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) = 0$$

**Figure 5 : Modèle de BURMISTER**

- Matériaux bitumineux

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6 \times \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b \times \sqrt{\left( \frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta^\circ\text{C})} \right)} \times K_c \times K_r \times K_s$$

- $\theta^\circ\text{C}$  : température de la zone de travail ;  $\theta^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$  en France
- Loi de fatigue :  $\varepsilon_t = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times \left( \frac{N}{10^6} \right)^b$
- $K_c$ , calage du modèle
- $K_r$ , risque de rupture
- $K_s$ , portance du support

- Matériaux traités aux liants hydrauliques

$$\sigma_t = \sigma_6 (NE/10^6)^b \times K_r \times K_s \times K_d \times K_c$$

- Loi de fatigue :  $\sigma_t = \sigma_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times (N/10^6)^b$
- Calage du modèle  $K_c$

- Risque de rupture  $k_r$  (donnée du maître d'œuvre)
- Portance du sol  $K_s$
- Effet des discontinuités  $K_d$  (béton et MTHL)
  - Sols et couches granulaires

$$\varepsilon_{z,adm} = 12\,000 \times (NE)^{-0,222}$$

La structure choisie à priori (épaisseur des couches, nature des matériaux) convient si :

$$|\sigma_{t,calculée}| \leq \sigma_{t,admissible}$$

Et/ou

$$|\varepsilon_{t,calculée}| \leq \varepsilon_{t,admissible}$$

Et/ou

$$|\varepsilon_{z,calculée}| \leq \varepsilon_{z,admissible}$$

Sollicitation unitaire de référence : Essieux jumelé chargé à 130KN (charge maximale légale)

### 3. Ajustement des épaisseurs

Si au moins une des conditions de vérification n'est pas remplie, on doit alors augmenter l'épaisseur de la couche dimensionnante. Si toutes les conditions sont remplies on peut chercher à optimiser en réduisant l'épaisseur de la couche dimensionnante.

## **CHAPITRE IV : LES CARACTERISTIQUES DES PARAMETRES UTILISES AU BURKINA POUR LE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES ROUTIERES**

Le choix des paramètres d'entrée pour le dimensionnement exige une bonne connaissance de l'environnement de la chaussée, des matériaux de viabilité utilisés et du trafic attendu en phase d'exploitation. Les études menées sur cette question montrent une évolution dans la prise en compte de ces paramètres avec l'amélioration de la connaissance des matériaux et de l'agressivité du trafic.

### **I. LE TRAFIC**

La prise en compte du trafic poids lourds et de son agressivité est déterminante pour le dimensionnement de la structure de chaussée. Dans le cadre du suivi de l'évolution du trafic, la banque de données routières de la Direction Générale des Routes organise depuis 1993 des campagnes de comptage routier et de pesage des essieux. Parallèlement à ces campagnes, des études ont été menées sur l'évolution de ce trafic dans le but de planifier et de justifier économiquement et techniquement les projets d'infrastructures routières. Mais depuis 2000, la connaissance du trafic essentiellement sur les routes bitumées (qui supportent environ 60% du trafic total) constitue une préoccupation majeure pour les décideurs et les ingénieurs. En effet, une étude du trafic menée en avril 2003 sur « le niveau de sollicitation des routes au Burkina Faso face à la crise Ivoirienne » a révélé des couloirs de surcharge. Il a été observé une augmentation de plus de 30 % des poids maximum par essieu et une importante évolution du pourcentage moyen de surcharge au-dessus de la valeur autorisée (plus de 100 % sur certains axes). Ces surcharges constituent l'un des facteurs les plus importants dans les dégradations précoces et rapides de nos routes. Cette pratique n'est pas particulière au Burkina Faso mais commune à la région. Il a été affirmé au cours des assises de l'AGEPAR de Niamey que 90% des camions du Burkina Faso, du Bénin et du Niger étaient en infraction par rapport à la norme CEDEAO de 11.5 tonnes de charge à l'essieu pour exploitation et environ 70% sont en infraction par rapport à la norme de 13 tonnes à l'essieu utilisée pour le dimensionnement des chaussées. Les méthodes d'étude et de gestion des infrastructures de transport se sont progressivement améliorées, mais face à un trafic croissant comme le nôtre (voir figure ci-dessous), elles restent toujours en deçà des attentes.

# Evolution du trafic journalier entre 2011 et 2014



Figure 6: Evolution du trafic journalier entre 2011 et 2014

## II. LES MATERIAUX DISPONIBLES

L'étude technique ou économique d'une route nécessite une connaissance aussi complète et détaillée que possible de la localisation et de l'importance des gisements de matériaux. Du reste, l'établissement de l'inventaire des matériaux est très difficile au Burkina du fait de l'absence des données de base, géologiques ou pédologiques. D'une manière générale on distingue:

- Les matériaux naturels; ce sont: les graveleux latéritiques ou quartzeux argileux, les graves alluvionnaires, les sables argileux, etc.
- Les matériaux transformés ou améliorés mécaniquement: ce sont les matériaux qui ont subi une ou plusieurs opérations physiques destinées à améliorer leurs caractéristiques routières ; ce sont : les matériaux criblés, les matériaux semi-concassés, les tout-venants de concassage et les graves concassés.
- les matériaux traités par adjonction d'un produit. Ce sont:
  - Les matériaux traités aux liants hydrauliques, c'est à dire les matériaux naturels traités au ciment, à la chaux, à la pouzzolane (laitier ou cendres volants en Europe surtout) ; exemple : la grave ciment, le graveleux Latéritique ciment, le sable argileux ciment, le béton de ciment etc.
  - Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés: sol bitume, grave bitume, enrobés bitumineux, sable bitume etc.

L'utilisation de ces matériaux dépend d'abord de leur disponibilité (surtout les matériaux naturels) dans l'environnement et de leurs propriétés géotechniques et mécaniques.

La plupart des études réalisées au Burkina Faso dans le cadre de la prospection et de la caractérisation des matériaux mis en œuvre dans les projets routiers donne des caractérisations physiques simples. Cependant, pour un dimensionnement rationnel, la détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux, notamment les paramètres élastiques est nécessaire: Il s'agit du module d'élasticité  $E$  et du coefficient de poisson  $\nu$ . En effet, ces paramètres ont une importance capitale dans le dimensionnement par la méthode rationnelle des chaussées et surtout les valeurs que l'on propose d'utiliser.

## III. LE SOL DE PLATEFORME

La plateforme constitue l'infrastructure de la chaussée. Elle est encore appelée couche de forme et représente les 30 derniers centimètres du terrassement. La plateforme doit pouvoir supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir de dommages Sa mise en œuvre mérite une attention particulière car beaucoup de méthodes de

dimensionnement s'appuieront sur sa résistance au poinçonnement qui est la capacité portante (CBR).

Dans le cas du Burkina Faso, des études ont montré que les sols rencontrés sont constitués de sable argileux et de graves argileuses latéritiques. Les graveleux latéritiques sont souvent aptes à constituer des couches de formes. On exige alors un degré de compactage d'au moins 90-92% de l'OPM et une portance minimale (CBR minimum) de 15.

#### **IV. LES CONDITIONS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES**

Les variations climatiques permettent de déterminer l'état hydrique des plates-formes et de prévoir le comportement des matériaux bitumineux sous l'effet de la température. Le climat du Burkina Faso tout comme celui de tous les pays Soudano Sahélien se caractérise par une grande variété des précipitations et des températures d'une année à l'autre. Les températures varient de 18° au minimum à 40° C au maximum. Les paramètres qui peuvent influencer sur la stabilité d'une chaussée sont principalement les précipitations et la température.

- Impact de la précipitation

L'eau a toujours été l'ennemi numéro un de la chaussée. Son contact direct et prolongé avec la chaussée entraîne une instabilité de toute la structure et il s'en suit une dégradation rapide de celle-ci. Ainsi il est indispensable d'avoir un bon drainage de la chaussée.

- Impact de la température

La température est un facteur important à prendre en compte dans le dimensionnement routier. Nous sommes en zone chaude, et les élévations de températures agissent sur le comportement des matériaux utilisés :

- Pour les matériaux granulaires non traités les variations de températures entraînent des modifications surtout sur la teneur en eau,
- Pour les matériaux traités aux liants hydrauliques (cas de la latérite-ciment très utilisée) des fissures dues aux retraits thermiques sont souvent observés;
- La température affecte les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux.

