

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة حسيبة بن بوعلي- الشلف  
Université Hassiba Benbouali –Chlef  
كلية الهندسة المدنية والمعمارية  
Faculté de Génie Civil et d'Architecture  
قسم الهندسة المدنية  
Département de Génie-civil



**Mémoire de Master**  
**Filière : Travaux Publics**  
**Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art**

Présenté par

DJADDOUR Abderraouf

*Thème*

**Dimensionnement d'une chaussée souple : Etude comparative**

Soutenu le 29/06/2025, devant le jury composé de :

BOUZIADI F.	MCA	Université Hassiba Benbouali de Chlef	Président
GUELLIL M. E.	MCA	Université Hassiba Benbouali de Chlef	Examinateur
AZAIEZ H.	MCB	Université Hassiba Benbouali de Chlef	Encadrant

**Promotion : 2024/2025**

## *Dédicaces*

*À la mémoire de ma chère mère, dont l'affection inépuisable continue  
d'illuminer mon chemin.*

*À toute ma famille, et en particulier à mon père, mes frères et sœurs, pour  
leur amour profond et leur soutien indéfectible.*

*À mes amis et à toutes les personnes qui me sont chères :*

*Je vous dédie ce modeste travail, en témoignage de votre présence, de vos  
encouragements et de votre bienveillance constante au fil des années.*

*Merci d'avoir toujours été là pour moi !*

## **Remerciements**

*Avant tout, je rends grâce à Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.*

*J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à **Dr. AZAIEZ Hamou**, mon encadrant, pour sa précieuse orientation, sa confiance, sa disponibilité et sa bienveillance. Son accompagnement constant a constitué un appui essentiel tout au long de ce parcours, et ce mémoire n'aurait pu voir le jour sans son soutien.*

*Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour l'intérêt et l'attention qu'ils lui accorderont.*

*Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.*

*Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants du département de Génie Civil, pour la qualité de leur enseignement, leur encadrement et leur contribution déterminante tout au long de ma formation universitaire.*

## ***LISTE DES FIGURES***

<b>Figure 1.1</b> : Exemple d'une structure de chaussée souple .....	5
<b>Figure 1.2</b> : Exemple d'une structure de chaussée semi-rigide .....	6
<b>Figure 1.3</b> : Exemple d'une structure de chaussée rigide .....	7
<b>Figure 1.4</b> : Schéma des contraintes et déformation dans une chaussée.....	13
<b>Figure 1.5</b> : Les action dynamiques.....	15
<b>Figure 1.6</b> : Influence des actions appliquées à la chaussée .....	16
<b>Figure 2.1</b> : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq [Peyronne et al. 1991]..	22
<b>Figure 2.2</b> : Schéma du modèle de Westergaad.....	23
<b>Figure 2.3</b> : Schéma du modèle de Hogg [Hogg, 1938].....	24
<b>Figure 2.4</b> : Schéma du modèle de Burmister .....	24
<b>Figure 2.5</b> : Schéma du modèle de Jeuffroy [Jeuffroy, 1955].....	25
<b>Figure 2.6</b> : Schéma de fonctionnement de la méthode empirique.....	27
<b>Figure 2.7</b> : Principe d'un système multicouche [Kh_z juin2016].....	28
<b>Figure 3.1</b> : Plan de situation du projet.....	41
<b>Figure 3.2</b> : Schéma des étapes de calcul (méthode CEBTP) .....	44
<b>Figure 3.3</b> : Démarche de la catalogue CTTP.....	45
<b>Figure 3.4</b> : Interface de logiciel Alizé 1.3 .....	46
<b>Figure 4.1</b> : Structure de chaussée par la méthode CEBTP (Tronçon A).....	51
<b>Figure 4.2</b> : Structure de chaussée par la méthode CBR (Tronçon A) .....	52
<b>Figure 4.3</b> : Structure de chaussée par la méthode CTTP (Tronçon A) .....	53
<b>Figure 4.4</b> : Structure de chaussée par la méthode CEBTP (Tronçon B).....	54
<b>Figure 4.5</b> : Structure de chaussée par la méthode CBR (Tronçon B).....	55
<b>Figure 4.6</b> : Structure de chaussée par la méthode CTTP (Tronçon B).....	56

<b>Figure 4.7 :</b> Structure de chaussée par la méthode CEBTP (Tronçon C).....	58
<b>Figure 4.8 :</b> Structure de chaussée méthode par la CBR (Tronçon C).....	59
<b>Figure 4.9 :</b> Structure de chaussée par la méthode CTTP (Tronçon C).....	59
<b>Figure 4.10 :</b> Epaisseurs totales en fonction des méthodes de dimensionnement pour les trois tronçons A, B et C .....	60
<b>Figure 4.11 :</b> épaisseurs totales en fonction des tronçons A, B et C pour les différentes méthodes de dimensionnement .....	61
<b>Figure 4.12 :</b> Influence des paramètres d'entrée : (a) indice CBR, (b) TJMA, Trafic PL, (c) Corrélation .....	63
<b>Figure 4.13 :</b> Epaisseurs par couche en fonction des méthodes de dimensionnement pour les tronçons A, B et C .....	64
<b>Figure 4.14 :</b> Comparaison multicritères des méthodes de dimensionnement.....	65
<b>Figure 4.15 :</b> Les déformations dans la structure type GB/GNT .....	66
<b>Figure 4.16 :</b> Contraintes et déformations trouvées par Alizé 1.3 .....	68
<b>Figure 5.1 :</b> Profil en travers type .....	73

## ***LISTE DES TABLEAUX***

<b>Tableau 1.1</b> : Composition des mélanges bétons bitumineux.....	8
<b>Tableau 2.1</b> : Classes de portance des sols .....	29
<b>Tableau 2.2</b> : Classes de trafic.....	29
<b>Tableau 2.3</b> : Classes de DTN .....	31
<b>Tableau 2.4</b> : Coefficient d'utilisation de la route C .....	32
<b>Tableau 2.5</b> : Valeurs des coefficients d'équivalence.....	32
<b>Tableau 2.6</b> : Classes de portance des sols $S_i$ .....	34
<b>Tableau 2.7</b> : Classes de portance de sol-supports pour le dimensionnement .....	37
<b>Tableau 2.8</b> : Classes de trafic TPLi adoptées.....	37
<b>Tableau 3.1</b> : Quelques caractéristiques du tronçon A.....	41
<b>Tableau 3.2</b> : Quelques caractéristiques du tronçon B .....	42
<b>Tableau 3.3</b> : Quelques caractéristiques du tronçon C.....	42
<b>Tableau 3.4</b> : Liste des commandes pour la création d'une nouvelle structure .....	47
<b>Tableau 4.1</b> : Paramètres d'entrée pour le tronçon A.....	50
<b>Tableau 4.2</b> : Paramètres d'entrée pour le tronçon B .....	53
<b>Tableau 4.3</b> : Paramètres d'entrée pour le tronçon C.....	57
<b>Tableau 4.4</b> : Comparaison des déformations de GB/GNT .....	68
<b>Tableau 5.1</b> : Exemple d'un devis quantitatif estimatif.....	77
<b>Tableau 5.2</b> : Récapitulatif des estimations .....	78

## ***Résumé***

Ce travail porte sur le dimensionnement d'une chaussée souple, en se concentrant sur une étude comparative des méthodes et outils utilisés dans la conception de ce type d'infrastructure routière. L'objectif principal est d'analyser et de comparer différentes approches de dimensionnement, en mettant l'accent sur la modélisation des matériaux et des charges. Le logiciel ALIZE-LCPC sera utilisé pour effectuer des simulations et des calculs de dimensionnement, permettant de déterminer les caractéristiques optimales des couches de la chaussée en fonction des contraintes mécaniques et environnementales. Une attention particulière sera portée aux aspects économiques du projet, afin de proposer une solution optimale qui conjugue performance technique et rentabilité. Cette étude permet d'apporter des éléments concrets pour une meilleure gestion des projets de construction de chaussées souples. L'analyse des résultats a mis en évidence les performances de la structure proposée, en tenant compte de l'enrobé bitumineux, des couches de fondation et de forme. Les résultats ont été interprétés et confrontés aux exigences réglementaires, permettant ainsi de valider la conception adoptée.

**MOTS CLÉS :** Chaussée souple, méthodes de dimensionnement, modélisation numérique, logiciel ALIZE-LCPC, projet économique.

## ***Abstract***

This research focuses on the structural design of flexible pavements through a comparative analysis of design methods and tools used in road engineering. The primary objective is to evaluate and compare different design approaches, emphasizing the modeling of constituent materials and applied loads. The ALIZE-LCPC software is employed to perform numerical simulations and design calculations, enabling the determination of optimal geotechnical and structural characteristics of the various pavement layers, while considering specific mechanical constraints and environmental conditions. A comprehensive techno-economic analysis is integrated into the study to propose an optimized solution that combines structural performance with economic viability. This research provides concrete methodological elements for improving the management of flexible road infrastructure construction projects.

**Keywords:** Flexible pavement, design methods, numerical modeling, ALIZE-LCPC software, economic project.

## المخلص

يركز هذا البحث على التصميم الهيكلي للأرصفة المرنة من خلال تحليل مقارن لطرق وأدوات التصميم المستخدمة في هندسة الطرق. يتمثل الهدف الأساسي في تقييم ومقارنة مناهج التصميم المختلفة، مع إجراء التأكيد على نمذجة المواد المكونة والأحمال المطبقة. يتم استخدام برنامج المحاكاة العددية وحسابات التصميم ALIZE-LCPC، مما يمكن من تحديد الخصائص الجيوتقنية والهيكلية المثلى لطبقات الرصف المختلفة، مع مراعاة المعطيات الميكانيكية والظروف البيئية المحددة. يتم دمج تحليل تقني-اقتصادي شامل في الدراسة لاقتراح حل محسن يجمع بين الأداء الهيكلي والجدوى الاقتصادية. يوفر هذا البحث عناصر منهجية ملموسة لتحسين إدارة مشاريع بناء البنية التحتية للطرق المرنة

**الكلمات المفتاحية:** الرصف المرن، طرق التصميم ، برنامج ALIZE-LCPC ، مشروع اقتصادي.

## *Notations*

GNT : Grave non traitée

SB : Sable Bitume

GL : Grave Laitier

BCg : Béton du Ciment goujonné

GC : Grave Ciment

GB : Grave bitume

TUF : Tuf calcaire «encroûtement calcaire »

SG: Sable Gypseux.

R : Fiabilité

t : Fractile de la loi normale

V : Le coefficient de Poisson

E : Le module de Young

CBR: California Bearing Ratio

A.A.S.H.O: American Association of State Highway Officiels

SETRA : Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

CEBTP : Centre Expérimental de Recherche et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics

C.T.T.P : Contrôle technique des travaux publics (Algérie)

MNT : Matériaux non traités

MTB : Matériaux traités au bitume

MTLH : Matériaux traités au laitier granulé

Et : La déformation de traction par flexion à la base des matériaux traités au bitume.

Ez (sol) : La déformation verticale sur le sol support

$\sigma$  : La contrainte de traction

$\epsilon_6$  : Contrainte de flexion limite à 10<sup>6</sup> cycles donnée par l'essai de fatigue

TPL : Classe de trafic

Si : Classe de sols supports

TC : Trafic cumulé

TCE : Trafic cumulé équivalent

A : Coefficient d'agressivité des poids lourds PL par rapport à l'essieu de référence de 13 t

$\epsilon_z, ad$  : Déformations admissibles sur le sol support

$\epsilon_t, ad$  : Déformation admissible de traction

$\sigma_{t,ad}$  : Contrainte de traction admissible à la base des couches hydrauliques

kne: Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée

k $\theta$ : Facteur lié à la température

k $r$ : Facteur lié au risque et aux dispersions

k $c$ : Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées

b: Pente de la droite de fatigue ( $b < 0$ )

K $d$  : Facteur liée aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique (dalles en béton)

E (10°C ) : Module complexe du matériau bitumineux à 10°C

E( $\theta_{eq}$ ) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considéré

$\delta$  : f (dispersion)

SN : Dispersion sur la loi de fatigue

Sh : Dispersion sur les épaisseurs (en cm)

c: Coefficient égale à 0,02

TJMA : Trafic moyenne journalière annuelle

t : Taux d'accroissement du nombre de véhicules en %

n : Durée de vie

r : Risque en %

# SOMMAIRE

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	II
Résumé .....	III
Abstract .....	IV
الملخص .....	V
Notation .....	VI

## Introduction général.....1

### Chapitre 1

#### Structures de chaussées routières

1.1	Introduction .....	4
1.2	Différents types de structures de chaussée .....	4
1.2.1	Chaussées souples.....	4
1.2.1.1	Mode de fonctionnement de la chaussée souple .....	5
1.2.2	Les chaussées semi-rigides .....	5
1.2.2.1	Mode de fonctionnement de la chaussée semi rigide.....	6
1.2.3	Les chaussées rigides .....	6
1.2.3.1	Mode de fonctionnement de la chaussée rigide .....	7
1.3.2	Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) .....	9
1.3.3	Matériaux non traités .....	10
1.4	Comportement mécanique .....	12
1.4.1	Sollicitations supportées par les chaussées.....	14
1.4.2	Influence des actions appliquées à la chaussée.....	16
1.4.2.1	Effet du trafic .....	16
1.4.2.2	Effet de la température.....	17
1.5	Conclusion.....	17

### Chapitre 2

#### Méthodes de dimensionnement

2.1	Introduction .....	19
2.2	Paramètres influençant le dimensionnement .....	19
2.2.1	Trafic .....	19
2.2.2	Sol support.....	20
2.2.3	Conditions climatiques .....	20
2.2.4	Matériaux utilisés.....	20
2.3	Méthodes théorique .....	21
2.3.1	Modèle de Boussinesq (1885).....	21
2.3.2	Modèle de Westergaard (1962).....	22
2.3.3	Modèle de Hogg (1938).....	23
2.3.4	Modèle de Burmister (1943).....	24
2.3.5	Modèle de Jeuffroy (1955).....	25
2.3.6	Modèles aux éléments finis.....	26
2.4	Méthodes empirique .....	26
2.4.1	Méthode AASHTO.....	28
2.4.2	Méthode CEBTP .....	29
2.4.3	Méthode Britannique (TRRL).....	30
2.4.4	Méthode Asphalte Institute .....	31
2.5	Méthodes semi-empirique.....	33
2.5.1	Méthode CBR modifiée en fonction de TPL.....	33
2.5.2	Méthode Française (SETRA-LCPC).....	35
2.5.3	Méthode Algérienne (CTTP) .....	36
2.6	Conclusion.....	38

### **Chapitre 3**

#### **Présentation de projet et méthode du calcul**

3.1	Introduction .....	40
3.2	Etude de cas .....	40
3.2.1	Tronçon A.....	41
3.2.2	Tronçon B.....	42
3.2.3	Tronçon C.....	42

2.3	Méthodes du calcul .....	43
3.3.1	Méthodologie des méthodes empiriques (CEBTP et Asphalt Institute).....	43
3.3.2	Méthodologie des méthodes semi-empiriques (CBR modifiée et CTTP).....	44
3.4	Logiciel Alizé 1.3 .....	45
3.4.1	Principe de la modélisation mécanique des structures de chaussée .....	46
3.4.2	Création et modification des données de structures.....	47
3.5	Conclusion.....	48

## **Chapitre 4**

### **Résultats et discussions**

4.1	Introduction .....	50
4.2	Structures pour (Tronçon A) .....	50
4.2.1	Méthode CEBTP .....	50
4.2.2	Méthode CBR.....	51
4.2.3	Méthode CTTP .....	52
4.3	Structures pour (Tronçon B) .....	53
4.3.1	Méthode CEBTP .....	54
4.3.2	Méthode CBR.....	55
4.3.3	Méthode CTTP .....	56
3.4	Structures pour (Tronçon C).....	57
4.4.1	Méthode CEBTP .....	57
4.4.2	Méthode CBR.....	58
4.4.3	Méthode CTTP .....	59
4.5	Commentaires des résultats trouvés .....	60
4.5.1	Comparaison des épaisseurs totales en fonction des méthode .....	60
4.5.2	Comparaison des épaisseurs totales en fonction des tronçons .....	61
4.5.4	Influence des paramètres d'entrée .....	62
4.5.5	Épaisseurs par couche en fonction des méthodes .....	63
4.5.6	Comparaison multicritères .....	64
4.6	Vérification par logiciel Alizé 1.3 .....	65
4.7	Conclusion.....	69

**Chapitre 5**  
**Etude économique**

5.1	Introduction .....	71
5.2	Choix d'une structure de chaussée .....	71
5.2.1	Coût global .....	71
5.2.2	Définition du coût global .....	72
5.2.3	Actualisation des coûts d'entretien et de renforcement .....	72
5.2.4	Comparaison des solutions techniques.....	72
5.3	Calcul des volumes des matériaux .....	73
5.3.1	Tronçon A.....	73
5.3.1	Tronçon B.....	74
5.3.1	Tronçon C.....	76
5.4	Devis quantitatif et estimatif .....	77
5.5	conclusion .....	79
<b>Conclusion générale .....</b>		<b>80</b>

## *Introduction générale*

Le développement des infrastructures routières constitue un pilier fondamental pour le progrès économique et social de tout pays. En effet, les routes assurent le transport des biens et des personnes, facilitent les échanges commerciaux et permettent un désenclavement des régions isolées. Dans ce contexte, la conception et le dimensionnement adéquats des chaussées deviennent une nécessité incontournable pour garantir à la fois la durabilité, la sécurité et la performance du réseau routier.

Les chaussées routières sont des structures complexes soumises à diverses sollicitations mécaniques et climatiques. Leur conception doit ainsi prendre en compte un ensemble de paramètres : les charges de trafic, les caractéristiques des sols en place, les matériaux disponibles, ainsi que les conditions climatiques locales. De plus, le choix de la structure de chaussée (souple, rigide ou semi-rigide) dépend fortement du contexte d'usage et des objectifs de performance visés. Le recours à des normes de dimensionnement rigoureuses, telles que celles recommandées par les guides français (SETRA, LCPC) ou les normes algériennes (CTTP), permet d'assurer une base scientifique et technique pour la conception des chaussées.

Les méthodes de dimensionnement ont connu une évolution significative au fil du temps, passant des approches empiriques fondées sur l'expérience à des méthodes plus avancées intégrant la mécanique des milieux continus et l'analyse numérique. Cette évolution s'est traduite également par le développement d'outils logiciels puissants, comme le programme Alizé, qui permet une modélisation fine du comportement des structures de chaussée sous l'effet des charges roulantes.

Dans ce mémoire, nous nous proposons d'étudier les structures de chaussées routières à travers une approche globale, allant de la classification des chaussées et des matériaux utilisés, jusqu'à l'analyse des résultats obtenus par modélisation numérique et l'évaluation économique du projet. Cette démarche vise à apporter une compréhension approfondie des principes de dimensionnement et à mettre en œuvre une étude de cas concrète afin d'illustrer les applications pratiques des concepts étudiés.

Le présent mémoire est structuré en cinq chapitres, à savoir :

- Chapitre 1 : Structures de chaussées routières

Ce chapitre présente une introduction générale aux structures de chaussées, en décrivant les différents types existants (souples, rigides et semi-rigides), les matériaux employés dans leur construction, ainsi que leur comportement mécanique sous l'effet du trafic et des conditions environnementales.

- Chapitre 2 : Méthodes de dimensionnement

Ce chapitre expose les différentes approches utilisées pour le dimensionnement des chaussées : les méthodes empiriques basées sur l'expérience, les méthodes théoriques fondées sur les lois de la mécanique, ainsi que les méthodes semi-empiriques qui combinent les deux précédentes.

- Chapitre 3 : Présentation du projet et méthode de calcul

Ici, une étude de cas est présentée, incluant les données du site, la méthode de calcul utilisée, ainsi qu'une introduction au logiciel Alizé 1.3, outil utilisé pour le dimensionnement et la simulation des structures de chaussée.

- Chapitre 4 : Résultats et discussion

Ce chapitre présente les résultats obtenus à partir du logiciel de calcul, les interprète et les compare à des références normatives ou à des études similaires, en mettant en lumière les performances de la structure proposée.

- Chapitre 5 : Étude économique

Une analyse économique est réalisée, comprenant une estimation des coûts, un devis quantitatif et estimatif, permettant d'évaluer la viabilité financière du projet étudié.

- En fin, une conclusion générale synthétise les principaux enseignements du mémoire, discute des limites rencontrées, et propose des pistes pour de futures recherches ou améliorations.

*Chapitre 1*

*Structures de chaussées routières*

## **1.1 Introduction**

Une chaussée est la portion d'une route ou d'une voie de communication dédiée à la circulation des véhicules, qu'ils soient motorisés ou non, et se distingue des trottoirs et des accotements réservés aux piétons et autres usagers. Elle peut comporter plusieurs voies, parfois séparées par des bandes médianes ou des terre-pleins centraux, et est généralement délimitée par des marquages au sol.

La chaussée joue un rôle essentiel dans le réseau de transport en assurant la sécurité routière, le confort de conduite, la durabilité de l'infrastructure et la gestion des eaux pluviales. Une chaussée bien conçue et entretenue réduit les risques d'accidents en offrant une surface de circulation stable et uniforme. Elle permet une circulation fluide et agréable, réduisant les vibrations et les bruits. Une structure de chaussée adaptée prolonge la durée de vie de la route et réduit les coûts de maintenance.

## **1.2 Différents types de structures de chaussée**

Une chaussée est une structure routière constituée de plusieurs couches superposées, conçues pour supporter les charges des véhicules tout en protégeant le sol naturel. Elle se distingue par deux aspects : géométrique, en tant que surface aménagée pour la circulation, et structurel, en tant qu'ensemble de couches de matériaux disposées pour assurer la stabilité et la durabilité de la route. La fonction principale de la structure de chaussée est de résister aux actions mécaniques des véhicules, d'atténuer les charges transmises aux couches inférieures, et de protéger le sol de plateforme, souvent de faible capacité portante et sensible à l'eau [1] [2].

Selon le dimensionnement et les matériaux utilisés, on distingue plusieurs types de structures de chaussées :

### **1.2.1 Chaussées souples**

Les chaussées souples sont constituées d'une couche de surface en matériaux bitumineux, généralement inférieure à 15 cm d'épaisseur, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur totale de la chaussée varie généralement entre

30 et 60 cm. La qualité du sol support joue un rôle crucial dans la durabilité de la chaussée, car un sol de faible capacité portante peut entraîner des déformations ou des dégradations prématurées. Cette structure est particulièrement adaptée aux zones à faible trafic ou aux conditions climatiques modérées. Elle offre une flexibilité qui lui permet de se déformer sans se rompre sous l'action des charges, assurant ainsi une longévité accrue lorsqu'elle est correctement dimensionnée et entretenue [3].



**Figure 1.1 :** Exemple d'une structure de chaussée souple [9].

### 1.2.1.1 Mode de fonctionnement de la chaussée souple

Comme le revêtement bitumineux est relativement mince ( $\leq 12\text{cm}$ ), il assure peu la diffusion des contraintes verticales induites par le trafic et subit à sa base des efforts répétés de traction par flexion, ce qui entraîne une fatigue de celui-ci. Ainsi, les contraintes verticales dues au trafic sont transmises à travers les couches granulaires jusqu'au sol support avec une faible diffusion latérale. La répétition des contraintes verticales entraîne des déformations plastiques qui se répercutent en déformations permanentes à la surface de la chaussée. [2]

### 1.2.2 Les chaussées semi-rigides

Ce type de chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques comporte une couche de surface bitumineuse qui repose sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques d'une épaisseur de 20 à 50 cm. En raison du risque élevé de retraites thermiques, des fissures peuvent apparaître et remonter jusqu'à la couche de surface [3].

La structure type est présentée comme suit:



**Figure 1.2 :** Exemple d'une structure de chaussée semi-rigide [9].

### 1.2.2.1 Mode de fonctionnement de la chaussée semi rigide

La grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée. L'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion élevées. Dans le cas d'une assise réalisée en deux couches, les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche la plus profonde, lorsque l'interface entre la couche de base et la couche de fondation est collée. Ces assises sont sujettes aux retrait (phénomène de prise et thermique), qui provoquent une fissuration transversale remontant au travers de la couche de roulement. Lorsqu'une couche de liaison est prévue, elle permet de retarder la remontée des fissures de retrait vers la surface. [2]

### 1.2.3 Les chaussées rigides

Les chaussées rigides sont constituées d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. Ce type de chaussée absorbe les efforts et transmet peu de charges au sol [6].

