

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

UNIVERSITE DE THIES



ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

Centre de Thiès



Département Génie Civil

GC.0520

Thème :

**PROBLEMATIQUE DU DIMENSIONNEMENT DES
CHAUSSEES SOUPLES AU BURKINA FASO**

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

Auteur : Marc COMBERE

Directeur interne : Professeur Ibrahim Khalil CISSE

Directeur externe : Monsieur David Tchona IDOSSOU

Juillet 2008

Dédicaces

A mes parents défunts maxime COMBERE et Christine DAYAMBA

A mon épouse R. Angèle

A ma grande sœur Salomé

A Seydou MAIGA qui m'a proposé le stage

Au chef YEMBIARI II de Diabo au Burkina Faso

Aux nobles enseignants rencontrés tout au long de ma scolarité

A tous ceux qui ont corrigés le canevas, le plan et le contenu de ce PFE

A toute ma famille de l'EPT et du COUD à Thiès

A tous les parents et amis à Dakar

A tous ceux qui m'ont porté dans leur prière

Au regretté Maxime Guy Trazié BI Ingénieur Electromécanicien de la 8^e promotion

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier le Pr. Ibrahima Khalil Cissé, directeur de l'Ecole polytechnique de Thiès (E.P.T), pour l'intérêt qu'il porte au sujet, sa disponibilité et pour son encadrement .

Nous remercions particulièrement Mr David Tchona IDOSSOU , directeur du BICI pour la formulation du sujet, l'aide bibliographique et ses soutiens multiples.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à toutes les personnes qui ont de quelque façon prêté leur concours à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous exprimons aussi notre gratitude à monsieur Hassane GUIAO, Kalsibiri KABORE , Maria OUEDRAOGO et tout le personnel de Direction de la planification des Etudes et du suivi pour leurs divers contributions.

Nous remercions également d'un manière spéciale l'encadrement pédagogique pour leurs conseils, remarques, suggestions et ajouts pertinents concernant ce projet .

Sommaire

Le but de ce travail est d'identifier les problèmes liés à la conception et au dimensionnement des chaussées au Burkina Faso. Sur une dizaine de méthodes examinées, nous dégagerons les limites et nous proposerons des méthodes adaptées aux chaussées souples. Il s'agira d'inventorier les méthodes de dimensionnement existant, d'en faire leur diagnostic, d'analyser les résultats, et d'en faire des recommandations.

L'analyse du diagnostic a donné des résultats suivants :

- Route en terre à trafic léger : Peltier et abaque TRRL
- Route revêtue à trafic léger et moyen : Asphalte Institut, guide SATCCL, guide LCPC- SETRA , vérification des contraintes avec un logiciel
- Route revêtue à trafic lourd : guide LCPC , programme informatique

la vérification des contraintes et déformations du sol de plate forme, l'étude a révélé quant à elle que l'épaisseur des routes Tougan- Dédougou et Sakoinsé Bobo était insuffisante ; conséquence, les méthodes qui ont servi à leur détermination présentent des limites. Enfin l'étude a procédé à des recommandations.

Table des matières

<i>Dédicaces</i>	i
Remerciements	ii
Sommaire	iii
Table des matières	iv
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Synthèse des routes classées	16
Tableau I.2 : Structuration du réseau routier	16
Tableau I.3: Etat actuel des routes en terme relatif	17
Tableau I.4: Linéaire actuel des routes en terme quantitatif	17
Tableau II.1 : Projet de routes exécutés au Burkina Faso	24
Tableau II.2 : coût d'entretien des projets routiers	26
Tableau II.3: classes de trafic	29
Tableau II.4 : méthodes utilisées sur l'échantillon étudié	46
Tableau II.5 : Pourcentage de répartition des méthodes utilisées	47
Tableau III.1 : Seuils de viabilité admis en stratégie d'entretien	51
Tableau III.2 : Etude comparative de la méthode CEBTP et de l'Asphalte Institut	67
Tableau III.3 : Etude comparative des méthodes CEBTP, TRRL, SATCI, ALIZE	67
Tableau III.4 : Etude comparative des méthodes CEBTP, TRRL, SATCI, ALIZE pour S3 CBR > 10	68
Tableau III.5 : Autre étude comparative des méthodes CEBTP, TRRL, SATCCI, ALIZE pour S3 CBR > 15	68
Tableau III.6 : Valeurs moyennes de α et k	71
Tableau III.7 : Détermination du coefficient d'agressivité suite au pesage du 22 juillet 2007	82
Tableau III.8 : Différents enrobés et domaines d'emploi	88
Tableau III.9 : Caractéristiques géotechniques des matériaux graveleux	89
Tableau III.10 : Spécifications moyennes pour graveleux latéritiques utilisés pour les chaussées revêtues	90
Tableau III.11 : Spécifications de sélection des matériaux graveleux de couches de roulement	90
Tableau IV.1 : Hypothèses de base du dimensionnement	100
Tableau IV.2 : Récapitulatif de la vérification des structures	107
Tableau IV.3 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes	111
Tableau IV.4 : Performance des méthodes	112
Tableau IV.5 : Type de relation entre les méthodes	113

Liste des figures

Figure I.1 : carte climatique du Burkina Faso	4
Figure I.2 : carte administrative du Burkina Faso	7
Figure I.3 : Comportement de la structure de chaussée dans le temps	18
Figure I.4 : Etat de la structure de chaussée sous l'effet des entretiens	19
Figure I.5 : le cycle de vie normal d'une route	20
Fig. II.1 : abaque donnant l'épaisseur de la chaussée en fonction du CBR et de la charge P	27
Figure II.2 : épaisseur minimum requise	31
Figure II.3 : Road Note N°29 : Couche de fondation en matériaux non traités [11]	32
Figure II.4: Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base en macadam enrobé[11]	32
Figure II.5 : Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base en macadam non traité [11]	33
Figure II.6 :Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base en béton bitumineux [11]	33
Figure II.7 : Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base traitée aux liants hydrauliques [11]	33
Figure II.8 : Road Note N°29 : Dalle de béton [11]	34
Figure II.9:Piste ordinaire	38
Figure II.10 : Piste améliorée de type B	39
Figure II.11 : Piste améliorée de type A	40
Figure II.12: Route en terre ordinaire	41
Figure II.13: Route en terre moderne	42
Figure II.14: Route bitumée	43
Figure III.1 : abaque permettant d'évaluer les épaisseurs des couches à partir de l'indice de groupe	48
Figure III.2 : Abage permettant d'évaluer le module de rupture du béton	54
Figure III.3 :Abage de calcul l'accroissement type de la résistance à la rupture du béton	55
Figure III- 4 : Abage permettant de déterminer les efforts dans la dalle	56
Figure III-5 : Diffusion de la contrainte selon Boussinesq	58
Figure III-6 : Travail en flexion d'une couche liée	59
Figure III-7 : Schéma du modèle de Hogg	60
Figure III-8 : Schéma du modèle de Westergaard	61
Figure III-9 : Schématisation du modèle multicouche de Burmister	63
Figure III 10 : Diagramme d'écoulement du trafic 1998 (source DGR)	73
Figure III 11 : Diagramme d'écoulement du trafic 1999 (source DGR)	74
Figure III 12 : Diagramme d'écoulement du trafic 2000 (source DGR)	75
Figure III 13 : Diagramme d'écoulement du trafic 2001 (source DGR)	76
Figure III 14 : Diagramme d'écoulement du trafic 2002 (source DGR)	77
Figure III 15 : Diagramme d'écoulement du trafic 2003 (source DGR)	78
Figure III.17 : Evolution du trafic sur le tronçon N°1 (entre Ouagadougou et Bingo)	80
Figure III 18: Evolution du trafic entre Koumbia et Bobo Dioulasso	80
Figure III.19 : Module du béton bitumineux en fonction de la température	93
Figure III.20 : Module de la grave bitume en fonction de la température	93
Figure III.21: Evaluation de l'épaisseur du renforcement en fonction du coefficient de poisson	106

INTRODUCTION

Les voies de communication en général et les infrastructures routières en particulier sont un facteur important et incontournable pour le développement économique, culturel et social d'un pays ou d'un continent. Si dans les années 1950 les voies de communication africaines étaient essentiellement constituées de quelques routes en terre, aujourd'hui le linéaire a considérablement augmenté. Les routes bitumées ont fait leur apparition. Les techniques et les méthodes d'exécution ont évolué avec la technologie routière. Cependant, le réseau routier africain est insuffisant et ce qui existe connaît d'énormes problèmes techniques, politiques et institutionnels.

En avril 2004, l'Association des Gestionnaires et des Partenaires Africains des Routes (AGEPAR) organisait un séminaire technique associé à leur assemblée Générale sous le thème : « Routes Africaines, cinquante ans de service : bilan et perspectives ». Au menu des sous thèmes figuraient « le dimensionnement et la durée de service des chaussées ».

En mars 2007 aux assises de Ouagadougou de l'AGEPAR, on retrouvait en sous thème 2-2 « les méthodes de dimensionnement, forces, faiblesses et les domaines d'utilisation des différents types de structures » ; ceci traduit l'intérêt accordé par les gestionnaires des réseaux routiers et les professionnels de l'industrie routière des pays africains au problème de dimensionnement.

A l'instar des états Africains, le réseau routier Burkinabé constitue un cauchemar pour les gestionnaires. Ils assistent impuissants aux dégradations superficielles et structurelles précoces des chaussées neuves et par conséquent à des durées de service très courts.

Sur le plan africain, si les problèmes sont abordés au cours des assises de l'AGEPAR mais de façon superficielle pour des contraintes de temps, au Burkina Faso jusqu'à un passé très récent, aucun cadre institutionnel ne s'est penché sur la question qui du reste est une préoccupation nationale.

Pour remédier à cette situation, il est indispensable qu'une réflexion soit menée sur les causes réelles de ces problèmes. En attendant, nous pensons pour notre part que l'analyse des méthodes de dimensionnement pourrait être une des voies de sortie.

Ce travail a pour finalité, non seulement un approfondissement de la réflexion sur les méthodes de dimensionnement utilisés au Burkina Faso, mais aussi sur la pertinence et l'opportunité de leur utilisation.

Le but visé est l'identification des limites des méthodes utilisées et la proposition de méthodes de dimensionnement adaptées aux chaussées souples.

Le diagnostic des tronçons bitumes à trafic crevé servira à dégager les idées maîtresses.

Le rapport se subdivise en quatre parties :

Nous présenterons tout d'abord le Burkina Faso ; puis nous parlerons de ses différentes politiques routières et ses routes ; nous aborderons ensuite les méthodes de dimensionnement.

Nous terminerons le travail par un diagnostic des chaussées existantes puis par une analyse des résultats et des recommandations.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU BURKINA FASO

1) CONTEXTE MACRO ECONOMIQUE

1.1 Le caractère physique du Burkina Faso

1.1.1 Le climat

Le Burkina Faso, situé au coeur du Sahel possède un climat tropical de type soudanien caractérisé par deux saisons: une saison sèche et une saison des pluies dite encore "hivernage" comme l'atteste la figure II.

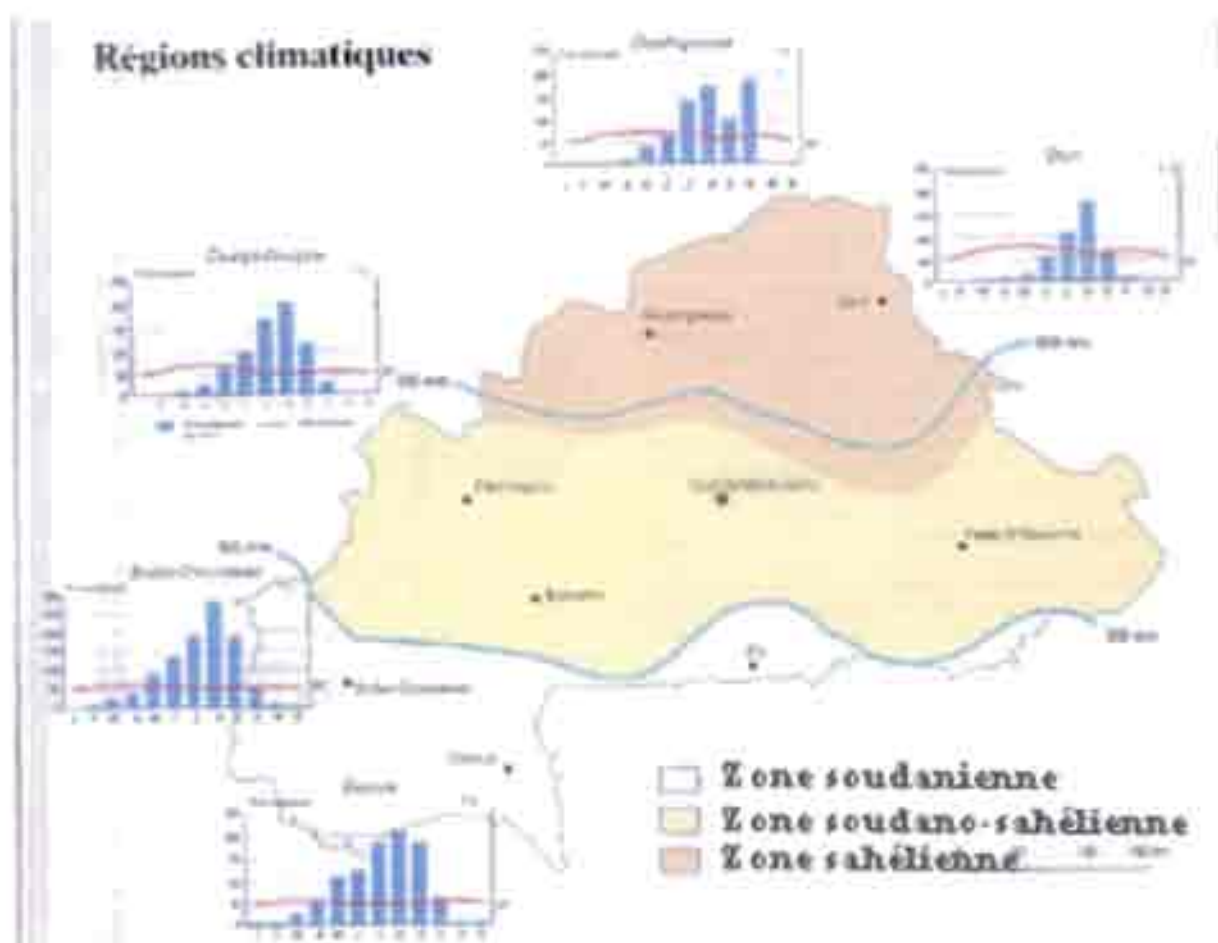


FIGURE 1.1 : CARTE CLIMATIQUE

La saison sèche est caractérisée par les vents secs d'harmattan qui soufflent du nord-est au sud-ouest. Elle va d'octobre à mars. Le mois d'avril constitue un mois penible qui voit l'arrivée des vents humides ou alizés chargés de mousson. La saison des pluies est caractérisée par des

vents humides. Elle va de mi-juin à septembre. Le mois d'octobre constitue le mois charnier qui voit souffler les vents secs d'harmattan (le maximum de pluies est observé en août) La tendance observée en matière de température est un réchauffement général du pays depuis 1961; mais cette observation n'est certainement pas caractéristique de la sous région, mais un phénomène planétaire.

La moyenne pluviométrique annuelle calculée couvre la période de 1961 à 1990; il faut surtout faire mention de la variabilité de la pluviométrie annuelle à un double point de vue:

- au point de vue spatial et dans chacune des zones climatiques définies, les différences de pluies constatées sont assez importantes ;
- au point de vue temporel, l'on observe sur la période considérée une baisse tendancielle de la moyenne passant de 600 mm en 1961 à 400 mm en 1990 pour la zone sahéenne, de 900 à 700 mm pour la zone soudano-sahéenne, et enfin de 1150 à 900 mm pour la zone soudano-guinéenne

1.1.2- Le relief, la géologie et l'hydrographie

Le pays est situé à l'intérieur de la boucle du fleuve Niger entre 10° et 15° de latitude Nord et entre 2° de longitude Est et 5°30' de longitude Ouest. Le Burkina est un pays plat. L'écart entre les altitudes extrêmes est inférieur à 600 mètres. L'altitude moyenne ne dépasse pas 400 mètres et près de la moitié du pays se situe entre 250 et 350 mètres. La platitude d'ensemble n'exclut pas une certaine variété locale. La nature des roches et la morphologie permettent de distinguer deux grands domaines topographiques.

- Une immense pénéplaine, façonnée dans le massif précambrien, s'étend sur les trois quarts du pays. Le relief, monotone, n'est qu'une succession de croupes molles et de vallons évasés, localement on rencontre une butte isolée ou un groupe de collines aux pentes raides qui s'élèvent sur quelques dizaines de mètres au dessus du plateau. 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 dont le faite, constitué de roches dures schisto-gréseuses ou quartzitiques du Birimien, a été

épargné par l'érosion différentielle, ou bien des inselbergs granitiques, ou encore de buttes cuirassées à surface tabulaire.

- Un massif gréseux occupe le sud-ouest du pays. C'est la région la plus élevée et la plus accidentée du Burkina: Le Ténakourou y culmine à 749 mètres. La couverture sédimentaire de grès primaire domine le socle environnant par des escarpements impressionnants auxquels on donne le nom de "falaises". Cette zone de contact entre le massif gréseux et le socle présente du nord au sud deux aspects très différents.

Le relief est lié à la constitution géologique. Les formations cristallines du Précambrien C et D (Birimien et Antébirimien) couvrent plus de 80 % du pays. La majeure partie du Burkina est dominée par des plateaux latéritiques parfois très cuirassés et de bas-fonds.

Quoique peu élevé et relativement peu arrosé, le Burkina a un réseau hydrographique assez important, surtout dans sa partie méridionale. Les cours d'eau se rattachent à trois bassins principaux: les bassins de la Volta, de la Comoé et du Niger. Le plus important, il s'étend au centre et à l'ouest du pays sur une superficie de 178 000 km². 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. Toutes les rivières du Burkina excepté le Mouhoun et celles du sud-ouest (bassin de la Comoé) sont temporaires : (ne coulant que de juillet à octobre). En dehors du réseau hydrographique il existe des bassins fermés qui alimentent de nombreuses grandes mares ou lacs naturels, sans écoulements permanents ou temporaires, qui occupent les bas-fonds ou les espaces inter dunaires: les lacs de Tingrela, de Bam et de Dem, les mares d'Oursi, de Béli, de Yomboli et de Markoye. Les observations effectuées sur la mare d'Oursi et le lac de Bam laissent penser que le fond de ces lacs se colmate par des dépôts argileux.

L'importance de ces caractères physiques dans un pays, c'est leur impact sur la nature et le choix des matériaux, le sol de portance, les stratégies d'investissement et d'entretien des routes et enfin sur le drainage des chaussées.

I.2- Le Burkina et sa Population (fig.2)



Figure I. 2 : carte administrative du Burkina Faso

Le Burkina Faso a une population de 12.8 millions d'habitants répartie sur une superficie de 274120 km². Il est entouré des pays suivants :

- A l'est et au nord est par le Niger
- A l'ouest et au nord par le Mali
- Au sud par le Ghana et le Togo
- Au sud ouest par la Côte d'Ivoire
- Au sud est par le Bénin

Du point de vu administratif, le pays est divisé en 13 régions et 45 provinces. La population urbaine constitue 19.3% de l'ensemble de la population. La capitale du pays est Ouagadougou (plus de un million d'habitants) située au centre du pays. Les principales villes du pays sont

Bobo Dioulasso, Koudougou, Ouahigouya, Fada N'Gourma et Dori. L'évolution de la population entre 1990 et 2001 est estimée à 2.3% par an en moyenne.

1.3- Contexte économique et le PIB

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 1 000 kilomètres 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 taux de croissance du PIB en 2006 est 6,1% ; Celui de 2007 est estimé à 6.7%. L'inflation quand à elle est de 2.4%.

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 Tema 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 infrastructures routières. Ces paramètres sont en général:

- Le seuil de rentabilité du projet

$$Q_{opt} = \frac{CF}{P - CV}$$

Q_{opt} : seuil de rentabilité au point mort

CF : les coûts fixes

P : le prix de vente

CV : les coûts variables unitaires

- Le taux de rentabilité interne (TRI) est déterminé de la façon suivante :

T.R.I = i tel que $VAN=0$ où

➤ i = taux d'actualisation

➤ VAN = valeur actuelle nette

$$VAN = -I + \sum \text{Recettes nettes } (P_v / F_n, i\%, n) - \sum \text{coûts nets } (P_v / F_n, i\%, n)$$

➤ I = Investissement

- l'indice d'enrichissement (IR) :

$$IR = \frac{\sum_{t=1}^n VA(\text{Entrée nettes})}{I}$$

VA : valeur actuelle

I : investissement

Au Burkina Faso, le paramètre considéré est le TRI auquel s'ajoute un taux concessionnel de prêt équivalent de 1.2 à 1.5% du montant du prêt qui couvre les charges dues au mouvement des fonds.

II) LES DIFFERENTES POLITIQUES ROUTIERES AU BURKINA FASO

II.1- Les stratégies du désenclavement routier au Burkina Faso

Tout comme les autres pays en développement, le Burkina Faso a consenti au lendemain des indépendances un important investissement pour développer le réseau routier. Ces investissements à grand frais ont été réalisés au détriment de l'entretien. Du coup, le pays s'est trouvé face à un problème ; en effet, les besoins en entretien sont devenus tellement importants qu'il fallait réagir pour sauver les investissements. La question qu'on pourrait se poser c'est, quelles ont été les méthodes de dimensionnement utilisées si nous savons qu'il y a une corrélation entre la technique utilisée et les politiques d'investissement et d'entretien ? Du reste, La spécificité de cet important réseau routier en majeure partie hérité de la période coloniale, est que plus 70% de son linéaire a des structures de base qui ne sont pas toujours hors d'eau. On pourrait aisément imaginer l'impact direct de cette politique routière coloniale et post coloniale dans les stratégies futures.

Les années 1970 – 1988 ont été marquées par la poursuite du désenclavement et par la pratique de l'entretien des routes par les agents de l'état peu qualifiés. Les rares agents qualifiés étaient issus des grandes écoles ou des ouvriers ayant par la force de la pratique obtenu des expériences avec des entreprises multinationales. Les travaux d'entretien étaient réalisés à peu de frais car le budget de l'Etat était confronté aussi bien au problème du désenclavement qu'à d'autres non moins importants tels que ceux de la santé et des pénuries alimentaires.

En 1989 avec l'arrêt des assistances financières, les dégradations du réseau se sont intensifiées. Devant cette situation, le gouvernement a instruit le Ministère en charge des infrastructures pour entreprendre une série d'études dans le cadre de l'élaboration d'une nouvelle politique d'entretien et de réhabilitation des chaussées. Les résultats des études ont fait l'objet d'une large concertation de l'ensemble des structures impliquées et ont conduit en 1993 à la définition d'une nouvelle orientation, le programme d'ajustement sectoriel des transports. Ce programme prévoyait :

- Au niveau réglementaire

La concession de l'exécution des travaux d'entretien routier au secteur privé et la dotation à l'administration des structures de gestion des contrats et l'allègement des procédures de consultation et de paiement ;

- Au niveau documentaire

Il s'agit de mettre à la disposition des parties prenantes une documentation pertinente permettant de bien connaître les principes, objectifs et moyens de réalisation du programme d'entretien routier ;

- Quant aux réformes institutionnelles, elles visaient à assigner les missions de gestion du réseau et de maîtrise d'œuvre aux structures de l'entretien routier, à favoriser la création des PME et le renforcement de leurs capacités, à harmoniser et coordonner les actions des agents d'exécution du programme.

Tout ceci ne pouvait se faire sans une politique de formation, base de toute activité humaine.

A court terme, il s'agissait de procéder au perfectionnement individuel et collectif pour améliorer les performances ;

A moyen terme, l'objectif visé était de réussir un changement d'organisation, développer les potentiels, former au métier et faciliter des projets individuels ;

Enfin à long terme, on devrait pouvoir changer les cultures, développer l'adaptabilité et prévenir les risques d'inadaptation. Ce programme comportait plusieurs composantes :

- La composante entretien courant et périodique des routes revêtues ou non ;
- La composante construction des routes neuves ;
- La réalisation d'études technique de faisabilité
- Et le programme de renforcement institutionnel.

Si ce programme a eu des effets multiformes sur le plan économique et social (licenciement des travailleurs, investissement important), il n'a cependant pas eu une influence sur le choix, la conception et le dimensionnement des chaussées. Tout s'est passé comme si l'Etat n'avait pas redéfini dans sa politique routière, les stratégies en matière de durée de vie, d'exigences de niveau de service et d'aménagement tenant compte du trafic, de l'inexistence des PME dans le sous secteur, de leur structuration et surtout de leur manque de personnel qualifié.

Depuis 2000, une nouvelle ère politique a été mise en place avec l'élaboration de la stratégie des transports et la mise en œuvre du Deuxième Programme Sectoriel des Transports. Cette stratégie s'articulait autour des points suivants :

- la rationalisation des investissements publics avec la priorité absolue accordée à l'entretien et à la maintenance ;
- l'amélioration de la productivité des transports routiers ;
- l'amélioration de l'environnement technique et opérationnel des transporteurs routiers ;
- l'amélioration de la mobilité des personnes et des biens ainsi que la réduction des accidents de la circulation et de la pollution atmosphérique en zone urbaine ;
- l'amélioration des capacités en ressources humaines de l'ensemble du sous secteur, aussi bien dans le public que dans le privé ;
- le renforcement de la capacité de planification, de gestion et de suivi des administrations du secteur ;
- l'amélioration du cadre législatif et réglementaire sur les transports et le tourisme ;
- le renforcement de la coordination des interventions des bailleurs de fonds par le Gouvernement.

L'objectif à terme est de :

- préserver et développer le réseau des infrastructures de transport primaire, secondaire et tertiaires ;
- réduire les coûts de transports et obtenir de meilleures qualités de service et de sécurité, tant au niveau des transports nationaux qu'internationaux ;
- assurer une croissance soutenue et durable par le développement des exportations en réussissant l'intégration régionale et la mondialisation des échanges.

Pour atteindre ces objectifs, un effort a été fait dans la définition des différents niveaux d'aménagement et d'entretien des chaussées. Ces niveaux d'aménagement visaient à :

- conserver et consolider le patrimoine ;
- assurer la circulation dans les meilleures conditions ;
- réduire les coûts d'exploitation des véhicules ;
- améliorer le confort et la sécurité des usagers.

C'est conformément à la stratégie globale qui vient d'être déclinée que toute décision de construction ou d'aménagement d'une infrastructure routière est prise par les gestionnaires du réseau routier.

II.2- L'organisation et la gestion des routes

L'organisation et la gestion de l'entretien routier découlent de la politique d'investissement et d'entretien mis en place. Elles doivent permettre d'ajuster de manière dynamique une offre c'est à dire un niveau de service ou un niveau d'aménagement offert à l'utilisateur par rapport à une demande ou à un besoin qui est l'expression de l'aspiration des usagers et d'autres partenaires intéressés et le tout, sous contraintes budgétaires.

Un système de gestion doit permettre de savoir :

- Quelle est l'évolution prévisionnelle de la chaussée à long terme dans le cadre de la politique définie ?
- Quelle est la conséquence prévisible à long terme de la chaussée dans le cadre de cette politique ?
- Quelle est la conséquence prévisionnelle de cet état sur le besoin d'utilisation des usagers ?
- Compte tenu des contraintes budgétaires, quelle est la stratégie qui répond au mieux aux besoins des utilisateurs ?
- Quel est le gain du niveau de service qui résulte d'un accroissement des ressources consacrées à la route et aux investissements ?

Pour cela un système de gestion doit assurer les fonctions suivantes :

- Classer le réseau routier en catégorie homogène en fonction des objectifs généraux ;
- Définir les stratégies d'entretien et rechercher la solution optimale
- Faire une analyse générale de l'ensemble des liaisons du réseau ;
- Définir des règles et des normes pratiques d'entretien.

Au Burkina Faso, la gestion du réseau routier est assurée par le Ministère des infrastructures et du désenclavement. L'organisation de ce Ministère est définie par décret N° 2006/412/PRES/PM/MID du 11 septembre 2006.

Pour la mise en œuvre et le suivi de la politique du gouvernement dans les secteurs des infrastructures et du désenclavement, le Ministère dispose d'un secrétariat général qui comprend :

- Le secrétaire général ;
- Les structures centrales ;
- Les structures déconcentrées ;

- Les structures rattachées .
- les structures de mission

Cette gestion se traduit par :

la classification technique du réseau routier, la mise en œuvre de politiques d'entretien, de réhabilitation et de relèvement de standards, pour l'adaptation du réseau à l'évolution de la demande et au niveau de service souhaité par les usagers et l'exploitation du manuel de procédures de contrôle pour les travaux d'entretien courant de la Direction Générale des routes, version du 29 septembre 1998.

II.3- La classification du réseau routier national

En rappel on peut dire qu'une route est dite classée si elle fait l'objet d'un acte administratif de classement pris dans les formes réglementaires, soit préalablement à la construction, soit postérieurement à l'établissement de la route dont il reconnaît et précise alors la situation.

La réglementation est prononcée par décret N°2000- 268 /PRES /PM /MIHU portant définition et réglementation du réseau routier national au Burkina Faso et la classification par décret N° 2000 – 269 /PRES /PM /MIHU portant classification des routes. Selon la réglementation, le réseau routier national du Burkina Faso comprend :

- Les routes classées
- Les pistes rurales
- La voirie urbaine

La classification a pour effet de les ranger dans une des classes suivant des critères administratifs, économiques et techniques.

II.3.1- Critères politico administratifs

Ce classement tient compte des contraintes liées à l'aménagement du territoire ainsi que des considérations d'ordre politique ou militaire. On distingue trois catégories :

- Les routes d'intérêt national relient les centres administratifs les plus importants entre eux (exemple les chefs lieux de provinces) ;
- Les routes d'intérêt régional assurent la liaison entre les villes moyennes. Elles relient ces villes aux plus importantes par l'intermédiaire des routes d'intérêt national ;

- Les routes d'intérêt départemental assurent les communications des villages entre eux, entre les villages et les grandes villes par l'intermédiaire des routes d'intérêt régional et national.

II.3.2- Critères économiques

Ce classement comprend trois catégories et s'appuie essentiellement sur le trafic :

- Les itinéraires principaux relient le pays à l'extérieur et supportent le trafic international. Ils relient les centres les plus économiquement actifs entre eux. Le trafic y est élevé ;
- Les itinéraires secondaires assurent la liaison entre les centres moyens. Ils relient ces centres aux routes principales. Le trafic y est moyen ;
- Les itinéraires tertiaires sont le siège d'une faible circulation. Ils assurent la diffusion des flux à travers tout le pays et permettent les échanger entre villages.

Ces deux critères ont des points communs. Ils constituent la base de la classification administrative. Cette classification a pour but de hiérarchiser le réseau pour permettre :

- D'orienter les investissements
- D'élaborer une politique d'exploitation et d'entretien cohérente.

La dernière classification administrative comprend :

- Vingt neuf (29) routes nationales
- Trente six (36) routes régionales
- Cent cinquante trois (153) routes départementales

(Pour le détail, voir annexe II)

II.3.3- Critères techniques

Il s'agit d'un classement du réseau sur la base du niveau d'aménagement technique. Chaque niveau d'aménagement est défini à partir de la structure du corps de chaussée, la nature de l'assainissement, les caractéristiques géométriques et de fonctionnement. On distingue :

- les pistes ordinaires (PO)
- les pistes améliorées de type B
- les pistes améliorées de type A
- les routes en terre ordinaires (RTO ou RO)
- les routes en terres modernes (RM)

- les routes bitumées (RB)

Ces classements sont synthétisés dans le tableau I.1 suivant :

Classe	Routes nationales	Routes Régionales	Routes Départementales	Totaux par type
Type				
Routes Bitumées (RB)	1992.47	0	0	1992.465
Routes en Terre Moderne (RM)	278.035	0	0	278.035
Routes en Terre Ordinaire (RO)	2868.309	197.937	107.593	3173.839
Pistes Améliorées de type A (PA)	738.351	1736.636	1689.437	4164.424
Pistes Améliorées de type B (PB)	268.138	490.104	2491.916	3250.158
Pistes Ordinaires (PO)	552.176	1156.295	704.189	2412.66
Totaux par classes	6697.474	3580.972	4993.135	15271.581

Tableau I.1 : Synthèse des routes classées

II.4 Structuration actuelle du réseau routier

le tableau ci après nous donne le linéaire des routes par classe technique et administrative.

Classification Administrative	Classification Technique						Total
	Routes Bitumées	Routes en terre		Pistes			
		Moderne	Ordinaire	Améliorées	Améliorées	Ordinaires	
RB	RTM	RTO	Type A (PA)	Type B (PB)	PO		
Route Nationale	1992	278	2 869	738	268	552	6 697
Route Régionale	0	0	198	1 737	490	1 156	3 581
Route Départementale	0	0	108	1 690	2 492	704	4 994
Piste Rurale	0	0	0	0	0	46 095	46 095
Total	1 992	278	3 175	4 165	3 250	48 507	61 367

Tableau I.2 : Structuration du réseau routier

II.5 - Objectifs d'aménagement

L'objectif visé à l'horizon 2025 est de renverser la tendance actuelle en la faisant évoluer comme présenté dans les tableaux I.3 et I.4 suivants:

En termes relatifs

Classification Administrative		Classification Technique						Total partiel linéaire actuel
		Routes Bitumées	Routes en terre		Pistes			
			RB	RTM	RTO	Améliorées Type A (PA)	Améliorées Type B (PB)	
Route Nationale	Actuel	39,58%	1,72%	39,23%	7,00	4,00	8,47%	6 697
	But	100%						
Route Régionale	Actuel	0,92%		4,61%	48,51%	13,68%		3 581
	But	30%	70%					
Route Départementale	Actuel	0,12%		2,16%	33,82%	49,78%	14,12%	4 994
	But	10%	60%	30%				
Piste Rurale	Actuel						100,00%	46 095
	But				40%	50%	10%	

Tableau I.3: Etat actuel des routes en terme relatif

En termes quantitatifs (en supposant le linéaire actuel conservé)

Classification Administrative		Classification Technique						Total partiel linéaire actuel
		Routes Bitumées	Routes en terre		Pistes			
			RB	RTM	RTO	Améliorées Type A (PA)	Améliorées Type B (PB)	
Route Nationale	Actuel	2 651	115	2 627	469	268	567	6 697
	But	6 697						
Route Régionale	Actuel	33		165	1 737	490		3 581
	But	1 432	2 149					
Route Départementale	Actuel	6		108	1 689	2 486	705	4 994
	But	499	2 996	1 498				
Piste Rurale	Actuel						46 095	46 095
	But				18 438	23 048	4 610	
Totaux	Actuel	2 690	115	2 900	3 896	3 245	47 567	46 095
	But	8 629	5 145	1 498	18 438	23 048	4 610	

Tableau I.4: Linéaire actuel des routes en terme quantitatif

II.6- Politiques d'entretien, de réhabilitation

Il est important de souligner que dès sa construction une route doit faire l'objet d'une politique d'entretien. Conformément aux normes internationalement reconnues et éprouvées, le Burkina Faso dans sa stratégie d'entretien a adopté dans sa démarche, l'entretien courant, l'entretien périodique, la réhabilitation et ou le renforcement.

- ✓ **L'Entretien Courant (EC)** vise à maintenir la route dans un bon état de praticabilité à travers l'exécution d'un ensemble de tâches légères et répétitives, consistant à préserver le niveau de service de la route.

Malgré l'exécution de l'EC qui préserve le niveau de service de la route, force est de constater que la structure de la chaussée s'érode au fil du temps, en perdant tout ou partie de la couche de roulement sous l'action combinée du trafic et des intempéries. Cette situation est illustrée par la figure 1.3 suivant :

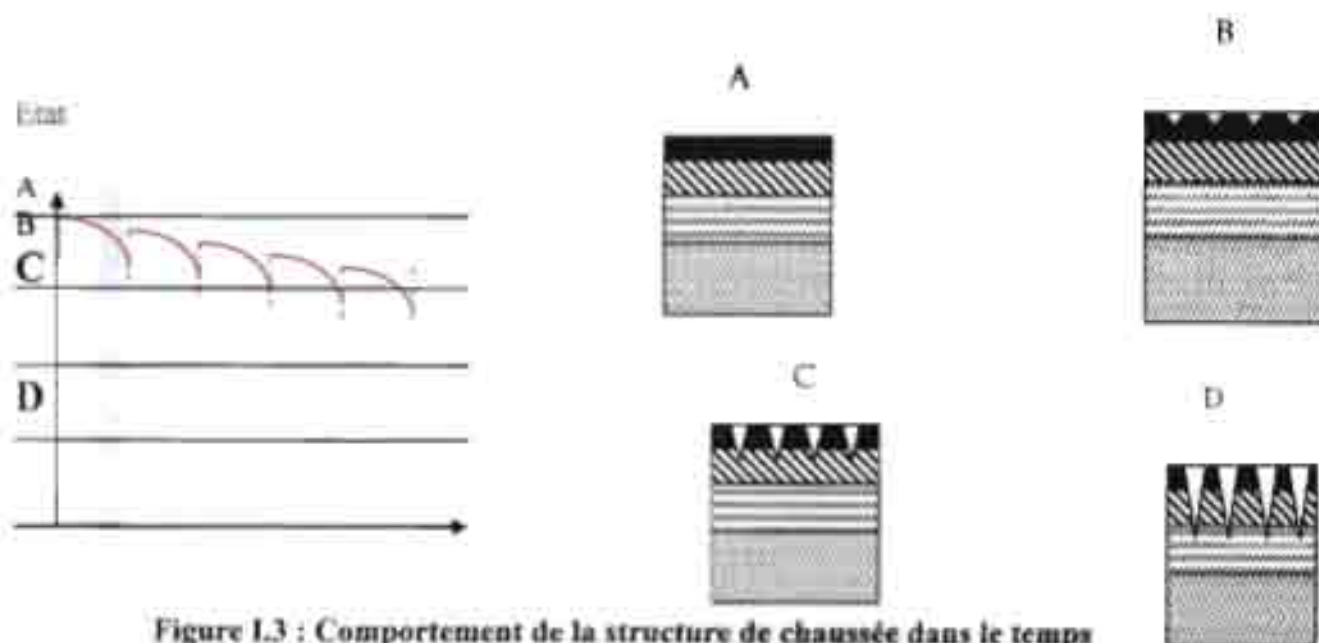


Figure 1.3 : Comportement de la structure de chaussée dans le temps

Avec :

- A : préservation du niveau de service
- B : dégradation au niveau de la couche de roulement
- C : la dégradation a atteint la couche de base
- D : la dégradation atteint la couche de fondation

L'Entretien Périodique (EP) vise en des périodicités bien définies (en moyenne 05 ans pour les routes en terre et 07 ans pour les routes bitumées), soit à reconstituer la couche de

roulement pour les routes en terre, soit à reprendre le revêtement pour les routes bitumées. La figure I.4 ci-après illustre le comportement de la chaussée sous l'effet de l'entretien périodique.

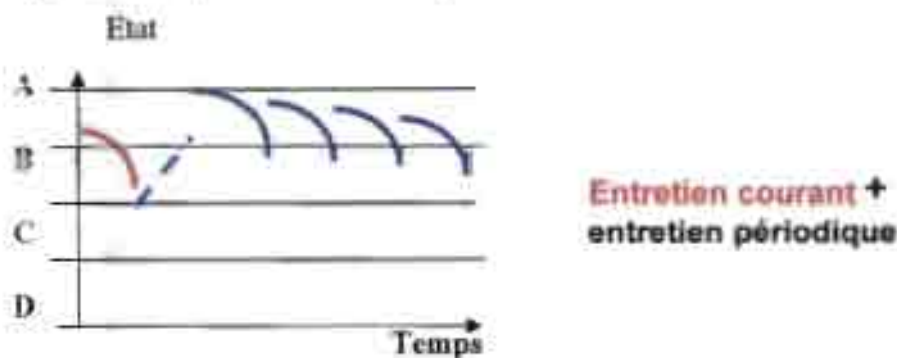


Figure I.4 : Etat de la structure de chaussée sous l'effet des entretiens

Rouge : usure de la couche de roulement entraînant les dégradations au niveau de la couche de base

Bleu : reconstitution du profil de la route de roulement sous l'effet de l'entretien périodique.

✓ **La réhabilitation et ou le renforcement** : l'une ou l'autre de ces opérations intervient lorsque les deux (2) entretiens précédents n'ont pu être effectués dans les délais requis entraînant une dégradation accélérée et forte de l'ouvrage.

Cette action consiste à restaurer les différentes couches de la chaussée (terrassements généraux, couches de forme, de fondation et de base ou de roulement), les ouvrages d'assainissement existants ou à compléter les ouvrages manquants pour parfaire le système d'assainissement de la route. Ils ont pour objet de minimiser de gros investissements en assurant un entretien régulier des routes.

S'agissant du cas spécifique du renforcement, l'opération peut intervenir dès lors que la sollicitation de l'infrastructure augmente fortement. Dans ce cas, il est nécessaire de redimensionner la structure de la route par un apport en matériaux nobles (concassés, graves bitumes, bétons bitumineux, etc.).

