

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Ain Temouchent

Institut de Technologie

Département de Génie Civil



PROJET DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du Diplôme de :
Master en Travaux Publics
Option: voies et ouvrages d'art

Thème

**Comparaison entre la chaussée souple et la
chaussée rigide**

Présenté par:
KHIAT Asmaa

MECHERI Wissem

Encadré par :
M^r GUELLIL Mustapha

Devant le jury composé de:

Président.....M^r AMARA Khaled

Examineur.....M^r KADDOUR Abdelhakim

Année Universitaire : 2019/2020





REMERCIEMENTS

*En premier lieu, nos remerciements à Allah, notre dieu le tout puissant de nous avoir fourni la volonté, la patience et la force nécessaires pour aller jusqu' en fin de nos études universitaires
(Master)*

Nos remerciements à tous les enseignants de l'université d'Ain Témouchent qui ont contribué à notre formation universitaire allant de la première à la cinquième année.

Nos remerciements et parfaite reconnaissance à notre encadreur M^r GUELIL Mustapha pour son assistance et ses conseils qui nous ont permis d'effectuer ce mémoire de fin d'étude.

Nos remerciements et notre reconnaissance aux membres l'honorable jury qui ont accepté de lire et jugé notre modeste travail d'approche.

Enfin, nous remercions aux membres de nos familles et à tous ceux qui nous ont encouragés et soutenus de près ou de loin pour la réalisation de notre projet de fin d'études.

Dédicace

Je dédie ce travail :

Aux deux êtres, mes plus chers :

L'homme qui m'a soutenu et guidé mon parcours et a été toujours
là présent en toutes circonstances, mon très cher père,

Et la femme qui a toujours veillé sur moi, ma très chère mère,

Que dieux les protège.

À MES TRES CHERES SŒURS «FATIMA ZOHRA ET
AMEL»

A MES CHERES NIECES ET NEVEUX «IMAD EDDINE,
YOUNES BAHAA EDDINE, FARAH JANAH ET RAZANE ».

À MON CHER FRERE MOHAMED EL AMINE Qui m'a
toujours aidé et qui a été la première source d'inspiration et de
courage

A TOUTE LA FAMILLE MECHERI.

A MA BINOME ASMAA ET SA FAMILLE KHIAT.

A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS.

A TOUTE LA PROMOTION DE TRAVAUX PUBLICS.

MECHERI Wissem



Dédicace

Je dédie ce travail :

A LA MEMOIRE DE MON GRAND-PERE

«El-hadj KHIAT Mustapha»

J'aurais tant aimé que vous soyez présent parmi nous aujourd'hui.

Que Dieu place votre âme dans sa sainte miséricorde

A MON GRAND-PERE

«El-hadj BENSENOUCI Mohamed»

Qui m'a assisté et conseillé dans les moments difficiles, je ne vous remercierai jamais assez pour votre générosité et votre aide précieuse.

A MON TRES CHER PERE «KHIAT Youcef»

Mon support dans la vie, qui m'a appris, m'a soutenu et m'a guidé vers le succès

A MA TRES CHERE MERE

La femme qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par ses prières.

A MES TRES CHERS FRERE ET SŒURS «Hichem, Farah et Hadjer»

Mes sources de joie et de bonheur

A TOUTE MA FAMILLE

A MA CHERE AMIE WISSEM ET SA FAMILLE

«MECHERI»

A TOUTE LA PROMOTION VOA

A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

KHIAT Asmaa



Résumé

L'objectif principal de ce mémoire est la réalisation d'une étude comparative entre une chaussée souple et une chaussée rigide. En se basant sur les données du trafic de la route nationale RN98, les deux structures de chaussée sont dimensionnées avec la méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). La comparaison est faite sur l'aspect technique avec le choix des matériaux et le nombre de couches ainsi que sur l'aspect économique en comparant les coûts de constructions et enfin sur l'aspect environnemental avec l'analyse de cycle de vie.

Mots clés: Chaussée souple, Chaussée rigide, Catalogue, Étude Comparative.

Abstract

The main objective of this dissertation is to carry out a comparative study between a flexible pavement and a rigid pavement. Based on the RN98 national road traffic data, the two pavement structures are size during the new pavement design catalog (CTTP) method. The comparison will be on the technical aspect with the choice of materials and number of layers, economic compares construction costs and finally environmental with life cycle analysis.

Keywords: Flexible pavement, Rigid pavement, Catalog, Comparative study.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه المذكرة هو إجراء دراسة مقارنة بين الرصيف المرن والرصيف الصلب. استناداً إلى بيانات حركة المرور للطريق الوطني رقم 98 (RN98)، تم تحديد هيكل الطريق باستخدام طريقة فهرس تصميم الرصيف الجديد CTTP.

ستكون المقارنة من حيث الجانب التقني مع اختيار المواد و عدد الطبقات ، مقارنة اقتصادية بين تكاليف الإنجاز وأخيرا المقارنة من الجانب البيئي مع دراسة دورة الحياة

الكلمات المفتاحية: رصف مرن ، رصيف صلب ، كتالوج ، دراسة مقارنة

Liste Des Abréviations

Liste des abréviations

GNT : Grave non traitée

SB : Sable Bitume

RP1: Le réseau principal de niveau 1

RP2 : Le réseau principal de niveau 2

GL : Grave Laitier

BCg : Béton du Ciment goujonné

GC : Grave Ciment

GB : Grave bitume

TUF : Tuf calcaire «encroûtement calcaire »

SG: Sable Gypseux.

AG : Arène Granitique.

K : Module de réaction du sol support, MPa

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 Officials

TRRL: Transport Road Research Laboratory

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

PL : poids lourd

LA : Los Angeles

MDE : Micro-Delval en présence d'eau

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

RN98 : Route nationale 98

GWP : Potentiel de réchauffement global

Ct : Coût global

Pc : Coût de construction

(Ec) actualisé : L'ensemble des coûts d'entretien courant actualisés sur la période de comparaison

(R) actualisé : L'ensemble des coûts actualisés des travaux de renforcement sur la période de comparaison

Ca : Le coefficient d'actualisation de l'année « j » à l'année « 0 »

a : Taux d'actualisation

ACV : Analyse de cycle de vie

MNT : Matériaux non traités

MTB : Matériaux traités au bitume

MTLH : Matériaux traités au laitier granulé

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

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

σ_t : La contrainte de traction

ϵ_b : Contrainte de flexion limite à 10⁶ cycles donnée par l'essai de fatigue

TPL : Classe de trafic

Si : Classe de sols supports

TC : Trafic cumulé

TCE : Trafic cumulé équivalent

C : Facteur de cumul

A : Coefficient d'agressivité des poids lourds PL par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes

ϵ_z, ad : Déformations admissibles sur le sol support

ϵ_t, ad : Déformation admissible de traction

σ_t, ad : Contrainte de traction admissible à la base des couches hydrauliques

k_{ne} : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée

k_θ : 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(Θ_{éq}) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considéré

δ : f (dispersion)

SN : Dispersion sur la loi de fatigue

S_h : Dispersion sur les épaisseurs (en cm)

c: Coefficient égale à 0,02

TMJA : Trafic moyenne journalière annuelle

i% : Taux d'accroissement du nombre de véhicules

n : Durée de vie

r : Risque en %

Sommaire

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Introduction Générale

Chapitre I : Généralités sur les chaussées routières

I.1.Première notion de la route.....	01
I.2.L'évolution des voies de circulation.....	02
I.3.La chaussées.....	05
I.3.1.Définition.....	05
I.3.2.Rôles.....	05
I.3.3.Exigences.....	06
I.3.3.1.Structurelles.....	06
I.3.3.2.Fonctionnelles.....	06
I.3.3.3.Economiques.....	06
I.3.3.4.Esthétiques.....	06
I.3.3.5.Environmentales.....	06
I.4.Descriptif des couches de chaussées.....	06
I.4.1.Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches?.....	06
I.4.2.Couche de forme.....	07
I.4.3.Couche d'assise.....	07
I.4.4.Couche de surface.....	07
I.5.Divers types de chaussées.....	08
I.5.1.Chaussées souples.....	08
I.5.2.Chaussées bitumineuses épaisses.....	09
I.5.3.Chaussées semi-rigides.....	10
I.5.4.Chaussées mixtes.....	11
I.5.5.Chaussées inverses.....	11
I.5.6.Chaussées rigides.....	12

I.6.Présentation des matériaux utilisés dans la structure de chaussée	13
I.6.1.Matériaux traités aux bitumes.....	13
I.6.1.1.Grave bitume (GB)	13
I.6.1.2.Sable bitume (SB).....	13
I.6.2.Matériaux traités aux liants hydrauliques.....	14
I.6.2.1.Graves-laitier (GL).....	14
I.6.2.2.Béton de ciment (BCg) « béton non armé et goudonné.....	14
I.6.2.3.Grave-Ciment (GC).....	15
I.6.3.Matériaux non traités.....	15
I.6.3.1.Grave non traitée (GNT).....	15
I.6.3.2.TUFS Calcaires (TUF) « encroûtements calcaires »	16
I.6.3.3.Sables gypseux(SG) « encroûtements gypseux ».....	17
I.6.3.4.Arènes granitiques (AG).....	17
I.7. Sollicitations supportées par les chaussées.....	18
I.7.1.Les actions verticales.....	18
I.7.2.Les actions tangentielles.....	18
I.7.3.Les actions dynamiques.....	19
I.8.Influence des actions appliquées à la chaussée.....	19
I.8.1.Effet du trafic.....	19
I.8.2.Effet de la température.....	19
I.9.Conclusion.....	20

Chapitre II: Méthodes de dimensionnement des chaussées

II.1.Introduction.....	21
II.2.Les Méthodes analytiques (théoriques).....	21
II.2.1.Le modèle de Boussinesq1885.....	21
II.2.2.Modèle de Westergaard(1962).....	23
II.2.3.Modèle monocouche de chaussée de Pasternak(1954).....	24
II.2.4.Modèle multicouche de chaussée de Burmister(1943).....	25
II.2.5.Modèle de viscoélasticité.....	26
II.2.6.Modèle aux éléments finis.....	26
II.3.Approche empirique	27
II.3.1.Méthode CBR (Californian-Bearing -Ratio).....	28

II.3.2.Méthode asphalte Institut	29
II.3.3.La méthode TRRL.....	31
II.4.Les méthodes semi empiriques.....	32
II.4.1.La méthode du guide technique SETRA-LCPC (Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).....	32
II.4.2.Méthode CEBTP.....	33
II.4.3.Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P).....	35
II.4.3.1.Démarche du catalogue	36
II.5.Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement.....	36
II.6.Conclusion	37

Chapitre III : Critères de choix des structures de chaussées

III.1.Introduction.....	38
III.2.Choix d'une structure de chaussée.....	38
III.2.1.Structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic.....	41
III.2.2.Coût Global.....	42
a) Le coût de construction - Comment l'optimiser?.....	43
b) Comment actualiser les coûts d'entretien et de renforcement?.....	43
c) Coût global « Ct ».....	45
III.2.3.Analyse du cycle de vie de l'ouvrage.....	45
III.3.Conclusion	46

Chapitre IV: Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.1.Introduction.....	47
IV.2.Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP).....	47
IV.2.1.Constitution des structures de chaussées.....	47
IV.2.2.Description des structures types.....	48
IV.2.2.1.Réseau principal de niveau 1 (RP1).....	48
IV.2.2.2.Réseau principal de niveau 2 (RP2).....	49
IV.2.2.3.Conditions aux interfaces.....	51
IV.2.2.4.Modélisation des structures types et calcul des contraintes et déformations.....	52
IV.2.2.4.1.Mode de fonctionnement des différentes structures.....	52
IV.2.2.4.2.Fiches structures de dimensionnement.....	53
IV.2.3.Données du dimensionnement de la structure de la chaussée.....	54
IV.2.3.1.Durée de vie.....	54

IV.2.3.2.Risque de calcul.....	54
IV.2.3.3.Données climatiques	55
IV.2.3.4.Trafic.....	56
IV.2.3.5.Sol support	58
IV.2.3.6.Les caractéristiques des matériaux	59
a) Performances mécaniques.....	59
b) Calcul des sollicitations admissibles.....	61
c) Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support.....	63
IV.3.Application au projet.....	64
IV.3.1.Les données climatiques	65
IV.3.2.Type de réseau principal	65
IV.3.3.La classe du trafic (TPLi)	66
IV.3.4.Classe de portance de sol.....	66
IV.3.5.Dimensionnement d'une chaussée souple.....	66
IV.3.5.1.Risque de calcul.....	68
IV.3.5.2.Trafic cumulé équivalent (TCEi).....	68
IV.3.5.3.Calcul la déformation admissible (ϵ_z , adm) de sol support	69
IV.3.5.4.Calcul de la déformation admissible de traction ϵ_t , adm.....	69
IV.3.5.5.Vérification des résultats de calcul de la structure souple par Alize III.....	70
IV.3.6.Dimensionnement d'une chaussée rigide.....	73
IV.3.6.1.Risque de calcul.....	74
IV.3.6.2.Trafic cumulé équivalent (TCEi).....	74
IV.3.6.3.Calcul la déformation admissible (ϵ_z , adm) de sol support.....	75
IV.3.6.4.Calcul de la déformation admissible de traction ϵ_t , adm.....	75
IV.3.6.5.Vérification des résultats de calcul de la structure souple par Alize III.....	76
IV.4 Conclusion.....	78
 Chapitre V : Etude comparative entre la chaussée souple et la chaussée rigide	
V.1.Introduction.....	79
V.2.Comparaison économique.....	79
V.2.1.Calcul de la quantité totale des matériaux utilisés.....	80
V.2.1.1.La chaussée souple.....	80
V.2.1.2.La chaussée rigide.....	81
V.2.2.Devis quantitatif et estimatif des chaussées souple et rigide.....	84
V.2.3.Conséquences.....	86