La structure type se présente comme suit :



**Figure 1.3 :** Exemple d'une structure de chaussée rigide [9].

### 1.2.3.1 Mode de fonctionnement de la chaussée rigide

Compte tenu du module d'élasticité élevé, les efforts dus au trafic sont repris en flexion par la couche de béton. Ainsi, les contraintes de compression transmises au support de chaussée sont faibles tant que les conditions d'appui des dalles restent bonnes. La diffusion due au retrait de prise et thermique est contrôlée et localisée, soit par la réalisation de joints sciés formant des dalles couverts, soit par des armatures métalliques longitudinales positionnées au niveau de la fibre neutre. [2]

## 1.3 Matériaux de chaussée

### 1.3.1 Matériaux traités aux bitumes (MTB)

#### a. Grave bitume (GB)

- Définition :

Les graves-bitumes 0/20 sont des enrobés bitumineux à chaud (mélange à chaud de granulats séchés et bitume pur).[4] ; [5]

- Domaine d'utilisation :

La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).[6]

- Mise en œuvre :
- ✓ La fabrication du mélange (granulats+bitume) se fait à la centrale d'enrobage, à chaud.
- ✓ Répandage : finisseur.
- ✓ Compactage : atelier «vibrant en tête». [8]

### b. Sable bitume (SB)

- Définition :

Le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage-broyage (sable fillérisé, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment). Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable.

La fabrication du mélange (sable+bitume) se fait en central d'enrobage à chaud. [6] ;[8]

- Domaine d'utilisation :

L'emploi du sable bitume est envisageable en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2 (RP2).[6]

- Mise en œuvre :
- ✓ Répandage
- ✓ Compactage

**Tableau 1.1** : Composition des mélanges bétons bitumineux

Type de mélange	Granulats	Liant
Bétons bitumineux	Concassés (sable peut rond) Roche dure, non polissable Forme cubique, propre fuseau étroit % vides de 4 à 6	Bitume ou bitume-goudron en pourcentage dépendant du pourcentage de filler
Enrobé denses	Concassées, ronds ou mélange de deux fuseaux larges % vides de 8 à 12	Bitume % de 4 à 5

### 1.3.2 Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)

#### a. Graves-laitier (GL)

- Définition :

Une grave laitier est un mélange effectué en centrale de malaxage continue : d'une grave reconstituée 0/D, d'un laitier granulé réactif et d'un activant basique.

Ce mélange est réalisé à une teneur en eau proche à celle de l'OPM [6] ; [8]

- Domaine d'utilisation :

-Couche d'assises de chaussées (base, fondation).

-Chaussées neuves de type RP1 : réseau principal de niveau 1 trafic : TPL3 à TPL7.[8]

- Mise en œuvre :

✓ Le Répandage de la GL sera fait à l'aide des engins suivants :

- la niveleuse : pour les chantiers de petite à moyenne importance
- le finisseur : pour les chantiers de plus grande importance
- le répandeur à coffrages glissants : pour les chantiers de grand volume à fort débit.[8]

#### b. Béton de ciment (BCg) « béton non armé et goujonné

- Définition :

Les chaussées modernes en béton peuvent se présenter sous différentes conceptions ; on peut citer les dalles courtes (3 à 5m) non armées, à joints goujonnés ou non, les dalles moyennes (5à 7m) goujonnées ou non ; les dalles épaisses (30 à 40cm) courtes et non armées, etc.[6] ; [8]

- Domaine d'utilisation :

-Couche de roulement et couche de base.

-Réseau principal de niveau 1 (RP1).[8]

- La mise en œuvre :

✓ Répandage se fera à l'aide d'un finisseur avec un coffrage fixe ou glissant.

Les seuils technologiques après compactage, en une seule couche sont [8] :

-Épaisseur minimale : 15 cm.

-Épaisseur maximale : 35 cm.

### c. Grave-Ciment (GC)

- Définition :

Un grave ciment est un mélange de granulat, de ciment, éventuellement de retardateur de prise, et d'eau. [6] ; [8]

- Domaine d'utilisation :

-Couche de fondation de chaussée en béton de ciment

-Chaussées neuves de type RP1

- Mise en œuvre :
  - ✓ Le Répandage de la GC se fait à l'aide des engins de répandage (finisseur ou niveleuse)
  - ✓ Le compactage fera appel aux engins de compactage
  - ✓ Protection de la grave-ciment jusqu'à prise [8].

### 1.3.3 Matériaux non traités

#### a. Grave non traitée (GNT) :

- Définition :

Les Graves non traitées (GNT) sont définies comme étant des graves 0/D, ne comportant pas de liant. On distingue deux types de GNT suivant leur mode d'élaboration [6][8] :

- Les GNT de type « A » : sont obtenus en une seule fraction (ce type de GNT ne permet pas une optimisation de la granulométrie et n'offre pas de garantie d'homogénéité).

- Les GNT de type « B » : sont des matériaux provenant du mélange d'au moins deux fractions granulométriques, malaxées et humidifiées en centrale.

- Domaines d'utilisation :

- Couches d'assises de chaussées (couche de base et de fondation) pour le réseau RP2.
- Couche de fondation pour le réseau de niveau 1 (RP1) [8].

- Mise en œuvre :

- Répandage
- Humidification
- Compactage

### **b. Tufs Calcaires (TUF) « encroûtements calcaires »**

- Définition :

Les tufs calcaires ou « encroûtements calcaires » sont des matériaux composés essentiellement, mais pas exclusivement de carbonate de calcium. Les tufs calcaires B existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré, ils sont dus à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantité plus ou moins grande de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration. Ils sont très répandus dans les zones climatiques II et III.

On les rencontre dans les bassins relativement plats irrigués par les eaux de ruissellement provenant des massifs calcaire limitrophes. On distingue deux classes de tufs, selon la granularité et leurs performances mécaniques, il s'agit de TUF1 et TUF2 [6] [8].

- Domaine d'utilisation [8] :

- Couches d'assises (base, fondation), pour le réseau principal 2 (RP2).
- TUF1 en couche de forme, pour le réseau principal de niveau 1 (RP1).

### **c. Sables gypseux (SG) « encroûtements gypseux »**

- Définition:

Les encroûtements gypseux sont situés dans la zone climatique IV, c'est la zone des chotts et souvent de grandes étendues dunaires. Les encroûtements gypseux se présentent généralement en couches horizontales affleurâtes à semi-affleurâtes.

**Horizon A** : épaisseur varie de 20 à 30 cm. Cette partie est friable, poreuse et souvent sableuse.

**Horizon B** : son épaisseur varie de 1 à 2 cm. Il est souvent utilisé comme pierre à bâtir.

C'est l'horizon des roses de sables. Encroûtements friables ou « sables gypseux ». Ils se différencient des encroûtements massifs que par la dureté.

**Horizon C** : les encroûtements tendres : Appelés sables gypseux sont les matériaux recherchés pour l'utilisation en technique routière. Ils sont d'extraction facile et évoluent en sable au compactage. On distingue deux classes de sables gypseux selon leur granularité et performances mécaniques. Il s'agit de SG1 et SG2 [6] [8].

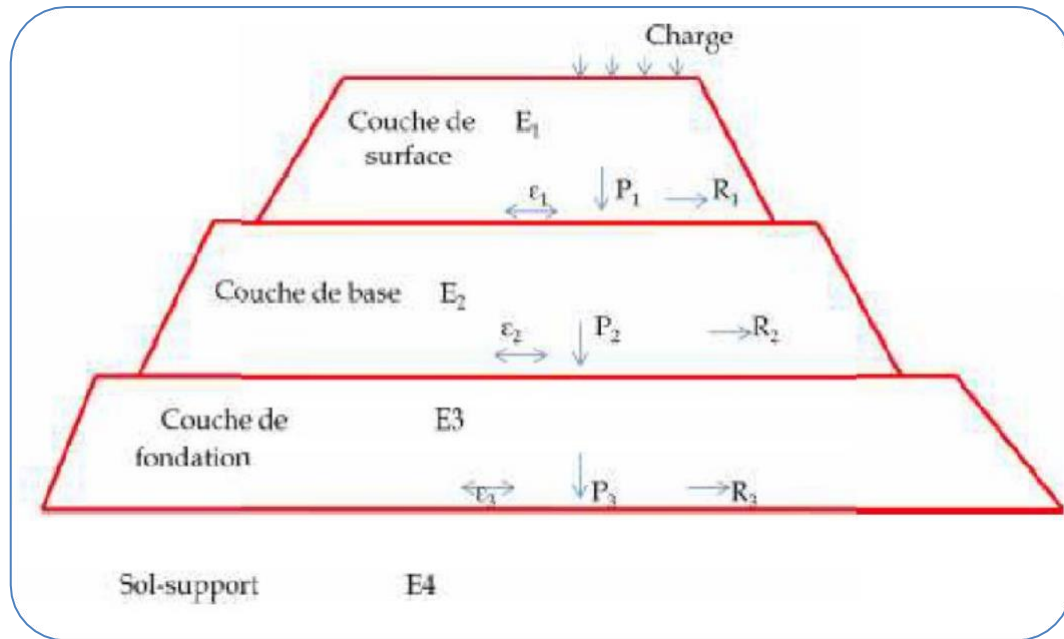
- Domaine d'utilisation [8] :

- Couches d'assises (base, fondation), pour le réseau RP2.

- SG1 en couche de fondation, pour le réseau RP1

#### 1.4 Comportement mécanique

Les charges roulantes appliquées en surface induisent des contraintes et des déformations dans les couches inférieures de la chaussée, qui se propagent jusqu'au sol-support. La figure 1.4 illustre de manière schématique le comportement mécanique d'une chaussée soumise à une charge roulante appliquée en surface, mettant en évidence la distribution des contraintes ( $P$ ) et des déformations ( $\varepsilon$ ) dans les différentes couches structurales, jusqu'au sol-support. Lorsqu'une charge est exercée à la surface, celle-ci engendre des contraintes verticales qui se propagent vers le bas en traversant successivement la couche de surface ( $E_1$ ), la couche de base ( $E_2$ ), la couche de fondation ( $E_3$ ) et enfin le sol-support ( $E_4$ ). Chaque couche réagit différemment en fonction de son module d'élasticité ( $E$ ), paramètre reflétant sa rigidité, ainsi que de son épaisseur. Les contraintes verticales ( $P_1, P_2, P_3, \dots$ ) diminuent progressivement en intensité avec la profondeur en raison de la diffusion des efforts à travers les matériaux, tandis que les déformations ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$ ) varient en fonction de la souplesse des couches. Plus une couche est rigide (module  $E$  élevé), plus elle résiste à la déformation, jouant ainsi un rôle crucial dans la protection des couches inférieures et du sol-support contre les dégradations mécaniques. Ce comportement mécanique en cascade constitue la base du dimensionnement rationnel des structures routières.



**Figure 1.4 :** Schéma des contraintes et déformation dans une chaussée.

Avec :

La charge en surface se définit par la pression et l'aire de la surface de contact.

A chaque niveau,  $E_1, E_2, E_3$  et  $E_4$  étant les modules de rigidité de chaque couche et du sol-support on a :

- $P_1 - P_2 - P_3$  : Contraintes verticales ;
- $R_1 - R_2 - R_3$ : Contraintes radiales (En traction ou compression);

Ces contraintes et déformations sont, en général, calculées au niveau des interfaces entre les couches en déterminant :

- Les contraintes normales,
- Les contraintes radiales de compression ou de traction,
- Les déformations relatives.
- Les caractéristiques mécaniques des assises de chaussées doivent donc permettre d'obtenir, en tout point de la structure, des contraintes et des déformations admissibles pour les matériaux utilisés et le sol-support.

Les 2 caractéristiques essentielles d'une assise sont :

a) Que le granulat a une courbe granulométrique continue et précise (c.-à-d. toutes les dimensions sont représentées et en proportions strictement définies) ;

b) Que le matériau est très fortement compact.

### **1.4.1 Sollicitations supportées par les chaussées**

La chaussée doit garantir une circulation fluide en tout temps, offrant à la fois sécurité et confort aux usagers. Elle a pour fonction de transmettre et de répartir les sollicitations dues au trafic vers le sol support, qui, en règle générale, n'est pas en mesure de les supporter directement.[1]

#### **a. Les actions verticales**

La chaussée joue un rôle fondamental dans la structure routière en absorbant et en répartissant les charges verticales induites par le trafic, afin de limiter les contraintes transmises au sol-support. Cette répartition permet d'éviter les déformations excessives et les dégradations prématurées de l'infrastructure. Selon le Règlement Algérien de la Circulation Routière en vigueur, la charge maximale autorisée pour un essieu isolé est de 13 tonnes (130 kN). Pour un essieu jumelé, cette limite est également fixée à 13 tonnes (130 kN), conformément aux spécifications du décret exécutif n°04-381 du 28 novembre 2004 portant réglementation de la charge à l'essieu en Algérie [1].

#### **b. Les actions tangentielles**

Lorsqu'un véhicule est en mouvement apparaissent des efforts horizontaux du fait :

(1) De la transmission de l'effort moteur ou de freinage.

(2) De la mise en rotation des roues non motrices.

(3) De la résistance aux efforts horizontaux.

Bien entendu toutes ces actions tangentielles s'accompagnent de frottements dans lesquels se dissipe de l'énergie qui usent les pneumatiques et les chaussées [1].

### b. Les actions dynamiques

Comme le montre la figure 1.5, les efforts dynamiques engendrés par le passage des véhicules peuvent provoquer des variations importantes et soudaines des contraintes appliquées à la chaussée, allant bien au-delà des charges statiques conventionnelles. Ces efforts dynamiques sont notamment dus à l'irrégularité de la surface de roulement (uni), à la géométrie de la chaussée (pentes, courbures, joints, défauts locaux), ainsi qu'aux caractéristiques du véhicule lui-même (suspension, état des pneus, vitesse). L'interaction dynamique entre ces facteurs peut entraîner des pics de charge de très courte durée — inférieurs à un dixième de seconde — mais suffisamment intenses pour générer localement des contraintes accrues, favorisant l'apparition de dommages prématurés tels que la fissuration ou l'orniérage. Ces phénomènes transitoires sont souvent difficilement détectables dans les modèles purement statiques, ce qui justifie l'importance de leur prise en compte dans les approches de dimensionnement moderne des chaussées. Ils illustrent également la nécessité d'un contrôle rigoureux de la qualité de la construction et de l'entretien du réseau routier pour minimiser les effets dynamiques indésirables [1].

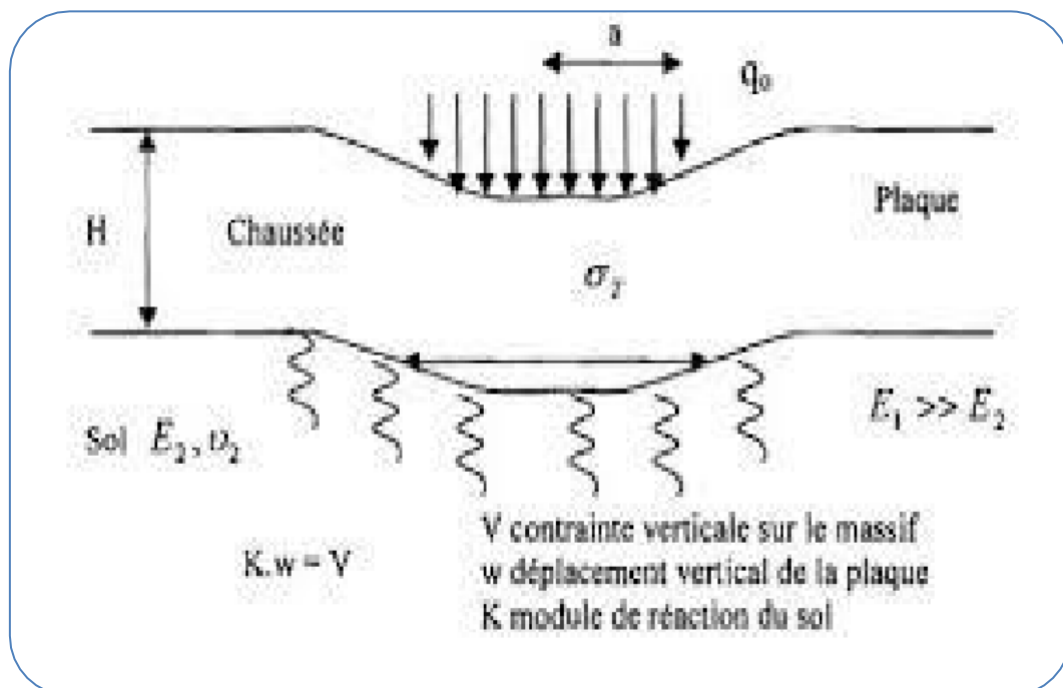
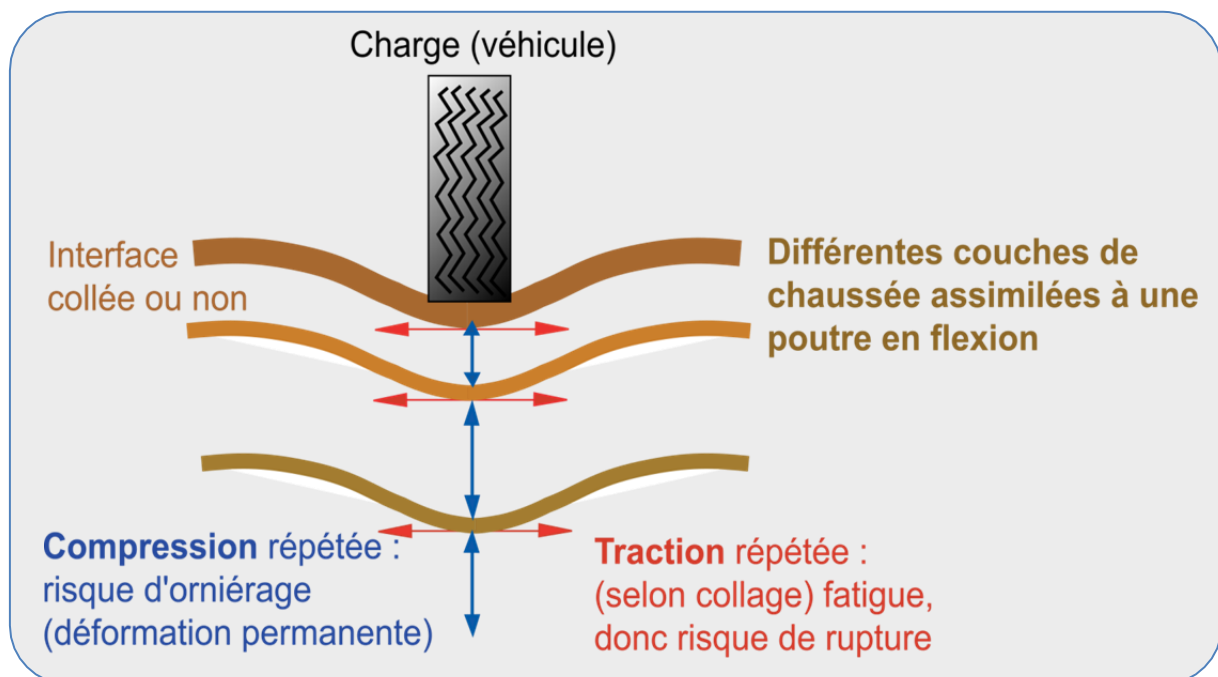


Figure 1.5 : Les action dynamiques.

## 1.4.2 Influence des actions appliquées à la chaussée

### 1.4.2.1 Effet du trafic

La figure 1.6 illustre l'effet des charges dynamiques exercées par les véhicules sur les différentes couches d'une chaussée, en les assimilant au comportement mécanique d'une poutre en flexion soumise à des sollicitations répétées. Sous l'effet des passages répétés du trafic, chaque couche de chaussée subit des contraintes mécaniques complexes composées de compressions et de tractions différentielles selon la position dans la structure. En surface, la compression répétée provoque un tassement progressif du matériau, pouvant générer des déformations permanentes appelées « orniérage ». En opposition, la base des couches structurales, notamment lorsqu'elle est faiblement collée ou désolidarisée, est soumise à des efforts de traction répétés, susceptibles de produire des micro-fissures par fatigue. Ces fissures, si elles ne sont pas maîtrisées, peuvent s'agrandir sous l'effet du trafic et conduire à la ruine prématurée de la chaussée. Ce comportement est modélisé à l'aide de la théorie des multicouches élastiques linéaires et isotropes, nécessitant la connaissance du module de rigidité ( $E$  ou module de Young) et, dans certains cas, du coefficient de Poisson. L'analyse met ainsi en évidence l'importance de la qualité de l'interface entre les couches (collée ou non), car elle influence directement la distribution des contraintes et la durabilité de l'ouvrage [1].



**Figure 1.6:** Influence des actions appliquées à la chaussée.

### 1.4.2.2 Effet de la température

Les propriétés des matériaux bitumineux sont très sensibles à la température, pour cela il est intéressant de savoir comment évoluent les performances à la fatigue en fonction de la variation de la température

Ces variations thermiques entraînent des changements de la rigidité du mélange bitumineux

- à basse température les matériaux bitumineux sont rigides et fragile.
- à haute température la rigidité du mélange chute tandis que la ductilité du mélange bitumineux augmente.

D'autre part, le changement de température peut entraîner des contraintes et des déformations au sein des matériaux bitumineux en raison des contractions-dilatations thermiques ce phénomène est particulièrement important, parce qu'il peut provoquer des fissures dues aux cycles thermiques à basses températures, ou entraîner des dégradations aux interfaces des couches de la chaussée [1].

## 1.5 Conclusion

La structure des chaussées constitue un élément essentiel de l'ingénierie routière, dont la conception repose sur des principes techniques précis et adaptés aux contraintes du trafic et de l'environnement. On distingue principalement trois types de chaussées : souples, semi-rigides et rigides, chacun répondant à des besoins spécifiques en termes de performance mécanique, de durée de vie et de coût. Les chaussées souples, majoritairement composées de matériaux bitumineux non traités, offrent une certaine flexibilité face aux sollicitations, tandis que les chaussées rigides, en béton de ciment, se distinguent par leur forte portance et leur faible déformabilité. Les structures semi-rigides, quant à elles, combinent des couches traitées aux liants hydrauliques, assurant un bon compromis entre rigidité et souplesse. Le choix des matériaux – qu'ils soient bitumineux, traités (aux liants hydrauliques ou bitumineux) ou granulaires non traités – influe directement sur le comportement mécanique de la chaussée : fatigue, orniérage, fissuration ou tassement. Une bonne connaissance du comportement des chaussées sous l'effet des charges répétées du trafic et des conditions climatiques est indispensable pour assurer leur durabilité.

## *Chapitre 2*

# *Méthodes de dimensionnement*

## 2.1 Introduction

Le dimensionnement d'une chaussée consiste à définir les épaisseurs optimales des différentes couches de la structure routière, en fonction de nombreux paramètres tels que la nature du sol support, le volume et la composition du trafic, les propriétés des matériaux disponibles ainsi que les conditions climatiques. Il n'existe pas de méthode de calcul universelle applicable de manière stricte à tous les pays ; chaque nation élabore ses propres règles, qui évoluent avec les avancées dans la compréhension des facteurs environnementaux et les progrès des modèles mécaniques. De ce fait, plusieurs méthodes ont été développées pour s'adapter aux contextes spécifiques, et elles se répartissent généralement en trois grandes catégories : les méthodes empiriques, fondées sur l'expérience ; les méthodes semi-empiriques, combinant données expérimentales et raisonnements mécaniques ; et les méthodes analytiques ou théoriques, basées sur des modèles physiques du comportement des matériaux.