## **CHAPITRE V : ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT (ETUDE DE CAS)**

Deux (02) projets sont retenus pour cette étude. Il s'agit :

- **Projet N°1** : Les travaux de réhabilitation de la RN16 Koupéla - Bittou - Frontière du Togo et de la bretelle de Mogandé (153 Km).
- **Projet N°2** : Travaux de construction et de bitumage de la RN23 entre Ouahigouya et Djibo (110 Km) et la voirie de Djibo.

### **I. PROJET N°1**

La route Koupéla-Bittou-Frontière du Togo a été bitumée dans la période 1973-1975 sur une longueur total de 122Km par l'entreprise Bourdin et Chaussée à hauteur de 3.303.932.210 FCFA. Elle a connu une réhabilitation en 1992-1993 sur 150Km. Les travaux ont été réalisés par l'entreprise Oumarou KANAZOE, le coût total des travaux s'est élevé à 5.742.451.279 FCFA. Aujourd'hui encore elle est en phase de travaux de réhabilitation et c'est l'étude de ces travaux qui sera présentée en-dessous.

#### **1. Méthodes utilisées**

Lors de l'étude de la structure de chaussée, le bureau d'étude mandaté par le maitre d'ouvrage a procédé à une analyse détaillée des documents disponibles et des études antérieures qui ont concernées la construction de la route en question. Il a complété ces données par des analyses de laboratoire (caractérisation de la granulométrie, de la plasticité et du CBR) de 56 échantillons du sol support prélevés de part et d'autre de la chaussée. Il a aussi procédé à l'analyse de carottes de chaussée pour homogénéiser les épaisseurs et les caractéristiques des couches de chaussée existantes. Tout cela a été complété par une campagne de mesures de déflexion de la chaussée existante au pas de 100m pour mieux décrire son comportement lors du passage de l'essieu de référence (13tonnes). L'étude a donné les résultats suivants :

- Couche de forme

L'essai CBR a été mené au laboratoire et in situ. Seuls les résultats du laboratoire ont été retenus (CBR variant entre 1 et 39). Les essais d'identification et de portance ont permis au bureau d'étude de confirmer que le sol support comporte des matériaux fins de faible à moyenne portance.

- Couche de fondation

Comme la couche de base, la couche de fondation est aussi constituée de grave latéritique. Selon le bureau d'étude, 50% de l'échantillon ne présente pas des caractéristiques satisfaisantes (CBR moyen de 27,8).

- Couche de base

La couche de base a été identifiée comme étant de la grave latéritique de faibles caractéristiques mécaniques (indice de plasticité variant entre 10 et 21, de moyenne 15,5 et un CBR de 20 à 104, de moyenne 44).

- Trafic routier

Une étude sommaire a été présentée sur le trafic qui sera exprimé en nombre de passage de l'essieu de référence sur une période de calcul initial de 15ans. L'étude s'est basée sur les résultats du BCEOM d'octobre 2003 pour des taux d'accroissement géométriques variant à court et long terme (8,4 à 4,2 %). Le résultat est donné par famille de chaussée compte tenu des coefficients d'agressivité moyens adoptés. Il en suit que :

- Pour les chaussées souples, le trafic équivalent est de  $3,43$  à  $4,45 \cdot 10^6$  E 13T
- Pour les chaussées semi-rigides, le trafic équivalent est de  $3,57$  à  $4,45 \cdot 10^6$  E 13T.

- Résultats du dimensionnement

Après analyse du trafic et des données géotechniques, la structure initiale proposée par le maître d'ouvrage est le suivant :

Revêtement : 5cm de BB 0/10 ;

Couche de base : 8cm de GB 0/14 ;

Couche de fondation : 20 cm de grave latérite traité au ciment.

## 2. Analyse des résultats

En tenant compte de la classe du trafic ( $T_4$ ), les structures de chaussée à adopter, selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, ont une épaisseur minimale en couche de base de 12 cm de GB (voir annexe). Cette épaisseur est presque le double de ce que propose le maître d'ouvrage ; ce qui traduit un cas de sous-dimensionnement. L'entreprise chargée de l'exécution des travaux a procédé à une analyse de l'étude du projet qui a conduit au même constat.

En effet, elle a constaté que la structure de base n'est pas admissible vis-à-vis du guide officiel. Elle a procédé à une vérification selon la méthode rationnelle ALIZE-LCPC pour confirmer ce constat.

- Module de la grave latérite améliorée au ciment : Le module d'élasticité adopté de 50000 bars paraît très élevé. Le choix de ce module n'a pas été expliqué.

Selon le guide pratique pour le dimensionnement des chaussées pour pays tropicaux du CEBTP (page 117, voir annexe), le module de Young des matériaux traités au ciment varie entre  $1000 \cdot R_{c7}$  et  $2000 \cdot R_{c7}$  (pour les matériaux les plus plastiques aux matériaux les plus crus respectivement). Pour la plasticité du matériau, et selon l'analyse réalisée, sur les emprunts potentiels de la grave latérite, l'indice de plasticité est d'une moyenne de 16% d'écart type 3,5 %. Ceci permet de la classer en tant que plastique. La valeur  $E = 1200 \cdot E_{c7}$  sera adoptée. Pour la résistance à la compression simple, qui n'a pas été réalisée dans cette étude, (seul l'essai brésilien donnant la résistance à la traction par fendage a été réalisé), l'entreprise s'est référée aux essais qui ont été menés par le LNBTP dans le cadre des travaux de renforcement de la RN1 entre Boromo et Bobo-Dioulasso qui ont permis de donner la résistance à la compression à 7 jours pour différents dosages en ciment de la grave latérite au Burkina Faso. Ici le dosage est de 2.5% de ciment qui donne une résistance moyenne de 22 bars soit un module de la latérite traitée au ciment pris égal ici à  $22 \cdot 1200$ , près de 26000 bars (presque la moitié de la valeur avancée par le rapport de l'APD). Cette valeur paraît toujours élevée car au Burkina Faso, il est proposé lors des projets d'utiliser

$$E = 5 \times \text{CBR}.$$

- La valeur de risque adoptée : Le bureau d'étude a adopté sans justification, une valeur de 15% assez proche du risque moyen de 50% (valeur qui suppose que le trafic équivalent en essieux de référence est exact). Cette valeur du risque de 15% introduit peu d'essieux supplémentaires dans le calcul ; ce qui donne une déformation admissible plus grande à la base du BB pour justifier son épaisseur de 6 à 8cm. L'entreprise a plutôt suivi les recommandations du SETRA-LCPC pour le choix de ce risque. Il en ressort que le trafic équivalent de T3 à T4 du CEBTP correspond à un trafic de classe T1 à T2 (voir annexe). selon la classification LCPC doit être associé à un risque de 5% (T1-LCPC) à 12% (T2-LCPC).

- Le coefficient d'agressivité moyen  $\text{CAM} = 2.4$ . En l'absence de calculs du CAM pour le Burkina, l'entreprise a adopté des valeurs qui sous-estiment le trafic équivalent. Pour les études de projet, il convient de réaliser un comptage routier avec pesage pour un calcul exact du CAM.

La reprise des calculs des différentes structures par la méthode rationnelle donne les résultats suivants (tableau 3) :

Hypothèses :

- Revêtement : 5 cm de BB
- Couche de base : 8cm de GB
- Couche de fondation : 20cm de GLSC
- Classe de plateforme : S<sub>4</sub>
- Trafic : T<sub>4</sub>
- CAM : 2,4
- Durée de vie : 20 ans

**Tableau 3 : Sollicitations internes de la structure proposée par le M.O (Projet N°1)**

Structure de la chaussée	Epaisseur (m)	Module (MPa)	Coeff.Poisson	Z calcul (m)	Eps.T (udéf)	Sigma T(MPa)	Eps.Z (Udéf)	Sigma Z (MPa)
Revêtement	0,05	5400	0,35	0	5,7	0,26	-38,2	0,659
		collé		0,05	0,8	0,346	65	0,603
Base	0,08	2700	0,35	0,05	0,8	0,199	134,6	0,603
		collé		0,13	-38,2	0,021	117,4	0,348
Fondation	0,2	2600	0,35	0,13	-38,2	0,022	120,5	0,348
		collé		0,33	-125	-0,433	117,7	0,034
Plateforme	Infini	100		0,33	-125	0,001	322,3	0,034

Déflexion = 35,1mm /100

Rdc = 514,6m

Remarquons ici que la structure de base n'est pas admissible mécaniquement, vue que la contrainte de traction à la base de la couche de fondation (latérite améliorée au ciment) qui est de 0,433 MPa est bien supérieure à la contrainte admissible de 0,326 MPa avancée dans le rapport de l'APD.