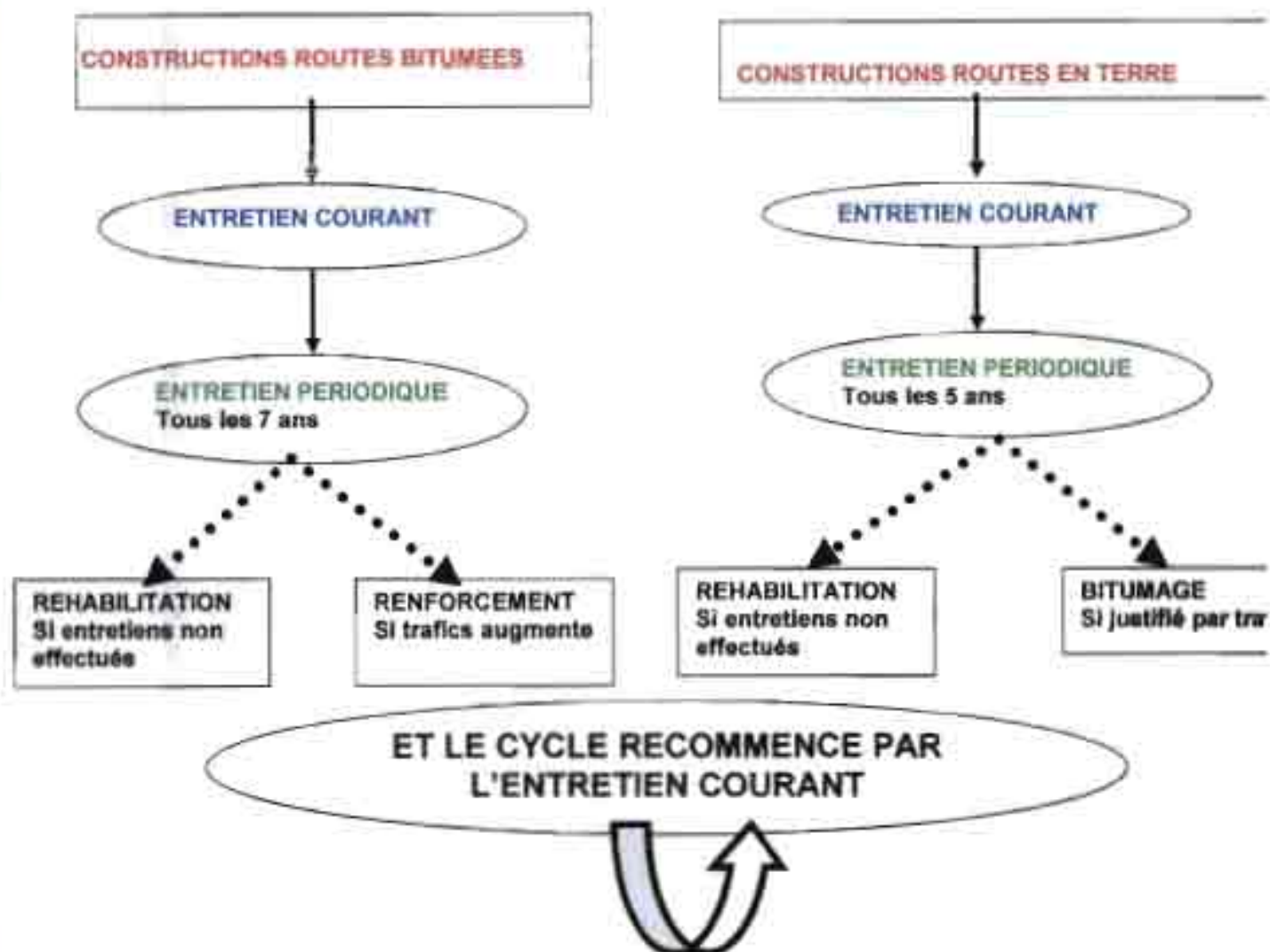


Figure 1.5 : le cycle de vie normal d'une route

Au cours de l'exécution des programmes d'entretien routier, des difficultés sont apparues :

- Retard dans l'approbation des contrats qui se répercute dans l'exécution des marchés (début avril au lieu de début janvier) ;
- Impossibilité d'exécution du programme de juillet à septembre ;
- Retard dans le paiement des décomptes des PME (retard qui pourrait atteindre 3 à 4 ans) qui conduit à la faillite de ces derniers et l'incapacité à poursuivre les travaux ;
- Clôture budgétaire qui conduit à la clôture des travaux bien que les délais ne soient pas expirés ;
- Insuffisances de ressources allouées face à l'accroissement du réseau à entretenir et à la sollicitation des routes ;

Toutes ces difficultés entraînent une détérioration du réseau et la perte du patrimoine routier.

Pour faire face à ces difficultés, et dans le cadre d'une stratégie cohérente et dynamique de développement du secteur des transports, il s'est avéré nécessaire de réviser le cadre actuel de gestion routier par la mise en place d'un fond routier dit de deuxième génération, autonome, géré conjointement avec les usagers, spécialisés dans le financement de l'entretien routier et doté de ressources propres, extrabudgétaires à nature de redevance d'usage.

II.7 -Relèvement de standards

Le passage d'un standard à l'autre dépend essentiellement du flux du trafic sur la chaussée considérée.

Conclusion partielle

Au terme de ce chapitre, il ressort que le caractère physique est marqué par un climat tropical du type soudanien à alternance de saison sèche et de saison de pluie. La somme de ses traits physiques et géologique font penser à la formation de la latérite, matériau le plus utilisé en construction routière.

Du reste, si le sous secteur des infrastructures est présenté comme étant le moteur du développement économique et social, la crise énergétique actuelle additionnée à la rareté des ressources de nos pays, la rationalisation des investissements publics et surtout l'importance du linéaire du réseau routier (soixante un mille trois cent soixante sept kilomètres) recommandent une utilisation optimale de ces ressources. Les faits sus cités peuvent justifier en partie le choix par les concepteurs de leurs méthodes de dimensionnement (surtout la méthode CEBTP) et des structures légères peut onéreuses.

Sur la base des résultats du tableau I4, il apparaît que 20% environ des routes nationales sont des pistes. Ce taux et surtout celui des pistes rurales (0.08%) semble à notre avis un peu élevé. Nous pensons que la Direction de l'entretien routier en collaboration avec les structures compétentes de la région doivent veiller à sa fonctionnalité permanente eu égard à sa place et son intérêt au niveau national.

Quant à l'héritage coloniale des structures, nous pensons qu'elles constituent un facteur aggravant des dégradations de chaussées et surtout des chaussées en terre et du même coût accroissent leur coût d'entretien. D'autre part, il met en cause les méthodes utilisées car les dégradations prématurées ne permettent pas d'observer les limites de la méthode utilisée lors du dimensionnement.

De même, une politique routière aussi bien rédigée , pour atteindre ses objectifs doit être l'apanage de tous les acteurs . Il nous paraît important que tous les partenaires se l'approprient et la mettent en oeuvre.

Enfin, le contenu de cette nouvelle stratégie nous suscite plusieurs questions. Quel pourrait être son impact sur le dimensionnement des chaussées ? Pourra t- elle changer les habitudes ? Y aura t il une corrélation entre cette nouvelle politique et les méthodes de dimensionnement ? Abordons les autres parties et voyons.

CHAPITRE II : LES ROUTES AU BURKINA FASO

I - LES PROJETS EXECUTES DE 1968 A 2006

I.1- Projets de construction ou de renforcement

Le tableau ci après nous donne les différents projets exécutés et leur année de construction de 1968 à 2006

Classe	Désignation	construction	Entretien	Réhabilitation
RN01	Ouaga -Sakoinsé	76-78	2000-2001	
	Sakoinsé- Boromo	79-82		
		99-2000		
	Sakoinsé- Houndé	79-82		
	Ouaga- Boromo	1999-2000		
	Boromo -Houndé	2000-2005		
	Houndé- Bobo	77-80		
RN02	Ouaga -Yako	82-85	2000-2001	
	Yako -Ouahigouya	90-92		
RN03	Ouaga -Kaya	90-92		
	Kaya-Dori	2005		
RN04	Ouaga- Koupéla	70-72	85-86/2000	2005
	Ouaga- Koupéla- Fada	80-82	2000	
	Fada-Piéga	83-84	2000	
	Piéga- frontière du Niger	84-86		
RN05	Ouaga- Pô frontière du Ghana	70-72	97-98	
RN06	Ouaga- sapouy Léo Frontière du Ghana	2001-2003		
		2002-2005		
RN07	Bobo- Banfora- frontière de la Côte d'Ivoire	87-88		
		97-98		
RN08	Bobo-Orodara - frontière du Mali	94-98		
RN09	Bobo -Faramana- frontière du Mali	68-69	97-98	
RN10	Bobo- Dédougou	96-97		2004
RN12	Pâ- Dano-Gaoua - frontière de Côte d'Ivoire	2000		
RN13	Yako-Samba- Koudougou- Sabou-Léo	85-86	OA 98-99	
RN14	Sakoinsé- Koudougou		2000-2001	

RN15	Ouahigouya-kongoussi- Kaya- Pibaoré- Boulsa -Pouytenga-Sapaga	98-99		
RN16	Koupéla- Tenkodogo-Bitou- frontière du Togo	92-93		
RN18	Taparko- Bogandé-Bilanga- Fada N'Gouma	85-86		
	Fada N'Gourma -Pama- Tindangou- frontière du Bénin	85-86		90-91
RN19	Kantchari - Tindangou- Kopinga-frontière du Togo	93-95		
RN22	Ouaga- kongoussi- Djibo- frontière du Mali	98-99	2001- 2002	2006
RN25	Pô- Kombili-Nebou	2000- 2002		
RN27	Diébougou- kLéso	98-99		
Coût total.....			408.465.594.386	

Tableau II.1 : Projet de routes exécutés au Burkina Faso

En rappel, les travaux exécutés entre 1992 et 2006 ont coûté 321.874.829.609 avec une moyenne d'investissement de 22.991.059.258 francs/ an et une charge d'investissement annuel de 1.796.176.504 francs / habitant au cours de la même période soit 4.921.032 francs/ habitant/jour dans le sous secteur de l'infrastructure moteur du développement du pays et ce, dans le but d'impulser son économie. A défaut des chiffres des pays voisins en voie de développement il nous est impossible de faire des comparaisons.

I.2- Coût annuel d'entretien des routes de 1993 à nos jours

Le tableau II.2 suivant indique les montants alloués à l'entretien des routes depuis 1992 à nos jours.

Année	Type de route	Coût (F.CFA)
1992	Routes bitumées	522 444 499
1992	Routes en terre	2 322 888 830
Total 1992		2 845 333 329
1993	Routes bitumées	522 444 499
1993	Routes en terre	2 322 847 954
Total 1993		2 845 292 453
1994	Routes bitumées	747 923 327
1994	Routes en terre	4 123 143 505
Total 1994		4 871 066 832
1995	Routes bitumées	747 279 185
1995	Routes en terre	4 189 528 635
Total 1995		4 936 807 820
1996	Routes bitumées	1 139 620 655
1996	Routes en terre	4 364 376 878
Total 1996		5 503 997 533
1997	Routes bitumées	1 139 723 675
1997	Routes en terre	4 524 981 337
Total 1997		5 664 705 012
1998	Routes bitumées	705 798 455
1998	Routes en terre	4 294 201 552
Total 1998		5 000 000 007
1999	Routes bitumées	949 647 499
1999	Routes en terre	4 050 352 501
Total 1999		5 000 000 000
2000	Routes bitumées	734 886 416
2000	Routes en terre	4 265 113 584
Total 2000		5 000 000 000
2001	Routes bitumées	801 594 000
2001	Routes en terre	4 198 406 000
Total 2001		5 000 000 000
2002	Routes bitumées	302 116 202
2002	Routes en terre	5 947 883 798
Total 2002		6 250 000 000
2003	Routes bitumées	265 861 409
2003	Routes en terre	6 734 138 591
Total 2003		7 000 000 000
2004	Routes bitumées	
2004	Routes en terre	
Total 2004		7 750 000 000
2005	Routes bitumées	
2005	Routes en terre	

Total 2005		8 250 000 000
2006	Routes bitumées	
2006	Routes en terre	
Total 2006		8 850 000 000
TOTAL	Routes bitumées	
Total	Routes en terre	84 767 202 986
	TOTAL GENERAL	84 767 202 986

Tableau II.2 : coût d'entretien des projets routiers

A l'image des projets d'investissements, les projets d'entretien ont coûté à l'Etat de 1992 à 2006 la somme de 84.767.202.986 francs CFA avec une charge d'entretien moyenne annuelle de 6.054.800.213 francs CFA /an soit 473.031.267 francs CFA /habitant/an ou 1.295.976 francs/habitant/jour. A défaut des données (de construction, d'entretien, de l'année de mise en service, de la première année d'intervention) par tronçon, il est difficile d'établir un tableau de comparaison des projets exécutés pour voir si les méthodes utilisées nous ont conduit à des chaussées de moindre coût et aux durées de vie respectives.

I.3-- Méthodes utilisées par les projets au Burkina Faso

I.3.1- La méthode CBR

C'est une méthode semi empirique basée d'une part sur la résistance au poinçonnement du sol de plateforme (résistance appréciée par un essai normalisé, le CBR) et d'autre part sur la méthode Boussinesq donnant la répartition en profondeur des pressions verticales. On considère un massif homogène isotrope et élastique limité supérieurement par un plan horizontal et de dimension infinie. Si l'on veut appliquer à la partie supérieure du massif une charge verticale P répartie uniformément p sur un rayon R , il en résulte sur un plan horizontal situé à une profondeur z une pression verticale qui est maximum à l'aplomb du cercle et vaut σ_z .

A une épaisseur $z=e$, la pression σ_z qui s'exerce sur le sol de plateforme doit être inférieure à la résistance au poinçonnement de ce sol,

$$\sigma_e = kI, \text{ k étant un coefficient de sécurité.}$$

Des abaques américains ont été tracés donnant l'épaisseur « e » en fonction de la charge « P » et du CBR « I » :

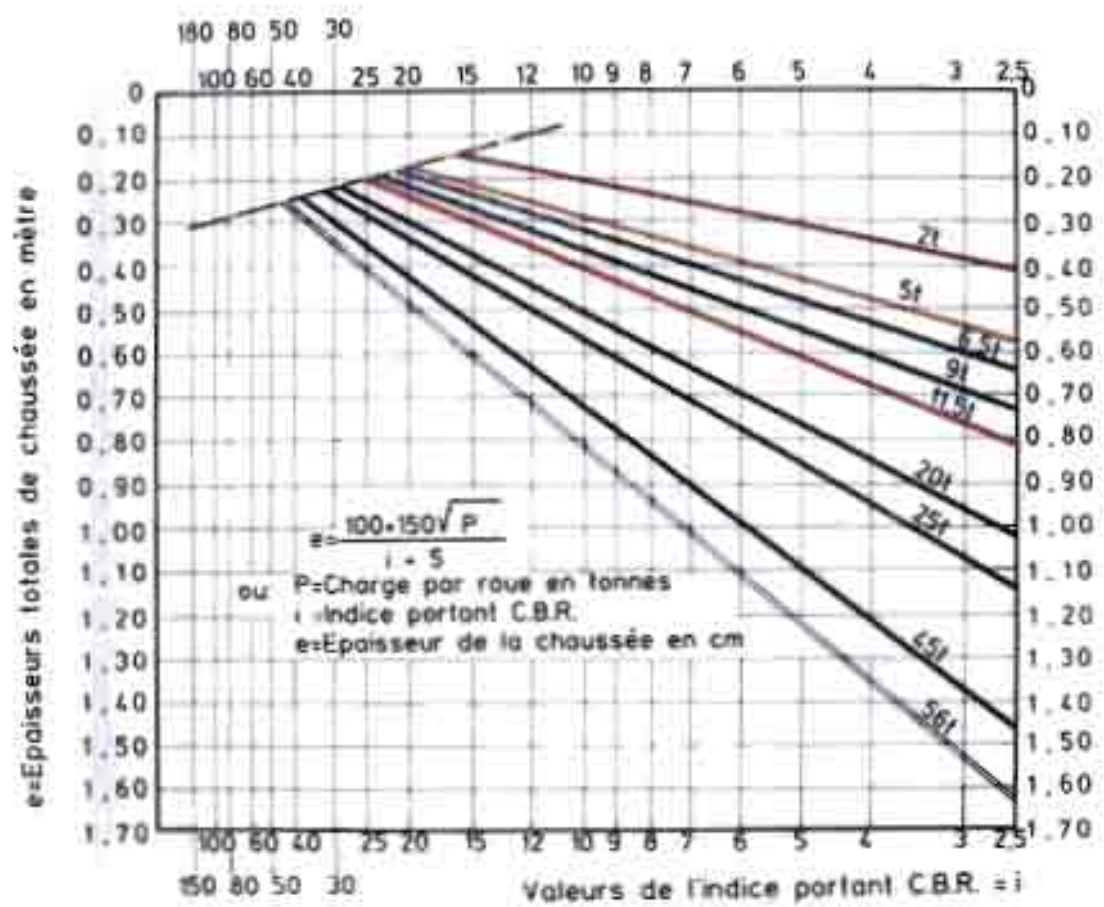


Fig. II.1 : abaque donnant l'épaisseur de la chaussée en fonction du CBR et de la charge P

Ces abaques correspondent à la formule :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I + 5} \quad e = \text{épaisseur en cm}$$

P= charge par roue en tonne

I= CBR du sol

Cette formule qui ne tient pas compte de l'intensité du trafic a évolué à la faveur de la publication des abaques de la Road note 29 du Road Research laboratory (RRL) anglais en 1960 1962 ; abaques résultant de l'observation du comportement des chaussées anglaises.

Ces abaques ont été mis sous forme d'équation par monsieur Peltier du LCPC .

On obtient alors:

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

e : épaisseur de la chaussée en cm

P : poids de la roue maximum exprimé en tonne-

I= indice CBR du sol ou du matériau

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

Cette méthode de l'esprit de ces initiateurs ne s'applique qu'aux chaussées dont aucune des couches ne présente de rigidité ou mieux, il ne doit pas y avoir de poinçonnement de la plate forme des terrassements .

C'est cette dernière argumentation qui a motivé le BCEOM à utiliser encore la méthode en mars 2004 pour dimensionner 500 km de route en terre (R34 Tanghin -Sourgoubila, D40(Ziniaré- Zitenga), R12(Pabre-Téma), R1 (Tanghin- Boulsa), RN19 kantchari-Diapaga-Arli, D3(Gorom gorom- Dagara- Tin Akoff).

1.3.2- La méthode CEBTP

La méthode CEBTP est le fruit d'un travail d'équipe chargée de faire une étude générale sur le comportement et le renforcement de 7000 km de chaussées bitumineuses. Elle est composée d'ingénieurs du Centre Expérimental de Recherche et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) en collaboration avec ceux des pays d'Afrique tropicale et de Madagascar ayant une expérience des chaussées des pays tropicaux. Ce travail rédigé en 1971 sous forme de manuel est présenté depuis 1984 dans un document intitulé « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ». La méthode a deux principes de base :

- Dans le cas des chaussées ne comportant aucune couche tant soit peu rigidifiée, la méthode se base sur deux paramètres pour déterminer l'épaisseur de la structure de chaussée : L'indice portant de la plate forme et le trafic.
- Dans le cas des chaussées comportant une ou plusieurs couches susceptibles, par leur raideur, d'une rupture en traction, le dimensionnement précédant qui vise uniquement à éviter le poinçonnement de la forme, doit être complété par une analyse théorique dont l'objet est de vérifier que les contraintes effectives de traction développées à la base des couches rigidifiées sont compatibles avec les performances probables de ces matériaux.

En vue de réduire les risques de rupture de natures particulières, quelques directives techniques, portant sur le choix ou la mise en œuvre des matériaux accompagnent la méthode.

- Un minimum de compacité au niveau supérieur des terrassements et l'élimination sur les trente derniers centimètres des matériaux instables ou gonflants ;
- Un minimum de compacité et une portance ou stabilité adéquate au niveau des couches de base et de fondation ;
- Une dureté satisfaisante des agrégats destinés à constituer les couches de base ou de surface ;
- La réalisation de revêtements minces et déformables ;
- Enfin au niveau des accotements et dans la mesure du possible, la réalisation d'une butée et d'une imperméabilisation suffisante, grâce à des conditions de mise en œuvre et à un choix de matériaux semblables à ceux utilisés dans le corps même de la chaussée.

Le guide définit les sols de plate forme en cinq classes :

S1 : CBR < 5

S2 : 5 < CBR < 10

S3 : 10 < CBR < 15

S4 : 15 < CBR < 30

S5 : > 30

Et le trafic exprimé en véhicules/ jour est représenté en quatre classes donnant le nombre total de véhicules devant emprunter journellement la chaussée pendant quinze ans (cf. tableau II. 3):

Classe de trafic	Trafic équivalent en véh/j	Trafic en nombre cumulé de Poids Lourds (PL)
T ₁	< 300	< 5x 10 ⁵
T ₂	300 à 1 000	5x 10 ⁵ à 1.5 10 ⁶
T ₃	1 000 à 3 000	1.5x 10 ⁶ à 4x 10 ⁶
T ₄	3 000 à 6 000	4 x 10 ⁶ à 10 ⁷
T ₅	6 000 à 12 000	10 ⁷ à 2 x10 ⁷

Tableau II.3: classes de trafic

NB : un poids lourd est un véhicule qui a un poids total, en charge, supérieur à 3 tonnes

Le guide donne la liste nominative des matériaux rencontrés dans l'espace, leur caractéristique géotechnique et leur condition de mise en œuvre. Un tableau à double entrée trafic- portance du sol de plateforme permet de déterminer l'épaisseur des différentes couches. C'est la méthode la plus utilisée au Burkina Faso.

1.3.3- La méthode de l'Asphalte Institut

L'asphalt 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 Asphalt Institut sont basés sur des recherches très poussées faites avec différents types de matériaux.

Du point de vu 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.

La figure ci-dessous permet de déterminer les épaisseurs des différentes couches de chaussées.

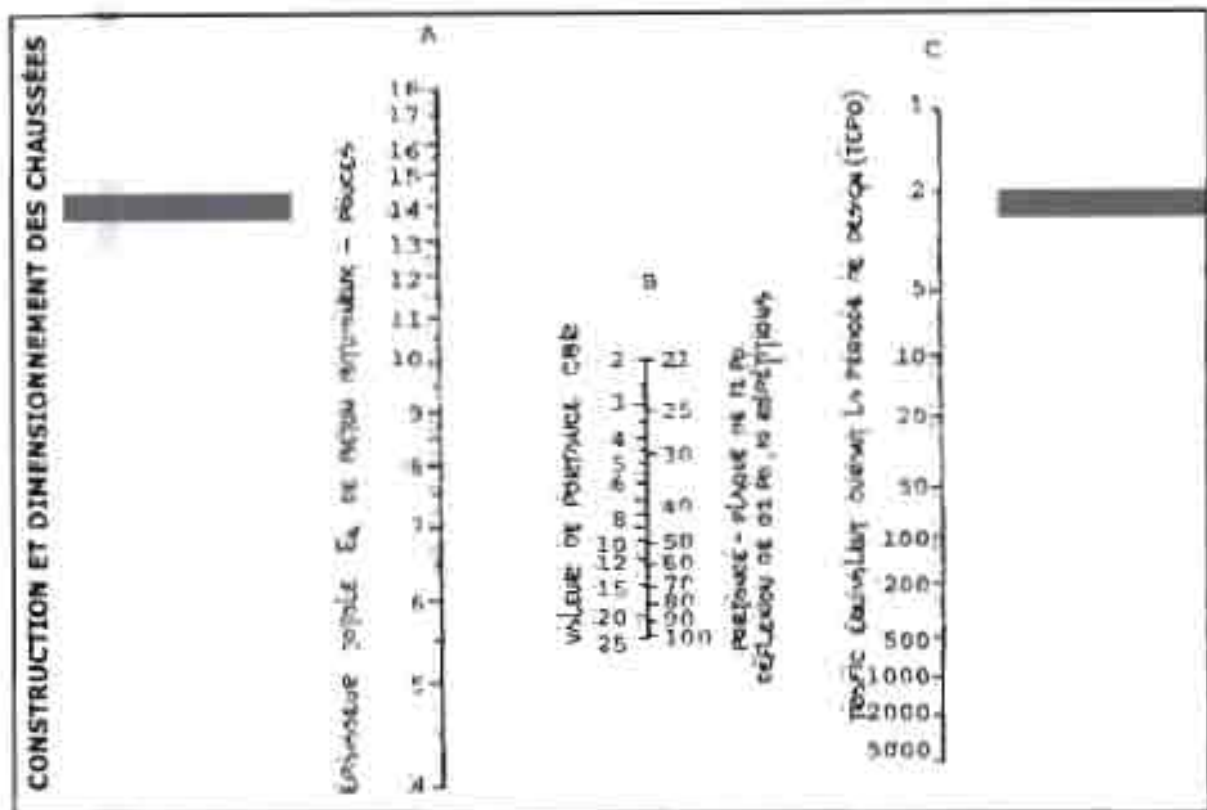


Figure II.2 : épaisseur minimum requise

L3.4- La méthode TRRL

Du nom de Transport Road Research Laboratory, la TRRL fait parti des méthodes pratiques de dimensionnement. Elle est issue de la méthode CBR et s'appuie sur cette dernière pour publier des abaques en 1962 abaque appelé Road Note 29 à la suite des observations des chaussées britanniques durant 15ans . Ces abaques fixent les épaisseurs minima du revêtement et de la couche de base en fonction du trafic uniquement . Seule l'épaisseur de la couche de fondation dépend de la valeur du CBR du sol de plate forme, la couche de base étant en concassé. Dans la même période sont connus les résultats des essais AASHO en particulier la notion du coefficient d'équivalence des matériaux. 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 plate forme. Les sols de plate forme 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 8.2t 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 plate forme avec cependant une épaisseur minimale de la fondation prise à 10 cm. Le CBR de la plate forme correspond à la teneur en eau la plus élevée susceptible de se produire dans le sol après la mise en service de la route.

En plus de ces abaques elle a également amélioré la formule de calcul de l'épaisseur de la chaussée de la méthode CBR.

Nous présentons ci-dessous les différents abaques produits par la méthode du RRL. Ils sont tirés du « Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques ».

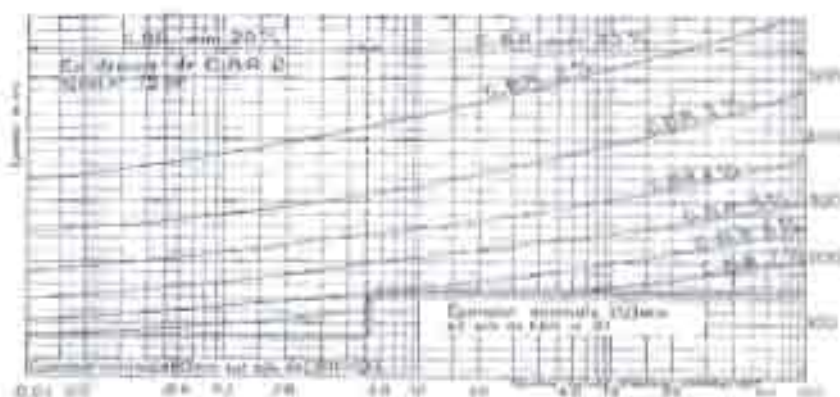


Figure II.4: Road Note N°29 : Couche de surface soude et couche de base en macadam enrobé III

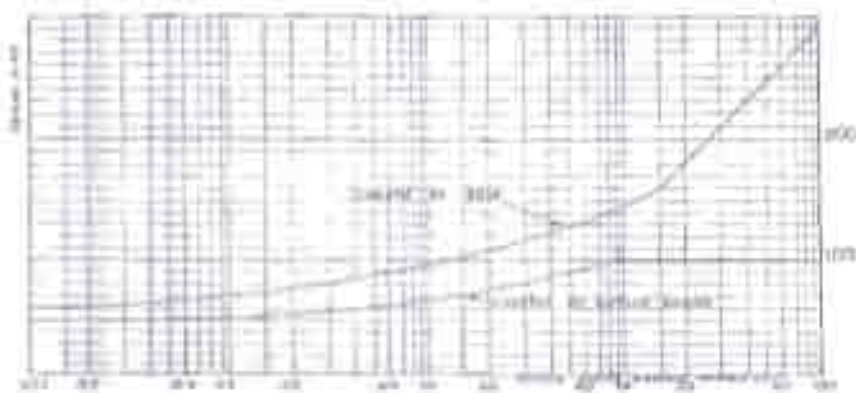


Figure II.4: Road Note N°29 : Couche de surface soude et couche de base en macadam enrobé III



Figure II.5 : Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base en macadam non traité (II)

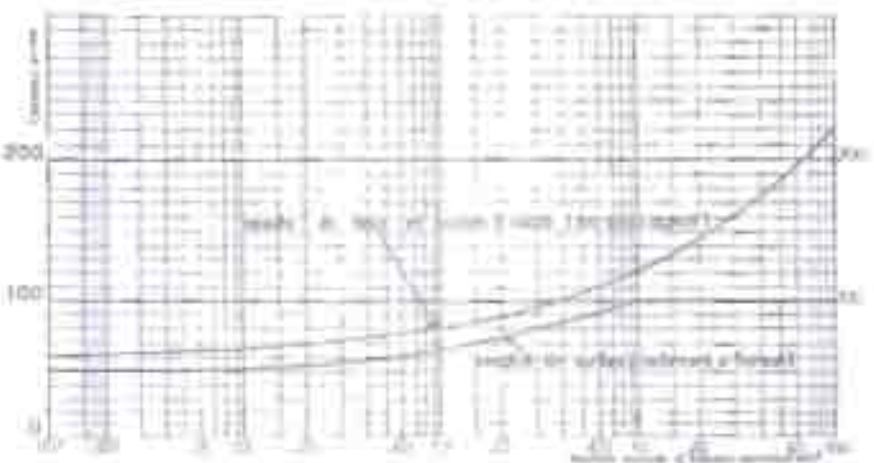


Figure II.6 : Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base en béton bitumineux (II)

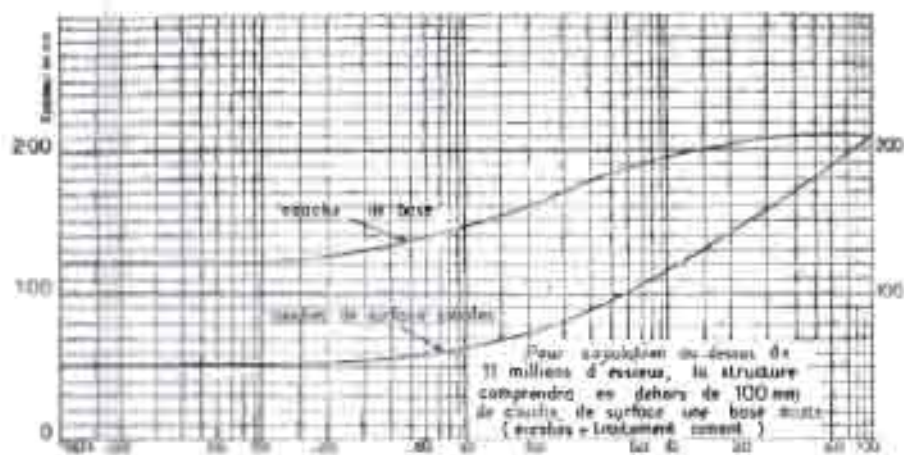


Figure II.7 : Road Note N°29 : Couche de surface souple et couche de base traitée aux liants hydrauliques (II)

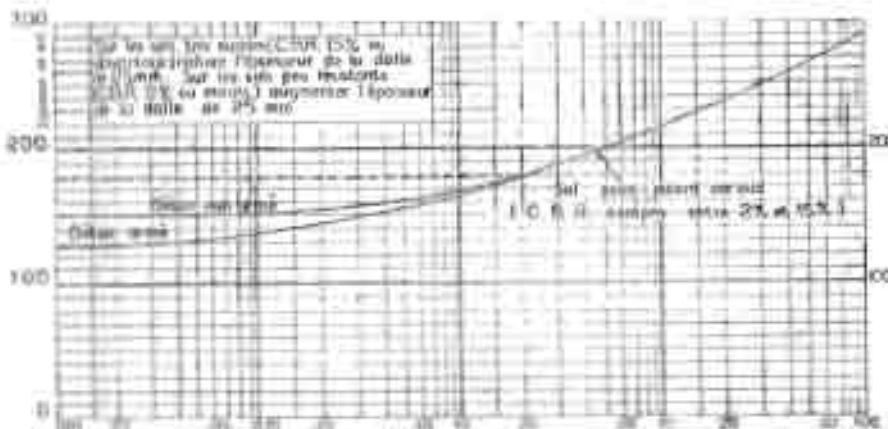


Figure II.8 : Road Note N°29 : Dalle de béton [11]

1.3.5- La 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.

1.3.6- 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.

Il renferme dans sa démarche les étapes suivantes :

a) Prédimensionnement

En Prédimensionnement, il s'agit de faire le choix de la couche de roulement en fonction :

- des objectifs et des caractéristiques recherchées:
 - Sécurité : (épaisseur, adhérence initiale, adhérence à 5ans, drainabilité de surface),
 - Confort (amélioration de l'uni, silence, photométrie)
 - Possibilité d'apport structurel (impermeabilité de surface anti- remontée de fissures, ornierage)
- de nature de la couche de roulement (enduit superficiel, béton bitumineux , béton de ciment etc.)
- et de procéder à un prédimensionnement de la structure par référence à des situations comparables.

Notons que le guide a simplifié et schématisé l'approche scientifique en établissant aussi bien des valeurs des modules pour de nombreuses typologies de matériaux granulaires, bitumineux et stabilisés, que de relation qui doit exister entre leur différents modules de la structure. Il donne en outre des indications précises sur la définition des caractéristiques (et donc par assignation des modules) à long terme sur le sol support élément fondamental pour le déroulement du dimensionnement . Ainsi, la couche de fondation est caractérisée par un module égal à 3 fois environ le module de la plate forme pour des tranches de 25cm d'épaisseur.

Pour les chaussées souples à faible trafic constituées d'une couche de roulement mince sur une grave non traité, il peut être un simple enduit jusqu'à un trafic cumulé équivalent à 100.000 essieux ou un béton bitumineux . L'épaisseur de la couche de base pour le même trafic est fixé à 15 et à 20 au delà du trafic considéré.

b) Calcul de la structure

On détermine les contraintes et déformations pour le modèle mathématique de la structure pré dimensionnée

c) Vérification de la fatigue de la structure

On procède au vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support

d) Ajustement des épaisseurs calculées

Enfin on passe à l'ajustement des épaisseurs calculée

1.4- Vérification avec Alizé

Alizé est un logiciel de calcul des déflexions et des sollicitations internes dans les structures de chaussées et un outil d'aide au dimensionnement selon la méthode rationnelle française. Les données à rentrer dans Alizé sont les suivantes :

- le matériau utilisé ;
- le type de liaison avec les couches sous jacentes (collé, décollé ou glissant) ;
- la charge de référence (jumelage standard française, autre jumelage, roue isolée, aucune charge de référence) ;
- les caractéristiques (du rayon, de la pression, du poids de la roue, et du point de contact) ;
- les données sur le trafic (moyenne journalière annuelle (MJA), taux d'accroissement arithmétique) et la durée de service ;

et Alizé vous calcul les déflexions de surface, les contraintes et les déformations des structures de chaussées .

A l'image des autres pays de l'Afrique tropical, 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 roue en terre.

Le dimensionnement issu de l'équation de PELTIER est du type itératif pour une chaussée multicouche : $h_1 = f(CBR_{sol})$, $h_2 = f(CBR_{structure})$

De nos jours cette formule n'est encore utilisée que pour le dimensionnement des chaussée en terre des routes 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 antérieure du CEBTP, celle mise à jour en 1984 dans « le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux » et d'autres méthodes (Asphalte Institut) empruntées aux Américains malgré certaine proposition de variante en structure inverse sur la RN16 (Ouagadougou-koupéla) et la RN01 (Ouagadougou - Bobo).

Par contre depuis l'année 2000, les pistes rurales ont fait leur apparition et, du fait de leur spécificité et dans le souci de satisfaire l'objectif de lutte contre la pauvreté, elles sont

réalisées selon la méthode participative et les techniques à haute intensité de main d'oeuvre (HIMO). Cependant, leurs caractéristiques diffèrent selon que ces pistes sont exécutées par :

- la Direction Générale des Pistes Rurales (DGR) du Ministère des Infrastructures et du Désenclavement du Burkina Faso ;
- le projet FICOD (Fond d'Investissement Communal pour le Développement), fruit de la coopération Allemande ;
- le projet PREst (Piste Rurales de l'Est), fruit de la coopération Suisse.

II - DIFFERENTES STRUCTURES DE CHAUSSEES

Le contexte économique et les pratiques du dimensionnement de chaussée au Burkina Faso font qu'on n'y rencontre majoritairement que deux des structures précitées : les chaussées souples ou flexibles et les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussées semi-rigides. Les chaussées rigides sont essentiellement réalisées sur de petits tronçons dans la voirie urbaine.

II.1- Structure de chaussées souples

Les chaussées souples encore appelées chaussées flexibles tiennent leur nom du fait qu'elles ont l'aptitude de se déformer réversiblement sous les sollicitations. Ainsi, au passage d'une charge lourde, les chaussées souples se déforment de 1 à 3 mm (contre 0 à 0.5 mm pour une chaussée rigide à assise traitée). Si la structure est adaptée, sol et chaussée retrouvent leur position initiale. Par contre si elle n'est pas adaptée (charges trop lourdes et répétitives), les déformations deviennent irréversibles, entraînant ainsi une dégradation rapide de la structure. Ce type de chaussée est donc plus adapté pour les voies très peu circulées par les poids lourds. Les chaussées flexibles sont sans doute les plus rencontrées au Burkina Faso et comprennent :

II.1.1- Chaussée en terre

Les caractéristiques sont variables selon qu'il s'agisse de pistes et identiques dans le cas d'une structure de route en terre. Les figures ci après définissent les différentes structures.

