

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION

1^{ère} partie : GENERALITES

Chapitre 1 : IMPORTANCE DE LA ROUTE

Chapitre 2 : généralités sur les chaussées

Chapitre 3 : dimensionnement des chaussées

2^{ème} partie : DESCRIPTION DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE

Chapitre 1 : METHODES EMPIRIQUES

Chapitre 2 : Méthodes mécanique-empiriques

Chapitre 3 : méthodes des catalogues de structures

3^{ème} partie : ANALYSE DES METHODES ET APPLICATION

Chapitre 1 : analyse des méthodes

Chapitre 2 : avantages et inconvénients des méthodes

Chapitre 3 : APPLICATION

CONCLUSION générale

REMERCIEMENTS

Je tiens à saisir cette occasion et adresser mes sincères remerciements et mes profondes reconnaissances à :

- Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.
- Monsieur RALAIARISON Moïse qui, en tant qu'encadreur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.
- Aux responsables et aux personnels de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo :
 - Directeur : ANDRIANARY Philippe Antoine
 - Chef de Département Bâtiment et Travaux Publics : RANDRIANTSIMBAZAFY Andrianirina
 - Membres de jury :
 - RAHELISON Landy Harivony, Maître de conférences
 - ANDRIANARIMANANA R Richard, Enseignant à l'ESPA
 - RAMBOLAMANANA Gilles, Ingénieur des Travaux Publics, Directeur Régional des Travaux Publics de l'Itasy
 - Tous les enseignants au Département Bâtiment et Travaux Publics.
- Mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.
- Tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes !



LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 01 : Facteurs d'équivalence des essieux
- Tableau 02 : Epaisseurs minimales des couches selon le LCPC
- Tableau 03 : Classification des trafics selon le LNTPB
- Tableau 04 : Coefficients correcteurs pour un taux d'accroissement différent de 10%
- Tableau 05 : Coefficients correcteurs pour une durée de vie différente de 15 ans
- Tableau 06 : Coefficients d'équivalence à adopter pour quelques matériaux
- Tableau 07 : Epaisseurs minimales des couches selon la LNTPB
- Tableau 08 : Classification de la plateforme selon le LCPC
- Tableau 09 : Classification du sol-support selon la CEPTP
- Tableau 10 : Classe de trafic en nombre de véhicules par jour selon la CEBTP
- Tableau 11 : Classe de trafic en nombre cumulé de poids lourds selon la CEBTP
- Tableau 12 : Classe de trafic en nombre cumulé de passages d'un essieu standard selon la CEBTP
- Tableau 13 : Classe de trafic selon SETRA-LCPC
- Tableau 14 : Détermination de la classe de la plateforme selon SETRA-LCPC
- Tableau 15 : Type de chaussée du SETRA-LCPC
- Tableau 16 : Synthèse des méthodes de dimensionnement
- Tableau 17 : Superficie rizicole totale de Madagascar et de la Région d'Alaotra Mangoro
- Tableau 18 : Données géotechnique du tronçon concerné
- Tableau 19 : Hypothèses de trafic
- Tableau 20 : Pluviosité annuelle de la Région d'Alaotra Mangoro
- Tableau 21 : Températures moyennes mensuelles et annuelles de la Région d'Alaotra Mangoro
- Tableau 22 : Classe des sols de la plateforme du tronçon concerné
- Tableau 23 : Structures de chaussée selon la méthode CEBTP
- Tableau 24 : Structures et vérification selon la méthode rationnelle
- Tableau 25 : Synthèse des deux structures

LISTE DES FIGURES

- Figure 01 : Structure d'une chaussée rigide
- Figure 02 : Structure d'une chaussée semi-rigide
- Figure 03 : Structure d'une chaussée souple
- Figure 04 : Fonctionnement d'une méthode mécanique empirique de dimensionnement
- Figure 05 : Fonctionnement d'une méthode incrémentale de dimensionnement
- Figure 06 : Détermination de l'épaisseur des couches selon la méthode CBR
- Figure 07 : Diffusion des pressions dans un massif Boussinesq
- Figure 08 : Modèle de Hogg
- Figure 09 : Modèle de Westergaard
- Figure 10 : Modèle de Burmister
- Figure 11 : Principe de dimensionnement rationnel
- Figure 12 : Principe illustrant la déflexion d'un sol sous l'effet de passage d'une charge roulante
- Figure 13 : Localisation géographique de la Région

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

σ_{adm} : Contraintes admissible

CBR: Californian Bearing Ratio

CEBTP:

e : Epaisseurs

E : Module d'élasticité du sol

I_p : Indice de plasticité

K : Module de réaction du sol

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LNTPB : Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment

N : durée de vie de la chaussée

P : charges des roues

PF : Plateforme

q : Pression ou charge des pneumatiques

SETRA :

TL : Trafic Lourd

TN : Trafic Normal

W_l : Teneur en eau, limite de liquidité

W_p : Teneur en eau, limite de plasticité

σ : Contrainte

MJA: Moyenne Journalière Annuelle

RN : Route Nationale

Δ : Opérateur Laplacien

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXES I : abaques servant à la détermination des épaisseurs des chaussées
- ANNEXES II : Abaque servant à la détermination du facteur global d'un véhicule et courbe d'interpolation
- ANNEXES III : Structure des chaussées par les méthodes proposant des structures-types
- ANNEXES IV : Les essais géotechniques pour le dimensionnement des chaussées
- ANNEXE V : Le logiciel alize



INTRODUCTION

Madagascar est un pays en voie de développement. On constate un retard important sur la construction des nouvelles infrastructures surtout dans le domaine routier. En plus, le problème d'Entretien routier demeure encore un grand problème pour le pays et cela constitue un obstacle pour son développement.

Le développement d'un pays est étroitement lié à ces infrastructures de transport terrestre.

La principale fonction de la route est d'assurer la circulation des biens et des personnes dans des meilleures conditions c'est-à-dire dans le confort et la sécurité.

Pour assurer cette fonction, comme toute les ouvrages du Génie Civil, des études préalables doivent être effectuées afin d'avoir une bonne qualité de route et cela pourra minimiser les Entretiens ultérieurs.

La phase de dimensionnement est une phase très importante pour ces études. Plusieurs méthodes ont été développées en ce qui concerne le dimensionnement des chaussées. Il est alors nécessaire de bien analyser ces différentes méthodes avant de les appliquer à une telle circonstance et c'est l'analyse de ces différentes méthodes que l'étude menée ici va s'intéresser.

Pour se faire, on va voir en première partie des généralités, ensuite une description de quelques méthodes de dimensionnement sera avancée et enfin on va apporter une analyse de ces méthodes et une application sur un tronçon de route à Madagascar.

I^{ère} partie : GENERALITES

CHAPITRE I : IMPORTANCE DE LA ROUTE

I. Historiques des infrastructures routières :

L'histoire de la route est indubitablement attachée au développement de l'humanité et des civilisations.

La civilisation romaine a véritablement marqué de son empreinte une partie de l'Europe par l'aménagement d'infrastructures, qu'elles soient viaires ou bien d'adduction d'eau potables. Leur conception leur a permis d'en laisser trace jusqu'à nos jours.

Il est important de noter que l'histoire des routes est aussi liée à la volonté d'expansion des nations et donc des besoins de leurs armées. Il est alors nécessaire de pouvoir déplacer des troupes et de l'armement rapidement à travers de nouveaux pays.

Ces voies sont alors assez rapidement marquées par leur capacité à supporter la circulation des chars tirés par des attelages bovins. Il est nécessaire dans ces conditions qu'elles disposent la résistance mécanique nécessaire. La notion de chaussée est inventée. Les Romains utilisent alors des matériaux minéraux durs sous forme de blocs. Les techniques utilisées proviennent de la maçonnerie, on donne alors à la route une forme bombée, ce qui permet le report des efforts sur les bords de chaussée qu'il suffit alors de caler. Cette technique est utilisée pendant près de 20 siècles.

II. Fonction économique de la route

La route est une voie de communication (une voie terrestre) qui permet le développement des transports qui, à leur tour, favorisent la réduction des distances entre les lieux, entre les producteurs et les consommateurs.

2.1. La route : clef du développement

La route joue un rôle important dans le développement économique d'un pays.

Les routes urbaines ont une importance capitale :

- Réduction du coût de la vie ;
- Diminution des accidents de la route ;
- Fluidité des activités économiques.

Les routes rurales permettent de désenclaver les zones de production en améliorant l'écoulement des marchandises vers les villes réduisant ainsi les coûts de transport, améliore

l'accessibilité aux services de base (services de santé, les écoles) et l'accès aux marchés des produits agricoles.

Un réseau de transport fiable dans un pays constitue un élément déterminant pour son développement social et économique, car il facilite la mobilité, les échanges commerciaux, le tourisme, l'accès à l'emploi et la valorisation des ressources.

Le réseau routier est un point clef pour le développement d'un pays. En effet, il affecte tous les secteurs de développement.

La sécurité :

La sécurité est un élément indispensable pour le développement d'un pays.

La mauvaise qualité des infrastructures de transport c'est-à-dire, le réseau routier favorise l'insécurité dans une Région car elle retarde ou même empêche les interventions des forces de l'ordre en cas de besoins.

L'insécurité routière devient aussi un grand problème pour le pays actuellement. Plusieurs facteurs favorisent cette situation mais le facteur le plus proche est la mauvaise qualité de l'infrastructure routière.

La production :

L'existence d'une bonne infrastructure routière influence la productivité d'une Région sur le plan agricole, artisanale et de l'élevage car cela peut motiver les gens à la production et facilite le transport des outils et éléments nécessaires à la production ainsi que le transport des produits aux marchés.

Le commerce :

C'est le secteur le plus touché par la qualité des infrastructures routières parce que toute la défaillance citée auparavant affecte tous sur le prix. Le coût du transport demeure un grand facteur qui détermine le prix des produits. Et c'est le réseau routier qui est la base du transport : il affecte le prix et la durée du transport des produits des lieux de production vers les lieux de consommation.

Le tourisme :

Le secteur touristique est un secteur qui contribue beaucoup au développement d'un pays car c'est une des sources de devises pour l'Etat. Une bonne qualité des infrastructures de transport permet le développement de ce secteur.

2.2. La route : outil d'aménagement du territoire

Nous l'avons mesuré dans le paragraphe précédent, la route a une fonction économique. Il est envisageable de mesurer à posteriori, l'incidence d'une infrastructure sur un territoire en terme d'économie. Des modèles permettent de déterminer la rentabilité de ces investissements.

D'une manière très concrète, la route modifie l'organisation du territoire. Elle modifie la distance entre bassins d'activités et habitats.

La présence d'un réseau routier de qualité va développer l'éloignement des zones d'habitats par rapport aux bassins d'activités. Cet éloignement modifie l'équilibre coût et temps de transport, par rapport au coût de l'immobilier. L'incidence des transports individuels est d'autant plus importante, que l'habitat est de faible densité et que l'agglomération qui joue le rôle de pôle d'attraction est de petite taille.

Dans les départements ruraux, la qualité des réseaux routiers permet de ralentir l'exode rural en maintenant l'accès aux équipements socio-culturels pour les habitants des villages.

Les infrastructures routières facilitent toutes les activités dans une Région et organisent la structure de la Région surtout dans les milieux urbains.

CHAPITRE 2 : GÉNÉRALITÉS SUR LES CHAUSSEES

I. Définition et Fonction :

Les chaussées sont des structures composites, plus ou moins complexes, conçues pour résister sur l'ensemble de leur durée de vie aux multiples sollicitations mécaniques (liées principalement aux passages des charges lourdes) et climatiques (cycle de température, pluie,...), qui l'une après l'autre, sapent imperceptiblement les performances initiales des matériaux et de leurs interfaces.

II. Les catégories de chaussée:

On peut distinguer deux catégories de chaussée, en ce qui concerne les chaussées routières :

2.1. Les chaussées non-revêtues

Ce sont les chaussées qui n'ont pas reçu de revêtement hydrocarboné.

On distingue :

- les chaussées en pavé :
- les chaussées en macadam à l'eau : réalisé avec du 40/70 et du M.S (matériaux sélectionnés)... et ensuite par des fines
- les chaussées en empierrement par cloutage : constitué d'une couche mince de 40/70 encastré dans la plate-forme préalablement mis en profil et soigneusement compacté ;
- les chaussées en graveleux ou M.S.

2.2. Les chaussées revêtues

Les chaussées revêtues sont les chaussées qui ont reçu des revêtements hydrocarbonés.

III. Les différents types de structures de chaussée :

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois types de structure suivants :

Les chaussées rigides ;

Les chaussées semi-rigides ;

Les chaussées souples.

3.1. Les chaussées rigides :

Grace à leur grande cohésion, ces structures résistent par effet de dalle. Elles transmettent les charges avec une surface de pression relativement importante. Ainsi, les

efforts parvenant aux couches sous-jacentes sont d'autant plus faibles que l'épaisseur de la dalle est élevée.

Elles sont constituées d'une dalle reposant, soit directement sur le sol naturel soit par l'intermédiaire d'une couche de fondation.

3.1.1.Sol naturel :

Le sol de plate-forme, lorsqu'il est apporté à supporter la dalle, doit être à l'abri des mouvements de retrait ou de gonflement. De même, les remblais susceptibles de tassements différés sont à proscrire, ainsi que les couches hétérogènes capables de tassements différentiels.

3.1.2.Couche de fondation :

La présence de la fondation permet d'augmenter la portance de la structure. Cependant, elle est adoptée pour d'autres raisons :

- fournir à la dalle une surface portante uniforme ;
- remplacer les sols mous très compressibles ou susceptibles de se gonfler ;
- assurer la continuité de l'appui des dalles au niveau des joints
- empêcher la remontée des particules fines qui entraîne le phénomène de pompage au niveau des joints ;

3.1.3.Revêtement :

Le revêtement est généralement en dalles de bétons séparées par des joints.

Les avantages des chaussées rigides sont :

- elles ne nécessitent que peu d'Entretien : au niveau des joints ;
- elles résistent aux solvants et à la chaleur ;
- elles ont une teinte claire propice au maintien de la propreté et à la visibilité ;
- elles sont de plus faible épaisseur, cet argument pouvant être déterminant lorsque la nappe phréatique est peu profonde.

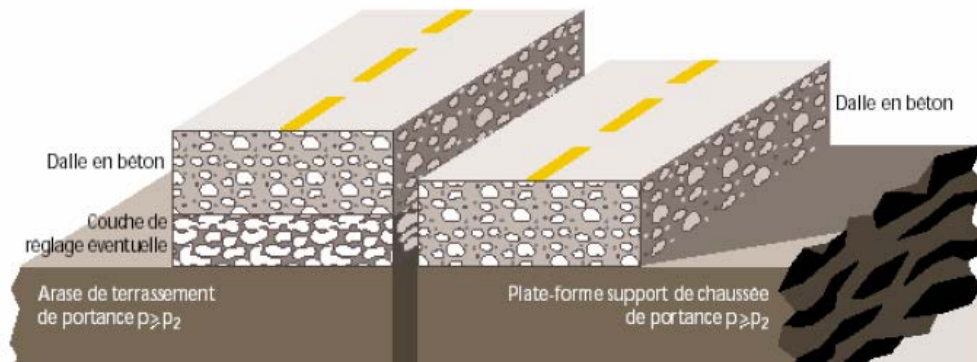


Figure 01 : Structure d'une chaussée rigide

3.2. Semi-rigides :

Ce sont des structures hybrides : on trouvera des chaussées en béton très peu dosé, recouvertes de revêtement hydrocarboné ou encore des chaussées souples dont certaines couches sont stabilisées au bitume ou au ciment. Elles sont plus flexibles que les bétons classiques mais moins résistantes. Par contre, elles se reposent sur des fondations suffisamment épaisses.

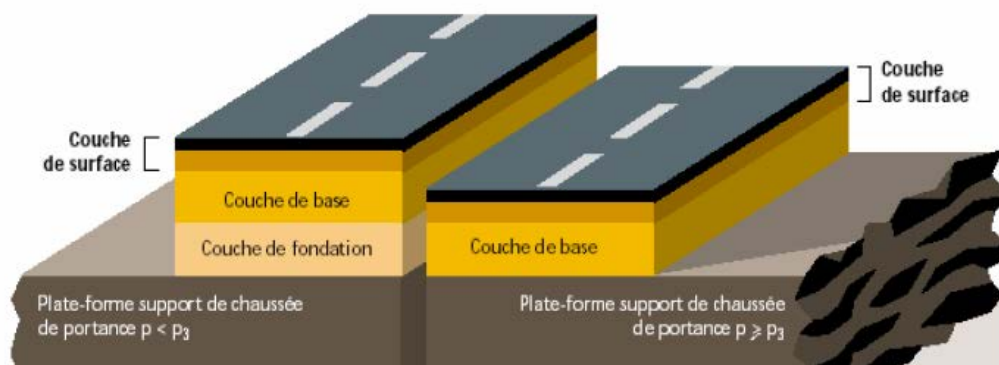


Figure 02 : Structure d'une chaussée semi-rigide

3.3. Souples :

Ce sont des structures de chaussées dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent sont traitées aux liants hydrocarbonés.

La couche de fondation et/ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traité.

Elles sont capables de se déformer de façon plus ou moins importante aux passages des charges roulantes, permettant ainsi de localiser les pressions induites dans un faible rayon. Pour réduire les contraintes parvenant au sol-support, il faut donc augmenter l'épaisseur de

chaussée. Ainsi, les chaussées souples sont à grande épaisseur disposée en plusieurs couches de qualités géotechniques améliorées de haut en bas.

a) La plate-forme support de la chaussée :

Elle est constituée du sol-terrassé ou sol support surmonté généralement d'une couche de forme.

Le sol support :

C'est le sol dont sa mise en place constitue les Travaux de Terrassements. Il est soit le sol en place, lorsque la route est en déblai, soit le sol rapporté lorsque la route est en remblai. En général, on considère la couche des 30 cm supérieurs, il est amélioré lorsqu'il est compressible ou faiblement portant. Cette épaisseur peut varier selon la méthode de dimensionnement.

La couche de forme :

On peut rencontrer dans un même projet des sols de caractéristiques très variables. Afin d'améliorer et d'uniformiser la portance des sols, on est amené à interposer entre le sol support et les couches de chaussée un élément de transition qui peut être constitué soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques. Il est appelé couche de forme.

Elle protège le sol-support contre l'action destructive des gros engins et facilite le compactage des couches supérieures en leur fournissant un support ferme et non déformable.

b) Les couches d'assise :

Ce sont la couche de fondation et la couche de base.

La couche de fondation :

Elle a pour rôle principal de réduire les charges qui sont transmises à la plate-forme. Elle ne supporte que des contraintes verticales. Elle doit être peu déformable et plus résistante que les couches sous-jacentes.

Une pratique courante consiste à rendre sa partie inférieure peu perméable afin d'évacuer les eaux qui auraient pu s'infiltrer à travers la couche de base.

Cette zone empêche aussi la remontée capillaire des eaux de la plate-forme.

La couche de base :

A son niveau, les efforts dus aux trafics sont encore importants. De même, les effets des conditions d'Environnement ne sont pas entièrement amortis. Ainsi, les matériaux utilisés doivent être de bonnes qualités géotechniques, c'est-à-dire :

- Avoir une granulométrie convenable pour éviter la ségrégation lors des différentes manipulations ;
- Avoir une bonne résistance aux efforts par frottements internes, pour ce, elle doit être formée d'agrégats d'autant plus durs et résistants que les sollicitations sont importantes ;
- Comporter moins de fines si peu qu'elles ne soient dangereuses.

Cette couche doit avoir comme rôle principal, d'augmenter la capacité portante de la structure. Du fait de l'importance de son épaisseur et de la qualité des matériaux parfois améliorés, elle contribue à la rigidité flexionnelle et à la résistance d'ensemble à la fatigue.

Elle permet également de drainer les eaux et de résister aux érosions de toute nature.

c) La couche de surface :

Elle se compose de la couche de roulement ou couche de revêtement et éventuellement d'une couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assise.

C'est un mélange d'agrégats de bonne qualité et de liant hydrocarboné. Fortement associés, ces éléments constituent un tout homogène, stable et assez monolithique.

Le revêtement doit posséder une bonne résistance au poinçonnement et à l'usure parce qu'il est directement en contact avec l'atmosphère et aux sollicitations. Il doit avoir un bon « uni », être peu glissant et étanche.

On distingue deux types de revêtements :

Les enduits superficiels : mono ou multicouches et

Les enrobés.

Les principaux rôles de la couche de surface sont :

- Donner de confort aux usagers ;
- Résister aux efforts horizontaux des pneumatiques, en effet, les pneumatiques exercent sur la chaussée des efforts horizontaux résultant de :
 - ✓ la transmission de l'effort moteur (accélération) ;
 - ✓ la mise en rotation des roues non motrices ;

- ✓ la transmission de l'effort de freinage.
- S'opposer à la pénétration de l'eau : il est important d'empêcher l'eau de s'infiltrer dans les couches de la chaussée. Les conséquences sont :
 - ✓ Elle délie les granulats ;
 - ✓ Elle ramollit les sols fins faisant chuter leur portance.

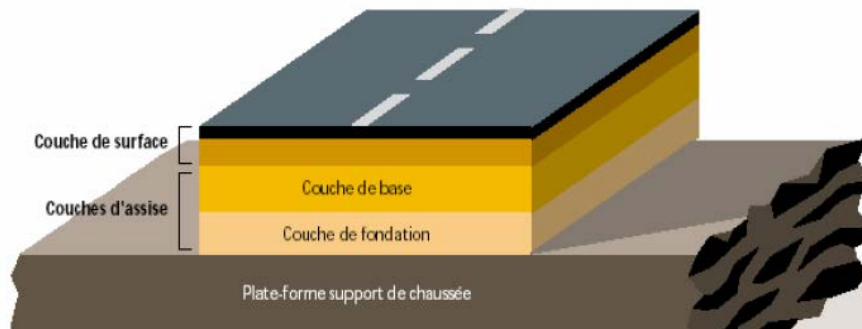


Figure 03 : Structure d'une chaussée souple

IV. Choix de types de structure :

Le choix du type de structure à adopter pour une chaussée dépend des facteurs suivants :

- L'importance de la circulation ;
- La qualité du sol de la plateforme ;
- La disponibilité financière.

CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES

I. Définition et buts du dimensionnement

Le dimensionnement des chaussées reste un sujet d'importance pour les maîtres d'ouvrages et les maîtres d'œuvre car il conditionne à la fois le niveau de service offert à l'utilisateur, le montant de l'investissement initial et le coût de l'Entretien ultérieur. Les ingénieurs ont remis à nouveau et développé leurs connaissances pour définir des structures de chaussée adaptées à la fois au contexte local (conditions climatiques, utilisation des matériaux locaux, ...) et à la politique routière choisie par le maître d'ouvrage.

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constitue afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celle due au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobés.

II. Les types de méthode de dimensionnement

2.1. Les méthodes empiriques :

Les méthodes empiriques de dimensionnement font appel exclusivement à des expériences comparant le comportement à long terme de diverses structures pour différentes conditions climatiques et trafic. Des essais en vraies grandeurs apportent également de nombreuses informations nécessaires pour la mise en place des règles empiriques de dimensionnement.

2.2. Les méthodes mécanique-empiriques :

Ces méthodes font appel partiellement à une approche analytique qui est complétée par des données empiriques. Il y a en général deux étapes :

- Détermination des sollicitations dans une structure sous l'effet d'une charge définie de trafic ;
- Mise en relation de ces sollicitations avec certaines dégradations des chaussées.

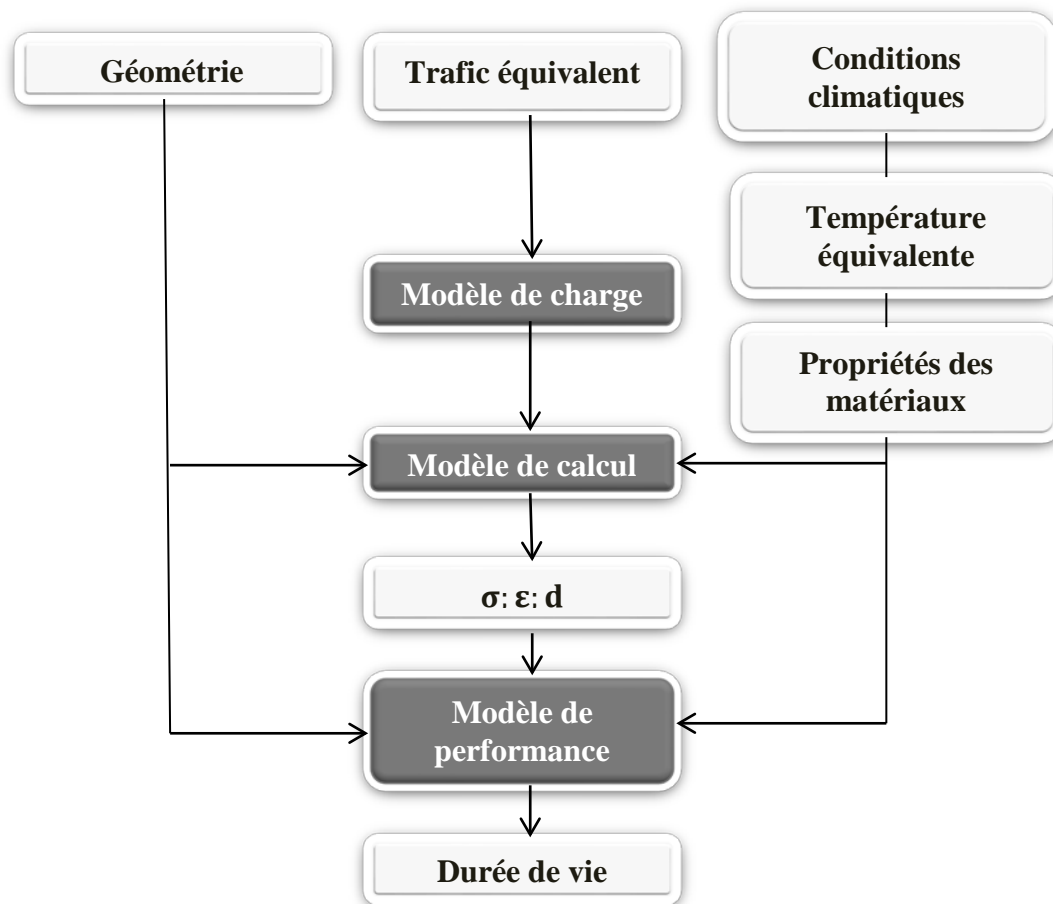


Figure 04: Schéma de fonctionnement d'une méthode mécanique empirique de dimensionnement

Le modèle de charge :

Le modèle de charge est au centre du processus. Il consiste à donner une image aussi réaliste que possible de la charge induite par une roue dans une chaussée routière.