V.3.Comparaison technique.....	86
V.3.1 Conséquence	87
V.4.Comparaison environnementale, écologique et esthétique	88
V.5.Conclusion	89

Conclusion Générale

Bibliographie

Annexe

Liste des figures

Liste Des Figures

Chapitre I : Généralités sur les chaussées routières

Fig.I.1: La carte du monde antique aux V ^e et IV ^e siècle avant notre ère	01
Fig.I.2: Le mélange sable-argile	02
Fig.I.3: Coupe schématique de voie romaine (1 ^e phase).....	03
Fig.I.4: Les voies romaines	03
Fig.I.5: Coupe schématique d'une voie en « macadam » classique	04
Fig.I.6: Les dégradations de voie en « macadam » (arrachage et poinçonnement).....	05
Fig.I.7: Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée.....	08
Fig.I.8: Coupe type d'une chaussée souple.....	08
Fig.I.9: Coupe type d'une chaussée bitumineuse épaisse.....	09
Fig.I.10: Coupe type d'une chaussée semi rigide	10
Fig.I.11: Coupe type d'une chaussée mixte	11
Fig.I.12: Coupe type d'une chaussée inverse	11
Fig.I.13: Coupe type d'une chaussée rigide	12

Chapitre II : Méthodes de dimensionnement des chaussées

Fig. II.1: Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq [Peyronne et al. 1991].....	22
Fig. II.2: schéma du modèle de Westergaad.....	23
Fig. II.3: schéma du modèle de Pasternak.....	24
Fig. II.4: schéma du modèle de Burmister.....	25
Fig. II.5: Schéma de fonctionnement de la méthode empirique.....	27

Chapitre III : Critères de choix des structures de chaussées

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

Fig.IV.1: Structure d'une chaussée type1.....	48
Fig.IV.2: Structure d'une chaussée type 2.....	48
Fig.IV.3: La Route Nationale N98.....	64

Fig.IV.4: Position de projet dans la carte climatique de l'Algérie	65
Fig.IV.5: Différentes couches du corps de la chaussée souple.....	67
Fig.IV.6: Ecran de saisie des caractéristiques de la chaussée souple (AlizéIII).....	71
Fig.IV.7: Résultat obtenue par le programme (AlizeIII) pour la chaussée souple.....	72
Fig.IV.8: Différentes couches du corps de la chaussée rigide.....	74
Fig.IV.9: Ecran de saisie des caractéristiques de la chaussée rigide (AlizéIII).....	77
Fig.IV.10: Résultat obtenue par programme (AlizeIII) pour la chaussée rigide.....	78

Chapitre V : Etude comparative entre la chaussée souple et la chaussée rigide

Fig.V.1: Chaussée rigide et chaussée souple.....	79
Fig.V.2: Schéma du profil en travers type de la chaussée souple.....	80
Fig.V.3: Schéma du profil en travers type de la chaussée rigide.....	81
Fig.V.4: Répartition comparative de charge.....	86

Liste des Tableaux

Liste Des Tableaux

Chapitre I Généralités sur les chaussées routières

Chapitre II : Méthodes de dimensionnement des chaussées

Tableau II.1.Les valeurs des coefficients d'équivalence.....	29
Tableau II.2.Pourcentage de trafic par voie.....	30
Tableau II.3.Classes de trafic.....	35
Tableau II.4.Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionneme.....	37

Chapitre III : Critères de choix des structures de chaussées

Tableau III.1.Principe de choix d'une structure soupl	39
Tableau III.2.Principe de choix d'une structure rigide.....	40

Chapitre IV: Exemple de dimensionnement des chaussées

Tableau IV.1.Réseau principal de niveau 1 (RP1).....	50
Tableau IV.2.Réseau principal de niveau 2 (RP2)	51
Tableau IV.3.Synthèse des hypothèses sur les conditions de collage	51
Tableau IV.4.Durées de vie adoptées	54
Tableau IV.5.Risques adoptées pour le réseau RP1	55
Tableau IV.6.Choix des températures équivalentes.....	56
Tableau IV.7.Classes de trafic TPLi adoptées	57
Tableau IV.8.Valeurs du coefficient d'agressivité A	58
Tableau IV.9.Valeurs de facteur cumul C en fonction de i et n.....	58
Tableau IV.10.Classes de portance à long terme du sol support.....	59
Tableau IV.11.Performances mécaniques des matériaux bitumineux.....	60
Tableau IV.12.Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques.....	60
Tableau IV.13.Performance mécanique des matériaux non traités.....	61
Tableau IV.14.Valeurs de $t = f(r\%)$	62
Tableau IV.15.Fiche de structure pour chaussée souple	67
Tableau IV.16.Caractéristique des matériaux de la chaussée souple.....	70
Tableau IV.17.Fiche de structure pour la chaussée rigide	73
Tableau IV.18.Caractéristique des matériaux de la chaussée rigide.....	76

Chapitre V : Etude comparative entre la chaussée souple et la chaussée rigide

Tableau V.1.La quantité totale des matériaux utilisés sur le corps chaussé.....	83
Tableau V.2.Devis quantitatif et estimatif de Chaussée souple et accotements.....	84
Tableau V.3.Devis quantitatif et estimatif de Chaussée rigide et accotements.....	85
Tableau V.4.Comparaison technique entre chaussée souple et rigide.....	87
Tableau V.5.Comparaison environnemental, esthétique et écologique	88

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le développement de l'infrastructure routière constitue l'un des moyens les plus efficaces permettant de promouvoir le développement économique du pays.

L'Algérie compte l'un des réseaux routiers les plus importants du Maghreb et d'Afrique, d'une longueur de 133 741 km, le réseau routier est en plein développement grâce au programme de modernisation des transports routier et ferroviaire qui après la réalisation de l'Autoroute Est-Ouest de (1 216 km) prévoit la réalisation de l'autoroute des hauts plateaux de (1 330 km), et la réalisation de 19 000 km de nouvelles routes, ainsi la finition de la route transsaharienne (nord-sud).

L'Algérie prévoit aussi un surplus de la production nationale du ciment qui va s'élever à 11 millions de tonnes à l'horizon 2022. Dans ce cadre, il est envisagé d'assurer des débouchés commerciaux à la massive surcapacité de production de ciment et introduire des solutions éprouvées et meilleures pour la construction de nos routes de manière plus rapide, plus durable et tout en réduisant l'empreinte environnementale. Cette prise de décision d'opter pour la construction des routes en béton procure plusieurs avantages quoique le coût de la mise en œuvre au ciment soit plus élevé que celle du bitume.

A partir de ce constat, nous avons eu l'idée de faire une étude comparative entre les chaussées souples et les chaussées rigides.

Ce mémoire s'articule sur les cinq chapitres suivants :

- **Chapitre premier** : concerne par les généralités sur les chaussées routières ainsi que les matériaux utilisés pour les corps de chaussées.
- **Chapitre deuxième** : fait un bref rappel des différentes méthodes de dimensionnement des chaussées.
- **Chapitre troisième** : expose les critères de choix entre les deux types de chaussées (bitumineuse et en béton de ciment)
- **Chapitre quatrième** : présente la méthode du catalogue algérien (CTTP) de détermination des structures de chaussées avec un exemple de calcul et modélisation pour les deux types de chaussées (souple et rigide).
- **Chapitre cinquième** : présente une comparaison générale entre la chaussée souple et la chaussée rigide, selon l'analyse du coût de construction et de l'impact environnemental.

Le mémoire se termine par une **conclusion générale**.



Chapitre **I** Généralités sur les

Chaussées routières

- 1. Première notion de la route**
- 2. L'évolution des voies de circulation**
- 3. La chaussée**
- 4. Descriptif des couches de chaussées**
- 5. Divers types de chaussées**
- 6. Présentation des matériaux utilisés dans la structure de chaussée**
- 7. Sollicitations supportées par les chaussées**
- 8. Influence des actions appliquées à la chaussée**
- 9. conclusion**

I.1.Première notion de la route :

Les premières voies retenues dans l’histoire des mondes remontent au 3^e millénaire avant notre ère. Elles consistent en des pistes naturelles ou sentiers qu’empruntaient les caravane des hommes de différentes tribus claniques pour s’échanger entre eux les produits de leurs cueillettes, cultures, petits élevages ainsi que ceux de leur petit artisanat de poterie , tissage , forgeage , taillage du bois et autres.^[2]

Sont cités, dans ce cadre, les peuples des vallées du Nil (Egypte) des Tigre et Euphrate (Mésopotamie), de la vallée du Hindus (Inde) et du Houang-Ho (Chine) ainsi que des territoires d’Asie mineure, Sibérie, du plateau iranien et des steppes de la mer noire.

Il est cependant à noter que ces premières voies se trouvent caractérisées surtout par la notion de repérage de leur itinéraire de parcours qui était retenu des caravaniers par des points remarquables bien définis et ou fixes , quoi que les voies en elles mêmes n’étaient autres que le sol dans son état brut et sa topographie naturelle gardant souvent les traces de piétinement des convois d’hommes et leurs bêtes.^[2]

On peut citer dans ce contexte les grands axes commerciaux de cette époque cités dans l’histoire :

- **La route des épices :** est l’une des plus anciennes .Connue dès 2800 avant notre ère, elle reliait l’Egypte, l’Arabie et l’Inde.
Cette route n’a été abandonnée qu’à partir du 6^e siècle.

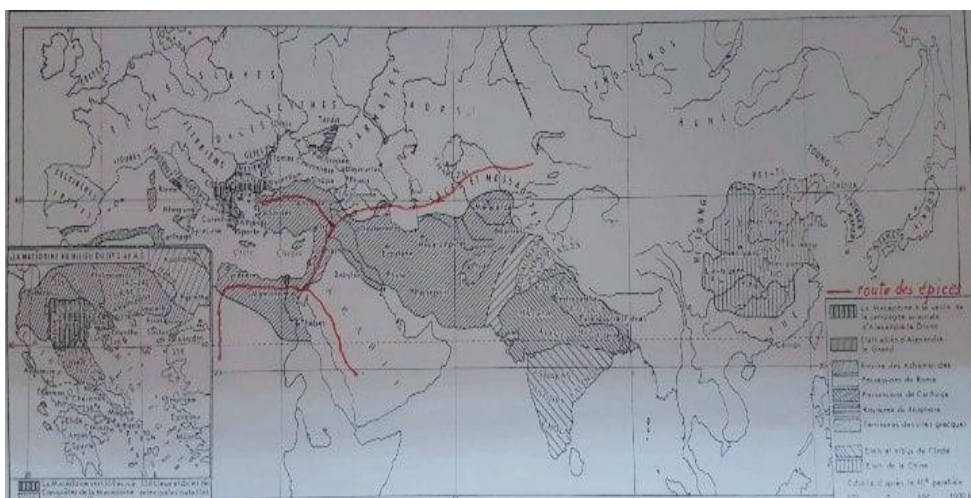


Fig.I.1: La carte du monde antique aux V^e siècle avant notre ère ^[20]

Chapitre I : Généralités sur les chaussées routières

- **La route de la soie :** connue depuis le 2^e siècle avant notre ère, elle reliait Changan(Chine) à Antioche(Syrie) .Elle permettait le commerce du lin, du jade, de l'ivoire, des bijoux...

Une de ses branches reliait Kaliningrad (Russie) au port grec de Massalia

- **La route du sel :** une branche de la route des épices qui allait jusqu'au cote de l'Atlantique.

Le sel était une matière précieuse et même une monnaie d'échange. ^[2]

I.2.L'évolution des voies de circulation :

La sédentarisation de l'homme ayant été engendrée, entre autres, par le développement des techniques agricoles, de l'élevage et des conservations suivies de la création de la roue vers le 2^e millénaire avant notre ère ont incité au besoin de l'aménagement des premiers chemins carrossables. ^[2]

En effet, ces chemins ne furent guère que des sentiers rudimentaires qui ne diffèrent des terrains mitoyens que par la surface de leur sol plus piétinée, néanmoins il est à noter que leur tracé est établi dans le but de joindre les destinations ciblées sans toute fois empiéter sur les terres cultivées.

Il est cependant à rappeler, pour ces voies, qu'en temps normal sec, la circulation se fait normalement avec la nuisance des seules poussières dégagées mais en période des pluies ces voies s'embourbent et deviennent impraticables jusqu'à leur dessèchement.

En ce sens qu'il a été essayé et développé pour la première fois au moyen Orient le mélange sable et argile (le pisé) pour une utilisation moins sensible aux variations pluie et sécheresse.

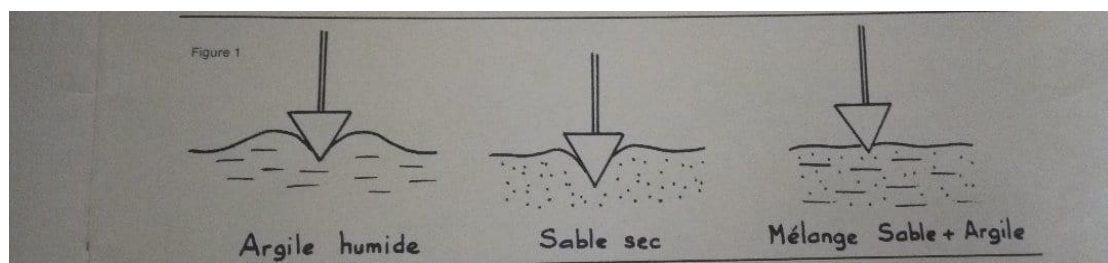


Fig.I.2: Le mélange sable-argile ^[19]

Chapitre I : Généralités sur les chaussées routières

Hélas, la route étant une grande consommatrice de matériaux, même avec la fortune et les esclaves en ces temps, il a été difficile de fournir régulièrement sur les lieux les quantités nécessaires de sable en zone argileuse et d'argile en région sableuses.