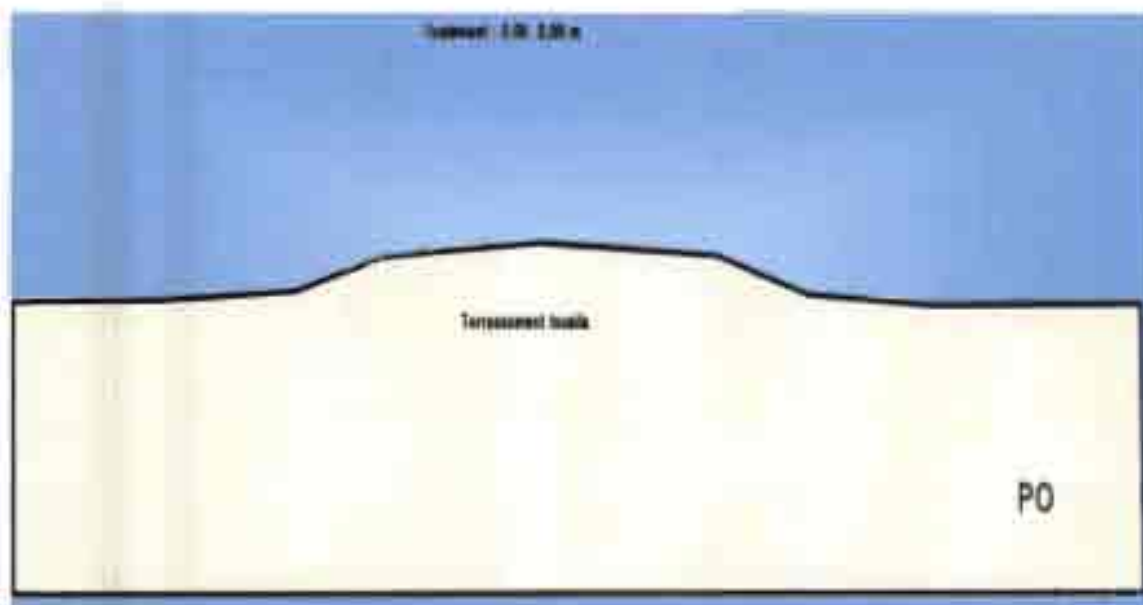


Figure II.9: Piste ordinaire

Largeur d'emprise	13 m
Largeur de chaussée	5,00 m
vitesse de référence	50 km/h
Rayon minimal	120 m
Épaisseur de couche de roulement	
Très peu ou pas d'ouvrages pas	
Pas d'assainissement	
Piste saisonnière	

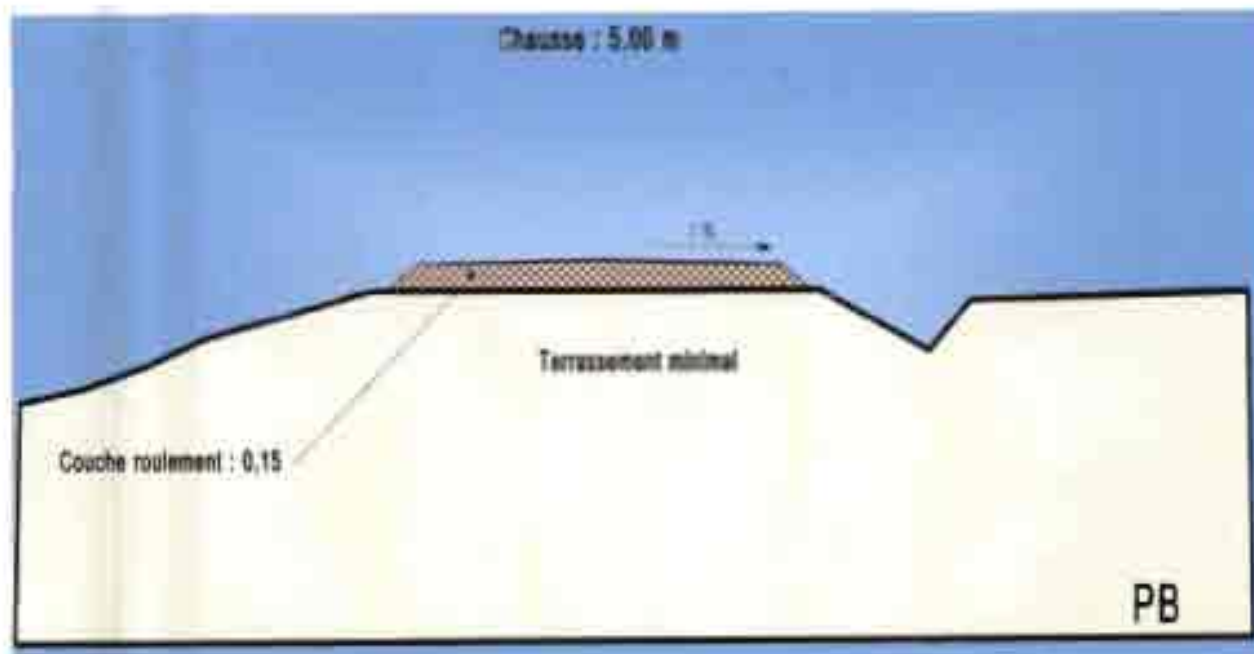


Figure II.10 : Piste améliorée de type B

Largeur d'emprise	20 m
Largeur de chaussée	5,00 m
Vitesse de référence	60 km/h
Rayon minimal	300 m

Couche de roulement en graveleux latéritiques limités aux zones difficiles

Ouvrages d'art et d'assainissement principaux construits

Coupures fréquentes pendant les pluies



Figure II.11 : Piste améliorée de type A

Largeur d'emprise	20 m
Largeur de chaussée	6,00 m
Vitesse de référence	80 km/h
Rayon minimal	300 m

Couche de roulement en graveleux latéritiques sur plus de 80% de la longueur

Ouvrages d'art et d'assainissement principaux

Coupures momentanées

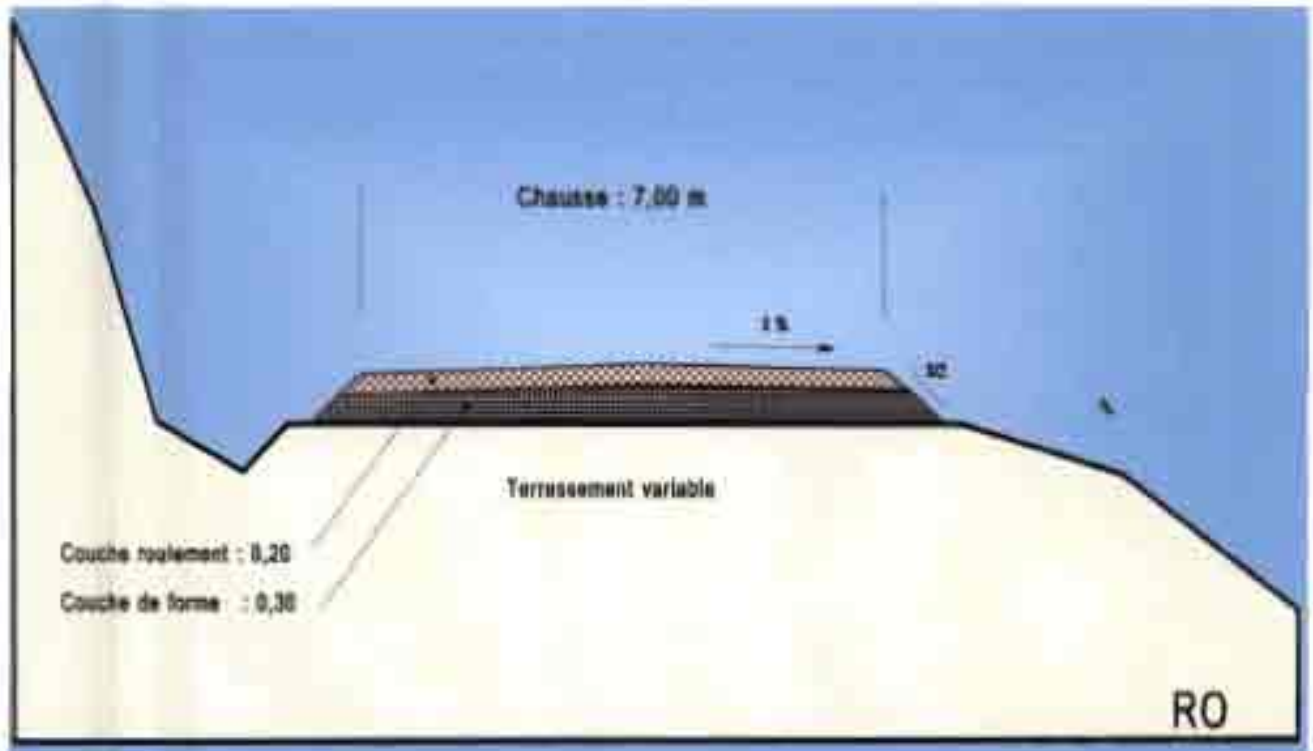


Figure II.12: Route en terre ordinaire

Largeur d'emprise 30 m

Largeur de chaussée 7,00 m

Vitesse de référence 80 km/h

Rayon minimal 300 m

Couche de roulement continue en graveleux latéritiques

Ouvrages d'art et d'assainissement construits

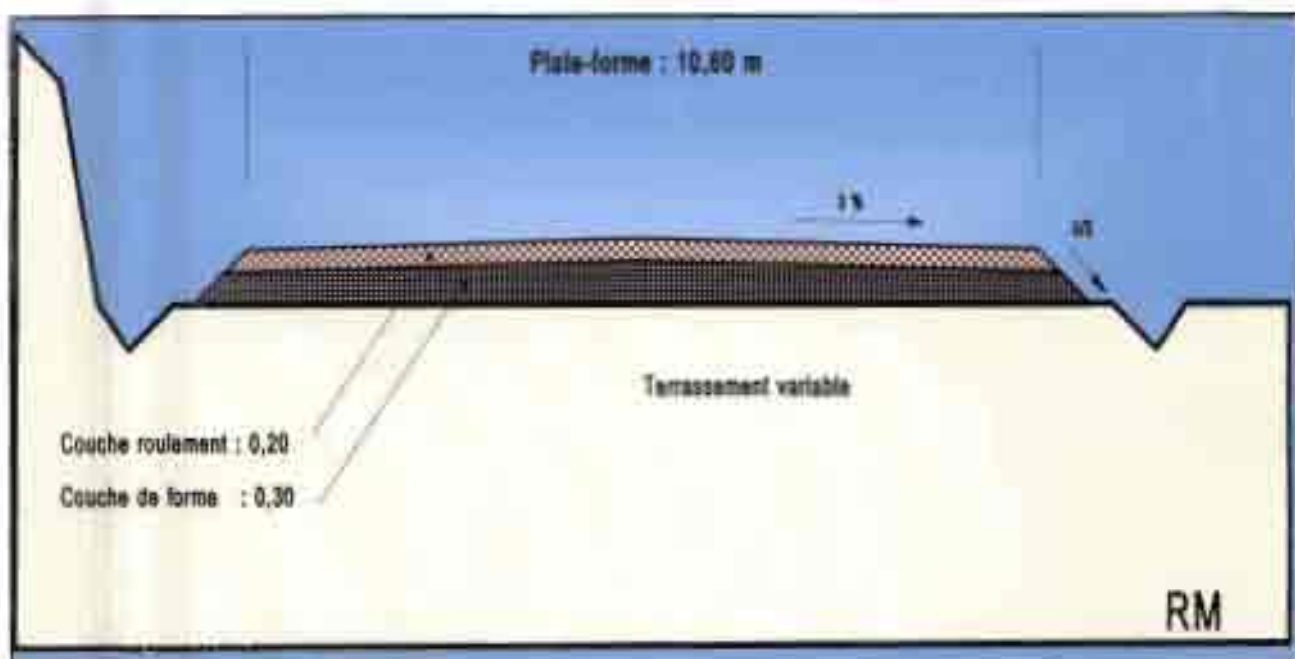


Figure II.13: Route en terre moderne

Largeur d'emprise : 60 m
 Largeur de plate-forme : 10,60 m en rase campagne
 et 12,60 m en traversée d'agglomération

Vitesse de référence : 100 km/h
 Rayon minimal : 600 m
 Rayon minimal absolu : 425 m

Couche de roulement continue en graveleux latéritiques
 Ouvrages d'art de franchissement calculés pour la crue cinquantennale et d'assainissement pour la crue décennale

Ce standard permet le bitumage par la réalisation de la couche de base et du revêtement bitumineux sans reprise des terrassements ni des ouvrages.

II.1.2- Chaussée bitumée

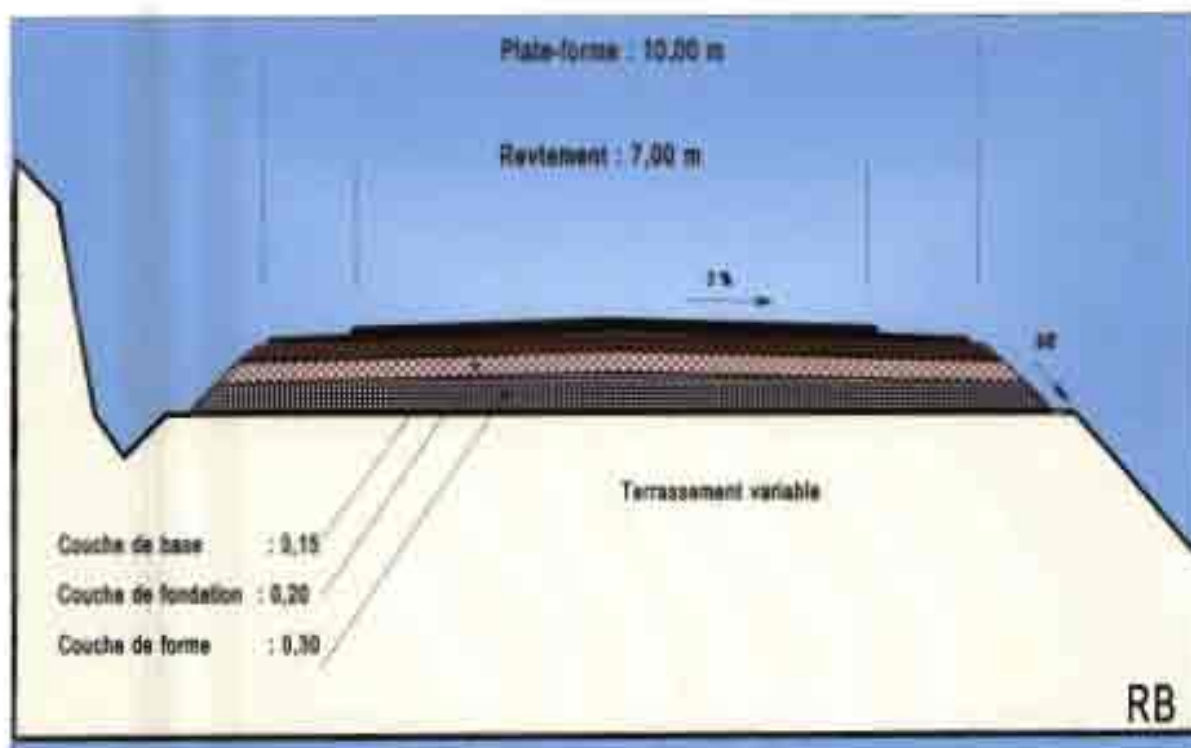


Figure II.14: Route bitumée

Largeur d'emprise 60 m

Largeur de plate-forme 10,00 m en ruz campagne
et 12,00 m en traversée d'agglomération

Largeur du revêtement 7,00 m en ruz campagne et 8,00 m en traversée d'agglomération

Vitesse de référence 100 km/h

Rayon minimal 600 m

Rayon minimal absolu 425 m

Ouvrages d'art de franchissement calculés pour la crue cinquanteennale et d'assainissement pour la crue décennale

Ce standard peut être réduit à 9,00 m de plate-forme, par des accotements de 1,00 m chacun, dans le cas de réfection de route existante.

Sa structure se résume comme suit :

- Une plate forme de terrassement
- Le corps de chaussée (fondation +base)
- Le revêtement
- Les accessoires (ouvrages d'art et d'assainissement)

La qualité de la plate forme 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
- A long terme elle doit être bien drainée pour que sa portance ne chute pas. Le dimensionnement de la chaussée dépend de la classe de sols de plate forme, la valeur minimale admise étant un CBR de 10.

II.2- Chaussée semi rigide

Encore appelée chaussée à assise (couche de fondation et couche de base) traitée aux liants , sa structure comporte un revêtement bitumineux mince et un corps de chaussée en matériaux traités (en liants hydrauliques ou hydrocarbonés). Elle est utilisée lorsque le trafic devient important (plus de 50 poids lourds par jour et par sens) et que les matériaux crus ne satisfont pas aux exigences mécaniques. Le liant augmentant la rigidité de l'assise, les déformations verticales sont relativement faibles et le dimensionnement de la chaussée porte essentiellement sur la limitation de la contrainte de traction par flexion à la base des couches traitées. Les chaussées semi-rigides sont constituées :

- d'un revêtement bitumineux relativement mince ;
- d'une couche de base traitée ;
- d'une couche de fondation traitée ou non traitée ;

II.3- Renforcement des chaussées

Le renforcement d'une chaussée consiste à un apport d'une nouvelle couche de base ou de revêtement d'une chaussée qui présente des signes de fatigue sous l'effet de l'âge ou qui présente des dégradations incompatibles avec le niveau de service attendu. La démarche pour la détermination de ces nouvelles couches est semblable à celle des chaussées neuves. La nature de la structure nécessite une étude pour mieux appréhender le fonctionnement de l'ancienne chaussée et le mal dont elle souffre. Sa schématisation dépend de la constitution de l'ancienne chaussée, souple ou rigide.

Conclusion partielle

Au terme de cette deuxième partie sur un échantillon de 18 routes étudiées on constate que les méthodes suivantes ont été utilisées :

Route Nationale (RN)	Itinéraire	Année d'étude	Structure chargée de l'étude	Méthodes proposées	Types de structure
RN01	Sakoinsé- Boromo-Bobo Sakoinsé-bobo	2004 2006	AIC DTP/SOGEA/SAT OM/CSE	CEBTP Alizé	Souple inverse
RN02	Ouaga-Yako Yako- Ouayigouya	82-85 1989	LNBTP LNBTP	Asphalte Institut CEBTP CEBTP	Souple Souple
RN04	Fada- Matiakouali- Frontière du Niger	78	LNBTP	CEBTP	Souple
RN01- RN04	Interconnexion ville de Ouagadougou	2007	GIC/AACE/BICI	CEBTP	Souple
RN05	Ouaga-Pô- Frontière du Ghana	1973	LNBTP	CEBTP	Souple
RN07	Bobo-Banfora- Frontière de la Côte d'Ivoire	87-88	LNBTP	AI CEBTP	Souple
RN10	Bobo- Dédougou- Tougan	2007	AGEIM	CEEBTP	Souple
RN14	Sakoinsé- Koudougou	78	LNBTP	CEEBTP	Souple

	Dédougou- Nouna- Djibasso- frontière du Mali	2008	Associated Engineers	CEBTP TRL SATCCI Alizé	Souple
RN15	Boulsa -Pibaoré	2004	BCEOM	Formule de Peltier	souple
RN16	Koupéla- Tenkodogo- frontière du Togo	72-73 82 92-93 2006	LNBTP LNBTP LNBTP 2006	CEBTP CEBTP CBTP Alizé	souple
RN18	Fada-Pama- Tendangou- frontière du Bénin	84	LNBTP	CEBTP	Souple
RN19	Kantchari- Diapaga-Arly	2004	BCEOM	Formule de Peltier	souple
RN27	Yéguéréso- Diébougou	2005	Associated Engineers	Guide SETRA-LCPC Alizé	souple
RR01	Tanghin- Bouisa-	2004	BCEOM	Peltier	souple
RR12	Tanghin- sourgoubila	2004	BCEOM	Peltier	souple
RR34	Tanghin Dassouri- sourgoubila	2004	BCEOM	Peltier	souple
D03	Gorom Gorom- Garaga-Tin Akof	2004	BCEOM	Peltier	souple
D40	Ziniaré- Zitenga	2004	BCEOM	Peltier	souple
total				30	

Tableau II.4 : méthodes utilisées sur l'échantillon étudié

On constate que 72% appartiennent à la route nationale, 17% à la route régionale et 11 % à la route départementale. Cet échantillon qui a fait l'objet de notre étude correspond à 45% de route nationale, 8% de route régionale et 1% de route départementale. Il laisse apparaître une diversité de méthodes proposées avec une prédominance de la méthode CEBTP, pour les mêmes stratégies d'investissement et d'entretien. Le tableau ci après nous en donne le détail :

Méthode	pourcentage
CEBTP	47%
Asphalte Institut	7%
Alizé	14%
TRRL	3%
SACCI	3%
Guide LCPC/SETRA	3%
Formule de Peltier	23%

Tableau II.5 : Pourcentage de répartition des méthodes utilisées

La diversité des méthodes proposées s'explique par l'absence d'un catalogue de structures type de chaussée propre au Burkina Faso qui prendrait en compte l'environnement technologique et limiterait le nombre de structures tout en uniformisant les techniques d'étude.

Les tableaux II.1 et II.2 nous indiquent qu'au cours des 10 dernières années, d'énormes investissements ont été consentis tant pour les constructions neuves, les renforcements que pour l'entretien du réseau. Cependant nous pensons qu'avec la crise énergétique mondiale et la rareté des ressources de l'état, les moyens financiers s'amenuiseront d'avantage. Du reste, puisque la plupart des constructions neuves du réseau routier Burkinabé est financée sur des emprunts et subventions extérieurs, il serait souhaitable que les gestionnaires optent pour les structures lourdes et résistantes afin de minimiser à terme les charges d'entretien supportées par le budget de l'état et de garantir la pérennité des ouvrages. Un effort doit être mis dans la recherche sur les méthodes utilisées à travers une banque de donnée fiable et un suivi du comportement de nos chaussées dans le temps.

CHAPITRE III : METHODES DE DIMENSIONNEMENT

I- LES DIFFERENTES METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Elles se subdivisent en trois groupes essentiellement :

Les méthodes dites classiques ou empiriques basées sur l'expérience , les méthodes rationnelles, modernes ou d'approches théoriques basées sur les considérations mécaniques et les méthodes semi empiriques. Certaines de ces méthodes ont été abordées dans le chapitre II. Durant ce chapitre nous allons tout simplement les citer.

1.1- Approches empiriques ou classiques

1.1.1- La méthode du CBR (Californian Bearing Ratio)

Cette méthode a été déjà traité dans la partie « méthode utilisée par les projets d construction et de renforcements » du chapitre II.

1.1.2- La Méthode dite des indices de groupe

La méthode des indices de groupe est une méthode purement empirique qui peut servir à préciser la classe d'un sol ; il permet une estimation générale de la qualité des matériaux utilisés dans le corps de chaussée. Connaissant la valeur de l'indice de groupe, on peut utiliser les courbes A, B, C, D, E pour évaluer les épaisseurs à donner à la fondation (courbe A) ou à la fondation, à la base et au revêtement courbe B (trafic léger) ; courbe C (trafic moyen), courbe D (trafic lourd).

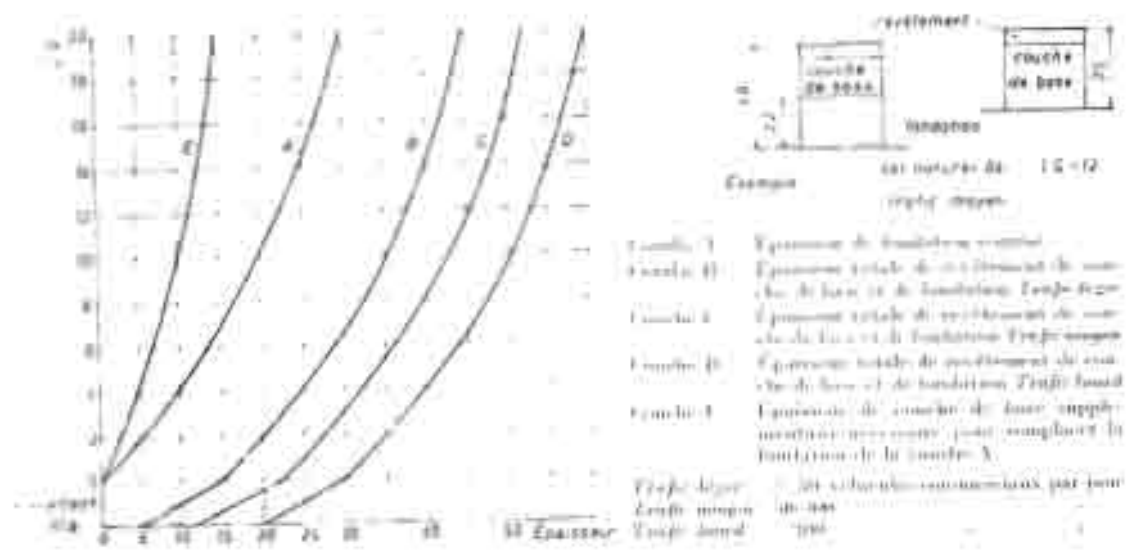


FIG. 22.

Mise au point par « Highway Research Board » des Etats-Unis, elle aboutit à la formule suivante :

$$I_g = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

Soit x le pourcentage du sol passant au tamis de 80 microns :

• Détermination de a et de b

- Si $0 < x < 15$ $a = 0$
- Si $15 < x < 35$ $a = 0$
- Si $35 < x < 55$ $a = x - 35$
- Si $55 < x \leq 75$ $a = x - 35$
- Si $x > 75$ $a = 40$
- $b = 40$

• Détermination de c

- Si $WL > 40$ $c = 0$
- Si $40 < WL < 60$ $c = WL - 40$
- Si $WL > 60$ $c = 20$

• Détermination de d

- $I_p < 10$ $d = 0$
- $10 < I_p < 30$ $d = I_p / 10$
- $I_p > 30$ $d = 20$

NB :

- l'indice calculé est arrondi au nombre entier le plus proche
- I_g est un nombre compris entre 0 et 20. Les plus faibles sont les meilleurs sols routiers. Les plus plastiques ont un $I_g = 20$

- $0 < I_g < 1$ → un bon sol, l'épaisseur est nulle
- $2 < I_g < 4$ → sous sol passable, l'épaisseur est de 10 cm
- $5 < I_g < 9$ → mauvais sous sol
- $10 < I_g < 20$ → très mauvais sol

L'ingénieur Américain STEELLE a exploité les résultats de l'indice de groupe pour proposer une équation définissant l'épaisseur de la couche de fondation. Cette équation dite équation de STEELLE est la suivante :

$$e = \frac{11}{4} I_g - \frac{1}{16} I_g^2$$

1.1.3- La méthode basée sur les essais AASHO

C'est une approche qui permet d'observer le comportement sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales. Elle consiste à se fixer un critère pour déterminer la fin de la durée de vie de la chaussée et de définir en utilisant ce critère, la durée de vie des sections observées. Ces essais ont été réalisés de 1957 à 1961 sur 240 sections de chaussées souples, 271 sections de chaussées rigides et une cinquantaine de sections de chaussées souples avec couche de base stabilisée. Chacune de ces chaussées a reçu en moyenne un million de charges roulantes. Ces essais ont permis de préciser :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps ;
- Les équivalences entre les différentes couches de matériaux ;
- Les équivalences entre les différents types de charges par essieu ;
- l'influence de ces charges et de leur répétition sur le comportement des chaussées ;
- Les relations entre les déflexions en surface et la durée de vie de la chaussée

Ces essais sont à l'origine de la détermination de trois indices :

a) **Indice de viabilité** : cet indice est utilisé pour caractériser l'évolution de la qualité de la chaussée au cours du temps. C'est un indice qui est dérivé de l'indice de qualité de service PSI (Present serviceability index). Il est calculé selon le type de chaussée, par l'une ou l'autre des formules ci-dessous :

- Chaussée à revêtement souple :

$$P = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 0.01\sqrt{C + P} - 1.38RD^2$$

- Chaussée à revêtement rigide

$$P = 5.41 - 1.81 \log(1 + SV) - 0.09\sqrt{C + P}$$

où

SV (sloppe variance) : facteur d'uni de surface ou encore

SV (sloppe variance) : écart-type des différences de hauteur de l'axe de la chaussée par rapport au profil en long théorique.

SV est mesuré à l'aide d'une remorque spéciale enregistrant les différences de hauteurs entre plusieurs zones.

RD (Rut Depth) : profondeur moyenne des ornières mesurée perpendiculairement à l'axe de la route sous une règle de 1.20 m de long.

C+P= surface du revêtement présentant des fissures et des pelades en pourcentage de la surface totale. Ce pourcentage est évalué sur la base d'observations.

Les essais AASHO ont trouvé une corrélation entre l'indice de viabilité et le nombre de cycles de charges depuis la mise en service de la route : cette corrélation est définie par la formule suivante :

$$P = p_0 - (p_0 - p_i) \left(\frac{W}{\beta} \right)^\rho$$

où

P= indice de viabilité momentané

W= nombre de cycles de charge d'essieux de 8.16 tonnes depuis la mise en service de la route (essieux de référence) .

P₀ =indice initial

P_i = indice de viabilité pour une chaussée impraticable

ρ et β = facteurs dépendant de l'épaisseur et des caractéristiques des différentes couches.

le tableau III.1 ci dessous donne les seuils de viabilité admis en stratégie d'entretien:

Désignation	Revêtement souple	Revêtement rigide
Mise en service (indice initial)	P ₀ ≥ 4.2	P ₀ ≥ 4.5
Chaussée impraticable (hors service)	P _i = 1.5	P _i = 1.5
Seuil d'intervention pour une remise en état : indice final sur route principale ; indice final sur route secondaire	P _f = 2.5 P _f = 2.0	P _f = 2.5 P _f = 2.0

Tableau III.1 : Seuils de viabilité admis en stratégie d'entretien

NB : l'indice de viabilité P= 5.0 correspond à une chaussée en parfait état (cas idéal)

b) Indice d'épaisseur ou épaisseur équivalente :

Pour relier le comportement de la chaussée à sa structure sous l'effet du trafic supporté, les ingénieurs Américains ont défini un indice d'épaisseur D . Cet indice D est relié aux épaisseurs D_1 , D_2 , D_3 de la couche de revêtement, de base et de fondation par la relation :

$$D = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$D = \sum a_i D_i$$

D_1 = épaisseur de la couche de surface ou du revêtement

D_2 = épaisseur de la couche de base

D_3 = épaisseur de la couche de fondation

Les coefficients de pondérations a_i sont des coefficients dits d'équivalence entre couche selon leur nature :

Par exemple :

$a_1 = 0,44$ pour une couche de surface en béton bitumineux, $D_1 \geq 5$ cm

$a_2 = 0,14$ pour une couche de base en pierres concassées, $D_2 \geq 8$ cm

$a_3 = 0,11$ pour une couche de surface en grave sableuse

c) le trafic équivalent :

En mesurant les effets sur le comportement de la chaussée des différentes charges, il a été possible de déterminer les équivalences de ces charges. C'est-à-dire qu'à partir d'un essieu de référence choisi, on peut obtenir le nombre de passage d'un essieu différent qui produirait sur la chaussée les mêmes effets destructeurs que cet essieu de référence. On peut donc ramener un trafic mixte composé d'essieux divers à un trafic homogène équivalent exprimé en nombre de passage de l'essieu équivalent.

La relation donnant le facteur d'équivalence dépend du modèle mathématique choisi, mais la relation la plus utilisée est du type :

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

P_0 : l'essieu de référence

P : l'essieu considéré

α : Coefficient variant de 4 à 8 en fonction du type de structure et de la couche concernée ; souvent pris égal à 4

NB : un certain nombre de méthodes sont dérivées des essais AASHO :

Méthode de Shook et Finn, méthode de Liddle, méthode de l'asphalt Institute.

1.1.4- La méthode de l'asphalt Institut

Elle a été déjà traitée dans la partie « méthode utilisée par les projets de construction et de renforcements » du chapitre II.

1.1.5 - La méthode PCA

Le principe de base de la méthode de la Portland Cement Association (PCA) consiste à déterminer l'épaisseur requise de la dalle de béton pour limiter la fatigue induite dans la dalle par les charges de la circulation, afin d'assurer un bon comportement et, ceci au coût le plus bas possible, compte tenu du coût initial et du coût d'entretien annuel. La méthode PCA est basée sur : des études théoriques de Westergaard, Pickett, Kay et autres ; les résultats d'essais routiers sur les chaussées expérimentales soumis aux charges du trafic contrôlé, tels que les essais routiers de Bates, de Pittsburg, de Californie, du Maryland et AASHO et des études de comportement des chaussées construites selon les normes usuelles et soumises à un trafic normal.

Cette dernière source d'information est sans doute la plus importante ; Westergaard fut, l'un des premiers à reconnaître que les résultats théoriques doivent être vérifiés par le comportement des chaussées en service. Deux facteurs majeurs sont à considérer :

- L'évaluation de la résistance à la flexion du béton par des essais du module de rupture (M_R) du béton à l'aide de l'une des trois méthodes de chargement suivantes (chargement en porte à faux, au point central du prisme et à 2 points au tiers de la poutre) ; les abaques suivants nous donnent les modules de ruptures obtenus avec les 3 méthodes et l'accroissement type de la résistance à la rupture avec le temps.

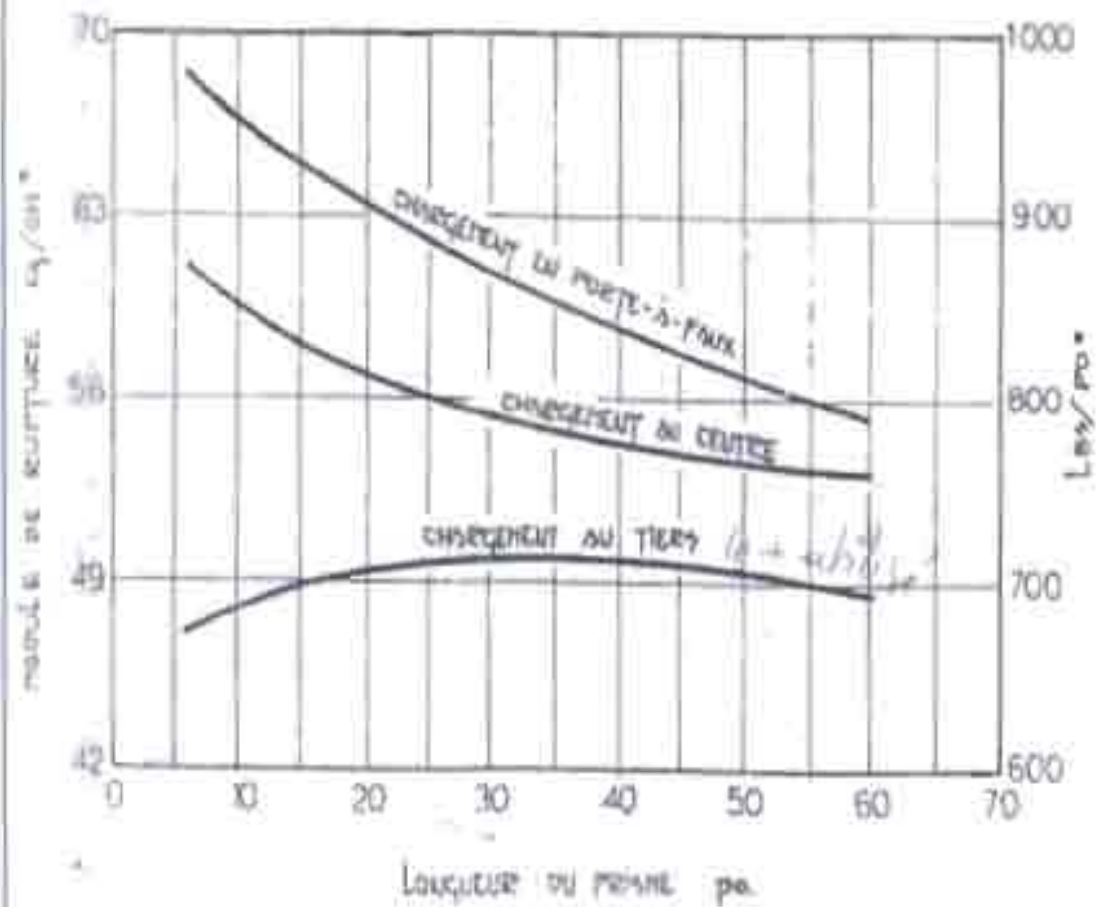


Figure 11.1 : Abaque permettant d'évaluer le module de rupture

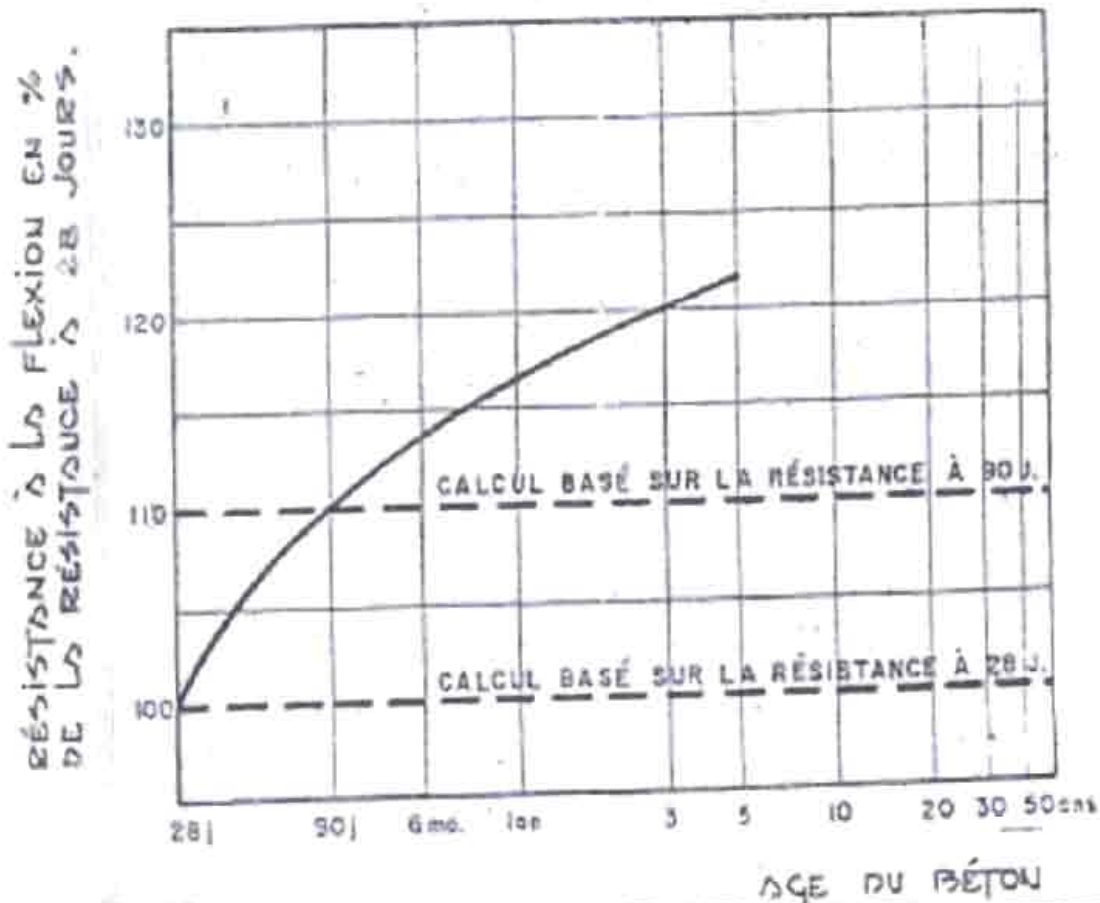


Figure III 2 :Abaque de calcul l'accroissement type de la résistance à la rupture du béton

- L'évaluation de la force portante du sol d'infrastructure mesurée par son module de réaction. Ce dernier est déterminé par des essais de chargement et calculé à l'aide de l'une des 2 équations suivantes :

$$K = \frac{\text{pression unitaire sur une plaque de } 75 \text{ cm}}{\text{Déflexion mesurée sous la charge}} \quad \text{ou par :}$$

$$K = \frac{\text{charge totale}}{\text{volume total du sol déplacé}}$$

A partir des formules théoriques de Westergaard, semi théoriques de Pickett, Ray et autres basées sur les résultats d'essai d'Arlington. Bates, Maryland, AASHO et autres, Pickett et Ray ont préparé une série d'abaques qui permettent de déterminer l'effort dans la dalle pour les 3 conditions de chargement.

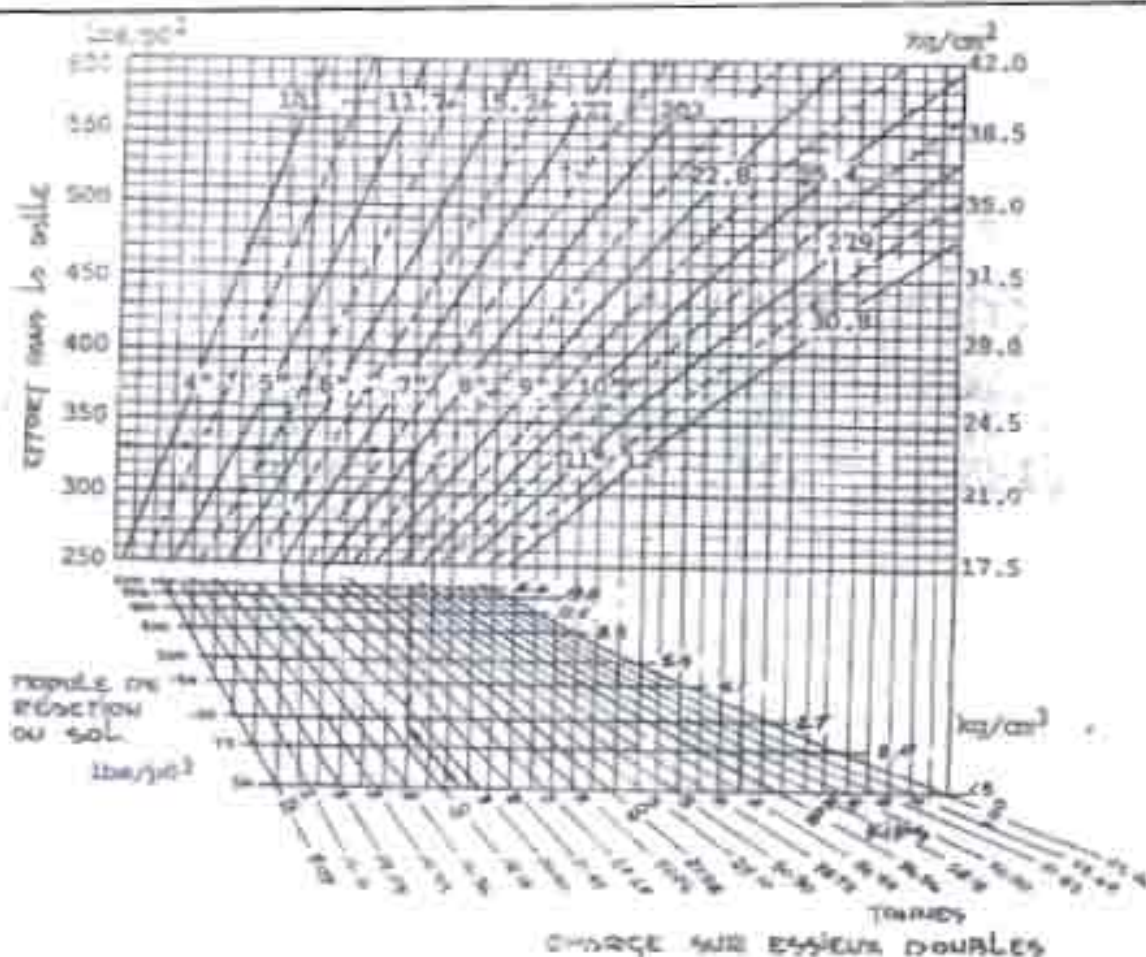


Figure III-3 : Abaque permettant de déterminer les efforts dans la dalle

1.1.6- Méthode TRRI

Cette méthode a été déjà traité dans la partie « méthode utilisée par les projets de construction et de renforcements » du chapitre II

1.1.7- Méthode Ivanov

Le professeur Ivanov de l'École des Ponts et Chaussées de Moscou propose dans le cas du système multicouches à élasticités différentes (modules d'élasticité variables) la formule suivante pour déterminer la contrainte verticale :

$$\sigma_z = \frac{F}{\pi r^2 \left[1 + a \left(\frac{z}{2r} \right)^2 \right]}$$

Avec $a = 2.5$ dans le cas d'un sol homogène

$a = 2$ dans le cas d'un système bicouche

$a = 1$ dans le cas d'un système tricouche et au delà

La formule s'apparente à celle de Boussinesq avec $q = \frac{F}{\pi r^2}$ qui est la pression de contact

1.2- Approches théoriques ou rationnelles

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

Dans cette partie, nous nous attacherons d'abord à l'étude des méthodes théoriques, puis ensuite nous examinerons comment ces méthodes théoriques peuvent déboucher sur des méthodes pratiques de dimensionnement.