## 2.2 Paramètres influençant le dimensionnement

Dans cette section, nous allons montrer les paramètres influençant le dimensionnement des chaussées, tels que le trafic poids lourds, la portance du sol support, les conditions climatiques (température, précipitations) et les propriétés mécaniques des matériaux utilisés. Ces éléments déterminent la performance et la durabilité de la structure routière.

### 2.2.1 Trafic

Le trafic de dimensionnement correspond principalement au trafic de poids lourds, c'est-à-dire les véhicules dont le poids total en charge est supérieur à 3,5 tonnes. Ce paramètre joue un rôle essentiel dans le dimensionnement des structures de chaussée, ainsi que dans le choix des caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés dans les différentes couches de la chaussée. Pour représenter efficacement l'impact du trafic sur la durabilité de la chaussée, deux paramètres fondamentaux sont généralement pris en compte :

- Le trafic poids lourds journalier à la mise en service *TPL* : ce paramètre est issu d'une étude de trafic, incluant des comptages réels sur les axes existants ou des projections sur les tracés nouveaux.
- Le trafic cumulé sur la période de dimensionnement *TC* : il correspond au nombre total d'essieux équivalents sur toute la durée de vie prévue de la chaussée. Ce trafic cumulé est exprimé en essieux équivalents de 13 tonnes ou en nombre cumulé de poids lourds.

### 2.2.2 Sol support

Les structures de chaussées s'appuient sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée, qui constitue la base de toute structure routière. Cette plate-forme est généralement composée du sol naturel terrassé, éventuellement amélioré ou traité, et, si nécessaire, surmonté d'une couche de forme (si  $I_{CBR}$  est faible) destinée à améliorer la portance et à homogénéiser le support.

La définition et le dimensionnement de la plate-forme reposent principalement sur deux éléments :

- La nature (granulométrie, plasticité, portance) et l'état (humidité, compacité) du sol en place.
- La nature (matériau utilisé) et l'épaisseur de la couche de forme, lorsque celle-ci est requise pour garantir un niveau de portance compatible avec les exigences de la structure de chaussée supérieure.

### 2.2.3 Conditions climatiques

Le climat et l'environnement ont une influence déterminante sur le comportement mécanique et la durabilité des chaussées. En particulier, les variations de température jouent un rôle essentiel dans le choix du liant hydrocarboné, car elles affectent sa consistance, sa rigidité et sa sensibilité au fluage. Par ailleurs, les précipitations et les conditions de drainage influencent directement la teneur en eau du sol support, ce qui impacte ses caractéristiques mécaniques (portance, plasticité, sensibilité au gel, etc.).

Ainsi, l'un des paramètres clés à considérer dans le dimensionnement est la teneur en eau des sols, qui conditionne non seulement les propriétés géomécaniques des couches de fondation, mais aussi les performances des matériaux bitumineux en termes d'adhérence, de fatigue et de résistance à la déformation. Il est donc indispensable d'adapter la conception des chaussées aux conditions climatiques locales (zones sèches, humides ou gélives) pour garantir leur stabilité et leur durabilité dans le temps.

### 2.2.4 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans la structure de chaussée doivent être capables de résister à des sollicitations répétées sur un grand nombre de cycles, correspondant au passage fréquent et prolongé des véhicules lourds, sans présenter de déformations permanentes ni de dégradations structurelles significatives.

### 2.3 Méthodes théorique

Dans cette méthode il faut établir un modèle qui reproduit le mieux le fonctionnement mécanique de la chaussée. En utilisant ce modèle on détermine les sollicitations supportées par les matériaux de la structure routière et le corps de la chaussée sous le trafic. Ces sollicitations doivent être comparées avec les sollicitations admissibles. C'est donc une approche qui utilise une certaine branche de la mécanique des milieux continus, nommée aussi mécanique des chaussées [1].

#### 2.3.1 Modèle de Boussinesq (1885)

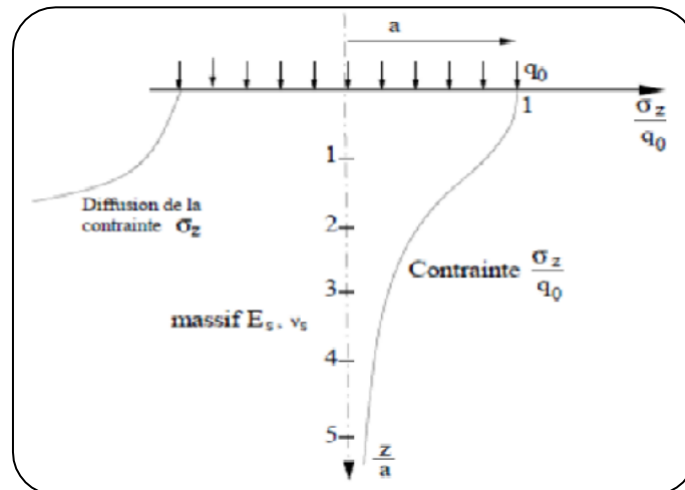
Dans le cas où le corps de chaussée ne présente pas de caractéristiques très différentes de celles du sol naturel, il est possible de considérer que la répartition des pressions s'effectue de manière similaire à celle observée dans un sol homogène. Cette hypothèse permet de modéliser la structure de chaussée comme un massif élastique semi-infini et de proposer une approche simple pour l'analyse des contraintes. En supposant un matériau homogène, isotrope et élastique linéaire, le problème a été résolu par Joseph Valentin Boussinesq en 1885. Il a établi les équations de la distribution des contraintes dans un milieu semi-infini soumis à une charge ponctuelle ou répartie. Dans le cas d'une charge circulaire uniforme de rayon  $a$  et de pression  $q_0$ , la contrainte verticale  $\sigma_z$  est maximale à l'aplomb du centre du cercle. À une profondeur  $z$ , cette contrainte est donnée par la formule :

$$\sigma_z = q_0 \left[ 1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \frac{z^2}{a^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (2.1)$$

Grâce aux résultats de Boussinesq, il est possible de déterminer la profondeur  $H$  à laquelle la contrainte verticale transmise par la charge appliquée en surface a été suffisamment atténuée pour ne pas dépasser une valeur admissible dans le sol support. Cette profondeur  $H$  représente la zone d'influence significative des charges dans le massif de sol. On peut alors établir une épaisseur équivalente de chaussée  $H'$ , permettant de diffuser la charge de manière équivalente à travers un matériau granulaire ayant un module d'élasticité  $E_1$  (corps de chaussée) différent de celui du sol support  $ES$ . Autrement dit, nous pouvons écrire :

$$H' = H \times \sqrt{\frac{E_s}{E_1}} \quad (2.2)$$

L'application de ce modèle à l'étude de la fissuration des structures de chaussées présente plusieurs limites : il ne permet pas de prendre en compte les discontinuités, son domaine d'application est restreint aux cas où le corps de chaussée est proche du sol naturel, et il ne peut pas modéliser les structures multicouches.



**Figure 2.1 :** Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq [Peyronne et al. 1991].

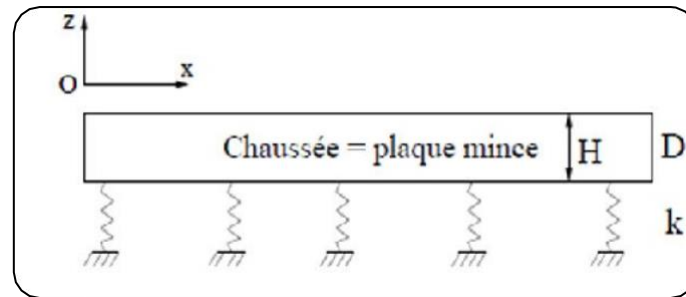
### 2.3.2 Modèle de Westergaard (1962)

Outre l'hypothèse de plaque mince appliquée à la couche de roulement rigide (typiquement une dalle en béton), Westergaard a introduit une simplification pour modéliser le comportement du sol support. Ce dernier est représenté par un massif de Winkler, c'est-à-dire un ensemble de ressorts verticaux indépendants, chacun réagissant localement à la charge appliquée sans interaction latérale avec les ressorts voisins.

Dans ce modèle, le déplacement vertical  $w$  en un point de contact entre la dalle et le support est proportionnel à la contrainte verticale  $\sigma_{zz}$  exercée en ce point :

$$\sigma_{zz} = k \times w \quad (2.3)$$

Où :  $k$  est appelé le module de réaction de fondation (ou coefficient de réaction de Winkler, exprimé en  $N/m^3$ ), il dépend des caractéristiques mécaniques du sol, de sa compacité, et de l'interaction sol-structure.



**Figure 2.2** : Schéma du modèle de Westergaad.

Notons  $D$  la rigidité de la plaque, définie par la relation suivante :

$$D = \frac{E_1 \times H^2}{12(1 - \nu_1^2)} \quad (2.4)$$

Où :  $H$  est l'épaisseur de la plaque,  $E_1$  est le module d'Young du matériau de la plaque,  $\nu_1$  est le coefficient de Poisson du matériau. En appliquant l'équation de Lagrange aux plaques minces reposant sur un support élastique de Winkler, on obtient l'équation différentielle suivante :

$$D\Delta^2 w + Kw = p \quad (2.5)$$

Avec :  $w$  est le déplacement vertical de la plaque,  $K$  est le module de réaction de la fondation (coefficient de Winkler),  $p$  est la pression appliquée sur la plaque.

Bien que le modèle de Westergaad constitue la base du dimensionnement des chaussées rigides, son application à l'étude des chaussées fissurées présente plusieurs limites : il suppose des ressorts de même rigidité agissant indépendamment, néglige les cisaillements à l'interface chaussée-sol, et ne permet pas de représenter une structure multicouche.

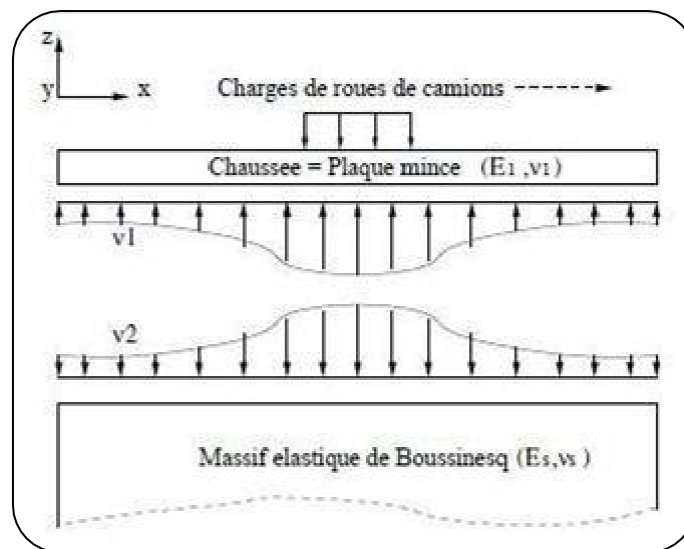
### 2.3.3 Modèle de Hogg (1938)

Dans ce modèle, la chaussée est représentée par une plaque mince caractérisée par un module d'Young  $E_1$  et un coefficient de Poisson  $\nu_1$ , reposant sur un massif élastique semi-infini de type Boussinesq, défini par un module  $E_S$  et un coefficient de Poisson  $\nu_S$ .

L'hypothèse principale du modèle est que la plaque glisse parfaitement sur son support, c'est-à-dire sans transfert d'efforts tangentiels (cisaillement) à l'interface. Dans ce cadre, il reste deux inconnues principales à déterminer à l'interface chaussée-sol : le déplacement vertical  $u_z$  et la contrainte normale  $\sigma_{zz}$ . Ces inconnues sont liées, d'une part, aux équations des plaques

minces (théorie de Kirchhoff-Love), et d'autre part, aux équations de Boussinesq pour un milieu élastique semi-infini.

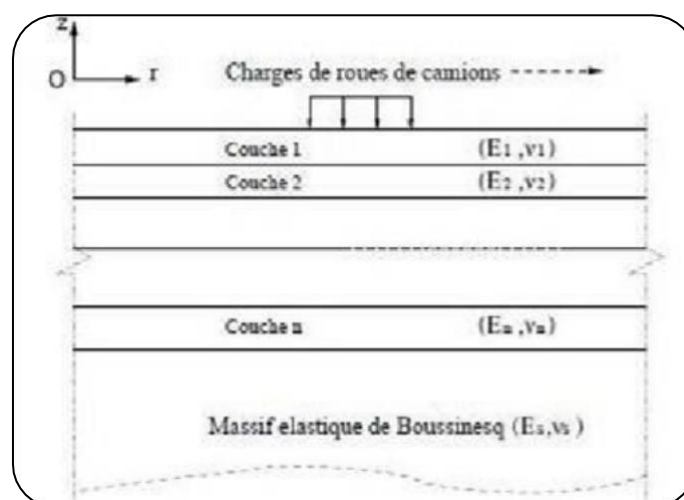
Ce modèle présente deux principales limites : il ne prend pas en compte les cisaillements à l'interface chaussée-sol, ce qui peut affecter la précision des résultats, et il ne permet pas de modéliser une structure de chaussée multicouche.



**Figure 2.3 :** Schéma du modèle de Hogg [Hogg, 1938].

### 2.3.4 Modèle de Burmister (1943)

Le modèle de Burmister est schématisé sur la figure 2.6. Le multicouche de chaussée est supposé infini dans le plan, et repose sur le sol infini de Boussinesq. La charge est supposée être un cercle, ce qui facilite beaucoup le problème en le rendant axisymétrique [3].



**Figure 2.4 :** Schéma du modèle de Burmister.

Ce modèle général à  $n$  couches présente plusieurs avantages : toutes les couches sont considérées comme des milieux élastiques, ce qui permet d'éviter l'hypothèse simplificatrice de plaque adoptée par d'autres modèles. De plus, il autorise la modélisation d'interfaces soit collées, soit décollées entre les différentes couches, et il permet des calculs rapides grâce à une formulation optimisée.

Cependant, il présente aussi certaines limites. L'hypothèse d'axisymétrie et de couches infinies dans le plan empêche la prise en compte des discontinuités, comme celles présentes dans les chaussées rigides fissurées. De plus, la charge appliquée est supposée circulaire ; bien qu'une charge de forme différente puisse être approchée par superposition, cette méthode reste insuffisante pour représenter avec précision des charges complexes, comme celles générées par les poids lourds.

### 2.3.5 Modèle de Jeuffroy (1955)

Le modèle de Jeuffroy, proposé en 1955, est une combinaison des modèles de Hogg (1938) et de Burmister (1943). Il représente la chaussée par une plaque mince, reposant sans frottement sur une couche élastique selon la formulation de Burmister, elle-même appuyée sur un sol considéré comme un massif semi-infini.

Cette approche hybride permet de mieux modéliser certaines conditions réelles, notamment la présence de discontinuités verticales dans la première couche, comme dans le cas des chaussées en dalles de béton. La première couche (plaque) est donc traitée selon la théorie des plaques minces, tandis que la deuxième couche est modélisée comme un milieu élastique homogène.

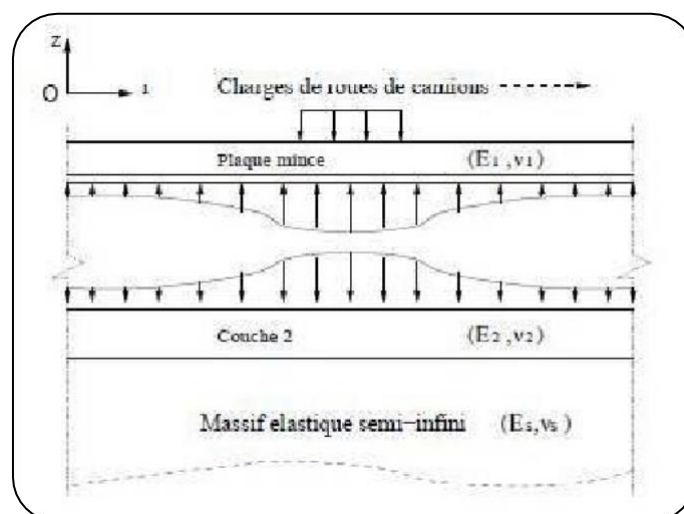


Figure 2.5 : Schéma du modèle de Jeuffroy [Jeuffroy, 1955].

Le modèle de Jeuffroy est particulièrement utile pour analyser les discontinuités verticales dans les chaussées rigides. Il est appliqué notamment aux chaussées en dalles de béton et aux aires de stationnement pour avions, où il permet d'évaluer la déformation des dalles, la transmission des charges et l'effet des joints soumis à de fortes sollicitations.

### 2.3.6. Modèles aux éléments finis

La méthode des éléments finis ne s'est véritablement développée qu'à partir de la généralisation de l'utilisation des calculateurs numériques. Dès 1963, Duncan (publication en 1968) a appliqué cette méthode pour analyser un problème axisymétrique inspiré du modèle multicouche de Burmister. Il a ensuite étendu son approche à des matériaux non purement élastiques. Depuis, la méthode a été constamment améliorée, donnant lieu à de nombreuses variantes de plus en plus réalistes [1].

Le principe général de cette méthode consiste à discrétiser la structure de la chaussée en un ensemble fini d'éléments géométriques, reliés entre eux par des nœuds. L'analyse est d'abord réalisée à l'échelle de chaque élément, puis étendue à l'ensemble de la structure, ce qui conduit à une formulation matricielle dans le cadre de la méthode des déplacements :

$$K \cdot U = C \quad (2.6)$$

Avec :

**K** : matrice de rigidité de la structure, liée à sa géométrie et aux propriétés mécaniques des matériaux.

**U** : vecteur des déplacements aux nœuds, inconnu principal du problème.

**C** : vecteur des charges appliquées à la structure.

Cette méthode permet de traiter divers cas complexes tels que :

- La modélisation tridimensionnelle due à la géométrie non infinie en plan,
- La non-linéarité ou l'évolution des conditions de contact entre les couches,
- Le comportement viscoélastique des matériaux soumis à des charges roulantes.

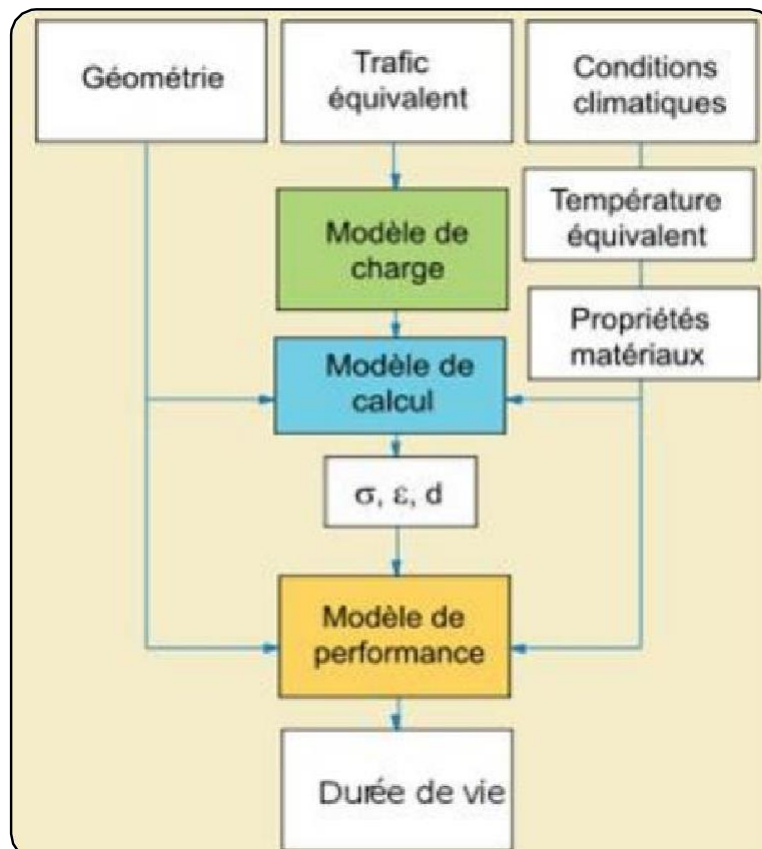
## 2.4 Méthodes empirique

Dans cette approche, on utilise des données expérimentales pour observer le comportement réel d'une structure carrossable soumise au trafic. La méthode empirique consiste d'abord à

définir les critères de fin de vie de la chaussée, puis à suivre l'évolution de secteurs expérimentaux en service [1].

Cette méthode, bien que fondée uniquement sur l'observation, présente plusieurs limites importantes :

- Pour évaluer l'influence de différents paramètres (épaisseur des couches, propriétés mécaniques des matériaux, etc.) sur un même tracé, il est nécessaire de réaliser un très grand nombre de sections expérimentales, ce qui engendre des coûts très élevés.
- Le temps de réponse est long, car cette méthode ne permet pas d'accélérer artificiellement le trafic ; il faut attendre l'évolution naturelle sous trafic réel, ce qui implique également un risque accru pendant la phase d'exploitation.
- Les résultats obtenus, généralement par analyse statistique ou régression empirique, ne sont valables que pour les matériaux et les conditions spécifiques du site expérimental considéré [3].



**Figure 2.6 :** Schéma de fonctionnement de la méthode empirique.

### 2.4.1 Méthode AASHTO

La méthode de l'AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) est fondée sur une analyse empirique des résultats des essais du AASHTO Road Test, réalisés à la fin des années 1950 sur plus de 500 sections de chaussées expérimentales, et étendue entre 1961 et 1993.

L'épaisseur des différentes couches constituant la structure de la chaussée est déterminée à partir de l'équation (2.7), qui exprime le nombre structural comme suit :

$$SN_n = (D_1 \times a_1 + D_2 \times a_2 \times m_2 + D_3 \times a_3 \times m_3 + \dots + D_n \times a_n \times m_n) / 25,4 \quad (2.7)$$

Où :

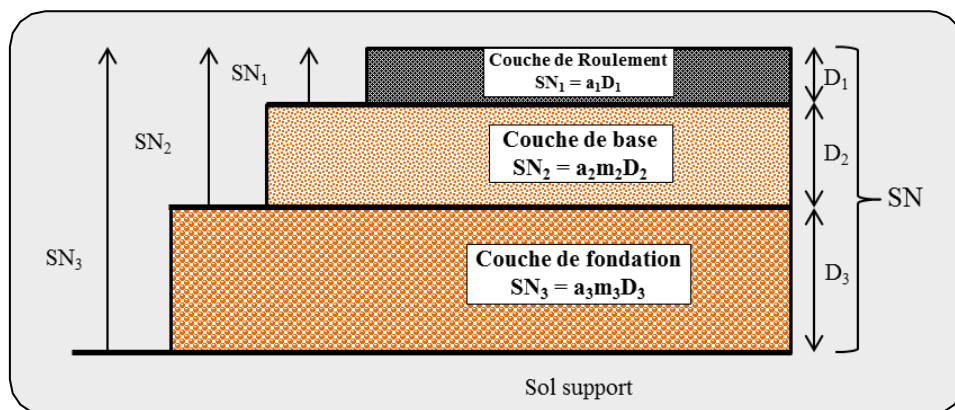
$SN_n$  : nombre structural cumulé pour n couches, déterminé à partir de l'abaque AASHTO des nombres structuraux,

$D_1, D_2, D_3, D_n$  : épaisseurs des couches de roulement, de base, de fondation et de forme respectivement,

$m_2, m_3, m_n$  : coefficients de drainage des couches de base, de fondation et de forme respectivement,

$a_1, a_2, a_3, a_n$  : coefficients structuraux représentatifs des matériaux de chaque couche (roulement, base, fondation, forme), exprimés par tranche de 1 pouce (25,4 mm) de matériau.

La conception finale, correspondant à un assemblage de matériaux avec des épaisseurs définies, est illustrée à la figure 2.7.



**Figure 2.7 :** Principe d'un système multicouche [Kh\_z juin2016].

### 2.4.2 Méthode CEBTP

La méthode CEBTP (Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics) a été élaborée à la suite d'une étude approfondie menée sur environ 7 000 km de routes bitumineuses en Afrique tropicale et à Madagascar. Cette initiative, débutée en 1971, a abouti à la publication du « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux » en 1984. Le guide a été conçu pour répondre aux besoins spécifiques des régions tropicales, en tenant compte des conditions climatiques, des types de sols et des matériaux disponibles localement. La méthode repose sur deux principes fondamentaux :

- Pour les chaussées sans couches rigidifiées, le dimensionnement est basé sur deux paramètres principaux : l'indice CBR du sol et le trafic prévu.
- Pour les chaussées comportant des couches susceptibles de subir des ruptures en traction, une analyse théorique est nécessaire pour s'assurer que les contraintes de traction à la base des couches rigidifiées sont compatibles avec les performances des matériaux utilisés.