Le modèle de calcul :

Les modèles de calcul permettent de définir les contraintes et déformations qui apparaissent au sein d'une chaussée, sous l'effet d'une charge et dans des conditions bien définies. Ils nécessitent la définition des paramètres pour décrire la structure (géométrie et loi de comportement) et les conditions de chargement (intensité de la charge, pression de contact, ...). Ils fournissent des résultats théoriques correspondant aux hypothèses retenues pour la modélisation. Dans la plupart des cas, ces modèles se basent sur un comportement élastique des matériaux, mais rien ne s'oppose à l'utilisation d'autres types de comportement.

Le modèle de performance :

Les modèles de performance relient les états de sollicitation issus des modèles de calcul avec les dégradations des chaussées. Ils sont généralement obtenus en combinant des résultats d'essais en laboratoire avec l'observation du comportement réel des chaussées. Ils permettent d'exprimer le nombre de cycles d'une sollicitation donnée qu'une chaussée est à même de supporter avant de présenter une dégradation jugée inadmissible.

Ces deux types de modèle dépendent d'un même et unique phénomène : le comportement des matériaux bitumineux et ne sont en principe pas indépendants. L'existence d'une séparation de ceux-ci dans les méthodes de dimensionnement provient généralement de la prise en compte de données empiriques dans le modèle de performance.

2.3. Les méthodes incrémentales :

Cette méthode envisage d'étudier l'évolution d'une chaussée dans le temps (t) en cumulant l'effet, exprimé en terme de dommage (D), de chacune des sollicitations induites par les charges de trafic.

Une telle méthode doit permettre de limiter, voire de supprimer, l'importance de données empiriques dans le domaine du dimensionnement des chaussées routières. Cette démarche prévoit de 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 les données réelles de trafic sans avoir recours à la notion de trafic équivalent.

La mise en place d'une telle méthode s'avère cependant très complexe à causes des nombreuses interactions entre les phénomènes pris en compte. Ainsi, pour chaque charge de trafic agissant à l'instant t , il s'agit de déterminer un supplément de dommage en tenant compte non seulement de l'influence des conditions climatiques que les propriétés des matériaux à cet instant t , mais également des dommages déjà subis par la structure. La difficulté réside également dans le très grand nombre de données (trafic, climat, liens entre les deux, ...) souvent difficilement disponibles.

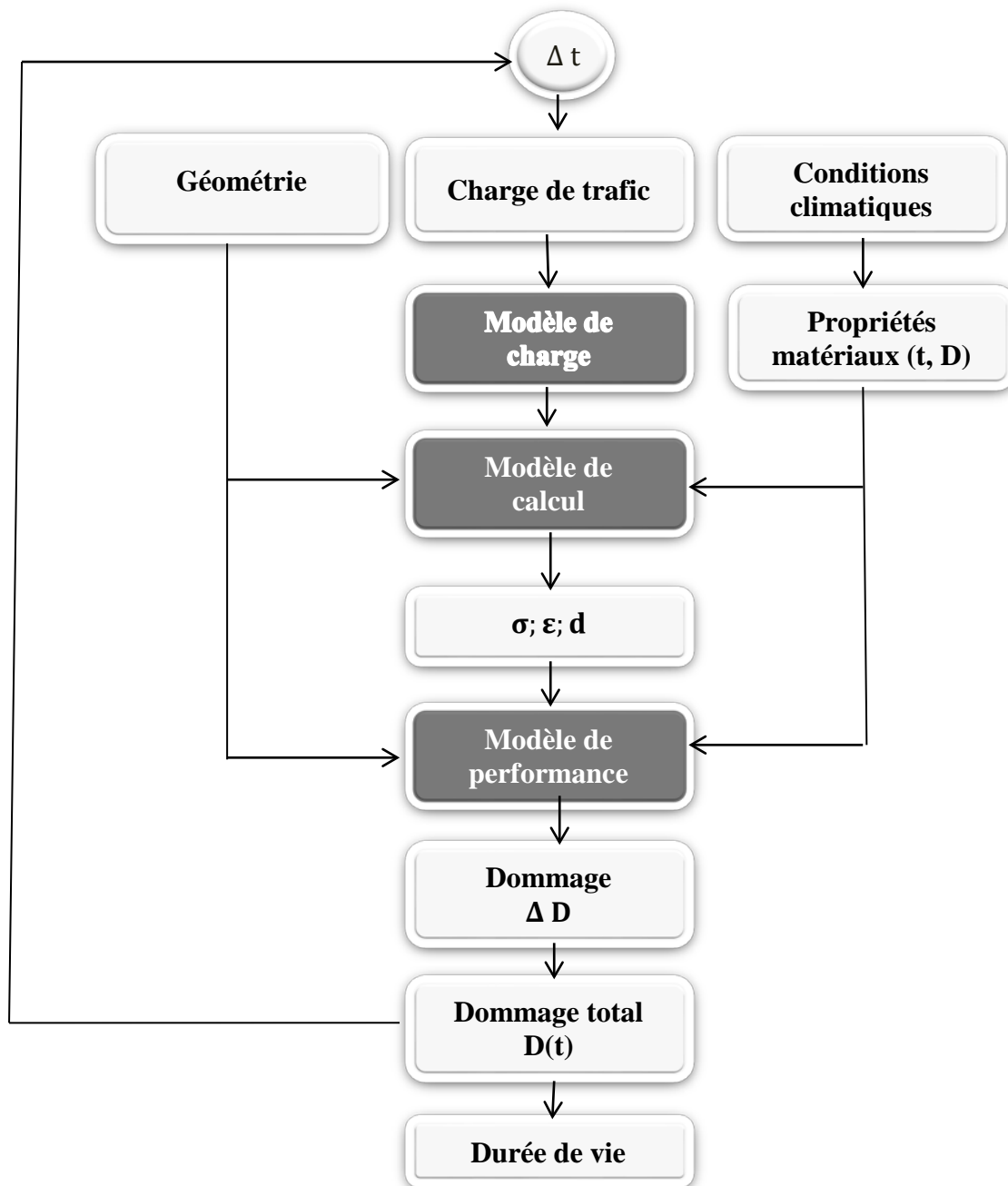


Figure 05: Schéma de fonctionnement d'une méthode incrémentale de dimensionnement

Conclusion partielle:

Cette partie nous permet de voir l'importance de la route dans le développement d'un pays, les différents types de structure de chaussée selon son comportement mécanique ainsi que les différentes catégories de méthodes pour dimensionner les chaussées. Pour ce dimensionnement.

Dans la suite, on va détailler quelques méthodes parmi ces méthodes de dimensionnement citées dans la présente partie.

2^{ème} partie : DESCRIPTION

DES METHODES DE

DIMENSIONNEMENT DE

CHAUSSÉE

CHAPITRE I : METHODES EMPIRIQUES

I. La méthode C.B.R. (Californian Bearing Ratio) :

Cette méthode a été connue en 1938. Elle est basée sur l'utilisation de l'indice C.B.R. du sol sous-jacent. La méthode s'applique aux cas des chaussées à assises granulaires non traitées c'est-à-dire des chaussées souples, car elle ne tient pas compte d'un effet de répartition des pressions fonction de la rigidité relative des différentes couches due à l'adjonction de liants à la grave utilisée dans le corps de chaussée.

Elle met en jeu seulement la charge maximale par roue que doit supporter la chaussée.

1.1. Principes :

Un abaque très simple donne, en fonction du C.B.R. du sol sous-jacent et de la charge, l'épaisseur totale de la chaussée.

A partir du C.B.R. du matériau utilisé en couche de fondation, le même abaque donne l'épaisseur de la couche e' à placer au-dessus de cette couche.

La couche de base devra être constituée d'un sol ayant un C.B.R. minimal de 50.

Le revêtement (enrobé ou enduits superficiels) doit être prévu de manière à résister directement à l'action verticale et tangentielle des véhicules : de son épaisseur e_r , on déduit l'épaisseur e_b de la couche de base :

$$e_b = e' - e_r$$

La couche de fondation aura pour épaisseur :

$$e_f = e - e'$$

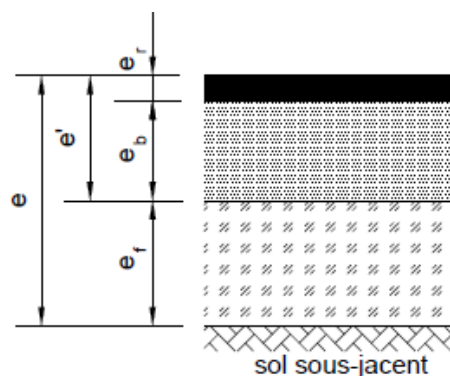


Figure 06 : Détermination de l'épaisseur des couches par la méthode C.B.R.

Cette méthode ne tient pas compte de la présence d'une éventuelle sous-couche ou couche de forme, sauf si celle-ci a plus de 70 cm d'épaisseur.

La formule donnant e ($e = \frac{100+150\sqrt{P}}{C.B.R+5}$) a été amélioré en 1956 pour donner la formule suivante afin de tenir compte de la répétition de la charge :

$$e(ou e') = \frac{100 + 150 \sqrt{P \left(75 + 50 \log \left(\frac{N}{10} \right) \right)}}{C.B.R + 5}$$

P : Charge par roues en tonnes ;

N : Nombre moyen de poids lourds de plus de 3.5 tonnes

1.2. Exemple :

Données :

Structure du corps de chaussée pour une roue de 6.5 T (charge maximale admise par le code de la route) sur un sol ayant un C.B.R. de 5.

Le C.B.R. du matériau utilisé en couche de fondation étant égal à 20 et celui de la couche de base valant 60.

L'abaque donne, pour C.B.R. = 5 et une roue de 6.5 T, une épaisseur totale de $e = 48$ cm.

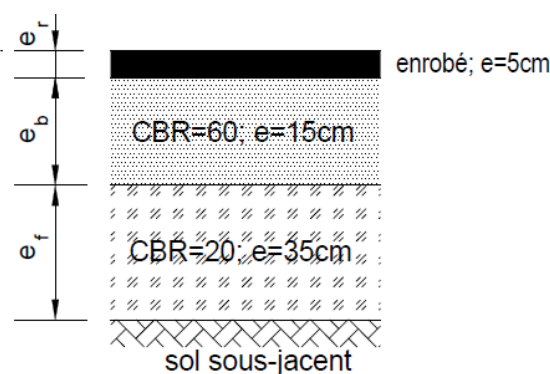
Le C.B.R. 20 de la couche de fondation indique une épaisseur minimale de $e' = 18$ cm.

Si on place une couche de $e_r = 5$ cm d'enrobé, on aura pour la couche de base :

$$e_b = e' - e_r = 18 - 5 = 13 \text{ cm d'épaisseur, que l'on pourra arrondir à } 15 \text{ cm.}$$

L'épaisseur e_f de la couche de fondation sera : $e_f = e - e' = 48 - 18 = 30$ cm.

D'où la structure de la chaussée :



II. La méthode du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C.) :

Cette méthode, dérivée de la méthode C.B.R. mais beaucoup plus élaborée, tient compte davantage de la nature des matériaux utilisés dans le corps de la chaussée, et prend en considération le trafic que devra supporter la route au cours de sa durée de vie.

Elle est déduite des essais en vraie grandeur auxquels sont livrés les Américains sur les tronçons de route expérimentale. Ils ont fait circuler toutes sortes de véhicules jusqu'à rupture des couches. Ils ont en particulier constaté que la qualité des matériaux était un facteur essentiel dans la conception de la chaussée : une grave-ciment résiste mieux qu'une grave non traitée.

La méthode du L.C.P.C. fait correspondre, sur un abaque, au trafic équivalent calculé et à l'indice C.B.R. du sol en place, une épaisseur équivalente de la chaussée.

2.1. Trafic équivalent :

Pour supporter une charge maximale, par exemple la roue de 6.5 T correspondant à l'essieu de 13 T, la chaussée devra avoir une épaisseur minimale.

Pour tenir compte de la fatigue due à la répétition des charges, cette épaisseur devra être majorée en fonction de l'importance du trafic pendant la durée de vie prévue pour la route (En France, cette durée de vie est actuellement de 15 ans et à Madagascar 20 ans).

Chaque type d'essieu se voit attribuer, d'après le tableau suivant concernant les essieux simples, un facteur d'équivalence par rapport à l'essieu de 13T.

Poids de l'essieu	Facteur d'équivalence
1	0.0007
2	0.0015
3	0.0025
4	0.0045
5	0.0080
6	0.0135
7	0.0250
8	0.0500
9	0.0900
10	0.1600
11	0.3100
12	0.5500
13	1.0000
14	1.8500
15	3.3000
16	6.5000

Tableau 01: Facteur d'équivalence des essieux

L'étude de ce tableau (dédit aux Etats-Unis) montre qu'un essieu de 13T apporte à la chaussée une fatigue équivalente non pas égal à 13 mais à $\frac{1}{0.0007} = 1428$ essieux de 1T. autrement dit, plus le code de la route tolère des véhicules lourdes, plus il impose une structure importante donc onéreuse sans parler des Travaux d'Entretien ultérieurs.

En 1972, les pays européens ont d'ailleurs accepté d'uniformiser leur réglementation en la matière : à partir de 1980, l'essieu maximal admis sera 11T.

Le trafic équivalent est la somme des produits du poids des essieux affectés de leur facteur d'équivalence et du nombre de passages prévu par cet essieu pour toute la durée de vie de la route.

Le nombre total obtenu est donc le nombre d'essieux équivalents de 13T qui pourront circuler.

2.2. Epaisseur équivalente :

L'épaisseur équivalente D est la somme des produits de l'épaisseur réelle e de chaque couche par le coefficient d'équivalence « a » du matériau utilisé.

$$D = \sum a_i \cdot h_i$$

Ce coefficient a pour valeur :

$$a = \sqrt[3]{\frac{E}{5000}}$$

E représente le module d'élasticité du matériau considéré. Il peut être déterminé par des essais à la plaque de 75cm par exemple. La formule simple suivante permet alors de le calculer :

$$E = \frac{\sigma}{s}$$

Dans laquelle σ est la pression moyenne exercée par la plaque et s le tassement observé au cours de l'essai.

En particulier, il vaut :

- Béton bitumineux, enrobé dense : 2
- Grave-ciment, grave-laitier : 1.5
- Sable-ciment : 1 à 2
- Couche de base granulaire : 1
- Grave roulée, grave sableuse : 0.75
- Sable : 0.5

2.3. Abaque « Trafic-CBR-Epaisseur équivalente » :

L'épaisseur équivalente est donnée par un abaque (donné en annexe).

Cet abaque est divisé en 7 zones numérotées de I à VII. La bande hachurée correspond à des trafics intermédiaires : l'épaisseur de la chaussée sera en ce cas compris entre celle obtenue à droite et à gauche de la bande pour le même C.B.R.

Pour chacune de ces zones, un tableau précise l'épaisseur minimale des couches de fondation, de base et de revêtement.

L'épaisseur équivalente de la chaussée ainsi conçue devra évidemment être au moins égale à celle donnée par l'abaque.

Epaisseur minimale des différentes couches en cm :

	I	II	IV	V	VI	III et VII
Sur grave-ciment	10	10	15	15	15	Voir ci-après
Sur couche de base de type I ($E > 3500\text{bars}$)	20	17.5	25	22.5	20	
Sur couche de base de type II ($E > 5000\text{bars}$)	15	12.5	20	17.5	15	
Grave-ciment	20	20	20	20	20	
Couche de base I ou II	20	15	20	20	15	Minimum nul

Module E du sol de fondation	Epaisseur minimale d'enrobé sur une couche de base de type I		
	Zone III	Zone VII	Observations
$E < 1500\text{bars}$	17.5	20	Avec couche de fondation
$1500 < E < 2500\text{bars}$	17.5	20	Sans couche de fondation
$2500 < E < 3500\text{bars}$	20	25	
$3500 < E < 5000\text{bars}$	15	20	
$5000\text{bars} < E$	12.5	15	

Tableaux 02: Epaisseurs minimales des couches selon L.C.P.C.

III. La méthode du Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (L.N.T.P.B) :

C'est une méthode établie par le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment à Madagascar.

Le L.N.T.P.B. a étudié les résultats obtenus par les méthodes les plus utilisées lorsqu'elles sont appliquées aux problèmes locaux. Par un travail de synthèse, il a ensuite

dégagé une méthode de dimensionnement tenant compte des conditions locales particulières à Madagascar.

3.1. Définition des hypothèses de base :

3.1.1. Portance du sol plateforme, climat :

La portance du sol plateforme est définie par l'essai C.B.R. Les conditions de réalisations sont les suivantes :

a) Côte Ouest et Hauts-Plateaux :

Teneur en eau de moulage : W : teneur en eau obtenue lors de l'essai Proctor Modifié
 Compacité : 95% de la densité sèche maximale obtenue lors de l'essai Proctor Modifié
 Saturation : imbibition pendant 4jours

b) Côte Est :

Teneur en eau de moulage : Si $IP < 25$, $W = W \text{ optimale Proctor Modifié} + 2\%$
 Si $IP > 25$, $W = W \text{ optimale Proctor Modifié} + 4\%$
 Compacité : 90% de la densité optimale Proctor Modifié
 Saturation : imbibition pendant 4jours

3.1.2. Trafic :

On évaluera le nombre cumulé de véhicules journaliers N passant sur la route dans les deux sens pour la première année de mise en circulation. On ne tiendra pas compte que des véhicules d'un poids supérieur à 3T en charge.

D'autre part, on tiendra compte de la répétition des charges par essieu de la façon suivante :

Il a été défini deux répartitions-types dites :

- Trafic à répartition normale : T.N. ;
- Trafic à forte proportion de poids lourds : T.L.

Poids total	Essieux		Pourcentage par catégories de véhicules	
	Avant	Arrière	T.N.	T.L.
< 03 t	1 t	1 t	75%	57%
05 t	2 t	3 t	14%	14%
08 t	3 t	5 t	05%	10%
10 t	4 t	6 t	04%	08%

12 t	5 t	7 t	02%	07%
15 t	5 t	10 t		04%

Tableau 03: Classification des trafics selon le L.N.T.P.B.

On assimilera la répartition du trafic sur la route étudiée à l'une ou l'autre de ces catégories.

La méthode de calcul est basée sur une augmentation annuelle du trafic de 10 %. En cas d'hypothèse différente, on appliquera sur le nombre journalier de véhicules N les coefficients correcteurs α dont les valeurs sont les suivantes :

Taux d'accroissement annuel en%	Coefficient correcteur α
06	0.73
08	0.85
10	1.00
12	1.17
15	1.50

Tableau 04: Coefficient correcteur pour un taux d'accroissement annuel de trafic différent de 10%

3.1.3. Durée de vie de la chaussée :

Les abaques ont été calculés pour une durée de vie de quinze (15) ans.

Pour une durée de vie différente, on adoptera les coefficients suivants appliqués sur N :

Durée de vie en année	Coefficient β correcteur de N
8	0.36
10	0.50
15	1.00
20	1.80

Tableau 05: Coefficient correcteur pour une durée de vie différente de 15 ans

En définitive, dans le cas d'un taux d'accroissement annuel du trafic différent de 10% et d'une durée de vie de la chaussée différente de 15 ans, la valeur à prendre sur les abaques pour le nombre de véhicules journaliers supérieurs à 3 tonnes en charge sera :

$$N' = \alpha, \beta. N$$

3.2. Calcul des épaisseurs :

3.2.1. Détermination de l'épaisseur équivalente :

L'épaisseur équivalente est l'épaisseur de grave naturelle non traitée équivalente en termes de diffusion de contraintes.

Connaissant l'indice CBR de la plateforme, le nombre N ou N' de véhicules journaliers supérieurs à 3 tonnes passant dans les deux sens et la répartition du trafic (TN ou TL), on lira sur l'un des abaques (donnés en annexe) l'épaisseur équivalente « e » requise.

3.2.2. Détermination des épaisseurs réelles de chaque couche et de l'épaisseur totale de la chaussée :

Les épaisseurs réelles de chaque couche de la chaussée sont déterminées à partir de la relation :

$$e = a_1 H_1 + a_2 H_2 + \dots + a_n H_n \quad (1)$$

a_1, a_2, \dots, a_n : Coefficients d'équivalence respectifs de la première, deuxième et dernière couche ;

e : épaisseur équivalente requise.

L'épaisseur réelle de la chaussée sera :

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

a) Coefficients d'équivalence des matériaux constituant la chaussée :

- Pour les sols stabilisés, le coefficient d'équivalence est donné par la formule générale suivante :

$$a = \sqrt[3]{\frac{E}{5000}}$$

E : Module d'élasticité statique du matériau (en bars) mesuré en laboratoire ;

a : Coefficient d'équivalence du matériau.

- Pour les sols naturels, on pourra calculer le coefficient d'équivalence à partir de la même formule en adoptant $E = 50.CBR$ (E exprimé en bars).

Nature du matériau	CBR ou résistance	Couche de la chaussée intéressée	Module d'élasticité statique E en bars	Coefficients d'équivalence
Enduit superficiel				1.0
Enrobé mince < 4cm				1.0
Enrobé épais ≥ 4 cm				2.0
Binder		Revêtement	25000	2.0
Sol-ciment				1.5
Sol-bitume				1.5
Sol-chaux		Couche de base	5000 à 15000 (à mesurer en laboratoire)	1.2
Tout venant de concassage	> 80	Couche de base	2000 à 5000	1.0
Tout venant naturel	> 60	Couche de base		0.8 à 0.9
	≥ 40		> 2000	0.75
Sols sélectionnés	30 à 40	Couche de fondation	1500 à 2000	0.70
	20 à 30		10000 à 2000	0.60
	15 à 20		750 à 1000	0.5
	10	Couche de forme	500	0.4

Tableau 06: coefficients d'équivalence à adopter pour quelques matériaux

b) Epaisseurs minimales des couches :

L'équation (1) ci-dessus possède théoriquement une infinité de solutions. Cependant, il est nécessaire d'adopter des épaisseurs minimales pour les couches supérieures de la chaussée si l'on ne veut pas risquer une rupture du corps de la chaussée par suite de contraintes excessives dans l'une de ces couches.

Pour les chaussées souples, ces épaisseurs minimales sont les suivantes :

Couches	Trafic N ou N'		CBR de la couche de fondation	Epaisseur minimale en cm	observations
	TN	TL			
Revêtement	10			1.0	Monocouche
	20 – 100	10-20		2.0	Bicouche
	≥200	≥50		2.5	Enrobé dense
Base		10	20 à 30	15	
			> 30	12	
		10 - 20	20 à 30	20	
			> 30	15	
		≥50	20 à 30	25	
			> 30	20	

Tableau 07 : Epaisseur minimale des couches de la chaussée selon LNTPB

IV. Autres méthodes :

4.1. Méthode A.A.S.H.O :

Cette méthode est basée sur des observations du comportement sous trafic des chaussées réelles expérimentales. Chaque section reçoit l'application d'environ un million (1 000 000) de charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps ;
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux ;
- L'équivalence entre les différents types de charges par essai ;
- L'influence des charges et de leurs répétitions.

4.2. Méthode d'ASPALT INSTITUTE :

Basées sur les résultats obtenus des essais « AASHO », on prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'Asphalte Institue.

CHAPITRE 2 : MÉTHODES MÉCANIQUE-EMPIRIQUES

Cette méthode est aussi appelée « méthode rationnelle ». Dans cette approche, il faut établir un modèle de chaussée reproduisant le plus près possible le fonctionnement mécanique de la structure. A l'aide de ce modèle, on détermine les sollicitations que subissent les matériaux de chaussée et le sol-support sous l'effet du trafic. Ces sollicitations sont ensuite comparées aux sollicitations admissibles. Il s'agit donc d'une approche utilisant une branche particulière de la mécanique des milieux continus, dite « Mécanique des Chaussées ».

La vérification mécanique porte en fait sur deux points :

- Une vérification vis-à-vis de la rupture par fatigue : on vérifie que la rupture par fatigue ne se produit pas avant la fin de la durée de vie souhaitée pour la chaussée, ou encore que, si la rupture par fatigue dans une couche donnée se produit, elle ne se manifesterait pas en surface avant la fin de cette durée de vie ;
- Une vérification vis-à-vis des déformations permanentes à la surface de la chaussée : on vérifie que les déformations permanentes dans les matériaux de chaussées qui peuvent en présenter (matériaux non liés aux liants hydrocarbonés) et dans le sol-support, ne conduisent pas à l'apparition en surface des déformations excessives, produisant des ornières ou des défauts d'uni inacceptables.

I. Les modèles de calcul :

1.1. Le modèle de Boussinesq(1885) :

La pression q_0 (de l'ordre de 0.2 à 0.7 MPa) exercée par le pneumatique ne peut généralement pas être supportée 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 la chaussée n'est pas trop différent du terrain naturel (corps granulaires par exemple), on peut raisonnablement supposer que la pression se répartit à travers le corps de la chaussée de la même manière que dans le sol. Ceci 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-support est supposé élastique (module d'Young E_2 , coefficient de Poisson ν_2). Il ne peut supporter sans se déformer exagérément qu'une contrainte verticale $(\sigma_z)_{adm}$;
- On cherche à quelle profondeur H du sol la pression verticale a été suffisamment diffusé pour ne pas dépasser $(\sigma_z)_{adm}$;
- On peut assimiler l'épaisseur H à l'épaisseur de la chaussée ou bien lui faire correspondre une épaisseur $H' < H$ par une règle simple tenant compte du module E_1 du corps granulaire et du module E_2 du sol-support.