Le calcul des sollicitations par la méthode CEBTP donne les résultats suivants (tableau 4)

Hypothèses :

- Revêtement : 5 cm de BB
- Couche de base : 15cm de GB
- Couche de fondation : 20cm de grave naturelle ou concassée
- Classe de plateforme : S<sub>4</sub>
- Trafic : T<sub>4</sub>
- CAM : 2,4
- Durée de vie : 20 ans.

**Tableau 4 : Sollicitations internes à la structure proposée par le guide du CEBTP**

Structure de la chaussée	Epaisseur (m)	Module (MPa)	Coeff.Poisson	Zcalcul (m)	Eps.T (udéf)	Sigma T(MPa)	Eps.Z (Udéf)	Sigma Z (MPa)
Revêtement	0,05	5400	0,35	0	-11	0,112	-16,3	0,657
		collé		0,05	-5,3	0,285	74,4	0,61
Base	0,15	2700	0,35	0,05	-5,3	0,162	144,8	0,61
		collé		0,2	-33	-0,011	80	0,218
Fondation	0,25	2600	0,35	0,2	-33	-0,008	82	0,218
		collé		0,45	-77,5	-0,279	78,1	0,021
Plateforme	Infini	100	0,35	0,45	-77,5	0	205,4	0,021

Déflexion = 27,4mm / 100

Rdc = 640,2m

La contrainte à la base de la couche de grave latérite améliorée au ciment est satisfaisant ( $0,279 < 0,326$ ). Mais la structure en couche de base est sous-dimensionnée si on considère les épaisseurs des couches de grave latérite et de grave bitume.

L'entreprise a conclu que la structure de base est sujette à une révision. Elle a proposé deux (2) familles de chaussées. L'étude s'est basée sur le guide de construction et de renforcement des chaussées en pays tropicaux du CEBTP et la méthode rationnelle ALIZE LCPC et les résultats du trafic.

**Tableau 5 : Structure de la variante N°1 proposée par l'entreprise (projet N°1)**

Variante N°1		
	Revêtement	5cm de BB 0/10
Base	Grave bitume 0/14 (GB3)	13 cm
Fondation	GNT (50% grave latéritique + 50% GC 0/32)	60cm

**Tableau 6 : Structure de la variante N°2 proposée par l'entreprise (projet N°1)**

Variante N°2 (Recommandée)		
Revêtement		5cm de BB 0/10
Base	Grave bitume 0/14 (GB3)	12 cm
Fondation	GC 0/31,5	45cm

Une troisième variante qui conserve les matériaux de chaussée adoptés dans le DAO a été également proposée. Elle permet de limiter la contrainte de traction à 0,321 MPa qui est inférieur à la limite admissible.

**Tableau 7 : Structure de la variante N°3 proposée par l'entreprise (projet N°1)**

Variante N°3		
Revêtement		5cm de BB 0/10
Base	Grave bitume 0/14 (GB3)	12 cm
Fondation	Grave latérite améliorée au ciment	30cm

**NB :** C'est la variante N°2 qui a été recommandée par l'entreprise.

Mais il faut noter que l'étude a été revue et la structure suivante a été adoptée :

- Revêtement : 5 cm de béton bitumineux (BB) ;
- Base : 8 cm de grave bitume (GB3) ;
- Enduit superficiel monocouche de liaison entre la GLSC et la grave bitume ;
- Grille de fibre de verre de type CIDEX 100 SB sur la largeur de la nouvelle chaussée ;
- Fondation : 20 cm après décaissement et mise en dépôt de 20 cm de la couche de chaussée existante et du revêtement existant, apport de matériaux et stabilisation au ciment hydraulique

## II. PROJET N°2

Le tronçon de la route nationale RN23 entre Ouahigouya et Djibo est situé dans les régions du Nord et du Sahel. Elle traverse les provinces du Yatenga, Lorum et du Soum. L'origine du projet est le carrefour situé dans l'agglomération de Ouahigouya au niveau de l'intersection de la RN2 (Ouahigouya- Thiou) et la RN23. La fin du projet se situe dans la ville de Djibo. Sa longueur est de 110 Km.

### 1. Méthodes utilisées

En se basant sur les résultats des études géotechniques, on retient les classes de portance suivantes :

- La classe de portance de la plate-forme est  $S_4$  selon la classification du CEBTP ( $15 < CBR < 30$ ) ;
- En cas de portance insuffisante, une couche de forme (CBR supérieur à 20 à 95% de l'OPM) sera mise en œuvre.

Les matériaux de fondation et base seront constitués de graveleux latéritiques, étant donné la présence de ces matériaux et leur conformité aux spécifications techniques communément adoptées au Burkina Faso et notamment :

- Couche de base en graveleux latéritique :  $CBR > 80\%$  à 95% de l'OPM,  $IP < 15$ , passant au tamis 0,080  $< 20\%$  ;
- Couche de fondation en graveleux latéritique :  $CBR > 30\%$  à 95% de l'OPM,  $IP < 20$ , passant au tamis 0,080  $< 30\%$  ;
- Couche de forme en graveleux latéritique :  $CBR > 20\%$  à 95% de l'OPM,  $IP < 20$ , passant au tamis 0,080  $< 35\%$ .
- Résultats

**Tableau 8 : Résultat du dimensionnement du projet N°2**

METHODE	CEBTP	TRL	TRL	SATCCI	ALIZE
Revêtement	ES ou 3cm BB	ES	BB 5cm	ES	ES
Couche de base en graveleux latéritique	15	22,5	20	15	20
Couche de fondation en graveleux latéritique	20	15	17,5	10	25
Epaisseur total de la chaussée sans le revêtement	35	37,5	42,5	25	45

### Analyse des résultats

La vérification sur ALIZE donne les résultats suivants :

Hypothèses :

- Revêtement : 3cm de BB ou ES
- Couche de base : 15 cm de GB
- Couche de fondation : 20cm de GLSC
- Classe de plateforme : S<sub>4</sub>
- Trafic : T<sub>2</sub>
- CAM : 2,4
- Durée de vie : 20 ans

**Tableau 9 : Sollicitations internes à la structure proposée par le guide du CEBTP**

Structure de la chaussée	Epaisseur (m)	Module (MPa)	Coeff.Poisson	Zcalcul (m)	Eps.T (udéf)	Sigma T(MPa)	Eps.Z (udéf)	Sigma Z (MPa)
Base	0,15	450	0,35	0	-84	0,08	241,2	0,657
		collé		0,15	-471,6	-0,145	844	0,294
Fondation	0,2	225	0,35	0,15	-471,6	-0,001	1251	0,294
		collé		0,35	-529,6	-0,118	664,5	0,081
PST	0,3	75	0,35	0,35	-529,6	-0,01	1115,4	0,081
		collé		0,65	-297,6	-0,014	588,4	0,035
Sol support	Infini	50	0,35	0,65	-297,6	-0,003	735,7	0,035

Déflexion = 103,8 mm / 100

Rdc = 79,7 m

**Tableau 10 : Sollicitations internes à la structure proposée par ALIZE**

Structure de la chaussée	Epaisseur (m)	Module (MPa)	Coeff.Poisson	Zcalcul (m)	Eps.T (udéf)	Sigma T(MPa)	Eps.Z (udéf)	Sigma Z (MPa)
Base	0,2	450	0,35	0	-89,6	0,056	348,3	0,657
		collé		0,2	-382,6	-0,128	633,3	0,211
Fondation	0,25	225	0,35	0,2	-382,6	-0,009	925,4	0,211
		collé		0,45	-369,3	-0,087	493	0,057
PST	0,3	75	0,35	0,45	-369,3	-0,008	809,5	0,057
		collé		0,75	-222,7	-0,011	445,1	0,027
Sol support	Infini	50	0,35	0,75	-222,7	-0,002	555,5	0,027

Déflexion = 90,1 mm / 100

Rdc = 95,8 m

Après analyse et vérification sur ALIZE LCPC des différentes structures obtenues, il ressort que les épaisseurs des couches proposées sont insuffisantes. La méthode CEBTP donne une

contrainte en tête de sol support de 588,4 udéf contre une valeur admissible de 551,1 udéf. Les épaisseurs retenues par le bureau d'étude sont les suivantes :

**Tableau 11 : Structure retenue par le bureau d'étude (Projet N°2)**

Revêtement		ES ou BB
Base	Grave latéritique (CBR supérieur à 80%)	20cm
Fondation	Grave latéritique (CBR supérieur à 30%)	30cm
Epaisseur totale de la chaussée		50cm

Cette structure donne une valeur de déformation en tête de sol support de 495,1 qui est inférieure à la valeur admissible. On souligne que l'épaisseur de 20cm pour la couche de base est un critère fondamental pour une route de nouvelle conception, surtout en tenant compte que le respect total de la charge à l'essieu prendra du temps avant que la mise en œuvre des stations de pesage soit effective.