Dans ce processus, en plus du dimensionnement proprement dit, deux phases sont essentielles :

- En amont la conception des structures ;
- En aval le mode de présentation des résultats pour les rendre utilisables aux projecteurs

Les méthodes de dimensionnement des chaussées ne sont en fait que des méthodes de vérification de structures de chaussées préalablement établies.

1.2.1- Le modèle de Boussinesq (1885)

On désigne par la méthode Boussinesq, la méthode qui consiste à assimiler le sol à un solide élastique, semi infini et, à lui appliquer les formules établies en 1885 par le mathématicien français Boussinesq.

D'autre part on sait que la pression du pneu q_0 (de l'ordre de 0.2 à 0.7 MPA) exercée par le pneumatique ne peut généralement être supporté par le sol naturel. Le rôle de la chaussée est de répartir cette pression pour l'amener à un niveau compatible avec ce qui peut être supporté par le sol support. Si le corps de chaussée n'est pas trop différent du terrain naturel (corps granulaire par exemple), on peut raisonnablement supposer que la pression se répartit, à travers le corps de chaussée de la même manière que dans un sol. Ce qui conduit à définir une méthode simpliste de dimensionnement :

- La charge appliquée à la chaussée est schématisée par une pression q_0 sur un cercle de rayon a .

Le sol de plate forme est supposé élastique (de module de Young E_2 , de coefficient de Poisson ν_2). Il ne peut supporter sans se déformer exagérément qu'une contrainte verticale $(\sigma_z)_{ad}$ inférieure à la pression q_0 .

on cherche à quelle profondeur H du sol la pression verticale a été suffisamment diffusée pour ne pas dépasser $(\sigma_z)_{ad}$.

On peut assimiler l'épaisseur H à l'épaisseur de chaussée ou bien lui faire correspondre une épaisseur de chaussée $H' < H$ par une règle simple tenant compte du module E_1 du corps granulaire et du module E_2 du sol de plate forme.

Assimiler H' à H revient à assimiler E_1 à E_2 .

$$H' = H \times f\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \text{ où } f\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \leq 1$$

La contrainte verticale σ_z est maximale à l'aplomb du cercle de charge q_0 de rayon « a » et à une profondeur z , elle prend la valeur :

$$\sigma_z = q_0 \left(1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}}\right)$$

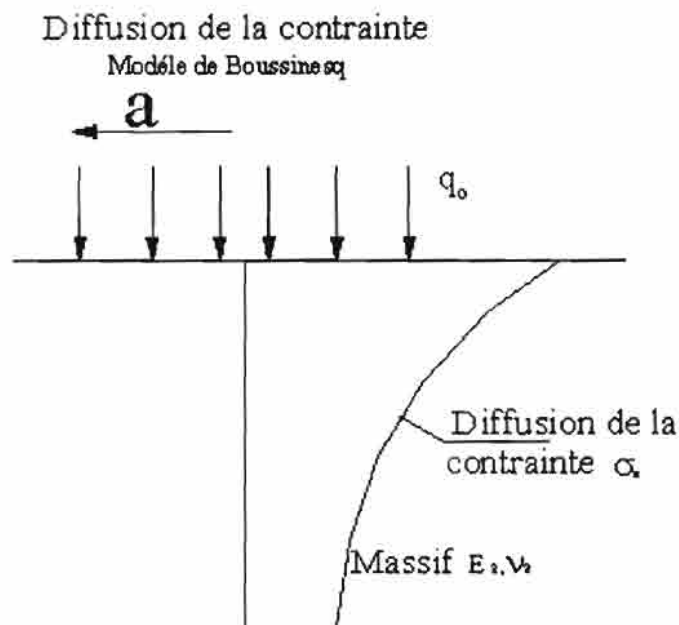


Figure III-4 : Diffusion de la contrainte selon Boussinesq

1.2.2- Le modèle de couche de (foggo ou de Westergaard)

Lorsque les sollicitations du trafic deviennent importantes et/ou que les contraintes verticales sur le sol de plate forme sont limitées par une valeur très faible (de l'ordre de 1/10 à 1/20 de la pression exercée en surface), l'épaisseur nécessaire pour diffuser les contraintes dans un corps granulaire devient importante. Pour diminuer cette épaisseur de

chaussée, il suffit d'augmenter le rapport de module entre E_1 de la chaussée et E_2 du sol de plate forme, à l'aide d'un liant hydraulique (ciment, laitier). On peut avec une assise traitée aux liants hydrauliques obtenir une faible pression sur le sol de plate forme, sans que l'épaisseur de la chaussée ne soit importante. La couche de chaussée fléchit sous la charge appliquée. Ce fléchissement est accompagné de contraintes de traction par flexion à la base de la chaussée. Le dimensionnement de la chaussée consiste alors à vérifier deux critères qui conditionnent son comportement dans le temps :

- la contrainte verticale sur le sol de plate forme doit être inférieure à une valeur limite fonction de la nature du sol support et de chargements (cycles) envisagés ;
- la contrainte de traction par flexion à la base de la couche de chaussée doit être également inférieure à une valeur limite fonction de la nature du matériau de chaussée et du nombre de cycles.

Le modèle de Boussinesq ne convenant pas à ce problème, il est nécessaire de faire appel à d'autres modèles de la mécanique des chaussées tels que les modèles de Hogg ou de Westergaard.

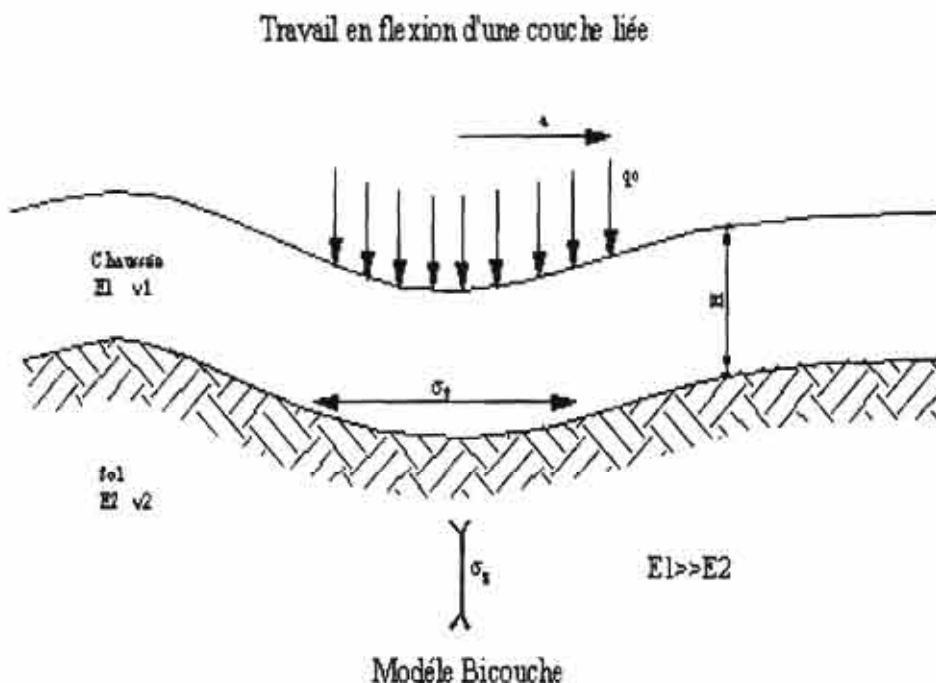


Figure III-5 : Travail en flexion d'une couche liée

1.1.2.1 LE MODÈLE DE HOGG

Le modèle de Hogg est la transposition du modèle de Boussinesq dans un modèle bicouche. Intégrant un problème de flexion, la méthode admet les hypothèses simplificatrices de Navier pour les plaques minces :

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

Les déplacements verticaux de la plaque satisfont à l'équation de Lagrange pour les plaques minces :

$$D \cdot \Delta^2 w = p \text{ avec } D = \frac{E \times H^3}{12 \times (1 - \nu_1^2)}$$

Dans cette équation, D caractérise la rigidité de la plaque, w représente le déplacement vertical de la fibre neutre et p désigne la somme des pressions verticales

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

$$p = \sigma_z \text{ à l'extérieur de ce cercle de charge}$$

l'opérateur Δ^2 désigne le double laplacien en coordonnées polaires :

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \right)^2$$

Le modèle de Hogg est schématisé sur la figure suivante :

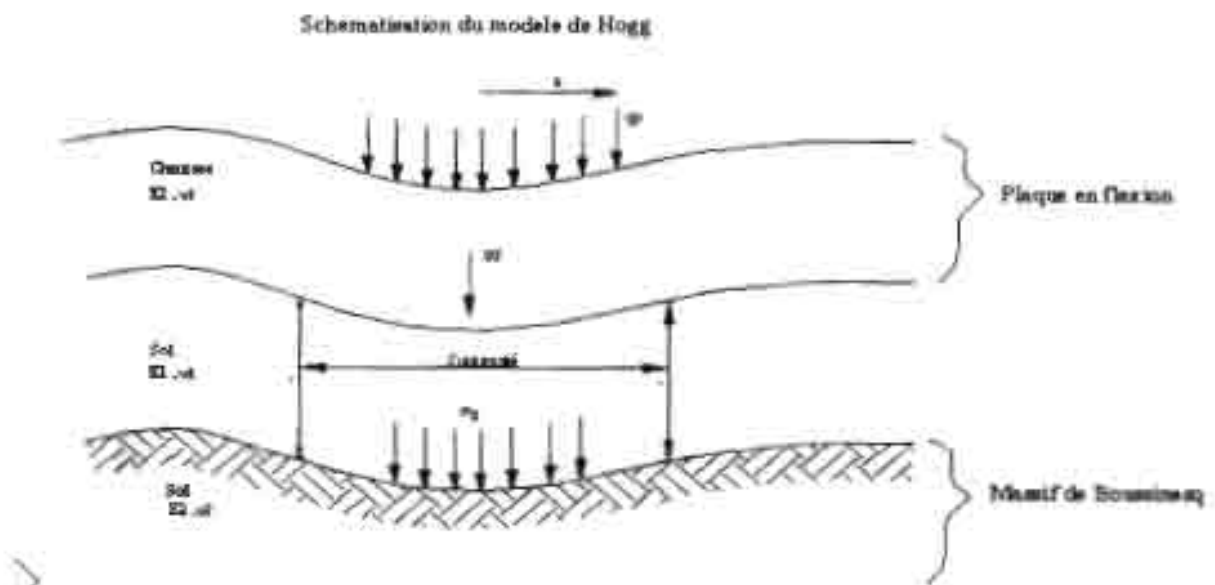


Figure III-6 : Schéma du modèle de Hogg

Dans ce modèle nous avons deux inconnues : la contrainte verticale σ_z et la déformation verticale w . Une première relation peut être obtenue à partir de l'équation de Lagrange :

$$\Delta^2 w = \frac{\sigma_z - q_0}{D} ;$$

la deuxième relation quand à elle résulte de l'assimilation des déplacements verticaux de la fibre neutre à ceux du massif et en utilisant les relations de Boussinesq. En supposant que la chaussée glisse parfaitement sur son support, on trouve comme expression de la contrainte de traction à la base de la plaque :

$$\sigma_T = \frac{P}{H^2} x \frac{1+\nu}{2\pi} F \left(\frac{E_1}{E_2} x \frac{H^3}{a^3} \right)$$

$P = q_0 \pi a^2$: charge appliquée

ρ et β de la rigidité de la chaussée exprimée par $\frac{E_1}{E_2} H^3$

1.2.2.2- Modèle de Westergaard

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

$$v = k \times w$$

v : contrainte verticale sur le massif

w : déplacement vertical de la plaque

k : module de réaction du sol de plate forme

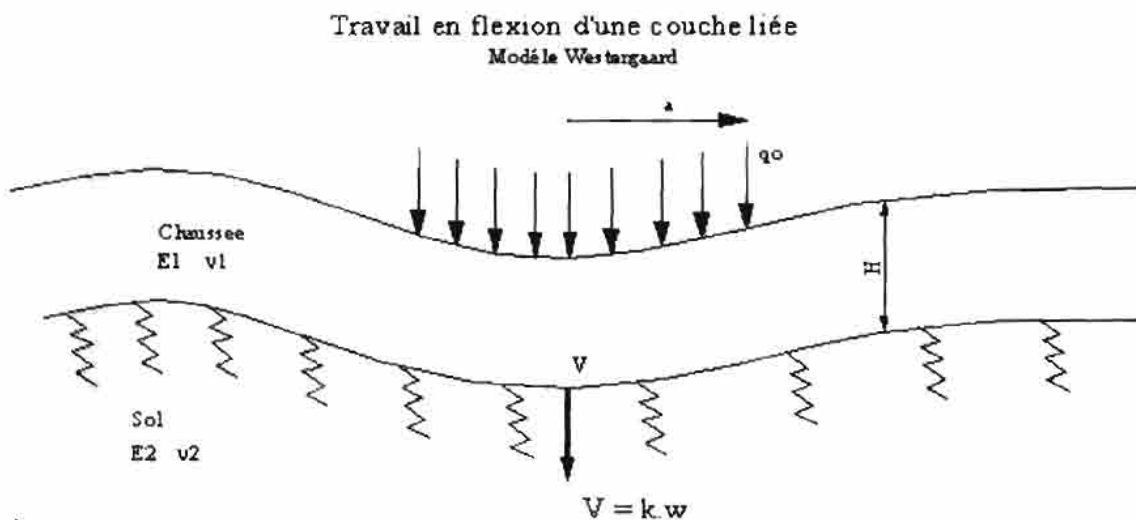


Figure III-7 : Schéma du modèle de Westergaard

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

La contrainte de traction est donnée par :

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

$$l = \sqrt{\frac{D}{k}} = \sqrt{\frac{E_s H^3}{p(1-\nu_s)k}} \quad \text{est le rayon de rigidité de la chaussée}$$

P : charge par roue

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

Le modèle de Westergaard fait apparaître la notion de rayon de rigidité de la chaussée définie par l qui est une fonction de la rigidité de la dalle E_s et du module de réaction du sol de plate forme k .

1.2.3- Le modèle multicouche de (Burmister, Jecuffroy et Bachelez)

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

Pour déterminer ses contraintes, Burmister a utilisé la théorie de l'élasticité et l'hypothèse de la symétrie de révolution du chargement. Les équations sont très complexes et leurs résolutions sont obtenues grâce d'une part à la résolution du problème d'élasticité en coordonnées cylindriques par la recherche de tension $\phi(r, z)$ à double laplacien nul ($\Delta^2 \phi(r, z) = 0$), d'autre part par les transformations de Hankel sur les variables de la fonction de tension.

La figure III.8 ci-dessous nous résume le comportement d'une chaussée selon Burmister

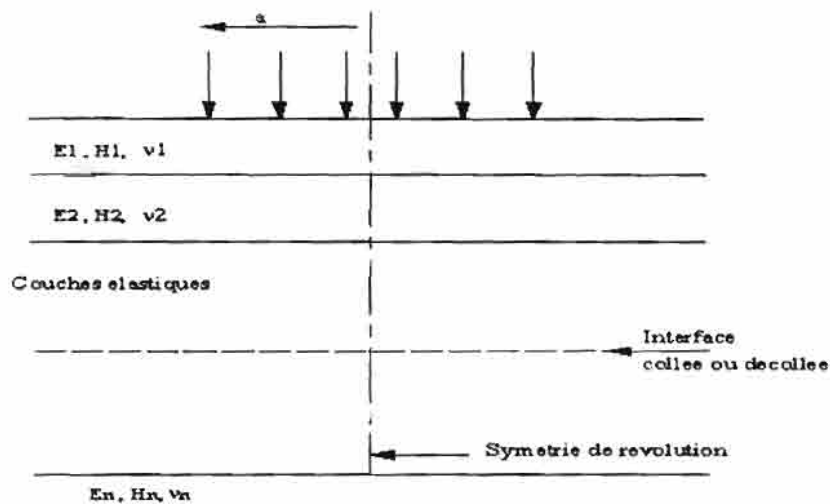


Figure III-8 : Schématisation du modèle multicouche de Burmister

A l'heure actuelle il existe dans le domaine des multi-couches, avant tout réservés aux chaussées souples, une série impressionnante de logiciels de calcul réputés plus performants les uns que les autres. Ces logiciels vont du simple outil de calcul des contraintes aux modèles que l'on pourrait qualifier de complets et qui permettent de déterminer les durées de vie présumées des chaussées en fonction de données relatives aux trafics, aux caractéristiques mécaniques des matériaux et aux conditions climatiques ; l'ensemble de ces données peut de plus être traité de manière probabiliste.

Dans le domaine des chaussées rigides l'évolution s'est surtout manifestée à travers la méthode aux éléments finis, qui permet de bien prendre en compte l'influence des discontinuités au niveau des bords et des joints, et de déterminer les contraintes d'origine thermique. Un certain nombre de logiciels analytiques, d'usage en principe plus simple, ont également été développés. Les logiciels comme Alize III et IV du LCPC, Ecoroute, Bistro de Shell et CHEV de Chevron sont basés sur ce modèle. Ce modèle a abouti pour la première fois à la production d'un jeu d'abaques par Jeuffroy et Bachelez qui ont tenté de résoudre les problèmes d'une plaque reposant sur un massif bicouche de type Burmister.

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

I.3- Les méthodes semi empiriques

Ce sont des méthodes basées sur des catalogues de structures 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.

Ces catalogues libèrent le projeteur des calculs numériques et le met à l'abri de l'illusion d'un résultat rigoureux du fait de l'application d'une formule mathématique alors que les

paramètres d'entrée sont imprécis. Dans le catalogue, les paramètres sont regroupés en classe économique et elles permettent de standardiser les structures en limitant leur nombre et autorise l'uniformisation des techniques d'étude. On peut citer entre autre:

- Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux réalisé en 1971 par le CEBTP et révisé en 1980 ;
- Le manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic ;
- Le manuel pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuves, catalogue de structures types LBTP Abidjan 1977 ;
- Le catalogue des structures types de chaussées neuves ;
- La Road note 29 du TTR de Londres (1962) en usage en Grande Bretagne ;
- La Road note 31 du TTR de Londres (1966) destinée aux pays tropicaux ;
- Le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée du SETRA- LCPC de décembre 1994 ;
- Le guide SATCCI développé en Afrique du Sud

1.4 -les autres méthodes

Avec l'évolution technique et scientifique, nous avons l'apparition de nouvelles méthodes :

- L'approche d'optimisation du dimensionnement des structures de chaussées par programmation mathématique ;
- La méthode incrémentale de dimensionnement

La première approche repose sur un algorithme de minimisation intégrant les exigences mécaniques classiques et un critère coût de structure. Dans cette modélisation, la démarche suivie pour l'optimisation est fondée sur une méthode itérative de minimisation (méthode de Han Powell). La seconde quant à elle envisage d'étudier l'évolution d'une chaussée dans le temps en cumulant l'effet, exprimé en terme de dommage de chacune des sollicitations induites par la charge du trafic. Une telle méthode doit permettre de limiter, voir de supprimer, l'importance des données empiriques dans le domaine du dimensionnement des chaussées routières. Cette méthode prévoit de tenir compte de l'effet d'une sollicitation non seulement sur l'état de la chaussée, mais également sur l'évolution des propriétés des matériaux en fonction du dommage subi. Elle intègre également l'effet des variations de température et les données réelles de trafic sans recours à la notion de trafic équivalent.

Remarque :

A côté de ces méthodes gravitent divers logiciels tels que les programmes Alizé et Eco route qui favorisent la résolution des équations multiples à dérivées partielles et l'accessibilité aux méthodes rationnelles. Parmi ces logiciels on peut citer les logiciels comme Eco route et Alizé.

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

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

I.5- Comparaison des méthodes

En 1982, le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics du Burkina Faso a procédé dans le cas de l'étude géotechnique de la chaussée Ouagadougou- Yako, à une étude comparative entre la méthode de l'Asphalte Institut et la méthode CEBTP. Les résultats de l'étude sont consignés dans le tableau III.2 suivant :

Ouaga- Yako	CBR Plateforme	Epaisseur AI	Epaisseur CEBTP	Epaisseur retenue	F	B	R
PK4.00-6.30	30	27.5	33	27.5	10	15	2.5
6.3-7.5	26	27.5	33	27.5	10	15	2.5
7.5- 8.8	5	52.5	42	42.5	25	15	2.5
8.8-9.6	30	27.5	18	17.5	10	15	2.5
9.6-10.2	16	32.5	33	37.5	20	15	2.5
10.2-12.4	6	47.5	43	42.5	25	15	2.5
12.4-14.6	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
14.6-15.9	20	32.5	33	32.5	15	15	2.5
15.9-16.8	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
16.8-18.10	14	37.5	38	37.5	20	15	2.5
18.10-19.10	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5

19.10-20.2	11	37.5	38	37.5	20	15	2.5
20.2-21.6	25	27.5	33	27.5	10	15	2.5
21.6-24.8	8	42.5	43	42.5	25	15	2.5
24.8-27.8	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
27.8-32.2	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
32.2-38.4	25	27.5	33	27.5	10	15	2.5
38.4-39.9	9	37.5	43	42.5	25	15	2.5
39.9-41.3	25	27.5	33	27.5	10	15	2.5
41.3-43.5	3	67.5	ND	52.5	35	15	2.5
43.5-44.8	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
44.8-45.6	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
45.6-47	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
47-47.6	8	42.5	43	42.5	25	15	2.5
47.6-50.7	20	32.5	33	32.5	15	15	2.5
50.7-54	10	37.5	43	42.5	25	15	2.5
54-55.9	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
55.9-58.4	20	32.5	33	32.5	15	15	2.5
58.4-59.7	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
59.7-61.6	13	37.5	37.5	37.5	20	15	2.5
61.6-62.7	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
62.7-63.3	8	42.5	43	42.5	25	15	2.5
63.3-66.10	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
66.10-67.00	6	47.5	43	42.5	25	15	2.5
67.00-73.8	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
73.8-74.8	7	47.5	43	42.5	25	15	2.5
74.8-78.10	20	32.5	33	27.5	10	15	2.5
78.10-81.7	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
81.7-85.00	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
85.00-86.4	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
86.4-89.00	20	32.5	33	32.5	15	15	2.5
89-96.8	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
96.8-98.7	19	32.5	33	32.5	15	15	2.5

98.7-99.5	5	52.5	43	42.5	25	25	2.5
99.5-100.7	25	27.5	33	27.5	10	15	2.5
100.7-101.3	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
101.3-101.8	20	32.5	33	27.5	10	15	2.5
101.8-102.6	5	52.5	43	42.5	25	15	2.5
102.6-106.2	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5
106.2-107.3	3	67.5	ND	52.5	35	15	2.5
107.3-109.69	30	27.5	18	27.5	10	15	2.5

Tableau III.2 : Etude comparative de la méthode CEBTP et de l'Asphalte Institut

On retient de cette étude comparative que les résultats des épaisseurs de chaussées sont très proches l'une de l'autre pour des CBR < 30 ; En effet Pour les valeurs du CBR > 30, la méthode de l'Asphalte Institut fait varier la fondation de 5 à 7 cm suivants le trafic, la méthode CEBTP juge la plate forme satisfaisante pour jouer le rôle de fondation.

Aussi, dans le cas de l'étude de faisabilité technico-économique et environnementale des travaux de construction et de bitumage de la route Léo- Sabou- Koudougou (RN13) ASSOCIATED ENGINEERS a effectué une comparaison entre différentes méthodes ; les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Méthodes	CEBTP	TRRL	SATCCI	ALIZE
Revêtement	Tricouche (cm)	Tricouche (cm)	5 cm BB	Tricouche (cm)
Couche de base en graveleux latéritique	15	22.5	20	20
Couche de fondation en graveleux latéritique	20	27.5	20	33
Epaisseur totale chaussée	35	50	45	53
Sol de plate forme	S4 (CBR > 15)	S4 (CBR > 15)	S4 (CBR > 15)	S4 (CBR > 15)

Tableau III.3 : Etude comparative des méthodes CEBTP, TRRL, SATCI, ALIZE

En février 2008 dans le cadre des travaux de construction et de bitumage de la route nationale N°14 Dédougou- Nouna -Djibasso-Frontière du Mali, l'Associated Engineers a encore procédé à une autre étude comparative entre la méthode CEBTP,

TRRL, SATCCI et ALIZE pour les mêmes sols de plate forme. Les résultats sont consignés dans les tableaux III.4 et III.5:

Méthode	CEBTP	TRL	SATCCI	ALIZE
Revêtement	tricouche	tricouche	5 cm BB	tricouche
Couche de base en graveleux latéritique	15	22.5	20	20
Couche de fondation en graveleux latéritique	30	27.5	20	36
Épaisseur totale chaussée	45	50	45	56

Tableau III.4 : Etude comparative des méthodes CEBTP, TRRL, SATCCI, ALIZE pour S3 CBR > 10

Méthode	CEBTP	TRL	SATCCI	ALIZE
Revêtement	Tricouche (cm)	Tricouche (cm)	5 cm BB	Tricouche (cm)
Couche de base en graveleux latéritique	15	25	15	20
Couche de fondation en graveleux latéritique	20	17.5	15	25
Épaisseur totale chaussée	35	42.5	35	45

Tableau III.5 : Autre étude comparative des méthodes CEBTP, TRRL, SATCCI, ALIZE pour S3 CBR > 15

Conclusion partielle

On aura constaté, au cours de cette première partie qu'il existe une multiplicité de méthodes de dimensionnement allant des méthodes empiriques aux méthodes rationnelles en passant par les méthodes semi empiriques. D'après l'analyse des différents tableaux, il ressort que les guides récents adoptent désormais tous une épaisseur minimum de 20 cm en couche de base. Pour ce qui concerne l'épaisseur de la fondation, les épaisseurs varient de 20 à 36 cm. Par ailleurs la comparaison entre les différentes méthodes laisse apparaître une similitude des épaisseurs de chaussées entre la méthode CEBTP, la méthode SATCCI et la méthode de l'asphalte Institut pour des valeurs du CBR inférieur à 30; pour des valeurs de CBR > 30, l'épaisseur des fondations dimensionnées avec les méthodes de l'asphalte Institut varie de 5 à 7cm suivant le trafic.

Du reste, les méthodes citées ne représentent qu'une infime partie de celles qui existent malgré l'évolution très lente jusqu'à ces dernières années des méthodes de

dimensionnement structurel. Tous les cas ne sont d'ailleurs pas encore résolus. Si de nos jours encore certaines structures mal équipées (administration, entreprise ou bureau d'études) ne disposent que de leur expérience et des méthodes absolument empiriques de dimensionnement, d'autres par contre sont à la pointe de la technologie. Ce qu'il faut craindre c'est la prolifération des outils qui sont aujourd'hui à la disposition de l'ingénieur. Ils seront d'une telle complexité que seuls des experts seront capables de les comprendre et de les utiliser. Les ingénieurs chargés des projets routiers ont bien d'autres préoccupations que le seul dimensionnement rationnel de la chaussée. Ils risquent de se retrouver de la sorte, un peu à la même enseigne que leurs collègues des années 1900 qui à un moment donné, dépassés par les événements ne pouvaient que compter que sur leur expérience et leur bon sens. Certains responsables des travaux publics l'ont bien compris et ont procédé à la rédaction de catalogues-type de chaussées qui donnent, en fonction de la portance du sol, de la nature des matériaux utilisés et du climat, des structures avec des épaisseurs types dépendant du trafic. Ces épaisseurs types sont évidemment calculées par des spécialistes au moyen de tous les outils disponibles aujourd'hui. Ces catalogues ont donc le mérite d'éviter, en principe, les erreurs d'appréciation; mais ils ne sont souvent qu'une boîte noire mise à disposition des ingénieurs d'exécution.

II- LES PARAMETRES DU DIMENSIONNEMENT

II.1- Le trafic

Le passage d'un véhicule impose à la chaussée des efforts verticaux et tangentiels par l'intermédiaire des pneumatiques; c'est pourquoi la première démarche dans le dimensionnement consiste à l'estimation du trafic c'est-à-dire le nombre de répétition de charges à prévoir pendant la durée de service choisie de la chaussée. Ce trafic conditionne le choix et la qualité des matériaux et permet une analyse mécanique du comportement en fatigue du matériau.

Il intervient par son volume, son évolution, son spectre et les charges à l'essieu. Les essais ASSHO ont bien montré l'influence des charges sur la tenue des chaussées.

II.1.1- Prévision du trafic

Divers méthodes sont utilisables :

Pour les marchandises et les personnes :

- Simple prolongation de l'évolution des flux constatées dans le passé
- Corrélation entre le trafic et un paramètre macro-économique

- Etude raisonnée de l'évolution du trafic de chaque flux
- Utilisation du modèle de génération de trafic
- Utilisation du modèle d'affectation de trafic

Pour les déplacements de personnes :

- Etude de l'évolution des trafics en fonction des populations, des catégories de revenu, de l'évolution du parc, etc. ce qui débouche souvent sur l'emploi d'un modèle de génération
- A partir des trafics marchandises, application de corrélation entre les flux de marchandises et les déplacements de personnes.

A l'heure actuelle, il nous est impossible d'infirmer ou de confirmer l'utilisation de toutes ces méthodes au Burkina Faso. Cependant le plus en vu dans nos pays est la simple prolongation de l'évolution des flux, traduit par la formule :

$$T_n = T_0(1 + \alpha)^n$$

T_n = trafic à l'année n

T_0 = trafic à l'année initiale

α = taux de croissance

n = durée de vie de la chaussée

Aussi, pour trouver le taux de croissance on a souvent recours à la corrélation entre le trafic et un paramètre macro-économique par exemple entre la consommation du carburant et le PIB.

II.1.2-Trafic équivalent en poids lourds

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

$$NE = N \times CAM$$

Où,

- N = nombre de poids lourds pour la période de calcul de n années. Il est égal à :

$$N = 365 \times MJA \times C$$

Avec C, le facteur de cumul sur la période de calcul traduit par la formule :

$$C = \frac{[(1 + \alpha)^n - 1]}{\alpha}$$

Et,

α = taux de croissance géométrique constant sur la période de calcul

n = période de calcul (durée de vie)

- CAM= agressivité moyenne du poids lourds par rapport à l'essieu de référence . Il est obtenu par les expressions suivantes :

➤ Agressivité d'un essieu

Elle correspond au dommage provoqué par un essieu de charge P par rapport au dommage dû à un passage de l'essieu de référence P_0 .

$$A = K \left[\frac{P}{P_0} \right]^\alpha$$

Chaussée souple : $\alpha = 4$

Grave latéritique traitée au ciment : $\alpha = 6$

Grave ciment : $\alpha = 8$

La norme NF P98-082 a adopté les valeurs suivantes de K et α qui dépendent de la nature du matériau et de la structure de chaussée (cf tableau III.6)

Types de structures	α	K		
		Essieu simple	Essieu tandem	Essieu tridem
Structures souples et bitumineuses	5	1	0.75	1.1
Structures rigides	12	1	12	113
Structures en béton dalle <ul style="list-style-type: none"> • Dalles • Béton armé continu 	12	1	12	113

Tableau III.6 : Valeurs moyennes de α et k

NB :

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

- L'agressivité d'un poids lourd est égale à la somme des agressivités de ses essieux
 - Agressivité d'un trafic (CAM)

Connaissant l'histogramme de charges par type d'essieu pour un trafic donné, l'agressivité de ce trafic est qualifiée par le CAM correspondant à l'agressivité moyen du poids lourd composant ce trafic par rapport à l'essieu pris pour référence :

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

N= nombre de poids lourds pendant la période de comptage

K_j : coefficient correspondant au type d'essieu :

- j=1 pour un essieu simple
- j= 2 pour un essieu tandem
- j=3 pour un essieu tridem

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

- L'essieu de référence est l'essieu isolé à roues jumelées de 13t ;

II.1.3- Evolution du trafic national

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. Celle en date d'avril 2003 sur « le niveau de sollicitation des routes au Burkina Faso face à la crise Ivoirienne » a révélé des couloirs de surcharges. Les figures suivantes nous indiquent l'évolution du trafic entre 1998 et 2004 et les régions de surcharge.

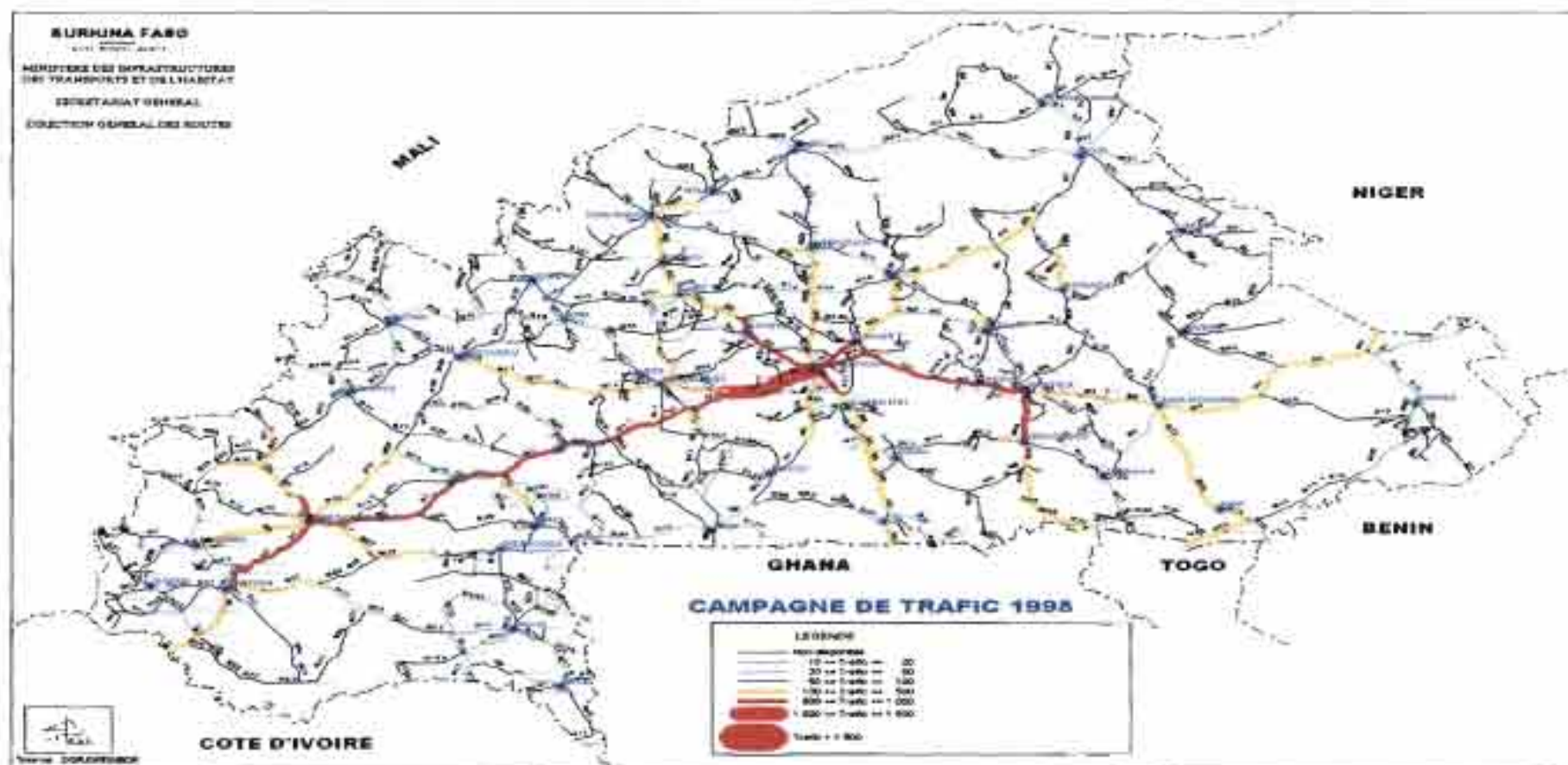


Figure III 9 : Diagramme d'écoulement du trafic 1998 (source DGR)

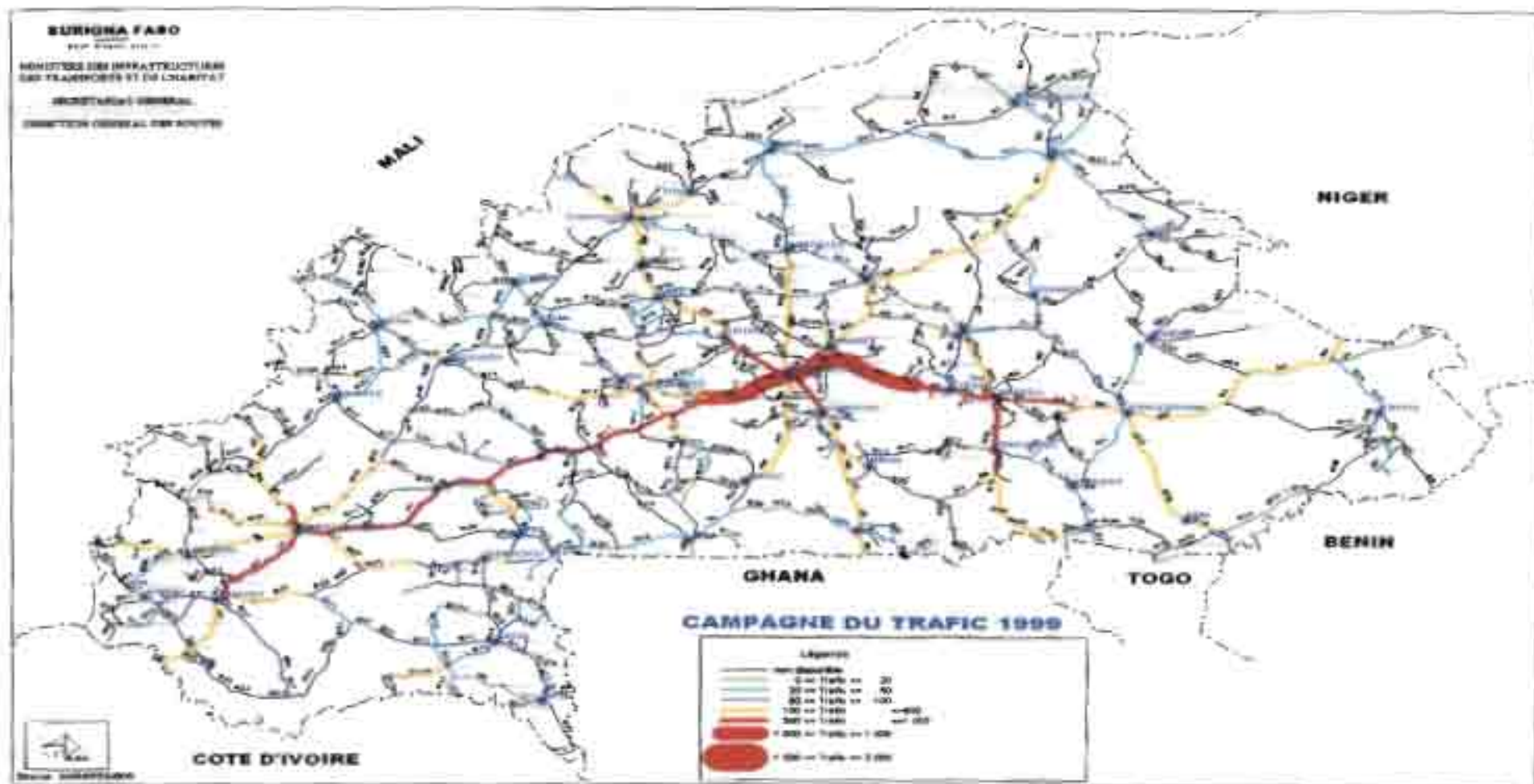


Figure III 10 : Diagramme d'écoulement du trafic 1999 (source DGR)