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

Ce problème a été résolu par Boussinesq. La contrainte verticale σ_z est maximum à l'aplomb du cercle de chargement. A la profondeur z , elle prend la valeur :

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

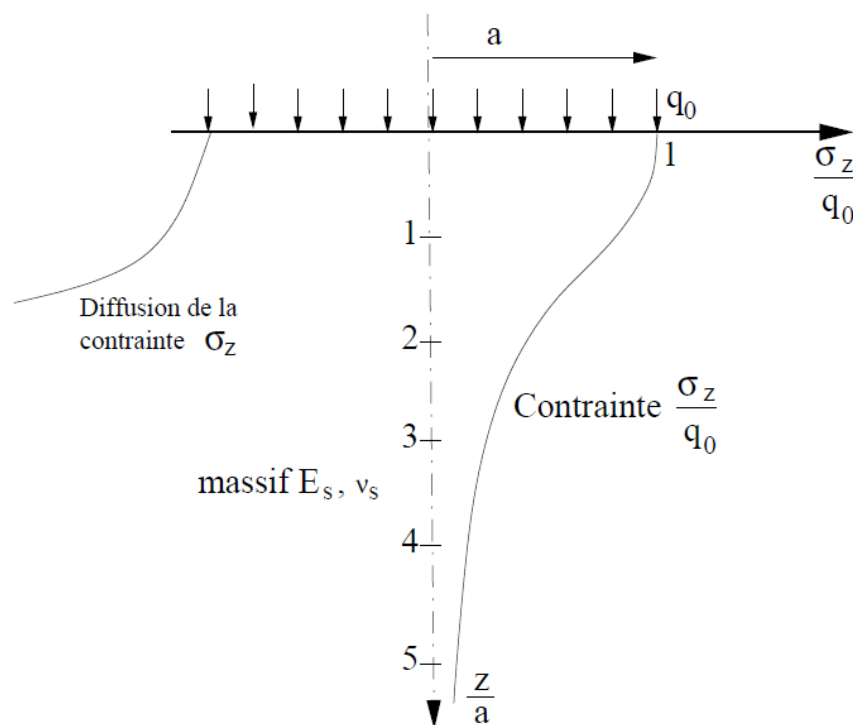


Figure 07: Diffusion des pressions dans un massif Boussinesq

1.2. Les modèles bicouches :

1.2.1. Le modèle de Hogg(1938) :

Le problème bicouche étant difficile à résoudre. On essaie de le simplifier.

On sait que si la résolution des équations d'élasticité peut être difficile dans le cas général, les problèmes de flexion se prêtent à un certains nombres d'hypothèses simplificatrices (hypothèses de Navier pour les plaques minces). Ce ci conduit à supposer que dans la couche de chaussée :

- 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 w de la fibre neutre de la plaque satisfont alors à l'équation de Lagrange pour les plaques minces :

$$D \cdot \Delta^2 w = p; \text{ avec } D = \frac{E_1 \cdot H^3}{12(1 - \nu_1^2)}$$

Dans cette équation, D est caractéristique de la rigidité de la plaque, w représente le déplacement vertical de la fibre neutre et p désigne la somme des pressions verticales, soit $p = \sigma_z - q_0$ à l'aplomb du cercle de charge et σ_z à l'extérieur de ce cercle.

L'opérateur différentiel Δ^2 désigne le double laplacien en coordonnées polaires : $\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}\right)$.

Le modèle de Hogg est représenté par la figure. La chaussée représentée par une plaque au sens de Navier est reposée sur un massif infini de type Boussinesq($E_2; \nu_2$). Le problème comporte deux inconnus qui sont le déplacement vertical de la plaque et la contrainte verticale σ_z sur le massif. L'équation de Lagrange fournit une relation entre ces deux inconnus et on trouve une deuxième relation en assimilant les déplacements verticaux de la fibre neutre de la plaque aux déplacements verticaux du massif par les formules de Boussinesq.

Les moments fléchissant de la plaque (et par suite la contrainte de traction σ_T dans la plaque) sont déduits des déplacements verticaux par les formules usuelles des plaques.

En supposant que la chaussée glisse parfaitement sur son support et pour $\nu_1 = \nu_2 = \nu$, on trouve comme expression de la contrainte à la base de la plaque :

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

$\frac{1+\nu}{2\pi} \cdot F \left(\frac{E_1 H^3}{E_2 a^3} \right)$ est le facteur de rigidité et $\frac{E_1 H^3}{E_2 a^3}$ facteur de rigidité relative.

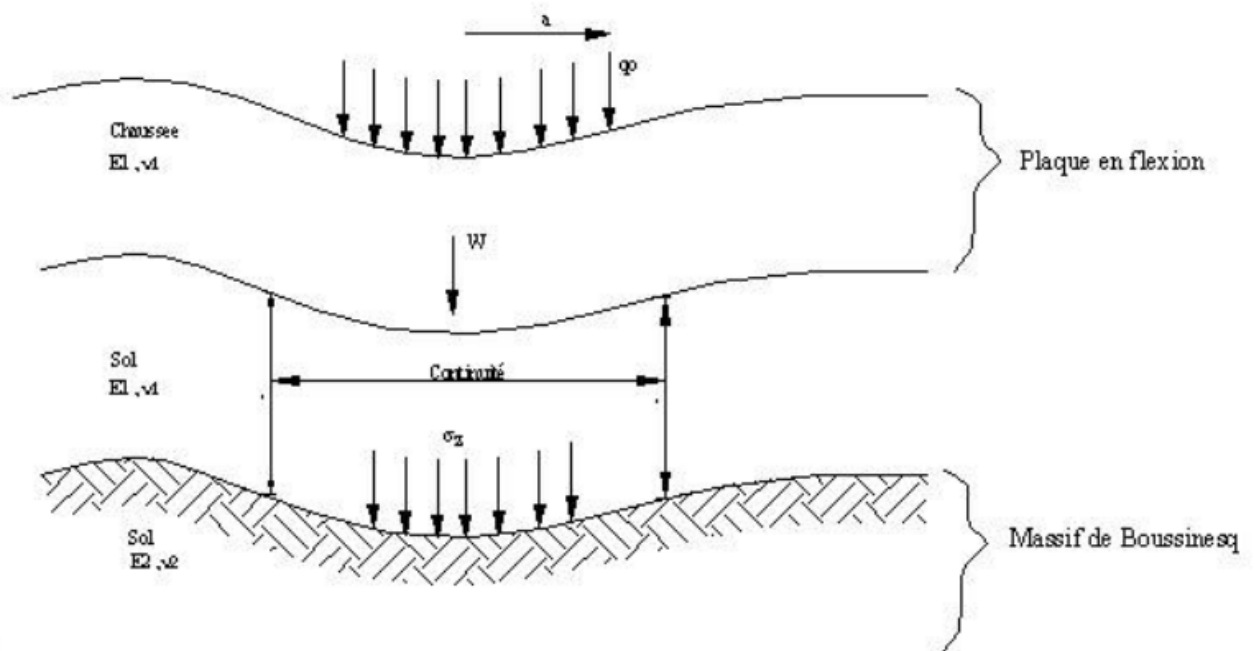


Figure 08: Modèle de Hogg

1.2.2. Le modèle de Westergaard(1926) :

Outre l'hypothèse de plaque mince pour la chaussée, le modèle de Westergaard comporte la schématisation suivante du sol-support : celui-ci est assimilé à un ensemble de ressort dont le déplacement vertical en un point (W) est proportionnel à la pression verticale v en ce point, soit $v = k \cdot w$

Le modèle de calcul adopté est schématisé sur la figure :

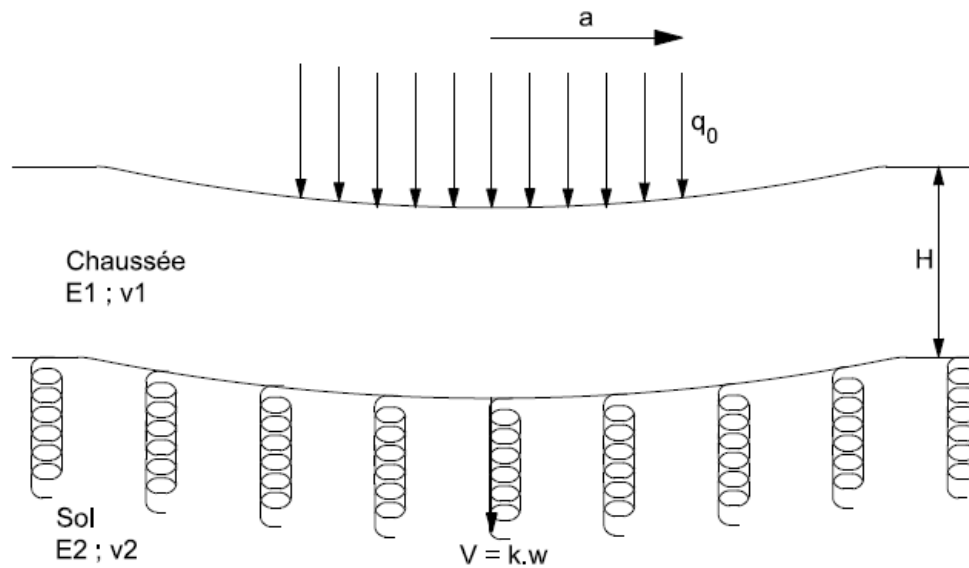


Figure 09: *Modèle de Westergaard*

Ce modèle est relativement simple à mettre en équation. L'équation de Lagrange pour les plaques minces s'écrit : $\Delta^2 w = \frac{p(r)}{D}$ où p désigne la somme des efforts à la distance r du centre de la plaque.

1.3. Le modèle multicouche de Burmister(1943) :

Les modèles bicouches que l'on vient de voir sont intéressants puisqu'ils permettent de déterminer les grandes tendances de variations. On a néanmoins très vite souhaité passer à des modèles à n couches, parce qu'ils facilitent grandement la schématisation des structures.

Burmister a traité le problème général à n couches schématisées sur la figure.

Il s'agit d'un modèle assez puissant puisque :

- Toutes les couches sont traitées comme des solides élastiques (on évite l'hypothèse de plaque) ;
- Les interfaces entre couches peuvent être au choix, soit collées soit décollées et une même structure peut comporter des couches collées et des couches décollées ;
- Le cas de charge multiple (jumelages, essieux tandem ou tridem, « remorques mille pattes ») peut être traité en additionnant les effets des charges élémentaires.

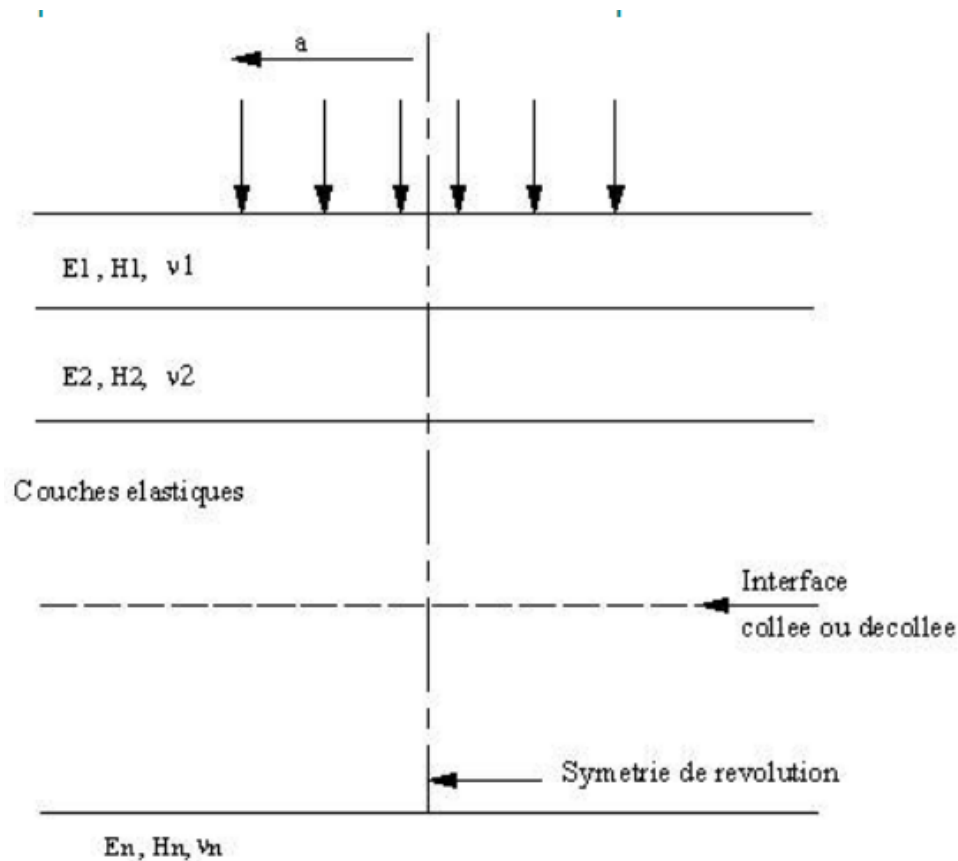


Figure10 : Modèle de Burmister

1.4. [Modèle de Jeuffroy \(1955\)](#) :

Ce modèle assimile la chaussée à une tricouche (plaque mince sur un modèle de Burmister). Il a permis pour la première fois d'établir un système très complet d'abaque. Il a constitué, pour les ingénieurs, une étape fondamentale vers plus de rationalité dans le dimensionnement des chaussées.

1.5. [Modèle aux éléments finis](#) :

La méthode des éléments finis s'impose enfin chaque fois que des modèles multicouches, continus, élastiques et linéaires s'avèrent très simplistes. Cette approche permet notamment de traiter les cas suivants :

- Caractère tridimensionnel de la structure du fait de géométries non infinies en plan ;
- Non linéarité ou évolution des conditions de contact ;
- Comportement viscoélastique des matériaux sous charges roulantes, ...

II. Méthode pratique de dimensionnement :

Le développement de l'outil informatique a fait que les méthodes de dimensionnement rationnelles sont devenues plus accessibles. Avec la facilité de résolution des équations multiples à dérivées partielles, des logiciels comme « Ecoroute » et « Alize » ont été développés. Ce sont des logiciels qui modélisent les structures multicouches et calculent les contraintes transversales et radiales ainsi que les déformations à travers les couches de chaussées. Pour cela, il faut :

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

2.1. Les paramètres de dimensionnement :

2.1.1. Choix du type de la structure :

Ce choix est fonction du cadre et des spécificités du projet étudié. La structure de chaussée peut être souple, semi-rigide ou rigide. A chaque type de structure est associé l'emploi possible de matériaux, répartis eux même en cinq familles : les matériaux hydrocarbonés, les matériaux traités aux liants hydrauliques, les bétons, les matériaux non traités et les sols.

2.1.2. Le trafic :

Le trafic à prendre en compte pour cette méthode de dimensionnement est le trafic cumulé de poids lourds N en nombre d'essieux standards donné par :

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

t : trafic journalier moyen en poids lourds de l'année en cours. C'est le débit total d'une période donnée en jour (de plus d'un jour et de moins d'une année) divisé par le nombre de jours de cette période.

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

i : taux de croissance du trafic en pourcentage : il peut être compris entre 7% et 10% si on ne dispose pas d'information précise.

n : durée de vie de la chaussée : période qui sera écoulée depuis sa date de mise en service jusqu'à l'apparition des dommages nécessitant un entretien.

2.1.3. Le sol de plate-forme :

La plate-forme, couche du mètre supérieur des terrassements, doit pouvoir supporter les charges transmises par les autres couches de la chaussée sans subir des dommages.

Les plateformes définies dans cette méthode sont celles correspondant à la classification explicitée dans le tableau suivant qui suit et est défini dans le Manuel de Conception des chaussées neuves à faible trafic, L.C.P.C – SETRA, 1981.

Types	Examen visuel (essieu de 13T)	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque E_{v2} en MPa	Module de réaction du sol K en daN/cm ²	Types de sol
P ₀	Circulation impossible, sol inapte ou très déformable	≤ 3	3 à 15	≤ 3	Argiles fines saturées, sols tourbeux, faible densité sèche, sols contenant des matières organiques
P ₁		3 à 6	15 à 30	3 à 5	Limons plastiques, argileux et argilo-plastiques, argile à silex, alluvions grossières Très sensible à l'eau
P ₂ ou PF ₁	Déformables	6 à 10	30 à 50	5 à 6	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, grave argileuse ou limoneuse, sols marneux contenant moins de 35% de fines
P ₃ ou PF ₂	Peu déformables	10 à 20	50 à 120	6 à 7	Sables alluvionnaires propres avec fines < 5%, grave argileuse ou limoneuse avec fine < 12%
P ₄ ou PF ₃	Très peu déformable	20 à 50	120 à 250	7 à 15	Matériaux insensibles à l'eau, sable et grave propres, matériaux rocheux saints, Chaussées anciennes
P _{ex} ou PF ₄		> 50	> 250	> 15	

Tableau 08: Classification des plateformes selon le LCPC – SETRA

2.1.4. Climat et hydrologie :

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

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

Les variations des températures entraînent l'ouverture des fissures dans les matériaux traités au ciment.

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

La durée de vie d'une route peut être beaucoup affectée par des défauts d'assainissement. Si la collecte et l'évacuation des eaux pluviales et souterraines hors de l'emprise des chaussées n'est pas bien faite, l'eau étant « l'ennemi numéro un de la route », elle peut s'en suivre des pertes de portance des matériaux de chaussée et de la plateforme.

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

2.1.5. Les paramètres de correction :

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

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

- **Le coefficient de calage k_c :** permet de corriger l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul (modèle mathématique) et l'observation du comportement de chaussées par rapport aux résultats des essais de laboratoires.
- **Le coefficient k_r :** il est lié à l'aspect aléatoire de la durée de vie d'une route déterminée à partir des essais à chargement cyclique. Ce coefficient permet d'ajuster la déformation admissible au risque de calcul retenu en fonction des facteurs de dispersion sur l'épaisseur (écart type σ_h) et sur les résultats des essais de fatigue (écart type σ_n).

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

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

- **Le coefficient de rigidité k_s** : pour tenir compte de l'hétérogénéité de la portance de la couche de faible rigidité devant supporter les couches liées ;
- **Le coefficient de discontinuité k_d** : dans les matériaux traités aux liants hydrauliques, ce coefficient permet de prendre en compte la discontinuité de la couche de base.

2.2. Calcul des limites admissibles :

Le calcul des sollicitations admissibles dans les différents matériaux constituant la structure de chaussée découle des deux modèles d'endommagement sur lesquels est fondée la méthode rationnelle :

Pour les matériaux traités : le modèle adopté est le modèle d'endommagement par fatigue sous les sollicitations répétées de traction par flexion exercées par le trafic. La sollicitation admissible est une fonction décroissante avec le nombre de chargements appliqués par le trafic.

Pour les matériaux non traités : le modèle adopté est le modèle d'endommagement par accumulation des déformations plastiques irréversibles (orniérage), résultant des sollicitations de compression verticale exercées par le trafic. L'expression des sollicitations de compression verticale ne découle pas directement d'essais en laboratoire, mais de considération d'origine empirique.

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

Pour les chaussées souples à assise granulaire, on vérifiera la déformation verticale ϵ_z à la base des couches bitumineuses. On vérifiera néanmoins la contrainte verticale σ_z à la surface de la couche et la déflexion W du sol-support.

2.2.1. Sol-support et matériaux non traités :

Pour la plateforme et les matériaux non traités (constitués de matériaux granulaires non liés), les contraintes sont caractérisées par les contraintes σ_{zadm} et déformation ε_{zadm} verticales admissibles au sommet de la couche. Elles sont calculées à partir des formules suivantes :

$$\sigma_{zadm} = \frac{0.3CBR}{1+0.7\log N} \text{ [En bars]} : \quad \text{Kerkhoven et Dormon}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 2.8 * 10^{-2} * N^{-0.25} \text{ [En mm]} : \quad \text{loi de tassement de Shell}$$

2.2.2. Matériaux traités aux liants hydrauliques :

Pour ces genres de matériaux, la limite admissible est caractérisée par la contrainte de traction par flexion σ_{tadm} à la base de la couche traitée. Elle s'exprime par la relation :

$$\sigma_{tadm} = k_r * k_d * k_s * \sigma_i$$

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

Ou :

$$\sigma_i = \left(\frac{N}{10^6} \right)^{-b} \sigma_6 \text{ Avec } \sigma_6 = (1 - 6\beta) \sigma_0 : \text{ la contrainte de flexion pour } 10^6 \text{ cycles.}$$

β : est la pente de la courbe de fatigue semi-logarithmique ;

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

t est la fractilité de la loi normale réduite centrée et est directement lié aux risques de dépassement du nombre de poids lourds ;

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

$$\text{avec } b = 0.5 * \log \frac{1-5\beta}{1-7\beta}$$

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

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 de l'épaisseur de la chaussée, c 'est de l'ordre de 0.02 cm^{-1} ;

k_d est le coefficient de discontinuité ;

k_c est le coefficient de calage ;

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

2.2.3. Matériaux traités aux liants hydrocarbonés :

La limite admissible pour les matériaux traités au bitume est l'élongation par traction à la base ε_{tadm} . Elle est donnée par la formule suivante :

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 * \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{0.5} * \left(\frac{N}{10^6}\right)^{-b} * k_r * k_c * k_s$$

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 ;

N est le trafic pondéral de dimensionnement ;

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

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

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

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

δ est l'écart type sur les épaisseurs en cm : $\delta = \sqrt{\delta_n^2 + \left(\frac{c}{b}\right)^2 * \delta_h^2}$;

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 de l'épaisseur de la chaussée, c 'est de l'ordre de 0.02cm^{-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.

2.3. Détermination des épaisseurs des différentes couches de matériaux :

La détermination de l'épaisseur de chaque couche de matériau repose sur la vérification du critère de non rupture du matériau considéré pendant la durée de service de la chaussée, à savoir :

$$\sigma_{\max j} < \sigma_{\text{adm}j}$$

$\sigma_{\max j}$: Sollicitation maximale créée par le trafic dans la couche de matériau n° j, au sens du mode d'endommagement attaché au type de matériau considéré (traction horizontale par flexion ou compression verticale).

$\sigma_{\text{adm}j}$: Sollicitation admissible pour le matériau.

La détermination finale des épaisseurs de chaque couche de matériaux constituant la structure de la chaussée n'a pas, en général, de solution directe. Elle s'effectue souvent suivant une démarche itérative inverse schématisée ci-dessous :

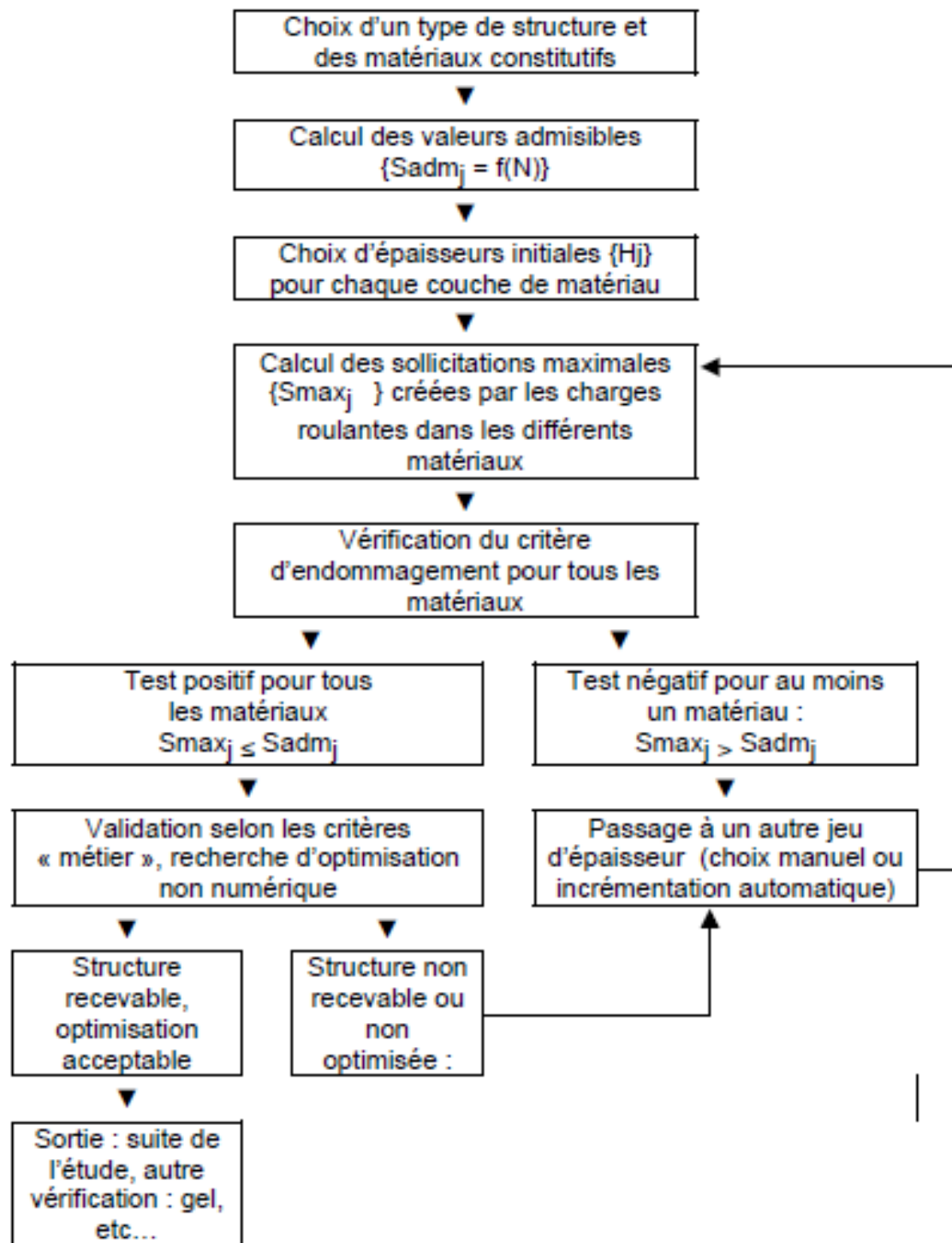


Figure 11 : Principe du dimensionnement rationnel

2.4. Calcul des contraintes dans la structure :

Le calcul des contraintes admissibles pourra être réalisé à partir des feuilles Excel et est présenté dans les fiches de matériaux en fonction du trafic que peut supporter le matériau ou avec le logiciel Alize.