### III. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES METHODES CEBTP ET ALIZE

Avant de dégager les avantages et les inconvénients de nos deux (2) méthodes, nous proposons d'évaluer leur performance d'abord. En effet, la performance d'une méthode de dimensionnement se mesure par son aptitude à limiter, voir à supprimer, l'importance des données empiriques dans le domaine du dimensionnement des chaussées routières. Elle doit dans sa démarche tenir compte de l'effet des sollicitations non seulement sur l'état de la chaussée, mais également sur l'évolution des propriétés des matériaux en fonction du dommage subi. Elle doit également intégrer l'effet des variations de température et des données réelles de trafic. Cette démarche est très complexe au vue des données à prendre en compte, de leur disponibilité et surtout de leur interaction. Les croix indiquent les paramètres pris en compte par la méthode.

**Tableau 12 : Performances des méthodes**

Méthode	Trafic	Sol de plateforme	Matériau	Données climatiques	Vérification
CEBTP	X	X	X		
ALIZE	X	X	X	X	X

**Tableau 13 : Avantages et inconvénients des méthodes**

METHODES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<b>CEBTP</b>	Utilisation pratique; libère le projecteur des calculs numériques ; standardise les structures.	Ne prend pas en compte le climat et les caractéristiques mécaniques des matériaux; nécessité d'une méthode rationnelle pour sa vérification.
<b>ALIZE-LCPC</b>	Idéalisation du matériau = Théorie élastique	Nécessite l'utilisation de l'outil informatique, la bonne caractérisation des matériaux et le choix d'un bon collage entre les couches.

Après avoir ressorti les performances, avantages et inconvénients des deux méthodes, il ressort que la méthode rationnelle ALIZE est une méthode complète de dimensionnement. En effet, elle tient compte de tous les facteurs qui ont un impact sur la chaussée. Malgré cela, se pose un problème. L'application de cette méthode se faisant à travers un logiciel, la maîtrise des paramètres d'entrée devient nécessaire pour un bon dimensionnement. Ces paramètres étant liés aux caractéristiques intrinsèques du matériau, la manière de les déterminer ou de les calculer a beaucoup d'influence sur la suite. En Afrique et surtout au Burkina, le matériel de laboratoire faisant défaut, la plupart des caractéristiques intrinsèques des matériaux utilisés sont a priori déterminées avec une marge d'erreur d'où un résultat souvent biaisé. Cette méthode a été réalisée dans des conditions spécifiques et leur extrapolation pour des pays tropicaux devraient se faire avec beaucoup d'attention. Une précision sur les essais afin de refléter le comportement exact du sol est une condition sine qua non. La méthode du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux du CEBTP donne des dimensions insuffisantes dans nos deux projets pris comme exemple. Avec la croissance actuelle du trafic, la tendance est à la réalisation de routes avec une durée de vie de vingt (20) ans. Les classes de trafic données par le CEBTP et utilisées par les bureaux d'étude présentent des écarts par rapport à la durée de vie qui se généralise maintenant à vingt (20) ans. Ce qui a des influences notables sur la contrainte dite admissible prise en compte par les calculs.

## **CHAPITRE VI : ANALYSE CRITIQUE DES METHODES UTILISEES (CEBTP ET ALIZE LCPC)**

### **I. DOMAINE D'APPLICATION**

#### **1. Méthode du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP)**

Le guide pratique de dimensionnement des chaussées s'applique aux routes des pays tropicaux pour lesquelles la décision de bitumage a été prise. Il rappelle quelques principes fondamentaux qu'il faudrait prendre en considération :

- Le dimensionnement d'une chaussée n'est qu'un des éléments d'un ensemble ; il serait vain de croire qu'il puisse se concevoir indépendamment des nombreux autres facteurs intervenant dans la qualité du produit fini livré à l'utilisateur de la route
- La qualité de la plateforme a une importance capitale pour le comportement de la chaussée :
  - A court terme, elle doit être suffisamment indéformable pour permettre le compactage des couches de chaussée surincombantes ;
  - A long terme, elle doit être bien drainée pour que sa portance ne chute pas par réimbibition.

Les auscultations des chaussées en service ont montré que celles bénéficiant d'une plateforme de bonne portance et bien drainée ont un comportement qui reste satisfaisant. Si leur construction a été, d'une part, bien réalisée, leur vieillissement ne progresse que lentement.

- Les systèmes de drainage doivent avoir été bien dimensionnés et rester fonctionnels ; cette dernière condition suppose que leur entretien ne soit pas négligé.
- Les accotements doivent être de largeur suffisante et adaptés au type de la chaussée.
- La mise en place d'une couche de chaussée ne sera effectuée que si la couche sur laquelle elle repose a des caractéristiques suffisantes, notamment une déflexion limite admissible qui sera à définir en fonction de la structure construite et du trafic et qui dépend de la nature des matériaux et de leur teneur en eau.

## 2. La méthode rationnelle ALIZE LCPC

Les conditions d'utilisation de la méthode rationnelle repose essentiellement sur la connaissance de ses paramètres d'entrée :

- ✓ l'épaisseur H ;
- ✓ Plateforme ;
- ✓ Trafic ;
- ✓ le module d'Young E du matériau ;
- ✓ le coefficient de Poisson du matériau (noté  $\nu$  dans Alizé-Lcpc) ;
- ✓ les conditions d'interface au sommet et à la base de la couche, caractérisant le type de contact avec les couches adjacentes supérieure et inférieure.

En plus de ces paramètres, la prise en compte du trafic poids lourds et de son agressivité est déterminante pour le dimensionnement de la structure de chaussée. Dans la suite, nous nous intéresserons à la prise en compte du trafic et à son agressivité, au coefficient de poisson des matériaux ainsi qu'à leur module d'Young.

## II. LIMITES ET CRITIQUES

### 1. La méthode du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP)

Le guide CEBTP considéré comme document de base pour le dimensionnement dans les pays tropicaux semble être obsolète ; il lui faudrait une mise à jour et aussi le réadapter au contexte de chaque pays. Lors de notre étude, les vérifications ont montré que les épaisseurs préconisées par le guide sont parfois insuffisantes. Cela s'explique par la sous-estimation du trafic et le non prise en compte de certains paramètres important tels que les caractéristiques mécanique des matériaux utilisés et les conditions climatiques. En effet, bien que fondamentale, l'importance du trafic qu'aura à supporter la route durant la période pour laquelle on la dimensionne est toujours difficile à appréhender. Il arrive que les conditions économiques locales se modifient rapidement entraînant des trafics dont l'accroissement avait été sous-estimé (voir figure 3 : Evolution du trafic journalier entre 2011 et 2014).ce qui est à l'origine de certaines dégradations précoces ; un renforcement est alors à envisager. Le facteur climatique et les caractéristiques mécaniques des matériaux qui ne sont pas pris en compte dans cette méthode jouent un rôle important aux stades des études, de la construction et de la vie même de l'ouvrage.

## 2. La méthode rationnelle ALIZE LCPC

La méthode rationnelle ALIZE LCPC donne de très bons résultats ; c'est une méthode complète de dimensionnement. Mais la problématique au Burkina Faso, comme dans beaucoup de pays Africains réside au niveau de la considération des valeurs d'entrée. Il convient de l'adapter au pays. Le Sénégal a commandé une étude pour l'adaptation avec une température de référence de 33° C. En effet, les résultats des études réalisées au Burkina Faso dans le cadre de la prospection et de la caractérisation des matériaux mis en œuvre sont pour la plupart constitués de caractérisations physiques simples. Cependant, pour ce qui concerne le dimensionnement rationnel, la détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux, notamment les paramètres élastiques est nécessaire: Il s'agit du module d'élasticité E et du coefficient de poisson.