Le guide recommande également des pratiques techniques pour minimiser les risques de défaillance, telles que :

- L'élimination des matériaux instables ou gonflants sur les 30 derniers cm des terrassements.
- Une compacité et une portance adéquates pour les couches de base et de fondation.
- L'utilisation d'agrégats de dureté satisfaisante pour les couches de base ou de surface.

Le guide classe les sols de plate-forme en cinq catégories (S1 à S5) en fonction de leur indice CBR (tableau 2.1), et le trafic en quatre classes basées sur le nombre total de véhicules prévus sur une période donnée (tableau 2.2).

**Tableau 2.1 : Classes de portance des sols**

Classes	S1	S2	S3	S4	S5
Indice CBR	CBR < 5	5 < CBR < 10	10 < CBR < 15	15 < CBR < 30	CBR > 30

**Tableau 2.2 : Classes de trafic**

Classe de trafic	Trafic en nombre de v/j	Trafic en nombre cumulé de PL
T1	< 300	< 5.10 <sup>5</sup>
T2	de 300 à 1000	de 5.10 <sup>5</sup> à 1,5.10 <sup>6</sup>
T3	de 1000 à 3000	de 1,5.10 <sup>6</sup> à 4.10 <sup>6</sup>
T4	de 3000 à 6000	de 4.10 <sup>6</sup> à 10 <sup>7</sup>
T5	de 6000 à 12000	de 10 <sup>7</sup> à 2.10 <sup>7</sup>

Les formules à appliquer pour le calcul de trafic sont les suivantes :

a) Cas de croissance exponentielle :

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

$$365 \sum_1^n t_n = 365 \times t_1 \times \frac{(1 + \tau)^n - 1}{\tau} \quad (2.8)$$

b) Cas de croissance linéaire :

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

$$365 \sum_1^n t_n = 365 \times n \times t_1 \times \left[ \frac{2 + (n-1)\tau}{2} \right]$$

Avec :

$t_1$  = trafic moyen journalier à l'année de mise en service,

$t_n$  = trafic moyen journalier de l'année  $n$

$n$  = nombre d'années (durée de vie)

$\tau$  = taux d'accroissement annuel du trafic (en décimal)

$365 \sum t_n$  = trafic cumulé pendant la durée de vie  $n$

**Répartition du trafic sur l'itinéraire** : Si la largeur de la route  $\leq 7$  m, on prendra en compte l'ensemble du trafic dans les deux sens de circulation. Si la route a plus de 7 m ou si les voies sont à circulation unidirectionnelle, le trafic dans le sens le plus chargé sera considéré.

### 2.4.3 Méthode Britannique (TRRL)

La méthode TRRL (Transport and Road Research Laboratory) est une méthode pratique de dimensionnement dérivée de la méthode CBR. Elle s'est développée à partir des observations faites pendant 15 ans sur les chaussées britanniques et a donné lieu à la publication des abaques du Road Note 29 en 1962. Ces abaques déterminent les épaisseurs minimales du revêtement et de la couche de base en fonction du trafic, tandis que l'épaisseur de la couche de fondation dépend uniquement du CBR du sol support.

En 1971, le Road Note 31 est publié pour les territoires tropicaux anglophones, en intégrant les résultats des essais AASHO et la notion de coefficient d'équivalence des matériaux. Cette méthode prend en compte l'effet du climat tropical, notamment la variation saisonnière de la

teneur en eau des sols de plate-forme. Les sols y sont classés selon la profondeur et les fluctuations de la nappe phréatique.

Le dimensionnement repose sur le trafic exprimé en essieux standards de 8,2 tonnes cumulés par sens de circulation sur une période allant jusqu'à 20 ans [3].

#### 2.4.4 Méthode Asphalte Institute

Cette méthode repose sur l'utilisation d'abaques permettant de déterminer l'épaisseur équivalente ( $E_{\text{éq}}$ ) en fonction du trafic équivalent ( $T_{\text{éq}}$ ) [1]. Les étapes successives à suivre de cette méthode sont les suivantes :

##### a. Classification du trafic

Le trafic est exprimé par un paramètre appelé D.T.N (Design Traffic Number), qui se définit comme suit :

**Tableau 2. : Classes de DTN**

D.T.N $\leq 10$	$10 < \text{D.T.N} \leq 100$	D.T.N $> 100$
Trafic léger	Trafic moyen	Trafic lourd

##### b. Calcul du D.T.N

Le D.T.N est calculé selon la formule suivante :

$$\text{D.T.N} = F \times \text{TF} \quad (2.10)$$

T.F : (Truck Factor) coefficient traduisant l'impact d'un camion sur la structure de chaussée.

F : facteur de conversion du trafic réel en trafic équivalent à l'essieu de référence.

##### c. Calcul du facteur F

Le facteur F est déterminé à partir de la formule suivante :

$$F = \left( \frac{P}{P_0} \right)^\alpha \quad (2.11)$$

Avec :

$P_0$  : poids d'essieu de référence (13tonnes).

P : Poids de l'essieu simple exprimé en tonnes.

On prendra pour les chaussées souples  $\alpha = 4$

C : Coefficient d'utilisation de la route (tableau 2.4).

K : Coefficient d'accroissement.

N : Nombre journalier moyen de camion circulaire à vide dans les 2 directions.

**d. Calcul de TF**

$$T.F = \frac{\sum F_i \times N_i}{1000} = \frac{\text{Nombre journalier d'essieu} \times F}{1000} \quad (2.12)$$

**Tableau 2.3 : Valeurs de F**

Véhicules	Poids total	Poids pour essieu	Valeurs de F
Tourisme	1(t)	0.5(t)	0.0005
Utilitaire	1.5(t)	0.5(t) AV 1.0(t) AR	0.0005 0.0007
Camion léger	5(t)	1.5(t) AV 3.5(t)AR	0.0009 0.003
Camion lourd	20(t)	7(t) AV 13(t) AR	0.025 1

**f. Calcul du trafic équivalent TE**

$$T.E = DTN \times 365 = TF \times C \times K \times N \times 365 \quad (2.13)$$

- K : Coefficient d'accroissement annuel :

$$K = \frac{[(1+t)^{n+1} - 1]}{[(1+t) - 1]} \quad (2.14)$$

- N : Nombre journalier moyen :

$$N_{\text{moy}} = \frac{N \cdot [1+t]^n}{n} \quad (2.15)$$

- C : Coefficient d'utilisation :

La répartition du trafic entre les voies de circulation en %.

**Tableau 2.4 : Coefficient d'utilisation de la route C.**

Nombre de voies	2	3	4	5 et plus
Coefficient d'utilisation	0,50	0,45	0,45	0,40

**g. Calcul de l'épaisseur de la chaussée**

La méthode de l'Asphalte Institute permet de déterminer l'épaisseur totale d'une chaussée entièrement constituée de béton bitumineux (BB) à l'aide d'un abaque. Si l'on souhaite utiliser d'autres matériaux dans les différentes couches, il suffit d'appliquer des coefficients d'équivalence structurale (Structural Layer Coefficients) pour ajuster les épaisseurs.

*Utilisation de l'abaque :*

- L'intersection de la droite correspondant au DTN avec la ligne verticale représentant la valeur du CBR (indice de portance du sol support) donne la valeur  $t_A$ , soit l'épaisseur totale de la chaussée en béton bitumineux.

- L'intersection de cette même droite avec la ligne (A) fournit la valeur  $t_a$ , qui représente l'épaisseur minimale de la couche de surface en enrobé bitumineux.

## 2.5 Méthodes semi-empirique

Les méthodes semi-empiriques représentent un compromis entre les approches empiriques et théoriques, en combinant des données expérimentales issues d'observations de terrain ou d'essais grandeur nature avec des éléments théoriques de la mécanique des milieux continus ou des modèles analytiques.

### 2.5.1 Méthode CBR modifiée en fonction de TPL

La méthode CBR (California Bearing Ratio) est une méthode semi-empirique utilisée pour le dimensionnement des structures des chaussées, notamment sur les sols à portance variable. Elle repose sur un essai de poinçonnement réalisé sur un échantillon de sol prélevé in situ ou reconstitué en laboratoire ; cet essai, conforme à la norme française NF P 94-078, permet de mesurer l'indice CBR, caractérisant la résistance à la pénétration du sol support.

#### *Formule initiale*

L'épaisseur équivalente de la structure de chaussée peut être estimée, pour une charge standard, à l'aide de la formule suivante :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{CBR + 5} \quad (2.16)$$

$e$  : épaisseur équivalente de la chaussée (en cm). (2.17)

$P$  : charge par roue (en tonnes), généralement  $P = 6,5$  t pour un essieu de 13 t. CBR : indice portant du sol support.

#### *Formule modifiée*

Afin d'adapter cette méthode au trafic de poids lourds durant la durée de vie de la chaussée, Peltier a proposé une formule modifiée :

$$e = \frac{100 + \left[ 75 + 50 \log \left( \frac{N}{10} \right) \right] \times \sqrt{P}}{CBR + 5} \quad (2.17)$$

$e$  : épaisseur équivalente de la chaussée (en cm).

$N$  : nombre de poids lourds à vide par jour et par sens sur toute la durée de vie.

$P$  : charge par roue (6,5 t pour un essieu de 13 t, essieu de référence en Algérie).

CBR : indice portant du sol support.

Cette version permet de mieux prendre en compte l'impact du trafic poids lourds réel dans le dimensionnement.

### Coefficient d'équivalence $CE$

L'épaisseur obtenue par ces formules correspond à une structure théorique de référence, généralement composée de grave non traitée bien graduée. Pour adapter le dimensionnement à des matériaux réels (stabilisés, enrobés, bitumineux ou hydrauliques), on applique un coefficient d'équivalence ( $CE$ ) [3] ; les valeurs des coefficients d'équivalence pour les matériaux routiers sont données dans le tableau 2.5.

$$e_{réelle} = \frac{e_{équivalente}}{CE} \quad (2.18)$$

- $CE > 1$  : matériau plus performant (épaisseur réduite).
- $CE < 1$  : matériau moins performant (épaisseur augmentée).

**Tableau 2.5** : Valeurs des coefficients d'équivalence

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence $CE$
Béton bitumineux ( $BB$ ) ou enrobe dense ( $ED$ )	2,00
Grave ciment ( $GCI$ )	1,50
Grave bitumineux ( $GB$ )	1,50 à 1,70
Grave concassée ( $GC$ ) ou gravier	1,00
Grave roulée ( $Gr$ ) – grave sableuse ( $GS$ ) – TVO	0,75
Sable ciment ( $SC$ )	1,00 à 1,20
Sable ( $S$ )	0,50
Tuf	0,60

\* L'épaisseur totale équivalente de la chaussée, prenant en compte les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés, est donnée par la relation suivante :

$$e_{équivalente} \text{ (cm)} = CE_1 \times e_1 + CE_2 \times e_2 + CE_3 \times e_3 \quad (2.19)$$

Où :

- $CE_i$  : coefficient d'équivalence de la couche  $i$ .
- $e_i$  : épaisseur réelle de la couche  $i$  (en cm).

Les couches concernées sont :

- $CE_1 \times e_1$  : couche de roulement.
- $CE_2 \times e_2$  : couche de base.
- $CE_3 \times e_3$  : couche de fondation.

### 2.5.2 Méthode Française (SETRA-LCPC)

Le guide technique de conception et de dimensionnement des chaussées SETRA-LCPC (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) est un référentiel de structures types qui a connu plusieurs évolutions : une première édition en 1971, une refonte majeure en 1977, puis une actualisation en 1988.

Les principaux objectifs du guide sont :

- Définir une stratégie technico-économique applicable à l'ensemble du réseau des routes nationales.
- Fournir aux services extérieurs et aux réseaux techniques de l'État des solutions standardisées, fiables et comparables.
- Éviter aux concepteurs la réalisation de calculs complexes, notamment à une époque où les moyens informatiques étaient limités.
- Le guide ne prescrit pas les choix techniques ni les valeurs des paramètres de base, laissant ces décisions au maître d'ouvrage [1].

La démarche de dimensionnement comporte les étapes suivantes :

#### a) Pré-dimensionnement

Cette étape consiste à sélectionner la couche de roulement en fonction des objectifs et des caractéristiques attendues, notamment :

- Sécurité : épaisseur, adhérence initiale et à long terme (par exemple, après 5 ans), drainabilité de surface.
- Confort : amélioration de l'uni, réduction du bruit, éclairage photométrique.
- Apport structurel possible : imperméabilité de surface, prévention de la remontée de fissures, résistance à l'orniérage.
- Nature de la couche de roulement : enduit superficiel, enrobé bitumineux, béton de ciment, etc.

Le pré-dimensionnement repose sur des références comparables. Le guide SETRA-LCPC simplifie l'approche scientifique en proposant des valeurs indicatives des modules de rigidité pour différentes typologies de matériaux granulaires, bitumineux et stabilisés. Il précise également les relations entre ces modules dans la structure.

Une attention particulière est portée à la caractérisation à long terme du sol support, élément fondamental du dimensionnement :

La couche de fondation est généralement définie avec un module de rigidité environ trois fois supérieur à celui de la plateforme, pour une épaisseur type de 25 cm.

Pour les chaussées souples à faible trafic, comportant une couche de roulement mince sur grave non traitée, le guide admet comme couche de roulement un simple enduit jusqu'à un trafic cumulé équivalent à 100 000 essieux. Au-delà, un enrobé bitumineux est recommandé. L'épaisseur de la couche de base est fixée à 15 cm pour ce trafic, et à 20 cm au-delà.

### **b) Calcul de la structure**

À partir de la structure pré-dimensionnée, on calcule les contraintes et déformations subies par les différentes couches, en utilisant un modèle mathématique approprié (modèle multicouche élastique, par exemple).

### **c) Vérification en fatigue**

On procède ensuite à la vérification de la résistance à la fatigue des matériaux constitutifs de la structure, ainsi qu'à la vérification des déformations admissibles du support (plateforme).

### **d) Ajustement des épaisseurs calculées**

Enfin, les épaisseurs des différentes couches sont ajustées en fonction des résultats de vérification pour garantir la durabilité et la sécurité de la chaussée.

## **2.5.3 Méthode Algérienne (CTTP)**

La méthode algérienne des catalogues de structures pour les chaussées neuves est une adaptation de la méthode française SETRA – LCPC, reposant sur le couple de paramètres ( $S_i$ ,  $TPL_i$ ), où  $S_i$  représente la portance de la plate-forme exprimée selon la classe de sol ( $S_1$  à  $S_4$ ), déterminée essentiellement à partir de l'indice CBR, et  $TPL_i$  le trafic cumulé de poids lourds (TPL) estimé sur la durée de vie de la chaussée à compter de sa mise en service. Ce guide, largement utilisé par les bureaux d'études algériens, constitue un outil pratique de dimensionnement, car il tient compte des matériaux localement disponibles, facilitant ainsi leur intégration dans la conception tout en assurant la conformité aux exigences du Cahier des Prescriptions Spéciales (CPS). La méthode fournit des structures types adaptées à différentes combinaisons de sol support ( $S_i$ , tableau 2.6, 2.7) et de trafic poids lourds à l'année de mise en

service (TPLi, Tableau 2.8), ce qui en fait une référence essentielle pour la conception rationnelle des chaussées neuves dans le contexte algérien [2][4].

**Tableau 2.6 :** Classes de portance des sols  $S_i$ .

Portance ( $S_i$ )	CBR
S4	< 5
S3	5 - 10
S2	10 - 25
S1	25 - 40
S0	> 40

Les valeurs des modules indiquées sur le tableau 2.7 ci-dessous, ont été calculées à partir de la relation empirique suivante :

$$E \text{ (MPa)} = 5 \times \text{CBR} \quad (2.20)$$

**Tableau 2.7 :** Classes de portance de sol-supports pour le dimensionnement.

Classes de sol-supports	S3	S2	S1	S0
Module (MPa)	25 - 50	50 - 125	125 - 200	> 200

**Tableau 2.8 :** Classes de trafic TPLi adoptées

Classe de trafic (TPLi)		TPL0	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
		RPi							
(PL/J/sens)	RP1	–	–	–	150 à 300	300 à 600	600 à 1500	1500 à 3000	3000 à 6000
	RP2	0 à 50	50 à 100	100 à 150	150 à 300	–	–	–	–

## 2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les principales méthodes de dimensionnement des chaussées, qui peuvent être classées en trois grandes catégories : les méthodes empiriques ou pratiques, fondées sur des observations expérimentales (comme les méthodes AASHTO ou CEBTP) ; les méthodes théoriques, basées sur les lois de la mécanique des milieux continus (telles que les modèles de Boussinesq, Burmister ou Hogg) ; et les méthodes semi-empiriques (tels que : CBR modifiée ou Catalogue CTTP), qui combinent théorie et données expérimentales pour une modélisation plus réaliste du comportement des chaussées. Le choix de la méthode dépend principalement du contexte géotechnique, des ressources disponibles, du niveau de précision souhaité, ainsi que de plusieurs paramètres essentiels tels que le trafic, les conditions climatiques, la nature du sol support et les caractéristiques des matériaux utilisés. Ces paramètres influencent fortement la durabilité et la performance des structures routières.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons le projet d'étude ainsi que la méthode de calcul adoptée pour le dimensionnement de la chaussée.

## *Chapitre 3*

# *Présentation de projet et méthode du calcul*

### **3.1 Introduction**

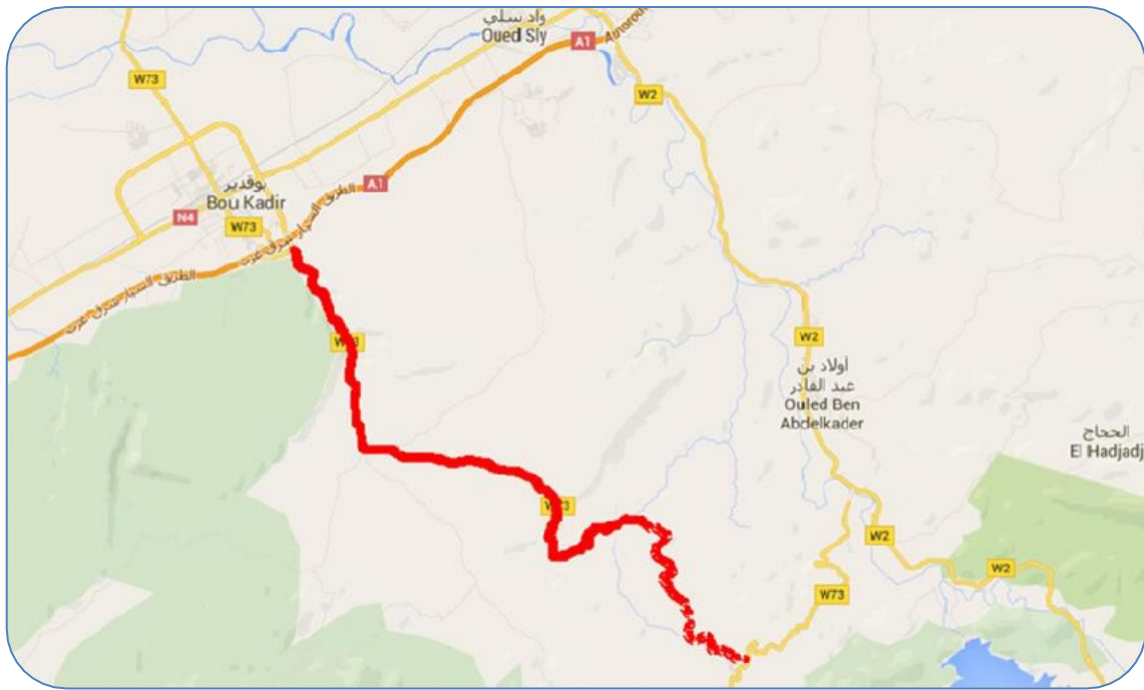
La wilaya de Chlef, située dans le Tell occidental à environ 200 km à l'ouest d'Alger (et jusqu'à 300 km pour certaines communes du nord-ouest), occupe une position stratégique au cœur du nord de l'Algérie. Son territoire se caractérise par une grande diversité géographique, comprenant quatre ensembles naturels majeurs : une façade méditerranéenne de 120 km, la chaîne montagneuse de la Dahra au nord, les monts de l'Ouarsenis au sud, ainsi que la vaste vallée du Chelif qui s'étend entre ces deux reliefs.

Ce chapitre a pour objet de présenter le projet de dimensionnement de chaussées à travers une étude de cas concrète portant sur trois tronçons routiers types. Ces tronçons ont été sélectionnés en raison de leurs caractéristiques représentatives en matière de tracé géométrique, de trafic routier et de conditions géotechniques du sol support. Le projet vise à analyser ces sections de manière détaillée afin d'en extraire les données nécessaires au dimensionnement rationnel des structures de chaussée. Dans cette optique, le chapitre introduit également le logiciel Alizé-LCPC, largement reconnu comme outil de référence pour le calcul et la conception des structures routières. Une présentation complète du logiciel est proposée, mettant en avant ses fonctionnalités, son mode de fonctionnement et ses domaines d'application. L'objectif global est de montrer comment ce projet, appuyé par un outil professionnel, permet d'intégrer les différents paramètres techniques en vue d'une solution de dimensionnement adaptée.

### **3.2 Etude de cas**

Le projet porte sur la modernisation d'un tronçon de 19 km de la route de wilaya CW 73, s'étendant du point kilométrique PK 11+000 au PK 30+000. Cette section débute à la sortie sud de la commune de Boukadir et se prolonge jusqu'à la jonction avec la CW 73A en direction de la localité de Ouled Abdelkader. L'intervention projetée consiste en une étude complète de modernisation de l'infrastructure existante.

Une étude de cas a été réalisée sur trois tronçons routiers A, B et C afin d'illustrer concrètement le processus de dimensionnement des structures de chaussées. Chaque tronçon a été sélectionné pour ses particularités en termes de tracé, de trafic et de nature du sol support. La présentation suivante expose en détail les caractéristiques géométriques, les données de trafic et les résultats des investigations géotechniques propres à chaque tronçon.