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

CHAPITRE 3 : MÉTHODES DES CATALOGUES DE STRUCTURES

Pour uniformiser la structure des chaussées et pour surmonter aux imperfections des méthodes précédentes, des organismes ont élaboré des méthodes de dimensionnement qui proposent tout de suite des structures de chaussées selon les matériaux disponibles.

I. Catalogue du CEBTP :

La méthode du CEBTP avancée ici est une méthode basée sur des expériences et des constatations du comportement des chaussées dans des pays tropicaux dans lesquels on peut distinguer trois grandes unités climatiques majeures et trois grands types de sols :

- **Zone désertique et sahélienne à pluviométrie faible (<3000mm par an) :**

Les sols y sont rarement saturés ; la teneur en eau naturel y est plus souvent inférieure à celle de l'OPM.

- **Zone tropicale à saison sèche bien marquée :**

C'est la zone des savanes dans laquelle la teneur en eau naturelle excède, en saison humide, l'OPM.

- **Zone équatoriale à très forte pluviométrie :**

C'est la zone forestière dans laquelle les précipitations annuelles excèdent 1.2mm. Les sols restent imbibés une grande partie de l'année à une teneur en eau très nettement supérieur à l'OPM.

En ce qui concerne les sols en ces trois zones, ils peuvent être :

- Pulvérulents et perméables ;
- Moyens ;
- Fins et très peu perméables.

1.1. Paramètres d'entrée :

1.1.1. Indice portant de la plate-forme :

Malgré le grand nombre d'essais réalisés depuis que les laboratoires existent, il n'est pas possible, compte tenu de la diversité des conditions climatiques et géologiques des territoires concernés, de se référer aux seuls critères d'identification pour caractériser la portance des sols, aussi le C.B.R a-t-il été conservé ; il reste comme tout le meilleur moyen de différencier les sols sur la base de leur résistance au poinçonnement.

La valeur à retenir est la portance CBR des sols mis en œuvre dans les 30cm supérieurs de la plateforme. Il peut s'agir :

- Des terrassements en déblais ;
- De la couche supérieure des remblais ;
- Du terrain naturel ;
- D'une couche de forme.

La portance CBR sera déterminée en fonction des conditions de densité et de leur teneur en eau les plus défavorables subies à long terme par la plate-forme. Compte tenu de l'efficacité et de la fiabilité de drainage prévu, les conditions d'exécution de l'essai CBR pourront être différentes ; la portance sera alors donnée en référence à des durées d'imbibition qui pourront varier de 0heures à 7jours.

En règle générale, la durée d'imbibition des éprouvettes soumises au poinçonnement CBR sera de 4 jours ; on ne pourra diminuer la durée d'imbibition que si l'on a effectivement la preuve, après une campagne de mesure de teneur en eau sur terrain, qu'il est légitime de le faire.

1.1.2. Classe de portance des sols :

Les sols sont classés en cinq (05) classes selon le critère de sa capacité portante CBR.

S ₁	CBR < 5
S ₂	5 < CBR < 10
S ₃	10 < CBR < 15
S ₄	15 < CBR < 30
S ₅	CBR > 30

Tableau 09: Classification des sols de plateforme selon la CEBTP

C'est la réalisation des chaussées sur des sols de faible portance qui pose les problèmes majeurs. Il faut, dans la classe des sols S₁ de CBR inférieur à 5, dissocier les sols gonflants des autres sols peu porteurs.

Les terrains gonflants ont un comportement très particulier : il convient de les traiter selon les méthodes résultant d'études spécifiques.

Les épaisseurs de chaussées sur sols S_1 non gonflants ont été définies pour un CBR de 2 et admises pour toute la classe S_1 afin d'éviter un trop grand nombre de cas différents pour une même structure.

Il faut, de toute façon, chercher à disposer du meilleur sol de plateforme possible. On aura toujours intérêt à sélectionner le matériau, de façon à avoir en tête de remblai des sols de bonne portance sur au moins 30cm d'épaisseur.

Dans toute la mesure du possible, on substituera, sur environ 50 cm, aux sols en déblais de $CBR < 5$, des sols de meilleure portance ou on traitera le sol-support.

La faible portance des sols est généralement due à une teneur en eau excessive. Il est possible de limiter les effets de ce paramètre, quand on ne dispose pas de matériaux de substitution, en surélevant au maximum la plateforme, ce qui permet une consolidation des sols dont la portance s'améliore dans les couches supérieures. Le drainage de ces sections doit être très efficace.

1.1.3. Trafic :

a) Durée de vie :

L'importance du trafic qu'aura à supporter la route durant la période pour laquelle on la dimensionne est toujours difficile à appréhender. Il arrive que les conditions économiques locales se modifient rapidement entraînant des trafics dont l'accroissement avait été sous-estimé ; un renforcement est alors nécessaire.

Dans le cas général, on admettra que la chaussée devra être dimensionnée pour une période de quinze (15) ans avant que ses caractéristiques ne rendent nécessaires son renforcement. Mais par le biais du calcul du trafic équivalent en nombre de passages d'un essieu standard, il est possible de dimensionner une chaussée pour une durée de vie quelconque.

b) Répartition du trafic sur l'itinéraire :

Si la largeur de la route est inférieure à 7m, on prendra en compte l'ensemble du trafic dans les deux sens de circulation. Si la route a plus de 7m de largeur ou si les voies sont à circulation unidirectionnelles, on considèrera le trafic dans le sens le plus chargé.

c) Poids maximal d'essieu :

Les structures proposées sont prévues pour supporter des essieux simples dont la charge maximale est de 13T et un pourcentage de surcharge n'excédant pas 10%.

1.1.4. Classe de trafic :

Les classes de trafic retenues sont définies de plusieurs façons en fonction du degré de précision des données disponibles :

- Trafic journalier toutes catégories de véhicules confondues ;
- Trafic cumulé de poids lourds : véhicules définies comme ayant un poids total, en charge, supérieur à 3T ;
- Trafic cumulé selon les équivalences d'essieux tirés des essais AASHO par Liddle.

a) En nombre de véhicules par jour :

Il est défini par son intensité journalière moyenne sur une durée de vie de l'ordre de quinze ans, toutes classes de véhicules incluses. Le pourcentage moyen de poids lourds est supposé d'ordre de 30% du trafic total.

Cinq classes sont distinguées :

T1	< 300
T2	De 300 à 1000
T3	De 1000 à 3000
T4	De 3000 à 6000
T5	De 6000 à 12000

Tableau 10: Classe de trafic en nombre de véhicules par jour selon le CEBTP

T₁ inclut des routes à très faible trafic pour lesquelles le bitumage a cependant été décidé pour des raisons qui peuvent être indépendantes des critères purement économiques.

T₅ correspond à des chaussées de types autoroutiers à 2 fois 2 voies ou 2 fois 3 voies

b) En nombre cumulé de poids lourds :

Si l'estimation du trafic cumulé en nombre de poids lourds (véhicules de charge utile supérieure à 3T) est possible, l'appréciation de ce paramètre sera meilleure que dans le premier cas.

Les classes retenues correspondent approximativement à celles définies par la méthode précédente, si la durée de vie de la chaussée est prise égale à quinze ans et si le pourcentage de poids lourds est voisin de 30%. Ces classes sont les suivantes :

T1	$< 10^5$
T2	De 5.10^5 à $1,5.10^6$
T3	De $1,5.10^6$ à 4.10^6
T4	De 4.10^6 à 10^7
T5	De 10^7 à 2.10^7

Tableau 11: classe de trafic en nombre cumulé de poids lourds selon la CEBTP

Les formules pour les calculs du trafic sont les suivantes :

- Cas de croissance exponentielle :

$$t_n = t_1(1+i)^{n-1}$$

$$T_c = 365 \sum_{n=1}^n t_n = 365 \cdot t_1 \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

- Cas de croissance linéaire :

$$t_n = t_1[1 + (n-1)i]$$

$$T_c = 365 \sum_{n=1}^n t_n = 365 \cdot n \cdot t_1 \left[\frac{2 + (n-1)i}{2} \right]$$

t_1 Trafic moyen journalier de la première année ;

t_n Trafic moyen journalier de l'année n ;

I Taux d'accroissement annuel du trafic ;

T_c Trafic cumulé pendant la durée de vie n .

c) En nombre de passage d'un essieu standard :

Les classes de trafic exprimé en nombre cumulé d'essieux équivalents sont les suivantes :

	Essieux équivalents de 13T	Essieux équivalents de 8.2T
T1	$< 5.10^5$	$< 3.10^6$
T2	De 5.10^5 à $1,5.10^6$	De 3.10^6 à 10^7
T3	De $1,5.10^6$ à 4.10^6	De 10^7 à $2,5.10^7$
T4	De 4.10^6 à 10^7	De $2,5.10^7$ à 6.10^7
T5	De 10^7 à 2.10^7	De 6.10^7 à 10^8

Tableau 12: Classes de trafic en nombre cumulé de passages d'un essieu standard(CEBTP)

Le calcul du trafic cumulé en essieux équivalents pendant la durée de vie choisie n se fera à partir du trafic initial en utilisant les mêmes formules de sommation que précédemment.

- *Cas de croissance exponentielle :*

$$T_c = 365 \sum_{n=1}^n t_n = 365 \cdot t_1 \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

- *Cas de croissance linéaire :*

$$t_n = t_1[1 + (n - 1)i]$$

$$T_c = 365 \sum_{1}^n t_n = 365. n. t_1 \left[\frac{2 + (n - 1)i}{2} \right]$$

t_1 Trafic moyen journalier de la première année ;

t_n	Trafic moyen journalier de l'année n ;
-------	--

I Taux d'accroissement annuel du trafic ;

T_c Trafic cumulé pendant la durée de vie n.

Dans le calcul du trafic équivalent, on pourra souvent négliger la prise en compte des véhicules légers dont l'influence est faible. Connaissant les types de véhicules composant le parc automobile d'un pays et leur charge par essieu, on pourra affecter chacun des types d'un facteur d'équivalence global par véhicule et effectuer la sommation à partir des données des campagnes de comptage de la circulation et des estimations de projection de trafic.

Ces facteurs d'équivalence sont fonctions du poids total du véhicule et du nombre d'essieux et ils sont donnés par un abaque (en annexe).

Exemple :

Poids mort : 10T CU : 18T

Charge effective : 15T

Poids total : 23T sur 3 essieux

L'abaque de facteur global d'un véhicule donne : $f = 3.2$ à 4.6

Coefficient de chargement : $z = \frac{\text{charte effective}}{\text{charge utile}} = \frac{15}{18} = 0.83$

La courbe d'interpolation donne : $y = 0.92$

D'où : $f = 3.2 + 0.92(4.6 - 3.2) = 4.5$

1.2. Dimensionnement des structures :

Des tableaux proposent les structures qui peuvent être adoptées en fonction des ressources locales en matériaux, des trafics et de la portance de la plateforme.

Ces structures sont prévues de telle façon que :

- Les contraintes de compression au niveau de la plateforme n'entraînent pas le poinçonnement de celle-ci ;
- Les contraintes de traction à la base des couches améliorées ou traitées n'entraînent pas leur rupture par flexion ;
- Les déformations sous trafic restent admissibles au comportement en fatigue des matériaux ;
- Les épaisseurs des couches sont compatibles avec les technologies de mise en œuvre ; en particulier, l'épaisseur minimale (E) des couches réalisées en matériaux comportant de gros éléments ne s'écrasant pas sous le compactage doit être telle que : $E \geq 2.5D$, D étant le diamètre de l'élément le plus gros de matériau.

Les structures proposées ont été vérifiées au moyen du programme « Milfeuil ».

II. Catalogue du SETRA-LCPC

Le catalogue du SETRA – LCPC se présente sous la forme d'un jeu de fiches, pour chaque type de chaussée : les différentes structures y sont présentées en fonction de deux éléments : trafic (T_1 , T_2 , T_3 et T_4) et sol-support (S_1 , S_2 , S_3 et S_4).

2.1. Détermination de la classe T du trafic :

C'est le trafic lourd que supporte une chaussée qui conditionne son dimensionnement. En fait, on tient compte du trafic des véhicules ayant plus de 5T de charge utile.

Il y a par ailleurs un lien étroite entre le dimensionnement d'une chaussée neuve et l'entretien qu'il sera nécessaire d'effectuer sur cette chaussée pour lui conserver ses qualités.

Le tableau suivant permet de choisir la classe de trafic à prendre en compte. Ce choix implique un niveau d'entretien à assurer, qui devra être adapté ultérieurement à l'augmentation de la circulation. Il a été établi dans les hypothèses suivantes :

- L'accroissement annuel du trafic est de 7% ;
- Il est équilibré dans les deux sens de circulation ;

- Les véhicules de 5T et plus de charge utile représentent 10% du trafic total.

Il s'agit du trafic journalier moyen total de tous les véhicules empruntant (ou qui emprunteront) la route dans les deux sens de circulation pendant l'année de mise en service.

Si le pourcentage du poids lourds diffère sensiblement de 10% du trafic total, on déterminera un trafic journalier fictif en multipliant par 10 le nombre estimé de véhicules de cette catégorie qui circuleront dans les deux sens de la route.

Si le trafic du poids lourds n'est pas équilibré, on dimensionne la chaussée en prenant comme base le trafic égal au double de celui du sens le plus chargé.

TRAFFIC (en véhicule/jour année de mise en service)	Aménagement définitif		Aménagement progressif	
	Classe de trafic	Classe d'entretien	Classe de trafic	Classe d'entretien
$T \geq 15000$	Etude spéciale	-	-	-
$15000 > T \geq 6000$	T_1	E_1	Déconseillé	
$6000 > T \geq 3000$	T_2	E_2	Déconseillé	
$3000 > T \geq 1500$	T_3	E_3	T_4	E_2
$1500 > T \geq 750$	T_3	E_4	T_4	E_2
$750 > T \geq 200$	T_4	E_4	Etude spéciale	
$T < 200$	Ces routes ne sont pas concernées. Toutefois il n'est pas impensable d'envisager d'adopter les caractéristiques minimales à la classe T_4			

Tableau 13: Classe de trafic suivant SETRA – LCPC

2.1.1. Prise en compte de l'entretien :

Le coût de l'entretien préventif normal de la chaussée peut être estimé pour chacune des classes d'entretien aux sommes correspondant à une certaines couches de béton bitumineux par an :

- E1: 1.2cm BB/an
- E2: 0.8cm BB/an
- E3: 0.6cm BB/an
- E4: 0.4cm BB/an

Certain entretien préventif normal a pour but de limiter les réparations localisées, d'adapter la chaussée à l'évolution du trafic, de conserver la capital ainsi investi.

2.1.2.Aménagement progressif :

Pour les plus faibles trafics, il peut être intéressant d'envisager, moyennant un entretien de la catégorie supérieure, un aménagement progressif de la chaussée.

2.1.3.Exemples de calcul du paramètre T :

a) Exemple 1 :

Données : trafic moyen prévu en 2014 : 3500 v/j ;
 Nombre de véhicules de 5T et plus de charge utile : 625 soit 18% ;
 Circulation équilibrée dans les deux sens ;
 Année de mise en service : 2018

Trafic fictif pris en compte pour 2014 : $625 \times 10 = 6250 \text{ v/j}$;

Trafic en 2018, moyennant l'accroissement annuel de 7%: $6250 \left(1 + \frac{4*7}{100}\right) = 8000v/j$

D'où la classe du trafic T_1

b) Exemple 2 :

Données : Trafic moyen prévu en 2013 : 1200v/j
 Nombre de véhicules de 5T et plus de charge utile : 128 soit 10%
 Année de mise en service : 2018

Trafic pris en compte pour 2018 : $1200 \left(1 + \frac{7*5}{100}\right) = 1600 \text{ v/j}$

Classe de trafic : T₃ avec entretien de classe E₃ ou T₄ avec aménagement progressif et entretien E₂.

2.2. Détermination de la classe S du sol de fondation :

Le paramètre S du sol de fondation est choisi compte tenu des éléments suivants :

- Caractéristiques géotechniques du sol : classification LPC
CBR et IP éventuellement
- Condition climatique
- Qualité de drainage.

Le tableau suivant permet, à partir de ces facteurs, de choisir la classe du sol.

Explication du tableau :

- *Régime hydraulique* : les conditions du régime hydraulique sont réputées bonnes lorsque d'une part le niveau supérieur de la nappe phréatique est toujours situé à plus d'un mètre au-dessous de la surface du sol sous-jacent supportant la

chaussée, et d'autre part que l'imperméabilisation des accotements et un drainage suffisant sont prévus.

- *Gel* : la prise en compte de gel intervient dans le dimensionnement pour un certain nombre de catégories de sol. On ne prend pas en compte de gel si la région n'est pas « gélive », c'est le cas de Madagascar.
- *La classification LPC* : est donnée en annexe

Classification LPC	Indice portant CBR	Indice de plasticité IP	Prise en compte du gel	Régime hydraulique	Classe du sol
Gb, Gm	-	-	-	-	S ₄
Gl	-	< 7	Non	Bon Mauvais	S ₄ S ₃
			Oui	Bon Mauvais	S ₃ S ₂
		> 7	Non		S ₃
			Oui	Bon Mauvais	S ₂ S ₁
GA	-	-	Non	Bon Mauvais	S ₃ S ₂
			Oui	Bon Mauvais	S ₂ S ₁
Sb, Sm	-	-	-	Bon Mauvais	S ₃ S ₂
SL Schistes brûlés Cendres volcaniques	-	< 7	Non	Bon Mauvais	S ₃ S ₂
			Oui	Bon Mauvais	S ₂ S ₁
		> 7	Non	Bon Mauvais	S ₂ S ₁
			Oui		S ₁
SA	-	-	Non	Bon Mauvais	S ₂ S ₁
			Oui		S ₁
Lp		> 4	Non	Bon Mauvais	S ₂ S ₁
			Oui		S ₁
		< 4			S ₁
Ap Lt At Graies et marnes					S ₁

Tableau 14 : Détermination de la classe de sol S_j selon SETRA – LCPC

2.3. Fiches-types des chaussées :

On choisit en premier lieu un type de chaussée, compte tenu des matériaux disponibles dans la région, de considérations économiques et des qualités particulières que doit posséder la chaussée.

Le catalogue comprend 7 fiches correspondant au 7 types de chaussées, d'après la nature des matériaux prévus en couche de base et en couche de fondation.

N° du type	Couche de base	Couche de fondation
1	Grave-laitier	Grave-laitier
2	Grave-laitier	Sable-laitier
3	Grave-bitume	Grave-bitume
4	Grave-bitume	Sable-bitume
5	Grave-bitume	Grave non traitée
6	Grave-ciment	Grave non traitée
7	Grave-ciment	Sable-laitier

Tableau 15: Type de chaussée du SETRA – LCPC

La détermination de T et S permettra donc de connaître immédiatement d'après la fiche relative au type retenu, la structure à adopter pour la chaussée.

Conclusion partielle:

Les méthodes de dimensionnement ont chacune sa manière de prendre compte les paramètres intervenant dans le dimensionnement de la chaussée. Il faut donc bien choisir la méthode à appliquer pour un tel projet.

Ce qui nous mène à la dernière partie qui concernera l'analyse de ces méthodes et une application pour dimensionner un tronçon de la RN 44.

3^{ème} partie : ANALYSE DES METHODES ET APPLICATION

CHAPITRE 1 : ANALYSE DES MÉTHODES

Les méthodes de dimensionnement citées dans la partie précédente peuvent être récapitulées dans le tableau suivant :

Paramètres	EMPIRIQUES			RATIONNELLE	CATALOGUES	
	CBR	LCPC	LNTPB		CEBTP	SETRA-LCPC
Classification du sol-support	CBR	CBR	CBR	- CBR - E - K	CBR	- Classification LPC - Indice de plasticité - Qualité de drainage
Qualification des matériaux routiers	CBR	E	E	- E - K		
Classification du trafic	Charge maximale par roue	Cumulé (Essieu standard)	Nombre/jour (> 3T)	Cumulé (Poids lourds)	- Nb /jour - Cumulé (Poids lourds) - Essieu standard	Nombre/jour

Tableau 16 : Synthèse des méthodes de dimensionnement

D'après ces méthodes, trois grands points peuvent être considérés comme base pour le dimensionnement des chaussées :

- La définition des paramètres : celle-ci inclue la détermination des matériaux disponibles ;
- La détermination des épaisseurs des couches de la chaussée ;
- La vérification de la structure ainsi obtenue.

I. Les paramètres de dimensionnement des chaussées :

Les paramètres mis en jeu pour le dimensionnement des chaussées, pour toutes les méthodes :

- La qualité du sol-support et des matériaux constituant le corps de la chaussée, c'est-à-dire les paramètres géotechniques ;
- Les conditions environnementales ;
- La charge que doit supporter la chaussée.

On peut aussi les classer en deux catégories bien distinctes : les données et les hypothèses.

C'est la façon d'exploiter et de prendre en compte ces différents paramètres qui constitue le point de divergence entre les méthodes.

1.1. Les paramètres géotechniques :

Plusieurs paramètres géotechniques peuvent être utilisés pour définir la qualité du sol de la plateforme ainsi que les matériaux routiers.

Pour le dimensionnement des chaussées on utilise :

- L'indice CBR ;
- La classification LPC ;
- L'indice de plasticité.

1.1.1. L'indice C.B.R. (Californian Bearing Ratio):

C'est le paramètre le plus utilisé pour qualifier le sol de plateforme pour le dimensionnement des chaussées. Il est aussi utilisé pour certaines méthodes pour la caractérisation des matériaux du corps de chaussée.

L'essai CBR est un essai qui a pour but d'évaluer la résistance des sols au poinçonnement.

L'essai est réalisé sur des échantillons moulés et compactés suivant la procédure des essais Proctor (Modifié). L'échantillon moulé est poinçonné après 96 heures (4 jours et 4 nuits) à une vitesse de déformation de 1.27 mm/mn.

Cette durée d'imbibition de 4 jours et 4 nuits de l'échantillon correspond au cas le plus défavorable des conditions climatiques.

1.1.2. La classification LPC :

Cette classification est basée sur l'étude de la granulométrie et les limites d'Atterberg. Ces caractéristiques sont importantes car on peut en déduire des conclusions pratiques en ce qui concerne le dimensionnement des chaussées.

Une classification à partir de la connaissance de ces caractéristiques permettra ensuite de donner des indications concernant leur comportement ultérieur, les possibilités de compactage et d'utilisation éventuelle dans la constitution des chaussées.

La méthode de catalogue du SETRA – LCPC se réfère à cette classification des sols grenus et fins.

L'indice de plasticité entre aussi en jeu pour cette classification. C'est la différence entre la teneur en eau, limite de liquidité et la limite de plasticité. Il mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol.

Il y a donc un lien étroit entre cette classification et l'indice portant CBR d'un sol.

1.1.3. Le module d'élasticité :

C'est le paramètre le plus utilisé pour tenir compte de la qualité des matériaux utilisés pour chaque couche d'une structure de chaussée surtout pour les matériaux traités.

Le module d'élasticité est déterminé par des essais à la plaque.

Il intervient soit par le coefficient d'équivalence des matériaux, soit par le rapport de module des couches successives.

Ces essais sont, dans la plupart des cas, des essais effectués en laboratoire qui diffèrent généralement avec la réalité sur le terrain. C'est pour cette raison qu'on utilise dans la méthode rationnelle des paramètres de correction d'aspect probabiliste pour tenir compte de ces différences.

1.2. Les données environnementales :

Ce sont les données géographiques de la Région.

1.2.1. Conditions climatiques :

Le climat de la Région du projet est très important pour le choix de la méthode de dimensionnement à appliquer.

La variation de température influence beaucoup sur le comportement des matériaux de chaussée et surtout les matériaux traités, c'est pourquoi certaines méthodes comme les méthodes empiriques et les méthodes de catalogues ne peuvent être appliquées que pour des conditions d'Environnement bien définies.

Le choix de ces méthodes empiriques et ces catalogues ainsi que le choix des matériaux pour le corps de la chaussée doit être fait avec beaucoup de prudence car le problème de changement climatique est maintenant devenu un grand problème qui affecte le monde entier.

1.2.2. Hydrologie :

La condition hydrologique qu'on parle ici, ce sont les conditions d'assainissement de la chaussée, c'est-à-dire la condition de drainage.

Elle est étroitement liée aux conditions climatiques.

La durée entre l'Etude et l'exécution des Travaux peut être importante. En plus, les Travaux de Terrassement modifient le relief du terrain donc il peut y avoir des changements de direction de l'écoulement des eaux alors que l'infiltration des eaux dans le corps de la chaussée peut entraîner beaucoup de désordre sur celui-ci car « l'eau est le premier ennemi du sol ».

Pour ces deux raisons, la condition de drainage et d'assainissement de la chaussée doit être pris en compte pendant la phase de dimensionnement car elle assure le non changement ou même l'amélioration du sol de fondation pendant la construction de la chaussée et au cours de son exploitation.

1.3. Les charges appliquées à la chaussée :

1.3.1. Actions des véhicules sur la chaussée :

Les véhicules agissent sur la chaussées par :

- Des actions verticales ;
- Des actions tangentielles : dans le sens longitudinal et dans le sens transversal
- Des actions dynamiques : dues au choc des roues sur les saillies ou dans les flaches de la surface entraînant un effort qui croît avec la vitesse ;
- Des vibrations : due à la vibration des moteurs et elles sont transmises à la chaussée ;
- Des phénomènes succion : dus aux sculptures de la bande de roulement des pneumatiques qui créent souvent un effet de ventouse tendant à déchausser les matériaux du revêtement ;

Ces sollicitations sont transmises à la route par l'intermédiaire des pneumatiques, ou des chenilles pour les engins qui en sont dotés et elles entraînent pour la chaussée un phénomène appelé « déflexion ».