- **Le module des matériaux** : le choix des modules des matériaux de la chaussée est une étape prépondérante à toute conception. Elle est d'ailleurs la source de la plupart des incertitudes lors des dimensionnements basés sur les calculs mécaniques. Ce type d'incertitude est généralement épistémique, il est dû principalement à un manque de connaissance sur la qualité précise du matériau. Ajoutons à cela le manque d'essais permettant de caractériser les modules pour les matériaux locaux (essais triaxial cyclique de préférence). Il est illusoire à ce stade de faire confiance totale aux modules proposés surtout si on considère le caractère de dispersion de ces modules qui mène aussi à considérer des erreurs du type aléatoires tendant vers une valeur moyenne. Ces erreurs aléatoires sont traitées au niveau des calculs des contraintes et des déformations à travers le coefficient de calage dont le choix de la valeur pose un autre problème aussi. Les résultats obtenus dans le cadre de travaux récents à Abidjan sur les modules des sols laissent entrevoir une sous-estimation des modules des matériaux. Il conviendrait d'acquérir les équipements nécessaires à la réalisation des essais permettant l'évaluation des modules des sols.

- **le coefficient de poisson** : le catalogue français des structures type de chaussées neuves de 1998 propose les valeurs suivantes :

- pour les sols non liés: 0,35 ;
- pour les matériaux traités aux liants hydrauliques: 0,25 ;
- pour les matériaux traités aux liants hydrocarbonés: 0,35.

- **les conditions d'interface** au sommet et à la base de la couche, caractérisant le type de contact avec les couches adjacentes supérieure et inférieure .Le modèle prévoit trois types de contact possibles pour caractériser le fonctionnement de l'interface entre couches adjacentes : collée, glissante, ou semi-collée. L'interface de type semi-collé est préconisée par le guide

technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées, pour caractériser le contact entre certaines couches de matériaux traités aux liants hydrauliques. Dans cette situation d'interface semi-collée, Alizé enchaîne automatiquement et de façon transparente à l'utilisateur, deux calculs successifs, le premier avec l'hypothèse de contact collé, le second avec l'hypothèse de contact glissant. Les résultats présentés correspondent à la moyenne entre ceux obtenus avec l'hypothèse d'interface collée, et ceux obtenus avec l'hypothèse d'interface glissante.

- **L'agressivité du trafic :** Au Burkina l'essieu de référence utilisé est l'essieu à roues jumelées de 13 tonnes (jumelage standard français). Des valeurs d'agressivités déterminées après les pesées exécutées en période de juillet-août 2007, concernant le projet de bitumage du corridor Téma (Ghana) - Ouagadougou - Bamako (mali) donnent les résultats suivantes (tableau 12).

**Tableau 14 : Détermination du coefficient d'agressivité suite au pesage de juillet-aout 2007**

Charge	Nombre de véhicules	% de véhicules	Agressivité unitaire	Agressivité par % de véhicules
] 0;10000]	29	8	0,572	0,05
] 10000 ; 11000]	5	1	0,837	0,01
] 11000 ; 12000]	12	3	1,186	0,04
] 12000 ; 13000]	8	2	1,633	0,04
] 13000 ; 14000]	16	5	2,196	0,1
] 14000 ; 15000]	25	7	2,895	0,2
] 15000 ; 16000]	26	7	3,747	0,28
] 16000 ; 17000]	31	9	4,775	0,42
] 17000 ; 18000]	30	8	6,002	0,51
] 18000; 19000]	28	8	7,451	0,59
] 19000 ; 20000]	52	15	9,148	1,35
] 20000 ; 21000]	33	9	11,12	1,04
] 21000; 22 000]	19	5	13,394	0,72
] 22000;23000]	17	5	16	0,77
] 23000 ; 24000]	7	2	18,969	0,38
] 24000 ; 25000]	10	3	22,334	0,63
] 25000 ; 26000]	3	1	26,128	0,22
SUP 26000	2	1	30,385	0,17
TOTAL	353	100		<b>7,52</b>

Les données ci-dessus présentées sur le coefficient d'agressivité, nous permettent d'affirmer que les routes du Burkina Faso sont très agressées. Cette agressivité est due aux surcharges

des véhicules poids lourds. Ces surcharges constituent l'un des facteurs les plus importants dans les dégradations précoces de nos routes. Ces différents coefficients d'agressivité sont relativement élevés. Leur prise en compte conduit à des structures de chaussées relativement épaisses. Ce qui interpelle les gestionnaires des réseaux routiers qui doivent mettre en place un cadre institutionnel chargé du contrôle de la charge à l'essieu.

Il convient de noter que lorsque l'agressivité du trafic est supérieure à celle fournie par le catalogue français, il est recommandé que l'ingénieur calcule le nombre d'essieux équivalents avec ses hypothèses d'agressivité et compare le nombre obtenu aux valeurs données dans le tableau des bornes supérieures des classes de trafic cumulé (LCPC/SETRA, 1998).

A ces paramètres s'ajoute également le choix des valeurs des coefficients pour le calcul des contraintes et déformations admissibles :

$K_r$  : coefficient qui ajuste la valeur de la déformation horizontale admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur et sur les résultats des essais de fatigue;

$K_c$  : coefficient de calage destiné à ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement de chaussée observé de même type ;

$K_s$  : coefficient minorant tenant compte de l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant les couches liées.

Au terme de l'analyse des méthodes de dimensionnement, on retiendra que nos chaussées sont parfois sous dimensionnées. Ce sous dimensionnement est dû d'une part aux méthodes utilisées et d'autre part aux valeurs considérées comme hypothèse de base. Ce problème n'est pas méconnu des acteurs du domaine. Des questions relatives à ce problème ont été posées lors de certaines rencontres et séminaires tels que la 6<sup>ème</sup> Journée Africaine de la Géotechnique qui s'est tenue à Ouagadougou du 10 au 12 juin 2014 et récemment au séminaire sur le dimensionnement des chaussées neuves, des élargissements de voies et de leurs renforcements qui s'est tenu à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) du 31 mars au 1<sup>er</sup> avril. En effet, lors de ce séminaire, des pistes d'adaptation au contexte tropical de la méthode française de dimensionnement ont été proposées :

**Les entrants : actions possibles**

- ✓ Modèle mécanique → Non
- ✓ Performances des matériaux → Oui
- ✓ Conditions climatiques → Oui
- ✓ Trafic et agressivité → Oui

- ✓ Qualité des sols supports → Oui
- ✓ Calage laboratoire – terrain → Oui

A partir d'un modèle, les performances du matériau sont adaptés par :

- Sa tenue en fatigue ;
- Les conditions climatiques ;
- Le nombre de sollicitations de la charge de référence ;
- Le choix du maître d'ouvrage pour la valeur du risque ;
- La qualité des sols supports ;
- Le calage laboratoire – terrain.

### **Performances matériau**

#### Performances :

- ✓ données sur l'association liant + granulats ;
- ✓ implique une optimisation par rapport à une fonction attendue ;
- ✓ implique une bonne cohésion liant/granulats.

#### Matériaux :

Au-delà des performances standards, adaptation possible des performances utilisées pour le dimensionnement :

- ✓ Module ;
- ✓ Résistance à la fatigue ;
- ✓ Adaptation par rapport aux conditions climatiques (température) :
  - Détermination d'une température équivalente par suivi des températures pour détermination d'une moyenne annuelle.
    - Calcul des endommagements moyens
    - Modifications du module et de la tenue à la fatigue

Action directe sur les matériaux choisis :

- Matériaux plus frottants ;
  - Liants présentant des performances plus élevées ;
  - Ajout de polymères pour améliorer le comportement mécanique du liant ;
  - Essai de fatigue.
- Forte dispersion des essais
- ✓ Prise en compte par le MO d'un coefficient de risque pour son projet
  - Adaptation des valeurs de risque (cf. Catalogue de structures du Sénégal)

- Adaptation des paramètres qui caractérisent les conditions de réalisation des chantiers
- Adaptation de la valeur du coefficient « c »
- ✓ Utilisation de techniques de construction insensibles aux conditions thermiques :
  - Matériaux bétons (assise et/ou surface) ;
  - Matériaux traités aux liants hydrauliques ;
  - Traitements des sols en place.
- ✓ Nécessité d'adapter les processus d'entretien : Incidence plus grande de l'agressivité

### Connaissance du trafic

Trafic : un mot – deux composantes :

- Le nombre de véhicules permettra de calculer le trafic attendu (comprend aussi le taux de croissance)
- Leur silhouette, leur charge sera utilisée pour évaluer l'agressivité sur le réseau
- Utilisation de stations de pesage en marche
- Campagne de contrôles sur le terrain.