**Figure 3.1 :** Plan de situation du projet.

### 3.2.1 Tronçon A

Ce tronçon est situé du PK 13 + 000 au PK 13 + 950 avec les caractéristiques suivantes :

**Tableau 3.1 :** Quelques caractéristiques du tronçon A.

Vitesse de base : VB = 70 km/h, Catégorie 2, Environnement 2			Paramètres	Symboles	Valeurs	Unités
	Tracé en plan		Rayon horizontal	RH	440	m
			Paramètre de la clothoïde	A	215	m
			Longueur totale de tracé	$L_T$	950	m
	Profil en long		Rayon vertical	RV	3700	m
			Rampe maximale	$I_{max}$	3,22	%
			Pente minimale	$I_{min}$	0,5	%
	Profil en travers		Largeur de chaussée	$L_c$	7,0	m
			Dévers maximal	$D_{amx}$	7	%
			Portance de sol support	CBR	4	%
	Trafic		Trafic journalier moyen annuel	TJMA	3000	v/j
			Pourcentage poids lourds	%PL	10	%
			Accotements	$L_a$	1,5	m

### 3.2.2 Tronçon B

Ce tronçon est situé du PK 17 + 120 au PK 18 + 720 avec les caractéristiques suivantes :

**Tableau 3.2 :** Quelques caractéristiques du tronçon B.

Vitesse de base : $V_B = 80$ km/h, Catégorie 2, Environnement 2	Tracé en plan	Paramètres	Symboles	Valeurs	Unités
		Rayon horizontal	RH	520	m
		Paramètre de la clothoïde	A	245	m
	Profil en long	Longueur totale de tracé	$L_T$	1600	m
		Rayon vertical	RV	4500	m
		Rampe maximale	$I_{max}$	4	%
	Profil en travers	Pente minimale	$I_{min}$	0,5	%
		Largeur de chaussée	$L_c$	7,0	m
		Dévers maximal	$D_{amx}$	7	%
	Trafic	Portance de sol support	CBR	8	%
		Trafic journalier moyen annuel	TJMA	4200	
		Pourcentage poids lourds	%PL	12	%
		Accotements	$L_a$	1,5	m

### 3.2.3 Tronçon C

Ce tronçon est situé du PK 20 + 500 au PK 21 + 700 avec les caractéristiques suivantes :

**Tableau 3.3 :** Quelques caractéristiques du tronçon C.

Vitesse de base : $V_B = 60$ km/h, Catégorie 3, Environnement 2	Tracé en plan	Paramètres	Symboles	Valeurs	Unités
		Rayon horizontal	RH	120	m
		Paramètre de la clothoïde	A	80	m
	Profil en long	Longueur totale de tracé	$L_T$	1200	m
		Rayon vertical	RV	2780	m
		Rampe maximale	$I_{max}$	3	%
	Profil en travers	Pente minimale	$I_{min}$	1	%
		Largeur de chaussée	$L_c$	7,0	m
		Dévers maximal	$D_{amx}$	7	%
	Trafic	Portance de sol support	CBR	11	%
		Trafic journalier moyen annuel	TJMA	6000	v/j
		Pourcentage poids lourds	%PL	20	%
		Accotements	$L_a$	1,5	m

## 2.3 Méthodes du calcul

Pour le dimensionnement des structures de chaussées étudiées, plusieurs méthodes ont été retenues afin de comparer les approches et d'évaluer leur applicabilité aux cas analysés. Deux méthodes empiriques, à savoir la méthode du CEBTP (Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics) et celle de l'Asphalt Institute, ont été sélectionnées pour leur simplicité et leur utilisation répandue dans de nombreux projets routiers. En complément, deux méthodes semi-empiriques, ou dites rationnelles, ont été adoptées : la méthode CBR modifiée, largement utilisée dans les pays en développement, et la méthode algérienne CTTP, basée sur les recommandations locales du Centre Technique des Travaux Publics. La présentation suivante expose brièvement les principes de chacune de ces méthodes ainsi que leur application aux tronçons considérés.

### 3.3.1 Méthodologie des méthodes empiriques (CEBTP et Asphalt Institute)

#### *a. Données d'entrée :*

Collecte des caractéristiques du trafic et des propriétés mécaniques des matériaux de chaussée et du sol support.

- Calcul de trafic poids lourds à l'année de mise en service.
- La classe de sol support.

#### *b. Équivalences de charge :*

Conversion du trafic en essieux équivalents standardisés (essieu de référence de 130 kN).

- Calcul de nombre équivalent de trafic poids lourds durant la durée de vie prévue.

#### *c. Calcul des épaisseurs :*

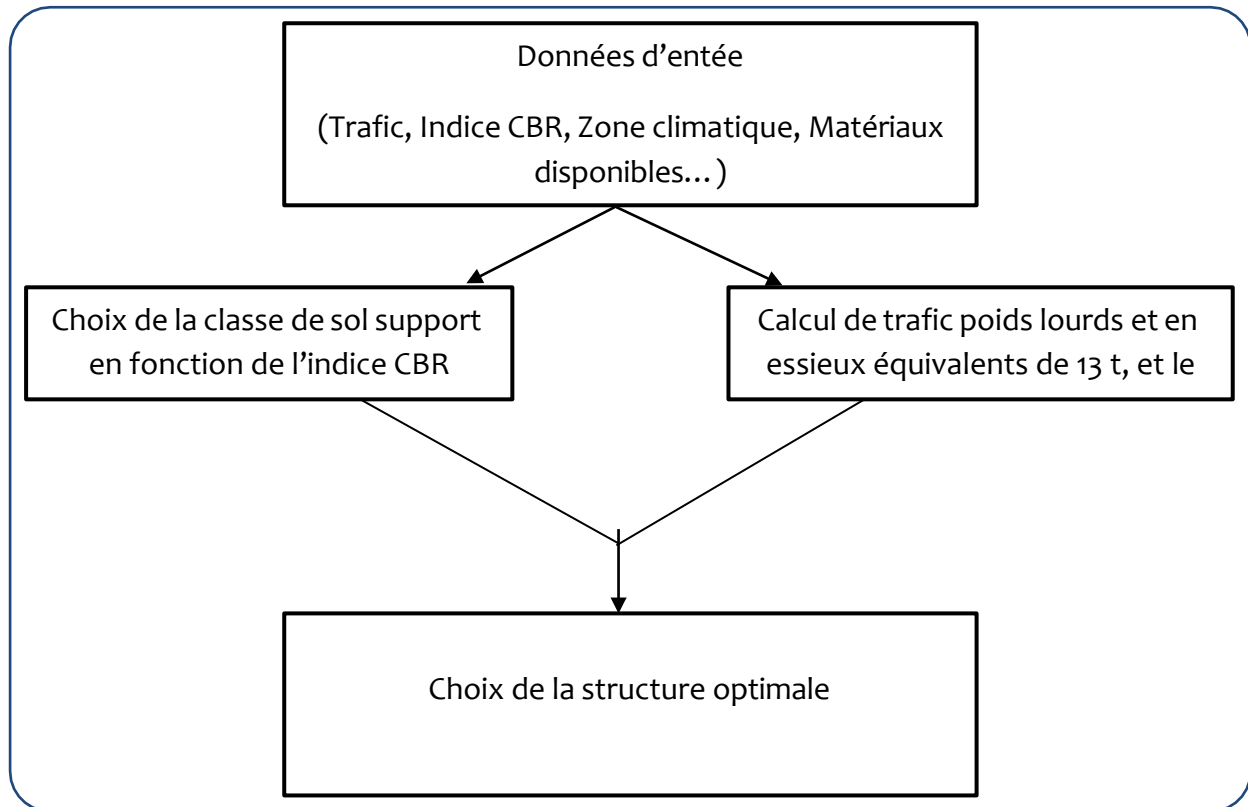
Utilisation de formules empiriques reliant les charges cumulées aux épaisseurs des couches de chaussée.

- Utilisation des données de trafic (TPL ou NPL), et les classes de sol support pour choisir la structure adaptée aux ces données.

#### *d. Vérification et ajustement :*

Validation par comparaison avec des cas de référence et adaptation aux conditions locales.

- Ces étapes sont résumées dans le schéma suivant :



**Figure 3.2 :** Schéma des étapes de calcul (méthode CEBTP).

### 3.3.2 Méthodologie des méthodes semi-empiriques (CBR modifiée et CTTP)

#### *a. Caractéristiques du sol support :*

Évaluation de la portance du sol via l'indice CBR et prise en compte de ses propriétés mécaniques locales.

- Choix de la classe de sol support ( $S_i$ ), Module  $E(\text{MPa}) = 5 \times \text{CBR}$

#### *b. Trafic :*

Analyse détaillée du trafic poids lourds avec calcul à l'année de mise en service et à l'horizon, conversion en essieux équivalents et ajustement selon la sollicitation réelle.

- Calcul et choix de la classe de trafic poids lourds à l'année de mise en service  $\text{TPL}_i$

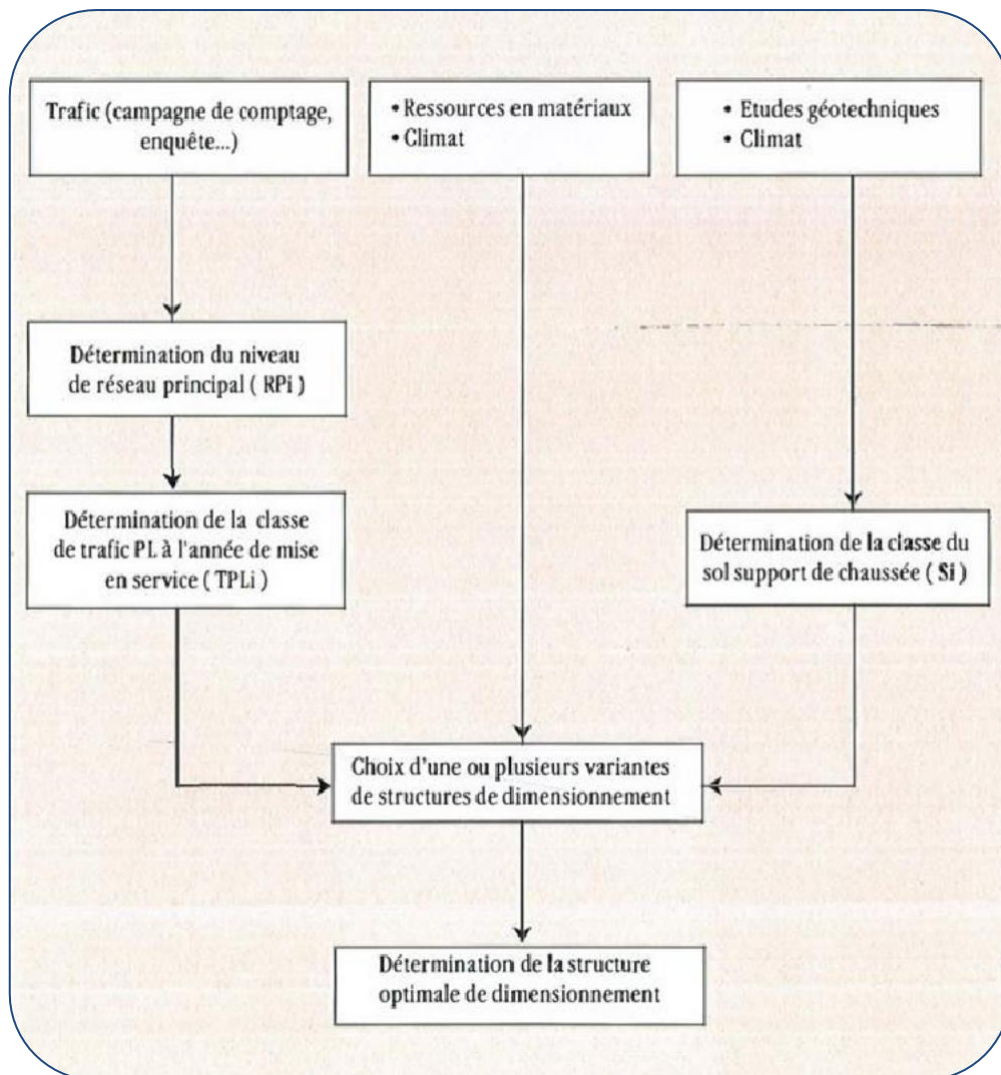
- Calcul de trafic poids lourds durant toute la durée de vie de la route N.

#### *c. Application des formules semi-empiriques :*

Calcul des épaisseurs à partir de données CBR, trafic et modèles théoriques adaptés aux normes algériennes (CTTP).

#### *d. Validation et adaptation locale :*

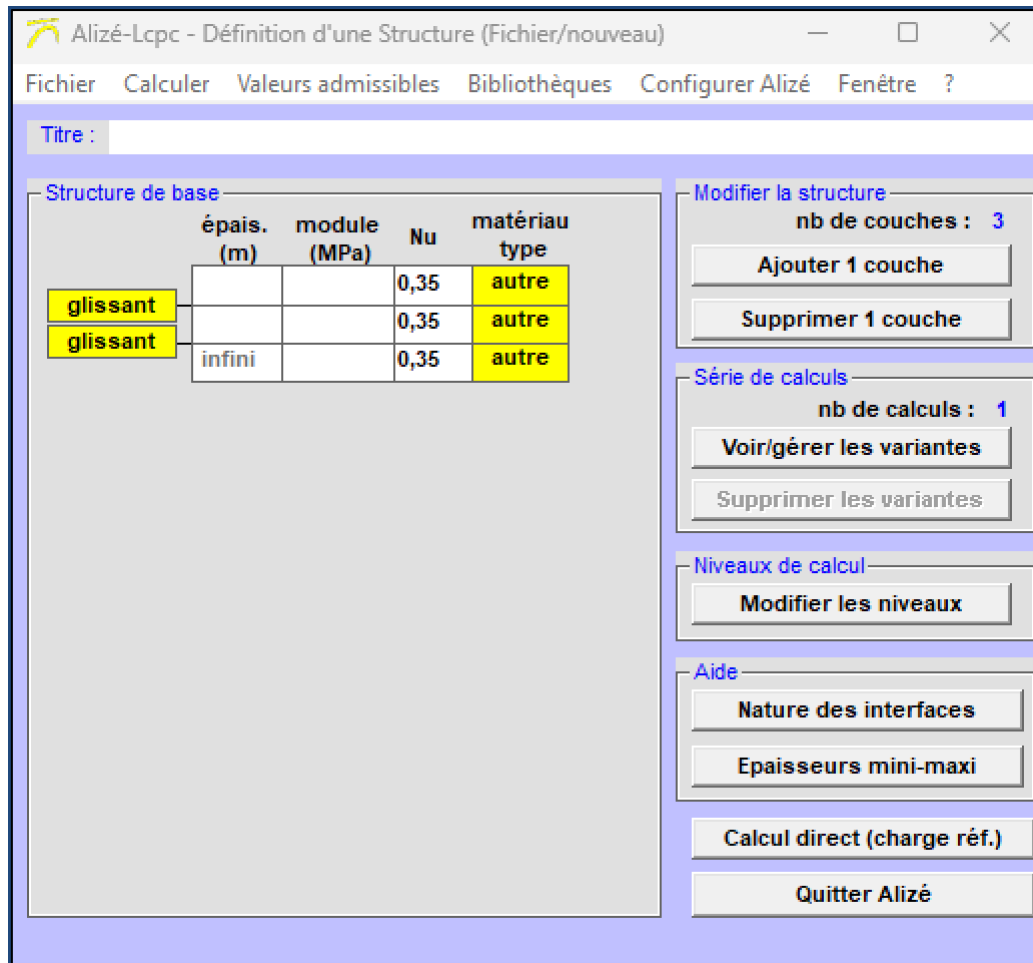
Ajustement des résultats selon les recommandations techniques et les contraintes locales pour garantir durabilité et performance.



**Figure 3.3 :** Démarche de la catalogue CTPP.

### 3.4 Logiciel Alizé 1.3

Le logiciel Alizé 1.3 constitue un outil reconnu et largement utilisé pour le calcul et le dimensionnement des structures de chaussées. Développé par le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) en France, ce logiciel intègre des modèles mécaniques et des méthodes de calcul avancées permettant d'analyser les contraintes, déformations et durabilité des chaussées sous différentes sollicitations. Il permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche, élastique et linéaire fondé sur l'hypothèse de BURIMESTER, les contraintes et les déformations aux différentes interfaces de la structure ayant jusqu'à six couches supposées infinies en plan [2]. La présente section présente les principales fonctionnalités d'Alizé 1.3, son mode de fonctionnement ainsi que les avantages qu'il offre dans le cadre du dimensionnement rationnel des chaussées.



**Figure 3.4** : Interface de logiciel Alizé 1.3.

### 3.4.1 Principe de la modélisation mécanique des structures de chaussée

Dans le cadre du dimensionnement rationnel, la modélisation mécanique des structures de chaussée repose sur une représentation multicouche de type semi-infini. Chaque chaussée est assimilée à un empilement de couches superposées, chacune présentant un comportement élastique, isotrope et linéaire. Cette approche permet d'analyser la réponse mécanique de la chaussée sous l'effet des charges de trafic.

Chaque couche est définie par une épaisseur constante et est supposée s'étendre à l'infini dans le plan horizontal (XOY). La couche inférieure, généralement le sol de fondation ou substratum, est considérée comme s'étendant indéfiniment en profondeur (direction ZZ), ce qui permet de simuler un appui sans contrainte de bord.

Les paramètres essentiels pour caractériser le comportement mécanique de chaque couche sont les suivants :

- L'épaisseur de la couche ( $e_i$ ),
- Le module d'Young ( $E$ ), qui définit la rigidité du matériau,
- Le coefficient de Poisson ( $\nu$ ), traduisant la déformation transversale par rapport à la contrainte longitudinale,
- Les conditions d'interface, c'est-à-dire la nature du contact entre couches collé, glissant, etc.), influençant la transmission des efforts entre les différentes strates.

### 3.4.2 Création et modification des données de structures

La création d'une nouvelle structure de chaussée dans le module Alizé-Mécanique s'effectue via la commande Fichier > Nouveau. Par défaut, le logiciel génère une structure de base composée de trois couches (tri-couche), affichée dans la fenêtre principale.

Selon la nature de l'étude à réaliser, l'utilisateur est amené à adapter cette structure initiale pour qu'elle reflète fidèlement les caractéristiques de la chaussée à modéliser. Cela implique l'ajout, la suppression ou la modification de couches, ainsi que la saisie des paramètres mécaniques propres à chaque matériau utilisé.

**Tableau 3.4 :** Liste des commandes pour la création d'une nouvelle structure.

Action à réaliser	Bouton de commande ou cellule à actionner
Ajouter une couche	Commande <b>Ajouter 1 couche</b>
Supprimer une couche	Commande <b>Supprimer 1 couche</b>
Définir la nature d'une interface	Cellule <b>collé</b> ou <b>1/2collé</b> ou <b>glissante</b> à gauche de l'interface concernée
Définir les paramètres H (épaisseur), E (module d'Young) et Nu (coefficient de Poisson) des différentes couches	Pour chaque matériau : Cellules <b>épais.H</b> , <b>module E</b> et <b>Nu</b>
Utiliser la bibliothèque des matériaux standards	Cellule <b>autre</b> ou <b>matériau xxx</b> de la colonne <b>matériau type</b> , à droite de la couche concernée
Modifier les niveaux de calcul	Commande <b>Modifier les niveaux</b>
Gérer les variantes de calcul	Commande <b>Voir/gérer les variantes</b>
Supprimer toutes les variantes	Commande <b>Supprimer les variantes</b>
Consulter l'aide Interface	Commande <b>Nature des interfaces</b>
Consulter l'aide Epaisseurs technologiques minimales et maximales des couches	Commande <b>Epaisseurs mini-maxi</b>

### **3.5 Conclusion**

Après avoir analysé l'ensemble des caractéristiques générales de la wilaya ainsi que les spécificités du site du projet, il est indispensable de concevoir l'infrastructure en tenant compte des données géotechniques disponibles. Cette approche permet d'anticiper et d'éviter les problèmes techniques susceptibles d'apparaître lors de l'exécution des travaux.

Dans ce contexte, le logiciel Alizé constitue un outil incontournable pour les ingénieurs routiers. Il offre une méthode d'analyse mécaniste avancée pour la conception et l'optimisation des structures de chaussée. Grâce à ses fonctionnalités, Alizé permet d'élaborer des solutions durables, fiables et parfaitement adaptées aux conditions particulières de chaque projet, contribuant ainsi à améliorer la qualité, la sécurité et la pérennité des infrastructures routières.

*Chapitre 4*

*Résultats et discussions*

## 4.1 Introduction

Ce chapitre est consacré au calcul des structures de chaussées en appliquant les méthodes de dimensionnement précédemment sélectionnées, à savoir les méthodes empiriques et semi-empiriques. Nous allons présenter les résultats obtenus pour chaque tronçon routier étudié, en termes d'épaisseurs et de caractéristiques des différentes couches constitutives de la chaussée. Ces résultats seront ensuite analysés et commentés de manière comparative afin d'évaluer les différences, les avantages et les limites de chaque méthode dans le contexte des cas étudiés.

## 4.2 Structures pour (Tronçon A)

Le tableau 4.1 présente les paramètres d'entrée pour le calcul de structure pour le tronçon A :

**Tableau 4.1** : Paramètres d'entrée pour le tronçon A

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Trafic journalier moyen annuel	TJMA	3000	v/j
Taux de croissance annuel	$\tau$	3,5	%
Indice portant	CBR	4	%
Pourcentage poids lourds	%PL	10	%
Durée de vie	n	20	année

### 4.2.1 Méthode CEBTP

a) Calcul de nombre cumulé du trafic poids lourds :

$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Réparation transversale} = 3000 \times 0,1 \times 1 = 300 \text{ PL/j/sens}$$

$$NPL = 365 \times n \times TPL \times A \times \left( \frac{2 + (n-1) \times \tau}{2} \right) = 365 \times 20 \times 300 \times 1 \times \left( \frac{2 + (20-1) \times 0,035}{2} \right) = 2,9182 \times 10^6$$

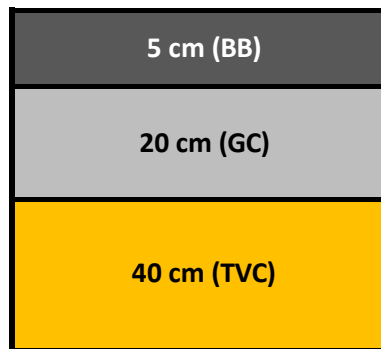
$$NPL = 2,91 \times 10^6 \text{ Essieux équivalent de } 13 \text{ t} \rightarrow \text{classe du trafic } T_3$$

$$CBR = 4 \rightarrow \text{classe du sol support } S_1$$

b) Choix de structure en fonction de  $T_i$  et  $S_i$  :

Depuis le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) on trouve la configuration suivante (figure 4.1) :

BB : Béton bitumineux, GC : Grave concassée, TVO : Tout-venant de concassage.



**Figure 4.1** : Structure de chaussée par la méthode CEBTP (Tronçon A).

#### 4.2.2 Méthode CBR

a) Calcul du trafic poids lourds à l'année de mise en service :

$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Répartition transversale} = 3000 \times 0,1 \times 0,5 = 150 \text{ PL/j/sens}$$

b) Calcul de nombre poids lourds pendant toute la durée de vie :

$$N = TPL \times (1 + \tau)^n = 150 \times (1 + 0,035)^{20} = 298 \text{ PL/j/sens}$$

c) Calcul de l'épaisseur équivalente  $E_{eq}$  :

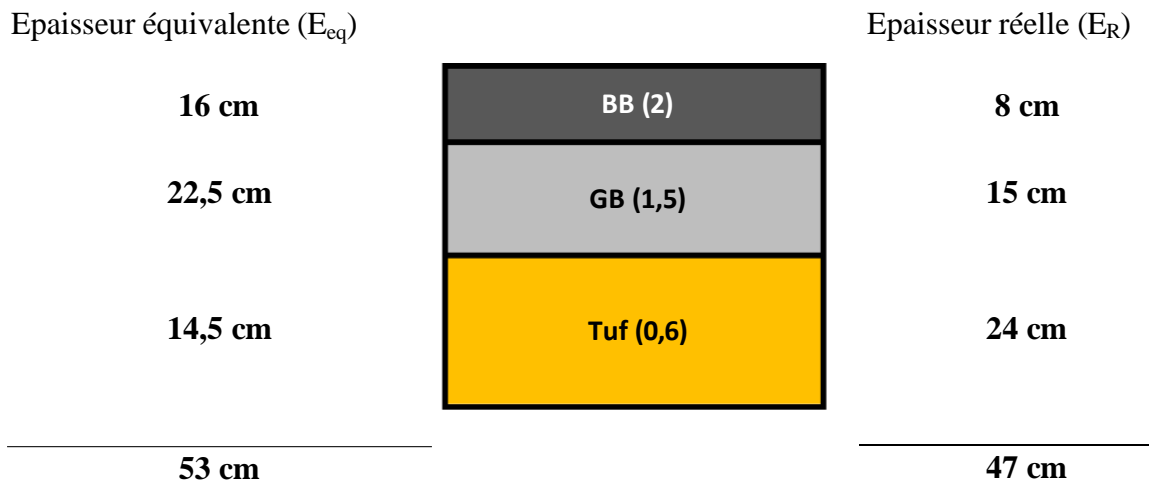
$$e(cm) = \frac{100 + \left(75 + 50 \log \frac{N}{10}\right) \times \sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} = \frac{100 + \left(75 + 50 \log \frac{298}{10}\right) \times \sqrt{6,5}}{4 + 5} = 53,32 \approx 53 \text{ cm.}$$

d) Calcul de l'épaisseur réelle en fonction des matériaux utilisés :

$$e(cm) = \sum e_i \times CE_i = e_1 \times CE_1 + e_2 \times CE_2 + e_3 \times CE_3 = 8 \times 2 + 15 \times 1,5 + 24 \times 0,6$$

e) La figure 4.2 présente la structure finale :

BB : Béton bitumineux, GC : Grave concassée, Tuf : Encroutement calcaires.