La déflexion est la déformation résiduelle de la chaussée après l'application de la charge d'un véhicule.

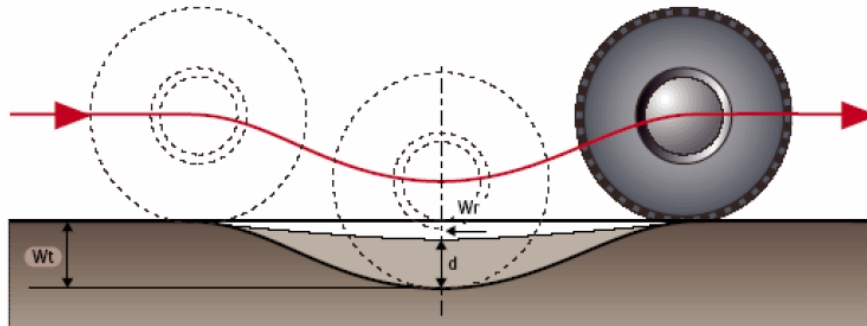


Figure 12: Schéma du principe illustrant la déflexion d'un sol sous l'effet de passage d'une charge

1.3.2. Le trafic :

Dans le domaine routier, on utilise la notion de classe de trafic pour le dimensionnement des chaussées.

Le trafic peut être défini de manières différentes selon les méthodes de dimensionnement. Il y a le trafic exprimé en nombre de véhicules par jour et toutes catégories de véhicules comprises et il y a des méthodes qui ne s'intéressent qu'aux véhicules ayant une charge supérieure à un seuil (3T ou 5T).

L'évaluation du trafic doit faire l'objet d'une étude spécial car le but de cette étude est de mettre en évidence la répétition de la charge (de toutes les sollicitations citées précédemment) sur la chaussée c'est-à-dire d'estimer le nombre de passages des véhicules sur la route au cours de sa durée de vie.

C'est l'évaluation de ce trafic dans les années à venir qui est le plus difficile car ce trafic évolue en fonction de la potentialité économique de la Région qui dépend beaucoup de la qualité de la route.

Pour l'estimation du trafic, on fait intervenir, pour chaque méthode, un coefficient dit « taux d'accroissement annuel » pour évaluer le trafic en une année définie. Ce coefficient varie généralement de 7% à 10% pour toutes les méthodes précédentes mais elles prévoient des valeurs ou calcul dans le cas différents.

Cet accroissement peut s'effectuer de façon linéaire ou exponentielle selon la méthode de dimensionnement.

Il est intéressant d'étudier le trafic en considérant le trafic cumulé en essieux standard c'est-à-dire considérer toutes catégories de véhicules et les affecter des coefficients et pour le mode d'accroissement, une étude spécifique de la potentialité économique est nécessaire pour le connaître.

On peut ainsi distinguer deux catégories bien distinctes en ce qui concerne les paramètres de dimensionnement des chaussées : les données et les hypothèses.

Les données : ce sont les valeurs obtenues à partir des mesures (des essais en laboratoire ou des comptages, ...). Elles sont alors des valeurs réelles et communes à toutes les méthodes de dimensionnement. Elles concernent :

- Les paramètres géotechniques ;
- Les conditions climatiques ;
- Les données de trafic issues de la campagne de comptage.

Les hypothèses : ce sont les valeurs ou conditions à adopter pour une méthode. Ces valeurs ou conditions peuvent donc varier d'une méthode à une autre. Elles concernent l'accroissement du trafic soit sur la valeur du taux d'accroissement, soit sur le mode d'accroissement du trafic. Les hypothèses se posent aussi sur la modélisation des structures afin de trouver des équations supplémentaires.

II. Les outils de dimensionnement de chaussée :

Le dimensionnement des chaussées est un problème un peu complexe car il y a plusieurs paramètres mis en jeu. On ne trouve jusqu'à présent des modèles de calcul qui aboutissent à un résultat unique c'est-à-dire des équations de même nombre que des inconnues mais le plus important c'est d'avoir des résultats qui satisfont aux conditions de dimensionnement. Des outils sont alors développés pour trouver ces résultats.

2.1. Les abaques :

Ce sont des tableaux graphiques par lesquels on détermine une valeur numérique à partir de plusieurs facteurs variables.

Ces graphiques sont en général obtenus à partir des équations empiriques. C'est pourquoi les méthodes empiriques utilisent des abaques pour le dimensionnement des chaussées.

Généralement, les abaques donnent les épaisseurs mais il y a aussi des abaques pour déterminer les contraintes dans les différentes couches d'une structure de chaussée.

2.2. Les outils informatiques (logiciels) :

Les logiciels utilisés pour le dimensionnement des chaussées sont des logiciels de calcul des contraintes dans les couches constituant la structure. Il existe plusieurs logiciels pour le calcul de ces contraintes comme : Alizé, Ecoroute, Milfeuil, ... mais le plus utilisé actuellement est Alizé du LCPC.

2.3. Les fiches-types :

Certaines méthodes de dimensionnement proposent tout de suite des structures c'est-à-dire les matériaux et leurs épaisseurs. Ces structures sont données à l'aide des tableaux en fonction de la classe du sol de la plateforme et le trafic. Ces tableaux sont appelés fiche-type des structures.

Plusieurs méthodes utilisent ces fiches-pour le dimensionnement. Elles sont obtenues par des synthèses et observation du comportement des chaussées existantes en fonction des conditions d'environnement d'une Région.

III. Résultats et vérifications :

Les résultats de dimensionnement des chaussées doivent aboutir à des épaisseurs des couches de la chaussée. Ils peuvent être exprimés soit directement par les épaisseurs de chaque couche soit passant par une épaisseur équivalente.

Ces résultats peuvent être différents d'une méthode à une autre car les équations pour déterminer les épaisseurs de couches ont une infinité de solutions. Mais ils doivent satisfaire à certaines conditions non seulement théoriques, mais aussi des conditions pratiques: les contraintes et/ou déformations dans chaque couche de la chaussée doivent être inférieures à des valeurs limites, et il est aussi nécessaire de prévoir pour ces résultats les conditions de mise en œuvre.

Comme toutes les études du Génie Civil, le dimensionnement des chaussées doit aussi faire l'objet d'une vérification vis-à-vis des contraintes et déformations. Ces valeurs limites peuvent être fonction de la charge appliquée à la chaussée.

Pour le dimensionnement des chaussées, les moyens utilisés pour la vérification des structures sont les suivants :

- Vérifications au préalable des structures pour les méthodes qui proposent des structures-types. Ces structures aussi ont été vérifiées par l'observation du comportement réel des chaussées déjà existantes ;
- Vérifications par des calculs manuels : utilisation des abaques pour le calcul des contraintes. Le domaine d'utilisation de ces abaques est limité car on a vu qu'elles sont basées par des formules empiriques ;
- Vérification par les moyens informatiques : utilisation des logiciels de calcul des contraintes.

CHAPITRE 2 : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES MÉTHODES

I. Les méthodes empiriques :

Pour connaître par une telle voie l'influence des paramètres nombreux comme épaisseurs des différentes couches et les propriétés mécaniques des matériaux, il faut un grand nombre important de sections expérimentales et le coût est très élevé. C'est surtout la question d'épaisseur des couches de chaussées qui est abordée par une telle méthode.

Le temps de réponse y est trop long car il n'y a pas d'accélération du trafic et les extrapolations sont hasardeuses.

Les relations obtenues par cette voie d'analyse statistique par régression ne s'appliquent qu'aux matériaux étudiés, qu'aux conditions d'environnement de l'expérimentation et qu'aux sol-supports rencontrés d'où l'impossibilité de généralisation.

1.1. La méthode CBR :

C'est une méthode très simple et très rapide à utiliser mais elle ne tient pas compte de la circulation qui, par les charges répétées dues aux passages des véhicules, entraîne une fatigue de la chaussée et nécessite donc une plus grande épaisseur de chaussée ou une meilleure qualité des matériaux.

Cette méthode conduit à un surdimensionnement.

Cette méthode a quand même une grande importance car son perfectionnement conduit à la plupart des méthodes de dimensionnement qui lui sont postérieures.

1.2. La méthode du LCPC :

Cette méthode fait intervenir le trafic à venir et la nature des matériaux utilisés mais elle présente trois imperfections :

- Ce trafic prévisible est difficile à estimer ;
- La qualité des matériaux est incomplètement pris en compte surtout lorsqu'il s'agit des graves traitées ;
- Pour le sol en place, elle ne tient compte que du seul CBR alors que bien d'autres facteurs peuvent jouer.

1.3. La méthode LNTPB :

Cette méthode classe le trafic en deux catégories : TN et TL et ceux correspondent à des pourcentages de catégories de véhicules. Pour le classement, chaque catégorie de véhicule correspond à un pourcentage très strict. Il se peut alors que la proportion des différentes catégories de véhicules se diffère largement des proportions pour ces deux classes. Dans ce cas, il est alors difficile de classer le trafic.

La méthode aussi ne tient compte que des véhicules ayant une charge supérieure à 3 tonnes, alors qu'il pourra y avoir des chaussées où le trafic ne présente que des véhicules légers mais en nombre très importants. On peut trouver des trafics de ce genre dans les milieux urbains, par exemple.

II. **La méthode rationnelle :**

La méthode rationnelle est une méthode théorique mais elle devient beaucoup plus pratique suite au développement de l'outil informatique donc c'est une méthode plus récente.

Elle présente désormais quelques inconvénients :

C'est une méthode qui se base sur le calcul des contraintes dans les différentes couches de la structure. Pour cela, un problème se pose sur la modélisation des structures car ces modèles peuvent se différencier du comportement réel de la structure.

Plusieurs hypothèses sont alors adoptées pour le calcul. Il faut bien maîtriser chacun de ces paramètres pour qu'on puisse avoir des résultats optimums.

Le problème conduit à des équations complexes qu'on ne peut résoudre qu'en utilisant des programmes informatiques. La méthode est donc étroitement liée à l'informatique donc elle présente aussi les inconvénients de tous les logiciels informatiques :

- Elle aboutit à des résultats même si les données saisies sont incorrectes ;
- Elle nécessite la maîtrise parfaite de l'exploitation du logiciel afin d'optimiser les résultats ;
- Il faut bien comprendre tous les paramètres qui entrent en jeu dans l'utilisation du logiciel ;
- Il faut aussi bien savoir interpréter et analyser les résultats obtenus ;

- Comme le logiciel sert à déterminer les contraintes dans chaque couche de la structure et non pas leurs épaisseurs, il faut donc avoir des ordres de grandeurs sur les épaisseurs des couches à mettre en œuvre.

Par contre, en maîtrisant ces divers paramètres, cette méthode a beaucoup d'avantages importants :

- Un des plus grands avantages de la méthode rationnelle c'est que c'est une méthode très généralisée c'est-à-dire on peut l'appliquer pour diverses circonstances ;
- Elle tient compte de tous les paramètres intervenant dans le fonctionnement de la chaussée : trafic, la qualité des matériaux de chaussée et les conditions environnementales ;
- C'est aussi une méthode très rapide et conduisant à des résultats précis.

III. Les méthodes de catalogue de structure :

Ces méthodes peuvent être considérées comme des méthodes empiriques. Elles sont basées sur l'observation du comportement des chaussées existantes donc le domaine d'utilisation est aussi très limité car en plus les conditions environnementales de la Région, les matériaux aussi sont limités.

Par contre ce sont des méthodes assez sûres car les résultats sont déjà palpables car elles ont été déjà sanctionnées par des expériences et qu'elles ont donné satisfaction.

3.1. Méthode du CEBTP :

Cette méthode permet de dimensionner des chaussées souples et des chaussées semi-rigides car dans le catalogue, il y a des structures qui possèdent des couches d'assises traitées.

C'est une méthode puissante sur l'évaluation du trafic car elle étudie profondément la croissance et les différents cas d'essieu. Elle est donc très intéressante pour la détermination de la charge appliquée à la chaussée.

3.2. Catalogue du LCPC – SETRA :

Les structures proposées dans ce catalogue présentent des couches d'assise traitées donc ce sont des chaussées semi-rigides qui concerne les chaussées à trafic élevé.(ces structures seront développées dans l'annexe).

Chaque structure proposée possède les avantages et inconvénients suivants.

3.2.1. Structure de type I :

Avantages :

- Facilité de construction :
 - Sensibilité modérée aux conditions climatiques lors de la mise en œuvre ;
 - Obtention facile d'un bon uni durable ; bonne imperméabilité.
- Faible sensibilité aux hétérogénéités de portance du sol de fondation

Inconvénients :

- Absence d'adaptation aux petits mouvements du sol de fondation ;
- Conséquences éventuelles à long terme de la fissuration encore mal connues (technique trop récente) ;
- Difficultés probables des renforcements.

3.2.2. Structure de type II :

Avantages :

- Facilité de construction :
 - Sensibilités modérées aux conditions climatiques ;
 - Faible sensibilité à l'état de la forme : il s'agit d'un cas où la couche de forme est parfois inutile ;
 - Obtention facile d'un bon uni ; bonne imperméabilité

Inconvénients :

Cette structure a les mêmes inconvénients que la structure de type I.

3.2.3. Structure de type III, IV et V :

Avantages :

- Susceptibles de s'adapter aux petites déformations irréversibles du sol de fondation ;
- Ne fissurent pas sous l'action des contraintes thermiques

Inconvénient :

- Risque éventuel d'orniérage et de déformation dans le profil en long, surtout si l'exécution de la couche de forme n'est pas soignée.

3.2.4. Structure de type VI :

Avantages :

- Sensibilité relativement faible aux hétérogénéités de portance du sol de fondation ;

- Entretien peu onéreux.

Inconvénients :

- Sensibilités aux intempéries lors de la construction ;
- Risque de rupture de la grave-ciment provoquée par le tassement des couches granulaires intermédiaires si ces dernières ne sont pas parfaitement compactées et très stables et absence d'adaptation aux petits mouvements du sol de fondation ;
- Conséquences éventuelles à long terme de la fissuration encore mal connues ;
- Difficultés probables des éventuels renforcements ultérieurs.

3.2.5. Structure de type VII :**Avantages :**

- Facilité de construction ;
- Faible sensibilité aux hétérogénéités de portance du sol de fondation, aux conditions climatiques lors de la mise en œuvre de la couche de fondation ;
- L'état de la forme : la couche de forme peut parfois être inutile.

Inconvénients :

- Sensibilité aux conditions climatiques lors de la mise en œuvre de la couche de base (variation de la teneur en eau) ;
- Absence d'adaptation aux petits mouvements du sol de fondation ;
- Conséquences éventuelles de la fissuration encore mal connues ;
- Difficultés probables des éventuels renforcements.

CHAPITRE 3 : APPLICATION

L'application est faite sur la RN 44, une route située dans la Région d'Alaotra Mangoro qui relie Moramanga à Ambatondrazaka.

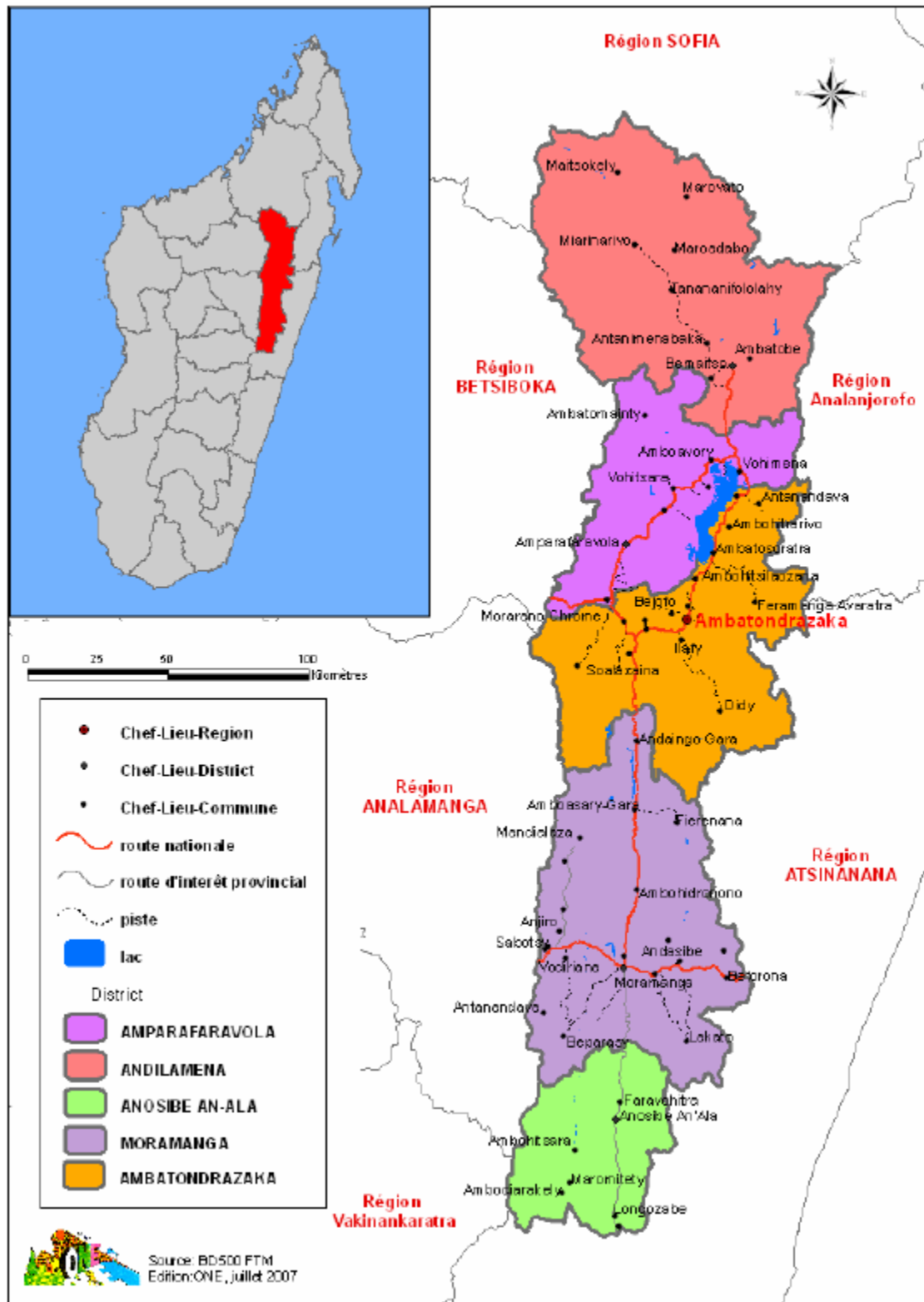


Figure 13 : Localisation géographique de la Région

I. Choix de la Région :

1.1. Population :

En 2006, la Région Alaotra Mangoro comptait 1 142 059 habitants (34.15 hab/km²). (Source : RGPH 1993 – INSTAT ; Monographie des Districts – 2004 ; Cinq Districts de la Région Alaotra Mangoro).

La croissance démographique de la Région est de l'ordre de 3.11% largement supérieure par rapport au taux de croissance nationale 2.5%.

La densité de population est élevée par rapport à la moyenne nationale : 29.6 hab/km² en 2006.

La majorité de la population se concentre aux alentours du Lac Alaotra et dans la ville carrefour de Moramanga dont la densité varie de 101 à 141 hab/km². Par ailleurs, la population a aussi tendance à s'installer à proximité des grands axes RN 44 et RN2.

1.2. Structure économique de la Région :

Secteur primaire : agriculture, élevage, sylviculture, pêche ;

Secteur secondaire : industrie, mines, bâtiments et artisanat ;

Secteur tertiaire : commerce, tourisme, transport

Du point de vue économique, la Région Alaotra-Mangoro peut être subdivisé en trois zones :

La zone économique du centre : (sous-région Alaotra : Districts d'Ambatondrazaka et Amparafaravola) caractérisée par la production agricole ;

La zone économique du Sud : (sous-région de Mangoro : Districts de Moramanga et d'Anosibe An'ala) riche en patrimoine forestier et environnemental ;

La zone économique de Nord : marquée par l'élevage des bovidés et l'existence des zones de pâturage (Nord d'Amparafaravola et Andilamena).

a) Activités agricoles :

Outre la riziculture, les milliers d'hectares de terrains cultivables sont propices aux diverses cultures vivrières, maraîchères, industrielles et de culture de rente.

Principales cultures vivrières :

La riziculture fait la renommée de la Région. Cette activité se développe surtout dans les plaines autour du Lac Alaotra. Les principaux greniers à riz sont les Districts d'Ambatondrazaka et Amparafaravola plus précisément les zones autour du lac (Amparafaravola, Ambohijanahary, Morarano chrome, Ampitatsimo, Beanana, Anororo, ...) avec plus de 120 000ha de rizières dont 35 000ha irriguées. Alaotra Mangoro assure une production annuelle d'environ 300 000 tonnes de riz et elle est le principal fournisseur du marché régional.

Superficie rizicole totale en ha selon le type de riziculture (campagne agricole 2004-2005)

	Irrigué	Tanety	Tavy	total
Région Alaotra Mangoro	72 918	4 708	8 943	86 569
Madagascar	979 802	104 950	160 095	1 244 847

Source : *Direction des Systèmes d'Inforamtion – Services des Statistiques Agricoles – MAEP – 2006*

Tableau 17 : Superficie rizicole de Madagascar et de la Région Alaotra Mangoro

Le manioc occupe la deuxième position avec environ 98 000t/an dont 40% de la production proviennent du District de Moramanga. Une féculerie qui occupe une superficie de 6 700ha est implantée à Marovitsika.

Le maïs suit de loin le manioc avec une production de 4000 t/an ; cette spéculation se développe surtout dans le District d'Andilamena.

Principales cultures de rente :

Les Districts de Moramanga et d'Anosibe An'ala sont propices aux cultures de rentes (café entre autre), aux cultures maraîchères et fruitières lesquelles sont favorables au voisinage immédiat des bas-fonds et au niveau des vallées intercalées dans les escarpements de montagne des zones forestières.

Le niveau d'intensification agricole est encore faible et les surfaces cultivables aménagées sont encore insuffisantes. Cette situation est aggravée par l'ensablement considérable des zones de cultures, en particulier au niveau des bas-fonds.

b) Secteur minier :

Le secteur minier est actuellement un secteur en cours de développement dans la Région. En effet des nouveaux gisements de roches précieux ont été découverts dans cette Région et cela entraine une migration importante des gens dans cette Région.

Vue la quantité importante d'habitants et ces différents paramètres économique, la Région peut devenir une grande source de richesse pour le pays tout entier car elle pourra assurer une grande partie de la production de riz à Madagascar.

La mauvaise qualité du réseau routier constitue un obstacle pour l'évacuation de ces produits et cela entraine une perte pour le pays empêche aussi le développement de la région.

D'autres activités économiques aussi peuvent se développer dans cette Région comme les cultures de rente qui possèdent encore un faible rendement et le secteur minier s'il y a une bonne infrastructure routière.

Pour tous ces raisons, on a choisi la RN 44 du PK 79+000 au PK 87+000 comme le tronçon d'application des méthodes de dimensionnement de la chaussée.

Ce tronçon est considéré comme Point Noir pour cette route nationale.

L'achèvement de ce tronçon conduira à un développement non seulement de la Région, mais aussi le pays car cela peut diminuer grandement l'importation du riz qui est la nourriture principale des Malagasy.

II. Les données pour dimensionnement de la chaussée :

2.1. Les données géotechniques :

L'étude a été menée à partir des investigations suivantes :

- Délimitation visuelle de la nature des sols de plateforme rencontrés ;
- L'exécution des sondages sous chaussées avec prélèvement d'échantillons du sol de plateforme aux fins des essais en laboratoire ;
- L'exécution des essais en laboratoire sur les échantillons prélevés comprenant :
 - ✓ Identification du sol : granulométrie et limites d'Atterberg ;
 - ✓ Essais de compactage Proctor modifié ;
 - ✓ Essais de portance CBR.

Résultats :**La délimitation visuelle des zones homogènes**

PK 79+000 au PK 80+000 :

Quartzite limoneux rouge : 75 cm

Sols de plateforme en Limon Argilo-Sableux jaunâtre

PK 80+000 au PK 81+040 :

Macadam : 15 cm

Sols de plateforme en Limon Argilo-Sableux jaunâtre

PK 81+040 au PK 82+000 :

Quartzite limoneux rouge : 75 cm

Sols de plateforme en Limon Argilo-Sableux jaunâtre

PK 82+260 au PK 84+685 :

Macadam : 15 cm

Sols de plateforme en Limon Argilo-Sableux grisâtre

PK 84+685 au PK 88+000 :

Macadam : 15 cm

Sols de plateforme en Limon Argilo-Sableux jaunâtre

Résultats des essais en laboratoire :

Les résultats des essais en laboratoire sont récapitulés dans le tableau suivant, avec :

ϕ_{\max} : Diamètre maximal

%F : pourcentage des fines

WL : Limite de liquidité

IP : Indice de plasticité

LPC : Classification suivant le Laboratoire des Ponts et Chaussées

HRB: Classification suivant le High Research and Board

GTR: Classification suivant le Guide de Terrassement Routier

$\gamma_{d,\max}$: Poids volumique sec maximal du Proctor Modifié

W_{opt} : Teneur en eau optimale du Proctor Modifié

CBR : Indice de portance après 4 jours d'immersion

%G : Pourcentage de gonflement

LAS : Limon Argilo-Sableux

Localisations PK	Profondeur [m]	Nature visuelle	Identification					Classifications			Proctor modifié		Portance	
			W _{nat} [%]	ϕ_{\max} [mm]	%F [%]	WL	IP	HRB	LPC	GTR	$\gamma_{d,\max}$ [kN/m ³]	W _{opt}	CBR	%G
79+500	0.15/0.75	Quartzite	9.8	63	19	47	12	A2-6	GA	C1	20.80	9.5	38	0.14
80+800	0.15/0.75	LAS Jaunâtre	14.0	4	28	28	11	A2-6	SA	B6	19.50	12.2	18	0.23
81+300	0.15/0.50	Quartzite	5.7	63	15	37	13	A2-6	GA	C1	21.20	6.1	35	0.01
82+580	0.15/0.75	LAS Grisâtre	8.3	5	35	28	11	A6	SL	A2	19.70	10.1	25	0.71
86+500	0.15/0.75	LAS Jaunâtre	14.0	5	51	49	17	A7-6	Lp	A2	18.00	16.6	19	0.84
87+000	0.15/0.75	LAS Jaunâtre	16.1	8	59	51	18	A7-5	Lp	A2	17.50	18.4	23	0.20

Tableau 18 : Données géotechnique du tronçon concerné

2.2. Les données et hypothèses de trafic :

Les hypothèses de trafic à tenir compte dans le dimensionnement sont récapitulées dans le tableau suivant :

MJA	T	N	CAM	NE
195	5	20	0.8	$6,9751.10^5$

Tableau 19 : Hypothèses de trafic

Légende :

MJA : Moyenne Journalière Annuelle par sens par voie des véhicules de charge utile supérieure ou égale à 5 tonnes ;

T : Taux d'accroissement arithmétique annuelle en % ;

N : Durée de vie de la chaussée en année ;

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyenne

NE : Trafic cumulé en Essieux Equivalents de 13 tonnes.