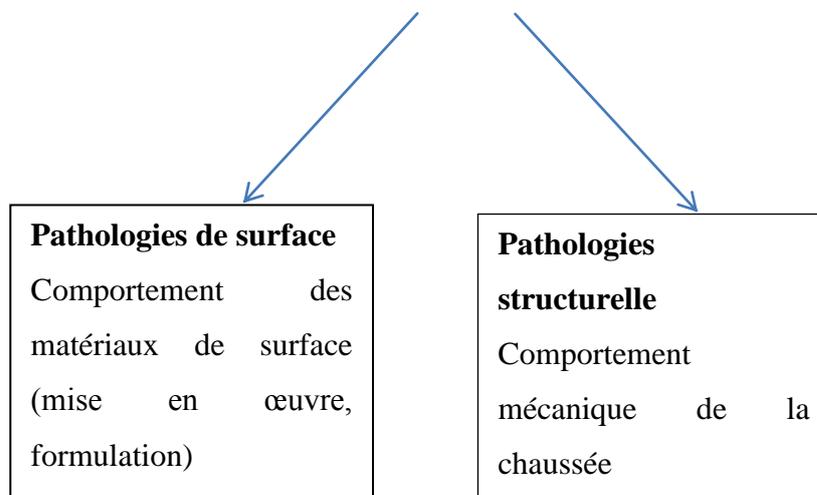
### Sols supports

Meilleure prise en compte des portances à long terme.

### Adaptation du calage

A partir de suivi d'un grand nombre de sections routières, ajustement du coefficient de calage :

Nécessite une analyse des pathologies rencontrées :



## CHAPITRE VII : RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

En termes de recommandations, nous pouvons dire que cette étude fait ressortir quelques points sur lesquels les acteurs du domaine doivent s'investir pour le choix d'une méthode idéale de dimensionnement et pour un développement durable des infrastructures routières. Une bonne connaissance du comportement mécanique réel des matériaux s'avère impératif. Il est en effet indispensable de mieux utiliser les ressources disponibles et leur nature finie, ce qui nécessite le recours à des méthodes de dimensionnement et renforcement qui soient optimisées. Il faut dire aussi que l'on doit se départir des méthodes de dimensionnement basées sur des corrélations et des approximations lors de la détermination des paramètres d'entrées qui aboutit souvent à un sous dimensionnement. Suite aux insuffisances constatées, l'étude recommande :

### ➤ **Au département du transport :**

- L'encouragement des opérations mixtes de contrôle de surcharge entre les frontières et le partage de l'information;
- le développement des ponts bascule aux points stratégiques du réseau
- introduire des frais de surcharge qui couvrira complètement le coût des dommages causés à la route ;
- de suivre et de règlementer la charge à l'essieu ;
- maintenir l'efficacité et la continuité du contrôle de la charge à travers la participation du secteur privé dans la gestion des opérations de contrôle.

### ➤ **Aux acteurs du domaine et aux politiques**

- la mise en place d'une commission au niveau sous régionale ou régionale chargée de la définition de la charge à l'essieu;
- de déterminer le trafic et les coefficients d'agressivité du trafic sur les différents tronçons routiers du pays,
- d'éditer un manuel servant d'aide au dimensionnement des chaussées, au choix du type de structure et des matériaux, des stratégies et des techniques d'entretien en fonction des conditions rencontrées (trafic, climat, conditions de dégradation, etc.) ;
- de rédiger un catalogue de structures de chaussée adapté à notre propre environnement économique, climatique et géotechnique (objectif à terme du guide CEBTP depuis 1980);ce catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Burkina sera un outil pour les ingénieurs qui leur permettra à partir de la portance de leur sol de plate-forme ( indice portant CBR ),du trafic, des contraintes locales et des matériaux disponibles dans la zone de choisir une

structure de chaussée économique et des techniques de mise en œuvres adéquates. Le catalogue constituera une base de données essentielle avec des spécifications établies après une analyse des paramètres réels des matériaux locaux.

- de suivre le comportement de nos chaussées dans le temps par une structure spécialisée et ce, pour quel que soit la méthode de dimensionnement ;
- créer une structure de normalisation des matériaux routiers;
- lancer la recherche au LNBTP en offrant des bourses aux jeunes ingénieurs pour faire le troisième cycle en attendant la création d'une section recherche au sein même du laboratoire.
- Mettre sur pied un laboratoire africain. Ce qui permettra d'acquérir le matériel coûteux avec la participation de tous les pays.
- Subordonner tous les dimensionnements à la détermination des valeurs réelles des caractéristiques mécaniques des matériaux.

## CONCLUSION

Pour qu'une route parvienne au terme de sa durée de dimensionnement initiale sans qu'apparaissent dans cet intervalle d'importants désordres, la fiabilité des paramètres de conception est déterminante. La notion de risque de calcul qui prend en compte le caractère aléatoire de l'apparition des désordres sur une route n'a de sens aux stades des études que si l'ingénieur routier a une bonne connaissance des matériaux, surtout de leur comportement. La prise en compte de l'agressivité du trafic est certes importante dans le dimensionnement des structures de chaussées mais, elle conduit à des structures de chaussées robustes et coûteuses. Il est dans ces conditions important de veiller à un meilleur contrôle des surcharges des camions de type poids lourd. L'application du règlement 14 de l'UEMOA relatif au contrôle des charges à l'essieu apparaît nécessaire dans un contexte où les travaux neufs et de réhabilitation des chaussées sont financés par des prêts contractés auprès des partenaires au développement.

Au terme de cette étude, il ressort que la considération du comportement réel des matériaux est un facteur important dans la détermination de la réponse des chaussées. Une partie de cette étude consistait à faire une comparaison des méthodes de dimensionnement (CEBTP et ALIZE). De cette comparaison, il est à retenir que la méthode d'utilisation du guide pratique de dimensionnement des chaussées pour pays tropicaux du CEBTP qui est la plus utilisée lors des dimensionnements donne des dimensions de structure parfois insuffisantes. Elle a impérativement besoin d'une mise à jour et d'une réadaptation au contexte actuel qui intègre certains facteurs qui ne sont pas pris en compte par le guide. L'étude a aussi mis à nu les problèmes liés à l'utilisation du logiciel de vérification ALIZE. Ces limites se caractérisent essentiellement par le choix des paramètres d'entrée. Elle a aussi besoin d'une adaptation au contexte tropical.

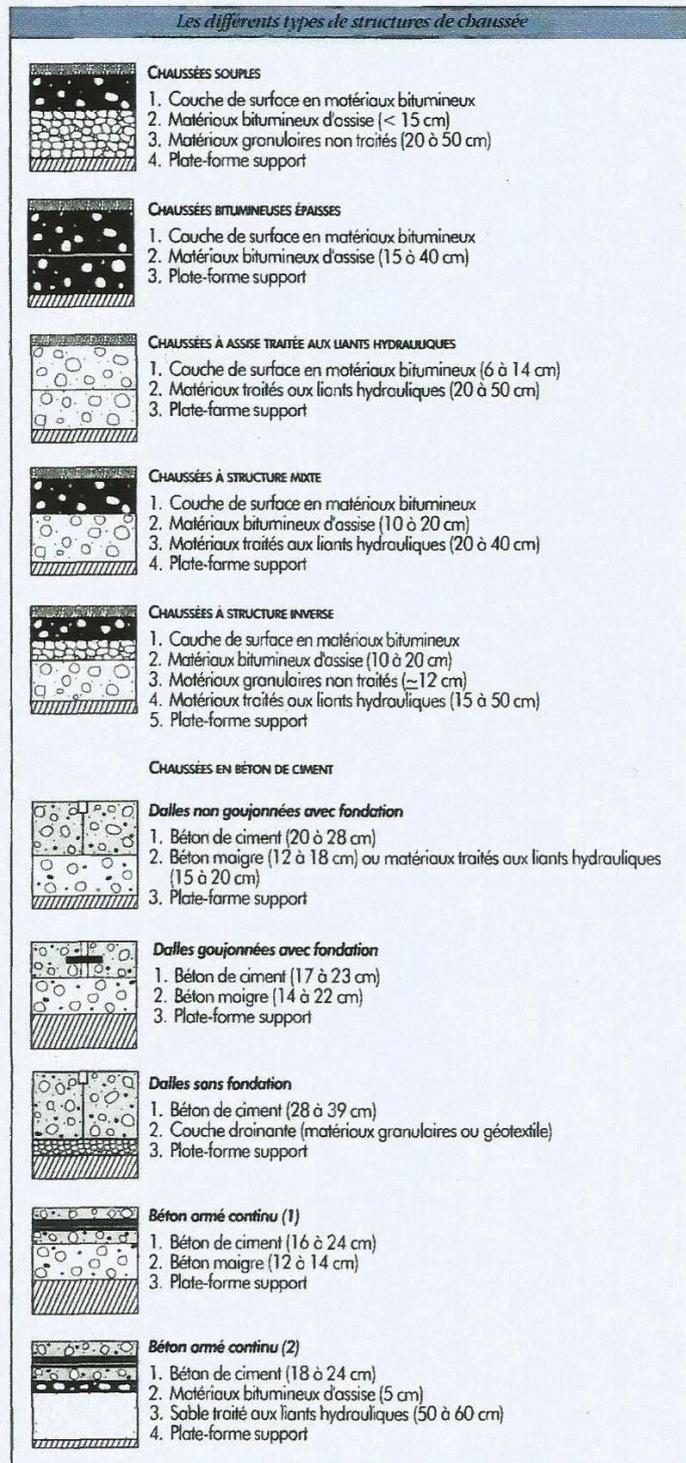
Chaque méthode comporte certains avantages et limitations dans l'analyse des paramètres et l'évaluation des performances. De nombreux progrès ont été réalisés dans les méthodes de dimensionnement et renforcement depuis le développement des premières méthodes mécaniques-empiriques. Il est cependant nécessaire de fournir d'avantage d'efforts afin de pouvoir proposer une méthode idéale de dimensionnement des chaussées. Le Burkina Faso, tout comme la plupart des pays africains fera des économies substantielles dans la construction des infrastructures routières si une place de choix est accordée à la recherche dans le domaine. Des études plus poussées qui pourront même faire l'objet d'une thèse devront être effectuées en termes de travail complémentaire.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