En ces mêmes temps, l'idée est venue chez les romains d'entreposer des dalettes en pierres dures plates entre la roue et le sol pour assurer à leurs charrettes une circulation sans poussière, plane et plus confortable et en tout temps (sec ou pluvieux) et ce en première phase, selon le procédé ci-après. [19]

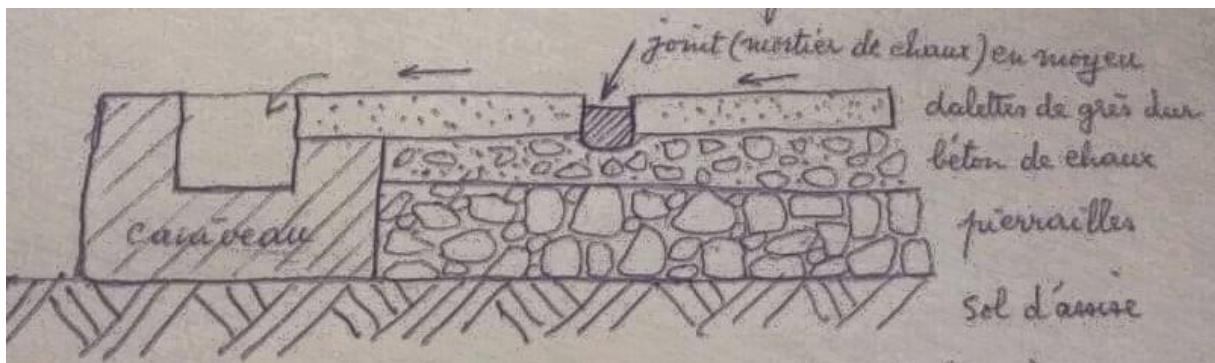


Fig.I.3: Coupe schématique de voie romaine (1^e phase)

On remarque d'après la coupe schématique que les romains ont veillé à l'importance de mettre en place un assainissement pluvial limitant ainsi la détérioration de la chaussée par l'infiltration des eaux.



Fig.I.4: Les voies romaines [3]

Chapitre I : Généralités sur les chaussées routières

Comme il est aussi à signaler que pour des raisons de préservation de leurs intérêts économiques et militaires, en premier lieu, les voies construites ont été dotées de signalisations verticales pour les indicateurs et les distances.

La première route en dallettes de pierres a été construite en Crète vers 2000 avant notre ère avec des dalles de grès à grain fins assemblées par un mortier d'argile et de chaux assise sur du ballast de pierres.

Ce procédé ne s'est pas prolongé trop longtemps car dès l'origine se sont posés les problèmes des cassures et de désemboîtement des dallettes ainsi que la mise en œuvre, de transmission au sol, non économique. [2]

D'où le passage au procédé du « macadam », matériaux durs, cubiques grossièrement, bien posés et bloqués entre eux et butés sur les rives.

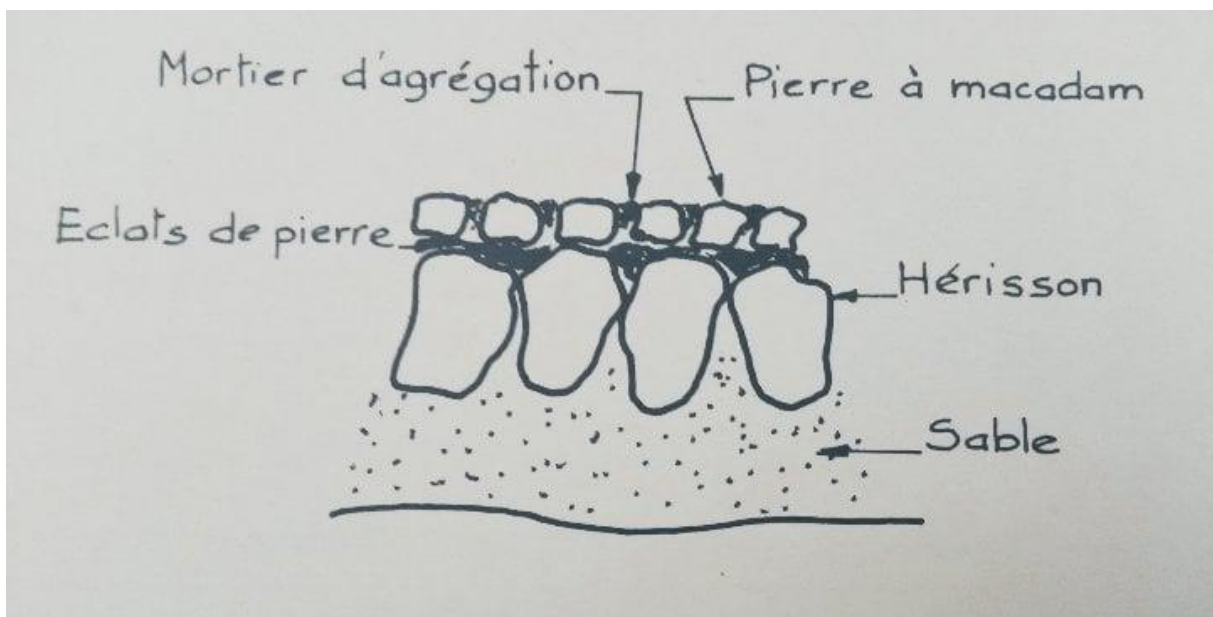


Fig.I.5: Coupe schématique d'une voie en « macadam » classique [19]

Ce procédé a duré assez longtemps, dans tout l'empire romain (des traces encore existantes au niveau de plusieurs villes de l'ex empire romain Algérie : cherchel , djamila , tipaza).

Son emploi a été étendu au moyen Orient et à l'Europe.

Néanmoins les deux types de dégradation (arrachage des pavés et poinçonnement de l'hérissonnage) ont fini à ne faire plus admettre ce procédé avec l'accroissement et le poids des charrettes. [19]

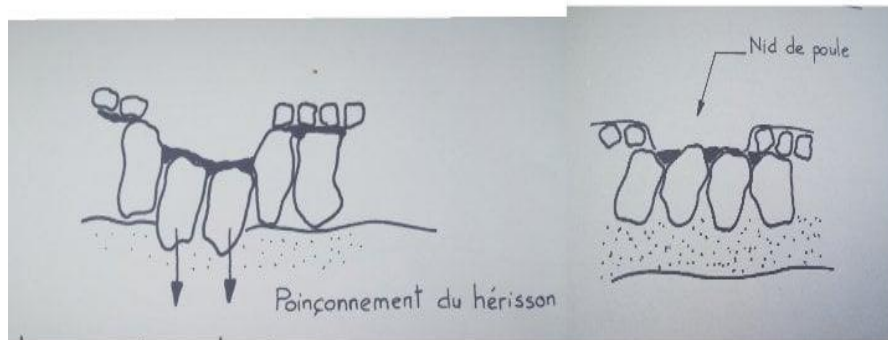


Fig.I.6: Les dégradations de voie en « macadam » (arrachage et poinçonnement) [19]

Sont apparues enfin les routes modernes avec l'introduction des matériaux à granulométrie continue et des liants d'adhérence. Et de ce fait ont été créés, graduellement les spécifications et normes relatives à la construction des routes modernes.

I.3.La chaussée :

I.3.1.Définition :

-Au sens géométrique : c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

- Au sens structurel : c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges. [1]

I.3.2.Rôles :

La structure de chaussée a pour fonction de :

- résister aux actions mécaniques des véhicules aussi longtemps que possible.
- atténuer les charges parvenant aux couches adjacentes.
- protéger le sol de plate forme qui est le plus souvent de faible capacité portante et parfois très sensible à l'eau. [4]

I.3.3.Exigences :

I.3.3.1.Structurelles

- ✓ Durabilité
- ✓ Résistance aux agressions : trafic, climatiques. ^[1]

I.3.3.2.Fonctionnelles

- ✓ Uni
- ✓ Adhérence
- ✓ Bruit de roulement ^[1]

I.3.3.3.Économiques

- ✓ Coût global
- ✓ Entretien réduit ^[1]

I.3.3.4.Esthétiques

- ✓ Intégration au bâti environnant
- ✓ Couleur et luminosité ^[1]

I.3.3.5.Environmentales

- ✓ Préservation des ressources naturelles : prélèvement initial, réutilisation en fin de vie
- ✓ Limitation des nuisances lors de la mise en œuvre. ^[1]

I.4.Descriptif des couches de chaussées :

I.4.1.Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches?

Rappelons que le rôle d'une chaussée est de transmettre sur le sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus au trafic.

La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation.

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes. ^[5]

En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol (Fig.I.7)

I.4.2.Couche de forme:

Pour former un ensemble appelé plate-forme support de chaussée. Cette dernière sert, comme son nom l'indique, de support au corps de chaussée.

Pendant la phase de travaux, la couche de forme a pour rôle d'assurer une qualité de nivellement permettant la circulation des engins pour la réalisation du corps de chaussée. Vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, la couche de forme permet d'augmenter la capacité portante de la plate-forme support de chaussée. ^[6]

I.4.3.Couche d'assise :

Les couches d'assises sont généralement composées de la couche de fondation surmontée de la couche de base. Elles sont constituées de matériaux granulaires en trafic faible et de matériaux élaborés en trafic élevé.

- Couche de fondation: la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier. La plupart des matériaux routiers conviennent le plus souvent à l'exception des matériaux plastiques.
- Couche de base: la construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention particulière : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultant du trafic. ^{[5] ; [6]}

I.4.4.Couche de surface :

La couche de surface est constituée de:

La couche de roulement qui est la partie supérieure en contact direct de l'action conjuguée du trafic et du climat et la couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assises. C'est dans cette partie que l'on retrouve les dispositifs anti remontés d'eau et/ou des fissures des couches sous-jacentes. La nature de la couche de surface dépend de la qualité d'usage de la chaussée. ^[7]

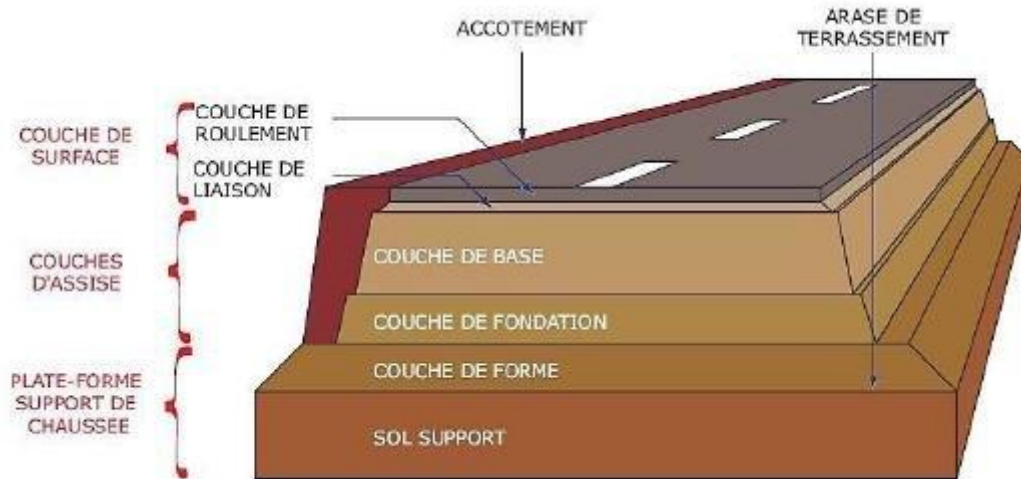


Fig.I.7: Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée

I.5.Divers types de chaussées :

La chaussée constitue un écran dont les dimensions (épaisseurs) et la qualité des matériaux dépend des charges de circulation, tel qu'il en ressort que les voies de communication possèdent des structures différentes l'une par rapport à l'autre.

Sur la base de cette introduction, il ressort que les chaussées des routes ont plusieurs types de structures :

I.5.1.Chaussées souples:

- La structure comporte une couverture bitumineuse mince, parfois réduite à un simple enduit superficiel, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités (GNT).
- L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 à 60 cm ^[9]



Fig.I.8: Coupe type d'une chaussée souple ^[9]

➤ **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]

I.5.2. Chaussées bitumineuses épaisses :

La structure comporte une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés (bitumineux), fait d'une ou deux couches, voire trois parfois.