2.3. Données climatiques :

Elle bénéficie d'un climat tropical de basse et moyenne altitude. Les effets d'altitude et de latitude avec l'exposition ou à l'abri des versants aux vents créent une multitude de climats locaux qui influent sur la répartition mensuelle et le total annuel des pluies dans les sites de la région.

D'une manière générale, les versants orientaux exposés aux vents d'Est (Alizé) et plus forestiers reçoivent plus de pluies (> 2000 mm d'eau / an) que l'arrière-pays, partie centrale et occidentale plus élevée mais subissant l'effet de foehn (en moyenne 950 à 1800 mm d'eau

/an selon les sites) : les falaises successives (Betsimisaraka et de l'Angavo) situés à l'Est et courant du Nord au Sud font écran à l'Alizé qui y déverse sa masse d'eau et se dessèche au fur et à mesure de sa progression à l'intérieur de la Région et vers l'Ouest.

La partie Nord de la Région enregistre des totaux annuels de pluie plus faible que dans la partie Sud. La lisière orientale de la Région se caractérise par une répétition de pluies dans l'année plus régulière que sur l'arrière-pays où la saison sèche est plus marquée, avec bruine et crachins pouvant survenir à tout moment par régime d'Alizé entre Avril et Octobre.

Pluviosité annuelle en mm/an dans 7 stations de la région Alaotra Mangoro :

Stations	Latitude Sud	Longitude Est	Altitude [m]	Pluies annuelles	Nbre jours de pluies
Andilamena	16°55'	48°43'	905	992	94
Ambohitsilaozana	17°43'	48°28'	786	1175	114
Ambatondrazaka	17°49'	48°25'	900	1091	85
Anjirô	18°53'	47°57'	960	2002	144
Fanovana	18°54'	48°31'	720	2936	201
Analamazaotra	18°56'	48°24'	928	1713	160
Moramanga	15°57'	48°13'	912	1505	136

Source : Donque G.1975 – Contribution à l'Etude du climat de Madagascar ; Monographie GTDR Moramanga

Tableau 20 : Pluviosité annuelle de la Région Alaotra Mangoro

Températures moyennes mensuelles et annuelles :

Année	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuelle
2000	23.9	23.1	22.3	21.8	20.5	18.4	18.4	17.3	18.5	21.1	22.0	24.2	21.0
2001	24.1	24.1	24.0	22.5	20.9	18.2	17.4	18.8	19.8	20.9	22.0	24.6	21.4
2002	24.6	23.9	23.6	22.2	20.1	18.2	17.4	17.6	19.3	20.7	23.6	23.9	21.3

Source : Service de la Météorologie Ambohitsilaozana Ambatondrazaka

Tableau 21 : Températures moyennes mensuelles et annuelles

III. Dimensionnement de la chaussée :

On va appliquer 2 méthodes de dimensionnement pour ce tronçon afin de pouvoir proposer deux variantes de structures.

3.1. Choix des méthodes à appliquer :

Les conditions climatiques de la Région d'Alaotra Mangoro citées auparavant nous permettent de déduire que la Région possède un climat tropical. Cette condition climatique nous permet d'utiliser la méthode du CEBTP qui est une méthode qui propose des catalogues de structures de chaussées. Et cette permet de choisir la structure à adopter : structure souple ou structure semi-rigide.

La deuxième méthode qu'on va appliquer sera la méthode rationnelle qui est une méthode très généralisée c'est-à-dire une méthode qu'on peut appliquer à diverses circonstances.

3.2. Dimensionnement :

a) Méthode du CEBTP :

Classe de portance des sols :

PK	79+500	80+800	81+300	82+250	86+500	87+000
CBR	38	18	35	25	19	23
Classes	S5	S4	S5	S4	S4	S4
Bornes de la classe	>30	15 à 30	>30	15 à 30	15 à 30	15 à 30

Tableau 22 : Classe des sols de plateforme du projet

Classe de trafic :

MJA	T	N	CAM	NE
195	5	20	0.8	$6,9751.10^5$

Le tableau de classe de trafic selon le trafic cumulé en essieux standard de 13 tonnes donne la classe T_2 qui correspond à un trafic de 5.10^5 à $1, 5.10^6$

D'où la structure :

Zones homogènes	Structure
PK 80 + 000 au PK 81 + 040 PK 82 + 000 au PK 88 + 000	Tricouche Concassé 0/40 : 15cm GCNT 0/60 : 20cm

PK 79 + 000 au PK 80 + 000	Tricouche
PK 81 + 040 au PK 82 + 000	GCNT 0/40 : 20cm

Tableau 23 : Structures de chaussée selon la CEBTP

b) Méthode rationnelle :

A partir des hypothèses de trafic et les données géotechniques, on a la conclusion suivante :

Zone homogène 1 du PK80 + 000 au PK 81 + 040 et du PK 82 + 000 au PK 88 + 000:

Sol de plateforme en limon sableux de CBR variant de 18 à 25 surmonté du macadam ;

Zone homogène 2 du PK 79 + 000 au PK 80 + 000 et du PK 81 + 040 au PK 82 + 000:

Sol de plateforme en limon sableux de CBR variant de 18 à 25 surmonté d'une couche de quartzite d'épaisseur égale à 60 cm.

La structure ainsi obtenu sera comme suit :

Zones homogènes	Structure	Vérifications des déformations		Observations
		ϵ_{zGCNT}	ϵ_{zPF}	
PK 80 + 000 au PK 81 + 040 PK 82 + 000 au PK 88 + 000	Bicouche GCNT 0/40 : 20cm GCNT 0/60 : 20cm	912.2	752.2	Admissible
PK 79 + 000 au PK 80 + 000 PK 81 + 040 au PK 82 + 000	Bicouche GCNT 0/40 : 27cm	930.2	778.3	Admissible
Déformations admissibles		1134.8	804.4	

Tableau 24 : Structures et vérifications selon la méthode rationnelle

c) Interprétation :

Zones homogènes	Variante 1 (Rationnelle)	Variante 2 (CEBTP)
PK 80 + 000 au PK 81 + 040 PK 82 + 000 au PK 88 + 000	Bicouche GCNT 0/40 : 20cm GCNT 0/60 : 20cm	Tricouche Concassé 0/40 : 15cm GCNT 0/60 : 20cm
PK 79 + 000 au PK 80 + 000 PK 81 + 040 au PK 82 + 000	Bicouche GCNT 0/40 : 27cm	Tricouche GCNT 0/40 : 20cm

Tableau 25 : Synthèse des deux structures

Il y a une différence entre les résultats : une différence sur l'épaisseur totale de la chaussée. La méthode CEBTP met en évidence l'importance de la couche de revêtement en utilisant un enduit superficiel tricouche et cela diminue l'épaisseur de la couche d'assise.

Il est à rappeler que la couche de revêtement a pour rôle de supporter les efforts tangentiels et les couches d'assises supportent les efforts de compression.

Pour le choix de la variante retenue, il est alors nécessaire de définir le cas de trafic : le trafic est-il à forte proportion de poids lourds ou c'est le cas d'un trafic à répartition normale.

Conclusion partielle:

La condition environnementale et les données disponibles conditionnent la méthode de dimensionnement d'une chaussée. Deux méthodes différentes peuvent conduire à des résultats différents.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour conclure, les infrastructures routières ont une importance capitale pour le développement d'une région ou d'un pays. L'investissement dans le domaine routier est généralement rentable pour l'Etat. Quelques points sont à voir de près pour ces investissements afin d'avoir une route de qualité optimum.

Le dimensionnement est un élément important pour l'étude d'un projet routier. Plusieurs méthodes tant empiriques que théoriques ont été développées pour le dimensionnement des chaussées. Le domaine d'utilisation de ces méthodes peut être limité par des conditions environnementales et chacune de ces méthodes possède ses propres hypothèses. Le choix de la méthode à appliquer pour un projet doit alors faire l'objet d'une analyse selon la circonstance.

Une différence pourra être constatée sur les résultats obtenus des méthodes empiriques ceux obtenus par des méthodes théoriques. L'application pour le dimensionnement d'un tronçon de la RN 44 a permis de constater cette différence.

Les méthodes de dimensionnement de chaussée, jusqu'à présent, ne peuvent pas s'échapper à des hypothèses ou données empiriques mais des méthodes en cours d'élaboration cherchent à les éliminer.

Le dimensionnement n'est qu'un élément pour avoir une bonne qualité de la route, mais il existe encore d'autres facteurs y intervenant comme les conditions d'assainissement et la qualité de l'exécution des travaux.

Des études aussi sont alors nécessaires pour le dimensionnement et l'exécution de ces ouvrages annexes de la route.

BIBLIOGRAPHIE

Cours d'Entretien Routier, Mr Moïse RALAIARISON

Cours de dimensionnement de chaussée, Mr Andrianirina RANDRIANTSIMBAZAFY

Cours de Mécanique des sols, Mr Landy Harivony RAHELISON

Dimensionnement des chaussées à Madagascar, LNTPB

Guide Pratique de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux, CEBTP

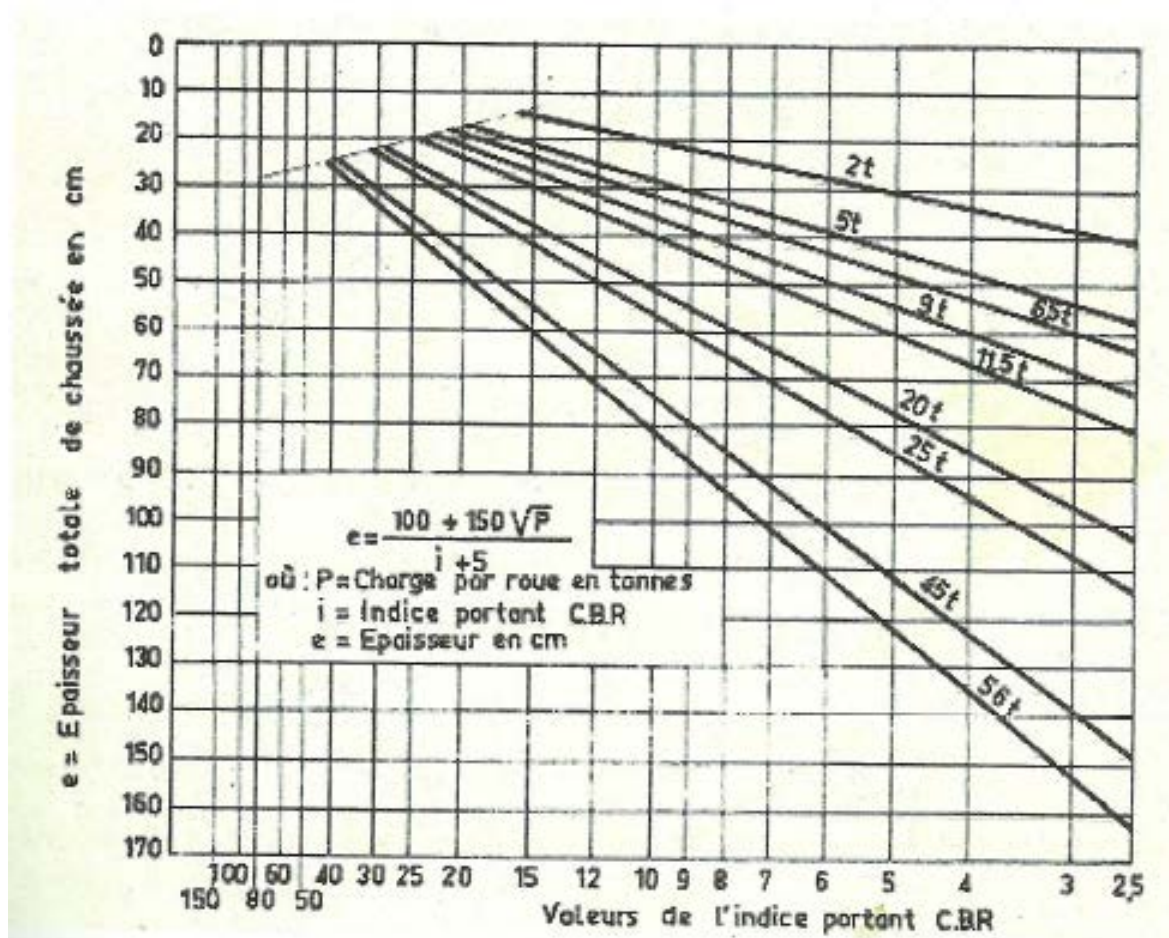
R. COQUAND, Cours de Routes

SETRA – LCPC , Conception et Dimensionnement des chaussées neuves, Guide Technique

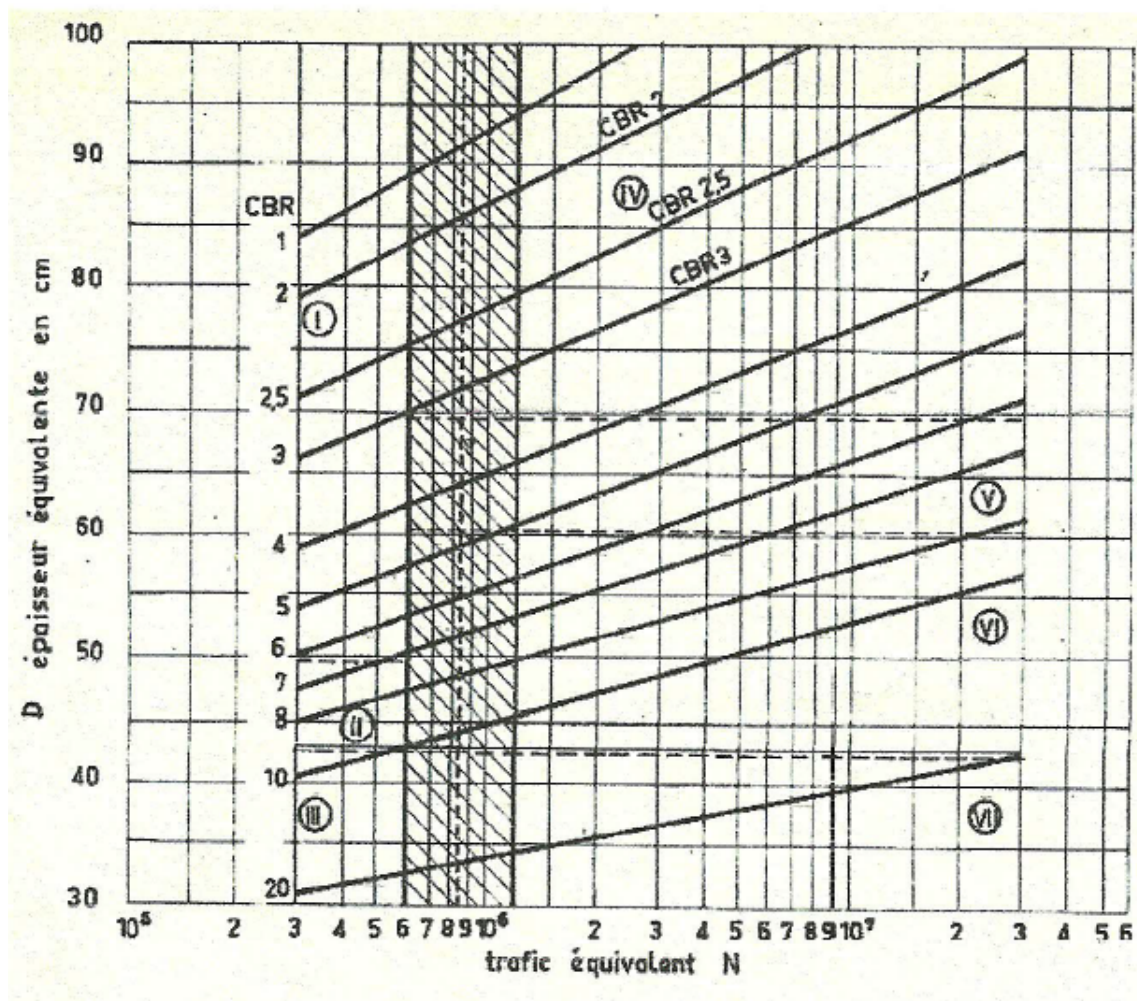
SETRA – LCPC, Catalogues des structures types des chaussées neuves

ANNEXES I : ABAQUES
SERVANT A LA
DETERMINATION DES
EPAISSEURS DES
CHAUSSEES

Par la méthode CBR

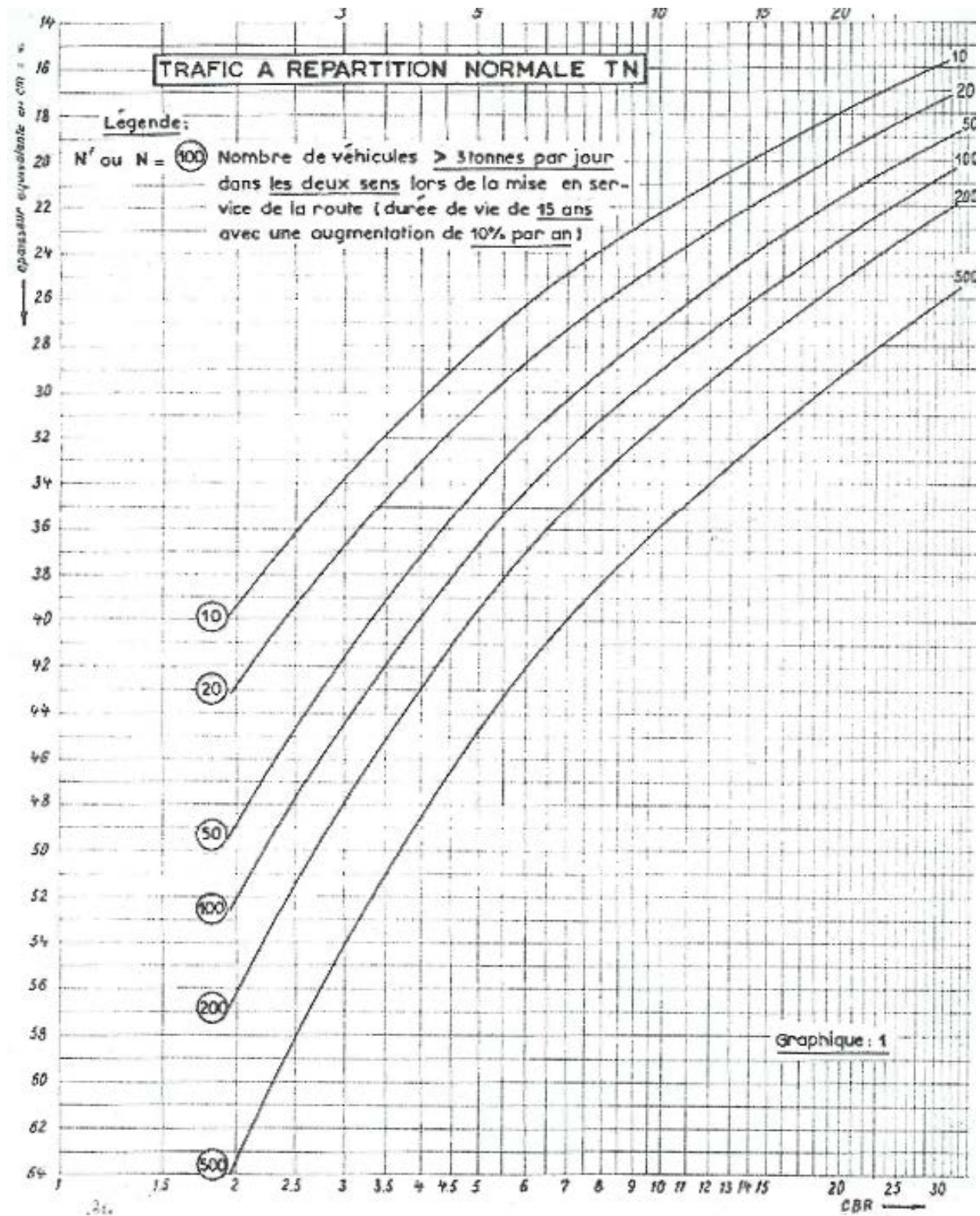


Abaque « Trafic – Epaisseur équivalente » du LCPC :

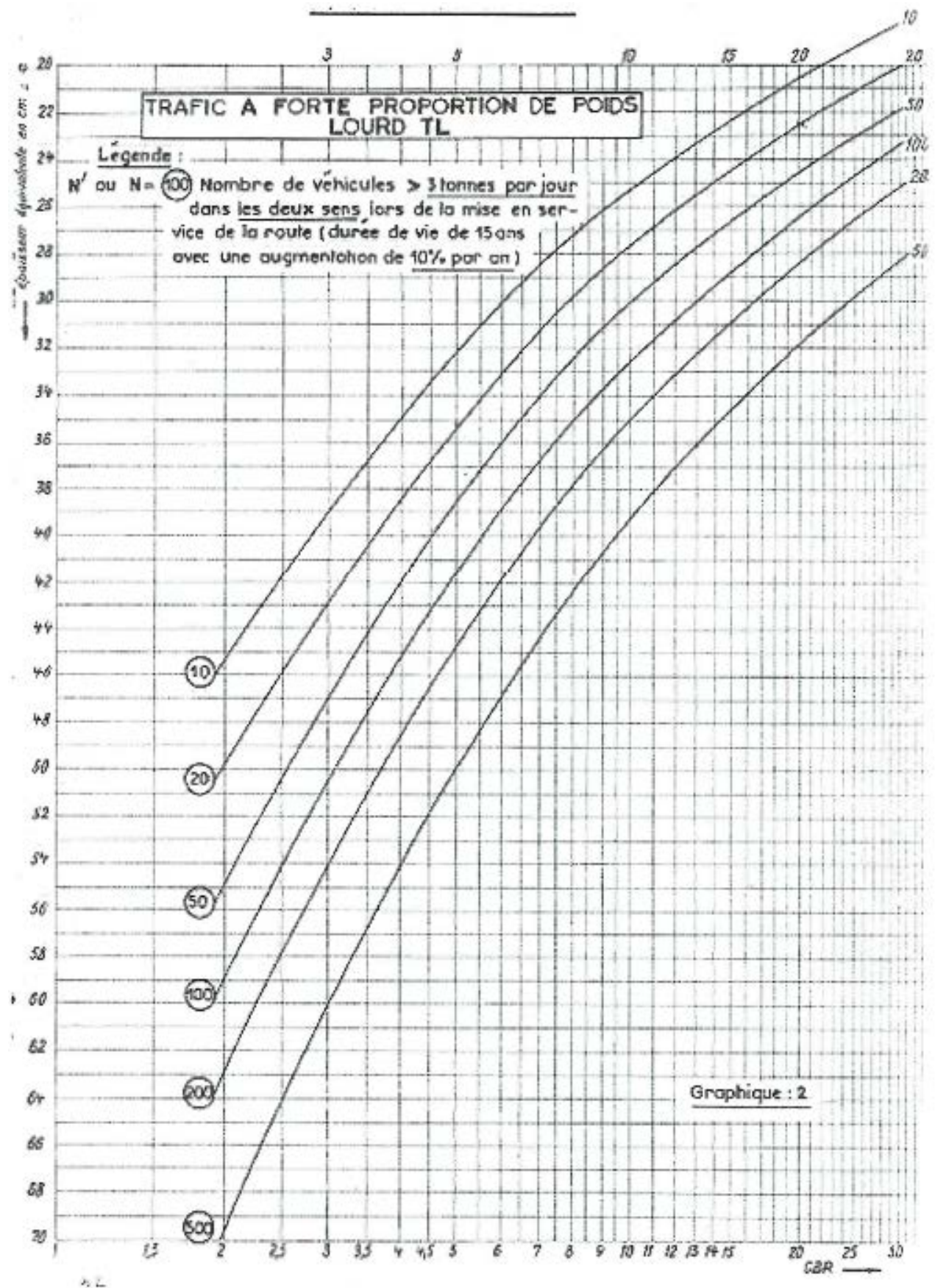


Abaque de dimensionnement des chaussées à Madagascar (LNTPB)

Trafic TN :