**Figure 4.2 :** Structure de chaussée par la méthode CBR (Tronçon A).

### 4.2.3 Méthode CTTP

a) Le réseau principal (R<sub>Pi</sub>) : 3000 v/j > 1500 v/j → réseau principal RP1

b) Trafic poids lourds à l'année de mise en service (TPL<sub>i</sub>) :

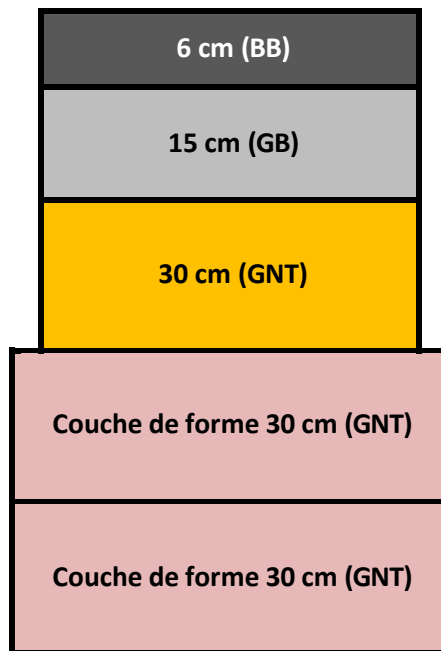
$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Répartition transversale} = 3000 \times 0,1 \times 0,5 = 150 \text{ PL/j/sens} \rightarrow TPL3$$

c) Classe du sol support (S<sub>i</sub>) : CBR = 11,  $E = 5 \times CBR = 5 \times 4 = 20 \text{ MPa} \rightarrow S4$

\* on ne trouve pas une structure avec ces données car le module  $E = 20$  pour classe S4 ne trouve pas dans les structures de réseau RP1, donc le sol support nécessite une amélioration de portance, selon le catalogue CTTP, pour passer de S4 à S2, il faut ajouter une couche de forme de 60 cm (en deux couches) en matériaux non traités (GNT ou tuf...).

\* La structure adoptée est présentée dans la figure 4.3.

\* BB : Béton bitumineux, GB : Grave bitume, GNT : Grave non traité.



**Figure 4.3 :** Structure de chaussée par la méthode CTT (Tronçon A).

### 4.3 Structures pour (Tronçon B)

Le tableau 4.2 présente les paramètres d'entrée pour le calcul de structure pour le tronçon A :

**Tableau 4.2 :** Paramètres d'entrée pour le tronçon B

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Trafic journalier moyen annuel	TJMA	4200	v/j
Taux de croissance annuel	$\tau$	4	%
Indice portant	CBR	8	%
Pourcentage poids lourds	%PL	12	%
Durée de vie	n	20	année

### 4.3.1 Méthode CEBTP

a) Calcul de nombre cumulé du trafic poids lourds :

$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Réparation transversale} = 4200 \times 0,12 \times 1 = 504 \text{ PL/j/sens}$$

$$NPL = 365 \times n \times TPL \times A \times \left( \frac{2 + (n-1) \times \tau}{2} \right) = 365 \times 20 \times 504 \times 1 \times \left( \frac{2 + (20-1) \times 0,04}{2} \right) = 5,0773 \times 10^6$$

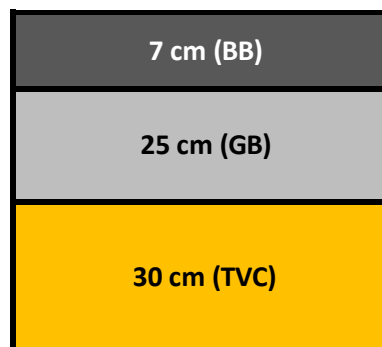
$NPL = 5 \times 10^6$  Essieux équivalent de 13 t  $\rightarrow$  classe du trafic  $T_4$

CBR = 8  $\rightarrow$  classe du sol support  $S_2$

b) Choix de structure en fonction de  $T_i$  et  $S_i$  :

Depuis le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) on trouve la configuration suivante (figure 4.4) :

BB : Béton bitumineux, GB : Grave bitume, TVC : Tout-venant de concassage.



**Figure 4.4** : Structure de chaussée par la méthode CEBTP (Tronçon B).

### 4.3.2 Méthode CBR

a) Calcul du trafic poids lourds à l'année de mise en service :

$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Répartition transversale} = 0044 \times 0,10 \times 0,5 = 050 \text{ PL/j/sens}$$

b) Calcul de nombre poids lourds pendant toute la durée de vie :

$$N = TPL \times (1 + \tau)^n = 050 \times (1 + 0,00)^{20} = 550 \text{ PL/j/sens}$$

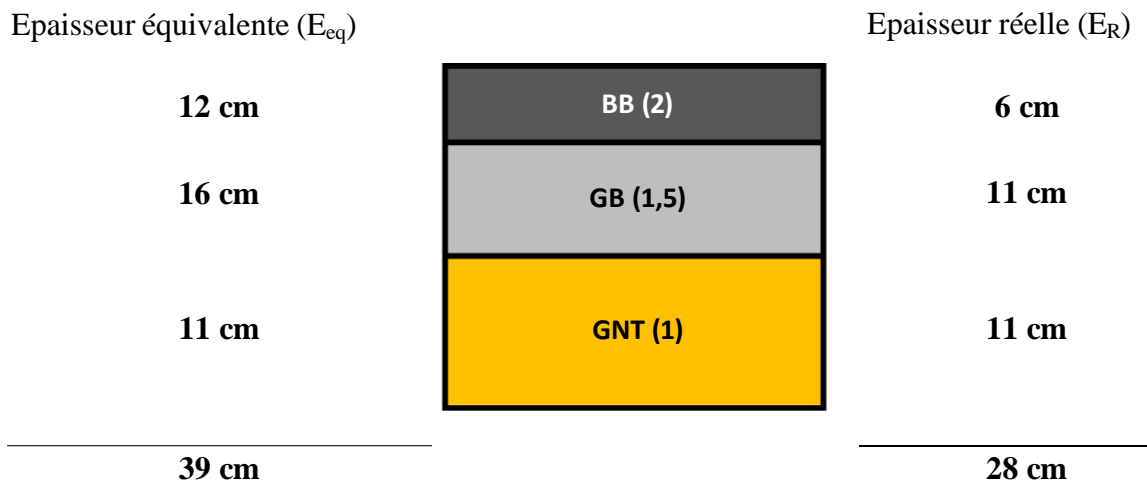
c) Calcul de l'épaisseur équivalente  $E_{eq}$  :

$$e(cm) = \frac{100 + \left(75 + 50 \log \frac{N}{10}\right) \times \sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} = \frac{100 + \left(75 + 50 \log \frac{552}{10}\right) \times \sqrt{6,5}}{8 + 5} = 39,48 \approx 39 \text{ cm}$$

d) Calcul de l'épaisseur réelle en fonction des matériaux utilisés :

$$e(cm) = \sum e_i \times CE_i = e_1 \times CE_1 + e_2 \times CE_2 + e_3 \times CE_3 = 6 \times 2 + 11 \times 1,5 + 11 \times 1$$

e) La figure 4.5 présente la structure finale :



**Figure 4.5 :** Structure de chaussée par la méthode CBR (Tronçon B).

### 4.3.3 Méthode CTTP

a) Le réseau principal (RPi) :  $4200 \text{ v/j} > 1500 \text{ v/j} \rightarrow$  réseau principal RP1.

b) Trafic poids lourds à l'année de mise en service (TPLi) :

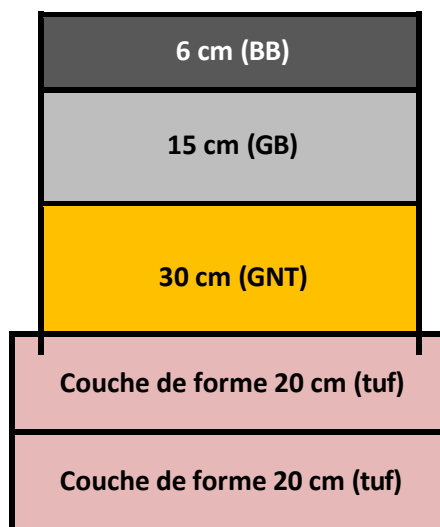
$$\text{TPL} = \text{TJMA} \times \% \text{PL} \times \text{Répartition transversale} = 4200 \times 0,12 \times 0,5 = 252 \text{ PL/j/sens} \rightarrow \text{TPL3}$$

c) Classe du sol support (Si) :  $\text{CBR} = 8$ ,  $E = 5 \times \text{CBR} = 5 \times 8 = 40 \text{ MPa} \rightarrow \text{S3}$

D'après ces données trouvées on choisit la structure depuis le catalogue CTTP, Fascicule 3 :

\* On ne trouve pas une structure avec ces données car le module  $E = 40 \text{ MPa}$  pour classe S3 ne trouve pas dans les structures de réseau RP1, donc le sol support nécessite une amélioration de portance, selon le catalogue CTTP, pour passer de S3 à S2, il faut ajouter une couche de forme de 40 cm (en deux couches) en matériaux non traités (GNT ou tuf...).

Donc on a : TPL3 et S2, on trouve dans le fascicule 3 la structure suivante (figure 4.6) :



**Figure 4.6 :** Structure de chaussée par la méthode CTTP (Tronçon B).

### 3.4 Structures pour (Tronçon C)

Le tableau 4.3 présente les paramètres d'entrée pour le calcul de structure pour le tronçon C :

**Tableau 4.3 :** Paramètres d'entrée pour le tronçon C

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Trafic journalier moyen annuel	TJMA	6000	v/j
Taux de croissance annuel	$\tau$	4,5	%
Indice portant	CBR	4	%
Pourcentage poids lourds	%PL	20	%
Durée de vie	n	20	année

#### 4.4.1 Méthode CEBTP

a) Calcul de nombre cumulé du trafic poids lourds :

$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Réparation transversale} = 6000 \times 0,2 \times 1 = 1200 \text{ PL/j/sens}$$

$$NPL = 365 \times n \times TPL \times A \times \left( \frac{2 + (n-1) \times \tau}{2} \right) = 365 \times 20 \times 1200 \times 1 \times \left( \frac{2 + (20-1) \times 0,045}{2} \right) = 1,2505 \times 10^7$$

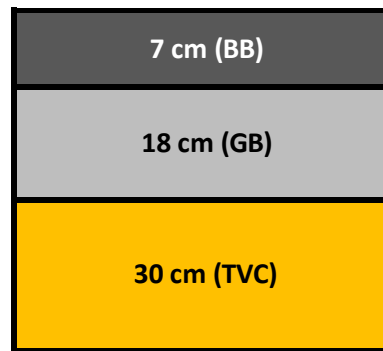
$$NPL = 5 \times 10^6 \text{ Essieux équivalent de } 13 \text{ t} \rightarrow \text{classe du trafic } T_5$$

$$CBR = 11 \rightarrow \text{classe du sol support } S_2$$

b) Choix de structure en fonction de  $T_i$  et  $S_i$  :

Depuis le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) on trouve la configuration suivante (figure 4.7) :

BB : Béton bitumineux, GB : Grave bitume, TVC : Tout-venant de concassage.



**Figure 4.7 :** Structure de chaussée par la méthode CEBTP (Tronçon C).

#### 4.4.2 Méthode CBR

a) Calcul du trafic poids lourds à l'année de mise en service :

$$\text{TPL} = \text{TJMA} \times \% \text{PL} \times \text{Répartition transversale} = 6000 \times 0,2 \times 0,5 = 600 \text{ PL/j/sens}$$

b) Calcul de nombre poids lourds pendant toute la durée de vie :

$$N = \text{TPL} \times (1 + \tau)^n = 600 \times (1 + 0,045)^{20} = 1447,0284 \approx 1447 \text{ PL/j/sens}$$

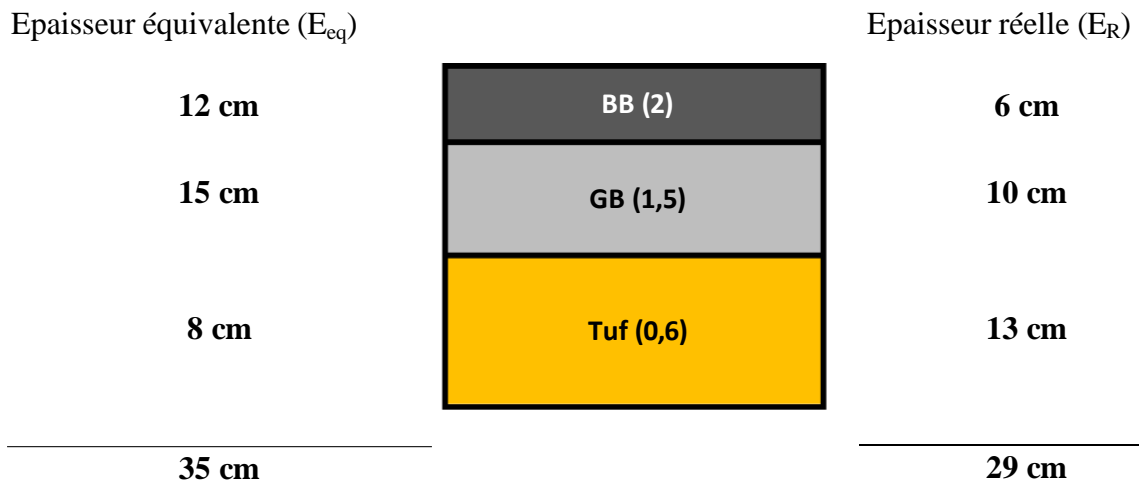
Calcul de l'épaisseur équivalente  $E_{\text{eq}}$  :

$$e(\text{cm}) = \frac{100 + \left(75 + 50 \log \frac{N}{10}\right) \times \sqrt{P}}{I_{\text{CBR}} + 5} = \frac{100 + \left(75 + 50 \log \frac{1447}{10}\right) \times \sqrt{6,5}}{11 + 5} = 35,41 \approx 35 \text{ cm}$$

c) Calcul de l'épaisseur réelle en fonction des matériaux utilisés :

$$e(\text{cm}) = \sum e_i \times CE_i = e_1 \times CE_1 + e_2 \times CE_2 + e_2 \times CE_2 = 6 \times 2 + 10 \times 1,5 + 13 \times 0,6$$

d) La figure 4.8 présente la structure finale :



**Figure 4.8 :** Structure de chaussée par la méthode CBR (Tronçon C).

#### 4.4.3 Méthode CTTP

a) Le réseau principal (R<sub>Pi</sub>) : 6000 v/j > 1500 v/j → réseau principal RP1

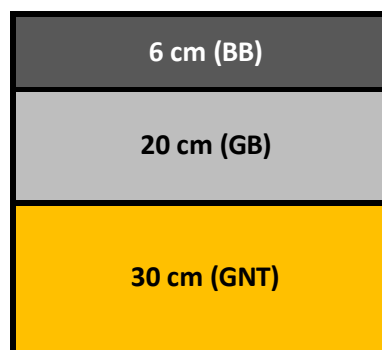
b) Trafic poids lourds à l'année de mise en service (T<sub>PLi</sub>) :

$$TPL = TJMA \times \%PL \times \text{Répartition transversale} = 6000 \times 0,2 \times 0,5 = 600 \text{ PL/j/sens} \rightarrow TPL5$$

c) Classe du sol support (S<sub>i</sub>) : CBR = 11,  $E = 5 \times CBR = 5 \times 11 = 55 \text{ MPa} \rightarrow S2$

D'après ces données trouvées on choisit la structure depuis le catalogue CTTP, Fascicule 3 :

6 cm (BB) + 20 cm (GB) + 30 GNT comme présente la figure :

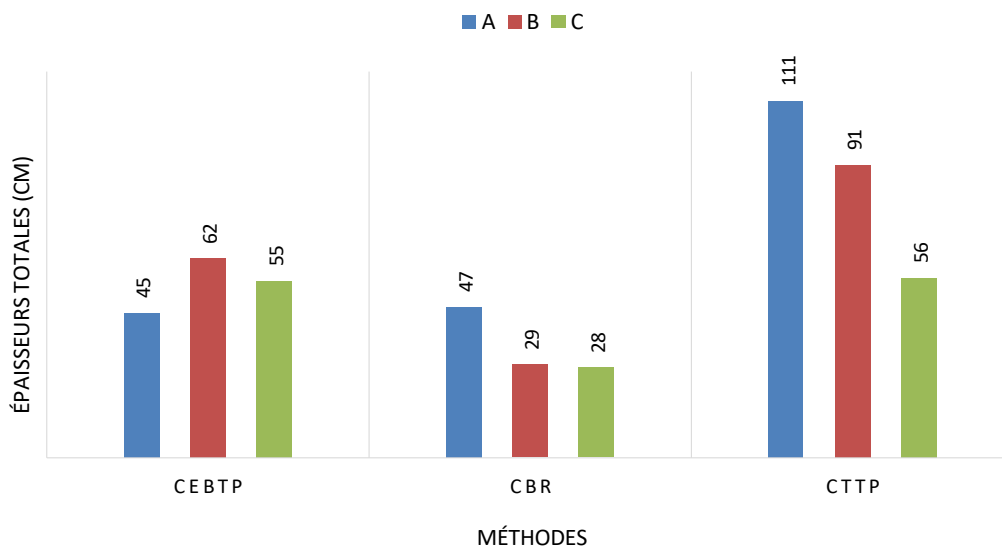


**Figure 4.9 :** Structure de chaussée par la méthode CTTP (Tronçon C).

## 4.5 Commentaires des résultats trouvés

### 4.5.1 Comparaison des épaisseurs totales en fonction des méthodes

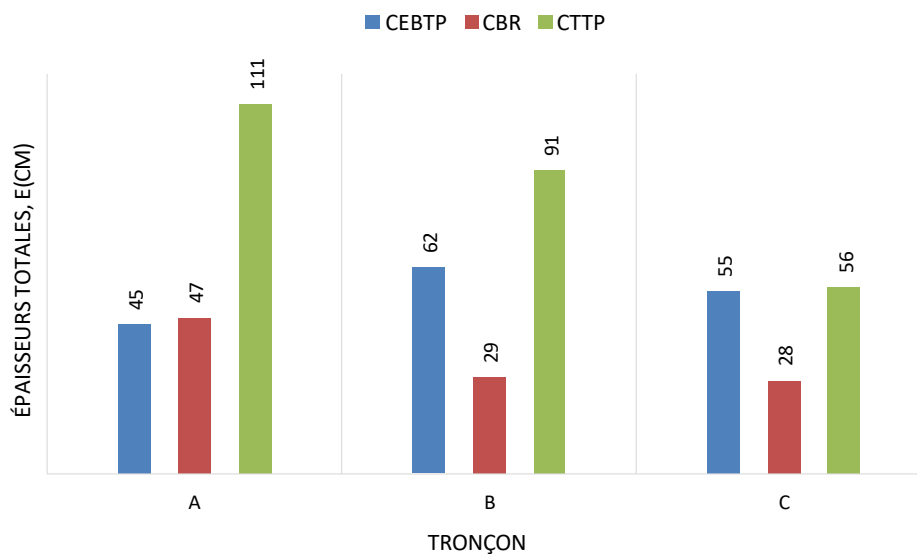
La figure 4.10 présente une comparaison des épaisseurs totales de chaussée obtenues par les méthodes de dimensionnement CEBTP, CBR et CTTP pour trois tronçons (A, B et C). Cette figure met en évidence les différences d'épaisseur selon la méthode de calcul pour chaque tronçon. On observe que la méthode CTTP génère systématiquement les plus grandes épaisseurs (111 cm pour A, 91 cm pour B et 56 cm pour C), indiquant une approche plus conservatrice ou des hypothèses de charge/sol plus sévères. À l'inverse, la méthode CBR propose les épaisseurs les plus faibles, notamment pour le tronçon C (28 cm), ce qui suggère une moindre prise en compte des sollicitations mécaniques ou des performances structurelles à long terme. La méthode CEBTP se situe généralement entre les deux, avec des valeurs modérées (45 à 62 cm), traduisant un équilibre entre sécurité structurelle et optimisation des matériaux. Ainsi, cette figure met en évidence l'influence importante du choix méthodologique sur le dimensionnement final, soulignant la nécessité d'opter pour une approche adaptée aux conditions locales et au niveau de service attendu.



**Figure 4.10 :** Epaisseurs totales en fonction des méthodes de dimensionnement pour les trois tronçons A, B et C.

#### 4.5.2 Comparaison des épaisseurs totales en fonction des tronçons

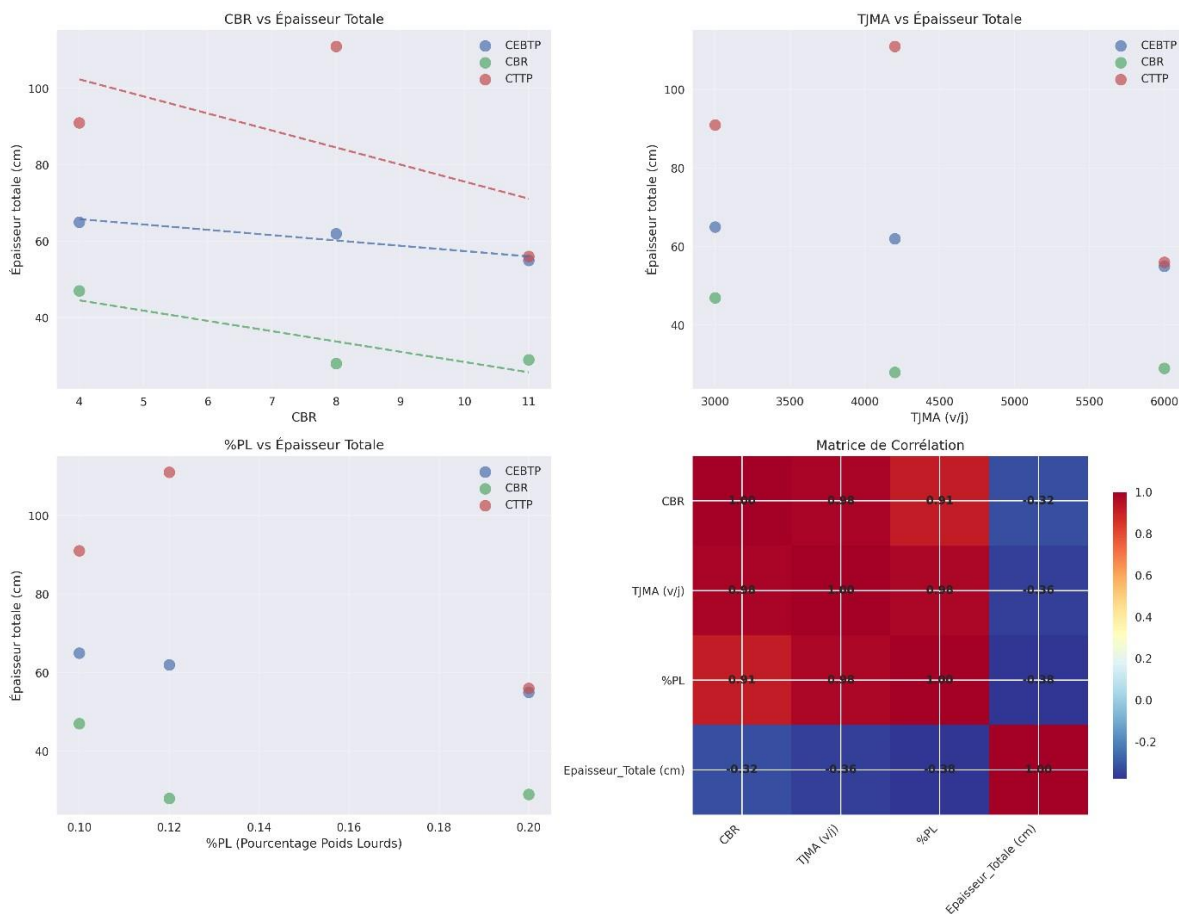
La figure 4.11 présente l'évolution des épaisseurs totales de chaussée pour les tronçons A, B et C, en fonction de trois méthodes de dimensionnement : CEBTP, CBR et CTTP. On remarque que le tronçon A présente la plus grande disparité entre les méthodes, avec un écart significatif entre CBR (47 cm) et CTTP (111 cm), probablement dû à une faible portance des sols ou une charge de trafic plus élevée. Pour le tronçon B, l'écart reste notable, mais les valeurs sont légèrement plus resserrées, ce qui pourrait refléter des conditions plus homogènes. Enfin, le tronçon C montre des résultats globalement plus proches (entre 28 et 56 cm), suggérant soit une meilleure qualité du sol, soit une sollicitation plus modérée. Ces résultats illustrent bien l'importance du choix méthodologique dans le dimensionnement des chaussées, soulignant que certaines méthodes peuvent entraîner des surdimensionnements ou au contraire des insuffisances si les hypothèses initiales ne sont pas bien adaptées au contexte local. Cette répartition met en lumière l'influence significative du choix méthodologique sur les résultats obtenus, et l'importance d'adapter la méthode aux spécificités techniques du projet routier considéré.