- L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 15 à 40 cm. ^[9]



Fig.I.9: Coupe type d'une chaussée bitumineuse épaisse ^[9]

➤ **Mode de fonctionnement de la chaussée bitumineuse épaisse :**

La rigidité des couches en matériaux bitumineux permet de diffuser et atténuer fortement les contraintes verticales transmises au sol support de la chaussée. Les contraintes verticales dues au trafic sont reprises en traction-flexion par les couches bitumineuses. Les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche bitumineuse la plus profonde, lorsque les interfaces des différentes couches sont décollées, chacune d'elles se

trouve sollicitée en traction avec une plus grande amplitude et peut rompre prématurément par fatigue. [2]

I.5.3. Chaussées semi-rigides :

• La structure comporte une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une ou deux couches, dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm. [9]



Fig.I.10: Coupe type d'une chaussée semi rigide [9]

➤ 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]

I.5.4. Chaussées mixtes :

• Structure comporte une couche de surface bitumineuse et une couche de base (10 à 20 cm) en matériaux bitumineux (généralement de la grave bitume) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40cm). ^[9]



Fig.I.11: Coupe type d'une chaussée mixte ^[9]

➤ Mode de fonctionnement de la chaussée mixte :

La grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques permet de diffuser et d'atténuer les contraintes transmises au support de chaussée. Les couches bitumineuses ralentissent la remontée des fissures transversales de la couche de fondation. ^[2]

I.5.5. Chaussées inverses :

• La structure comporte entre la couche de fondation traitée aux liants hydrauliques et les couches supérieures bitumineuses, une couche supplémentaire de matériaux granulaires non traités. ^[9]

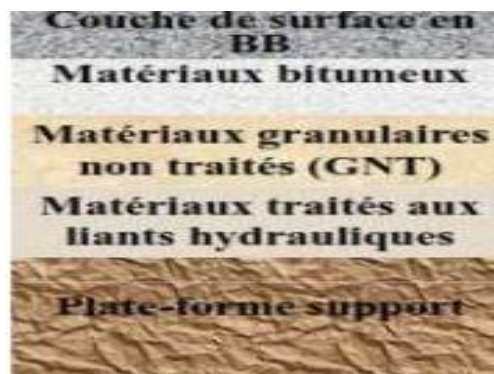


Fig.I.12: Coupe type d'une chaussée inverse ^[9]

➤ **Mode de fonctionnement de la chaussée inverse :**

La rigidité élevée des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales dûes au trafic, qui sont transmises au support de chaussée. La grave non traitée (GNT) permet de ralentir la remontée des fissures de retrait des matériaux traités aux liants hydrauliques. La rigidité des couches bitumineuses (couche de surface + couche de base) permet de diffuser en les atténuant les contraintes verticales transmises à la couche intermédiaire en grave non traitée. Les couches bitumineuses permettent également de retarder la remontée des fissures transversales.^[2]

I.5.6. Chaussées rigides :

Elles sont constituées d'une dalle de béton en ciment portland reposant directement sur la couche de fondation ou sur la plate forme. La dalle de béton joue un double rôle, elle est à la fois la surface de roulement et la couche de base. Elle répartit les efforts de surface dus aux charges de cisaillement sur une large surface afin d'éviter une déformation sur la couche de fondation ou sur l'infrastructure.^[10]



Fig.I.13: Coupe type d'une chaussée rigide ^[9]

➤ **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 couvets, soit par des armatures métalliques longitudinales positionnées au niveau de la fibre neutre. ^[2]

I.6.Présentation des matériaux utilisés dans la structure de chaussée :

I.6.1.Matériaux traités aux bitumes :

I.6.1.1.Grave bitume (GB)

- **Définition :**

Les graves-bitumes 0/20 sont des enrobés bitumineux à chaud (mélange à chaud de granulats séchés et bitume pur).^{[6] ; [8]}

- **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]

I.6.1.2.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

I.6.2. Matériaux traités aux liants hydrauliques :

I.6.2.1. 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]

I.6.2.2. 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 (5 à 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.

I.6.2.3.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]

I.6.3.Matériaux non traités :

I.6.3.1.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).^[8]

-Les GNT de type « B » : sont des matériaux provenant du mélange d'au moins deux fractions granulométriques, malaxées et humidifiées en centrale.^[8]

- **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

I.6.3.2. 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 calcaires 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 :**

-Couches d'assises (base, fondation), pour le réseau principal 2 (RP2).

-TUF1 en couche de forme, pour le réseau principal de niveau 1 (RP1).^[8]

I.6.3.3.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**

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

-SG1 en couche de fondation, pour le réseau RP1 ^[8]

I.6.3.4.Arènes granitiques (AG) :

- **Définition :**

Les arènes granitiques proviennent de l'altération des granites aux conditions de surface. Les feldspaths s'altèrent surtout en Kaolin, les micas s'altèrent partiellement alors que les grains de quartz ne subissent aucune altération. La roche reste en place en gardant une faible cohésion.

Les arènes granitiques sont très répandues dans la région du Hoggar (zone climatique), elles constituent la seule ressource en granulats routiers disponibles dans les conditions technico-économiques ^{[6] ; [8]}

Les arènes granitiques s'extraient facilement et fournissent un sable plus ou moins grossier suivant la texture des roches mères. Elles se classent en trois familles suivantes :

-Arènes graveleuses

-Arènes grenues

-Arènes fines ^[6]

- **Domaine d'utilisation :**

-Couche d'assises (base, fondation), pour le réseau RP2. ^[8]

- **Mise en œuvre :**

- Répandage

- Humidification

- Compactage

- Imprégnation. ^[8]

I.7.Sollicitations supportées par les chaussées :

La chaussée doit permettre d'assurer une circulation en tout temps, avec sécurité et confort et de transmettre toutes les actions dues au trafic au sol support qui, en règle générale, n'est pas capable de les supporter directement. ^[1]

I.7.1.Les actions verticales :

Le rôle essentiel de la chaussée est donc d'assurer la résistance aux actions verticales en répartissant sur une plus grande surface du sol support ses dernières actions. En termes du code de la route, la charge maximum autorisée sur un jumelage isolé est de 65 KN (6,5tonne), soit un essieu standard de 130 KN (13 tonnes). ^[1]

I.7.2.Les actions tangentielles :

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

-De la transmission de l'effort moteur ou de freinage.

-De la mise en rotation des roues non motrices.

-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]

I.7.3. Les actions dynamiques

Des efforts dynamiques peuvent contribuer à modifier les forces qui s'exercent sur la chaussée, qu'il s'agisse des effets dus à l'uni ou encore d'efforts dus à la géométrie même de la chaussée et du véhicule. Les mesures qui ont été faites font apparaître l'existence des surcharges très brèves de durée inférieure au dixième de seconde. ^[1]

I.8. Influence des actions appliquées à la chaussée :

I.8.1. Effet du trafic :

Chaque couche de chaussée subit des écrasements et des flexions sous l'effet du trafic.

Le calcul des efforts et des déformations qui s'effectue traditionnellement en considérant des multicouches élastiques, linéaires, isotropes, nécessite, en premier lieu, la connaissance du module de rigidité E (ou module de Young) et, éventuellement, du coefficient de poisson.

Sous les sollicitations cycliques du trafic, la base des couches structurelles subit une traction répétée qui peut créer des micro-dégradations et entraîner la ruine des couches. Au même temps, la partie supérieure de chaque couche est soumise aux efforts de compression répétée qui peuvent entraîner des déformations permanentes induisant un orniérage à la surface de la chaussée. ^[1]

I.8.2. 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]

I.9.Conclusion :

A partir de ce qui a été cité ci avant, il est nécessaire d'interposer entre les roues des véhicules et le sol support un écran qui aura pour but d'absorber les pressions des charges verticales résultant de ces véhicules pour en transmettre une légère part au sol et de supporter le poinçonnement du stationnement ainsi d'encaisser les variations journalières et saisonnières de température. Aussi sa couche de surface doit être étanche et faire rejeter les eaux de pluie vers l'extérieur de la chaussée.



Chapitre **II** Méthodes De



Dimensionnement Des chaussées

- 1. Introduction**
- 2. Les Méthodes analytiques (théoriques)**
- 3. Approche empirique**
- 4. Les méthodes semi empiriques**
- 5. Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement**
- 6. conclusion**

II.1.Introduction :

Le dimensionnement d'une chaussée consiste aux calculs des épaisseurs des différentes couches du corps de chaussée en prenant en compte les caractéristiques suivants : le sol ou le support, le trafic, les caractéristiques des matériaux disponibles et le climat.

Il n'existe pas des méthodes de calcul universelles applicables rigoureusement à tous les pays. Chaque pays choisit ses propres règles qui s'affinent au gré des progrès réalisés dans la connaissance des paramètres de l'environnement routier et des résultats théoriques sur les modèles mécaniques.

Aussi, existe-t-il un certain nombre de méthodes pratiques plus ou moins adaptées à chaque contexte. Ces méthodes peuvent se regrouper en trois types : Les Méthodes empiriques, semi empiriques et les méthodes analytiques (théoriques).

II.2.Les Méthodes analytiques (théoriques) :

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].

II.2.1.Le modèle de Boussinesq1885

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel, on peut considérer que la pression se répartit de la même manière que dans un sol. Ceci conduit à considérer la structure de chaussée comme un massif semi-infini et proposer une méthode simple de dimensionnement. Avec l'hypothèse d'isotropie et d'élasticité linéaire, ce problème a été résolu par [Boussinesq, 1885]. Pour une charge circulaire de rayon a et de pression q_0 , la contrainte σ_z à l'aplomb du cercle est maximum. A la profondeur z , elle a la valeur:

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

Grâce aux résultats de Boussinesq, on peut trouver la profondeur H du sol où la pression verticale a été suffisamment diffusée pour ne pas dépasser une valeur admissible. On peut ensuite faire correspondre une épaisseur de chaussée H' à l'épaisseur H par une règle simple tenant compte du module E_1 du corps granulaire et du module E_s du sol support. Autrement dit, nous pouvons écrire :

$$H' = H \cdot f\left(\frac{E}{E_s}\right)$$

Où

$$f\left(\frac{E}{E_s}\right) \leq 1$$

La détermination de la fonction f suppose que l'on dispose de modèles bicouches

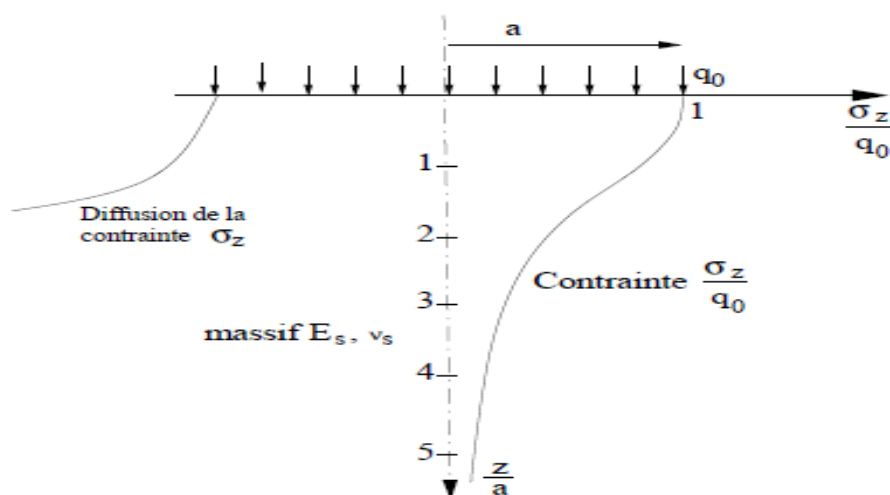


Fig.II.1: Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq [Peyronne et al. 1991]

L'application de ce modèle à l'étude de la fissuration des structures de chaussées présente les Inconvénients suivants :

- ✓ Ce modèle ne peut pas prendre en compte des discontinuités.
- ✓ la zone d'application est limitée (seulement pour les cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel).
- ✓ il ne peut pas modéliser les structures multicouches.

II.2.2. Modèle de Westergaard (1962)

Outre l'hypothèse de plaque mince pour la couche de la chaussée, Westergaard [Westergaard, 1926] a adopté pour le sol une simplification. Celui-ci est considéré comme massif de Winkler, c'est-à-dire un assemblage de ressorts indépendants^[1].

Le déplacement vertical w en un point de contact entre la couche et le massif est alors proportionnel à la pression verticale σ_{zz} en ce point, soit $\sigma_{zz} = kw$ où k est appelé le module de réaction de fondation et est fonction de cette dernière.

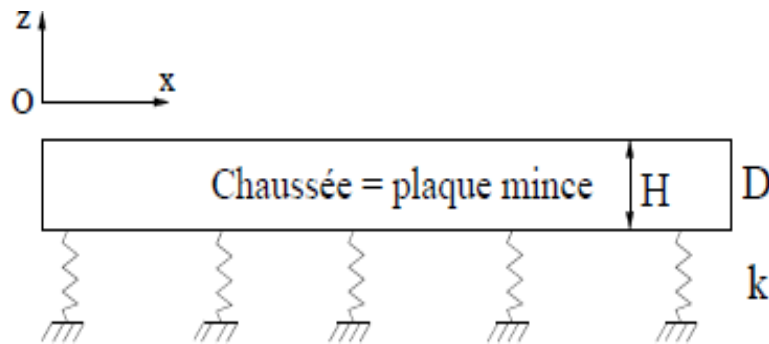


Fig.II.2: Schéma du modèle de Westergaard

Notons D de la rigidité de plaque, nous avons :

$$D = \frac{E_1 H^3}{12(1-\nu_1^2)}$$

Où

H est l'épaisseur de la plaque,

E_1 , ν_1 sont le module d'Young et le coefficient de Poisson de matériau de plaque. En appliquant l'équation de Lagrange pour la plaque, nous obtenons:

$$D\Delta^2 w + Kw = p$$

Où

P : est la pression de la charge.

K : est le module de réaction de la fondation.

Bien que ce modèle soit à la base de la conception des chaussées rigides, pour son application à l'étude des chaussées fissurées, il présente les inconvénients suivants:

- ✓ Les ressorts ont la même rigidité et travaillent indépendamment les uns et les autres.
- ✓ Les cisaillements ne sont pas pris en compte à l'interface chaussée-sol, ce qui influence beaucoup les résultats.
- ✓ Il ne peut pas représenter un complexe de type multicouche de chaussée.

II.2.3. Modèle monocouche de chaussée de Pasternak(1954)

Le modèle de fondation de Pasternak [Pasternak, 1954] améliore le modèle de Westergaad pour la modélisation du sol. Ainsi, le massif de sol est toujours considéré comme un assemblage de ressorts, mais une couche de cisaillement est introduite entre la couche de chaussée et la fondation de Winkler. ^[1]

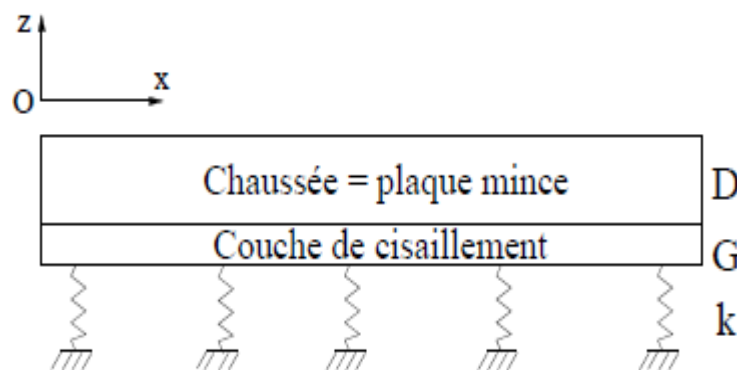


Fig.II.3: Schéma du modèle de Pasternak

Cette couche est constituée de ressorts verticaux incompressibles, qui ne se déforment qu'en cisaillement, de module de cisaillement G. Cette partie ajoutée a pour fonction de ne prendre en compte que le cisaillement à l'interface chaussée-sol.