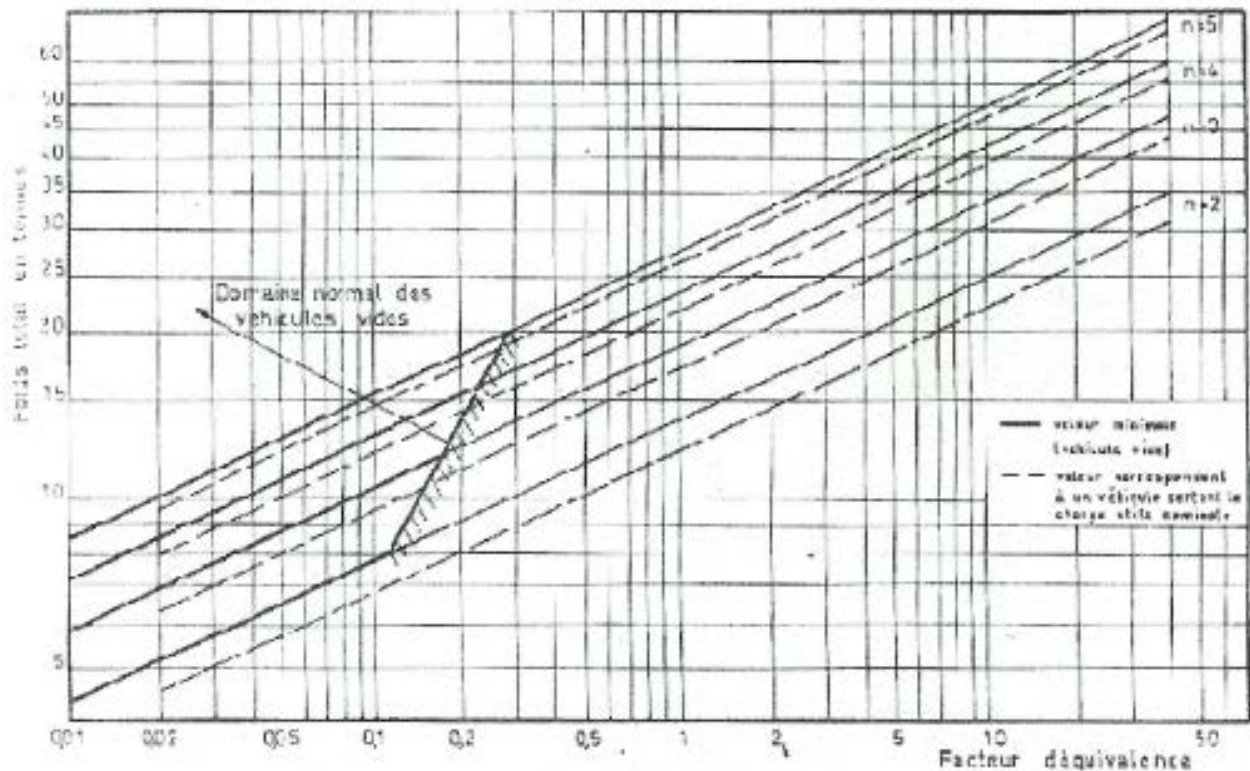


Trafic TL :

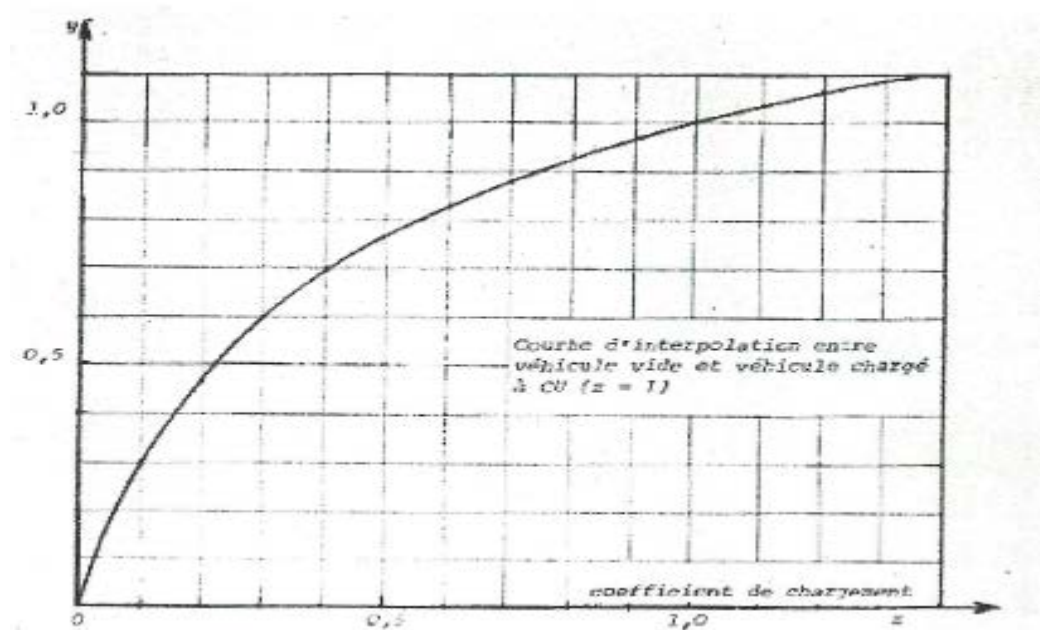


ANNEXES II : ABAQUES SERVANT A LA DETERMINATION DU FACTEUR GLOBAL D'UN VEHICULE ET COURBE D'INTERPOLATION

Facteur d'équivalence global d'un véhicule en fonction de son poids total (poids morts plus charge marchande effective) et du nombre d'essieux n (essieu de référence : 8.2 tonnes)



Courbe d'interpolation entre véhicule vide et véhicule chargée



ANNEXES III : STRUCTURES DE
CHAUSSEE PAR LES
METHODES
PROPOSANT DES
STRUCTURES - TYPES

Dimensionnement des structures selon la méthode CEBTP

Trafics $T_1 - T_2$

TRAFIC $T_1 - T_2$		S_1		S_2		S_3		S_4		S_5	
		T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2	T_1	T_2
REVETEMENT		Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc	Bc ou 3E	4E ou Tc
B	Graveleux latéritique naturel	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25
F	Graveleux latéritique naturel	45	45	35	35	25	30	15	20	00	00
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorée au ciment	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Graveleux latéritique ou grave naturelle 0/D	40	45	30	35	25	25	15	20	00	00
B	Concassé 0/d	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle 0/D ou concassé 0/d	40	45	30	35	25	25	15	20	00	00
B – F	Concassé 0/d	50	55	30	35	25	30	25	30	20	20
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25
F	Sable argileux	40	40	30	30	25	25	15	20	00	00
B	Concassé 0/d	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Sable argileux	40	40	30	30	25	25	15	20	00	00
B	Sable argileux amélioré au ciment	15	20	15	20	15	20	15	20	15	20
F	Sable argileux	40	45	30	35	20	25	20	20	10	15
B	Sable-bitume *	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15
F	Sable-argileux	40	45	30	30	20	25	15	20	00	00
B	Sol-chaux *	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
F	Sable argileux	40	45	30	30	20	25	15	20	00	00
B	Sable-bitume *	12	15	12	15	12	15	12	15	12	15
F	Sol chaux	20	20	15	20	15	20	15	15	00	00
B	Concassé 0/d	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sol-chaux	20	20	15	20	15	20	15	15	00	00
B	Scories volcaniques sélectionnées* ou concassé 0/d	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Scories volcanique ou pouzzolanes	45	50	30	40	25	25	15	20	00	00
B	Scories volcaniques ou pouzzolanes	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Béton de sol (graveleux latéritiques+0/D ou 0/d	45	45	35	35	25	25	15	20	00	00

	concassé)										
B	Banco-coquillage amélioré au bitume *	10	-	10	-	10	-	10	-	12	-
F	Banco-coquillage	45	-	30	-	20	-	15	-	00	-
B	Grave-bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
F	Banco-coquillage amélioré au bitume	45	50	30	35	20	25	15	20	00	00
B	Sable coquillier 0/30 *	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
F	Sable coquillier 0/50	45	-	30	-	25	-	20	-	20	-
B	Soupe de corail ou corail mort *	15	20	15	20	15	20	15	20	20	25
F	Soupe de corail	45	50	30	35	20	25	15	20	00	00
B	Soupe de corail traité au ciment *	-	15	-	15	-	15	-	15	-	20
F	Soupe de corail	-	50	-	35	-	25	-	20	-	00

Trafic $T_3 - T_4$:

TRAFIC $T_1 - T_2$		S_1		S_2		S_3		S_4		S_5	
		T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4	T_3	T_4
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Graveleux latéritique naturel	20	-	20	-	20	-	20	-	25	-
F	Graveleux latéritique naturel	40	-	30	-	20	-	15	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	-
B	Graveleux latéritique ou grave naturelle améliorée au ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle 0/D	45	50	25	30	20	25	15	20	00	-
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Concassé 0/d	20	25	20	25	20	25	20	25	20	25
F	Graveleux latéritique naturel ou grave naturelle 0/D ou TVC	40	45	30	30	25	25	20	20	00	00
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B - F	Concassé 0/d	60	65	45	50	40	45	30	35	20	25
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Grave naturelle, grave latéritique naturel ou concassé 0/d *	25	-	25	-	25	-	25	-	20	-
F	Sable argileux	45	-	30	-	25	-	20	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Sable argileux amélioré au ciment*	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
F	Sable argileux	55	-	35	-	25	-	20	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Sable argileux amélioré au	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-

	ciment*										
F	Sable amélioré au ciment ou grave améliorée au ciment	40	-	25	-	20	-	15	-	00	-
R	Béton bitumineux	-	-	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave-ciment	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Grave latéritique ou grave naturelle ou concassé 0/d	-	-	30	35	25	30	20	20	00	00
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave-bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
F	Graveleux naturel ou concassé 0/d	45	50	30	35	25	25	15	20	00	00
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave-bitume	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
F	Sable argileux ciment ou graveleux amélioré au ciment ou sable amélioré au bitume	40	40	25	30	20	25	15	15	00	00
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Sable-bitume*	15	-	15	-	15	-	15	-	20	-
F	Sable argileux	50	-	30	-	25	-	20	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Sable-bitume ou grave-bitume	15	-	15	-	15	-	15	-	20	-
F	Sol-chaux	25	-	20	-	20	-	15	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Concassé 0/d	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
F	Sol-chaux	25	-	20	-	15	-	15	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave-ciment	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Sol-chaux	20	25	20	20	15	20	15	15	00	00
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Concassé 0/d	20	-	20	-	20	-	20	-	20	-
F	Scories volcaniques	45	-	30	-	25	-	15	-	00	-
R	Béton bitumineux	-	-	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Grave-ciment	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20
F	Scories volcaniques	-	-	35	40	25	30	20	20	00	00
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Grave-bitume	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15
F	Banco-coquillage amélioré au ciment	20	25	15	20	15	15	15	10	00	00
R	Béton bitumineux	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
B	Soupe de corail traité au ciment*	20	-	20	-	20	-	20	-	25	-
F	Soupe de corail	50	-	35	-	25	-	20	-	00	-
R	Béton bitumineux	5	7	5	7	5	7	5	7	5	7
B	Corail concassé traité au ciment *	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20

F	Soupe corallienne traitée au ciment	40	45	20	25	15	20	15	15	00	00
R	Béton bitumineux	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5
B	Corail concassé traité au bitume	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15
F	Soupe corallienne traitée au bitume	40	45	20	25	15	20	15	15	00	00

Trafic T₅ :

TRAFIC T ₅		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
		T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅
R	Béton bitumineux	-	10	10	10	10
B	Grave-ciment	-	22	22	22	25
F	Graveleux latéritique ou grave naturelle ou TVC	-	35	20	25	00
R	Béton bitumineux	10	10	10	10	10
B	Grave-ciment	22	22	22	22	25
F	Sable argileux ou grave améliorée au ciment	45	25	20	15	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave-bitume	18	18	18	18	18
F	Graveleux latéritique ou grave naturelle ou TVC	50	35	30	25	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave-bitume	17	17	17	17	20
F	Grave améliorée au ciment	45	25	20	15	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave-bitume	17	17	17	17	20
F	Sable-bitume	45	25	20	20	00
R	Béton bitumineux	-	10	10	10	10
B	Grave-ciment	-	22	22	22	25
F	Scories volcaniques	-	35	30	25	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave-bitume	18	18	18	18	20
F	Scories volcaniques	55	35	30	25	00
R	Béton bitumineux	10	10	10	10	10
B	Grave-ciment	22	22	22	22	25
F	Sol-chaux	30	25	20	15	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave bitume	17	17	17	17	20
F	Sol-chaux	30	25	20	25	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave-bitume	17	17	17	17	20
F	Banco-coquillage amélioré au bitume	30	25	20	15	00
R	Béton bitumineux	10	10	10	10	10

B	Corail concassé traité au ciment *	20	20	20	20	25
F	Soupe de corail traitée au ciment	45	25	20	15	00
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Corail concassé traité au bitume	17	17	17	17	20
F	Soupe de corail traitée au ciment	45	25	20	15	00

Fiches-types des chaussées selon le dimensionnement du SETRA-LCPC

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Chaussée du type I Base : Grave-laitier(GL) Fondation : Grave-laitier (GL)	S ₁	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		25cm GL	20cm GL	15cm GL	15cm GL
		25cm GL	25cm GL	25cm GL	20cm GL
	S ₂	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GL	20cm GL	15cm GL	15cm GL
		20cm GL	20cm GL	15cm GL	15cm GL
	S ₃	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GL	20cm GL	15cm GL	25cm GL
		15cm GL	15cm GL	15cm GL	
	S ₄	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		25cm GL	25cm GL	20cm GL	15cm GL

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Chaussée du type II Base : Grave-laitier(GL) Fondation : Sable-laitier (SL)	S ₁	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		25cm GL	20cm GL	15cm GL	15cm GL
		20cm SL	30cm SL	30cm SL	25cm SL
	S ₂	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GL	20cm GL	15cm GL	15cm GL
		25cm SL	20cm SL	20cm SL	15cm SL
	S ₃	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GL	20cm GL	15cm GL	15cm GL
		20cm SL	20cm SL	15cm SL	15cm SL
	S ₄	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		25cm SL	25cm SL	20cm SL	15cm SL

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Chaussée du type III Base : Grave-bitume (GB) Fondation : Grave-bitume (GB)	S ₁	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GB	20cm GB	15cm GB	15cm GB
		25cm GB	20cm GB	20cm GB	15cm GB
	S ₂	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GB	15cm GB	15cm GB	20cm GB
		15cm GB	15cm GB	15cm GB	
	S ₃	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		15cm GB	20cm GB	20cm GB	15cm GB
		15cm GB			
	S ₄	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GB	15cm GB	15cm GB	10cm GB

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Caussée du type IV Base : Grave-bitume (GB) Fondation : Sable-bitume (SB)	S ₁	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		25cm GB	20cm GB	20cm GB	15cm GB
		25cm SB	25cm SB	20cm SB	20cm SB
	S ₂	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GB	20cm GB	20cm GB	10cm GB
		20cm SB	25cm SB	15cm SB	15cm SB
	S ₃	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GB			
	S ₄	15cm SB	20cm GB	20cm GB	15cm GB
		08cm BB			
	S ₄	20cm SB	06cm BB	Enduit	Enduit
			15cm SB	15cm SB	10cm SB

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Caussée du type V Base : Grave-bitume (GB) Fondation : Grave-non traitée	S ₁	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		30cm GB	25cm GB	20cm GB	15cm GB
		40cm GNT	40cm GNT	40cm GNT	30cm GNT
	S ₂	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		25cm GB	20cm GB	20cm GB	10cm GB
		30cm GNT	30cm GNT	40cm GNT	20cm GNT
	S ₃	08cm BB	06cm BB	Enduit	Enduit
		20cm GB			
	S ₄	15cm GNT	20cm GB	20cm GB	15cm GB
		08cm BB			
	S ₄	20cm GNT	06cm BB	Enduit	Enduit
			15cm GNT	15cm GNT	10cm GNT

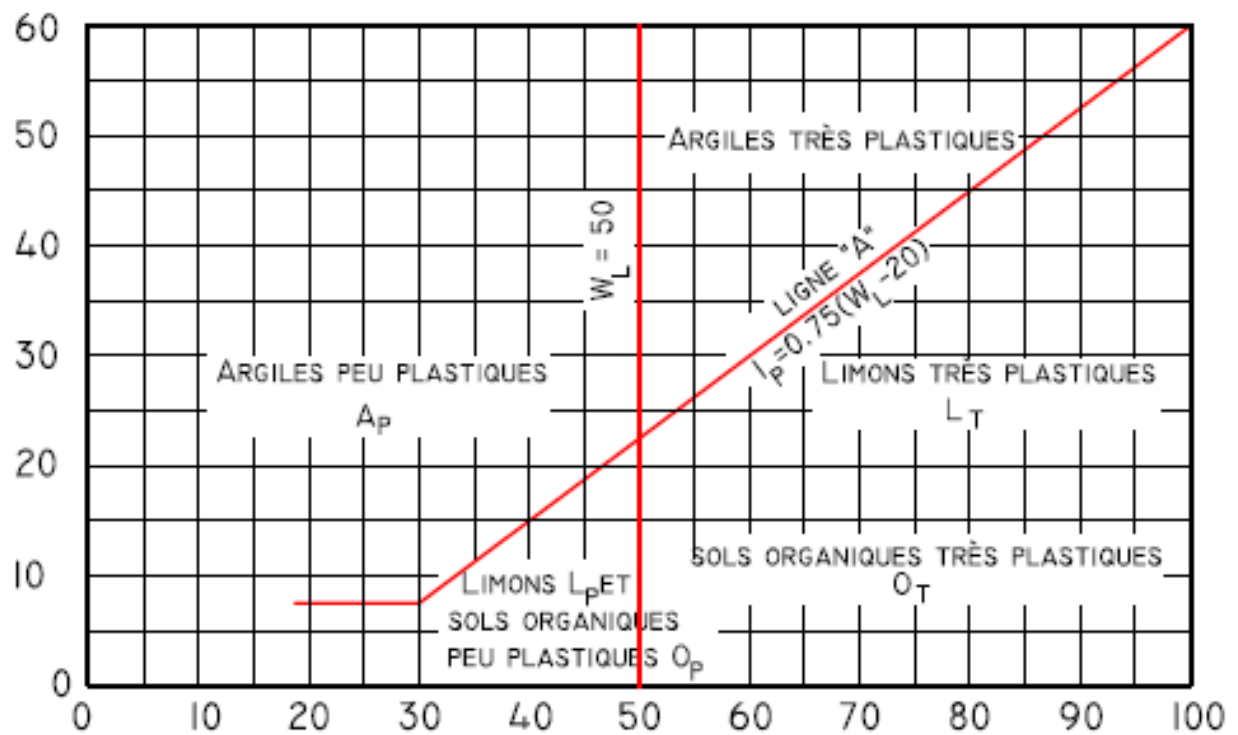
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Caussée du type VI Base : Grave-ciment (GC) Fondation : Grave non traitée (GNT)	S ₁	07cm BB	08cm BB	06cm BB	Enduit
		07cm BB			
		30cm GC			
		40cm GNT			
	S ₂	07cm BB	08cm BB	06cm BB	Enduit
		07cm BB			
		30cm GC			
		25cm GNT			
	S ₃	07cm BB	08cm BB	06cm BB	Enduit
		07cm BB			
		30cm GC			
		20cm GNT			
	S ₄	07cm BB	08cm BB	06cm BB	Enduit
		07cm BB			
		30cm GC			

		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Chaussée du type VII Base : Grave-ciment (GC) Fondation : Sable-laitier (SL)	S ₁	07cm BB 07cm BB 25cm GC 30cm SL	08cm BB 20cm GC 30cm SL	06cm BB 15cm GC 25cm SL	Enduit 15cm GC 25cm SL
	S ₂	07cm BB 07cm BB 20cm GC 25cm SL	08cm BB 20cm GC 20cm SL	06cm BB 15cm GC 15cm SL	Enduit 15cm GC 15cm SL
	S ₃	07cm BB 07cm BB 20cm GC 20cm SL	08cm BB 20cm GC 20cm SL	06cm BB 15cm GC 15cm SL	Enduit 15cm GC 15cm SL
	S ₄	07cm BB 07cm BB 30cm SL	08cm BB 25cm SL	06cm BB 20cm SL	Enduit 20cm SL

ANNEXES IV : LES ESSAIS
GEOTECHNIQUES
POUR LE
DIMENSIONNEMENT
DES CHAUSSEES

Classification LPC des sols grenus et fins

Sols fins :



Sols grenus : plus de 50% des éléments > 0.08mm

Définitions			Symboles	Conditions	Appellations
GRAVES	Plus de 50% des éléments < 0.08mm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% d'éléments < 0.08mm	Gb	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ et $1 < C_c < 3$ avec $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$	Grave propre bien graduée
			Gm	Une des conditions de Gb est non satisfaite	Grave propre mal graduée
		Plus de 12% d'éléments < 0.08mm	GL	Point ($W_L; I_p$) au-dessous de A	Grave limoneuse
			GA	Point ($W_L; I_p$) au-dessus de A	Grave argileuse
SABLES	Plus de 50% des éléments > 0.08mm ont un diamètre < 2mm	Moins de 5% d'éléments < 0.08mm	Sb	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $1 < C_c < 3$	Sable propre bien gradué
			Sm	Une des conditions de Sb est non satisfaite	Sable propre mal gradué
		Plus de 12% d'éléments < 0.08mm	SL	Point ($W_L; I_p$) au-dessous de A	Sable limoneux
			SA	Point ($W_L; I_p$) au-dessus de A	Sable argileux

Essai CBR

L'essai CBR est un essai de poinçonnement effectué à vitesse constante sur un échantillon du sol à étudier. Il est au préalable compacté dans un moule dit « CBR » à la teneur en eau optimale du Proctor modifié. Le moule est généralement placé dans un bac à eau où l'échantillon l'imbibe pendant 4 jours.

Chaque échantillon est ensuite soumis à un poinçonnement par application à vitesse donnée (1.27mm/mn) d'un piston de 4.9cm de diamètre.

Cette opération s'effectue grâce à une presse « CBR ». La pression exercée est mesurée par un anneau dynamométrique, et l'enfoncement du piston au moyen d'un comparateur.

On trace la courbe des pressions en fonction des enfoncements. On mesure les pressions nécessaires $P_{2,5}$ et P_5 pour réaliser des enfoncements de 2.5mm et 5mm.

Par définition, **l'indice portant Californian ou CBR** est égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : $\frac{P_{2,5}}{0.7}$ et $\frac{P_5}{1.05}$

Les essais dits de « plaque chargée »

L'essai de plaque chargée consiste à appliquer sur le sol en place à étudier une certaine force F, par l'intermédiaire d'une plaque rigide circulaire, et à assurer l'enfoncement de la plaque.

A l'aide d'un vérin s'appuyant sur un bâti monté sur un camion, on applique une charge de 0.7 bars sur la plaque et on la maintient jusqu'à ce que les comparateurs indiquent une vitesse d'enfoncement inférieure à 0.05mm par minute.

Par définition, **le module de réaction** est :

$$K = \frac{0.7}{\xi}$$

ξ étant l'enfoncement moyen en centimètre.

ANNEXE V : LE LOGICIEL ALIZE

1. Objet du logiciel :

Le logiciel Alize-LCPC met en œuvre la méthode rationnelle de dimensionnement mécanique des structures de chaussées, développé par le LCPC et le SETRA.

La vocation première de la méthode rationnelle est d'encadrer les opérations de dimensionnement des chaussées neuves routières et autoroutières pour toutes les classes de trafic (des chaussées à faible trafic aux chaussées à fort trafic). Dans ce contexte d'application, la démarche du dimensionnement, l'ensemble de ses hypothèses et les outils à mettre en œuvre sont totalement explicités.

Par ailleurs, la démarche générale du dimensionnement rationnel fait l'objet de diverses transpositions, visant son adaptation à d'autres types de dimensionnement : autres trafics (par exemple porteurs industriels, charges aéronautiques, ...), autres problématiques du dimensionnement (par exemple renforcement de chaussées endommagées, ...). Le logiciel Alize s'applique également à ces utilisations particulières, sans que ses modalités de mise en œuvre soient, dans ce cas, totalement encadrées par une méthode officielle.

Dans tous les cas, le logiciel facilite la réalisation pratique des calculs numériques nécessaires au dimensionnement des structures de chaussées. Cependant le dimensionnement des structures de chaussées déborde largement ces aspects numériques. Il reste une affaire des spécialistes de la mécanique des chaussées, auquel le logiciel n'a, en aucune façon, l'ambition de se substituer.

2. Structure et fonctionnalité du logiciel :

Le logiciel Alize-LCPC est conçu pour fonctionner sur micro-ordinateurs compatibles PC, Windows 95, 98, NT 4.0 et XP.

L'architecture globale du programme s'articule autour d'une Interface Homme-Machine (IHM) pour la saisie des données et la présentation des résultats, et d'un moteur de calcul pour le calcul mécanique des sollicitations dans la structure des chaussées.

L'interface Homme-Machine est développée sous Visual Basic édition professionnelle 6.0. Cette interface assure :

- La saisie de l'ensemble des données nécessaires à la mise en œuvre de méthode rationnelle ;
- La présentation des résultats des calculs sous forme de tableaux et/ou graphiques ;
- L'affichage et la gestion de la bibliothèque des matériaux ;
- L'affichage d'un ensemble d'écran d'aide, visant à assister l'utilisateur dans le choix pratique des hypothèses et des valeurs numériques à affecter aux différents paramètres de calcul, en fonction des spécificités du projet étudié.

3.1. Description du moteur de calcul Alize :

Le moteur de calcul permet de calculer les sollicitations créées par le trafic dans les différentes couches de matériaux constituant le corps de la chaussée. Il met en œuvre le modèle de Burmister. Ce modèle s'appuie sur la modélisation mécanique de la structure par un massif semi-infini, constitué d'une superposition de couches de matériaux d'épaisseur constante, à comportement élastique linéaire isotrope. Les paramètres descriptifs du comportement mécanique de chaque matériau sont donc au nombre de deux : le module de déformation E et le module de Poisson ν .

Chaque interface entre couches adjacentes peut être prise comme collée, ou glissante ou semi-collée.