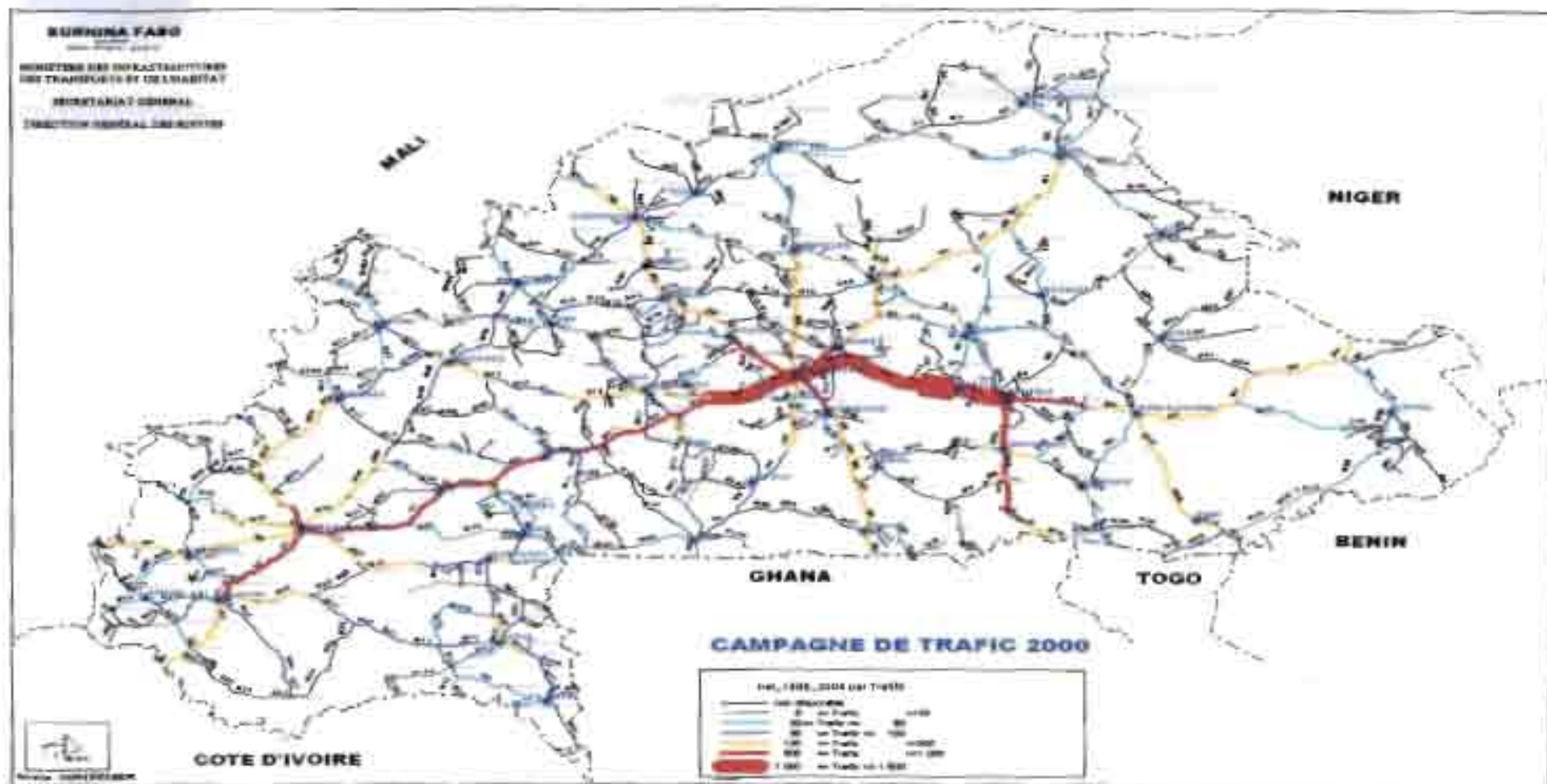


Figure III 11 : Diagramme d'écoulement du trafic 2000 (source DGR)

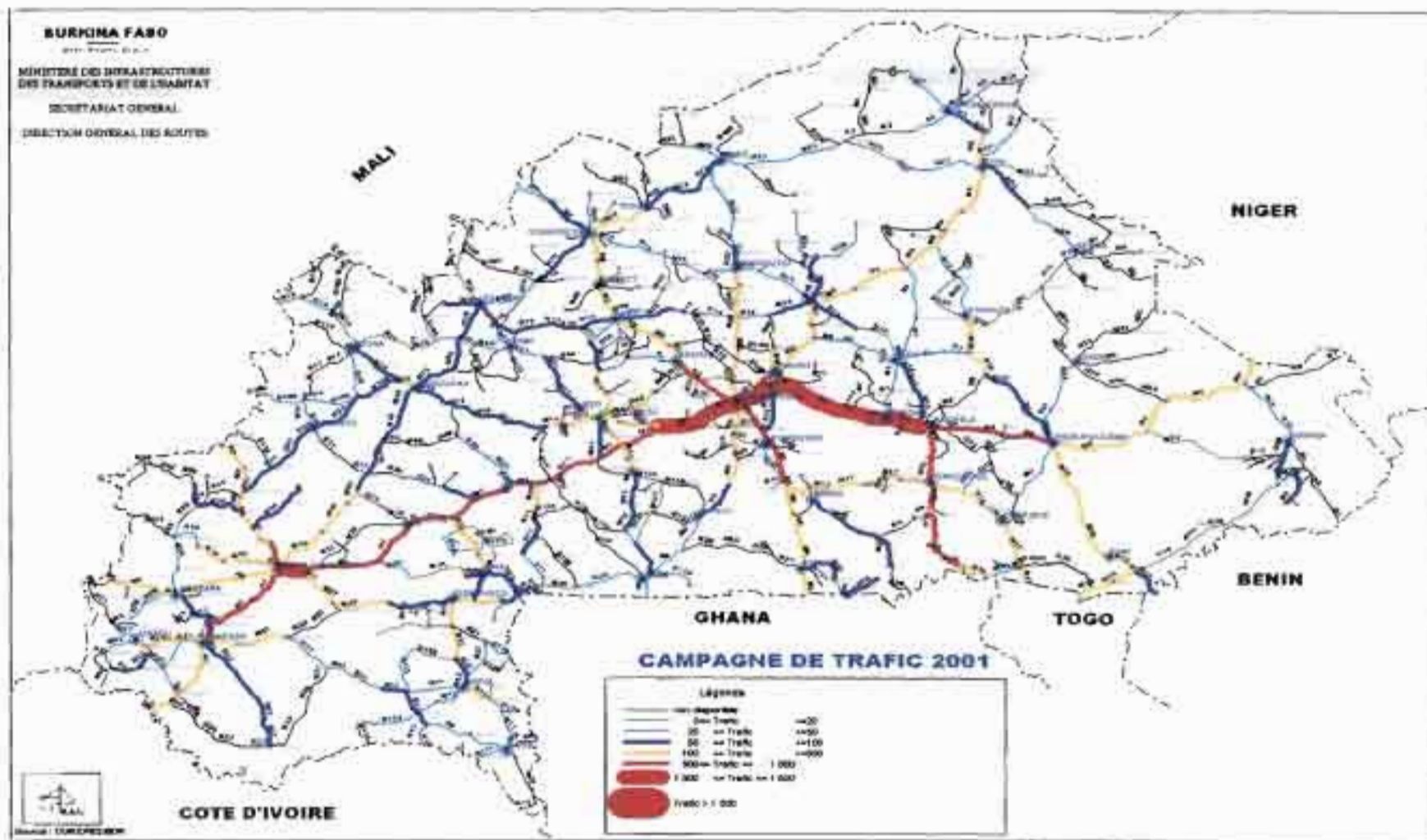


Figure III 12 : Diagramme d'écoulement du trafic 2001 (source DGR)

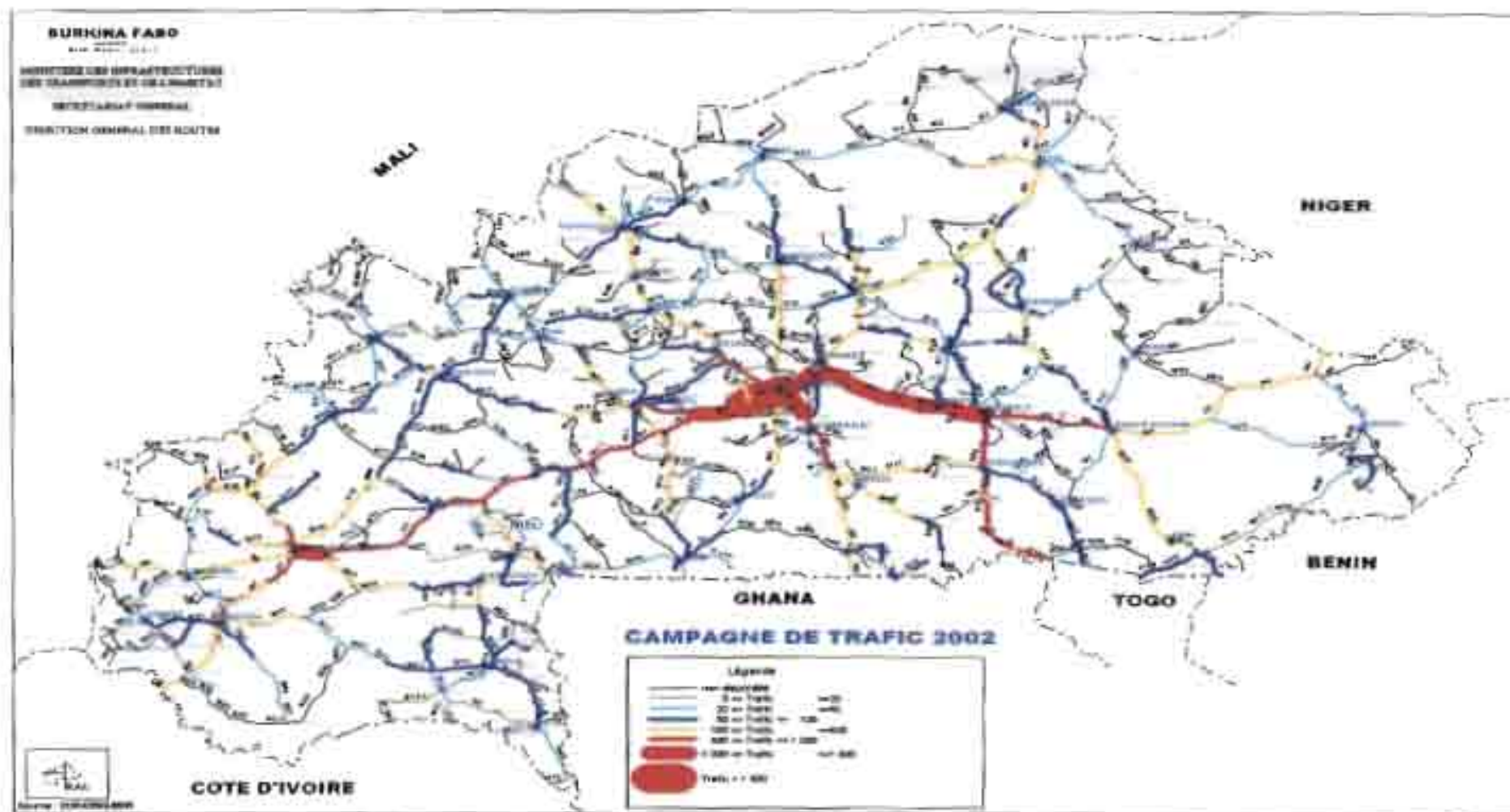


Figure III 13 : Diagramme d'écoulement du trafic 2002 (source DGR)

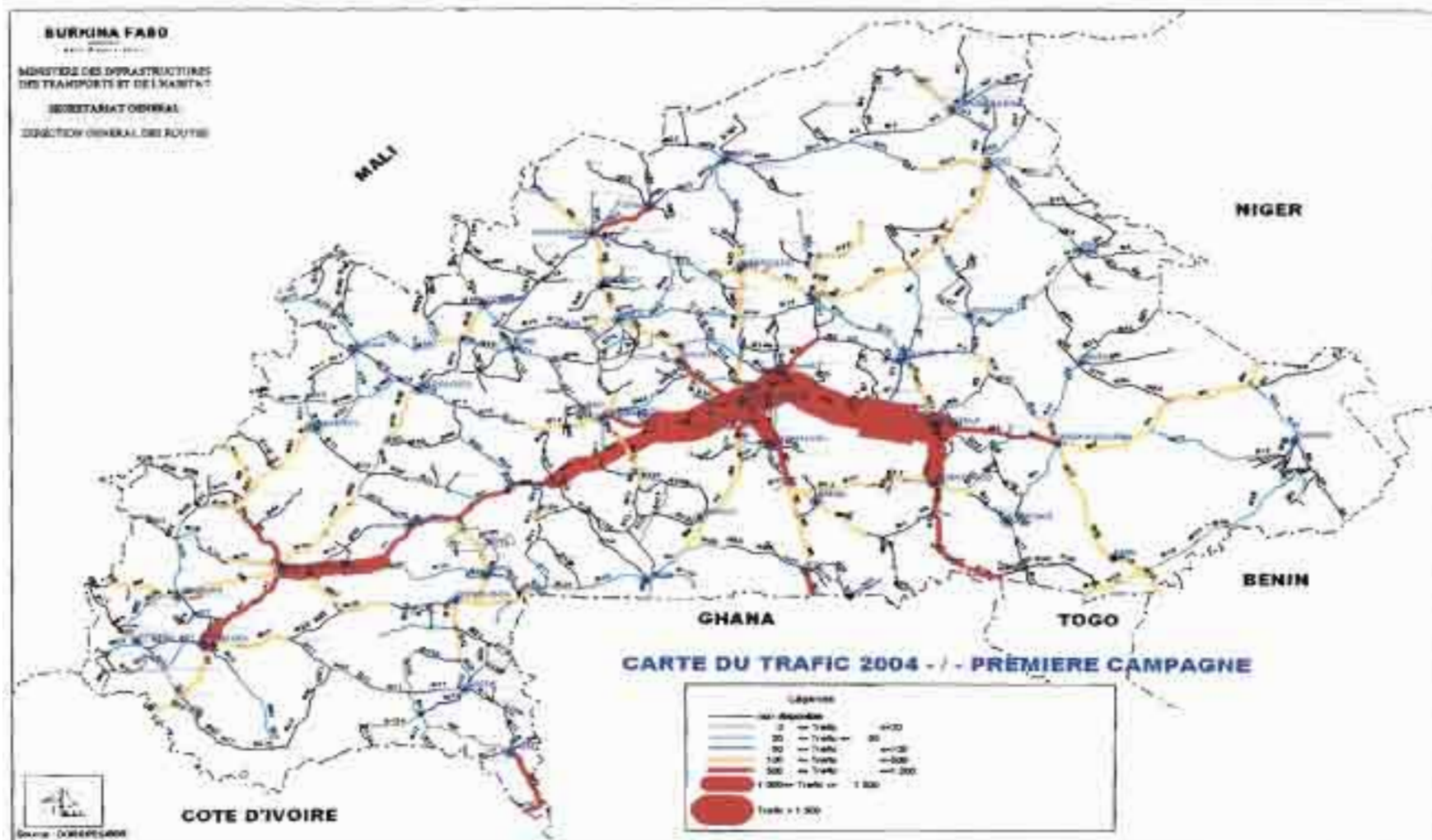


Figure III 15 : Diagramme d'écoulement du trafic 2004 (source DGR)

Exemple d'application

Notre exemple d'application de la démarche de détermination du trafic de dimensionnement s'appliquera sur la RN1 qui constitue l'une des voies de surcharges comme l'atteste les figures antérieures sur l'évolution du trafic nationale. Sur cette route, nous allons nous intéresser à deux tronçons principalement : celui du début et de la fin.

II.1.3.1- Evolution du trafic sur la RN1

Le comptage routier réalisé sur la RN1 (Ouagadougou- Bingo- Bobo) entre 1993 et 2006 nous a permis de déterminer l'évolution suivante :

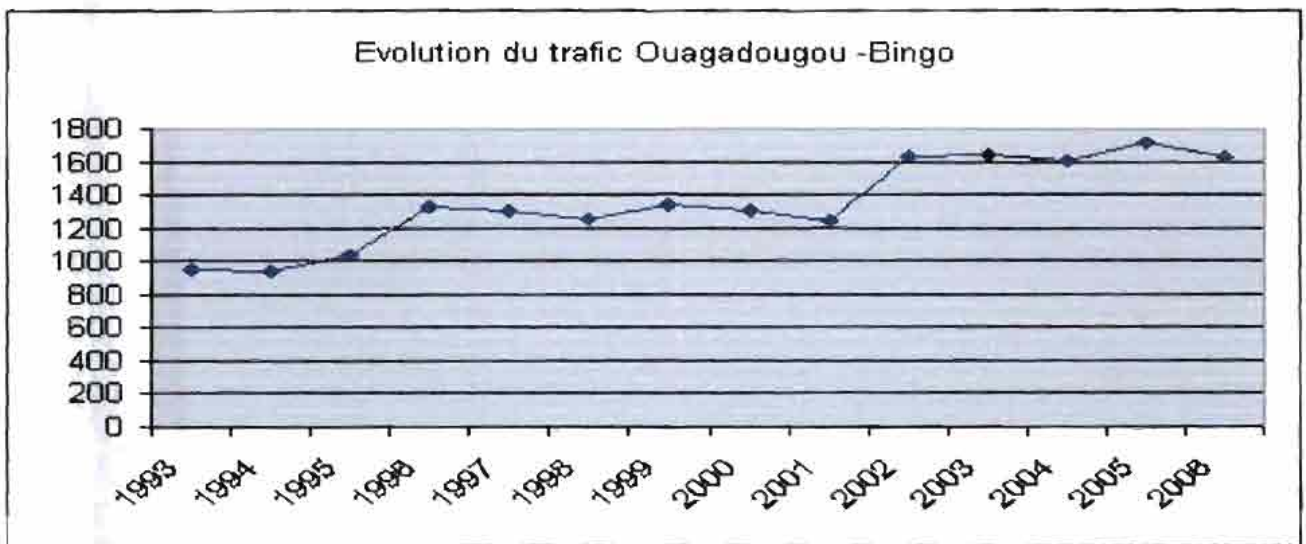


Figure III.16 : Evolution du trafic sur le tronçon N°1 (entre Ouagadougou et Bingo)

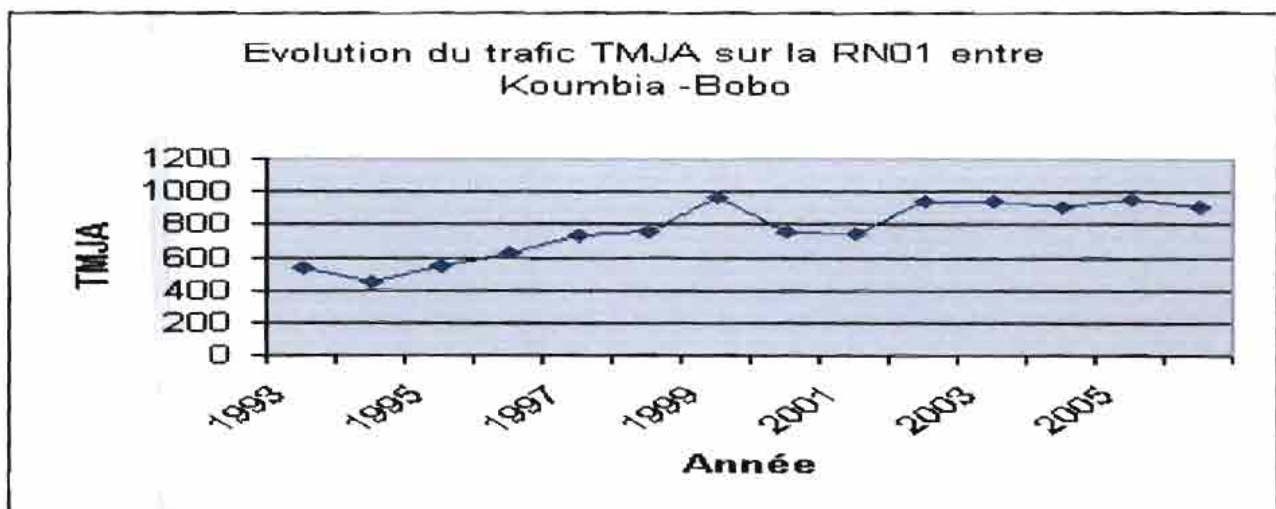


Figure III 17 : Evolution du trafic entre Koumbia et Bobo Dioulasso

En rappel, ces tronçons de route ont été construits entre 1977 et 1979 et à fait l'objet d'un renforcement entre 2000 et 2002.

II.1.3.2) Détermination du taux de croissance

Le taux de croissance annuel noté (α) est le rapport entre ce qui est ajouté (ou retiré) et ce qu'on avait au départ. En application au calcul du taux de croissance du trafic, on pourrait écrire que :

$$\alpha = \frac{(\text{trafic final} - \text{trafic initial})}{\text{trafic initial}} \times 100$$

Lorsque le taux de croissance est calculé pour n années

$$\alpha = \frac{(\text{trafic à l'année } n - \text{trafic initial})}{n \times \text{trafic initial}} \times 100$$

Une autre méthode consisterai à calculer l'élasticité du trafic. Si la valeur tend vers 1, cela signifie que la variation du trafic est égale à celle du PIB. On pourrait en ce moment considérer le PIB comme valeur du taux de croissance .

En appliquant ces formules, l'évolution tendancielle du trafic poids lourd sur la RN1 serait :

- Ouagadougou –Bingo

Période de 1993- 2000 : 4.86% par an avec 509.66 poids lourds soit 39% du TMJA

Période 1993- 2006 : 6.93% avec 666.97 poids lourds soit 44.36 % du TMJA

- Koumbia – Bobo

Période de 1993 - 2000 : 5.16% avec 368.83 poids lourds soit 39.04% du TMJA .

La période 1993- 2006 avec 520 PL soit 6.95% avec 44.36 % du TMJA

II.1.3.3- Calcul du coefficient d'agressivité Moyen (CAM)

Les dernières pesées exécutées date de juillet et août 2007 et concernent le projet de bitumage du corridor Téma (Ghana) – Ouagadougou –Bamako (mali). Les résultats obtenus à la sortie de Ouagadougou ont fait l'objet d'études statistiques, ce qui a permis de déterminer des classes de poids par essieu P. A chaque classe correspond ainsi un coefficient d'agressivité $A = (P/13)^4$ défini par le tableau III.7 et III.8 :

Charges	Nbre Véhic	% Véhic	Agressivité unitaire	Agressivité X %Véhic
]0 10000]	29	8%	0.572	0.05
]10 000 11 000]	5	1%	0.837	0.01
]11 000 12 000]	12	3%	1.186	0.04
]12 000 13 000]	8	2%	1.633	0.04
]13 000 14 000]	16	5%	2.196	0.10
]14 000 15 000]	25	7%	2.895	0.20
]15 000 16 000]	26	7%	3.747	0.28
]16 000 17 000]	31	9%	4.775	0.42
]17 000 18 000]	30	8%	6.002	0.51
]18 000 19 000]	28	8%	7.451	0.59
]19 000 20 000]	52	15%	9.148	1.35
]20 000 21 000]	33	9%	11.120	1.04
]21 000 22 000]	19	5%	13.394	0.72
]22 000 23 000]	17	5%	16.000	0.77
]23 000 24 000]	7	2%	18.969	0.38
]24 000 25 000]	10	3%	22.334	0.63
]25 000 26 000]	3	1%	26.128	0.22
SUP 26000	2	1%	30.385	0.17
	353	100%		7.52

Tableau III.7 : Détermination du coefficient d'agressivité suite au pesage du 22 juillet 2007

NB : L'agressivité totale est de 7.52

NE= Nx CAM

Hypothèse de calcul ; CAM= 7.53 soit la moyenne des données des deux pesages

- Ouagadougou- Bingo

$$\text{En 2000 : TMJA} = 509.6 \text{ PL} \rightarrow N = 365 \times 509.6 \times \frac{[(1 + 0.0486)^{20} - 1]}{0.0486}$$

$$N = 6.06 \times 10^6$$

$$NE = 7.53 \times 6.1504 \times 10^6 \rightarrow NE = 4.635 \times 10^7$$

$$\text{En 2006 : TMJA} = 666.97 \text{ PL} \rightarrow NE = 7.45783 \times 10^7$$

- Koumbia – Bobo N'Dioulasso

En 2000 : $NE = 3.409 \times 10^7$

En 2006 : $NE = 5.82716 \times 10^7$

conclusion partielle

Des données ci-dessus présentées sur le coefficient d'agressivité, on peut dire sans se tromper 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 pratiques interpellent les gestionnaires des réseaux routiers qui doivent mettre en place un cadre institutionnel chargé du contrôle de la charge à l'essieu. Cette pratique n'est pas particulière au Burkina Faso mais commune à la région. C'est pourquoi Amadou Harouna de l'UEMOA affirmait qu'au cours des assises de l'AGEPAR de Niamey que 90% des camions du Burkina Faso, du Bénin et du Niger était 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 utilisée pour le dimensionnement des chaussées. De ce fait, nous pensons que les communautés régionales doivent mettre en place un cadre institutionnel chargé du contrôle de la charge à l'essieu. Ce cadre doit tout d'abord définir cette charge à l'essieu. Il s'agira soit de modifier cette valeur pour prendre en compte la valeur des charges réelles à l'essieu ou de la maintenir en développant une stratégie de contrôle. A ce propos nous partageons la stratégie Namibienne de contrôle de la charge à l'essieu exposée par Lawrence KIIGGUNDU au cours de la même assise qui se résume :

- au développement des ponts bascules aux points stratégiques du réseau ;
- au maintien de l'efficacité et de la continuité du contrôle de la charge à travers la participation du secteur privé dans la gestion des opérations de contrôle ;
- à l'encouragement des opérations mixtes de contrôle de surcharge entre les frontières et en se partageant l'information ;
- et enfin en introduisant des frais de surcharge qui couvriront complètement le coût des dommages causés à la route

II.2- Les matériaux 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 en Afrique du fait

de l'absence des données de base, géologiques ou pédologiques et de l'étendue des surfaces à explorer. 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 tous venants de concassage et les graves concassés.
- Et 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.

11.2.1- La grave argileuse latéritique

Parmi les matériaux naturels, les latérites sont les plus abondantes, les plus économiques et les plus disponibles en Afrique Tropicale et Equatoriale en général et au Burkina Faso en particulier. Mais il n'est pas possible de proposer pour ces matériaux des spécifications d'application générale car les caractéristiques des graveleux latéritiques varient beaucoup suivant les zones climatiques. Cependant, selon « le manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques » les points principaux à souligner sont :

- Pour les trafics faibles ou moyens (≤ 500 véhicules de plus de 1.5 tonnes par jour) l'évaluation des qualités de latérites est essentiellement basée sur la mesure de leur indice portant CBR. La valeur de cet indice est le suivant :
 - Couche de fondation CBR ≥ 30
 - Couche de base CBR ≥ 80
- Pour les trafics élevés (> 500 véhicules de plus de 1.5 tonnes par jour), les graveleux latéritiques destinés aux couches de base revêtues présentent une sensibilité à l'attrition trop grande pour pouvoir être utilisés à l'état naturel, même si leur CBR > 80 . Leur traitement est alors nécessaire.

En 2000 : $NE = 3.409 \times 10^7$

En 2006 : $NE = 5.82716 \times 10^7$

conclusion partielle

Des données ci-dessus présentées sur le coefficient d'agressivité, on peut dire sans se tromper 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 pratiques interpellent les gestionnaires des réseaux routiers qui doivent mettre en place un cadre institutionnel chargé du contrôle de la charge à l'essieu. Cette pratique n'est pas particulière au Burkina Faso mais commune à la région. C'est pourquoi Amadou Harouna de l'UEMOA affirmait qu'au cours des assises de l'AGEPAR de Niamey que 90% des camions du Burkina Faso, du Bénin et du Niger était 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 utilisée pour le dimensionnement des chaussées. De ce fait, nous pensons que les communautés régionales doivent mettre en place un cadre institutionnel chargé du contrôle de la charge à l'essieu. Ce cadre doit tout d'abord définir cette charge à l'essieu. Il s'agira soit de modifier cette valeur pour prendre en compte la valeur des charges réelles à l'essieu ou de la maintenir en développant une stratégie de contrôle. A ce propos nous partageons la stratégie Namibienne de contrôle de la charge à l'essieu exposée par Lawrence KIGGUNDU au cours de la même assise qui se résume :

- au développement des ponts bascules aux points stratégiques du réseau ;
- au maintien de l'efficacité et de la continuité du contrôle de la charge à travers la participation du secteur privé dans la gestion des opérations de contrôle ;
- à l'encouragement des opérations mixtes de contrôle de surcharge entre les frontières et en se partageant l'information ;
- et enfin en introduisant des frais de surcharge qui couvriront complètement le coût des dommages causés à la route

II.2- Les matériaux 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 en Afrique du fait

de l'absence des données de base, géologiques ou pédologiques et de l'étendue des surfaces à explorer. 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 tous venants de concassage et les graves concassés.
- Et 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.

11.2.1- La grave argileuse latéritique

Parmi les matériaux naturels, les latérites sont les plus abondantes, les plus économiques et les plus disponibles en Afrique Tropicale et Equatoriale en général et au Burkina Faso en particulier. Mais il n'est pas possible de proposer pour ces matériaux des spécifications d'application générale car les caractéristiques des graveleux latéritiques varient beaucoup suivant les zones climatiques. Cependant, selon « le manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques » les points principaux à souligner sont :

- Pour les trafics faibles ou moyens (≤ 500 véhicules de plus de 1.5 tonnes par jour) l'évaluation des qualités de latérites est essentiellement basée sur la mesure de leur indice portant CBR. La valeur de cet indice est le suivant :
 - Couche de fondation CBR ≥ 30
 - Couche de base CBR ≥ 80
- Pour les trafics élevés (> 500 véhicules de plus de 1.5 tonnes par jour), les graveleux latéritiques destinés aux couches de base revêtues présentent une sensibilité à l'attrition trop grande pour pouvoir être utilisés à l'état naturel, même si leur CBR > 80 . Leur traitement est alors nécessaire.

II.2.2- Les matériaux traités aux liants hydrauliques

Les mélanges traités aux liants hydrauliques (terminologie européenne) ou matériaux traités aux liants hydrauliques (terminologie française) sont utilisés pour la construction et l'entretien des couches de chaussées des routes, des aérodromes et d'autres aires de trafic. Ils sont constitués d'un mélange de granulats et de liant hydraulique .

Il convient de distinguer deux types très différents de traitement : l'amélioration, d'une part, et la stabilisation, d'autre part.

Selon « le manuel sur les routes dans les pays tropicaux et désertiques », les matériaux améliorés sont ceux pour lesquels l'amendement, en général à faible dose, a pour but de modifier les qualités sans changer profondément la rigidité.

Les matériaux stabilisés sont ceux pour lesquels le traitement entraîne une augmentation importante de la rigidité.

II.2.2.1-Les liants hydrauliques

Un liant hydraulique est un liant qui se forme et durcit par réaction chimique avec de l'eau et est aussi capable de le faire sous l'eau. Les principaux liants hydrauliques sont : la chaux, le ciment, le laitier, les cendres volantes et les pouzzolanes.

II.2.2.2- Les matériaux traités à la chaux

La chaux réagit sur les fines argileuses par un échange ionique, remplaçant les cations alcalins (Na^+ et K^+) par des cations Ca^{++} . Ensuite, elle attaque l'argile en dissolvant la silice et l'alumine en milieu très basique (PH12). La silice et l'alumine peuvent alors se combiner à la chaux pour donner des silicates et des aluminates de calcium, qui en se cristallisant forment un ciment liant les grains entre eux.

L'adjonction de la chaux se traduit par :

- L'augmentation de la limite de liquidité
- Augmentation encore plus rapide de la limite de plasticité , d'où diminution de l'indice de plasticité
- Diminution de la densité maximale Proctor
- Augmentation de la teneur en eau optimale de compactage

Cependant ce traitement a été très limité dans les zones tropicales car la chaux d'excellente qualité est onéreuse. De plus sa mise en oeuvre (chaux vive) est dangereuse pour le personnel ; enfin l'action à long terme de la chaux est mal connue.

II.2.2.3- Matériaux traités au ciment

Le ciment est le liant le plus utilisé dans nos pays. Il est utilisé pour le traitement du sol en place, à la confection des graves et sables traités avec un liant hydraulique et du béton compacté pour assise de chaussée. Il est particulièrement utilisé au Burkina Faso pour améliorer les caractéristiques de la couche de base en graveleux latéritiques.

II.2.2.4- Traitement mixte

On peut être amené à effectuer un double traitement ; une première amélioration à la chaux pour faire baisser la teneur en eau et la plasticité et diminuer le pourcentage relatif des fines et une seconde opération (par 2 ou 3% de ciment) pour renforcer la portance du matériau.

II.2.3- Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés

On entend par matériaux traités aux liants hydrocarbonés un mélange de matériaux naturels (sol naturel ou le granulat) et de liant hydrocarboné ou liant noir.

II.2.3.1- Les liants hydrocarbonés

Les liants bitumineux sont : les bitumes naturels, l'asphalte naturel et le bitume de pétrole.

A l'état naturel, Le bitume existe sous forme de résidu d'anciens gisements de pétrole dont les éléments les plus légers ont été éliminés au cours du temps par une sorte de distillation naturelle. Ils sont extraits soit à ciel ouvert, les gisements se présentent alors comme de véritables lacs, soit sous forme de filons en sous-sol. Le plus connu de ces bitumes naturels est le bitume de Trinidad qui relève du premier type de gisement. Au total, la production mondiale en bitume naturel est très faible puisqu'elle ne dépasse pas 200 000 t.

- L'asphalte naturel est constitué par une roche calcaire imprégnée d'hydrocarbures lourds (jusqu'à 20 %). Le bitume naturel d'imprégnation a des caractéristiques particulières du fait de l'exsudation par la roche des fractions non colloïdales. L'asphalte naturel entre traditionnellement dans la composition de l'asphalte coulé. Il peut également être utilisé comme appoint dans les enrobés auxquels il apporte du liant et des fines.

Le bitume de pétrole est de très loin le principal liant hydrocarboné utilisé dans les chaussées. Il est fabriqué par distillation de bruts sélectionnés. Pour obtenir économiquement les propriétés spécifiques à chaque utilisation, on peut utiliser des procédés de soufflage, de précipitation, de mélange et bien souvent une combinaison de ces procédés. Toutes ces opérations se font en raffinerie et permettent d'obtenir les différentes

catégories de liants demandées par les ingénieurs routiers. Ces principales caractéristiques sont : la pénétrabilité, le point de ramollissement (bille et anneau) et la viscosité. Les bitumes routiers sont classés par rapport à leur pénétrabilité. En Afrique francophone, on utilise les mêmes classes de bitume qu'en France. La norme AFNOR T 65-001 prévoit cinq classes : 20/30 ; 35/50 ; 50/70 ; 70/100 ; et 180/220.

II.2.3.2- Matériaux naturels traités au bitume

Les matériaux naturels utilisables pour la chaussée et rencontrés dans un environnement donné dépendent des conditions géologiques et climatiques de cet environnement.

De manière générale le principaux matériaux naturels de chaussée dans nos pays sont les sols, les sols graveleux latéritiques ou quartziques, les sables et les sables argileux, les graves alluvionnaires.

Les matériaux pouvant être traités au bitume peuvent se diviser en trois groupes : les sables limoneux et argileux, les sables et enfin les graves.

Tous les matériaux peuvent en général être traités. Cependant un certain nombre de conditions telles le coût du traitement, l'efficacité du traitement, amène à définir des critères permettant de juger de l'aptitude du matériau. Mais les matériaux les plus utilisés dans le cas du traitement aux bitumes sont : les sols fins, les sables et les granulats, c'est à dire les matériaux extraits de gisement rocheux ou alluvionnaires et concassés.

Les différents types de matériaux bitumineux utilisés en technique routière peuvent être classés :

- Par rapport à la dimension D du plus gros granulats du mélange
 - Si $D \geq 20$ mm, on désigne l'enrobé par grave- bitume ou grave émulsion
 - Si $6.3 < D < 20$ mm, on désigne l'enrobé par enrobés denses
 - Si $D < 6.3$ désigne l'enrobé par sable- bitume ou enrobé fin, ou sable enrobé, ce sont les Sand asphalt.

- Par rapport au mode d'enrobage

On distingue les enrobés à chaud et les enrobés à froid.

- Par rapport à la compacité du mélange (ou pourcentage des vides)

On distingue :

- Les enrobés ouverts % de vide > 15
- Les enrobés semi denses $10\% < n \text{ de } \leq 15$
- Les enrobés denses % vide ≤ 10

Le tableau III.10 ci après nous donne les valeurs des différents enrobés et leur domaine d'emploi.

Dénomination	Granularité	Epaisseur moyenne mise en place	Domaine d'emploi
Sand asphalt	0/6	3 à 5 cm	Couche de surface
Sable- bitume	0/6	10 à 15 cm	Couche de base
Enrobés denses	0/12.5 0/15	4 à 5 cm	Couche de surface
Dénomination	Granularité	Epaisseur moyenne mise en place	Domaine d'emploi
Béton bitumineux	0/10 0/14	4 à 7 cm 8 à 9 cm	Couche de surface de route à grand trafic
Grave bitume	0/20 0/31.5	9 à 12 cm	Couche de base Couche de liaison Entretien ou renforcement de chaussée

Tableau III.10 : Différents enrobés et domaines d'emploi

II.2.4- Cas du Burkina Faso

Dans le cadre du deuxième Programme Sectoriel des transports et du Tourisme (PST-2), le LNBTP a réalisé en avril 2005 pour le compte de la DGR une étude de recherche des matériaux de viabilité dans le cadre des travaux d'entretien des routes en terre. Cette étude a concerné un réseau d'environ 3106.40 km de routes réparties à travers le territoire national, dont :

- 844.60 km de Routes Nationales ;
- 976.21 km de Routes Régionales ;
- 1285.59 km de routes Départementales

L'étude a consisté :

- Au diagnostic de la situation actuelle ;
- A la prospection d'au moins 623 emprunts de matériaux de viabilité de la couche de roulement et à l'exécution d'une série d'essais géomécaniques (compactage Proctor modifié et portance CBR) sur des échantillons de zones homogènes d'emprunts prospectés ;

- A la conception et à l'édition d'un rapport géotechnique définitif enregistré sur support papier et sur support informatique.
- A la formation de quatre homologues intégrés à la mission d'étude.

Notons qu'antérieurement à ce projet, le LNBTP avait réalisé des études similaires. Il s'agit entre autres :

- Mai 1997 – Juillet 1997 : prospection et étude d'emprunt de graveleux latéritiques pour 1046 km de routes en terre ;
- Décembre 2001- Mai 2002 : recherche de matériaux d'emprunt pour couche de forme et couche de roulement et des granulats pour béton hydrauliques et réalisations d'essais de laboratoire ;
- Diverses études géotechniques de projets de routes en terre et routes bitumées (prospection et étude de matériaux de viabilité pour couche de roulement ou corps de chaussée, recueil de données géotechniques sur routes en terre et routes bitumées).

Ces études ont révélé que ces matériaux présentent les caractéristiques géotechniques qui figurent en **annexe III**. Les valeurs moyennes sont données dans le tableau II.11 ci-après

	Fines ($< 80 \mu\text{m}$)	Mortier (< 0.425)	Limites d'Atterberg		Proctor modifié		Portance CBR (% OPM)	
			w_L	I_p	W_{OEM} (%)	$\gamma_{d_{OEM}}$ (KN/m^2)	95	98
Nombre de valeur	643	643	643	643	643	643	643	643
Valeur minimale	3,0	6,5	7	5	4,7	18,9	11	17
Valeur maximale	32,0	41,5	70	40	12,0	29,9	110	160
Valeur moyenne	15,1	22,1	34	17	7,5	21,9	47	74
Ecart type estimé	5,5	5,8	10	7	1,0	1,2	16	26
Coefficient de variation (%)	36	26	30	38	14	5	33	34

Tableau III.11 : Caractéristiques géotechniques des matériaux graveleux

Or les spécifications de sélection des graveleux latéritiques pour une assise de chaussée sont le tableau III.12 :

spécifications	Couche de fondation	Couche de base		
		Trafic de véhicules de plus de 1.5 tonnes		
		< 100véh/j	100 à 500véh/j	> 500 véh/j
Indice portant CBR	> 30	> 60	> 80	Traitement nécessaire
Indice de plasticité	< 20	< 15	< 12	
% d'éléments 80 μ	-	< 25	< 20	
Los Angeles	-	< 50	< 50	
Crushing value	-	< 40	< 40	

Tableau III.12 : Spécifications moyennes pour graveleux latéritiques utilisés pour les chaussées revêtues

Les matériaux les plus utilisés pour les chaussées en terre sont les tout-venants à granulométrie étalée, dont les plus gros éléments ont des dimensions comprises entre 10 et 60 mm, et également des sables. On peut distinguer :

- Les alluvions grossières
- Les graveleux latéritiques
- Les sables argileux

Pour les couches de roulement des routes en terre, le rapport géotechnique provisoire d'avril 2005 indique que la sélection s'opère sur la base des critères du tableau III.13:

Paramètres	spécifications
Fuseau de granularité recommandé	
20 mm	= 100
10mm	65-100
5 mm	45- 85
2 mm	30- 68
1 mm	25- 55
0.5 mm	20-48
0.2	15-37
0.080 mm	12-32
Limites d'Atterberg pour climat tropical à saison sèche	
wl	< 40
lp	15- 25
Module de plasticité	
M x lp	200- 1200
Portance CBR (processus corrigé)	
CBR calculé à partir de la moitié de la charge de rupture	<ul style="list-style-type: none"> ➤ >20 (trafic inférieur à 30 véhicules par jour) ➤ > 30 (trafic supérieur à 30 véhicules par jour)

Tableau III.13 : Spécifications de sélection des matériaux graveleux de couches de roulement

II.3- Le sol de plate forme

Le sol de plate forme ou la plate forme de terrassement ou encore la couche de forme représente les 30 derniers centimètres du terrassement. Il doit pouvoir supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir de dommages. Les graveleux latéritiques sont souvent aptes à constituer des couches de formes. On exige alors un degré de compactage au moins 95% de l'OPM et un portance minimale (CBR minimum) de 15 . Dans le cas du Burkina Faso, l'étude récente a montré que les sols rencontrés sont constitués de sable argileux et de graves argileuses latéritiques

II.4- Les conditions climatiques et environnementales

Dans le domaine routier, le facteur climatique joue un rôle important aux stades des études, de la construction et de la vie de l'ouvrage sous les aspects suivants : drainage, teneur en eau des sols et matériaux, érosion, choix des matériaux et des liants, etc.