La détermination du module de réaction k et du module de cisaillement G a été recherchée par certains travaux. [Kerr, 1985] aboutit à la même expression que Westergaad pour k.

G est donné par l'expression suivante :

$$G = \frac{E_1 H}{6(1+\nu^2)}$$

Avec

E_1 et ν_1 le module d'Young et le coefficient de Poisson de la chaussée.

Cependant, Kerr recommande pour les cas usuels de réaliser un calage de la solution analytique avec des points de mesures expérimentaux, pour un résultat fiable.

Aussi, ce modèle présente encore les inconvénients du modèle de Westergaad à savoir :

- ✓ Les ressorts ont la même rigidité et travaillent indépendamment les uns et les autres.
- ✓ La déflexion en un point donné ne dépend que de la contrainte en ce point sans qu'il y ait d'effet exercé par la fondation environnante.
- ✓ Il ne peut pas représenter un complexe de type multicouche de chaussée.

II.2.4. Modèle multicouche de chaussée de Burmister(1943)

Le modèle de Burmister [Burmister, 1943] est schématisé sur la figure II-7. 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]

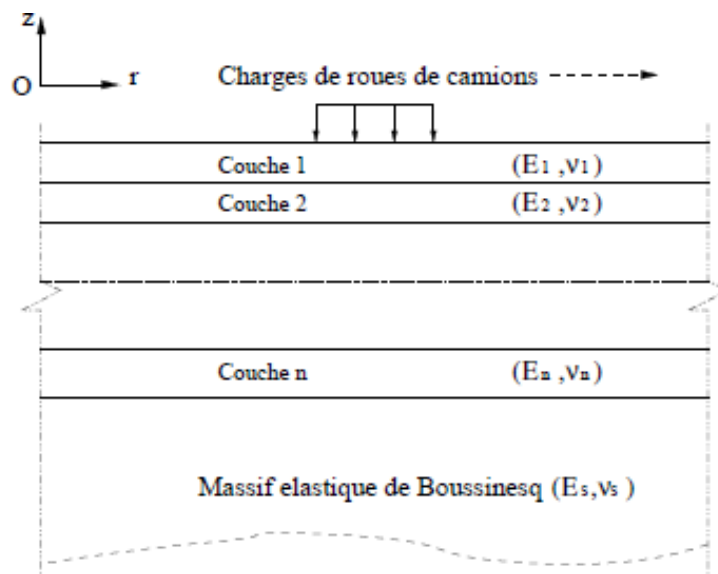


Fig.II.4: Schéma du modèle de Burmister

Les avantages de ce modèle général à n couches sont que :

- ✓ toutes les couches sont examinées comme des solides élastiques, ce qui évite l'hypothèse de plaque des autres modèles.
- ✓ les interfaces entre couches peuvent être collées ou décollées.
- ✓ le calcul par ce modèle est très rapide.

Ce modèle présente encore quelques inconvénients :

- ✓ avec l'hypothèse d'axisymétrie de couche infinie dans le plan, ce modèle ne peut pas aborder la Présence de discontinuités comme celles rencontrées dans les chaussées en béton ou les chaussées fissurées.
- ✓ la charge est considérée circulaire et bien que l'on puisse reconstituer une charge de forme différente par superposition des calculs ce n'est pas tout a fait satisfaisant pour modéliser dans certains cas Une charge de poids lourd.

II.2.5.Modèle de viscoélasticité

Pour l'étude des chaussées souples à faible trafic ou soumises à de forts gradients thermiques, il est nécessaire de prendre en compte le comportement viscoélastique des enrobés bitumineux que le modèle élastique de Burmister ne permet pas de prendre en compte [1].

II.2.6.Modèle aux éléments finis

La méthode des éléments finis n'a pu se développer qu'à partir du moment où l'emploi des calculateurs numériques a été généralisé. Dès 1963, **DUCAN** (1968) a analysé par éléments finis le problème axisymétrique tel que représenté par le modèle multicouche de **Burmister**. Il a étudié par la suite le cas des matériaux ne présentant pas un comportement élastique. Aussi cette approche a été améliorée au cours du temps et d'autres variantes ont été développées permettant d'envisager l'utilisation de modèles de plus en plus réaliste [1]

Le principe général de la méthode des éléments finis consiste à découper la structure de la chaussée en un nombre fini d'éléments géométriques reliés entre eux par des nœuds. La structure considérée est constituée par un assemblage des différents éléments. L'analyse est réalisée sur chacun des éléments pris séparément, puis sur l'ensemble de la structure, conduit dans la méthode des déplacements à une formulation matricielle de type:

$$R.U=C$$

Avec

- R:la matrice de rigidité de la structure, c'est une caractéristique de la géométrie et des propriétés mécaniques de la structure.
- U:le vecteur déplacement des nœuds, il constitue l'inconnu de problème à résoudre.

- C: le vecteur des charges appliquées à la structure.

Cette méthode permet notamment de traiter les cas suivants:

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

II.3.Approche empirique :

Dans cette approche on peut utiliser les données expérimentales pour observer le comportement réel du carrossable sous trafic. Cette méthode empirique consiste premièrement en déterminer les critères pour définir la fin de la durée de vie de la route et des secteurs suivis [1].

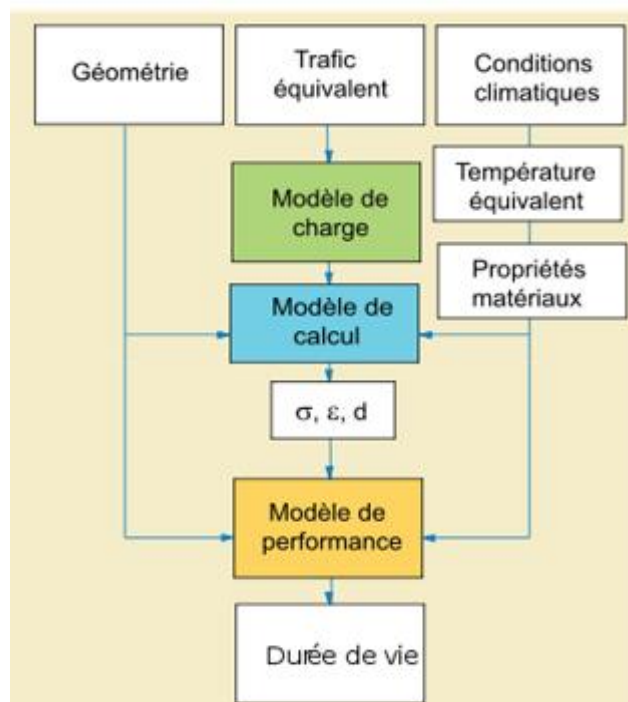


Fig.II.5: Schéma de fonctionnement de la méthode empirique

Cette méthode purement empirique présente un nombre inconnu des avantages:

- ✓ pour connaître pour un tel tracé l'influence de plusieurs paramètres, comme l'épaisseur différente des couches routières et les propriétés mécaniques des matériaux, il faut réaliser un très grand nombre de secteurs expérimentaux, ce qui entraîne des coûts élevés.
- ✓ le temps de réponse est très long car il n'y a aucun effet d'accélération du

trafic, et le risque est grand pendant l'exploitation.

- ✓ les résultats obtenus de cette manière, par analyse de régression statistique, s'appliquent seulement pour un matériau considéré dans le milieu d'expérimentation. [3]

II.3.1.Méthode CBR (Californian-Bearing -Ratio):

La première tentative de détermination de l'épaisseur des chaussées est datée des années 1930 et est due à l'ingénieur en chef en Californie à qui revient le mérite de la mise au point de la méthode CBR (Californian bearing ratio) [3].

Cette méthode est liée à l'utilisation de matériau non cohérent à granularité continue et est basée sur l'essai empirique CBR, la méthode utilise un abaque consistant en courbes comportant en abscisse CBR et en ordonnée l'épaisseur de la chaussée. Chaque courbe correspond à une charge par roue. Cet abaque sert pour chaque couche de chaussée caractérisée par son indice CBR à déterminer l'épaisseur du matériau à mettre-dessus d'elle. Cette méthode qui s'avère très correcte dans le cas de couche granulaire s'est montrée insuffisante lorsque la technique s'est orientée vers des matériaux liés. L'ingénieur français R.PELTIER a remarqué que les abaques CBR américains peuvent s'exprimer avec une approximation très satisfaisante par la formule:

$$e = \frac{(100) + 150\sqrt{P}}{I + 5}$$

Avec

- e: épaisseur équivalent en (cm)
- I_{CBR} : indice CBR (sol support)
- P: charge par route P = 6.5 t (essieu 13t)

Cette formule est valable pour un trafic moyen $T_0 = 10^5$ /an/ml pour un trafic fort T ($T > T_0$) il est recommandé de majorer la charge de la route P par le rapport $\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1/5}$

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P} \sqrt{\frac{T}{T_0}}}{I + 5}$$

On peut appliquer aussi pour ($T > T_0$) la formule donnée par les abaques anglais

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

- N: désigne le nombre journalier de camion de plus 1.5 T à vide
- Log: logarithme décimal
- **Coefficient d'équivalence**

L'épaisseur de la chaussée telle qu'elle vient d'être calculée correspond à un matériau défini : grave propre bien graduée. D'autres matériaux permettent de réduire l'épaisseur ou au contraire par moment à l'augmenter ; dans ce cas l'épaisseur de la couche se réduit de celle qui vient d'être calculé en devisant cette dernière valeur par l'équivalence. ^[3]

Le tableau II.1 indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment	1.50
Grave bitumen	1.60 à 1.70
Grave concasséeougravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse	0.75
T.V.O	
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60

Tableau II.1. Les valeurs des coefficients d'équivalence

II.3.2. Méthode asphalte Institute

Cette méthode est issue des essais A.A.S.H.O (American association state highway), pour pallier l'insuffisance notée ci-dessus pour la méthode CBR et tient compte de l'expérience tirée des anciennes méthodes publiées par l'asphalte institute, elle est basé sur un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. Les étapes successives à suivre de cette méthode sont les suivantes. ^[1]

a-Trafic

Le trafic est représenté par un nombre appelé « design traffic number (DTN) » qui est le nombre moyen journalier de passage d'essieux équivalents de 18000 livres sur la voie la plus chargée durant la vie de la chaussée

Si :

DTN <10 trafic léger

10 <DTN < 100 trafic moyen

DTN >100 trafic lourd

La durée de vie normale est 20 ans. On commence par la recherche du nombre moyen journalier de véhicules de divers catégories dans le sens et on applique à chaque charge des essieux, un coefficient d'équivalence.

Le produit de nombre passage des essieux de chaque catégorie par le facteur d'équivalence correspondant donne un nombre qui divisé par 1000, est appelé truck factor

On adopte pour la répartition du trafic entre les voies de la route le pourcentage donné dans le Tableau II.2

Nombre de voies	Pourcentage de trafic par voie
2	50
4	45
6 et plus	40

Tableau II.2. Pourcentage de trafic par voie

On calcule le coefficient d'accroissement K de la circulation sur une période « n »

$$K = \frac{(1+\tau)^{n+1} - 1}{n(\tau)}$$

Avec

- τ : taux d'accroissement annuel de la circulation
- n: nombre d'année de service

Finalement on calcule de design trafic nombre

$$DTN = T_f \cdot C \cdot K \cdot N$$

- N: nombre de camions de poids total supérieur à 5 tonnes circulant dans les deux sens par jour

b-Calcul de l'épaisseur de la chaussée

La méthode asphalte Institute détermine l'épaisseur totale d'une chaussée entièrement réalisée en béton bitumineux (BB) à l'aide d'un abaque .si on veut des couches en d'autres matériaux il suffit de tenir des coefficients d'équivalences.

Utilisation de l'abaque

-intersection du droit correspondant de DTN avec le vertical correspondant au CBR donne la valeur T_A qui est l'épaisseur totale de la chaussée entièrement en BB.

-intersection de la droite avec la ligne A dans la valeur t_A qui est l'épaisseur minimum de l'enrobé de la couche de la surface.

II .3.3 La méthode TRRL

Du nom de « Transport Road Research Laboratory », la TRRL fait partie des méthodes pratiques de dimensionnement. Elle est issue de la méthode CBR et s'appuie sur cette dernière pour publier des abaques en 1962 abaque appelé Road Note 29 à la suite des observations des Chaussées britanniques durant 15ans. Ces abaques fixent les épaisseurs minima du revêtement et de la couche de base en fonction du trafic uniquement. Seule l'épaisseur de la couche de fondation dépend de la valeur du CBR du sol de plate-forme, la couche de base étant en concassé. Dans la même période sont connus les résultats des essais AASHO en particulier la notion du coefficient d'équivalence des matériaux. Ainsi en 1971 le TRRL de Londres publie la Road Note 31 pour les territoires anglophones (la 29 étant relégués à la métropole)^[1].