- SETRA-LCPC. Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Guide technique. 1994.
- CEBTP. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour pays tropicaux. 1980.
- VIZIR .Méthode assistée par ordinateur pour l'estimation des besoins en entretien d'un réseau routier. LCPC Décembre 1991.
- Georges JEUFFROY. Conception et construction des chaussées, Tome 1. Edition ERYOLLES 61, boulevard Saint-Germain, 75005 PARIS 1978.
- CEBTP-LCPC. Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux.
- Guide technique. Diagnostic et conception des renforcements de chaussées.
- SETRA-LCPC. Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Guide technique.
- LCPC. Manuel d'utilisation de logiciel ALIZE-LCPC, version 1.3. 2010.
- Sara BRESSI. Performances des chaussées : Attentes et exigences, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Journée Technique 2012.
- Kalsibiri KABORE. Caractérisation de l'évolution de la construction routière au Burkina Faso.
- Séminaire sur le dimensionnement des chaussées neuves des élargissements de voies et de leur renforcement en Côte d'Ivoire. Méthode française de dimensionnement des chaussées routières : Proposition de pistes d'adaptation au contexte tropical. Avril 2015.
- Séminaire sur le dimensionnement des chaussées neuves des élargissements de voies et de leur renforcement en Côte d'Ivoire. Méthode française de dimensionnement des chaussées routières : Les entrants du dimensionnement. Avril 2015.
- Séminaire sur le dimensionnement des chaussées neuves des élargissements de voies et de leur renforcement en Côte d'Ivoire .Approche rationnelle du dimensionnement de chaussée neuves et élargissement : Les entrants du dimensionnement dans le cas de Cote d'Ivoire. Avril 2015.

# ANNEXES

## Annexe 1



Annexe 2

TRAFICS T <sub>3</sub> - T <sub>4</sub>		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
		T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>								
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Graveleux latéritique naturel	20		20		20		20		25	
F	Graveleux latéritique naturel	40		30		20		15		0	
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorés au ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D	45	50	25	30	20	25	15	20	0	
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Concassé o/d	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D ou tout-venant de concassage	40	45	30	30	25	25	20	20	0	0
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Concassé o/d	60	65	45	50	40	45	30	35	20	25
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Grave naturelle, grave latéritique naturelle ** ou concassé o/d	25		25		25		25		20	
F	Sable argileux	45		30		25		20		0	
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable argileux amélioré au ciment *	20		20		20		20		20	
F	Sable argileux	55		35		25		20		0	

\*\*\* 20 cm dans le cas de o/d concassé.

GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX

Annexe 3

TRAFICS T <sub>3</sub> - T <sub>4</sub>		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
		T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>								
R	Béton bitumineux	5		5		5		5		5	
B	Sable argileux amélioré au ciment *	20		20		20		20		20	
F	Sable argileux amélioré au ciment ou grave améliorée au ciment	40		25		20		15		0	
R	Béton bitumineux			5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment			20	20	20	20	20	20	20	20
F	Grave latéritique ou grave naturelle ou concassé o/d			30	35	25	30	20	20	0	0
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sable argileux amélioré au ciment ou grave améliorée au ciment	40	45	25	30	20	25	15	15	0	0
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
F	Graveux naturel ou concassé o/d	45	50	30	35	25	25	15	20	0	0
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
F	Sable argileux ciment ou graveux amélioré au ciment ou sable amélioré au bitume	40	45	25	30	20	25	15	15	0	0

Annexe 4

TRAFICS T <sub>3</sub> - T <sub>4</sub>		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
		T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>								
R	Béton bitumineux	5	X	5	X	5	X	5	X	5	X
B	Sable bitume *	15	X	15	X	15	X	15	X	20	X
F	Sable argileux	50	X	30	X	25	X	20	X	0	X
R	Béton bitumineux	5	X	5	X	5	X	5	X	5	X
B	Sable bitume * ou grave bitume	15	X	15	X	15	X	15	X	20	X
F	Sol chaux	25	X	20	X	20	X	15	X	0	X
R	Béton bitumineux	5	X	5	X	5	X	5	X	5	X
B	Concassé o/d	20	X								
F	Sol chaux	25	X	20	X	15	X	15	X	0	X
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sol chaux	20	25	20	20	15	20	15	15	0	0
R	Béton bitumineux	5	X	5	X	5	X	5	X	5	X
B	Concassé o/d	20	X								
F	Scories volcaniques	45	X	30	X	25	X	15	X	0	X
R	Béton bitumineux	X	X	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave ciment	X	X	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Scories volcaniques	X	X	35	40	25	30	20	20	0	0
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Scories volcaniques	50	50	35	40	25	30	20	20	0	0

GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX

Annexe 5

TRAFICS T <sub>3</sub> - T <sub>4</sub>		S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>		S <sub>5</sub>	
		T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>								
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave bitume	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15
F	Banco-coquillage amélioré au ciment	20	25	15	20	15	15	15	10	0	0
R	Béton bitumineux	5	X	5	X	5	X	5	X	5	X
B	Soupe de corail traitée au ciment *	20	X	20	X	20	X	20	X	25	X
F	Soupe de corail	50	X	35	X	25	X	20	X	0	X
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Corail concassé traité au ciment *	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Soupe corallienne traitée au ciment	40	45	20	25	15	20	15	15	0	0
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Corail concassé traité au bitume *	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15
F	Soupe corallienne traitée au ciment	40	45	20	25	15	20	15	15	0	0

GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT

DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX

## Annexe 6

### DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX

Les modules *statiques* mesurés par essais de plaque *in situ* ou par essai d'écrasement au laboratoire <sup>(1)</sup> sont, eux aussi, en relation avec le CBR. On peut adopter l'équivalence suivante :

$E_{stat} = 50 \text{ CBR}$  pour les matériaux à gros éléments

$E_{stat} = 30 \text{ CBR}$  pour les matériaux à fraction fine importante.

Dans le cas de *matériaux traités au ciment*, la formule longtemps utilisée :  $E_{stat} = 200 R_{c7}$  avec  $R_{c7}$  = résistance à la compression simple à 7 jours doit être remplacée par celle-ci :

$$E_{stat} = 1\ 000 \text{ à } 2\ 000 R_{c7}$$

1 000 correspondant aux matériaux les plus plastiques;

2 000 correspondant aux matériaux les plus crus.

Les *modules des matériaux bitumineux* sont très variables avec la température (module complexe). On devra procéder aux vérifications des contraintes et déformations pour les valeurs correspondant aux températures extrêmes les plus habituelles auxquelles sont portées les structures (par exemple 5 000 bars à 50 °C et 50 000 bars à 20 °C).