Elles influencent :

- la constitution des matériaux naturels ; exemple le phénomène de l'altérite (c'est-à-dire processus de formation de la latérite) est fonction de la nature du régime pluviométrique et de la variation de la température .
- le choix de ces matériaux en occurrence le choix de la nature des liants hydrocarbonés est conditionné par le régime pluviométrique et les cycles saisonniers et variations extrêmes de la température.
- le comportement des chaussées ;
- Et enfin sur la stabilité de la structure

II.4.1- Impact de la précipitation

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

érosion. Cette dernière ronge progressivement les talus qui ne sont pas protégés avant de s'attaquer à la chaussée.

Ainsi, il est difficile de protéger la chaussée des précipitations. Pour cela il faut d'une part exécuter un revêtement étanche et des devers normalisés pour protéger la partie supérieure. D'autre part il faut toujours prévoir un système d'assainissement efficace fait de descente d'eau, de puisards, fossés ou protéger le talus des remblais.

II.4.2- Impact de la température

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

- Pour les matériaux granulaires non traités les variations de température entraînent des modifications surtout sur la teneur en eau.
- Pour les matériaux traités aux liants hydrauliques (par exemple la latérite ciment), la température élevée favorise l'apparition de fissures de retraits thermiques ceci est valable pour les bétons. Elle cause aussi une augmentation de l'évaporation de l'eau dans le matériau traité mettant en cause la réaction d'hydratation du liant en particulier du ciment.
- En ce qui concerne les matériaux traités aux liants hydrocarbonés, une élévation de la température affecte les caractéristiques mécaniques; par exemple, des essais de laboratoire ont permis de montrer que le module du béton bitumineux et de la grave bitume évoluaient avec la température pour une fréquence donnée (10 Hz pour notre cas) : Les tableaux III.14 et III.15 nous donnent la variation du béton bitumineux et de la grave bitume en fonction de la température :

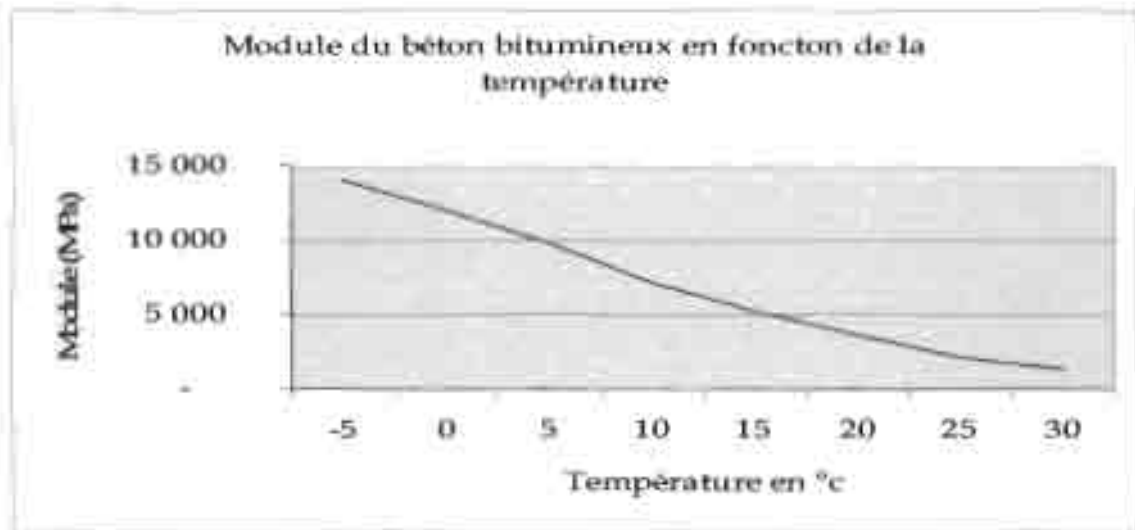


Figure III.14 : Module du béton bitumineux en fonction de la température

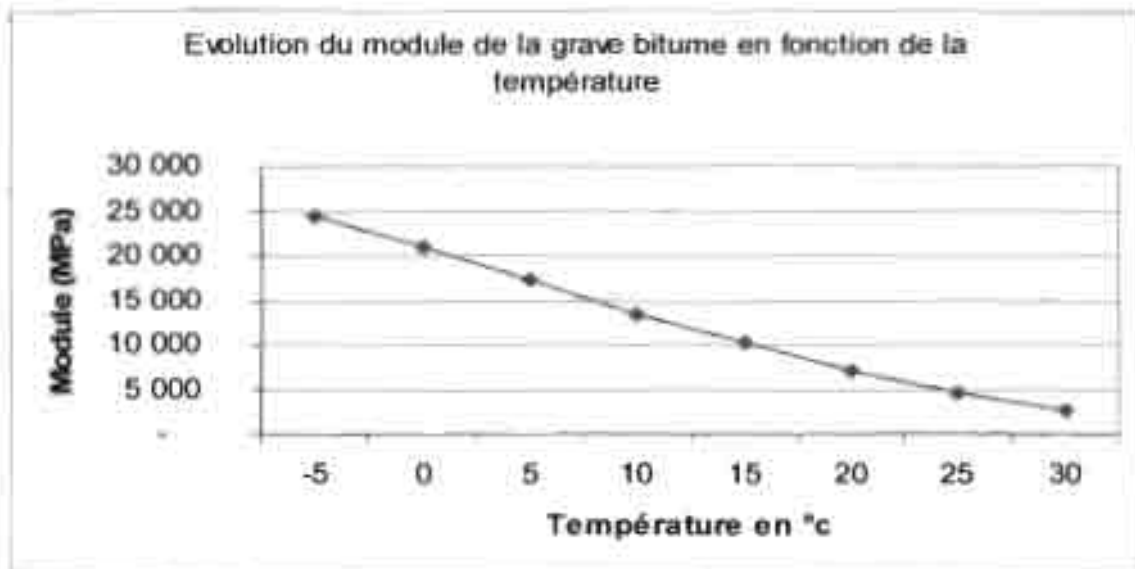


Figure III.15 : Module de la grave bitume en fonction de la température

11.5- Facteur économique

On a coutume de dire que la route est un facteur de développement économique d'une région ou d'un pays. Cet adage se justifie dans le cadre d'une économie de subsistance (auto consommation ou de micro marchés intérieurs) ou d'une économie orientée vers le marché extérieur, axée sur quelques produits agricoles à l'exportation, sur les biens de consommation finis à l'importation.

C'est pourquoi on aboutit à un langage de sourd entre les différentes entités qui concourent à la genèse des projets, à leur préparation, à leur financement et à leur exécution. Il s'agit :

- de l'homme politique qui, parlant au nom de ces électeurs réclame une route ;

- du planificateur qui, sur la base de sa planification estimera que telle route est prioritaire à telle autre ;
- de l'ingénieur qui aura établi divers projets d'aménagement tenant compte du trafic ;
- et du financier qui ne dispose que de peu de finance pour le projet ; il se voit obligé de solliciter l'aide extérieure.

L'aide extérieure consultée, ne s'intéressera qu'aux projets suffisamment justifiés. C'est alors qu'intervient les études économiques qui permettront de préciser les premiers et de déceler les seconds.

La première problématique ici semble être le type de chaussées à construire. Est ce des chaussées économiques pour un linéaire important et pour un grand nombre de population ou des structures lourdes très onéreuses ? quelle économie pour quelle chaussée ?

Pour notre part, nous estimons qu'il faut adapter l'outil à la production.

La seconde problématique est l'accès au crédit. Les bailleurs de fonds empruntés en fonction des facteurs politico économiques du pays (richesse du sous sol, stabilité politique, pour ne citer que cela). Pour l'instant, les investissements importants au départ de tout projet d'infrastructure routière doit constituer le cheval de bataille des gestionnaires du patrimoine routier. En attendant, le gouvernement sénégalais là si bien compris et en a fait sienne. Espérons que ce bel exemple sera suivi par la plupart des pays Africains.

II.6- Contexte technologique

En Afrique le savoir et le savoir faire en matière de conception et le dimensionnement des infrastructures routières existent. Du reste, l'exécution de certaine tâche nécessite l'existence et la maîtrise d'une technologie avancée. La problématique est de savoir si nos PME évoluent avec les nouvelles technologies, ou s'ils se sont contentées des technologies anciennes ; car il ne s'agit pas de concevoir des projets pour les entreprises multinationales uniquement.

Conclusion partielle

Au vu des résultats de l'étude géotechnique et des exigences des matériaux pour les assises de chaussées, on peut affirmer sans se tromper que la grave argileuse latéritique est abondante au Burkina Faso. Ces caractéristiques géotechniques indiquent qu'elle est utilisable aussi bien en couche de roulement des routes en terre qu'en assise des chaussées revêtues. Cependant quelques traitements sont nécessaires pour les matériaux dont les portances sont insuffisantes ou pour des trafics > T3

III-DEMARCHE DU DIMENSIONNEMENT

Quelles que soient les techniques utilisées, la démarche de dimensionnement et l'articulation des différentes étapes sont sensiblement les mêmes et se présente de la façon suivante :

III.1- Pré dimensionnement

Il consiste à un choix de la nature du matériau et à la détermination de leur meilleur agencement possible en tenant compte de leur résistance aux actions du trafic et de l'environnement, et de leurs particularités de mise en œuvre.

C'est dans cette phase qu'il faudrait répondre aux questions suivantes :

- Par quelle épaisseur de matériaux hydrocarbonés une assise traitée aux liants hydrauliques doit elle être protégée ?
- Peut on admettre l'apparition de fissures de retrait à la surface de la chaussée ?
- Peut on admettre des couches de fondations non traitées par addition d'un liant ou faut il traiter la couche de base et la couche de fondation ?
- A quel niveau vaut il mieux placer l'interface entre une couche de base et une couche de fondation en particulier si ce sont des matériaux de nature différente (cas de structures mixtes) ?

Dans cette phase de conception il faut aussi tenir compte des considérations de mises en œuvre :

- La couche de fondation supportera t elle sans se rompre le trafic lourd nécessité par la construction des couches supérieures de chaussée ?
- Faut il réduire le nombre de couches de la chaussée pour diminuer le nombre d'interfaces, qui constitue des points faibles, ou au contraire augmenter le nombre de couche pour obtenir en surface un meilleur d'uni ?

Ensuite il s'agit de la recherche des matériaux de viabilité et de la définition de leur caractéristique physique et mécanique.

On procède en un second temps au choix de la couche de roulement et au prédimensionnement de la structure en se fixant à priori les épaisseurs des couches de chaussée.

III.2- Calcul de structure

Sur la base des modules des différents matériaux et les épaisseurs des différentes couches obtenus suite au prédimensionnement, on procède aux calculs des contraintes et

déformations réelles de la structure de chaussée prédimensionnée sous l'essieu de référence de 130 kN. Ce calcul peut se faire théoriquement ou par l'aide d'un logiciel.

III.3- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation de l'assise

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

- Du trafic cumulé sur la période de calcul considérée
- Du risque de ruine admis sur cette période
- Des caractéristiques de résistance en fatigue des matériaux
- Des effets thermiques
- Et des données d'observation du comportement de chaussées de même type.

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

III.4- Définition de la coupe transversale de la chaussée

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

IV – CALCUL DES LIMITES

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

Pour les chaussées souples, à assise granulaire, on vérifiera la déformation ε_z à la surface des couches et du sol de plate forme ainsi que l'élongation transversale ε_T à la base des couches bitumineuses. On vérifiera néanmoins la contrainte verticale σ_z à la surface des couches et du sol de plate forme.

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

Pour les chaussées à assises traitées au bitume, il faudra vérifier l'élongation ε_z de la plate forme

IV.1- Sol de plate forme et matériaux non traités

En ce qui concerne la plate forme et les matériaux non traités (constitués de matériaux granulaires tels que : les latérites crues, les calcaires pour ne citer que cela), les contraintes sont caractérisées par les contraintes σ_{zadm} et les déformations ϵ_z verticales admissibles au sommet de la couche. Elles sont calculées à partir des formules suivantes :

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

ou

$$\epsilon_{zadm} = 2.8 \cdot 10^{-3} \times N^{-0.25} \text{ en mm (loi de tassement de Shell)}$$

σ_{zadm} : contrainte verticale admissible

ϵ_{zadm} : déformation verticale admissible

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

IV.2 - Matériaux traités aux liants hydrauliques

Pour ces genres de matériaux, les limites admissibles sont caractérisées par la contrainte de traction par flexion σ_{tadm} à la base de la couche traitée et la déformation verticale ϵ_{zadm} du sol de plate forme. Pour NE chargements, la contrainte de traction est donnée par la formule ci- après :

$$\sigma_{tadm} = \sigma_{tadm}(NE) \times k_r \times k_d \times k_c \times k_s$$

- $\sigma_{tadm}(NE)$: contrainte pour laquelle la rupture en flexion sur éprouvette de 360j est obtenue pour NE chargement.
- NE : nombre de chargements équivalents calculé à partir du trafic cumulé et du coefficient d'agressivité CAM
- K_r est le coefficient qui ajuste la valeur de la déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur (écart- type sh) et sur les résultats des essais de fatigue (écart -type SN)

$$K_r = 10^{-u/b}$$

u : variable centrée réduite associée au risque r

b : pente de la loi de fatigue du matériau

δ : écart type de la distribution de log N à la rupture

$$\delta = (SN^2 + (c^2/b^2) sh^2)^{0.5}$$

c : coefficient reliant la variation de contrainte à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée. Avec les structures courantes, c est de l'ordre de 0.02 cm^{-1}

Pour un risque de calcul de 50%, $u=0$ et $kr=1$.

- K_d est un coefficient introduit pour prendre en compte l'effet des discontinuités pour la couche de base ; il prend pour valeur :
 - 1/1.25 pour les grave traitées de classe G4 ou G5 et pour les béton compactés.
 - 1 pour les graves traitées de classe G2 ou G3
- K_c est un coefficient de calage destiné à ajuster les résultats du modèle, de calcul au comportement observé de chaussée de même type.
- k_s est un coefficient minorateur tenant compte de l'effet d'hétérogénéités locales de portance d'une couche de faible rigidité supportant les couches liées.

IV.3 - Matériaux traités aux liants hydrocarbonés

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

$$\epsilon_{t \text{ adm}} = \epsilon_6 \times \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0.5} \times \left(\frac{N}{10^6}\right)^{-b} \times kr \times kc \times ks$$

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

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

N est le trafic pondéral de dimensionnement ;

ϵ_6 est l'élongation admissible pour une fréquence de 25 Hz et une température de 10°C ;

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

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

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

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

δ_N est la dispersion de la fatigue ;

δ_H est la dispersion des épaisseurs ;

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

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

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

Conclusion partielle

Au terme de la partie sur le prédimensionnement, nous avons écrit tout le processus du dimensionnement. A l'instar des autres pays, le Burkina Faso a adopté la même démarche. La problématique du dimensionnement des chaussées pourrait être ausculter ailleurs que dans la démarche.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET ANALYSE DES CHAUSSEES AU BURKINA FASO

I) Diagnostic des chaussées

I.1- Vérification des hypothèses de base du dimensionnement d'une chaussée

Les hypothèses de base du dimensionnement d'une chaussée sont :

Méthodes	Trafic	Matériau	Conditions climatiques	Sol de plate forme	Vérification
Empirique	Intensité du trafic sauf méthode CBR qui utilise la charge à l'essieu	Non prise en compte	Non prise en compte	CBR	Pas de vérification
Semi empirique	Trafic de dimensionnement	a) évite la rupture par flexion due aux contraintes par traction à la base des couches liées	Non prise en compte sauf pour la méthode de l'Asphalte Institut et AASHO	a) évite le poinçonnement de celle-ci par les contraintes de compression (CBR) b)	Pas de vérification
Rationnelle	Trafic de dimensionnement	a) Détermination des contraintes et déformations b) comparaison avec la valeur admissible c) prise en compte des caractéristiques intrinsèques des matériaux	Prise en compte des conditions	a) Détermination des contraintes et déformations	a) rupture par fatigue b) déformation permanente à la surface de la chaussée

Tableau IV.1 : Hypothèses de base du dimensionnement

I.2- Vérification du dimensionnement d'une structure neuve ou d'un renforcement par les différentes méthodes

I.2.1- Caractéristique des matériaux

Nous avons vu dans le chapitre III que de nombreuses études ont été réalisées au Burkina Faso dans le cadre de la prospection et de la caractérisation des matériaux mis en oeuvre. La plupart des résultats obtenus est constituée de caractérisations physiques simples. Seules, ces caractéristiques permettront de bien définir les cartes d'identité des matériaux pour des applications dans le domaine routier ; données suffisantes dans le cas du dimensionnement de chaussées par la méthode semi empirique. 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. Avant de proposer le tableau récapitulatif de la vérification des différentes structures, nous allons aborder succinctement ces deux notions. Nous verrons ce qu'elles signifient, leur importance dans le dimensionnement des chaussées et surtout les valeurs que nous nous proposons d'utiliser .

I.2.2- Module d'élasticité

Cette notion découle d'une expérience menée respectivement par Hooke (1776) et Young (1807) qui ont remarqué qu'un fil ou une section d'acier de diamètre (D) et de section (S) soumise à une force de traction (F) s'allongeait proportionnellement à la force appliquée tant que cette dernière était inférieure à une valeur liée à la nature du matériau. De ce fait, l'étude de l'évolution de cet allongement relatif a révélé l'existence d'une droite dont la pente est constante. Cette pente qui a les dimensions d'une contrainte est appelée module d'élasticité E ou module de Young.

Le module de déformation E ou module de Young ou encore module de rigidité longitudinale d'un matériau est donc la caractéristique principale qui permet de connaître ses caractéristiques de contraintes et de déformations.

Les contraintes et les déformations sont liées par la relation suivante dans le domaine élastique :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\sigma: \text{contrainte en MPa } (\sigma = \frac{F}{S})$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} : \text{Déformation longitudinale}$$

E : module de Young en MPa ,

L'utilisation du module de Young en technique routière est d'autant plus intéressante en ce sens qu'elle permet de définir la limite d'élasticité du matériau ou la valeur de la contrainte à ne pas dépasser si l'on veut (comme cela est le cas) éviter des déformations permanentes dans le corps des chaussées.

Cependant, du fait de la complexité de la courbe contrainte déformation, cette limite d'élasticité n'est pas toujours connue de manière précise ; ce qui fait qu'on a souvent recours au module d'élasticité. Ce module peut être statique lorsqu'aucune vibration n'est associée ou dynamique lorsqu'elle s'accompagne de la réaction du sol sous des sollicitations dynamiques. Le module dynamique peut être mesuré in situ au vibreur ou au moyen d'ondes au laboratoire. Il est admis que sa valeur est au moins deux à quatre fois plus importante que celle du module statique.

$$E_{dyn} = 3 E_{stat}$$

- En mécanique des sols, le module E d'un matériau peut être déterminé par :
 - l'essai de compression simple ou nous avons une courbe qui nous donne les contraintes en fonction des déformations. Pour les contraintes appliquées et les déformations enregistrées, on calculera E par la formule suivante :

$$E = \left| \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \right|$$

- par l'essai de plaque qui permet de calculer à partir d'un chargement statique à la plaque, la déformation de couche concernée. A l'issue de l'essai le module de déformation EV est obtenu par la formule de Boussinesq :

$$EV = \frac{\pi}{2} (1 - \nu^2) \frac{\sigma r}{e} \text{ avec}$$

R : rayon de la plaque ;

e = enfoncement

σ = contrainte appliquée

ν = coefficient de poisson

- Ou par une corrélation avec l'indice CBR. Ces corrélations proposées sont variées et dépendent :
 - du traitement ou non des matériaux
 - assises non traité
 - G. Jeuffroy indique que $E = 6.5 \text{ CBR}^{0.65}$ en (MPa)
 - Le laboratoire Shell d'Amsterdam propose ; $E = 10 \text{ CBR}$ en (MPa)
 - Régis (1985) propose la formule $E = 0.85 \text{ CBR}^{0.825}$ en (MPa)

- Le LCPC utilise la relation $E=5 \text{ CBR}$ en MPa
- Le Sénégalais Pape Diallo NDIAYE (2001) a proposé $E= 32 \text{ CBR}$
- Le CEBTP propose $E_{\text{dyn}}= 100 \text{ CBR}$ mesuré in situ au vibreur ou au moyen de la propagation d'onde au laboratoire.

Ce même centre propose pour les modules statiques mesurés par essais de plaque in situ ou par essai d'écrasement au laboratoire :

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

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

➤ Assises traités au ciment

La formule longtemps utilisée est :

$\text{Stat}=1000 \text{ à } 2000 R_{c7}$

R_{c7} : résistance à la compression simple à 7 jours

1000 correspond aux matériaux les plus plastiques

2000 pour les matériaux crus

En 1991, Michel Zohou a trouvé suite à des essais réalisés sur les matériaux de deux carrières différentes (Goudiane et Thiès Antenne Télé) , les relations ci après :

$E= 9.5339 \text{ CBR} + 127.985$ pour 0% de ciment ;

$E= 2.88209 \text{ CBR} + 634.01$ pour 2 % de ciment ;

$E= 2.84553 \text{ CBR} + 597.199$ pour 4% de ciment.

En 2002, Bocar Malick MBOW propose suite à ses travaux les corrélations suivantes :

$E_{\text{dyn}} = 395.21 R_c + E_{\text{dyn}} = 2925.6 R_{\text{tb}} + 3396.9$

Avec :

R_c : résistance à la compression simple variant de 12 à 22 bars

R_{tb} : résistance à la traction par fendage variant de 1 à 2 bars.

Par ailleurs, la bibliothèque du logiciel Alizé nous propose des valeurs du module d'élasticité en fonction :

- du matériau (exemple des graves non traités et des sols, les matériaux bétons et les matériaux traités aux liants hydrauliques)
 - graves non traités et sols :

statut	nom	E (MPa)	nu	A faible trafic	A fort trafic	pente
system	gr1	600	0.35	non défini	non défini	non
system	gr2	400	0.35	non défini	non défini	non
system	gr3	200	0.35	non défini	non défini	non
system	gr-be	360	0.35	non défini	12000	-0.222
system	gr-inv	480	0.35	non défini	14400	-0.222
system	pf1	20	0.35	16000	12000	-0.222
system	pf2	50	0.35	16000	12000	-0.222
system	pf3	120	0.35	16000	12000	-0.222
system	pf4	200	0.35	16000	12000	-0.222

- matériaux béton

statut	nom	E (MPa)	nu	Sigma0(MPa)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc
system	bc5	35000	0.25	2.15	18	1	standard	1.5
system	bc4	24000	0.25	1.95	15	1	standard	1.5
system	bc3	24000	0.25	1.83	15	1	standard	1.5
system	bc2	20000	0.25	1.37	14	1	standard	1.5

- matériaux traités aux liants hydrauliques

statut	nom	E (MPa)	nu	Sigma0(MPa)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	Kd
system	gc3	23000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.4	1
system	gc4	25000	0.25	1.2	15	1	0.03	1.4	**
system	gcv	30000	0.25	1.4	18	1	0.03	1.5	0.8
system	g6	15000	0.25	0.8	12.5	1	0.03	1.5	1
system	g8	20000	0.25	0.7	13.7	1	0.03	1.5	1
system	gp+ch	15000	0.25	0.6	12.5	1	0.03	1.5	1
system	gr	20000	0.25	0.75	15	1	0.03	1.4	1
system	ec3	17200	0.25	0.75	12	0.8	0.025	1.5	1
system	ec2	12000	0.25	0.6	12	0.8	0.025	1.5	1
system	ec1	5000	0.25	0.21	12	0.8	0.025	1.5	1
system	sf3	12500	0.25	0.65	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sf2	8500	0.25	0.425	10	0.8	0.025	1.5	1
system	sf1	3700	0.25	0.175	10	0.8	0.025	1.5	1
system	bcc	28000	0.25	1.85	15	1	0.03	1.5	1

- du matériau et de la température considérée (exemple matériaux bitumineux) .

statut	nom	E (MPa)	nu	Epsib (udéf)	-1.1b	SN	Sh (m)	Kc	Vitesse de l'air (km/h) = (vitesse de vent)					
									T=-10°C	T=0°C	T=10°C	T=20°C	T=30°C	T=40°C
system	lb	5400	0.35	100	5	0.25	standard	1.1	14800	12000	7200	3600	1300	1000
system	bbar	3000	0.35	/	/	/	standard	/	8220	6670	4000	2000	720	580
system	bbine	9000	0.35	/	/	/	standard	/	24670	20000	12000	6000	2170	1670
system	gb1	7000	0.35	70	5	0.4	standard	1.3	18000	14000	9000	5000	2000	800
system	gb2	9300	0.35	80	5	0.3	standard	1.3	23000	18900	12300	6300	2700	1000
system	gb3	9300	0.35	90	5	0.3	standard	1.3	23000	18900	12300	6300	2700	1000
system	gb4	11000	0.35	100	5	0.3	standard	1.3	27200	22240	14550	7450	3190	1180
system	ame1	14000	0.35	100	5	0.3	standard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
system	ame2	14000	0.35	130	5	0.25	standard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000

Dans le cadre de la présente vérification, nous adopterons comme valeurs du module celles issues des corrélations du CEBTP à savoir ($E_{stat} = 50$ CBR pour les matériaux à gros éléments, $E_{stat} = 30$ CBR pour les matériaux à fraction fine importante) pour la simple raison que ce document connu de tous les concepteurs est le plus utilisé au Burkina Faso.

Remarque :

Une étude réalisée par des Ingénieurs (Babacar SENGHOR, Aly LAKHOUNE) et un Enseignant Chercheur (Méïssa FALL) du Sénégal sur Thiès -Tianaba et sur Séo-Diourbel a révélé que la variation du module de la latérite ciment a une influence considérable sur l'épaisseur de renforcement. Sa variation de 10 000 à 20 000 bars se traduit par une chute de l'épaisseur de l'enrobé dense de 5 % et celle de la latérite ciment de 12 %.

1.2.3- Coefficient de poisson

En référence à l'étude de l'allongement de la barre d'acier citer précédemment, lorsque la tige tendue s'allonge, son diamètre (D) diminue. La diminution relative du diamètre notée $\varepsilon' = \frac{\Delta D}{D}$ est proportionnelle à l'allongement relatif $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$. La relation qui les lie est de la forme :

$$\frac{\Delta D}{D} = \nu \times \frac{\Delta L}{L} = \nu \varepsilon \quad \text{avec} \quad \nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$$

Le coefficient de proportionnalité (ν) est appelé coefficient de poisson ; c'est la seconde caractéristique élastique du matériau. C'est une grandeur sans dimension. Sa valeur varie avec la nature des sols, leur état hydrique et les sollicitations appliquées. La bibliothèque du logiciel Alizé propose :

- Pour les matériaux bitumineux, les matériaux non traités et les sols : $\nu = 0.35$
- Pour les matériaux traités aux liants hydrauliques et les bétons : $\nu = 0.25$

Il faut noter que le coefficient de poisson du sol de plate-forme a une forte influence sur l'épaisseur de renforcement. En effet, la même étude citée précédemment c'est à dire celle réalisée par des Ingénieurs et un Enseignant chercheur du Sénégal a révélé que sa variation de 0,25 à 0,50 fait passer d'une épaisseur de 8 cm d'enrobé dense à une épaisseur de 3 cm comme l'atteste la figure IV1 ci après. Cependant la variation est faible pour un module compris entre 0,25 et 0,35.

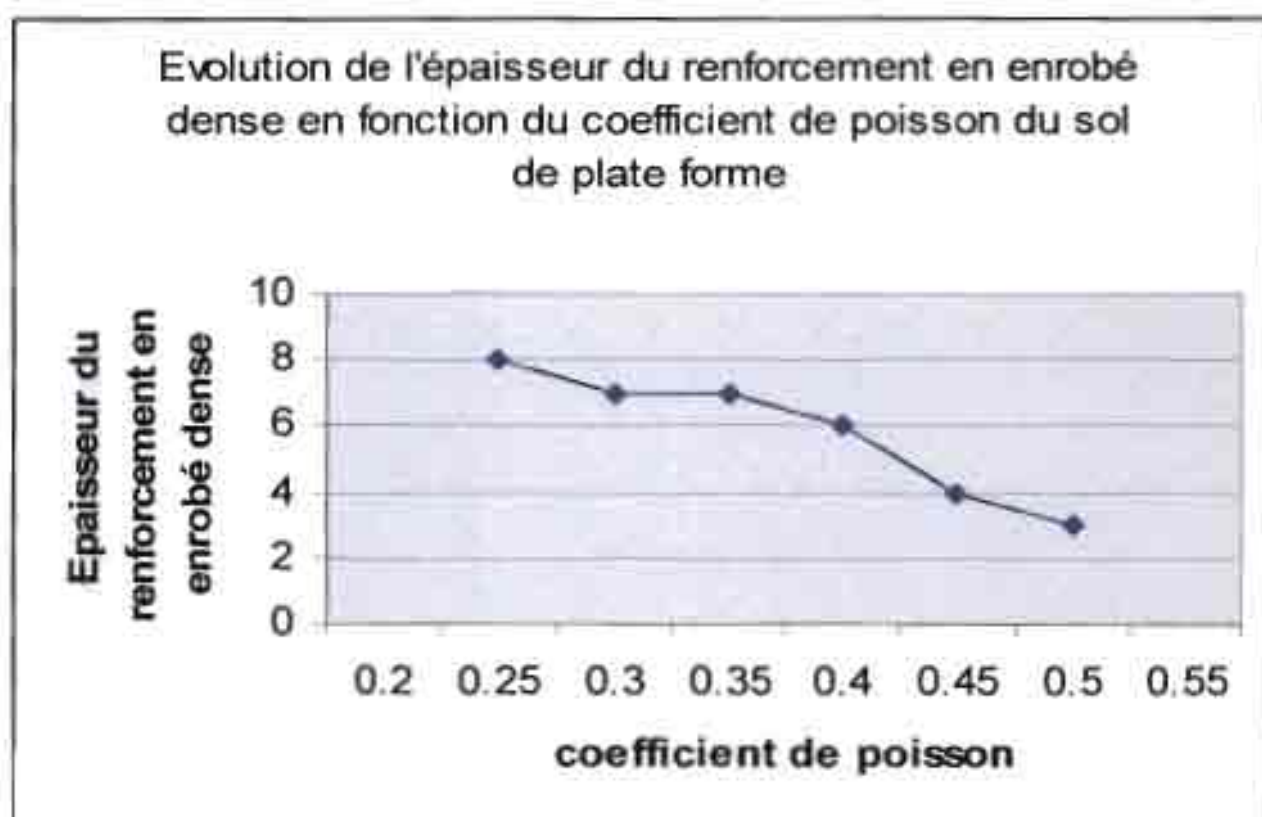


Figure III 15: Evaluation de l'épaisseur du renforcement en fonction du coefficient de poisson

Dans le cas du présent rapport, nous adopterons 0.35 comme valeur du module de poisson. Elle correspond à la valeur indiquée pour les graves non traitées

Désignation	Trafic		sol de Plate forme			Matériaux				Epaisseur			Vérification théorique					
	classe ou PL	Essieu Equivalent	Classe	Valeur	module	CBR		Module		Totale	Revêtement	Base	Fondation	Sol de plate forme(en bars)		structure de la chaussée		
						Fondation	Base	Fondation	Base					σ_{adm}	ϵ_{Ladm}	ϵ_{Lcalc}	σ_{adm}	σ_{adm}
Réhabilitation route en terre gorom gorom - gagara	12	500000		10	300			0	0	16				2.84		$0.269.10^{-5}$	20.98	$0.786.10^{-6}$
construction de la route Yeguérso-Diébougon sur la RN27		1 150 000	S2	7	210	30	60	1500	3000	53	3	20		30.00	0.00086	$0.128.10^{-6}$	13.87	$0.196.10^{-6}$
	T ₁	1 150 000	S4	20	600	30	60	1500	3000	53	3	20		1.32	0.00086	0.000755	39.63	1.21
construction de la route Dédogou Tougan	T ₁	4000000	S ₄	30	900	30	60	1500	3000	40	5	15		1.83	0.00063	0.00109	59.44	1.78
Renforcement RN01 Sakoiné Bobo Dioulasso	T ₁	58271600	S ₄	37.5	1125	59.4	67.7	2970	3385	43.7	6	18	19	1.96	0.00032	0.000578	64.29	1.94

Tableau IV.2 : Récapitulatif de la vérification des structures

Conclusion partielle

Du tableau récapitulatif il ressort que :

- Pour les routes en terre

$$\varepsilon_{Zadm} > \varepsilon_{Zcalc}$$

- Pour les routes revêtues

$$\text{yéguérésso- Diébougou } 0.000755 < 0.00086 \rightarrow \varepsilon_{Zadm} > \varepsilon_{Zcalc}$$

et

Dédougou- Tougan

$$0.00063 < 0.00109 \rightarrow \varepsilon_{Zadm} < \varepsilon_{Zcalc}$$

- Pour la chaussée renforcée (Sakoinsé- bobo)

$$0.00032 < 0.000575 \rightarrow \varepsilon_{Zadm} < \varepsilon_{Zcalc}$$

A l'issue de la vérification du diagnostic on peut retenir que les méthodes qui ont été utilisées pour le dimensionnement de Yéguérésso Diébougou (méthode du guide SETRA LCPC) donnent une épaisseur satisfaisante ; par contre, les méthodes utilisées pour Dédougou Tougan (méthode CEBTP) et le modèle utilisé pour la route Sakoinsé- Bobo (Alizé) fournissent une épaisseur insuffisante.

II) Analyse des résultats du diagnostic

Faire une analyse des résultats du diagnostic revient pour nous à faire une étude comparative entre les méthodes de dimensionnement des chaussées. Cette comparaison est d'une grande importance en ce sens qu'elle permet de justifier de façon rationnelle le choix d'une méthode. Cela s'avère difficile dans la mesure où les approches empiriques, semi empiriques voire rationnelles sur lesquelles sont basées les méthodes de dimensionnement sont différentes. Par ailleurs, l'analyse doit également interpréter les résultats issus du diagnostic et proposer des solutions. Avant de parvenir à cette analyse proprement dite, voyons quels sont les atouts et les limites de chaque méthode, leur performance et surtout les critères qui peuvent guider le concepteur dans le choix d'une méthode.

II.1-Avantages et inconvénients des différentes méthodes de dimensionnement

Approche de dimensionnement	Principales méthodes	Comparaison des résultats	Types de structures	Avantages	Inconvénients	Domaine d'utilisation
Empirique	CBR	Résultat de base	Souple	Réalisable partout et bien adapté aux matériaux du sol	Donne une couche unique ; n'est applicable qu'aux matériaux granulaires ;	trafic léger
	Peltier	Améliorée par rapport à celle du CBR	Souple	Réalisable partout et bien adapté aux matériaux du sol	Donne une couche unique ; du type itératif dans le cas d'une chaussée multicouche. Ne s'applique qu'aux matériaux granulaires ;	trafic léger
	TRRL	Améliorée par rapport à celle de Peltier	Souple	Réalisable partout et bien adapté aux matériaux du sol	Donne une couche unique ; ne s'applique qu'aux matériaux granulaires ; ne prend pas en compte le trafic, le climat, les caractéristiques mécaniques des matériaux ; pas de moyen de vérification de la structure	trafic léger
	Asphalte Institut (AI)	Même résultat que CEBTP et SATCCJ	Souple et semi rigide	Permet de réaliser une chaussée à aménagement progressif.	Le passage d'une méthode à l'autre se fait par des rapports de substitution	Trafic lourd
	AASHO			Comportement réel ou expérimental de la chaussée	Expérience valable dans les conditions climatiques, géologiques et de trafic pour lesquelles elles ont été établies ; conçue pour chaussées en terre et revêtues	Trafic moyen lourd

	PCA		rigide	Permet de déterminer les efforts dans la dalle ; assure un bon comportement à un coût bas ; permet de vérifier le module de rupture du béton.		Trafic lourd
Semi empirique	CEBTP	Même résultat que AI et SATCCI	Souple	Guide des pays tropicaux ; utilisation pratique ; libère le projecteur des calculs numériques ; standardise les structures	ne prend pas en compte le climat, les caractéristiques mécaniques des matériaux ; nécessite une méthode rationnelle pour sa vérification	trafic léger moyen
	SATCCI	Même résultat que CEBTP et AI	Souple	Guide des pays tropicaux ; utilisation pratique ; libère le projecteur des calculs numériques ; standardise les structures		trafic léger moyen
	Guide SETRA, LCPC		Souple et semi rigide rigide	utilisation pratique ; libère le projecteur des calculs numériques ; standardise les structures	Guide français, conçu dans les conditions climatiques et géologiques de la France ; son application nécessite une adaptation à nos réalités ;	Trafic moyen lourd
Théorique	Ivanov		souple	Permet de vérifier la contrainte verticale ; chaussée multicouche	Applicable aux matériaux granulaires	
	Boussinesq		souple		Applicable aux matériaux granulaires	
	Hoog		souple		Théorique avec des équations du 4 ^e ordre	Trafic moyen lourd
	Westergaard		rigide	Considère le sol comme un assemblage de ressort	théorique	Trafic moyen lourd
	Burmister		Souple, semi	Modèle rationnel, idéal	Modèle très difficile à appliquer car des	applicable à to

			rigide et rigide		équations sont complexes et nécessite l'utilisation de l'outil informatique pour sa résolution	types de trafic de structures renforcements
--	--	--	---------------------	--	--	---

Tableau IV3 : Avantages et inconvénients des différentes méthodes

II.2- Performances des différentes méthodes

La performance d'une méthode de dimensionnement se mesure par son aptitude à limiter, voire 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 d'une sollicitation non seulement sur l'état de la chaussée (géométrie), 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 sans avoir recours à la notion de trafic équivalent. Cette démarche est très complexe et très difficile au vu des données à prendre en compte (trafic, climat lien entre les deux), de leur disponibilité et surtout de leur interaction. On admettra pour l'instant que la performance d'une méthode sera son aptitude à relier les sollicitations issues du modèle de calcul avec les dégradations de chaussée. Sur la base de la définition ci-dessus, le tableau V. 2 ci après nous donne un aperçu de la performance des différentes méthodes. Les croix à l'intérieur des tableaux indiquent les paramètres utilisés par la méthode.

Méthode	Trafic	Sol de plate forme	Matériau	Données climatiques	Fourni des vérifications
CBR	X	X			
Peltier	X	X			
Indice de groupe essais AASHO		X			
Asphalte Institut	X	X	X		X
PCA	X	X			X
TRRL	X	X			
Ivanov	X	X			X
Boussinesq	X	X	X		X
CEBTP	X	X			
SATCC	X	X			
Guide SETRA LCPC	X	X	X	X	X
Hogg	X	X	X		X
Westergaard	X	X	X		X
Burmister	X	X	X		X
logiciel	X	X	X	X	X

Tableau IV.4 : Performance des méthodes

II.3- Relation et complémentarité entre les différentes méthodes

II.3.1- Relation entre les méthodes

On peut noter que les méthodes se sont perfectionnées au cours du temps ; et ce, depuis les méthodes empiriques jusqu'aux méthodes rationnelles. Le tableau ci après nous définit les types de relations qui existent entre ces différentes méthodes.