Ce guide insiste sur les aspects essentiels :

- ✓ La prise en compte de l'influence du climat tropical sur les conditions de teneur en eau de sol de plate- forme. Les sols de plate-forme sont classés en fonction du niveau de la nappe et de ses fluctuations en fonction des saisons;
- ✓ Adoption souhaitable d'un aménagement par étapes de la chaussée lorsque le taux d'accroissement du trafic est élevé ou Que les prévisions à long terme sont

incertaines. Tout comme la Road Note 29, les épaisseurs de la couche de base et du revêtement sont fixées en fonction du trafic exprimé en nombre d'essieux standards de 8.2t cumulés par sens de circulation pendant la durée de vie qui va de 0 à 20 ans. La couche de fondation est déterminée en fonction du CBR de la plate-forme avec cependant une épaisseur minimale de la fondation prise à 10 cm. Le CBR de la plate-forme correspond à la teneur en eau la plus élevée susceptible de se produire dans le sol après la mise en service. En plus de ces abaques elle a également amélioré la formule de calcul de l'épaisseur de la chaussée de la méthode CBR. [3]

II.4. Les méthodes semi empiriques :

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

II.4.1. La méthode du guide technique SETRA-LCPC (Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

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

- ✓ De fixer une stratégie technico-économique valable pour l'ensemble du réseau des routes nationales.
- ✓ De fournir à tous les services extérieurs et au réseau technique de l'Etat des solutions bien définies et comparables.
- ✓ D'éviter au projecteur de devoir procéder à des calculs laborieux à une époque où les moyens informatiques étaient encore limités.
- ✓ Le guide ne fixe pas les options, ni les valeurs des paramètres de base dont le choix incombe au maître d'ouvrage [1].

Il renferme dans sa démarche les étapes suivantes:

a) Pré dimensionnement :

En Pré dimensionnement, il s'agit de faire le choix de la couche de roulement en fonction des objectifs et des caractéristiques recherchées :

-Sécurité : (épaisseur, adhérence initiale, adhérence à 5ans, drainabilité de Surface).

-Confort (amélioration de l'uni, silence, photométrie).

-Possibilité d'apport structurel (imperméabilité de surface anti- remontée de Fissures, orniérage).

-de nature de la couche de roulement (enduit superficiel, béton bitumineux, béton de Ciment etc.).

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

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

b) Calcul de la structure :

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

c) Vérification de la fatigue de la structure :

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

d) Ajustement des épaisseurs calculées :

Enfin on passe à l'ajustement des épaisseurs calculée

II.4.2.Méthode CEBTP

La méthode CEBTP est le fruit d'un travail d'équipe chargée de faire une étude générale sur le comportement et le renforcement de 7000 km de chaussées bitumineuses. Elle est composée d'ingénieurs du Centre Expérimental de Recherche et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) en collaboration avec ceux des pays d'Afrique tropicale et de Madagascar ayant une expérience des chaussées des pays tropicaux. Ce travail rédigé en 1971

sous forme de manuel est présenté depuis 1984 dans un document intitulé « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ». ^[1]

La méthode a deux principes de base:

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

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

- ✓ Un minimum de compacité au niveau supérieur des terrassements: l'élimination sur les trente derniers centimètres des matériaux instables ou gonflants.
- ✓ Un minimum de compacité et une portance ou stabilité adéquate au niveau des couches de base et de fondation.
- ✓ Une dureté satisfaisante des agrégats destinés à constituer les couches de base ou de surface.
- ✓ La réalisation de revêtements minces et déformables.
- ✓ Enfin au niveau des accotements et dans la mesure du possible, la réalisation d'une butée et d'une imperméabilisation suffisante, grâce à des conditions de mise en œuvre et à un choix de matériaux semblables à ceux utilisés dans le corps même de la chaussée.^[1]

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

S1: CBR<5

S2: 5<CBR< 10

S3:10< CBR< 15

S4: 15< CBR< 30

S5:>30

Et le trafic exprimé en véhicules jour est représenté en quatre classes donnant le nombre total de véhicules devant emprunter journallement la chaussée pendant quinze ans.

Classe de trafic	Trafic équivalent en véh/j	Trafic en nombre cumulé de Poids Lourds (PL)
T₁	<300	$< 5 \times 10^5$
T₂	300 à 1000	5×10^5 à 1.5×10^5
T₃	1000 à 3000	1.5×10^6 à 4×10^6
T₄	3000 à 6000	4×10^6 à 10^7
T₅	600 à 12000	10^7 à 2×10^7

Tableau II.3.Classes de trafic

II.4.3.Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P) :

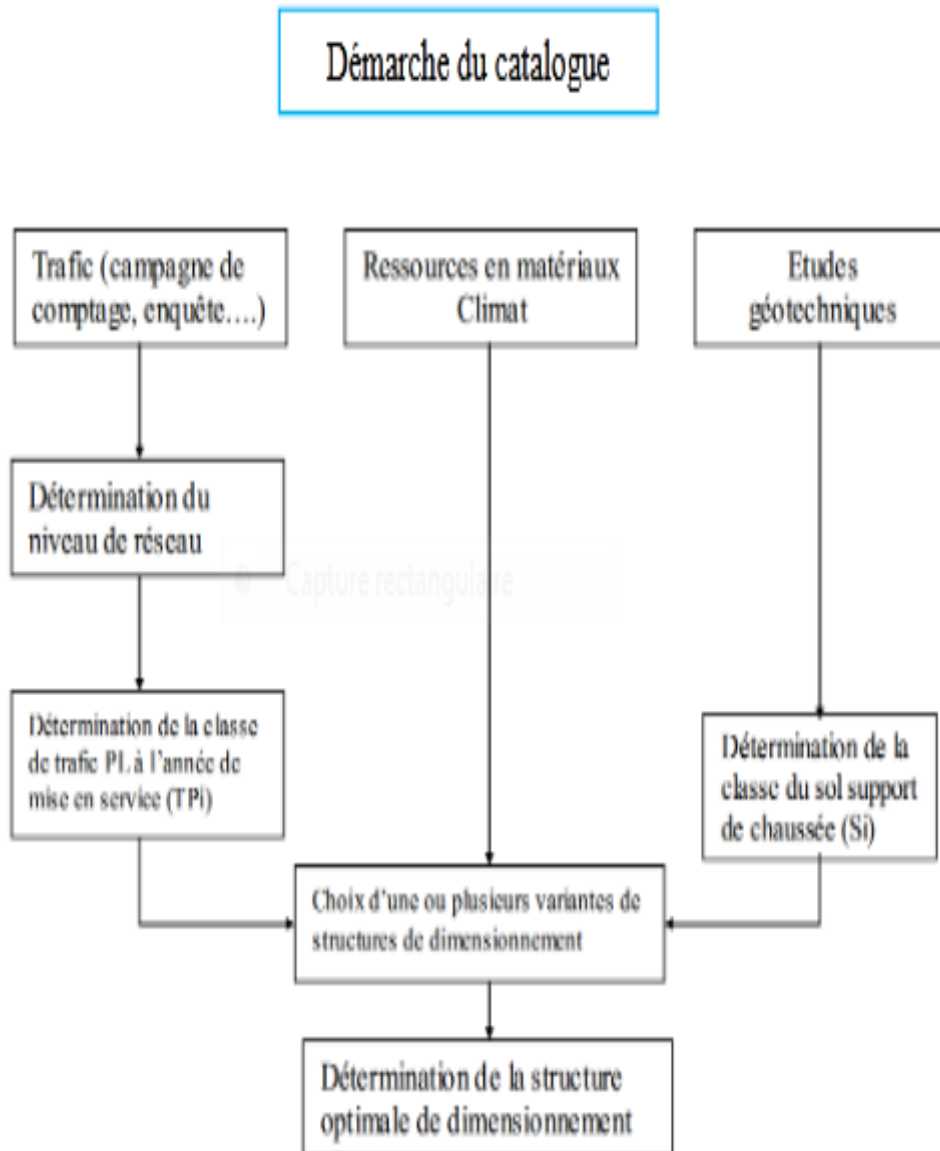
La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelle qui se base sur deux approches : ^[13]

- Approche théorique.
- Approche empirique.

L'utilisation de catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussées : trafic, matériaux, sol support et environnement.

Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction de cela on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée. ^[13].

II.4.3.1. Démarche du catalogue : ^[9]



II.5 Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement:

Au vue de ce qui a été développé dans cette partie, Nous constatons que chaque approche présente des avantages et inconvénients résumés dans le Tableau II.4

Méthode	Avantages	Inconvénient
Empirique	facilité de calcul	Les résultats des analyses ne peuvent pas être généralisés car ne s'appliquant qu'aux matériaux étudiés, aux conditions d'environnement de l'expérience et aux sols supports rencontrés
Théorique	<ul style="list-style-type: none"> • Minimise les erreurs • Prise en compte des compositions réelles du Trafic et des matériaux locaux. • Adaptation aux différentes conditions environnementales et climatiques 	Base théorique donc aucune certitude pratique

Tableau II.4. Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement ^[8].

II.6. Conclusion :

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement des chaussées, et de mise en œuvre des structures routières permettant une méthodologie de Dimensionnement des chaussées plus intéressante selon la réglementation algérienne et d'essayer de Proposer une structure de chaussée.



Chapitre **III** critères de choix des



Structures de chaussées

- 1. Introduction**
- 2. Choix d'une structure de chaussée: critères techniques, économiques et environnementaux**
- 3. Conclusion**

III.1.Introduction:

La réalisation de la chaussée est l'aboutissement d'une élaboration longue et complexe, nécessitant un enchaînement de choix. Le choix du tracé, d'abord, est essentiellement politique et économique. Il devra assurer certaines liaisons et permettre les échanges. Il en résultera un trafic de véhicules que la route devra pouvoir supporter. En fonction de ce trafic et des caractéristiques des sols rencontrés, plusieurs solutions techniques pourront être proposées pour la structure de la chaussée. Une analyse multicritère (technique, économique, environnementale, etc.) permettra de déterminer la solution la mieux adaptée.

III.2.Choix d'une structure de chaussée: critères techniques, économiques et environnementaux :

Les aspects techniques porteront sur le choix de la structure proprement dite, des matériaux (liants, granulats, etc.) et des différentes couches constituant la chaussée.

Les aspects économiques porteront sur le coût de l'investissement mais aussi sur son coût d'usage et d'entretien pendant une période de service donnée.

Les aspects environnementaux porteront sur l'analyse du cycle de vie de l'ouvrage (du berceau jusqu'à la tombe) ^[5].

Les deux tableaux x suivants résument le principe de choix d'une structure souple et d'une structure en béton de ciment :

	Trafic	Environnement	Mode d'endommagement
Structure souple	<p>Structure de très faible rigidité, fortement dépendante de celle du sol et de ses variations.</p> <p>Les efforts verticaux sont transmis au support avec une faible diffusion latérale.</p> <p>Les déformations plastiques du sol et de la grave se répercutent à la surface, les enrobés s'endommagent par des efforts de traction flexion à leur base.</p>	<p>Les variations hydriques du sol support affectent fortement la chaussée.</p> <p>Importance très forte du drainage et de l'imperméabilisation de la couche de surface.</p>	<p>→déformations permanentes du type orniérage à grand rayon, flaches et affaissements.</p> <p>Ces déformations augmentent avec le trafic cumulé.</p> <p>→fatigue des enrobés.</p> <p>→fissures d'abord isolées</p> <p>→faiçonnage à maille de faibles dimensions,</p> <p>→épaufrures aux lèvres, départ de matériaux, nid de poule, destruction de la chaussée.</p>

Tableau III.1.Principe de choix d'une structure souple. ^[11]

	Trafic	Environnement	Mode d'endommagement
Structure rigide	<p>Du fait du module d'élasticité élevé du béton, les efforts sont repris en flexion par la couche de béton et les pressions sur le sol sont très faibles.</p> <p>La fissuration de retrait et de prise est contrôlée soit par la réalisation de joints transversaux, soit par des armatures continues longitudinales à la fibre neutre.</p> <p>Le transfert de charge au droit des joints est parfois assuré par des goujons en acier.</p>	<p>Les sollicitations thermiques sont parfois plus contraignantes que celles du trafic.</p> <p>Les variations de températures entraînent des variations de longueurs des dalles contrariées par l'adhérence au support.</p> <p>Des contraintes de traction (phase de retrait) se développent d'autant plus que les dalles sont longues et que l'adhérence est forte.</p>	<p>→fissuration en coin ou en pleine dalle par fatigue.</p> <p>→L'évolution des conditions d'appui au voisinage des joints et fissures crée des phénomènes de pompage, du à la présence d'eau à l'interface fondation-dalles se traduisant par une dissymétrie des efforts et déplacements de part et d'autres des discontinuités.</p>

Tableau III.2 Principe de choix d'une structure rigide. ^[11]

Il s'agira en fait d'établir un véritable bilan prévisionnel (technique, économique et environnemental) pour chaque solution technique envisagée. Longtemps, cela n'était pas pratique courante aussi bien pour des raisons techniques qu'administratives mais l'élargissement de l'éventail des solutions béton associé à la préoccupation, de plus en plus marquée de la part des élus et des administrations, de rigueur dans les choix techniques, de bonne gestion et de respect de l'environnement, font que ce bilan est établi aujourd'hui sur de plus en plus de projets routiers et constitue l'élément de décision majeur du décideur. Le choix qui en découle se porte en général, vers la solution qui minimise les impacts sur l'environnement et le coût global de l'opération avec un écart de prix significatif. A défaut, on privilégie normalement les solutions permettant d'assurer, dès la construction de la route, un service de longue durée n'entraînant qu'un entretien peu fréquent et léger, de manière à satisfaire l'utilisateur et l'administration.^[5]

Pour chaque projet routier, il est donc nécessaire de procéder à une analyse multicritère détaillée et comparative des diverses solutions afin d'établir les atouts de chacune d'entre elles.

Pour que cette comparaison soit judicieuse, les calculs doivent intégrer notamment les facteurs suivants:

- les structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic,
- le coût global,
- l'analyse de cycle de vie de l'ouvrage sur le cycle complet (du berceau à la tombe).^[5]

III.2.1. Structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic :

Pour que la comparaison soit valable, il convient que les structures de chaussées, adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic, soient équivalentes au sens mécanique du terme, c'est-à-dire capables de supporter sans dégradation les sollicitations du trafic et les conditions climatiques pendant une même période de service. Dans ce cas, le choix de la technique de construction pourrait être conditionné par le prix à l'investissement initial. Mais, pour différentes raisons, la réalité est tout autre:

- la stratégie de dimensionnement n'est pas unique. Elle peut être à durée de service courte mais à un coût d'investissement initial réduit ou à durée de service longue mais à un coût d'investissement initial plus important.^[5]

- à stratégie égale, les structures des chaussées supportent plus ou moins bien les sollicitations du trafic et les conditions climatiques. Par conséquent, elles peuvent nécessiter, durant la période de service prévue, des séquences d'entretien différentes. Donc des coûts d'entretien courant différents.
- vers la fin de la période de service prévue, la remise en état des différentes structures nécessite des travaux de renforcement différents.