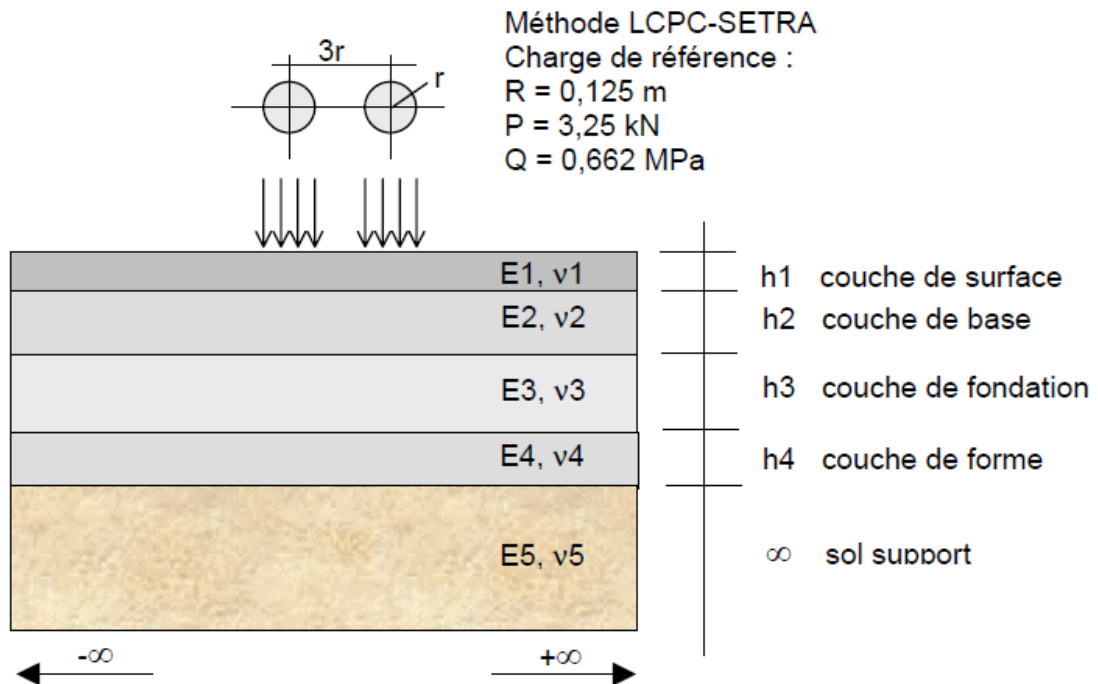
Le chargement appliqué par les charges roulantes à la surface de la chaussée est représenté par un ensemble de disques circulaires, chargé chacun par une pression verticale uniforme et statique.

Toutes les combinaisons des charges élémentaires circulaires de ce type sont possibles. Ceci permet de reproduire les silhouettes d'essieu, de bogie, de véhicule ou d'ensemble de véhicules les plus diverses.

Dans les opérations de dimensionnement courant, un chargement unique, désigné chargement de référence, est en général appliqué à la surface du modèle. Ce chargement de référence est propre au cadre dans lequel la méthode de dimensionnement rationnel est appliquée.

Par exemple, le jumelage de 65 kN (3.25kN par roue, pression de contact 6.62MPa) constitue, sauf cas particulier, la charge de référence pour le dimensionnement des structures de chaussée des réseaux routiers et autoroutiers français. Dans certaines applications de

dimensionnement de chaussées aéronautiques, la charge de référence sera la roue isolée de charge 30 kN, ...



Le modèle de calcul donne accès, potentiellement, aux tenseurs complets de contraintes et de déformations ainsi qu'aux trois composantes de déplacement, en tout point de la structure. En utilisation courante, les résultats du modèle strictement nécessaires au dimensionnement se réduisent à la sollicitation maximale $\sigma_{z_{\max}}$ supportée par chaque couche de matériau d'indice j ($j = 1$ pour la couche de surface à $j = n$ pour le sol support).

Suivant la nature du matériau concerné, $\sigma_{z_{\max}}$ représente la grandeur suivante :

Nature du matériau n° j	Définition de $\sigma_{z_{\max}}$
Matériau hydrocarboné	Valeur de la déformation d'extension horizontale maximale et $\epsilon_{t_{\max j}}$
Matériau traité au liant hydraulique et béton	Valeur de la contrainte de traction horizontale maximale et $\sigma_{t_{\max j}}$
Matériau non traité et sol	Valeur de la déformation de compression verticale maximale et $\sigma_{t_{\max j}}$

3.2. Interface Homme – Machine : principales fonctionnalités

L'Interface Homme-Machine assure les principales fonctionnalités suivantes :

- Saisie des données pour le calcul mécanique ;
- Présentation des résultats d'un calcul mécanique ;
- Calcul des valeurs admissibles ;
- Gestion de la bibliothèque des matériaux ;
- Ecrans d'aide.

On illustre ci-dessous, à partir d'exemple d'écrans créés par le logiciel, les principales fonctionnalités de l'Interface –Homme –Machine.

Fonctionnalité 1 : Saisie des données pour le calcul mécanique

Définition de la structure de chaussée, exemple	Figure 01
Définition du chargement : charge de référence	Figure 02
Définition du chargement : bogie 6 roues, exemple	Figure 03

Fonctionnalité 2 : Présentation de résultats d'un calcul mécanique

Résultats du calcul mécanique : tableau de résultats	Figure 04
Résultat du calcul mécanique : profil de résultats	Figure 05

Fonctionnalité 3 : Calcul des valeurs admissibles

Calcul des valeurs admissibles, exemple 1	Figure 06
Calcul des valeurs admissibles, exemple 2	Figure 07

Fonctionnalité 4 : Gestion de la bibliothèque des matériaux

Introduction d'un matériau personnel, exemple	Figure 08
---	-----------

Fonctionnalité 5 : Ecrans d'aide

Aide choix des interfaces	Figure 09
Aide classification du trafic et coefficients d'agressivité	Figure 10
Aide choix des risques de calcul	Figure 11

AlizéWin - définition d'une Structure (Fichier/nouveau)

Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèque matériaux Configurer Alizé Fenêtre

Titre : Structure semi-rigide GC3/GCV - cas 2

Structure de base

	épais. (m)	module (MPa)	Nu	matériau type
collé	0.06	5400	0.350	bb
1/2collé	0.16	23000	0.250	gc3
collé	0.18	30000	0.250	gcv
collé	0.30	150	0.35	autre
	infini	50	0.350	pf2

Modifier la structure
nb de couches : **5**
Ajouter 1 couche
Supprimer 1 couche

Série de calculs
nb de calculs : **1**
Voir/gérer les variantes

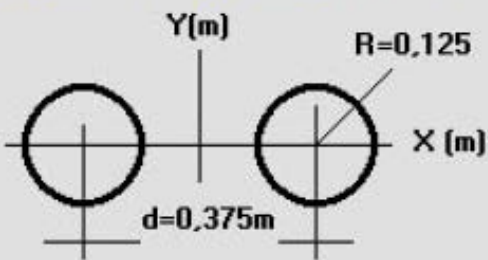
Niveaux de calcul
Modifier les niveaux

Aide
Nature des interfaces
Calcul direct (charge réf.)
Quitter Alizé

Figure 01 : Définition de la structure de chaussée, exemple

AlizéWin - Définition de la charge de référence

Charge référence : jumelage standard



Caractéristiques
R rayon (m) = 0.1250
☒ pression (MPa) = 0.6620
☐ poids/roue (MN) = 0.03250
 d entre-axe (m) = 0.3750

Points de calcul
☒ points (x=0 et d/2 y=0 z=interfaces)
☐ autres points à définir

option1 : jumelage standard français
☐ option2 : autre jumelage
☐ option3 : roue isolée
☐ option4 : aucune charge de référence

OK Annuler

Figure 02 : Définition du chargement, charge de référence

AlizéWin - définition d'un Chargement : fichier C:\Jmb1 a classer\Pep-rigid...

Fichier Calculer Valeurs admissibles Bibliothèque matériaux Configurer Alizé Fenêtre

Titre : Charge avion AV3 - bogie 6 roues

Chargement spécial

	X (m)	Y (m)	R (m)	Pression (MPa)	Poids (MN)
1	0	0	0.252	1.4	0.28
2	1.8	0	0.252	1.4	0.28
3	3.6	0	0.252	1.4	0.28
4	0	1.4	0.252	1.4	0.28
5	1.8	1.4	0.252	1.4	0.28
6	3.6	1.4	0.252	1.4	0.28
7	0	6.1	0.252	1.4	0.28
8	1.8	6.1	0.252	1.4	0.28
9	3.6	6.1	0.252	1.4	0.28
10	0	7.5	0.252	1.4	0.28
11	1.8	7.5	0.252	1.4	0.28
12	3.6	7.5	0.252	1.4	0.28

Nb charges 12

Ajouter 1 charge
Supprimer 1 charge
Pseudo-rectangle
Transpose

Profils de calcul
Définir/voir

Dessin
Visualiser

Nota important
Charge de référence : voir 'Configurer Alizé/charge référence'

Unités : m MN MPa

Figure 03 : Définition du chargement, bogie 6 roues, exemple

AlizéWin - résultats (Structure : données écran - cf. struc2.dat, Charge de référence)

C:\Jmb1 a classer\Pep-rigide-cpt-fatig2\struc2.dat variante 1 : Durée=00:00sec

épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μ déf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μ déf)	SigmaZ (MPa)
0.060	5400.0	0.350	0.000	23.4	0.214	47.5	0.659
collé			0.060	13.9	0.179	55.1	0.623
0.160	23000.0	0.250	0.060	13.9	0.592	12.2	0.623
1/2collé			0.220	-18.5	-0.472	18.6	0.215
0.180	30000.0	0.250	0.220	11.6	0.558	-2.7	0.215
collé			0.400	-24.9	-0.947	15.0	0.011
0.300	150.0	0.350	0.400	-24.9	0.001	70.3	0.011
collé			0.700	-39.4	-0.005	69.5	0.007
infini	50.0	0.350	0.700	-39.4	0.001	126.5	0.007

Grandeurs affichées
☒ tableau 1 ☐ tableau 2
☐ tableau 3 ☐ tableau 4
☐ tableau 5 ☐ tableau 6
☐ tableau 7 ☐ tableau 8

Déflexion = 32.3 mm/100

entre-jumelage

Rdc = 3741.1 m

Imprimer Enregistrer

Voir Chargt. Quitter

Figure 04 : Résultats du calcul mécanique, tableau de résultats

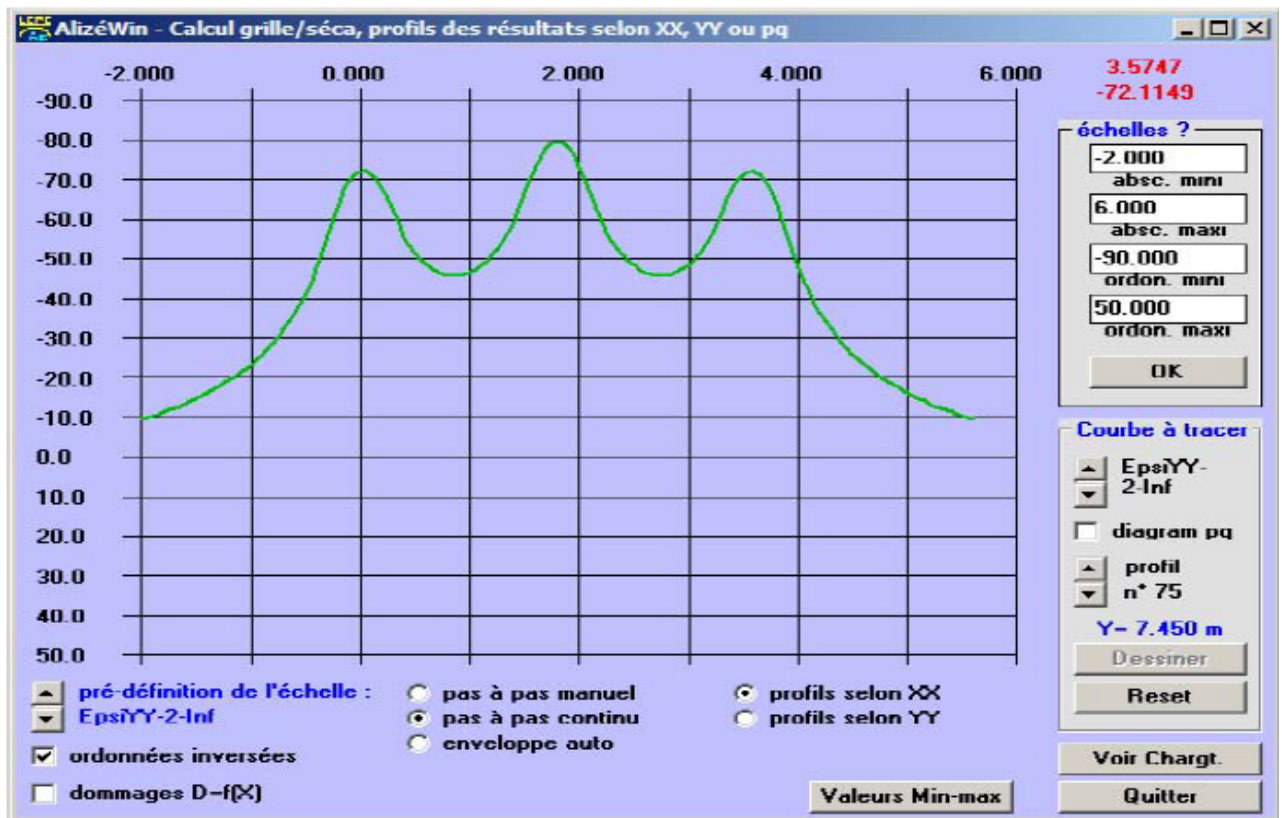


Figure 05 : Résultats de calcul mécanique, profil de résultats

AlizéWin - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

<input checked="" type="checkbox"/> Moyenne journalière annuelle (MJA) :	1200
<input type="checkbox"/> Taux accroissement géométrique (%) :	2.69
<input checked="" type="checkbox"/> Taux accroissement arithmétique (%) :	3.5
<input checked="" type="checkbox"/> Durée de service (années) :	30
<input type="checkbox"/> Trafic cumulé PL :	1.9809E+7

Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94

CAM : Catalogue 1998

Risques : Guide lcpc-sétra 94

Risques : Catalogue 1998

Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type :	gc3
coefficient CAM :	1.3
risque (%) :	2.5
trafic cumulé NE :	2.5752E+7
Sigma6 (MPa) :	0.75
-1/b :	15

Calculer SigmaT admissible

Calcul inverse NE = f(SigmaT)

Calcul inverse Risk = f(SigmaT)

Bibliothèque des matériaux

Imprimer **Enregistrer**

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "gc3"

1/Kd (discontinuité) : 1.00

écart type Sh (m) : 0.030

écart type SN : 1.000

Kr (risque) : 0.667

Kc (calage) : 1.4

Ks (couche liée/pf2) : 1/1.1

SigmaT admissible =
0.513 MPa

Mémo ...
SigmT : 0.513

effacer=dbl click

Quitter

Figure 06 : Calcul des valeurs admissibles, exemple 1

AlizéWin - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

☒ Moyenne journalière annuelle (MJA) : 1200
☐ Taux accroissement géométrique (%) : 2.69
☒ Taux accroissement arithmétique (%) : 3.5
☒ Durée de service (années) : 30
☐ Trafic cumulé PL : 1.9809E+7
 Cocher au plus 3 cases

Aide

CAM : Guide lcpc-sétra 94
 CAM : Catalogue 1998
 Risques : Guide lcpc-sétra 94
 Risques : Catalogue 1998
 Structures catalogue 98

Valeurs admissibles : données

matériau type : gnt et sol
 coefficient CAM : 1
 trafic cumulé NE : 1.9809E+7
 Coefficient A : 12000

Calculer EpsiZ admissible
 Calcul inverse NE = f(EpsiZ)

Bibliothèque des matériaux Imprimer Enregistrer

EpsilonZ admissible = 287.9 µdéf

Mémo ...
EpsiZ : 287.9

effacer=dbl click

Quitter

Figure 07 : Calcul des valeurs admissibles, exemple 2

AlizéWin - Bibliothèque des matériaux

matériaux bitumineux

statut	nom	E (MPa)	nu	Epsi6 (µdéf)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	Variations E(10hz) = f(température)					
									T=-10°C	T=0°C	T=10°C	T=20°C	T=30°C	T=40°C
system	bb	5400	0.35	100	5	0.25	stdard	1.1	14800	12000	7200	3600	1300	1000
system	gb1	7000	0.35	70	5	0.4	stdard	1.3	18000	14000	9000	5000	2000	800
system	gb2	9300	0.35	80	5	0.3	stdard	1.3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	gb3	9300	0.35	90	5	0.3	stdard	1.3	23000	18800	12300	6300	2700	1000
system	eme1	14000	0.35	100	5	0.3	stdard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
system	eme2	14000	0.35	130	5	0.25	stdard	1	30000	24000	17000	11000	6000	3000
user	bb-spec	10000	0.35	115	4.8	0.28	stdard	1	22000	17000	12000	8000	6000	2800

15°C-10hz

Supprimer un matériau Ajouter un matériau Quitter la bibliothèque

Figure 08 : Introduction d'un matériau personnel, exemple

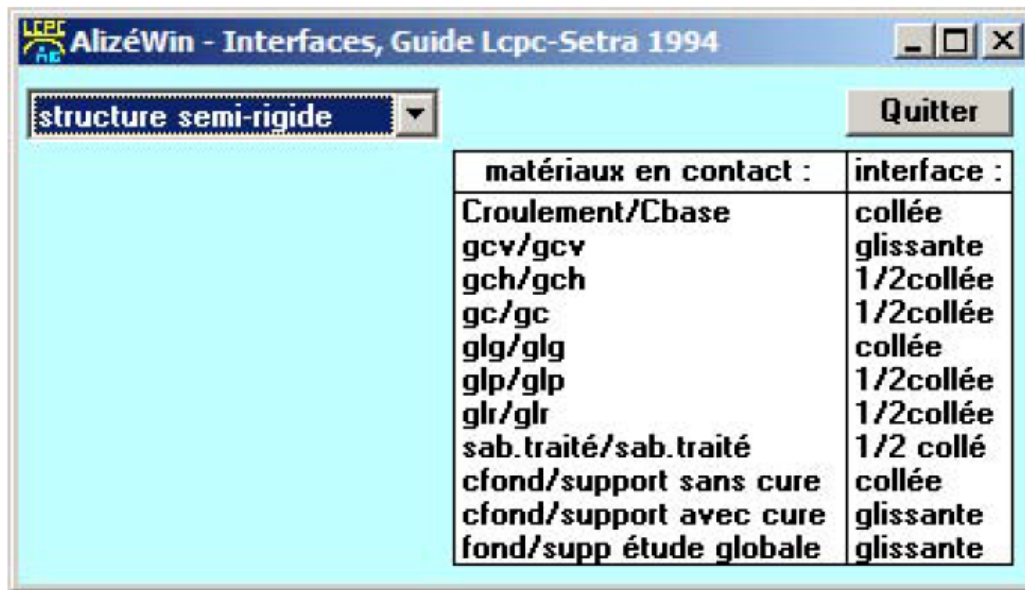


Figure 09 : Aide, choix des interfaces

Classification du Trafic

classes :	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
VRS :	0	0,5	1	3	6	14	38	94
VRNS :	0	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5

limites des classes en millions de PL

CAM du trafic

Structures :	VRS	VRNS
- bitumineuses et inverses :	0,8	0,5
- Gnt/Gnt :	/	1
- mixtes :	1,2	0,75
- semi-rigides et béton :	1,3	0,8

Plate-forme support :	TC2	TC3	>TC3
	0,50	0,75	1

Figure 10 : Aide, classification du trafic et coefficient d'agressivité

AlizéWin - Risques de calcul, hypothèses Catalogue 1998

Classification du Trafic

classes :	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
VRS :	0	0,5	1	3	6	14	38	94
VRNS :	0	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5

limites des classes en millions de PL

Risques

matériaux bitumineux	30%	18%	10%	5%	2%	1%	1%
mtl hydrauliques et bétons	12,5%	10%	7,5%	5%	2,5%	1%	1%
fondation struc. mixtes	50%	35%	20%	10%	3%	2%	1%

Quitter

Figure 11 : Aide, choix des risques de calcul

TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1ère partie : GENERALITES	2
Chapitre 1 : IMPORTANCE DE LA ROUTE	3
I. Historiques des infrastructures routières :	3
II. Fonction économique de la route	3
2.1. La route : clef du développement	3
2.2. La route : outil d'aménagement du territoire	5
Chapitre 2 : généralités sur les chaussées	6
I. Définition et Fonction :	6
II. Les catégories de chaussée:	6
2.1. Les chaussées non-revêtues	6
2.2. Les chaussées revêtues	6
III. Les différents types de structures de chaussée :	6
3.1. Les chaussées rigides :	6
3.2. Semi-rigides :	8
3.3. Souples :	8
IV. Choix de types de structure :	11
Chapitre 3 : dimensionnement des chaussées	12
I. Définition et buts du dimensionnement	12
II. Les types de méthode de dimensionnement	12
2.1. Les méthodes empiriques :	12
2.2. Les méthodes mécanique-empiriques :	12

2.3. Les méthodes incrémentales :	14
Conclusion partielle:	16
2ème partie : DESCRIPTION DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE	17
Chapitre 1 : METHODES EMPIRIQUES	18
I. La méthode C.B.R. (Californian Bearing Ratio) :	18
1.1. Principes :	18
1.2. Exemple :	19
II. La méthode du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C.) :	20
2.1. Trafic équivalent :	20
2.2. Epaisseur équivalente :	22
2.3. Abaque « Trafic-CBR-Epaisseur équivalente » :	22
III. La méthode du Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (L.N.T.P.B.) :	23
3.1. Définition des hypothèses de base :	24
3.2. Calcul des épaisseurs :	26
IV. Autres méthodes :	28
4.1. Méthode A.A.S.H.O :	28
4.2. Méthode d'ASPHALT INSTITUTE :	28
Chapitre 2 : Méthodes mécanique-empiriques	29
I. Les modèles de calcul :	29
1.1. Le modèle de Boussinesq(1885) :	29
1.2. Les modèles bicouches :	31

1.3. Le modèle multicouche de Burmister(1943) :	33
1.4. Modèle de Jeuffroy (1955) :	34
1.5. Modèle aux éléments finis :	34
II. Méthode pratique de dimensionnement :	35
2.1. Les paramètres de dimensionnement :	35
2.2. Calcul des limites admissibles :	38
2.3. Détermination des épaisseurs des différentes couches de matériaux :	41
2.4. Calcul des contraintes dans la structure :	42
Chapitre 3 : méthodes des catalogues de structures	44
I. Catalogue du CEBTP :	44
1.1. Paramètres d'entrée :	44
1.2. Dimensionnement des structures :	50
II. Catalogue du SETRA-LCPC	50
2.1. Détermination de la classe T du trafic :	50
2.2. Détermination de la classe S du sol de fondation :	52
2.3. Fiches-types des chaussées :	55
Conclusion partielle:	55
3ème partie : ANALYSE DES METHODES ET APPLICATION	56
Chapitre 1 : analyse des méthodes	57
I. Les paramètres de dimensionnement des chaussées :	58
1.1. Les paramètres géotechniques :	58
1.2. Les données environnementales :	59
1.3. Les charges appliquées à la chaussée :	60

II.	Les outils de dimensionnement de chaussée :	62
2.1.	Les abaques :	62
2.2.	Les outils informatiques (logiciels) :	63
2.3.	Les fiches-types :	63
III.	Résultats et vérifications :	63
Chapitre 2 : avantages et inconvénients des méthodes		65
I.	Les méthodes empiriques :	65
1.1.	La méthode CBR :	65
1.2.	La méthode du LCPC :	65
1.3.	La méthode LNTPB :	66
II.	La méthode rationnelle :	66
III.	Les méthodes de catalogue de structure :	67
3.1.	Méthode du CEBTP :	67
3.2.	Catalogue du LCPC – SETRA :	67
Chapitre 3 : APPLICATION		70
I.	Choix de la Région :	71
1.1.	Population :	71
1.2.	Structure économique de la Région :	71
II.	Les données pour dimensionnement de la chaussée :	73
2.1.	Les données géotechniques :	73
2.2.	Les données et hypothèses de trafic :	75
2.3.	Données climatiques :	75
III.	Dimensionnement de la chaussée :	76

3.1. Choix des méthodes à appliquer :	77
3.2. Dimensionnement :	77
CONCLUSION GENERALE	80
BIBLIOGRAPHIE	81
ANNEXES I: ABAQUES SERVANT A LA DETERMINATION DES EPAISSEURS DES CHAUSSEES	A
ANNEXES II: ABAQUES SERVANT A LA DETERMINATION DU FACTEUR GLOBAL D'UN VEHICULE ET COURBE D'INTERPOLATION.....	F
ANNEXES III: STRUCTURES DE CHAUSSEE PAR LES METHODES PROPOSANT DES STRUCTURES - TYPES	H
ANNEXES IV: LES ESSAIS GEOTECHNIQUES POUR LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES	Q
ANNEXE V: LE LOGICIEL ALIZE.....	U

Nom : RAMBOALALAINA

Prénoms : Harintsoa Tsimbina

Adresse : Lot FVY 4 Fenoarivo, Antananarivo

Tél : +261 33 62 092 56

E-mail : harintsoa.tsimbina@gmail.com



THEME :

« ANALYSE ET CHOIX DES METHODES DE DIMENSIONNEMENT DES
CHAUSSEES SOUPLES

APPLICATION POUR LE DIMENSIONNEMENT D'UN TRONÇON DE LA RN 44 »

Nombre de pages : 80

Nombre de figures : 13

Nombre de tableaux : 25

RESUME :

Ce mémoire concerne une description et analyse de quelques méthodes pratiques de dimensionnement des chaussées souples et une application de dimensionnement d'un tronçon de la RN 44 du PK 79 + 000 au PK 88 + 000.

La méthode à adopter pour le dimensionnement d'une chaussée dépend de plusieurs paramètres.

Le dimensionnement est un élément nécessaire mais n'est pas suffisante pour assurer la bonne qualité de la route. Il faut aussi avoir des bonnes qualités des ouvrages annexes de la route ainsi que la technologie de mise en œuvre.

Mots clés : routes, méthodes, dimensionnement, chaussées

Directeur de mémoire : Monsieur RALAIARISON Moïse