N° d'ordre	Méthode	Types de complémentarité
1	CBR	Basée sur la méthode du poinçonnement du sol et la méthode de Boussinesq
2	Peltier	Amélioration de la méthode CBR
3	TRRL	S'appuie sur la méthode CBR pour proposer des abaques
4	Indices de groupe	Base de la méthode de Shell
5	ASHOO	Origine de la notion du trafic équivalent utilisé dans le dimensionnement des chaussées
6	Asphalte Institut	Méthode indépendante
7	PCA	Se réfère aux essais de AASHO, aux études de Westergaard, de Pickett de Rays et autre.
8	CEBTP	Nécessite une méthode rationnelle pour sa vérification
9	SATCCI	Nécessite une méthode rationnelle pour sa vérification
10	Guide SETRA LCPC	Modèle complet
11	Boussinesq	L'un des Promoteurs de la méthode rationnelle
12	Ivanov	S'apparente à la méthode de Boussinesq
13	Hogg	Transposition de la méthode de Boussinesq
14	Westergaard	Même modèle que Hogg sauf qu'il assimile le sol de plate forme comme un assemblage de ressort
15	Burmister	Base des abaques de Jeuffroy et Bachelez, fondement des logiciels comme Alizé III et IV, Eco route et autre

Tableau IV.5 : Type de relation entre les méthodes

II.3.2- Complémentarité entre les méthodes

Les études ont montré qu'il y a une complémentarité entre les différentes méthodes. La méthode empirique CBR a été respectivement complétée par Peltier et TRRL ; quant aux méthodes théoriques, on peut s'apercevoir qu'il y a une complémentarité entre la méthode d'Ivanov et celle de Boussinesq. Les méthodes de Westergaard et de Hoog ne sont que la transposition de la méthode de Boussinesq sauf que Westergaard considère un sol comme un assemblage de ressorts et enfin Burmister propose une méthode beaucoup plus générale. Par ailleurs, si les méthodes empiriques et semi empiriques nécessitent l'utilisation des méthodes théoriques ou rationnelles pour la vérification des contraintes et déformations, l'utilisation de la méthode rationnelle semble se suffire pour un dimensionnement structural.

II.4- Choix de la méthode

1.4.1-Importance d'un bon choix

Le choix d'une méthode de dimensionnement de chaussée constitue une phase fondamentale pour le concepteur. Il y va de la pérennité de l'ouvrage et de la réussite du projet. Un bon choix se justifie et s'impose au delà même d'une simple considération technique. Nos chaussées étant des chaussées souples, un bon choix serait celui qui s'orienterait vers les méthodes pratiques de type multicouche applicable aux trafics moyens et lourds. Il devrait pouvoir prendre en compte le trafic, le poinçonnement de la plate forme de terrassement, les caractéristiques intrinsèques du matériaux et les moyens de vérification.

II.4.2- Facteurs pouvant intervenir dans le choix d'une méthode

Le choix de la méthode pour le dimensionnement des chaussées tiendra compte des habitudes locales, de la disponibilité des matériaux, de l'importance des sollicitations du niveau de service et de la durée de vie de la chaussée du coût de réalisation et d'entretien de la chaussée.

II.4.2.1-Habitudes locales

L'utilisation de certaines méthodes de dimensionnement dépend des habitudes locales. Pour des raisons conservatrices ou des raisons de facilité, certains consultants utilisent les mêmes méthodes. Nous avons vu dans les chapitres antérieurs que beaucoup de méthodes

ont été proposées par les bureaux d'études. Pourtant, la méthode CEBTP est en majorité la plus utilisée. Cela constitue un bel exemple de l'habitude locale.

II.4.2.2- Disponibilité et performance des matériaux

La connaissance des matériaux, de leur caractéristique mécanique permet d'évaluer leur comportement et leur tenue sous le trafic. C'est pourquoi leur disponibilité et leur qualité conditionnent le choix de la méthode.

II.4.2.3- Importance des sollicitations de la chaussée

Nous savons que l'estimation du trafic est la première démarche dans le dimensionnement. Il détermine les conditions de chargement de toute superstructure routière. C'est la raison pour laquelle elle conditionne le choix de la méthode.

II.4.2.4-Le coût de réalisation et ou d'entretien de la chaussée,niveau de service et durée de vie

Le coût de réalisation et ou d'entretien, le niveau de service et la durée de vie de la chaussée peuvent conditionner le choix de la méthode :

- Un investissement initial élevé correspond aux chaussées conçues pour une durée longue un investissement initial faible et une réduction du coût d'entretien ; la réalisation de telle chaussée nécessite une méthode plus élaborée avec vérification des contraintes et déformations
- Un investissement initial faible correspond à une durée de vie courte et des risques d'interruption de service plus élevés ; par contre pour ces chaussées des méthodes permettant la vérification du sol de plate forme suffisent.

II.4.2.5- Les prescriptions des normes

Dans certains pays, le respect et l'application des normes rationalisent l'utilisation des méthodes de dimensionnement. Tel n'est pas le cas de nos pays où aucune norme, aucune spécification technique n'est éditée jusqu'à nos jours. Nous nous contentons des normes étrangères sans aucune précaution de réadaptation à nos réalités ; toute chose qui engendre la réduction de la durée de vie de nos chaussées.

II.5-Analyse des résultats

En faisant une analyse comparative entre les méthodes de dimensionnement on s'aperçoit que :

- Du point de vue de l'épaisseur de la chaussée, 4 méthodes donnent approximativement le même résultat ; il s'agit de la méthode CEBTP, SATCCI, TRRL et la méthode de l'Asphalte Institut.
- Du point de vue structural on constate trois grands groupes de méthodes :
 - Le groupe des méthodes utilisables en structure souple uniquement. Dans ce groupe on retrouve les méthodes (CBR , Peltier, TRRL, indice de groupe, CEBTP, SATCCI, Asphalte Institut, Ivanov, Boussinesq et Hoog).
 - Le groupe des méthodes utilisables en structure rigide (PCA, Westergaard)
 - Le groupe des méthodes utilisables aussi bien en structure souple qu'en structure rigide, il s'agit de la méthode du guide LCPC, de la méthode de Burmister et des divers logiciels.
- Du point de vue du domaine d'utilisation on constate les méthodes utilisables en trafic :
 - léger ;
 - léger et moyen ;
 - Moyen et lourd

Dans le cas du Burkina Faso où la plupart des chaussées sont souples, seuls le premier et le dernier groupe énoncé dans la partie structure peuvent nous intéresser.

Dans ce premier groupe, le modèle de Hoog propose des équations dont la résolution semble complexe. Elle n'est donc pas pratique et on pourrait par exemple sans passer. De même la méthode des indices de groupe ne nous permet pas de prendre en compte la portance de la plate forme de terrassement . Elle doit donc être utilisée avec réserve. Trois méthodes fournissent une couche unique et ne sont applicables qu'en trafic léger. Ce sont les méthodes CBR, Peltier et TRRL. On pourrait par exemple penser à les utiliser dans le dimensionnement des routes en terre . Cependant, du fait que les méthodes de Peltier et de TRRL soit des modèles améliorés du CBR il serait mieux de s'en tenir soit à la formule de Peltier ou aux abaques de TRRL pou les routes en terre.

Il reste dans ce groupe (1) six autres méthodes qu'on pourrait utiliser dans le cas des routes à couches multiples à trafic léger et moyen. Ce sont les méthodes: TRRL, CEBTP, SATCCI, Asphalt Institut, Ivanov, Boussinesq. En la faveur de la similitude entre leurs épaisseurs et des habitudes locales on pourrait privilégier les méthodes SATCCI, Asphalt Institut et CEBTP. Toutefois l'épaisseur de la couche de base de 15 cm dans la méthode CEBTP doit être revue dans la mesure où aucune méthode actuelle ne propose une couche de base inférieure à 20cm. Celle qui en propose (méthode SATCCI) prend soin de proposer une épaisseur de fondation comprise entre 20 et 36 cm et d'adopter un revêtement en béton bitumineux (BB) de cinq (5) cm. Cette proposition de quinze (15) semble insuffisante dans la mesure où à la vérification des contraintes verticales admissibles de la route où elle est appliquée $\epsilon_{Zadm} < \epsilon_{Zcalc}$. En attendant que des solutions soit envisagées pour la méthode CEBTP, on pourrait retenir pour l'instant les méthodes de l'Asphalt Institut, de TRRL et la méthode SATCCI pour le dimensionnement des chaussées à trafic léger et moyen.

En analysant les méthodes du groupe trois (3), il ressort que l'utilisation de la méthode de Burmister requiert l'outil informatique. Pendant ce temps, la vérification des contraintes des chaussées dimensionnées au guide SETRA -LCPC donne des résultats satisfaisants. Ce dernier pourrait également être utilisé pour le dimensionnement des chaussées à trafic léger, moyen et surtout pour les trafics lourds.

En résumé, les méthodes suivantes pourront être retenues :

- Route en terre à trafic léger : Peltier et abaque TRRL.
- Route revêtue à trafic léger et moyen : Asphalt Institut et guide SATCCI avec obligation de vérifications des contraintes et déformations, guide LCPC- SETRA.
- Route revêtue à trafic lourd : guide LCPC

Conclusion partielle

Au terme de ce chapitre sur le diagnostic et l'analyse des méthodes de dimensionnement, on retiendra que nos chaussées sont sous dimensionnées. Ce sous dimensionnement est dû d'une part aux méthodes utilisées et d'autre part aux valeurs considérées comme hypothèse de base. En effet le guide CEBTP considéré comme document de base pour le dimensionnement dans les pays tropicaux semble être obsolète. S'il ne l'est pas, il faudrait donc le réadapter au contexte de chaque pays. De nombreuses

vérifications ont montré que l'épaisseur préconisée par le guide était insuffisante pour les trafics légers et moyens et insupportable pour le trafic poids lourd.

Durant le processus de vérification des contraintes nous nous sommes aperçus que la route Sakoinse- bobo Dioulasso était également sous dimensionnée. Pourtant , elle a fait l'objet d'une vérification par Alizé. Cela peut s'expliquer par les faits suivants :

- La sous évaluation du trafic : en effet dans l'exemple que nous avons pris pour l'étude (la voie de Bobo en question), nous avons vu que le coefficient d'agressivité était en moyenne de 7.53. Cependant , le coefficient considéré par groupement d'entreprise (DTP, SOGEA/SATOM et CSE) attributaire du marché de renforcement était de 2.6 ;
- Par ailleurs, pour l'évaluation du module d'élasticité du corps de chaussée (couche de base améliorée au ciment), le groupement d'entreprise a utilisé la formule du LCPC : $E=50CBR.Hors$, cette formule n'est valable que pour les graves non traitées.
- La valeur de 0.40 pour le coefficient de poisson ne se justifie pas dans la mesure où Alizé ne propose que 2 valeurs 0.25 pour les matériaux traités et les bétons et 0.35 pour les matériaux bitumineux et les graves non traitées :

La problématique semble être au Burkina comme dans beaucoup de pays, la considération des valeurs d'entrée (in put) et la non caractérisation mécanique des matériaux.

III- Recommandations issues des diagnostics

Suite aux insuffisances constatées, l'étude recommande :

- Editer 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 ;
- De suivre et de régler les charges à l'essieu ;
- De suivre le comportement de nos chaussées dans le temps (par une structure spécialisée) et ce, pour quelque soit méthode de dimensionnement ;
- D'autoriser l'utilisation de la méthode CBTP que pour les trafics faibles c'est à dire pour des trafics $T1 \leq T \leq T3$ et des matériaux en grave argileuse latéritique ;
- Créer une structure de normalisation des matériaux routiers ;
- Lancer la recherche en offrant des bourses aux jeunes Ingénieurs pour faire le troisième cycle ;
- Créer des laboratoires d'hydraulique et de sol au sein de l'Ecole de formation et de Perfectionnement du Ministère afin de doter l'Ecole de moyens permettant aux formateurs d'appuyer la recherche ;
- Subordonner toutes les vérifications à la détermination des valeurs réelles des caractéristiques mécaniques des matériaux

Conclusion

L'étude de ce rapport nous indique que le Burkina Faso a hérité d'un réseau routier très étendu à faible terrassement dont les caractéristiques constituent un facteur aggravant des dégradations de chaussées. S'il est vrai que nos chaussées manquent de suivi, il est aussi juste de dire que les chaussées non mis hors d'eau sont des sources de dégradations prématurées. Du reste, ces dégradations précoces ne permettent pas d'observer dans le temps les limites des méthodes utilisées.

Aussi, force est de savoir que les différentes politiques d'investissement et d'entretien n'ont pas eu d'impact sur les méthodes de dimensionnement. Beaucoup de méthodes ont été proposées pendant les études des différents projets ; très souvent du fait de l'habitude locale c'est le cas de la méthode CEBTP qui est souvent utilisée. Malheureusement à côté des structures proposées, rares sont les consultants qui en proposent des vérifications. De plus aucune banque de données ne permet à la date d'aujourd'hui d'infirmer ou de confirmer la fiabilité et la pertinence de son utilisation. Mieux, elle propose des épaisseurs de couche de base qu' aucune nouvelle méthode n'accepte. De même, l'épaisseur totale de la chaussée pose problème car la valeur de la déformation verticale admissible reste inférieure à la valeur calculée. En plus elle est appliquée à tous les trafics. C'est pourquoi après analyse des méthodes proposées et examen de leur limite nous préconisons l'utilisation des méthodes suivantes :

- Routes en terre à trafic léger : Peltier , abaque TRRL et CEBTP
- Routes revêtues à trafic léger et moyen : Asphalte Institut, guide SATCCL, TRRL avec obligation de vérifications des contraintes avec un logiciel et enfin le guide LCPC- SETRA
- Routes revêtues à trafic lourd : guide LCPC .

L'étude a aussi mis à nu les problématiques liés à l'utilisation des logiciels de vérifications. Ces limites se caractérisent essentiellement par le choix des paramètres d'entrée. Elle préconise ensuite la construction des structures lourdes pour minimiser les coûts d'entretien.

Toute fois, face au degré d'agressivité de nos voies, l'étude recommande :

- La mise en place d'une commission au niveau sous régionale ou régionale chargée de la définition de la charge à l'essieu ;
- Le développement des ponts bascules aux points stratégiques du réseau ;

- La participation du secteur privé dans la gestion des opérations de contrôle ;
- L'encouragement des opérations mixtes de contrôle de surcharge entre les frontières par le partage de l'information ;
- Enfin l'introduction des frais de surcharges qui couvriront complètement le coût des dommages causés à la route.

Quant aux matériaux utilisés , l'étude reconnaît l'abondance et la performance des matériaux sélectionnés dans le cadre des études menées par le laboratoire. Cependant elle recommande leur utilisation à l'état non traité uniquement pour des trafics légers à moyens. Autrement dit, pour les trafics lourds on devrait penser à d'autres matériaux ou améliorer l'existant .

Pour terminer, nous tenons à préciser que ce travail a eu pour avantage de dégager les problèmes exogènes et endogènes des méthodes de dimensionnement. Cependant , les résultats proposés sont à prendre avec réserve. Ils sont fondés sur des valeurs estimées. C'est pourquoi nous recommandons que cette étude soit poursuivie avec des valeurs réelles. De même elle doit être complétée par d'autres études similaires réalisées sur des aspects politiques et institutionnels .

Liste des références

- Notes de cours
- Internet
 - www.lzf.net/affiche_oscar.php
 - [www.primature.gov.bf/carte postale](http://www.primature.gov.bf/carte_postale)
 - www.bitume.on
 -
- Document de Stratégie Nationale du Transport au Burkina Faso édition de mars 2003
- Décret N°2000-269/PRES/PM/MIHU portant classification des routes au Burkina Faso
- Décret N°2006-412/ PRES/PM/MID du 11 septembre 2006 portant organisation du Ministère des infrastructures et du désenclavement
- Répertoire général du réseau routier national édition de novembre 2000
- Répertoire général des pistes rurales édition de juillet 1999
- Réponse du Ministre des Infrastructures et du Désenclavement à la question orale d'un député relative à la politique du gouvernement en matière des infrastructures routières (novembre 2007)
- Stratégie de désenclavement routier du Burkina Faso (septembre 2007)
- Cours théorique et pratique en aménagement de pistes rurales par la méthode HIMO (à Haute Intensité de Main d'œuvre)
- Banque de données routières de la Direction de la planification des Etudes et du Suivi de la Direction Générale des Routes
- Guide Technique de conception et de Dimensionnement des chaussées, tome 1 et 2 du LCPC - SETRA
- Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux
- Dimensionnement des chaussées (Georges Jeuffroy et Raymond Sauterey) tome 2
- Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques (BCEOM-CEBTP) tome 1, 2 et 3

Dimensionnement et structures types de chaussées : situation actuelle et perspectives de monsieur MENIN MEESSOU (séminaire technique de l'AGEPAR Lomé)

- Méthodes de dimensionnement : force faiblesse et domaine d'utilisation des différents types de structures de monsieur MENIN MEESSOU (séminaire technique de l'AGEPAR Ouagadougou)
- Etude du niveau de sollicitations des routes du Burkina Faso face à la crise Ivoirienne (avril 2003)
- Rapport géotechnique provisoire de l'étude de recherche des matériaux de viabilité dans le cadre des travaux d'entretien des routes en terre (avril 2005)
- Annexes 2,3,4 présentant les tableaux de synthèse des résultats, plan situation d'emprunts et fiche technique du rapport géotechnique provisoire de l'étude de recherche des matériaux de viabilité dans le cadre des travaux d'entretien des routes en terre (avril 2005)
- Projet de fin d'études de Nourou-Dine IMAM (2002- 2003)
- Elaboration d'un catalogue de structures types de chaussées neuves au Sénégal (Cheikh Yatt DIOUF)
- Rapport géotechnique des travaux de construction de :
 - 500 km de routes en terre
 - Yéguéresso- Diébougou
 - Ouagadougou - Bobo
 - Ouagaadougou- Pô - Frontière du Ghana
 - Dédougou Tougan
 - Koupéla- Bittou- Frontière du Togo
 - Sakoinsé- Bobo
 - Ouagadougou- Yako
 - Yako- Ouahigouya
 - Fada N'Gourma- frontière du Bénin
 - Fada N'Gourma- Pièga
 - Ouagadougou -Yako
 - Banfora- Frontière de Côte d'Ivoire

Amadou Harouna - Keudougou

- Proposition de structure de chaussées par le groupement d'entreprises DTP/SOGEA- SATOM/CSE
- Etudes comparative entre méthodes de calcul des pieux : application à l'échangeur de patte d'Oie (Dakar) de (Cheikh I. SARR et Gora SARR)
- Initiative régionale de contrôle des véhicules poids lourds. Progrès Namibien dans le contrôle de l'utilisation des chaussées (Lawrence KIGGUNDU) séminaire AGEPAAR
- Concertation régional en vue de la mise en place d'un système de contrôle de charge à l'essieu dans l'espace UEMOA (Amadou HAROUNA) séminaire AGEPAR

PAGES DES ANNEXES	B
ANNEXE I :Décret N°2000-269/PRES/PM/MIHU portant classification des routes au Burkina Faso	C
ANNEXE II :Caractéristiques géotechniques des matériaux	D
ANNEXE III :Résultats détaillés des vérifications avec Alizé	E

PAGES DES ANNEXES

ANNEXE 1: Décret N°2000-269/PRES/PM/MIHV portant classification des routes au Burkina Faso

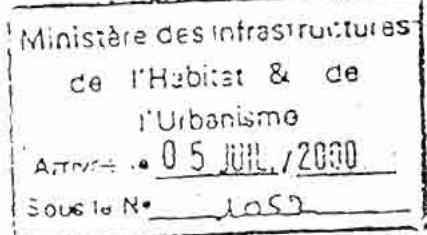
**LE PRESIDENT DU FASO,
PRESIDENT DU CONSEIL DES MINISTRES,**

- Vu la Constitution ;
- Vu le Décret N°99-003/PRES du 11 Janvier 1999, portant nomination du premier Ministre ;
- Vu le Décret N°99-358/PRES/PM du 12 Octobre 1999, portant renouveau du Gouvernement du Burkina Faso ;
- Vu le Décret N°97-468/PRES/PM du 31 Octobre 1997, portant attributions des membres du Gouvernement ;
- Vu le Décret N°98-320/PRES/PM/MIHU du 23 Juillet 1998, portant organisation du Ministère des Infrastructures de l'Habitat et de l'Urbanisme ;
- Vu le Décret N°2000-268/PRES/PM/MIHU du 21 juin 2000, portant définition et réglementation du réseau routier national au Burkina Faso ;
- Sur proposition du Ministre des Infrastructures, de l'Habitat et de l'Urbanisme ;
- Le conseil des Ministres entendu en sa séance du 14 juin 2000 ;

DECRETE

Article 1 : Sont classées <<routes nationales>> (RN) les routes citées ci-dessous :

- RN01 Ouagadougou/Sabou/Boromo/Houndé/Bobo-Dioulasso
- RN02 Ouagadougou/Yako/Ouahigouya/Frontière du Mali
- RN03 Ouagadougou/Kaya/Dori/Gorom-Gorom/Markoy/Tambao/Tin-Akoff/Frontière du Mali
- RN04 Ouagadougou/Zorgho/Koupéla/Fada N'Gourma/Piéga/Kantchari/Frontière du Niger
- RN05 Ouagadougou/Kombissiri/Pô/Frontière du Ghana
- RN06 Ouagadougou/Sapouy/Léo/Frontière du Ghana
- RN07 Bobo-Dioulasso/Banfora/Frontière de la Côte d'Ivoire
- RN08 Bobo-Dioulasso/Orodara/Frontière du Mali
- RN09 Bobo-Dioulasso/Faramana/Frontière du Mali
- RN10 Bobo-Dioulasso/Satiri/Dédougou/Tougan/Ouahigouya (Emb RN02)
- RN11 Orodara (Emb RN 8)/Banfora/Sidéradougou/Gaoua/Batié/Kpéré/Frontière de la Côte d'Ivoire
- RN12 Pâ (Emb RN 01)/Dano/Djipologo/Gaoua/Kampti/Frontière de la Côte d'Ivoire
- RN13 Yako (Emb RN 02)/Samba/Koudougou/Sabou/Léo (Emb RN 06)
- RN14 Sakoincé (Emb RN 01)/Koudougou/Dédougou/Nouna/Djibasso/Frontière du Mali



- RN15 Ouahigouya (Emb RN 02)/Kongoussi/Kaya/Pibaoré/Boulsa/Pouytenga/Sapaga (Emb RN04)
- RN16 Koupéla (Emb RN 04)/Tenkodogo/Bittou/Sankansé/Frontière du Togo
- RN17 Guiba (Emb RN 29)/Garango/Tenkodogo/Ouargaye/Sanga/Frontière du Togo
- RN18 Taparko (Emb RN 03)/Bogandé/Bilanga/Fada N'Gourma/Pama/Tindangou/Frontière du Bénin
- RN19 Kantchari (Emb RN 04)/Diapaga/Arly/Tindangou/Kompienga/Frontière du Togo
- RN20 Léo (Emb RN06)/Ouessa/Dissin/Djipologo (Emb RN12)
- RN21 Koudougou (Emb RN14)Réo/Toma/Tougan/Toéni/Néhourou/Fronitière du Mali
- RN22 Ouagadougou (Emb RN02)/Kongoussi/Djibo/Baraboulé/Frontière du Mali
- RN23 Ouahigouya (Emb RN02/Djibo)/Dori/Seytenga/Frontière du Niger
- RN24 Matiakoali (Emb RN04)/Gayéri/Liptougou/Sebba/Dori (RN23)
- RN25 Nébou (Emb RN06) Pô/Tiébélé/Ziou/Zabré/Youga/Bittou (Emb RN16)
- RN26 Sankansé (Emb RN16)/Sanga/Soudougou/Emb RN19
- RN27 Diébougou (Emb RN12)/Kléso/Yéguérésso (Emb RN 01)
- RN28 Mogandé (Emb RN16)/Frontière du Ghana
- RN29 Niorida (Emb RN05)/Manga/Gomboussougou/Zabré/Zoaga/Frontière du Ghana

Article 2 : Sont classées <<routes régionales >> (RR) les routes citées ci-dessous :

- RR01 Zorgho (Emb RN04)/Boulsa/Tougouri(Emb RN03)
- RR02 Korsimoro (EmbRN03)/Boulsa/Piéla (EmbRN18)
- RR03 Gorom-Gorom (Emb RN03)/Tassamakaté/Sikiré/Aribinda (Emb RN23)
- RR04 Gorom-Gorom (Emb RN03)/Oursi/Gandafabou/Sikiré (Emb RR03)
- RR05 Bilanga (Emb RN18)/Yanga/Audemtenga/Pouytenga (Emb RN15)
- RR06 Fada N'Gourma (Emb RN04)/Komin-Yanga/Ouargaye (Emb RN17)
- RR07 Tanghin (Emb RR01)/Méguet/Ziga/Wédéghin (Emb RR02)
- RR08 Latara (Emb RN 12)/Midebdo/Batié/Koriba/Frontière du Ghana
- RR09 Séla (Emb RN 16)/Bagré (Projet)/Dirzé/Dindéogo (Emb RN 29)
- RR10 Léo (Emb RN 20)/Sili/Laba/Zamo/Tiogo (Emb RN 14)

- RR11 Koinka (Emb RN 20)/Laro/Fara/Poura Carrefour (Emb RN 01)
- RR12 Pabré (Emb RN22)/Goupana/Toéghin/Bokin/Téma
- RR13 Bousse (Emb RN 02)/Nanoun/Kordic (Emb RN 13)
- RR14 Yako (Emb RN02)/Kirsi/Bokin/Malou/Mané/Kaya (Emb RN15)
- RR15 Yako (Emb RN 02)/La-Tudin/Yaba/Saran (Emb RN 21)
- RR16 Kolonkoura (Emb RN 14)/Soucn/Kouru/Mouara/Cassan/Kougny/To/Toma (Emb RN21)
- RR17 Nouna/Douk/Balavé/Soleizo/Bolomakoté/Bondokui (Emb RN 10)
- RR18 Bobo-Dioulasso (Emb RN08)/Dindéréso/Banzon/Samorogouan (Emb RR 19)
- RR19 Orodara (Emb RN 08)/Djigouéra/Samorogouan/Kourouma/Niéna/koundougou (Emb RN 09)
- RR20 Diéri (Emb RN 08)/Samogohiri/Bougoula (Emb RD 061)
- RR21 Banfora (Emb RN 07)/Wolonkoto/Douna/Sindou/Kankalaba/Sifarasso/Koleko (Emb RN 08)
- RR22 Sideradougou (Emb RN 11)/karankasso-Vigué/Klesso (Emb RN 27)
- RR23 Kouéré/Mangodara/Ouangolodougou/Niangoloko/Soubakaniédougou/Douna (Emb RR 21)
- RR24 Nouna /Sanaba/Solenzo/Kouka/Koundougou (Emb RN 09)
- RR25 Kpomane (Emb RN20)/Koper/Dano/Guégéré/Koumbia (Emb RN 01)
- RR26 Bondokouy (Emb RN 10)/Yaho/Bagassi/Ouahabou (Emb RN 01)
- RR27 Tonkar (Emb RN 12)/Nako/Tiankoura/lonioro/Diassara
- RR28 Ougrou/Nadiabondi/Partiaga/Kankan-Fouani/Namounou/Tambaga (Emb RD 015)
- RR29 Boromo (Emb RN 01)/Siby/Safané/Lanfiera (Emb RN 14)
- RR30 Sampaiga (Emb RN24)/Titabé/Frontière du Niger
- RR31 Tandjari (Emb RN 18)/Yamha/Casyéri/Barnébougou/Tankoualou/Frontière du Niger
- RR32 Kamin-Yanga (Emb RR 06)/Natenga/Dinbo/Zané/Tibga
- RR33 Loumbila (Emb RN 05)/Noussu/Koubri/Komki-Ipala/anglin-Dassouri (Emb RN 01)
- RR34 Tanghin-Dassouri (Emb RN01)/Sourgoubila/laye/Pahré/Loumbila (Emb RN 03)
- RR35 Houtié (Emb RN 01)/Bouahoun/Kofila/Sogosagnso (Emb RN 01)
- RR36 Dandé (Emb RN 09)/Kourouma/N'Dorota/Morolaba/Téméténesso

- RD026 Koupéla/Andemtenga (Emb RR 5)
- RD027 Komboéré/Boussouina
- RD028 Komboéré (Emb RN 17)/Komtoèga
- RD029 Gogo (Emb RR 08)/Koppelin
- RD030 Dindéogo (Emb RR 08)/Zonsé
- RD031 Koupéla/Yargo/Tensobentenga)/Kalwèga (Emb RN 16) /Dialgaye
- RD032 Baskouré (Emb RN 04)/I.ezogtenga/Zanré (Emb RR 32)
- RD033 Nobéré (Emb RN 05)/Manga
- RD034 Kalwartenga (Emb RN 15°/Kando
- RD035 Yargatenga/Sanga (Emb RN 17)
- RD036 Sella (Emb RN 16)/Bané
- RD037 Markoy (Emb RN 03)/Tokabangou/Frontière du Niger
- RD038 Salambaoré (Emb RR 06)/Yondé
- RD039 Kombissiri (Emb RN 05)/Gana/Sabsin/Saponé/Kayao
- RD040 Boudtenga (Emb RN 04)/Ziniaré/Zitenga /Mané
- RD041 Koudougou (Emb RN 14)/Saria/Poa (Emb RN 14)
- RD042 Koudougou (Emb RN 13)/Nandiala/Kindi/Lallé (Emb RN 02)
- RD043 Godé (Emb RN 01)/Rogo/Salbisgo/Emb RN 13
- RD044 Ténado (Emb RN 14)/Batondo
- RD045 Gana (Emb RD 039)/Tuiili/Guirgo/Toudou (Emb RN 05)
- RD046 Toéssé (Emb RN 05)/Bazèga
- RD047 Ipelcé (Emb RN 06)/Doulougou/Gana (Emb RD 039)
- RD048 RN5 (PK 3 de Kombissiri)/Gaongo
- RD049 Imasgo (Emb RN 13)/Soa
- RD050 Siglé (Emb RD 042)/Pella
- RD051 Emb RN 04 (Tordo)/Zoungou
- RD052 Poum (Emb RN 21)/Dassa

- RD134 Kampti (Emb RN 12)/Djigoue/Elentira/Frontière de la Côte d'Ivoire
- RD135 Nisséko (Emb RN27)/Iolonioko (Emb RR 27)
- RD136 RN 11 (PK 30 de Gaoua)/Legmoïn
- RD137 Zambo/Dissin (Emb RN 20)
- RD138 Bondigui (Emb RN 27)/Ouen
- RD139 Oronkua (Emb RN 12)/Kou/Toumzan/Mébar (Emb RN 12)
- RD140 Djindjerma (Emb RD 139)/Audini/Benkadi (Emb RN 12)
- RD141 Kossouka (Emb RN 15)/Rambo
- RD142 Kogho/Emb RR 2
- RD143 Zam/Méguet (Emb RR7)
- RD144 Bogandé/Thion/Mani (Emb RN18)
- RD145 Bindé (Emb RN 17)/Béré
- RD146 Emb RN 22/Ourgou-Manéga/Zitenga
- RD147 Kokologo (Emb RN 10)/Bingô
- RD148 Dapélogo (EMB RN 22)/Donso/Ziniaré (Emb RN 3)
- RD149 Ouahigouya/Namissiguïma
- RD150 Yé (EMB D 113)/To (Emb RR 16)
- RD151 Samorogouan (EMB RR 19)/Sindo
- RD152 Ouagadougou (Emb RN 04)/Saaba
- RD153 (~~Zitenga Ourgou~~) ^{Live} Zézo - GUELWONGE

Article 4 : Le présent décret abroge toutes dispositions antérieures contraires notamment le KFFI AN VIII 0329 bis/CE/OPS/ETH/DTJ 5 Juin 1991, portant classement des routes au Burkina Faso.

ANNEXE II :Caractéristiques géotechniques des matériaux

TUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR

Route Nationale N° 11: Orodara (Embranchement RN 08) - Batié (Embranchement RR 08)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT			ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{Dopt} (kN/m³)	95	98	
					80 µm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RN 11	1	4 - 000	380	27 500	16,3	35,0	43,3	79,0	32	34	17	7,0	19,7	40	45	
RN 11	1	8 - 200	600	21 500	18,3	30,0	33,0	81,0	25	32	12	8,1	19,9	35	40	
RN 11	1	14 - 900	425	18 750	9,0	20,0	23,0	87,0	25	33	17	7,0	22,3	33	150	
RN 11	1	15 - 150	820	23 000	16,0	31,3	24,3	78,3	25	41	11	8,2	23,3	42	80	
RN 11	1	18 - 200	500	16 000	11,0	16,3	19,0	78,0	20	38	19	8,6	21,2	32	75	
RN 11	1	22 - 400	180	24 375	28,0	36,5	39,0	77,5	40	59	15	10,3	19,1	32	90	
RN 11	1	26 - 000	150	29 750	16,0	22,3	24,0	72,3	50	31	29	7,1	23,8	50	85	
RN 11	1	26 - 900	150	20 250	15,4	21,3	23,0	73,0	40	43	24	6,8	24,7	60	125	
RN 11	1	29 - 800	230	15 750	14,0	23,3	23,5	66,0	40	38	19	8,8	21,9	43	62	
RN 11	1	31 - 800	200	26 250	6,3	21,3	24,0	76,3	32	32	13	6,6	23,1	32	32	
RN 11	1	32 - 700	230	18 750	7,3	22,3	24,3	71,3	40	20	7	6,0	24,2	55	38	
RN 11	1	4 - 850	200	11 250	14,3	20,3	23,0	92,0	40	37	18	8,0	22,3	30	40	
RN 11	2	8 - 836	350	15 750	3,0	22,3	21,3	93,0	20	32	39	9,0	20,9	35	60	
RN 11	2	13 - 850	100	13 125	19,0	25,3	29,0	91,0	40	11	13	7,3	21,3	32	48	
RN 11	2	18 - 870	380	15 000	20,7	36,0	30,0	94,0	32	42	23	5,8	21,7	63	35	
RN 11	3	25 - 050	150	16 875	12,0	18,0	21,0	91,3	25	35	20	7,7	22,1	68	110	
RN 11	3	30 - 000	220	11 250	16,3	24,3	28,0	90,0	32	33	16	7,0	21,3	50	65	
RN 11	3	34 - 400	130	24 000	14,3	20,0	22,3	87,3	30	36	20	6,3	22,4	50	60	
RN 11	3	42 - 070	150	17 000	15,0	26,3	33,3	95,0	16	34	17	6,7	22,4	40	65	
RN 11	3	47 - 050	470	19 125	6,3	16,0	23,3	93,0	20	43	21	7,7	21,3	52	150	
RN 11	3	47 - 320	100	18 750	8,0	17,0	32,3	97,3	20	45	27	7,8	22,3	70	110	
RN 11	3	52 - 170	400	11 250	7,3	16,3	32,0	83,0	15	29	14	9,6	20,3	50	68	
RN 11	3	59 - 900	250	18 000	6,3	21,3	32,3	87,3	25	20	11	7,3	21,8	70	105	
RN 11	4	64 - 420	200	18 750	10,0	19,0	32,0	95,3	25	19	20	6,3	22,3	65	82	
RN 11	4	68 - 740	210	18 000	10,0	22,0	32,0	93,3	25	24	17	6,3	22,1	75	110	
RN 11	4	75 - 150	420	18 000	8,3	18,0	40,3	93,0	16	39	20	7,3	21,9	66	48	
RN 11	4	77 - 780	80	13 500	9,3	22,0	46,3	91,0	25	44	27	6,7	21,8	41	44	
RN 11	4	81 - 340	100	13 125	7,0	19,0	35,3	91,3	10	27	9	7,2	21,9	60	125	

TUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR

Route Nationale N° 11: Orodara (Embranchement RN 08) - Batié (Embranchement RR 08)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE			EMPRUNT		ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{opt} (kN/m ³)	95	98	
					80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RN 11	4	88 + 290	260	14 000	10,5	19,0	26,5	98,5	13	34	17	7,7	21,8	66	105	
RN 11	4	90 + 460	150	15 000	13,5	24,0	29,5	99,0	16	29	14	7,0	22,3	42	95	
RN 11	4	93 + 200	150	18 750	9,0	15,5	20,0	97,5	20	18	19	6,6	21,3	38	60	
RN 11	5	80 + 510	100	17 875	15,0	21,5	26,0	89,0	32	28	12	7,5	22,4	70	10	
RN 11	5	86 + 000	125	18 000	12,5	22,0	28,5	89,0	32	34	17	8,0	23,4	3	60	
RN 11	5	91 + 000	170	16 875	17,5	18,5	21,5	76,0	32	55	31	8,2	21,8	60	48	
RN 11	5	96 + 100	180	20 000	14,5	20,5	25,0	95,5	25	45	25	8,0	22,6	60	10	
RN 11	6	68 + 000	150	15 000	13,5	21,0	28,0	95,5	20	35	18	8,2	22,4	58	47	
RN 11	6	74 + 630	150	16 875	15,0	23,0	32,0	86,5	40	30	15	7,3	22,1	42	64	
RN 11	7	56 + 690	100	16 875	17,0	25,5	28,5	78,0	25	54	18	7,0	22,0	54	47	
RN 11	7	62 + 000	125	18 750	14,0	20,0	23,0	77,0	50	36	19	7,0	21,7	48	75	
RN 11	8	42 + 000	125	20 625	11,0	19,5	22,0	82,5	40	23	9	7,3	22,6	30	87	
RN 11	8	46 + 770	240	21 250	10,0	23,5	32,5	95,0	32	30	14	7,7	21,2	48	30	
RN 11	8	50 + 490	175	16 975	12,0	21,5	27,0	87,0	40	34	18	7,3	21,9	65	85	
RN 11	8	53 + 480	400	17 500	9,0	12,5	15,0	58,0	32	36	18	6,4	21,8	48	85	
RN 11	9	4 + 815	855	22 750	13,0	16,0	26,0	81,0	32	58	31	8,5	22,6	30	71	
RN 11	9	9 + 000	300	18 000	10,5	18,5	25,0	90,0	25	31	14	7,0	22,8	35	40	
RN 11	9	9 + 440	185	13 000	9,0	22,5	29,5	86,5	32	19	11	7,0	22,2	60	100	
RN 11	9	14 + 610	820	22 500	7,5	15,5	21,5	90,0	25	24	17	6,3	23,4	30	45	
RN 11	9	16 + 900	225	18 000	9,0	15,5	24,5	99,0	10	31	16	7,2	22,8	50	90	
RN 11	9	22 + 850	390	19 125	12,0	23,0	40,0	90,0	25	35	18	7,0	22,1	75	100	
RN 11	9	28 + 050	160	20 000	8,0	14,5	22,5	91,5	32	26	12	6,3	23,4	65	70	
RN 11	9	33 + 000	300	16 875	11,0	18,5	26,5	72,0	40	21	8	7,3	22,1	66	72	
RN 11	9	35 + 000	200	16 000	10,0	17,0	23,5	91,5	40	36	16	7,8	22,7	30	38	
RN 11	10	4 + 900	200	17 500	5,5	11,5	24,5	86,5	32	34	17	6,2	22,2	45	38	
RN 11	10	6 + 000	425	24 750	7,5	10,5	15,5	82,0	40	52	29	7,3	25,2	55	42	
RN 11	10	11 + 000	590	26 000	12,0	16,0	20,0	86,0	32	59	34	8,1	22,6	50	45	
RN 11	10	15 + 530	250	20 000	10,5	13,0	20,0	30,0	32	56	30	8,6	21,7	50	45	

TUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR

Route Nationale N° 11: Orodara (Embranchement RN 08) - Batié (Embranchement RR 08)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE			EMPRUNT		ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	Y _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
					80 µm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RN 11	11	21 + 000	85	31 875	10,5	13,0	16,5	81,0	50	54	29	9,0	22,3	60	10	
RN 11	11	26 + 700	200	20 000	12,5	16,5	23,0	90,5	32	44	24	8,8	22,7	48	73	
RN 11	11	30 + 670	150	14 625	13,0	21,0	29,0	90,0	40	27	13	7,7	22,6	68	12	
RN 11	11	35 + 600	200	11 375	9,0	15,0	21,0	88,5	25	35	17	7,0	22,6	63	10	
RN 11	11	40 + 000	475	15 000	7,0	10,0	12,5	82,0	25	47	25	8,2	24,0	77	108	
RN 11	11	44 + 610	150	20 250	6,0	10,0	14,0	79,0	40	29	13	8,4	22,1	70	20	
RN 14	11	50 + 910	300	24 750	7,0	16,0	25,5	94,5	31	31	16	8,0	21,9	70	10	
RN 11	11	53 + 230	450	17 500	8,0	16,0	27,0	69,5	24	24	12	6,4	22,1	70	05	
RN 11	11	58 + 590	130	15 000	18,0	22,0	27,0	90,0	42	42	25	7,5	21,6	33	53	
RN 11	11	61 + 380	150	14 625	11,5	16,0	20,0	80,0	36	36	19	7,2	21,8	37	53	
RN 11	11	63 + 570	260	26 250	20,0	26,0	33,0	91,5	27	27	13	7,3	22,6	45	55	
Nombre de valeurs				67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Valeur minimale				11 250	5,0	10,0	12,5	30,0	10	19	7	5,8	19,1	30	48	
Valeur maximale				31 875	28,0	36,5	59,0	99,0	50	59	35	10,3	24,7	77	125	
Valeur moyenne				18 742	11,7	20,0	27,1	85,1	30	37	19	7,5	22,2	53	89	
Ecart type estimé				4 682	4,3	5,4	7,6	11,5	9	10	6	0,9	0,9	12	20	
Coefficient de variation (%)				25	37	27	28	14	30	27	34	11	4	23	23	