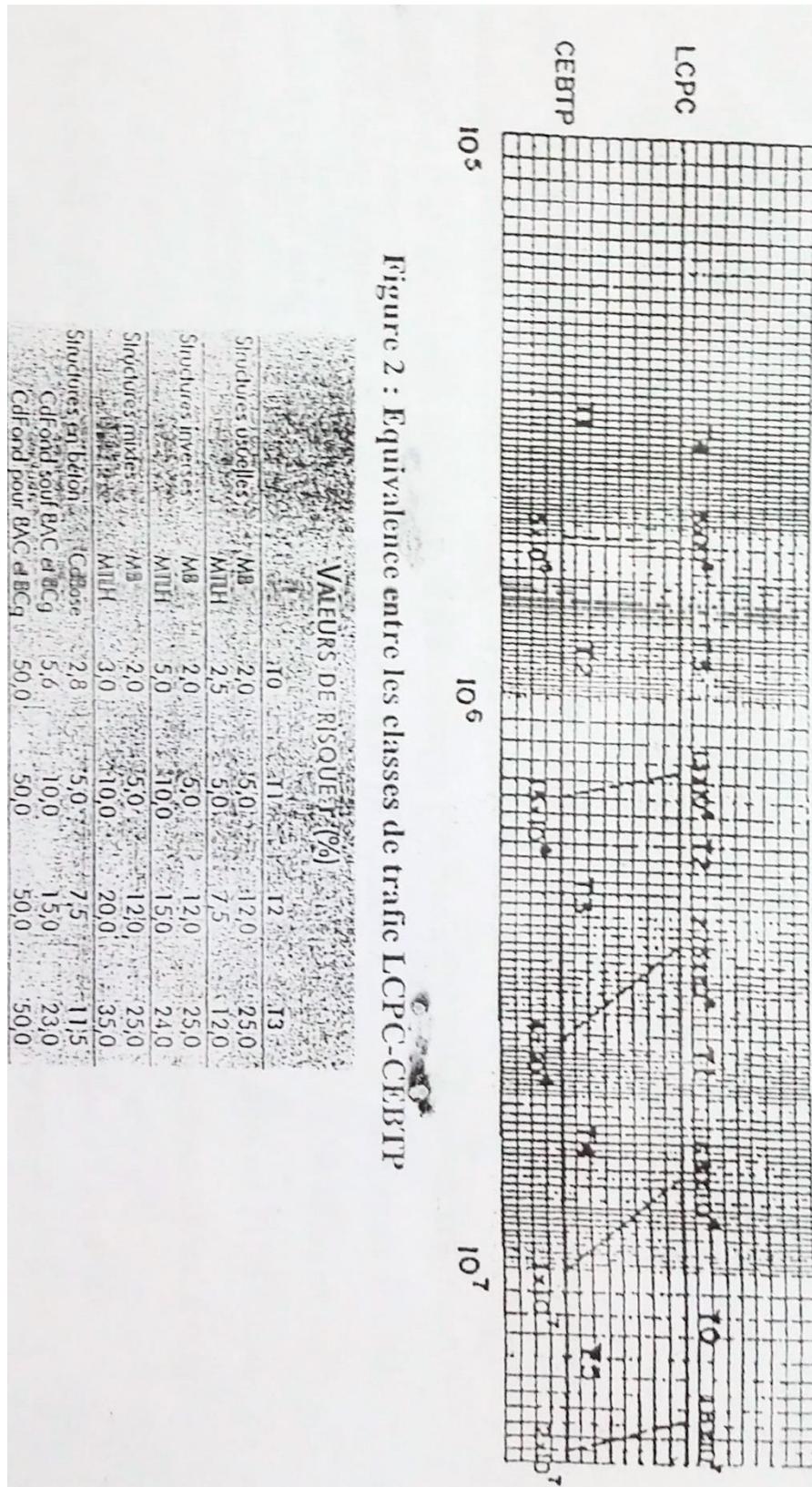
En tout état de cause, on consultera les Laboratoires nationaux du Bâtiment et des Travaux publics sur les valeurs à prendre réellement en compte dans ces vérifications.

On pourra se reporter au tableau des modules proposés pour ces vérifications (voir en annexe).

---

(1) Par exemple, en exploitant la courbe effort-déformation de l'essai CBR.

Annexe 7 :



# TABLE DES MATIERES

<b>DEDICACE.....</b>	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES.....</b>	<b>v</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>CHAPITRE I : CONTEXTE DU BURKINA FASO .....</b>	<b>5</b>
I. LE CARACTERE PHYSIQUE DU BURKINA FASO .....	5
1. LE CLIMAT.....	5
2. LE RELIEF, LA GEOLOGIE ET L'HYDROGRAPHIE.....	5
II. LE CONTEXTE ECONOMIQUE .....	6
<b>CHAPITRE II : LES DIFFERENTES STRUCTURES DE CHAUSSEE UTILISEES AU BURKINA FASO .....</b>	<b>8</b>
I. LES FAMILLES DE STRUCTURES DE CHAUSSEE .....	9
1. SOUPLES .....	9
2. BITUMINEUSES EPAISSES .....	10
3. LES CHAUSSEES A ASSISE TRAITEE AUX LIANTS HYDRAULIQUES .....	10
4. LES CHAUSSEES A STRUCTURE MIXTE .....	10
5. LES CHAUSSEES A STRUCTURE INVERSE.....	10
6. LES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT.....	10
II. FONCTIONNEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES DIFFÉRENTES FAMILLES DE STRUCTURES .....	11
1. LES CHAUSSEES SOUPLES.....	11
2. LES CHAUSSEES BITUMINEUSES EPAISSES .....	12
3. LES CHAUSSEES SEMI-RIGIDES .....	13
4. LES CHAUSSEES A STRUCTURE MIXTE .....	14
5. LES CHAUSSEES A STRUCTURE INVERSE.....	15
6. LES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT .....	16
<b>CHAPITRE III : METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE UTILISEES AU BURKINA FASO .....</b>	<b>19</b>
I. HISTORIQUE.....	19
II. METHODES CLASSIQUES OU EMPIRIQUES .....	19

1. METHODE CBR .....	20
2. MÉTHODE TRRL (TRANSPORTATION ROAD RESEARCH LABORATORY) .....	20
3. METHODE DE L' ASPHALTE INSTITUT .....	21
<b>III. METHODES SEMI-EMPIRIQUES .....</b>	<b>21</b>
1. METHODE DU CEBTP .....	22
2. METHODE SATCCI (SOUTHERN AFRICA TRANSPORT AND COMMUNICATIONS COMMISSION).....	23
3. LA METHODE DU GUIDE TECHNIQUE SETRA-LCPC (SERVICE ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES- LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES) .....	23
<b>IV. METHODES RATIONNELLES .....</b>	<b>23</b>
1. HYPOTHESES .....	24
2. CALCUL DE LA STRUCTURE.....	26
3. AJUSTEMENT DES EPAISSEURS .....	28
<b>CHAPITRE IV : LES CARACTERISTIQUES DES PARAMETRES UTILISES AU BURKINA POUR LE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES ROUTIERES.....</b>	<b>29</b>
I. LE TRAFIC .....	29
II. LES MATERIAUX DISPONIBLES.....	31
III. LE SOL DE PLATEFORME.....	31
IV. LES CONDITIONS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTALES .....	32
<b>CHAPITRE V : ETUDE COMPARATIVE DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT (ETUDE DE CAS).....</b>	<b>33</b>
I. PROJET N°1 .....	33
1. METHODES UTILISEES.....	33
2. ANALYSE DES RESULTATS .....	34
II. PROJET N°2.....	38
III. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES METHODES CEBTP ET ALIZE.....	41
<b>CHAPITRE VI : ANALYSE CRITIQUE DES METHODES UTILISEES (CEBTP ET ALIZE LCPC) .....</b>	<b>43</b>
I. DOMAINE D'APPLICATION .....	43
1. METHODE DU GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX (CEBTP).....	43
2. LA METHODE RATIONNELLE ALIZE LCPC .....	44
II. LIMITES ET CRITIQUES.....	44
1. LA METHODE DU GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES POUR LES PAYS	

TROPICAUX (CEBTP).....	44
2. LA METHODE RATIONNELLE ALIZE LCPC .....	45
<b>CHAPITRE VII : RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>54</b>