Ainsi, pour pouvoir réaliser une comparaison économique entre différentes structures possibles, il est nécessaire de prendre en compte non seulement les coûts de construction, mais aussi les coûts d'entretien et de renforcement nécessaires pour que les structures assurent leur fonction pendant la même période de comparaison. [5]

III.2.2. Coût Global :

Pour tenir compte de l'échelonnement dans le temps des différents coûts (coût de construction, coûts des travaux d'entretien courant, coût des travaux de renforcement), il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour évaluer les divers coûts à la date de construction de la voirie. [12]

Le coût global « Ct » est ainsi exprimé en valeur actualisée. Il représente la somme dont on doit disposer au moment de la construction pour réaliser et entretenir une route sur une période de service prévue.

L'expression du coût global « Ct » s'écrit alors:

$$\boxed{\mathbf{Ct = Pc + (Ec)actualisé + (R)actualisé}}$$

Avec :

Pc: coût de construction

(Ec) actualisé: l'ensemble des coûts d'entretien courant actualisés sur la période de comparaison.

(R) actualisé: l'ensemble des coûts actualisés des travaux de renforcement sur la période de comparaison. [12]

a) Le coût de construction - Comment l'optimiser?

Souvent, le bilan économique est favorable à la solution pour de nombreuses raisons. On peut citer à cet égard les éléments suivants: ^[12]

- minoration des terrassements car l'épaisseur de la chaussée est plus faible dans le cas des structures béton.
- suppression de la « double voirie » dans les cas de voiries de lotissement: certaines solutions obligent à refaire une voirie pour les usagers lorsque la première a été détruite par la circulation des engins de chantier.
- possibilité de couler en même temps les caniveaux mais aussi les bordures de trottoirs; dans ce dernier cas, l'utilisation d'une mini-machine à coffrage glissant est indispensable.
- économie sur l'éclairage: consommation d'électricité et nombre de lampadaires réduits grâce à la couleur claire des voies.
- esthétique, balisage et signalisation par mélange de teintes, textures et aspects de surface dans le cas des voies ou des parkings réalisés en béton coloré et traité.

Il est intéressant de tenir compte de ces économies dans l'évaluation des coûts de construction des voiries.

b) Comment actualiser les coûts d'entretien et de renforcement?

- Taux d'actualisation et coefficient d'actualisation

Pour pouvoir effectuer une intégration des coûts de construction avec ceux d'entretien et de renforcement, il est nécessaire d'utiliser un taux d'actualisation pour ramener tous les coûts à la date de construction du projet, les dépenses étant décalées dans le temps.

La valeur du taux d'actualisation « a » est égale à la différence entre l'intérêt sur le capital d'emprunt et l'inflation. Nous admettons que le taux d'actualisation, d'une année sur l'autre, est constant. Ainsi, le coefficient d'actualisation « Ca » de l'année « j » à l'année zéro « 0 » s'écrit:

$$Ca = \frac{1}{(1+a)^j}$$

Avec: a: le taux d'actualisation

Ca: le coefficient d'actualisation de l'année « j » à l'année « 0 ». ^[12]

- Coût d'entretien courant actualiser : (Ec) actualisé

La méthode consiste à évaluer les coûts d'entretien courant actualisés en partant de scénarios d'entretien connus et établis sur la base du comportement réel des structures existantes. Si un tel scénario prévoit pour une structure donnée des travaux d'entretien courant aux âges « i », « j » et « k » dont les coûts - valeur le jour de l'étude - sont respectivement (Ec)_i, (Ec)_j et (Ec)_k, la formule suivante permet d'évaluer le coût d'entretien courant actualisé sur une période donnée:^[12]

$$(\mathbf{Ec})_{\text{actualisé}} = \frac{(\mathbf{Ec})_i}{(1+a)^i} + \frac{(\mathbf{Ec})_j}{(1+a)^j} + \frac{(\mathbf{Ec})_k}{(1+a)^k}$$

- coût actualisé des travaux de renforcement: (R) actualisé

La méthode consiste à évaluer ces coûts en partant de scénarios de renforcement établis sur la base du comportement réel des structures existantes. Pour amener une structure au terme d'une période de comparaison prévue, il est nécessaire d'effectuer pour certains types de chaussées des travaux de renforcement à des intervalles de temps réguliers.

Prenons « r_j » le coût actuel des travaux de renforcement prévus à l'âge « j » et supposons que ces travaux de renforcement doivent être exécutés périodiquement tous les « j » années, l'expression du coût actualisé des travaux de renforcement sur une période de comparaison prévue « N » sera ^[12]:

$$(\mathbf{R})_{\text{actualisé}} = \frac{r_j}{(1+a)^j} + \frac{r_{2j}}{(1+a)^{2j}} + \dots + \frac{r_{nj}}{(1+a)^{nj}}$$

Où:

r_j: le prix actuel des travaux de renforcement qui devraient être exécutés dans « j » années

r_{2j}: le prix actuel des travaux de renforcement qui devraient être exécutés dans « 2j » années

r_{nj}: le prix actuel des travaux de renforcement qui devraient être exécutés dans « nj » années.

c) Coût global « Ct »

Pour une période de comparaison « N » donnée, le coût total « Ct » d'une structure de chaussée, exprimé en valeurs actualisés, s'écrit ainsi:

$$Ct = Pc + (Ec) \text{ actualisé} + (R) \text{ actualisé}$$

Connaissant les valeurs de Pc, (Ec) actualisé et (R) actualisé pour chacune des structures envisagées; nous pouvons évaluer, pour chacune d'elles, le coût total sur la période de comparaison.

La comparaison des coûts totaux, correspondant aux différentes structures envisagées, permet ainsi de faire apparaître la technique la plus économique ^[5]

III.2.3. Analyse du cycle de vie de l'ouvrage :

Un bilan par analyse de cycle de vie ACV doit être effectué pour chaque technique envisagée. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus de différentes bases de données et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.^[5]

Les indicateurs environnementaux sont calculés pour :

- la fabrication des matériaux de base (ciment, granulats, bitume, goujons et armatures).
- le transport des matériaux en phase de construction (transport des matériaux de base vers les centrales, transport des mélanges de la centrale vers le chantier).
- la fabrication des mélanges bitumineux et des bétons.
- les opérations de mise en œuvre sur chantier.
- l'entretien (y compris le transport des matériaux et des déchets).

Nous rappelons ici la liste des indicateurs considérés :

- consommation d'eau en litre.

Chapitre III : Critères de choix des structures de chaussées

- contribution à l'épuisement des ressources, quantités de combustibles et de matières premières rares utilisées par le projet divisées par les réserves mondiales correspondantes, ce rapport est exprimé en kg de lanthane.
- déchets générés en kg.
- déchets radioactifs générés en kg.
- contribution à l'effet de serre (potentiel de réchauffement global, GWP) en kg d'équivalent CO₂.
- contribution à l'acidification, en kg d'équivalent SO₂.

Ces indicateurs peuvent être globaux, c'est-à-dire à l'échelle planétaire, comme les indicateurs énergie et gaz à effet de serre, ou locaux/régionaux tels l'acidification, l'eutrophisation, etc. ^[12]

Tous ces indicateurs sont équivalents en matière d'impact sur l'environnement, le caractère local ou régional n'enlevant rien à l'importance de chacun.

Le bilan environnemental final présente les résultats de la comparaison des solutions techniques retenues, sur le cycle complet construction et entretien. ^[12]

III.3. Conclusion :

La route est soumise à une série d'agressions causées par les véhicules et les agents atmosphériques. Pour empêcher une détérioration irréversible de la chaussée, le Maître d'ouvrage est conduit à faire effectuer une série d'opérations d'entretien et de renforcement dont l'importance est fonction de la technique adoptée, des conditions climatiques, du trafic, etc.

Ces opérations peuvent constituer un souci permanent et des charges importantes pour la collectivité locale.

Par conséquent, pour évaluer la répercussion économique du choix d'un type déterminé de chaussée, il faut tenir compte, non seulement du coût de construction, mais aussi des coûts d'entretien et de renforcement répartis sur la période de service adoptée pour l'ouvrage.

D'autres paramètres peuvent avoir une influence dans le choix de la technique de construction mais qui sont difficiles à quantifier, comme le coût social et le coût de la sécurité.



Chapitre **IV** Exemple de

Dimensionnement des chaussées



- 1. Introduction**
- 2. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)**
- 3. Application au projet**
- 4. conclusion**

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.1.Introduction:

En se basant sur les données du trafic fournis par la direction des travaux public de la wilaya de Tlemcen, nous allons dimensionner la chaussée de la Route Nationale RN98. Le dimensionnement de la chaussée se fera pour une chaussée souple et une chaussée rigide en se basant sur la méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP).

IV.2.Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP):

Le catalogue de dimensionnement des chaussées fait appel à certaines hypothèses et données qui permettent au projeteur de mieux appréhender le dimensionnement des chaussées soit en réseau principal de niveau 1 (RP1) ou en réseau principal de niveau 2 (RP2).^[1]

Pour la modélisation des structures types, il est fait appel au modèle multicouche élastique et linéaire de BURMISTER.

Les modules et coefficients de Poisson (E, ν), correspondant aux différents types de matériaux figurant dans les fiches techniques de dimensionnement, ont été obtenus en laboratoire sur des matériaux représentatifs.^[1]

IV.2.1.Constitution des structures de chaussées:

Afin de mettre en place une terminologie adaptée pour la démarche du catalogue, il est nécessaire de définir d'une manière exacte la constitution des structures de chaussées. Deux types de structures sont proposés :^[16]

- **Structure type 1** : pour un matériau non traités (MNT), matériau traités aux bitume(MTB) et matériau traités au laitier granulé (MTLH)^[16]

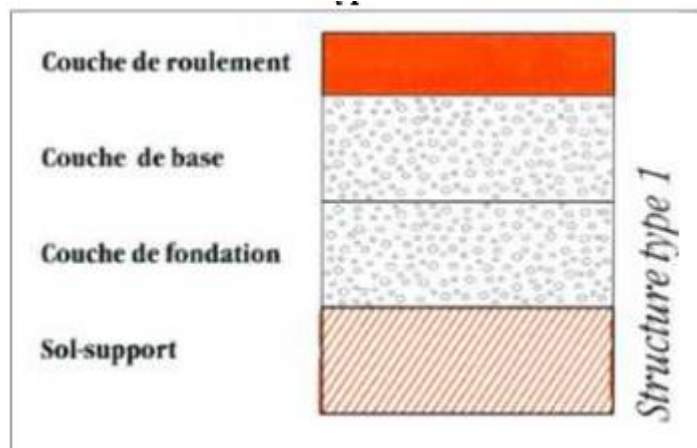


Fig.IV.1: Structure d'une chaussée type1

- **Structure type 2** : pour Béton de Ciment.

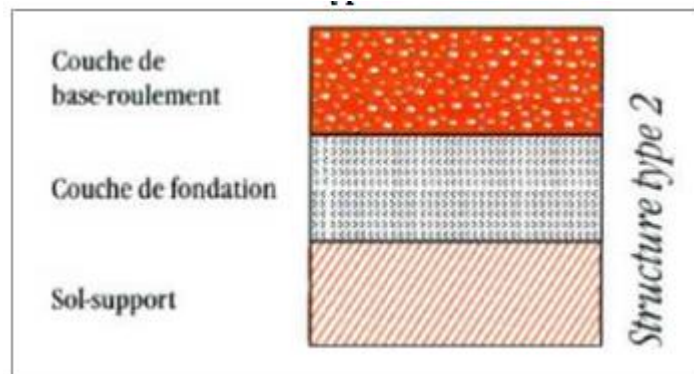


Fig.IV.2: Structure d'une chaussée type 2

IV.2.2.Description des structures types

IV.2.2.1.Réseau principal de niveau 1 (RP1)

Les structures rencontrées sont de types 1 et 2, elles couvrent les techniques suivantes :^[9]

- **Structure type 1** :

Ce type concerne les techniques suivantes :

➤ **Matériaux traités au Bitume (MTB)**

Il s'agit de structure à assises traitées au bitume, on retrouve :

Structure GB/GB :

- Couche de base en Grave Bitume
- Couche de fondation en Grave Bitume

Structure GB/GNT :

- Couche de base en Grave Bitume
- Couche de fondation en Grave non traitée

Structure GB /TUF1 :

- Couche de base en Grave Bitume
- Couche de fondation en Tuf de classe 1

Structure GB/SG 1 :

- Couche de base en Grave Bitume
- Couche de fondation en Sable Gypseux de classe 1.^[16]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

➤ **Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)**

Il s'agit d'une structure à assise traitée au liant hydraulique :

Structure GL/GL:

- Couche de base en Grave Laitier
- Couche de fondation en Grave Laitier

• **Structure de type 2:**

Il s'agit d'une structure particulière et qui concerne la technique Béton de Ciment goudonné

Structure BCg/GC :

- Couche de base-roulement en Béton de Ciment goudonné
- Couche de fondation en Grave Ciment. [9]

IV.2.2.2.Réseau principal de niveau 2 (RP2)

Les structures sont de type 1, elles couvrent les techniques suivantes :

➤ **Matériaux traités au Bitume (MTB)**

Structure SB/SG 1 :

- Couche de base en Sable Bitume
- Couche de fondation en Sable Gypseux de classe 1

➤ **Matériaux non traités (MNT)**

Il s'agit de techniques à assises en matériaux non traités.