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRIEN DE ROUTES EN TERR

Route Nationale N° 14: Nouna (Embranchement RR 24) - Frontière du Mali

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT			ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS	
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98		
					80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)								
RN 14	16	04 + 240	400	21 000	10,0	16,5	18,0	54,5	25	24,0	10,0	5,9	25,1	90	140		
RN 14	17	08 + 000	2 000	14 625	13,0	18,0	19,0	76,0	25	25,5	11,0	6,2	24,3	75	100		
RN 14	17	10 + 450	915	14 000	11,0	18,0	23,0	60,5	25	22,0	8,5	6,2	25,9	90	140		
RN 14	17	11 + 690	680	15 000	18,0	24,0	28,0	71,5	25	30,0	14,0	7,5	23,0	50	80		
RN 14	17	19 + 000	110	11 125	24,0	33,0	38,0	77,5	32	24,0	10,0	6,3	22,5	50	90		
RN 14	17	19 + 900	1180	11 250	23,0	30,0	33,5	82,5	25	27,0	12,0	6,5	22,7	60	90		
RN 14	18	24 + 850	150	8 125	16,5	24,5	30,5	63,5	25	15,5	4,0	6,5	22,7	60	100		
RN 14	18	29 + 150	565	9 375	25,0	34,0	39,0	80,5	32	25,0	10,5	6,1	22,5	55	80		
RN 14	18	33 + 000	890	15 000	15,5	21,0	23,0	70,0	32	28,0	12,5	7,3	23,6	65	105		
RN 14	19	49 + 200	200	13 125	17,0	33,0	36,0	77,5	25	20,5	7,5	6,5	22,3	60	96		
RN 14	19	49 + 600	475	11 375	18,5	30,0	34,0	97,0	16	23,0	9,0	6,1	22,5	70	110		
RN 14	19	55 + 200	700	11 250	19,5	35,5	40,0	85,5	32	25,5	14,5	6,2	21,9	24	40		
RN 14	19	59 + 900	1800	16 875	12,5	26,5	29,5	67,0	32	40,0	20,0	7,6	21,3	50	77		
RN 14	20	74 + 000	1775	12 750	8,0	22,0	35,0	75,5	40	22,5	11,0	6,0	23,4	80	140		
RN 14	20	75 + 000	5100	26 250	9,0	20,0	24,0	69,0	32	30,0	16,0	6,8	23,1	58	110		
RN 14	20	78 + 000	475	12 375	12,0	23,5	33,5	75,0	40	27,5	14,5	6,4	21,7	70	123		
RN 14	20	83 + 050	950	11 375	17,5	25,0	35,5	98,5	10	27,5	12,0	6,4	22,2	60	90		
Nombre de valeurs				17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	
Valeur minimale				8 125	8,0	16,5	18,0	54,5	10	16	4	5,9	21,3	24	40		
Valeur maximale				26 250	25,0	35,5	40,0	98,5	40	40	20	7,6	25,9	90	140		
Valeur moyenne				13 816	15,9	25,6	30,6	75,4	28	26	12	6,5	23,0	63	101		
Ecart type estimé				4 382	5,2	6,1	7,0	11,6	7	5	4	0,5	1,2	16	26		
Coefficient de variation (%)				32	33	24	23	15	27	20	31	8	5	26	26		

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERRE

Route Nationale N° 21: Tougan (BK 81/133) - Frontière du Mali

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE			EMPRUNT		ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{don} (kN/m ³)	95	98	
					80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RN 21	7	2 - 685	115	15 000	25,0	29,0	33,0	77,5	25	44	24	8,8	19,7	33	37	
RN 21	7	7 - 300	215	13 000	22,5	25,5	29,0	71,5	40	41	22	7,7	20,1	32	34	
RN 21	7	11 - 630	155	15 000	25,0	28,3	32,0	73,0	40	44	24	8,8	19,2	31	36	
RN 21	7	16 - 860	600	11 250	18,0	21,5	24,0	60,0	40	36	18	6,8	21,6	35	38	
RN 21	7	22 - 166	190	13 250	23,0	27,5	31,5	55,0	32	33	21	7,3	19,9	34	37	
RN 21	7	27 - 000	195	18 000	24,0	28,0	33,0	63,0	32	35	23	9,3	19,6	34	34	
RN 21	8	32 - 330	200	10 500	16,5	19,5	21,0	67,5	25	35	17	6,4	22,4	33	38	
RN 21	8	36 - 385	455	14 625	19,5	22,0	24,5	55,0	40	42	20	6,5	21,5	37	35	
RN 21	8	44 - 600	425	11 250	22,0	24,5	26,0	64,5	40	45	25	8,5	20,4	22	34	
RN 21	9	47 - 080	390	11 375	13,0	16,5	19,0	50,5	40	38	21	6,5	21,8	33	33	
RN 21	10	52 - 380	295	18 000	12,5	16,5	21,0	37,5	40	42	22	6,4	20,7	31	34	
RN 21	10	58 - 000	100	13 000	11,5	14,5	16,5	50,0	32	40	21	5,7	22,7	43	37	
RN 21	10	65 - 000	255	14 000	13,5	17,5	20,0	55,0	40	34	19	6,7	21,4	33	34	
RN 21	10	68 - 392	210	12 250	20,5	24,0	27,0	61,0	40	40	21	7,2	19,7	42	31	
RN 21	10	72 - 215	185	11 250	13,0	16,5	19,0	51,5	40	36	21	7,1	21,7	36	39	
RN 21	10	78 - 357	945	13 000	21,0	24,0	27,0	59,0	50	52	27	8,5	20,3	33	40	
Nombre de valeurs				16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Valeur minimale				10 500	11,5	14,5	16,5	50,0	25	33	17	5,7	19,2	22	34	
Valeur maximale				18 000	25,0	29,0	33,0	77,5	50	55	33	9,3	22,7	43	74	
Valeur moyenne				13 359	18,8	22,2	25,2	60,7	37	41	22	7,4	20,8	34	50	
Ecart type estimé				2 292	4,8	4,9	5,5	8,3	7	6	4	1,1	1,1	5	13	
Coefficient de variation (%)				17	26	22	22	14	18	15	17	15	5	14	25	

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR

Route Nationale RN 23: Ouahigouya (Embranchement RN 02) - Dori (Embranchement RN 03)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT			ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cnbature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
					80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RN 23	1	5 + 419	251	14 000	16,0	21,0	26,5	75,5	50	40	21	8,2	22,0	60	90	
RN 23	1	10 + 000	614	8 125	16,0	22,0	27,0	74,0	32	35	12	6,5	22,7	61	81	
RN 23	2	16 + 185	475	9 750	19,0	24,5	28,0	74,0	32	32	16	7,4	22,7	53	66	
RN 23	2	22 + 151	259	9 000	16,5	27,0	29,0	66,0	32	24	13	6,4	22,5	47	72	
RN 23	2	25 + 558	505	14 000	19,0	28,5	32,0	69,5	50	28	16	7,0	21,6	30	75	
RN 23	2	30 + 887	334	12 250	21,0	28,0	31,0	78,5	32	34	18	7,0	21,8	43	60	
RN 23	3	36 + 690	835	13 000	23,0	26,5	28,5	69,0	40	46	25	8,7	20,8	41	71	
RN 23	3	41 + 000	345	13 125	14,5	22,5	26,5	72,0	40	24	13	6,3	22,5	46	69	
RN 23	3	45 + 193	545	12 250	19,0	22,0	25,0	82,0	20	46	23	7,5	20,7	27	41	
RN 23	4	51 + 085	778	13 000	15,0	20,5	26,0	64,5	40	33	18	8,3	20,7	38	39	
RN 23	4	56 + 069	371	14 000	18,5	23,5	30,0	70,5	35	28	15	6,8	21,6	35	54	
RN 23	4	60 + 000	407	14 000	15,5	21,0	26,5	71,0	25	33	17	8,4	21,2	54	76	
RN 23	4	64 + 145	561	13 125	23,0	31,0	27,0	72,0	32	34	17	8,2	20,4	28	45	
RN 23	5	68 + 820	323	12 000	16,5	23,0	28,0	76,0	40	25	13	7,6	21,8	30	42	
RN 23	5	74 + 076	223	12 250	24,0	32,0	37,0	75,0	32	31	17	8,1	21,3	34	56	
RN 23	5	79 + 379	360	14 000	19,0	24,5	28,0	72,5	40	27	14	7,4	21,7	45	61	
RN 23	5	83 + 675	835	14 875	18,5	24,0	30,5	77,0	32	30	16	7,7	21,4	37	51	
RN 23	6	89 + 711	290	15 000	14,5	21,0	27,0	70,0	25	25	13	7,3	21,2	35	36	
RN 23	6	94 + 117	1372	14 000	21,0	32,0	40,0	75,0	32	23	12	6,2	21,3	30	50	
RN 23	6	101 + 305	685	15 000	13,5	19,0	23,5	57,5	40	29	15	7,0	21,5	41	61	
RN 23	7	11 + 375	377	14 000	16,0	24,0	30,0	70,5	40	28	16	6,8	21,8	40	61	
RN 23	7	19 + 675	945	12 000	12,5	15,0	17,0	59,0	40	56	29	8,5	21,2	41	44	
RN 23	7	15 + 072	199	15 750	11,0	22,0	28,0	63,0	25	22	11	7,7	21,8	82	98	
RN 23	7	17 + 315	457	16 000	14,0	21,0	31,0	76,0	25	25	10	8,3	20,7	35	72	
RN 23	9	20 + 380	686	11 000	15,0	22,0	29,5	70,0	32	25	10	7,8	21,1	105	136	
RN 23	9	25 + 837	350	15 000	19,0	32,0	42,5	76,0	32	24	10	7,5	21,0	70	120	
RN 23	9	31 + 830	384	16 875	15,5	22,0	29,5	69,5	40	28	13	8,3	20,6	33	51	
RN 23	9	34 + 856	158	15 000	16,5	25,0	34,0	76,0	32	25	11	6,9	21,3	28	48	

TUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR
Route Nationale RN 23: Ouahigouya (Embranchement RN 02) - Dori (Embranchement RN 03)
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT			ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
					80 μm	0.4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RN 23	9	41 + 616	250	14 000	16,5	24,0	33,0	67,5	25	32	16	6,9	20,7	34	45	
RN 23	9	47 + 812	923	15 750	9,0	12,0	17,0	61,5	32	36	18	5,8	21,4	33	49	
RN 23	9	51 + 544	423	15 750	11,0	18,5	25,5	55,0	50	20	10	6,5	22,9	94	144	
RN 23	9	55 + 050	231	18 000	14,0	19,0	23,0	66,0	40	30	16	7,3	22,1	53	75	
RN 23	9	60 + 368	584	15 000	13,5	17,0	21,0	67,5	65	45	23	7,8	21,5	32	46	
RN 23	9	67 + 030	638	16 000	14,5	21,0	26,5	72,5	32	32	17	6,4	22,1	79	110	
RN 23	9	69 - 769	277	16 000	14,0	19,0	22,0	63,5	40	29	13	8,2	21,3	58	92	
RN 23	9	76 - 919	434	14 000	11,5	13,0	14,5	62,5	32	59	35	8,3	21,2	35	38	
RN 23	9	80 + 542	436	16 875	16,0	18,5	21,0	62,0	63	45	23	8,0	21,6	35	50	
RN 23	9	85 + 525	294	16 000	11,0	14,5	17,5	60,0	30	55	31	8,7	21,7	35	62	
RN 23	9	91 - 577	162	15 750	10,0	13,5	17,0	56,0	40	33	16	7,8	21,9	50	90	
RN 23	10	94 - 619	550	18 000	15,0	21,5	28,0	81,0	40	31	18	6,9	21,2	38	70	
RN 23	10	98 - 034	713	16 000	25,5	25,5	31,0	72,0	40,0	50	30	8	21,6	33	42	
RN 23	10	105 - 224	643	13 125	19,5	22,0	28,0	62,0	50,0	49	28	7	20,9	32	42	
RN 23	10	110 - 142	204	14 000	10,0	11,5	14,4	53,0	31,5	45	17	7	21,2	39	57	
RN 23	10	114 - 455	363	15 000	16,0	19,0	24,5	66,5	25,0	44	23	10	20,7	31	49	
RN 23	10	119 - 000	211	16 250	18,0	23,0	33,0	80,5	25,0	36	18	8	21,6	50	75	
RN 23	10	123 - 000	346	14 625	12,0	14,5	17,0	56,5	40,0	58	37	7	21,9	32	42	
RN 23	11	131 - 074	1375	14 000	18,5	30,5	37,5	79,0	31,5	32	16	8	20,9	32	52	
RN 23	12	135 - 374	138	13 500	10,0	15,0	19,0	60,5	25,0	44	22	8	21,3	32	56	
RN 23	12	141 - 950	156	14 000	9,0	11,5	14,0	47,5	50,0	47	24	8	21,9	33	56	
RN 23	12	146 - 121	80	15 000	13,0	22,0	30,0	74,5	31,5	25	11	7	21,6	73	101	
RN 23	12	150 - 097	283	16 875	10,5	15,0	19,0	64,0	40,0	55	28	7	22,4	40	60	
RN 23	12	154 - 117	402	14 000	11,5	16,0	19,5	72,0	50,0	36	19	7	22,2	36	62	
RN 23	12	157 - 100	271	14 625	7,0	9,5	11,0	50,0	50,0	53	31	8	21,5	41	68	
RN 23	12	165 - 121	2850	16 000	14,0	20,0	27,0	73,0	31,5	48	29	8	21,2	43	65	
RN 23	12	171 - 772	196	11 375	17,0	20,5	22,5	74,0	40,0	52	27	8	21,3	36	48	
RN 23	12	174 - 303	397	13 000	14,0	18,5	22,5	74,0	25,0	44	24	9	20,8	32	57	

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRIEN DE ROUTES EN TERR

Route Nationale RN 23: Ouahigouya (Embranchement RN 02) - Dori (Embranchement RN 03)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE			EMPRUNT		ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS	
Numéro	Section	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	ρ _{d,opt} (kN/m ³)	95	98		
					80 µm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)								
RN 23	12	175 + 557	350	13 500	15,5	19,5	22,0	71,0	40,0	58	36	8	21,4	45	55		
RN 23	12	184 + 264	295	13 500	13,0	19,0	22,0	65,0	40,0	64	40	9	21,3	34	45		
Nombre de valeurs				58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	
Valeur minimale				8 125	7,0	9,5	11,0	47,5	20	20	10	5,8	20,4	27	36		
Valeur maximale				18 000	24,0	32,0	42,5	82,0	63	64	40	9,7	22,9	105	144		
Valeur moyenne				14 170	15,4	21,1	26,0	68,5	37	37	19	7,6	21,5	43	64		
Ecart type estimé				1 972	3,9	5,4	6,7	7,9	9	12	7	0,8	0,6	16	23		
Coefficient de variation (%)				14	25	25	26	12	26	32	39	11	3	38	36		

TUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR
Route Régionale RR 14: Malou (Limite 3/9) (Carrefour RN 22) - Kaya (Embranchement RN 15)
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS	
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{OPM} (%)	γ _{dOPM} (kN/m ³)	95	98		
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)								
RR 14	5	6	06 + 69	107	14 000	28,0	30,0	33,5	83,5	20	31	25	10,2	19,7	36	50		
RR 14	5	7	99 + 706	491	13 500	14,0	17,0	21,5	72,3	40	60	33	7,7	21,6	40	57		
RR 14	5	8	95 + 549	304	10 500	20,0	26,0	35,0	82,0	40	60	29	11,2	19,2	32	45		
RR 14	5	9	88 + 557	337	14 000	20,5	25,0	31,0	74,5	40	41	21	8,7	20,3	35	47		
RR 14	6	5	10 + 17	119	14 000	16,5	19,5	25,5	73,0	50	33	18	7,7	22,0	33	63		
RR 14	6	4	13 + 09	155	15 000	15,5	17,5	21,5	72,0	40	36	19	7,6	21,7	38	53		
RR 14	6	3	119,000	59	16 000	19,5	22,0	25,5	63,0	40	50	28	9,2	20,8	40	60		
RR 14	6	2	23 + 76	173	14 625	16,5	19,0	22,0	56,0	50	45	19	10,3	21,4	34	40		
RR 14	6	1	29 + 90	301	15 000	25,0	29,0	33,0	72,0	40	61	32	9,0	21,0	36	49		
Nombre de valeurs					9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
Valeur minimale					10 500	14,0	17,0	21,5	56,0	20	33	18	7,6	19,2	32	40		
Valeur maximale					16 000	28,0	30,0	35,0	83,5	50	61	33	11,2	22,0	40	63		
Valeur moyenne					14 069	19,5	22,8	27,6	72,1	40	48	25	9,1	20,8	36	52		
Ecart type estimé					1 535	4,6	4,9	5,5	8,5	9	11	6	1,3	1,0	3	7		
Coefficient de variation (%)					11	24	22	20	12	22	22	23	14	5	8	14		

TUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR
Route Régionale RR 20: Diéri (Embranchement RN 08) - Bougoula (Embranchement RD 61)
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS	
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98		
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)								
RR 20	1	1	4+000	960	47 500	5,5	28,0	32,0	70,5	25	19	7	8,5	20,5	57	85		
RR 20	1	2	10+100	1 230	22 500	8,0	32,0	36,0	69,0	32	19	7	8,3	19,6	60	95		
RR 20	2	3	21+500	100	1 875	17,0	34,0	38,0	78,0	40	30	16	6,2	21,9	35	65		
RR 20	2	2 bis	22+280	180	35 000	15,5	27,0	29,5	71,0	35	34	17	9,6	19,9	50	80		
RR 20	2	3	23+300	100	7 500	13,0	18,0	19,5	85,5	32	40	19	8,6	20,5	38	62		
RR 20	3	4	26+140	450	8 750	21,0	33,3	35,5	81,5	32	47	25	8,8	19,2	63	90		
RR 20	3	5	29+570	50	2 625	15,0	22,0	23,5	76,0	25	44	22	9,3	20,5	31	50		
RR 20	3	6	34+500	70	5 250	26,0	36,5	39,5	79,0	40	40	20	8,7	20,2	45	69		
Nombre de valeurs					8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Valeur minimale					1 875	5,5	18,0	19,5	69,0	25	19	7	6,2	19,2	31	50		
Valeur maximale					47 500	26,0	36,5	39,5	85,5	40	47	25	9,6	21,9	63	95		
Valeur moyenne					16 335	15,1	28,9	31,2	76,3	31	34	16	8,5	20,5	47	75		
Ecart type estimé					16 959	6,6	6,4	7,1	5,8	6	11	7	1,0	0,8	12	15		
Coefficient de variation (%)					104	44	22	22	8	20	31	41	12	4	25	21		

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRIEN DE ROUTES EN TERR

Route Régionale RR 21: Sindou (Embranchement RD 62) - Koloko (Embranchement RN 08)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS		
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98			
						80 μm	0,4 mm	1 mm	10 mm	D (mm)									
RR 21	4	1	01+620	280	29 750	5,0	19,5	27,5	78,5	25	18	5	7,5	24,3	110	145			
RR 21	3	2	06+200	1150	30 000	4,5	22,0	27,0	70,5	32	23	9	7,5	23,6	90	125			
RR 21	4	3	12+600	300	15 000	14,5	30,0	36,0	86,0	20	27	12	8,2	21,8	40	60			
RR 21	4	4	16+100	790	28 000	5,0	26,0	35,0	82,5	32	19	7	8,0	21,2	70	120			
RR 21	5	1	21+890	85	4 500	18,0	35,0	26,5	74,0	32	39	19	7,5	21,7	37	74			
RR 21	5	5	22+850	180	24 000	20,5	30,0	31,5	69,5	32	38	19	8,3	21,1	45	70			
RR 21	5	6	25+000	280	22 000	15,0	28,0	29,5	69,5	32	26	11	6,8	22,0	50	75			
RR 21	5	7	29+580	65	6 750	36,0	41,0	43,5	83,5	25	39	21	4,8	22,2	35	57			
RR 21	6	7 bis	16+580	770	18 750	4,0	15,0	18,5	77,0	20	21	8	8,6	23,5	80	139			
RR 21	6	8	42+000	230	31 500	8,0	26,0	30,5	71,0	25	19	9	6,6	21,7	55	100			
RR 21	6	8 bis	46+200	540	18 000	21,0	34,0	37,5	95,5	20	32	16	7,8	22,5	38	63			
RR 21	6	9	48+200	200	10 500	8,0	18,0	21,0	70,0	32	22	8	9,0	22,4	60	90			
RR 21	6	6	54+080	100	3 000	16,5	35,0	40,0	72,5	40	32	16	8,0	20,0	30	50			
RR 21	6	10	55+400	200	17 000	8,0	30,0	34,0	74,0	32	20	7	7,9	19,8	55	95			
RR 21	6	7	59+000	320	11 000	10,5	19,5	22,0	69,0	50	38	21	6,4	24,6	65	60			
RR 21	7	8	62+900	68	6 000	11,5	20,0	23,0	67,0	50	37	19	7,8	21,8	42	68			
RR 21	7	11	62+900	180	18 000	5,5	20,0	24,0	64,0	32	18	5	6,9	23,9	83	140			
RR 21	7	12	64+300	100	12 000	11,0	20,0	23,0	69,5	32	29	14	7,2	20,5	48	75			
RR 21	7	10	68+320	95	7 000	7,5	22,0	27,0	68,5	80	24	12	8,1	22,3	66	97			
RR 21	7	11	72+015	340	10 000	20,5	33,0	38,0	72,5	50	35	19	8,0	20,6	37	51			
Nombre de valeurs					20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Valeur minimale					3 000	3,0	15,0	18,5	64,0	20	18	5	4,8	19,8	30	50			
Valeur maximale					31 500	26,0	41,0	43,5	95,5	80	39	21	9,0	24,6	110	145			
Valeur moyenne					16 438	11,9	25,7	29,8	74,7	49	28,1	15	7,5	22,1	67	85			
Ecart type estimé					9 066	6,7	6,8	7,0	7,6	14	8	5	0,9	1,4	21	31			

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERR
Route Régionale RR 21: Sindou (Embranchement RD 62) - Koloko (Embranchement RN 08)
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS	
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{OPM} (%)	γ ^d _{OPM} (kN/m ³)	95	98		
						80 μm	0.4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)								
Coefficient de variation (%)						56	56	26	24	10	41	28	43	12	6	37	36	

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERRU

Route Régionale RR 25: Dano (Embranchement RN 12) - Koumbia (Embranchement RN 01)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS	
Numero	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{opt} (kN/m ³)	95	98		
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)								
RR 25	2	1	2 + 555	235	18 750	8,0	11,0	16,5	61,5	60	44	22	9,1	23,1	62	120		
RR 25	2	2	4 + 50	655	24 000	16,0	20,0	26,5	91,0	25	39	19	8,0	23,0	45	80		
RR 25	2	3	10 + 850	75	28 000	10,5	12,5	13,0	77,0	32	40	20	9,6	22,8	50	75		
RR 25	2	4	13 + 840	260	18 000	13,0	18,5	24,0	82,5	50	40	22	8,2	23,6	52	64		
RR 25	3	1	2 + 500	140	19 250	16,5	18,0	21,5	75,0	60	39	34	7,6	23,3	45	55		
RR 25	3	2	9 + 100	500	26 500	13,5	21,5	30,5	89,0	32	39	22	8,0	22,2	68	105		
RR 25	3	3	12 + 300	200	16 875	10,5	19,0	26,0	73,5	40	19	6	7,5	22,9	60	98		
RR 25	4	1	0 + 800	255	24 375	10,0	19,5	27,0	94,0	20	29	14	7,0	22,9	54	94		
RR 25	4	2	5 + 800	175	17 875	10,5	20,0	29,0	92,0	25	27	12	7,8	22,6	52	75		
RR 25	4	3	11 + 900	250	23 750	11,0	19,5	27,0	88,0	20	28	14	6,7	23,3	71	100		
RR 25	4	4	18 + 900	150	17 500	12,5	24,5	27,5	83,0	32	27	12	6,7	23,0	70	105		
RR 25	4	4 A	17 + 000	100	9 750	12,0	24,0	32,0	97,0	20	29	14	7,0	23,4	60	100		
RR 25	4	5	24 + 000	165	20 625	12,5	18,0	27,0	93,0	20	44	22	7,5	22,7	45	78		
RR 25	4	6	26 + 600	125	17 000	15,0	18,0	26,0	92,5	32	44	23	6,5	23,4	50	82		
RR 25	4	7	29 + 900	230	18 000	9,5	17,0	24,0	77,0	40	30	15	6,0	24,5	75	120		
RR 25	4	8	33 + 400	165	15 000	11,5	23,0	35,0	94,0	25	24	10	6,9	23,1	55	100		
RR 25	5	1	1 + 300	125	20 625	16,0	20,0	26,0	93,5	20	36	18	8,0	22,2	60	98		
RR 25	5	2	4 + 400	180	25 000	14,0	18,0	22,5	96,5	20	42	22	7,5	23,5	48	84		
RR 25	5	2 bis	6 + 400	125	18 750	16,0	21,0	26,0	97,5	25	36	17	7,5	23,6	65	77		
RR 25	5	3	12 + 400	255	22 500	16,5	20,5	24,5	85,5	25	48	27	8,3	23,4	35	54		
RR 25	5	4	16 + 500	395	30 000	11,5	13,0	20,5	89,0	25	48	25	7,8	23,4	50	84		
RR 25	5	5	21 + 900	360	16 000	11,0	21,0	28,0	85,5	40	26	11	8,0	22,4	72	93		
RR 25	5	6	27 + 100	430	19 125	8,0	15,5	26,5	90,0	32	31	15	7,7	21,7	70	92		
Nombre de valeurs					23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
Valeur minimale					9 750	8,0	11,0	15,0	61,5	20	19	6	6,0	21,7	35	53		

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRIEN DE ROUTES EN TERRI

Route Régionale RR 25: Dano (Embranchement RN 12) - Koumbia (Embranchement RN 01)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
Valeur maximale					30 000	16,5	24,5	35,0	97,5	60	59	34	9,6	24,5	75	120	
Valeur moyenne					20 375	12,4	18,8	25,6	86,8	31	36	18	7,6	23,0	57	88	
Ecart type estimé					4 638	2,6	3,4	4,5	9,0	12	10	6	0,8	6,6	11	18	
Coefficient de variation (%)					23	21	18	17	10	39	27	36	11	3	19	20	

ÉTUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERRI
Route Régionale RR 28: Ougarou (Embranchement RN 04) - Tambaga (Embranchement RD 15)
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RR 28	1	ON 1	0 + 000	250	14 000	18,0	24,0	32,0	85,0	25	27	12	6,2	22,2	55	105	
RR 28	1	ON 2	4 + 000	125	18 750	18,5	23,5	28,0	77,5	20	28	14	7,5	22,1	37	50	
RR 28	1	ON 3	9 + 000	125	11 250	12,5	20,0	28,0	69,5	32	23	10	6,8	22,3	32	55	
RR 28	1	ON 4	14 + 000	100	13 125	17,0	24,0	31,0	86,5	25	23	11	6,5	22,4	33	55	
RR 28	1	ON 5 A	20 + 000	200	21 000	20,0	35,5	45,5	96,5	16	23	9	8,2	21,6	45	90	
RR 28	1	ON 5 B	20 + 000	200	21 000	21,0	31,5	39,5	91,0	20	26	10	7,0	21,8	32	65	
RR 28	1	ON 6	25 + 000	125	11 375	16,0	23,0	27,5	83,0	40	28	12	6,5	22,0	50	95	
RR 28	1	ON 7	29 + 000	75	14 000	20,5	27,0	31,5	81,5	25	25	10	6,2	22,5	38	75	
RR 28	1	ON 8	35 + 000	75	14 000	16,0	19,0	22,0	79,0	32	31	15	7,6	22,1	30	55	
RR 28	1	ON 9	40 + 000	125	13 125	22,5	29,5	36,0	92,5	32	26	11	6,2	22,6	30	43	
RR 28	1	ON 10	44 + 000	200	9 750	19,0	26,0	34,0	91,5	32	32	16	8,0	21,8	35	50	
RR 28	1	ON 11	50 + 000	100	9 750	21,5	28,0	34,5	80,0	40	27	12	6,0	22,7	35	65	
RR 28	1	ON 12	55 + 000	100	11 250	24,5	29,0	33,0	88,5	32	36	19	7,5	22,7	45	72	
RR 28	1	ON 13	60 + 000	200	14 000	29,0	32,5	59,0	83,5	32	68	39	12,0	18,9	11	17	
RR 28	1	ON 14	65 + 000	125	11 250	17,5	22,5	27,5	92,5	32	28	12	6,7	22,7	35	70	
RR 28	1	ON 15	70 + 000	200	14 000	10,0	22,0	32,0	81,0	25	33	15	7,6	21,9	40	90	
RR 28	1	ON 16	74 + 000	100	16 250	16,0	21,0	46,0	77,0	50	39	21	7,1	22,7	60	105	
RR 28	2	NP	BK 5/2	200	11 000	18,5	24,0	37,5	81,0	32	55	32	8,8	21,7	24	40	
RR 28	3	KP 1	BK 7/1	175	14 000	23,0	27,5	32,0	89,0	40	29	14	6,8	23,0	35	50	
RR 28	3	KP 2	BK 4/4	100	10 500	26,5	30,0	36,5	91,5	40	47	26	9,2	21,6	32	50	
RR 28	4	KN 1	BK 14/1	100	10 500	26,5	34,0	39,0	93,0	32	28	12	7,0	22,3	51	100	
RR 28	4	KN 2	BK 9/6	125	13 000	21,5	26,5	33,5	93,0	20	35	18	9,2	22,5	20	30	
RR 28	4	KN 3	BK 5/10	100	11 375	18,5	21,5	27,5	69,0	40	55	30	10,0	22,0	17	23	
RR 28	5	NT 1	2 + 000	75	3 000	20,0	31,0	37,0	80,5	32	44	24	7,8	22,5	29	41	
RR 28	5	NT 1bis	2 + 500	150	5 000	17,0	24,0	27,5	68,5	32	49	27	8,5	22,4	31	45	
RR 28	5	NT 2	6 + 000	175	14 625	14,0	22,0	33,0	87,0	20	36	18	7,0	22,7	45	75	

ÉTUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERRI
Route Régionale RR 28: Ougarou (Embranchement RN 04) - Tambaga (Embranchement RD 15)
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dom} (kN/m ³)	95	98	
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	0 (mm)							
Nombre de valeurs					26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Valeur minimale					3 000	10,0	19,0	22,0	68,5	16	23	9	6,0	18,9	11	17	
Valeur maximale					21 000	29,0	35,5	59,0	96,5	50	68	39	12,0	23,0	60	105	
Valeur moyenne					12 726	19,4	26,1	34,3	84,7	37	34	10	6	22,1	36	62	
Ecart type estimé					3 972	4,4	4,5	7,5	7,8	8	12	8	1,4	0,8	11	25	
Coefficient de variation (%)					31	22	17	22	9	25	34	47	18	3	31	40	

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRTIEN DE ROUTES EN TERRI

Route Régionale RR 35: Houndé - Kofila

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{OPM} (%)	γ _{DOPM} (kN/m ³)	95	98	
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RR 35	1	1	4 - 100	380	16 875	7,0	9,0	11,5	86,5	25	31	14	6,2	23,2	50	85	
RR 35	1	2	8 - 100	220	26 000	16,0	18,0	21,5	79,0	20	46	25	8,8	23,3	50	75	
RR 35	1	3	14 - 400	650	12 750	18,0	19,5	24,0	94,5	20	37	19	7,5	23,9	75	100	
RR 35	1	4	16 - 600	220	22 500	18,5	21,0	24,0	85,0	20	37	19	6,7	24,1	50	90	
RR 35	1	5	22 - 800	340	14 000	10,0	12,0	16,0	95,5	25	47	26	6,5	22,7	50	80	
RR 35	1	6	29 - 500	160	12 750	17,5	24,0	29,0	87,0	25	29	14	7,7	21,9	42	70	
RR 35	1	7	34 - 500	200	15 000	14,0	23,5	29,0	90,0	25	22	9	6,5	22,7	40	74	
RR 35	1	8	40 - 500	100	15 000	15,5	22,5	27,5	80,0	50	19	7	5,6	23,5	75	95	
RR 35	1	9	43 - 900	100	15 000	12,0	25,0	32,5	96,5	32	21	8	6,8	22,2	55	85	
RR 35	1	10	47 - 200	150	16 875	12,5	25,5	30,5	79,5	32	28	13	7,5	21,6	55	90	
Nombre de valeurs					10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Valeur minimale					12 750	7,0	9,0	11,5	79,0	20	19	7	5,6	21,6	40	70	
Valeur maximale					26 000	18,5	25,5	32,5	96,5	50	47	26	8,8	24,1	75	100	
Valeur moyenne					16 675	14,1	20,0	24,6	87,4	27	32	15	7,0	22,9	54	84	
Ecart type estimé					4 312	3,7	5,6	6,7	6,7	9	10	7	0,9	0,8	12	10	
Coefficient de variation (%)					26	27	28	27	8	33	32	45	13	4	21	11	

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRIEN DE ROUTES EN TERRE
Route Départementale RD 007: Kantchari (Embranchement RN 19) - Frontière du Niger
 Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RD 007	1	KS1	BK 70/1	150	13 125	17,0	27,0	37,0	90,5	25	28	13	7,5	22,1	40	80	
RD 007	1	KS2	BK 65/6	150	14 000	17,5	25,5	37,0	80,0	40	21	9	6,5	22,7	43	70	
RD 007	1	KS3	BK60/11	75	14 000	14,5	20,0	26,0	73,5	40	38	19	6,3	22,5	33	55	
RD 007	1	KS4	BK56/15	100	15 000	14,5	22,0	31,0	81,5	25	37	19	7,0	22,6	43	65	
RD 007	2	SB1	BK51/20	300	10 500	11,3	20,0	25,5	67,5	50	28	13	6,5	22,1	65	95	
RD 007	2	SB2	BK46/25	125	13 000	10,0	16,0	24,0	69,0	25	32	16	7,5	22,1	42	62	
RD 007	2	SB3	BK42/29	225	10 500	15,5	23,5	31,0	78,0	32	33	17	6,7	22,0	35	60	
RD 007	2	SB4	BK36/35	225	9 750	14,5	25,5	41,0	89,5	32	29	13	7,0	22,2	50	80	
RD 007	2	SB5	BK31/40	150	12 000	16,5	27,0	40,0	83,0	25	29	14	6,5	22,0	51	90	
RD 007	2	SB6	BK26/45	225	11 375	13,0	23,0	36,5	82,5	25	30	13	6,5	21,9	50	90	
RD 007	2	SB7	BK21/50	350	9 000	11,3	21,0	29,0	80,5	32	33	16	7,0	22,0	50	95	
RD 007	2	SB8	BK16/55	225	10 500	15,5	34,5	39,0	69,5	40	28	12	6,6	22,1	40	70	
RD 007	3	BF1	BK10/61	650	10 500	14,0	27,5	38,5	72,0	50	25	11	6,0	21,9	51	95	
Nombre de valeurs					13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Valeur minimale					9 000	10,0	16,0	24,0	67,5	25	21	9	6,0	21,9	33	55	
Valeur maximale					15 000	17,5	34,5	41,0	90,5	50	38	19	7,5	22,7	65	95	
Valeur moyenne					10 788	13,5	24,0	32,5	78,2	30	30	13	6,5	22,2	46	77	
Ecart type estimé					1 874	2,3	4,6	6,0	7,5	9	5	3	0,4	0,3	8	15	
Coefficient de variation (%)					16	16	19	18	10	28	15	23	7	1	18	19	

LNBTP OUAGADOUGOU .

ETUDE DE RECHERCHE DE MATERIAUX DE VIABILITE DANS LE CADRE DES TRAVAUX D'ENTRIEN DE ROUTES EN TERRE

Route Départementale RD 008: Diapaga (Embranchement RN 19) - Kodjari (Embranchement RD 012)

Caractéristiques géotechniques des matériaux

ROUTE		EMPRUNT				ANALYSE GRANULOMETRIQUE					LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		PORTANCE CBR (%OPM)		OBSERVATIONS
Numéro	Section	Numéro	PK	Distance morte (m)	Cubature (m ³)	Passants à					w _L	I _p	w _{opt} (%)	γ _{dopt} (kN/m ³)	95	98	
						80 μm	0,4 mm	2 mm	10 mm	D (mm)							
RD008	1	DT1	2 + 000	100	13 125	17,0	20,5	25,5	89,0	25	30	14	7,6	22,1	55	85	
RD008	1	DT2	8 + 000	100	12 000	27,0	34,0	42,5	93,0	40	27	12	8,0	21,9	51	85	
RD008	1	DT3	15 + 000	125	12 350	19,0	26,5	35,0	89,5	40	29	13	7,0	22,7	40	90	
RD008	1	DT4	20 + 000	100	9 000	31,0	39,5	48,5	89,5	20	22	9	6,5	22,3	50	77	
RD008	2	TK1	2 + 000	225	11 575	21,0	29,0	35,0	82,0	32	21	8	6,7	22,7	51	85	
RD008	2	TK2	6 + 000	300	12 000	25,0	32,5	40,0	83,0	32	26	11	7,2	21,6	21	35	
RD008	2	TK3	11 + 000	150	9 750	11,5	23,0	28,0	69,5	40	19	5	6,6	22,3	56	105	
RD008	2	TK4	15 + 000	425	18 000	20,0	24,0	29,0	90,5	20	27	12	7,5	21,8	55	105	
Nombre de valeurs					8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Valeur minimale					9 000	11,5	20,5	25,5	69,5	20	19	5	6,5	21,6	21	35	
Valeur maximale					18 000	31,0	39,5	48,5	93,0	40	30	14	8,0	22,7	56	105	
Valeur moyenne					12 188	21,4	28,6	35,2	85,8	31	25	10	7,1	22,2	47	83	
Ecart type estimé					2 712	6,1	6,4	8,0	7,6	9	4	3	0,5	0,4	12	22	
Coefficient de variation (%)					22	29	22	23	9	28	16	28	7	2	25	26	

ANNEXE III : Résultats détaillés des vérifications avec Altizé

Gorom gorom Gagara

ROUE SIMPLE
A= .160 Q= 8.000
NOMBRE DE COUCHES 2

```
*****  
* * * * *  
* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *  
*****  
* .00 * * .124E-02 * .720E+01 * .249E-02 * .800E+01A *  
* * E= 900. * * * * *  
* * NU= .40 * * * * *  
* * H1= 16.00 * * * * *  
* 16.00 * * -.110E-05 * -.113E-02 * .188E-05 * .786E-03 *  
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*  
* 16.00 * * -.110E-05 * -.274E-04 * .269E-05 * .786E-03 *  
* * E= 300. * * * * *  
* * NU= .40 * * * * *  
* * H2=INFINI * * * * *  
* * * * *  
*****  
* D * 2.42MM/100 * R*D *  
* R * .23M * .56M*MM/100 *  
*****
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

Yeguéresso- Dédougou

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620

NOMBRE DE COUCHES 3

```

*****
* * * * *
* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****
* .00* * .166E-02A* -.185E+00C* .660E-02B* .662E+01A*
* * E= 500. * * * * *
* * NU= .35 * * * * *
* * H1= 20.00 * * * * *
* 20.00* * -.419E-02B* -.900E+00B* .872E-02A* .384E+01B*
* -----*---DECOLLE-----*-----*-----*
* 20.00* * .420E-03B* .384E+01B* .443E-03A* .384E+01B*
* * E= 3000. * * * * *
* * NU= .35 * * * * *
* * H2= 30.00 * * * * *
* 50.00* * -.316E-03C* -.618E+00C* .505E-03C* .121E+01C*
* -----*--- COLLE-----*-----*-----*
* 50.00* * -.316E-03C* .167E-01B* .755E-03C* .121E+01C*
* * E= 1500. * * * * *
* * NU= .35 * * * * *
* * H3=INFINI * * * * *
* * * * *
*****
* D * 106.31MM/100 * R*D *
* R * 17.42M * 1851.51M*MM/100 *
*****

```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

Dédougou- Tougan

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

```

*****
*   *   *   *   *   *
* Z *   * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****
* .00*   * .767E-03A* .510E+01A* .239E-02B* .662E+01A*
* * E= 1300. *   *   *   *   *
* * NU= .35 *   *   *   *   *
* * H1= 15.00 *   *   *   *   *
* 15.00*   * -.238E-02B* -.195E+01B* .455E-02A* .468E+01A*
* -----*--DECOLLE-----*-----*-----*
* 15.00*   * .546E-03B* .482E+01B* .492E-03A* .468E+01A*
* * E= 3000. *   *   *   *   *
* * NU= .35 *   *   *   *   *
* * H2= 20.00 *   *   *   *   *
* 35.00*   * -.437E-03C* -.742E+00B* .719E-03B* .178E+01B*
* -----*-- COLLE-----*-----*-----*
* 35.00*   * -.437E-03C* .108E+00B* .109E-02B* .178E+01B*
* * E= 1500. *   *   *   *   *
* * NU= .35 *   *   *   *   *
* * H3=INFINI *   *   *   *   *
* *   *   *   *   *
*****
* D *   75.32MM/100   *   R*D   *
* R *   37.74M   *   2842.85M*MM/100   *
*****
MODULES           ET           CONTRAINTES           EN           BARS
  
```