**Figure 4.11 :** épaisseurs totales en fonction des tronçons A, B et C pour les différentes méthodes de dimensionnement.

### 4.5.4 Influence des paramètres d'entrée

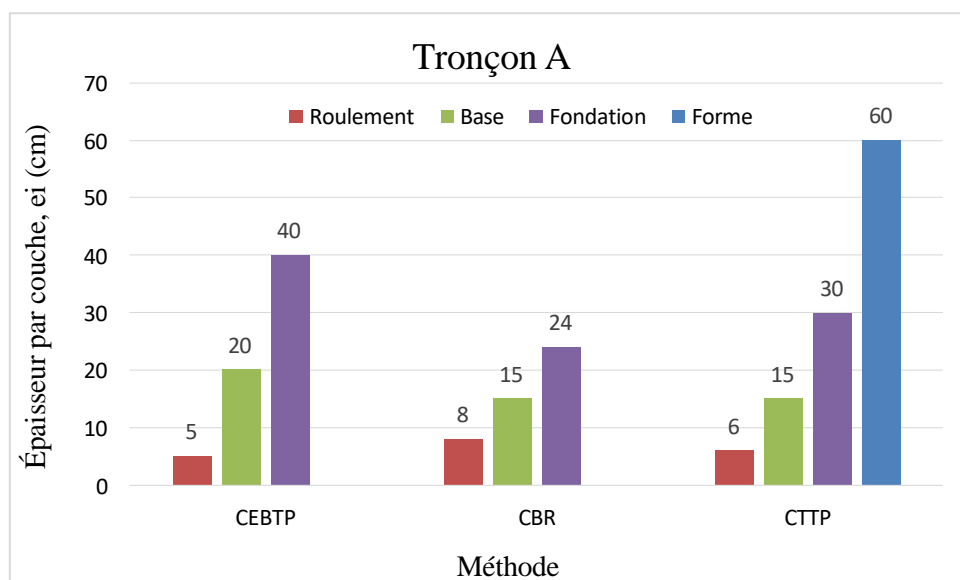
La figure 4.12 présente une analyse comparative de l'influence des paramètres d'entrée (CBR, trafic moyen journalier annuel – TJMA, et pourcentage de poids lourds – %PL) sur l'épaisseur totale des structures de chaussée pour trois méthodes de dimensionnement : CBR, CEBTP et CTTP. Il en ressort que le CBR du sol support a l'impact le plus significatif sur l'épaisseur totale, comme le montre la forte corrélation négative dans la matrice de corrélation (-0,91), particulièrement marquée pour la méthode CTTP qui génère des épaisseurs sensiblement plus importantes pour de faibles valeurs de CBR. À l'inverse, la méthode CBR montre une meilleure adaptation avec des épaisseurs réduites pour des CBR élevés, traduisant une optimisation plus rationnelle. Les variations de TJMA et de %PL a une influence moindre sur les épaisseurs, avec des corrélations beaucoup plus faibles (respectivement -0,16 et -0,06). Visuellement, les nuages de points confirment cette tendance : les courbes de tendance pour les méthodes CEBTP et CBR sont plus plates, tandis que celle du CTTP est plus pentue, accentuant son caractère surdimensionné pour les sols de mauvaise qualité. Ces résultats confirment la supériorité économique et technique de la méthode CBR dans un contexte de rationalisation des projets routiers.

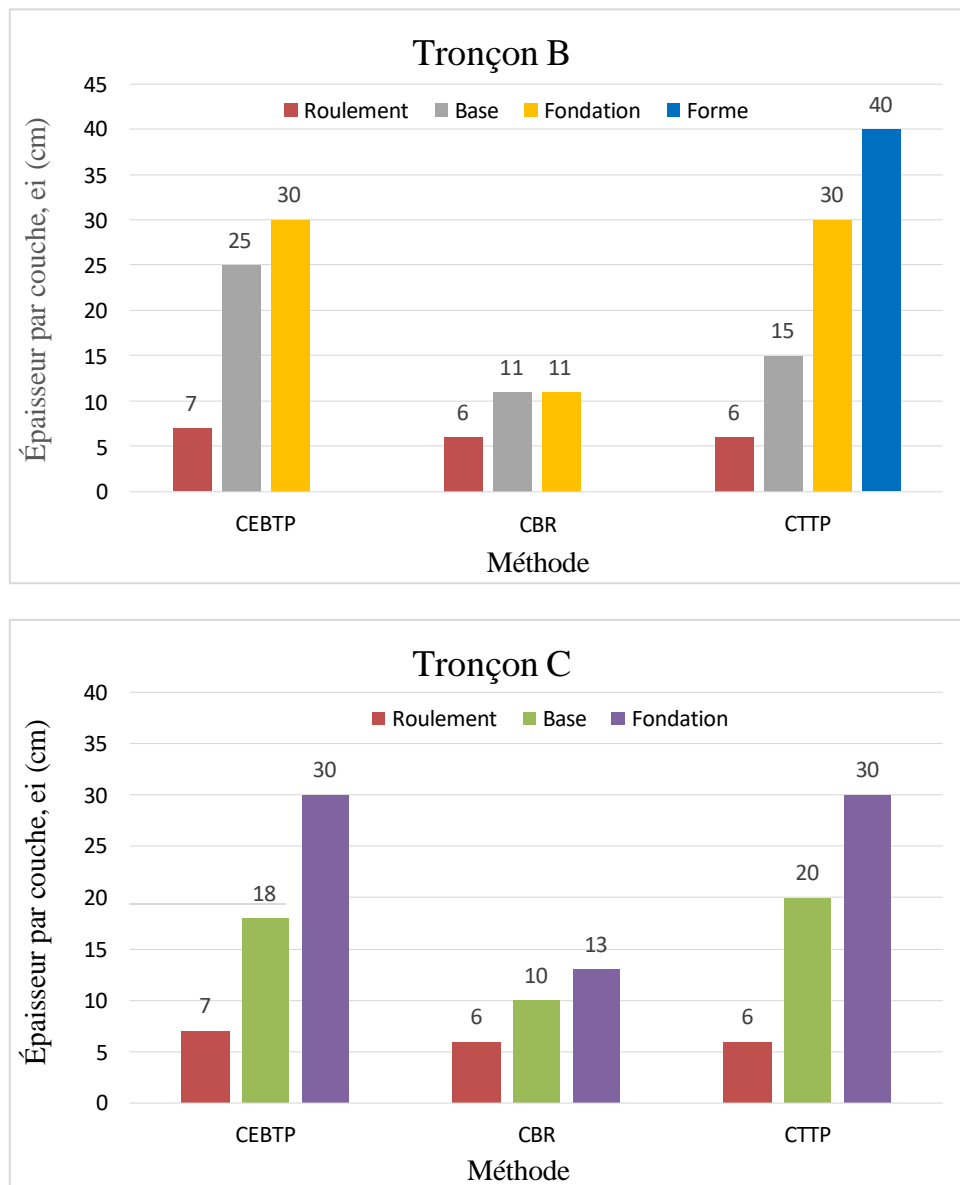


**Figure 4.12 :** Influence des paramètres d'entrée : (a) indice CBR, (b) TJMA, Trafic PL, (c) Corrélation.

#### 4.5.5 Épaisseurs par couche en fonction des méthodes

La figure 4.13 illustre l'influence des méthodes de dimensionnement (CEBTP, CBR, CTTP) sur la structure des chaussées de trois tronçons routiers distincts, révélant des variations significatives dans la répartition des épaisseurs par couche. Le tronçon A présente les structures les plus massives avec la méthode CEBTP générant une couche de fondation de 40 cm, témoignant de conditions géotechniques défavorables ou d'un trafic lourd anticipés, tandis que les méthodes CBR et CTTP convergent vers des solutions plus économiques (23-30 cm). Le tronçon B se distingue par une approche plus équilibrée entre les couches avec CEBTP, suggérant des conditions de sol intermédiaires, alors que le tronçon C montre une convergence remarquable entre CEBTP et CTTP pour la fondation ( $\approx 30$  cm). Ces disparités méthodologiques s'expliquent par les philosophies de dimensionnement distinctes : CEBTP privilégiant la robustesse structurelle par des approches empiriques, CBR optimisant selon la portance du sol, et CTTP appliquant une démarche rationnelle de répartition des contraintes, confirmant l'importance du choix méthodologique dans l'optimisation technico-économique des structures de chaussées selon les spécificités locales du projet.



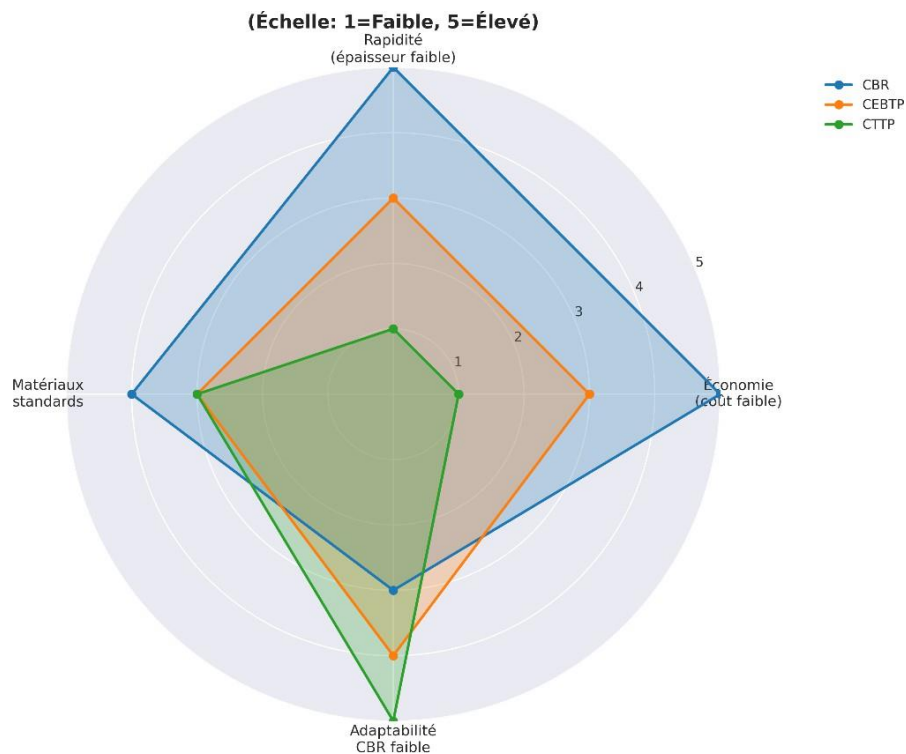


**Figure 4.13 :** Épaisseurs par couche en fonction des méthodes de dimensionnement pour les tronçons A, B et C.

#### 4.5.6 Comparaison multicritères

La figure 4.14 présente une analyse multicritère des méthodes de dimensionnement. Cette analyse radar comparative révèle les profils de performance distincts des trois méthodes de dimensionnement selon cinq critères d'évaluation. La méthode CBR se distingue par sa rapidité d'exécution (score maximal) et son économie substantielle (coût faible, score 4/5), confirmant son attractivité pour des projets nécessitant une mise en œuvre rapide et économique, bien qu'elle présente une adaptabilité limitée aux sols de faible CBR et utilise des matériaux moins standardisés. La méthode CEBTP occupe une position intermédiaire avec un équilibre technico-économique acceptable (scores moyens de 2-3/5 sur la plupart des

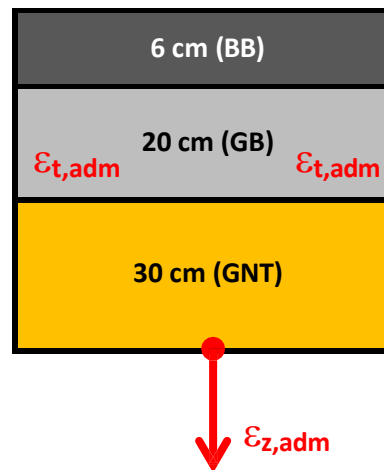
critères), offrant une approche pragmatique sans excellence particulière mais sans défaut majeur. En revanche, la méthode CTTP se caractérise par sa faible rapidité d'exécution et son coût élevé, compensés par une excellente adaptabilité aux conditions géotechniques variables et l'utilisation de matériaux hautement standardisés, la positionnant comme la solution de référence pour des projets complexes où la précision du dimensionnement prime sur les considérations économiques et temporelles, illustrant ainsi le compromis classique entre performance technique et efficacité opérationnelle dans le choix des méthodes de dimensionnement routier.



**Figure 4.14 :** Comparaison multicritères des méthodes de dimensionnement.

#### 4.6 Vérification par logiciel Alizé 1.3

Dans cette section, les structures de chaussée dimensionnées selon la méthode algérienne CTTP pour chacun des tronçons A, B et C ont été vérifiées à l'aide du logiciel Alizé. Cette vérification permet d'évaluer la conformité des structures proposées aux exigences de performance mécanique, en simulant leur comportement sous l'effet du trafic. Les résultats obtenus servent à valider ou à ajuster les choix de dimensionnement initialement retenus. On a choisi la structure de tronçon C comme exemple.



**Figure 4.15 :** Les déformations dans la structure type GB/GNT.

\* Les paramètres d'entrée sont les suivants :

- $TPLi = 600 \text{ PL/j/sens}$
- Durée de vie :  $n = 20\text{ans}$ .
- Taux d'accroissement :  $\tau = 4,5 \%$ .
- Coefficient d'agressivité :  $A = 0,6$ .
- Risque de calcul :  $r = 10 \%$ .
- Zone climatique : Zone climatique I, II ; température équivalente  $\theta_{eq} = 20^\circ\text{C}$ .
- Sol support : de classe S2,  $CBR = 11$ ,  $E = 5 \times CBR = 55 \text{ MPA}$ ,  $\nu = 0,35$ .
- Conditions aux interfaces : Toutes les interfaces sont collées.

a) Calcul du trafic cumulé de PL (TCi) :

$$TCEi = TPLi \times \left( \frac{(1+\tau)^n - 1}{\tau} \right) \times 365 = 6,8703 \times 10^6 \text{ PL/j/sens.} \quad (4.1)$$

b) Calcul du trafic cumulé équivalent (TCEi) :

Le calcul de TCEi qui fait intervenir l'agressivité (A) des PL, est donnée par la formule suivant :

$$TCEi = TPLi \times \left( \frac{(1+\tau)^n - 1}{\tau} \right) \times 365 \times A = 4,1222 \times 10^6 \text{ essieux equivalents de 13 t.} \quad (4.2)$$

c) Calcul des déformations admissibles sur le sol support ( $\varepsilon_{z,\alpha dm}$ ) :

$$\varepsilon_{z,\alpha d} = 22 \cdot 10^{-3} \times (TCEi)^{-0,235} = 613,5746 \times 10^{-6} \quad (4.3)$$

d) Calcul de la déformation admissible de traction  $\varepsilon_{t,adm}$  à la base des GB :

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \cdot K_{ne} \cdot K_\theta \cdot K_r \cdot K_c \quad (4.4)$$

Avec :

$$K_{ne} = \left(\frac{TCE_i}{10^6}\right)^b, \quad k_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}}, \quad k_r = 10^{-tb\delta} \quad (4.5)$$

$$K_{ne} = \left(\frac{TCE_i}{10^6}\right)^b = \left(\frac{4,1222 \times 10^6}{10^6}\right)^{-0,146} = 0,8132 \quad (4.6)$$

$$k_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C}, 10\text{Hz})}{E(20^\circ, 10\text{Hz})}} = \sqrt{\frac{12500}{7000}} = 1,3363 \quad (4.7)$$

$k_r = 10^{-tb\delta}$  où  $t = -1,282$  (tab. 16, fas. 2) et  $b = -1/6,84 = -0,146$  (tab. 13, fas. 2)

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} S_h\right)^2} = \sqrt{0,45^2 + \left(\frac{0,02 \times 3}{-0,145}\right)^2} = 0,6094 \quad (4.8)$$

$$k_r = 0,7690$$

$$k_c = 1,3 \text{ (tab. 13, fas. 2)}$$

$$\varepsilon_{t,ad} = 100 \times 10^{-6} \times 0,8132 \times 1,3363 \times 0,7690 \times 1,3 = 108,6353 \times 10^{-6} \quad (4.9)$$

e) Résultats obtenus avec le logiciel Alizé 1.3 pour la structure de type GB/GNT :

Les calculs effectués à l'aide du logiciel Alizé 1.3 ont permis de déterminer la déformation verticale dans le sol support ( $\varepsilon_z$ ) ainsi que la déformation de traction à la base des graves bitume ( $\varepsilon_t$ ) au niveau des interfaces. Les résultats issus de la simulation (figure 4.16) sont synthétisés dans le tableau 4.1 ci-dessous :

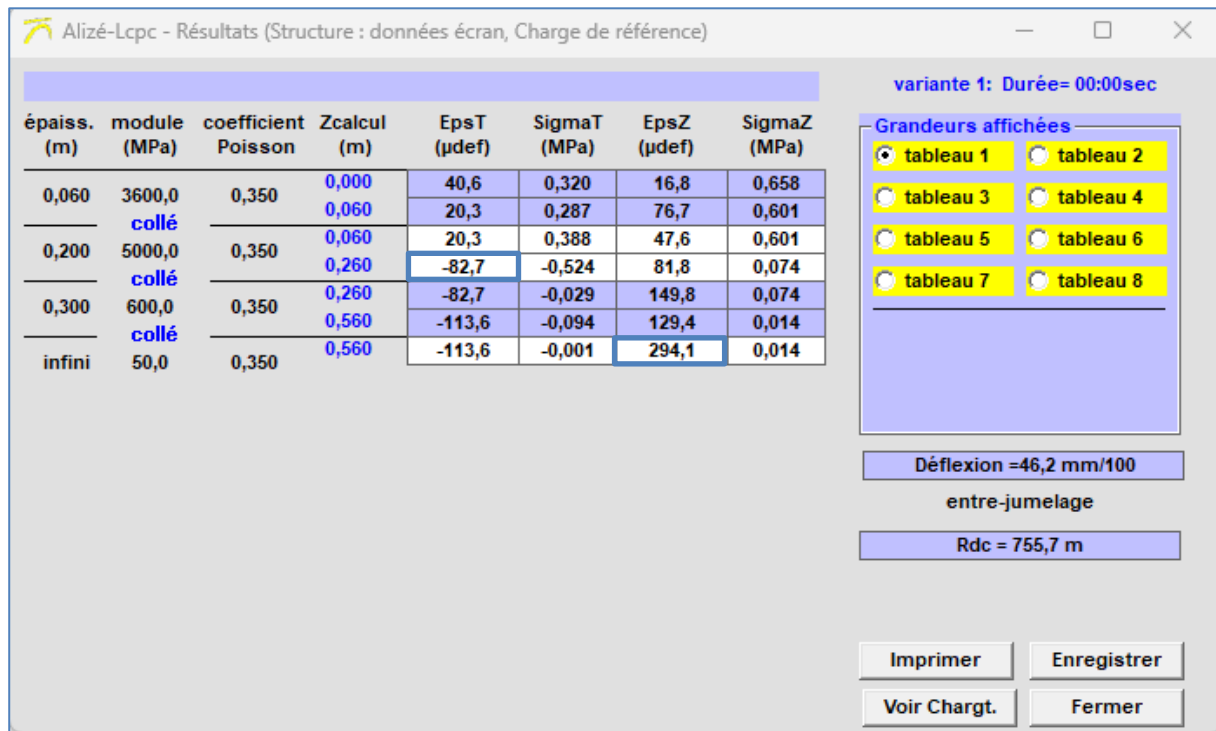


Figure 4.16 : Contraintes et déformations trouvées par Alizé 1.3.

f) Résultats de la simulation pour structure GB/GNT :

Tableau 4.4 : Comparaison des déformations de GB/GNT.

	Déformations calculées	Déformations admissibles	Observation
$\varepsilon_z$ Sol support	$294,1 \times 10^{-6}$	$613,5746 \times 10^{-6}$	$\varepsilon_z < \varepsilon_{z,adm}$ (Vérifiée)
$\varepsilon_t$ à la base de GB	$82,7 \times 10^{-6}$	$108,6353 \times 10^{-6}$	$\varepsilon_t < \varepsilon_{t,adm}$ (Vérifiée)

Donc : (La structure 6 BB + 20 GB + 30 GNT est donc vérifiée, car  $\varepsilon_z < \varepsilon_{z,adm}$  et  $\varepsilon_t < \varepsilon_{t,adm}$ )

Les résultats de simulation pour la structure 6 BB + 20 GB + 30 GNT confirment sa conformité aux critères de dimensionnement avec des marges de sécurité substantielles de 52,1% au niveau du sol support ( $\varepsilon_s = 294,1 \times 10^{-6}$  vs  $\varepsilon_{s,adm} = 613,5746 \times 10^{-6}$ ) et 53,2% à la base de la grave bitume ( $\varepsilon_t = 82,7 \times 10^{-6}$  vs  $\varepsilon_{t,adm} = 108,6353 \times 10^{-6}$ ). Cette configuration présente une répartition efficace des contraintes, comme l'atteste la diminution significative des déformations de la base vers le sommet de la structure, et suggère un dimensionnement conservateur qui pourrait faire l'objet d'une optimisation économique tout en garantissant la durabilité et la performance de la chaussée sous les conditions de trafic prévues.

#### 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, L'analyse comparative des méthodes de dimensionnement révèle des disparités significatives dans la conception des chaussées souples. La méthode CBR s'avère la plus économique avec des épaisseurs comprises entre 28 et 47 cm, tandis que la méthode CTTP génère les structures les plus importantes, atteignant 56 à 111 cm d'épaisseur. Ces écarts considérables, pouvant atteindre jusqu'à 296% sur le Tronçon B, s'expliquent principalement par l'influence déterminante du paramètre CBR sur le dimensionnement. La méthode CTTP présente toutefois des contraintes particulières, notamment l'exigence de couches supplémentaires pour les sols à faible CBR, ce qui impacte directement la faisabilité technique et économique des projets.

La déformation verticale  $\varepsilon_z$ , calculée par le logiciel Alizé 3.1, doit rester inférieure à une valeur admissible  $\varepsilon_{z,adm}$ , déterminée par une relation semi-empirique issue d'une analyse statistique du comportement des chaussées algériennes. Chaque classe de trafic (TCEi) correspond à une valeur spécifique de  $\varepsilon_z$ . Ce critère est particulièrement déterminant pour les structures en matériaux non traités, où la vérification  $\varepsilon_z < \varepsilon_{z,adm}$  s'avère essentielle au dimensionnement.

Le choix des matériaux constitue également un facteur critique pour garantir les performances à long terme de la chaussée. Cette variabilité méthodologique se traduit par des variations de coûts substantielles. Une étude économique approfondie sera développée dans le chapitre suivant afin d'analyser l'impact financier de ces différentes approches de dimensionnement.

*Chapitre 5*  
*Etude économique*

## 5.1 Introduction

Le présent chapitre est dédié à l'étude économique, une étape essentielle dans tout projet de construction, car elle permet d'évaluer la faisabilité financière et d'optimiser les coûts liés à la réalisation des structures de chaussées. Ce chapitre présente d'abord les définitions des différents cas économiques pris en compte, avant d'établir les devis quantitatifs estimatifs pour chaque tronçon routier en fonction des méthodes de dimensionnement utilisées. Enfin, une comparaison des devis calculés est effectuée, accompagnée d'un commentaire critique visant à identifier la solution la plus économique tout en respectant les exigences techniques.

## 5.2 Choix d'une structure de chaussée

Le choix d'une structure de chaussée repose sur une analyse multicritère intégrant des considérations techniques, économiques et environnementales :

- *Aspects techniques* : Ils concernent la sélection de la structure elle-même, le choix des matériaux (liants, granulats, etc.) ainsi que la conception et la nature des différentes couches composant la chaussée (couche de forme, fondation, base, couche de roulement).
- *Aspects économiques* : Ils incluent non seulement le coût initial de l'investissement, mais également les coûts liés à l'exploitation, à l'entretien et à la réhabilitation sur l'ensemble de la durée de vie prévue de l'ouvrage.
- *Aspects environnementaux* : Ils sont abordés à travers une analyse du cycle de vie (ACV), qui évalue les impacts environnementaux de la chaussée depuis la phase d'extraction des matériaux (« du berceau ») jusqu'à son démantèlement ou recyclage final (« à la tombe ») [1].

### 5.2.1 Coût global

L'évaluation du coût global d'une structure de chaussée prend en compte l'échelonnement dans le temps des différents postes de dépenses, à savoir :

- Le coût initial de construction ( $P_c$ ) ;
- Les coûts d'entretien courant ( $E_c$ ) ;
- Les coûts de renforcement ( $R$ ).

Pour comparer équitablement ces coûts, qui interviennent à différents moments du cycle de vie de l'ouvrage, il est nécessaire de les actualiser à la date de construction, à l'aide d'un taux

d'actualisation. Cela permet de ramener tous les coûts à leur valeur présente, conformément aux méthodes d'évaluation économique [2].

### 5.2.2 Définition du coût global

Le coût global actualisé  $C_t$  s'exprime comme suit :

$$C_t = Pc + (Ec)_{\text{actualisé}} + (R)_{\text{actualisé}} \quad (5.1)$$

Avec :

- $Pc$  : coût initial de construction ;
- $(Ec)_{\text{actualisé}}$  : valeur actualisée des coûts d'entretien courant sur la période de comparaison ;
- $(R)_{\text{actualisé}}$  : valeur actualisée des coûts de renforcement sur la même période.

Ce coût représente donc la somme qu'il faudrait mobiliser dès le départ pour construire et entretenir la chaussée pendant toute sa durée de service prévue.

### 5.2.3 Actualisation des coûts d'entretien et de renforcement

• Taux et coefficient d'actualisation : Le taux d'actualisation  $a$  correspond à la différence entre le taux d'intérêt réel (net d'inflation) et le taux d'inflation anticipé. Il est généralement supposé constant sur toute la période d'étude.

Le coefficient d'actualisation  $Ca$  permettant de ramener un coût prévu à l'année "j" vers l'année "0", est donné par la formule :

$$Ca = 1/(1+a)^j \quad (5.2)$$

Avec :

$a$  : le taux d'actualisation

$Ca$  : le coefficient d'actualisation de l'année « j » à l'année « 0 ». [1]

### 5.2.4 Comparaison des solutions techniques

Une fois les trois composantes  $Pc$ ,  $(Ec)_{\text{actualisé}}$ , et  $(R)_{\text{actualisé}}$  calculées pour chacune des structures envisagées, il est possible d'en déduire leur coût global actualisé  $C_t$ . La comparaison de ces valeurs permet d'identifier la solution techniquement et économiquement la plus avantageuse sur la période étudiée [1].

### 5.3 Calcul des volumes des matériaux

On considère un profil en travers bidirectionnel, tel qu'illustré dans la figure suivante (figure 5.1), composé d'une chaussée  $L_c = 7,0$  mètres de largeur, bordée de part et d'autre par des accotements  $L_a = 1,5$  mètre chacun. Les talus présentent une pente de 3H/2V. Les structures de chaussée adoptées sont celles déterminées au chapitre 4, et des longueurs linéaires de 950, 1600 et 1200 mètres est retenue pour l'évaluation du coût global des travaux.

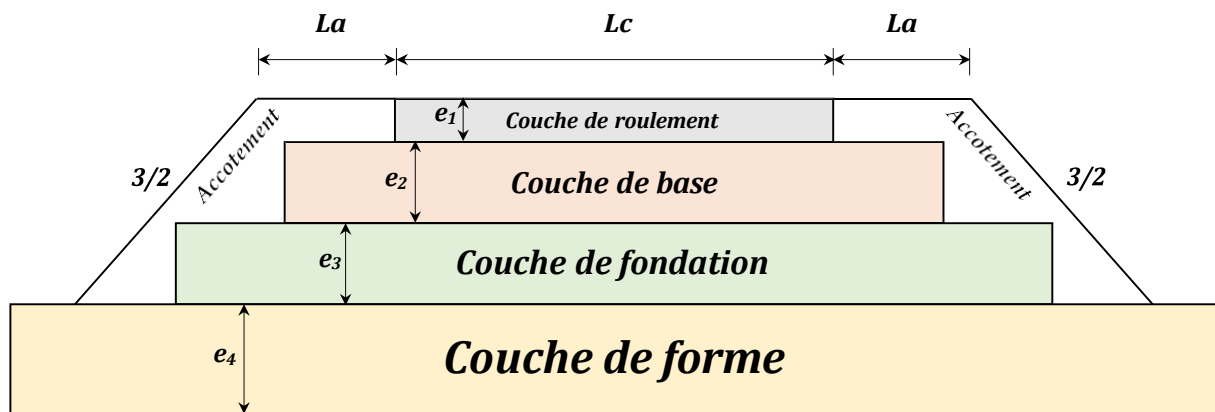


Figure 5.1 : Profil en travers type.

#### 5.3.1 Tronçon A

a) La structure calculée par la méthode CEBTP donne : 5 cm (BB) + 20 cm (GC) + 40 cm (TVC).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\text{Couche de roulement : } V_1 = e_1 \times L_c \times L_{T1} = 0,05 \times 7 \times 950 = 332,5 \text{ M}^3$$

$$= 332,5 \times 2,3 = 764,75 \text{ T}$$

$$\text{Couche de base : } V_2 = e_2 \times L_c \times L_{T1} = 0,20 \times 7,4 \times 950 = 1406 \text{ M}^3$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_3 \times L_c \times L_{T1} = 0,40 \times 7,8 \times 950 = 2964 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times s_a \times L_{T1} = 2 \times 1,1119 \times 950 = 2112,61 \text{ M}^3$$

b) La structure calculée par la méthode CBR donne : 8 cm (BB) + 15 cm (GB) + 25 cm (Tuf).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\begin{aligned} \text{Couche de roulement : } V_1 &= e_1 \times L_c \times L_{T1} = 0,08 \times 7 \times 950 = 532 \text{ M}^3 \\ &= 532 \times 2,3 = 1223,6 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Couche de base : } V_2 &= e_1 \times L_c \times L_{T1} = 0,15 \times 7,4 \times 950 = 1054,5 \text{ M}^3 \\ &= 1054,5 \times 2,2 = 2318,8 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_c \times L_{T1} = 0,25 \times 7,8 \times 950 = 1852,5 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times s_a \times L_{T1} = 2 \times 0,7728 \times 950 = 1468,32 \text{ M}^3$$

c) La structure calculée par la méthode CTTP donne : 6 cm (BB) + 15 cm (GB) + 30 cm (GNT) + 60 cm (GNT).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\begin{aligned} \text{Couche de roulement : } V_1 &= e_1 \times L_c \times L_{T1} = 0,06 \times 7 \times 950 = 399 \text{ M}^3 \\ &= 399 \times 2,3 = 917,7 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Couche de base : } V_2 &= e_1 \times L_b \times L_{T1} = 0,15 \times 7,4 \times 950 = 1054,5 \text{ M}^3 \\ &= 1054,5 \times 2,2 = 2319,9 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_{fd} \times L_{T1} = 0,30 \times 7,8 \times 950 = 2223 \text{ M}^3$$

$$\text{Couche de forme : } V_4 = e_4 \times L_{fr} \times L_{T1} = 0,60 \times 8 \times 950 = 4560 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times s_a \times L_{T1} = 2 \times 0,8251 \times 950 = 1567,6425 \text{ M}^3$$

### 5.3.1 Tronçon B

a) La structure calculée par la méthode CEBTP donne : 7 cm (BB) + 25 cm (GB) + 30 cm (TVC).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\text{Couche de roulement : } V_1 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,07 \times 7 \times 1600 = 784 \text{ M}^3$$

$$= 784 \times 2,3 = 1803,2 \text{ T}$$

$$\text{Couche de base : } V_2 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,25 \times 7,4 \times 1600 = 2960 \text{ M}^3$$

$$= 2960 \times 2,2 = 6512 \text{ T}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,30 \times 7,8 \times 1600 = 3744 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times s_a \times L_{T2} = 2 \times 1,0533 \times 1600 = 3370,56 \text{ M}^3$$

b) La structure calculée par la méthode CBR donne : 6 cm (BB) + 11 cm (GB) + 11 cm (GNT).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\text{Couche de roulement : } V_1 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,06 \times 7 \times 1600 = 672 \text{ M}^3$$

$$= 672 \times 2,3 = 1545,6 \text{ T}$$

$$\text{Couche de base : } V_2 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,11 \times 7,4 \times 1600 = 1302,4 \text{ M}^3$$

$$= 1302,4 \times 2,2 = 2865,28 \text{ T}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,11 \times 7,8 \times 1600 = 1372,8 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times s_a \times L_{T2} = 2 \times 0,4128 \times 1600 = 1320,96 \text{ M}^3$$

c) La structure calculée par la méthode CTTP donne : 6 cm (BB) + 15 cm (GB) + 30 cm (GNT) + 40 cm (Tuf).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\text{Couche de roulement : } V_1 = e_1 \times L_c \times L_{T2} = 0,06 \times 7 \times 1600 = 399 \text{ M}^3$$

$$= 399 \times 2,3 = 917,7 \text{ T}$$

$$\text{Couche de base : } V_2 = e_1 \times L_b \times L_{T2} = 0,15 \times 7,4 \times 1600 = 1054,5 \text{ M}^3$$

$$= 1054,5 \times 2,2 = 2319,9 \text{ T}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_{fd} \times L_{T2} = 0,30 \times 7,8 \times 1600 = 2223 \text{ M}^3$$

$$\text{Couche de forme : } V_4 = e_4 \times L_{fr} \times L_{T2} = 0,40 \times 8 \times 1600 = 4560 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times s_a \times L_{T2} = 2 \times 0,8251 \times 1600 = 2640,24 \text{ M}^3$$

### 5.3.1 Tronçon C

a) La structure calculée par la méthode CEBTP donne : 7 cm (BB) + 18 cm (GB) + 30 cm (TVC).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\begin{aligned} \text{Couche de roulement : } V_1 &= e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,07 \times 7 \times 1200 = 588 \text{ M}^3 \\ &= 588 \times 2,3 = 1352,4 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Couche de base : } V_2 &= e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,18 \times 7,4 \times 1200 = 1598,4 \text{ M}^3 \\ &= 1598,4 \times 2,2 = 3516,48 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,30 \times 7,8 \times 1200 = 2808 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times v_a \times L_{T3} = 2 \times 0,9079 \times 1200 = 2178,9 \text{ M}^3$$

b) La structure calculée par la méthode CBR donne : 6 cm (BB) + 10 cm (GB) + 13 cm (Tuf).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\begin{aligned} \text{Couche de roulement : } V_1 &= e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,06 \times 7 \times 1200 = 504 \text{ M}^3 \\ &= 504 \times 2,3 = 1159,2 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Couche de base : } V_2 &= e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,10 \times 7,4 \times 1200 = 888 \text{ M}^3 \\ &= 888 \times 2,2 = 1953,6 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,13 \times 7,8 \times 1200 = 1216,8 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times v_a \times L_{T3} = 2 \times 0,4291 \times 1200 = 1029,78 \text{ M}^3$$

c) La structure calculée par la méthode CTTP donne : 6 cm (BB) + 20 cm (GB) + 30 cm (GNT).

- le volume par couche et calculé comme suite :

$$\begin{aligned} \text{Couche de roulement : } V_1 &= e_1 \times L_c \times L_{T3} = 0,06 \times 7 \times 1200 = 504 \text{ M}^3 \\ &= 504 \times 2,3 = 1159,2 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{Couche de base : } V_2 = e_1 \times L_b \times L_{T3} = 0,20 \times 7,4 \times 1200 = 1776 \text{ M}^3$$

$$= 1776 \times 2,2 = 3907,2 \text{ T}$$

$$\text{Couche de fondation : } V_3 = e_1 \times L_{fd} \times L_{T3} = 0,30 \times 7,8 \times 1200 = 2808 \text{ M}^3$$

$$\text{Accotement : } V_a = 2 \times v_a \times L_{T3} = 2 \times 0,9601 \times 1200 = 2220,48 \text{ M}^3$$

#### 5.4 Devis quantitatif et estimatif

Le devis quantitatif estimatif constitue une étape essentielle dans la planification des travaux routiers. Il permet d'évaluer de manière détaillée les quantités de matériaux nécessaires à la réalisation des structures de chaussée, en vue de déterminer le coût prévisionnel du projet. Dans le cas présent, ce devis concerne trois tronçons distincts, pour lesquels les dimensions géométriques sont définies et les structures de chaussée ont été préalablement établies. L'analyse porte sur les couches constitutives de la chaussée (couche de fondation, couche de base, couche de roulement, etc.), en tenant compte des largeurs, des longueurs spécifiques à chaque tronçon, ainsi que des épaisseurs et des volumes à mettre en œuvre.

- Le tableau 5.1 présente un exemple de devis quantitatif estimatif pour le tronçon A, établi selon la méthode du CEBTP.
- Le tableau 5.2 offre un récapitulatif des devis quantitatifs estimatifs pour l'ensemble des tronçons étudiés.

**Tableau 5.1 : Exemple d'un devis quantitatif estimatif**

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
01	Réalisations d'une couche de fondation ép. = 40 cm en TVC y compris toutes sujétion de bonne exécution.	M <sup>3</sup>	2964	300,00	889 200,00
02	Réalisations d'une couche de base ép. = 20cm en grave concassée y compris toutes sujétion de bonne exécution.	M <sup>3</sup>	1406	800,00	1 124 800,00
03	Revêtement en béton bitumineux sur 05 cm d'épaisseur y compris couche d'imprégnation au cut-back 0/1.	T	764,75	4500,00	3 441 375,00
05	Rechargement des accotements en tuf y compris arrosage, compactage et toutes sujétions de	M <sup>3</sup>	2112,61	400,00	845 044,00

	mise en œuvre.			
Montant en HT				6 300 419,00
TVA 19%				1 197 079,610
Montant en TTC				7 497 498,610

**Tableau 5.2 : Récapitulatif des estimations**

Tronçon	Méthode	Montant en HT	TVA 19%	Montant en TTC
<b>A</b>	<b>CEBTP</b>	6 300 419,00	1 197 079,610	7 497 498,610
	<b>CBR</b>	7 530 168,00	1 430 731,92	8 960 899,92
	<b>CTTP</b>	6 341 877,00	1 204 956,63	7 546 833,63
<b>B</b>	<b>CEBTP</b>	15 683 392,00	2 979 844,48	18 663 236,48
	<b>CBR</b>	8 892 288,00	1 689 534,72	10 581 822,72
	<b>CTTP</b>	10 770 916,00	1 286 474,04	12 057 390,04
<b>C</b>	<b>CEBTP</b>	5 130 517,00	1 167 089,210	6 297 606,21
	<b>CBR</b>	6 430 248,00	1 233 735,92	7 663 983,92
	<b>CTTP</b>	5 247 997,00	1 004 556,01	6 252 553,01

Le tableau 5.2 présente une estimation comparative des coûts de réalisation pour trois tronçons de route (A, B et C) selon les méthodes CEBTP, CBR et CTTP, avec des valeurs CBR respectives de 4, 8 et 11. Pour le tronçon A (CBR = 4), caractérisé par un sol de très faible portance, la méthode CEBTP s'avère la plus adaptée techniquement et la plus économique (7 497 498,61 DA TTC), en raison de sa capacité à modéliser finement les structures routières sur sols faibles. En revanche, pour le tronçon B (CBR = 8), où la portance du sol est moyenne, la méthode CBR devient la plus avantageuse, affichant un coût TTC significativement inférieur (10 581 822,72 DA) tout en répondant aux exigences techniques. Enfin, pour le tronçon C (CBR = 11), sur sol très porteur, la méthode CTTP présente le meilleur compromis avec le coût le plus bas (6 252 553,01 DA), surpassant même la méthode CBR en économie, probablement en raison de matériaux utilisés. Ainsi, l'analyse met en évidence la pertinence du choix méthodologique en fonction de la portance du sol : CEBTP pour CBR faible, CBR pour CBR moyen, et CTTP pour CBR élevé, assurant un équilibre entre performance technique et optimisation économique.

### **5.5 Conclusion**

L'étude économique joue un rôle fondamental dans le choix des solutions de dimensionnement routier, car elle permet d'assurer un équilibre entre performance technique et maîtrise des coûts sur l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage. Dans ce cadre, L'analyse économique des méthodes CEBTP, CBR et CTTP sur les tronçons A, B et C montre que le choix optimal dépend fortement du CBR du sol et les matériaux utilisés. CEBTP est techniquement fiable sur sols faibles (CBR = 4) mais devient coûteuse sur terrains meilleurs. CBR est économique pour des sols de portance moyenne (CBR = 8), mais peu fiable sur sols faibles. CTTP offre un bon compromis technique et économique sur sols porteurs (CBR = 11), bien qu'elle soit moins compétitive dans des cas intermédiaires. Le choix de la méthode doit donc être adapté aux conditions géotechniques pour garantir un bon équilibre entre coût et performance.

## *Conclusion générale*

À travers ce mémoire, nous avons abordé l'ensemble du processus de conception et de dimensionnement des chaussées routières, en nous appuyant sur une approche technique, normative et économique. L'objectif principal de ce travail était de mieux comprendre les fondements théoriques et pratiques qui régissent la conception des structures de chaussée, tout en appliquant ces connaissances à une étude de cas concrète à l'aide d'un outil de calcul spécialisé.

Dans un premier temps, nous avons présenté les différents types de chaussées (souples, rigides et semi-rigides), en insistant sur leurs spécificités structurelles et les matériaux qui les composent. Cette classification nous a permis de cerner les critères de choix d'une structure adaptée en fonction des conditions locales et des charges de trafic.

Ensuite, les différentes méthodes de dimensionnement ont été examinées. Les méthodes empiriques, bien que simples à mettre en œuvre, restent limitées à des contextes spécifiques. Les méthodes théoriques, plus rigoureuses, permettent une meilleure modélisation du comportement mécanique de la chaussée. Les méthodes semi-empiriques, quant à elles, représentent un compromis efficace entre précision et faisabilité. Ces approches ont été comparées selon leurs avantages, leurs limites et leurs domaines d'application.

La troisième étape de ce mémoire a été consacrée à la présentation du projet d'étude et à l'application de la méthode de dimensionnement à l'aide du logiciel Alizé 1.3. Ce logiciel nous a permis de modéliser le comportement mécanique de la chaussée sous les charges roulantes, de vérifier la tenue des matériaux et d'optimiser la structure.

L'analyse des résultats a mis en évidence les performances de la structure proposée, en tenant compte de l'enrobé bitumineux, des couches de fondation et de forme. Les résultats ont été interprétés et confrontés aux exigences réglementaires, permettant ainsi de valider la conception adoptée.

Enfin, une étude économique a permis d'évaluer la faisabilité financière du projet. Le devis quantitatif et estimatif réalisé a donné une vision claire des coûts liés aux matériaux, à la mise en œuvre et à l'entretien, permettant ainsi une prise de décision éclairée en matière de choix de structure.

## *Perspectives*

Ce travail ouvre la voie à plusieurs perspectives d'amélioration :

- L'intégration de l'effet des conditions climatiques extrêmes dans les calculs (variation thermique, ruissellement, gel/dégel).
- L'évaluation de la durabilité à long terme par des essais in situ.
- L'introduction de matériaux innovants et recyclés pour un dimensionnement plus durable et écologique.

# Références

- [1] : A S, juin 2018, mémoire : Etude comparative de la méthode algérienne et la méthode française de dimensionnement des chaussées souples, Université Larbi tébessi – Tébessa.
- [2] : J B, HERVE CABANES, PHILIPPE CARILLO, le 17 mai 2018, Livre  
: La route et ses chaussées.
- [3] : T A, REZAIGUIA MOHAMMED, Mai 2017, mémoire : Dimensionnement des chaussées souples par la méthode AASHTO, cas de l'évitement de la ville de Tébessa, université larbi tébessi – Tébessa.
- [4] :L A, juin 89, mémoire : Etude comparative de chaussée rigide et chaussée Flexible dans le cadre du Sénégal, Ecole Polytechnique de Thies.
- [5] :T50. Voiries et aménagements urbains en béton (tom–1.conception et dimensionnement
- [6] : KH Z, KH M, juin 2016, mémoire : Dimensionnement d'une structure de chaussée en utilisant les matériaux locaux, université M'hamed bouguerra boumerdes.
- [7] : WILFRIED NICAISE NATABZANGA ARMEL NIKIEMA, 2015, mémoire :  
Elaboration d'un catalogue de dimensionnement des chaussées neuves avec la méthode rationnelle, Institut International d'Ingénierie.
- [8] : O S E, juin 2019, mémoire : Etude comparative entre les méthodes de dimensionnement des chaussées utilisées en Algérie, Université Mohamed khider – Biskra.
- [9] : CH A, juin 2017, mémoire : Etude géotechnique d'un tronçon routier de la R.N 32, reliant la wilaya d'Oum El Bouaghi vers la wilaya de Khenchela sur 35 km, Université Larbi Ben M'hidi–Oum El Boughi.
- [10] : CHAPITRE VIII dimensionnement du corps de chaussée (DJELFA).
- [11] : Site Internet, [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Route\\_nationale\\_98\\_\(Alg%C3%A9rie\)](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Route_nationale_98_(Alg%C3%A9rie))
- [12] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). Fascicule 1

[13] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). Fascicule 2

[14] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). Fascicule 3

[15] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P).

[16] : SITE WEP <https://www.alize-lcpc.com/fr/documents/ALIZE-LCPC-MU-v1.5-FR.pdf>

[17] :G.JEUFFROY, R.SAUTERY, Guide pratique de construction routière partie 1(Notions élémentaires sur le comportement des chaussées), (pages 3:4).

[18] :A.MANFRED, livre premier: Abrégé d'histoire universelle ABREGE D'HISTOIRE  
UNIVERSELLE - A. MANFRED (SOUS LA DIRECTION DE) – 1974

# ANNEXE

# ANNEXE

**Tableau 13 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux**

Matériau (MTB)	E (30°C, 10Hz) (Mpa)	E(25°, 10Hz) (Mpa)	E(20°, 10Hz) (Mpa)	E(10°, 10Hz) (Mpa)	$\epsilon_6$ (10°, 25Hz) ( $10^{-6}$ )	-1/b	SN	Sl <sub>i</sub> (cm)	$\nu$	kc Calage
BB	2500	3500	4000	-	-	-	-	-	0,35	-
GB	3500	5500	7000	12500	100	6,84	0,45	3	0,35	1,3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0,68	2,5	0,45	1,3

*BB : béton bitumineux, GB : grave bitume, SB : sable bitume*

**Tableau 16 : Valeurs de  $t = f(r\%)$**

<b>r%</b>	2	3	5	7	10	12	15
<b>t</b>	-2,054	-1,881	-1,645	-1,520	-1,282	-1,175	1,036
<b>r%</b>	20	23	25	30	35	40	50
<b>t</b>	-0,842	-0,739	-0,674	-0,524	-0,385	-0,253	0