Structure GNT/GNT* :

- Couche de base en Graves non traitées
- Couche de fondation en graves non traitées

Structure TUF1/TUF1:

- Couche de base en Tuf de classe 1
- Couche de fondation en Tuf de classe 1

Structure TUF2/TUF2 :

- Couche de base en Tuf de classe 2
- Couche de fondation en Tuf de classe 2

Structure SG 1/SG 1 :

- Couche de base en Sable Gypseux de classe 1
- Couche de fondation en Sable Gypseux de classe 1

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

Structure SG2/ SG2 :

- Couche de base en Sable Gypseux de classe 2
- Couche de fondation en Sable Gypseux de classe 2

Structure AG/ AG :

- Couche de base en Arène Granitique
- Couche de fondation en Arène Granitique

Types de Matériau	Fiche structure n °	Types de structure	Zones climatiques
MTB	1	GB/GB	I, II
	2	GB/GNT	I, II
	3	GB/GNT	III
	4	GB/SG1	IV
	5	GB/TUF 1	III
MTLH (matériaux Traités aux liants hydrauliques)	6	GL/GL	I, II
	7	BCg/GC	I, II

Tableau IV.1. Réseau principal de niveau 1 (RP1) ^[16]

Types de Matériau	Fiche structure n °	Types de structure	Zones climatiques
MNT (Matériaux non traités)	1	GNT/GNT	I , II et III
	2	TUF1/TUF 1	II et III
	3	TUF2/TUF2	II et III
	4	SGI/SGI	IV
	5	SG2/SG2	IV
MTLH (Matériaux traités aux Bitume)	6	AG/AG	IV
	7	SB/SG 1	IV

Tableau IV.2. Réseau principal de niveau 2 (RP2) ^[16]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.2.2.3. Conditions aux interfaces:

Les conditions aux interfaces interviennent dans la modélisation de la structure pour les calculs de contraintes et déformations effectués à l'aide du modèle retenu dans les calculs. La différente hypothèse adoptées sont synthétisés dans, le tableau ci-dessous : ^[16]

Structures types	Hypothèse sur le type d'interface
MTB : 1-BB/GB/GB / sol support	Toutes les interfaces sont collées
2-BB/GB/GNT ou TUF ou SG/sol	Toutes les interfaces sont collées
3-SB/SG/ sol support	Toutes les interfaces sont collées
MTLH : 1-SB/GL/GL/ sol support	Toutes les interfaces sont collées
2-BCg/GC /sol support	Interface BCg/GC décollées Interface GC/sol collée
MNT : 1-GNT/GNT/ sol support 2-TUF/TUF/ sol support 3-SG/SG/sol support 4-AG/AG/ sol support	Toutes les interfaces sont collées

Tableau IV.3.Synthèse des hypothèses sur les conditions de collage ^[16]

IV.2.2.4. Modélisation des structures types et calcul des contraintes et déformations

Le programme de calcul Alize III permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche élastique fondé sur l'hypothèse de BURMISTER, les contraintes et déformations à différents niveaux de la structure. La charge prise en compte est une charge unitaire correspondant à un demi-essieu de 13 tonnes représenté par une empreinte circulaire. Les données à rentrer dans le modèle pour les différentes simulations sont : ^[16]

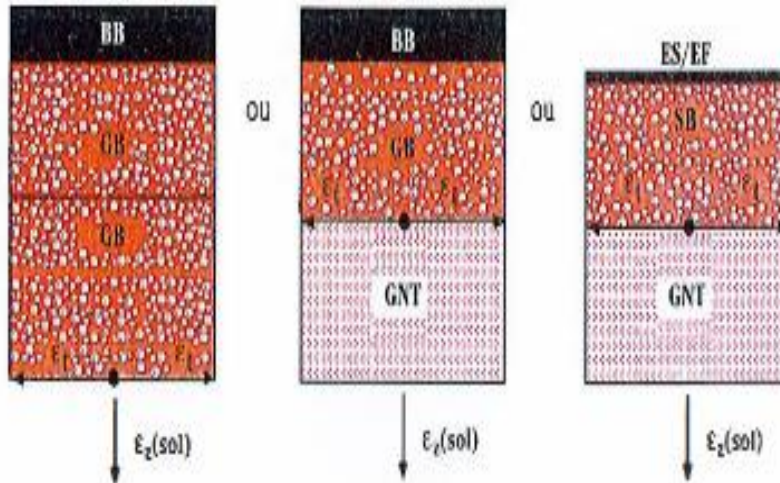
- Les épaisseurs de chaque couche
- Les modules (E) et coefficients de Poisson (ν) de chaque couche y compris le sol support
- Les types d'interfaces entre les couches (conditions de collage)

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.2.2.4.1. Mode de fonctionnement des différentes structures: ^[9]

Les schémas suivants donnent un aperçu sur le type de modélisation à un type de structure et son mode de fonctionnement :

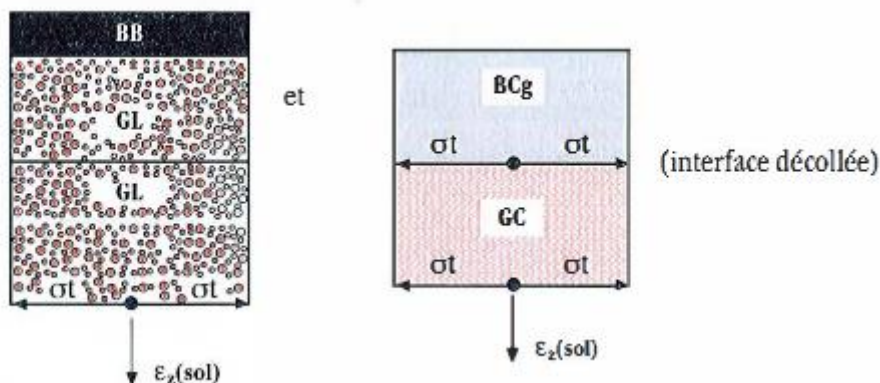
• Matériaux traités au bitume (MTB) : ^[17]



* ϵ_t étant la déformation de traction par flexion à la base des matériaux traités au bitume.

* $\epsilon_z(\text{sol})$ étant la déformation verticale sur le sol support.

• Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) : ^[17]

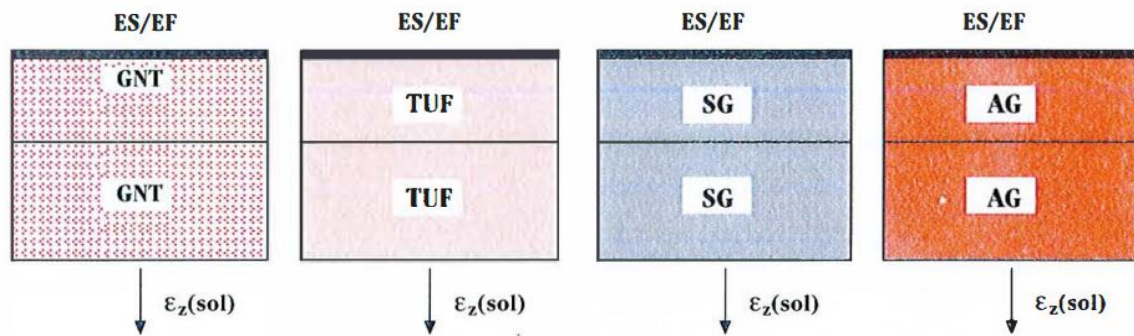


* ϵ_t étant la contrainte de traction par flexion à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques

* $\epsilon_z(\text{sol})$ étant la déformation verticale sur le sol support.

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

• Matériaux non traités (MNT) ^[17]



* ϵ_z (sol) étant la déformation verticale sur le sol support.

IV.2.2.4.2. Fiches structures de dimensionnement :

Pour le réseau principal de niveau 1 (RP1) : sept fiches techniques de structures de dimensionnement proposées, ces fiches sont pré-calculées.

Dans certains cas, pour un même couple (TPLi, Si) la solution n'est pas unique puisque plusieurs variantes de structures sont proposées. La détermination de la structure optimale de dimensionnement se fera en fonction des données technico-économiques locales et régionales relatives au projet.

IV.2.3. Données du dimensionnement de la structure de la chaussée

Les données de base pour le dimensionnement des structures de chaussées par la méthode du catalogue algérien CTTTP (2001) sont : ^[9]

- la durée de vie
- le risque de calcul considéré
- les données climatiques
- le trafic
- le sol support de chaussée
- les caractéristiques des matériaux.

IV.2.3.1. Durée de vie :

La durée de vie est en étroite relation avec la stratégie d'investissement retenue par le maître de l'ouvrage. Elle correspond à un investissement initial moyen à élevé et des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction du niveau de réseau principal considéré, et par matériaux types sont synthétisées dans le tableau ci-dessous : ^[9]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures types	Durée de vie (année)
RP 1	MTB (Matériaux traités au Bitume)	GB/GB,GB/GNT, GB/TUF ,GB/SG	20
	MTLH (Matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL	20
		BCg	25

Tableau IV.4.Durées de vie adoptées^[9]

IV.2.3.2.Risque de calcul:

Compte tenu du caractère probabiliste relatif au dimensionnement des chaussées dû à l'importance de la dispersion et du caractère aléatoire des essais de fatigue. L'objectif qui est retenu est que la probabilité d'apparition de dégradations avant une période donnée de x années soit inférieure à une valeur fixée, Celle probabilité de rupture est appelée le «risque de calcul» et la période de x années la «durée de vie» ou durée du dimensionnement.^[9]

- **Définition du risque :**

Un risque r% sur une période de x années pris pour le dimensionnement de la chaussée, est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces x années des dégradations structurelles qui impliqueraient des travaux de renforcement de la chaussée.

Risque (%)	Classe de trafic (TPLi)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
	GB/GB GB/GNT...	20	15	10	5	2
	GL/GL	15	10	5	2	2
	BCg/GC	12	10	5	2	2

Tableau IV.5.Risques adoptées pour le réseau RP1^[16]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.2.3.3. Données climatiques:

Les données directement utilisées dans le calcul de dimensionnement des chaussées se rapportent : ^[9]

- A l'état hydrique du sol support,
- Aux cycles saisonniers de température.

➤ Etat hydrique du sol-support :

L'état hydrique du sol est pris en compte à travers la portance du sol support. Cette portance est estimée à partir d'un essai de poinçonnement CBR dont les conditions d'imbibition (immédiat ou à 4 jours) sont liées à la zone climatique considérée.

➤ Cycles saisonniers de température :

Les cycles saisonniers de température qui influent sur les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux (GB BB SB) sont pris en compte à travers la notion de température équivalente.

- **Définition de la température équivalente :**

Le calcul de dimensionnement est fait pour une température constante dite température équivalente $\theta_{\text{éq}}$.

	Zone		
	I et II	III	IV
Température Equivalente $\theta_{\text{éq}}$ (C°)	20	25	30

Tableau IV.6. Choix des températures équivalentes ^[16]

IV.2.3.4. Trafic:

La connaissance du trafic, essentiellement le trafic poids lourds (véhicules de plus de 3.5 tonnes) intervient : ^[9]

- Comme paramètre d'entrée dans le dimensionnement des structures de chaussées.
- Dans le choix des caractéristiques intrinsèques: des matériaux (MDE. LA). Pour la fabrication des matériaux de chaussées.

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

Pour le calcul du dimensionnement proprement dit, c'est le trafic cumule sur la durée de vie choisie qui est à prendre en considération. Ceci fait intervenir les notions d'agressivité des poids lourds et de trafic cumule équivalent (TCEi).

➤ Classes de trafic (TPLi)

La classe de trafic (TPLi) est déterminée à partir du trafic PL/i/sens compté en trafic moyenne journalière annuelle (TMJA), sur la voie la plus chargée, à l'année de mise en service.^[9]

Le tableau ci-dessous donne par niveau de réseau (RP 1 ou RP2), les classes de trafic adopté :

	Classe de trafic TPLi	TPL0	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
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	-	-	-	-

Tableau IV.7. Classes de trafic TPLi adoptées ^[16]

➤ Calcul du trafic cumulé de PL (TCi)

Le TCi est le trafic cumulé de PL sur la période considérée pour le dimensionnement (durée de vie).^[9]

Il est donné par la formule suivante :

$$TCI = TPLI * 365 * \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Où :

i : taux d'accroissement géométrique.

n : durée de vie considérée.

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

➤ Calcul du trafic cumulé équivalent (TCEi) :

Le TCEi est le trafic à prendre en compte dans le calcul du dimensionnement, il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.

Le calcul du trafic cumulé équivalent (TCEi), qui fait intervenir l'agressivité (A) des PL, est donné par la formule :^[9]

$$TCEi = TCI.A = TPLi \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i} \cdot A$$

Cette formule peut être simplifiée comme suit:

$$TCEi = TPLi \cdot C \cdot A \cdot 10^3$$

Avec :

C : appelé facteur de cumul. A : coefficient d'agressivité des poids lourds PL par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes.

Niveau de réseau principal (R _{Pi})	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP 1	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GB, GB/TUF, GB/SG.	0,6
	Chaussées à matériaux traités aux liants hydrauliques : GL/GL , BCg/GC	1

Tableau IV.8. Valeurs du coefficient d'agressivité A ^[16]

n (années) \ i (%)	10	15	20	25
2	4	6,3	8,9	11,7
4	4,4	7,3	10,9	15,2
7	5	9,2	15	23,1
10	5,8	11,6	20,9	35,9

Tableau.IV.9 : Valeurs de facteur cumul C en fonction de i et n ^[16]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.2.3.5.Sol support:

➤ Classe de sols supports retenues

Le sol support de chaussées est assimilé à un massif semi-infini élastique, homogène et isotrope.

Les caractéristiques mécaniques : ^[9]

- Le coefficient de poisson (ν) pour les sols est en général pris égal à 0,35
- Le module du support (E) appelé également module de Young

Classes de portance (Si)	S4	S3	S2	S1	S0
Modules (MPa)	15	25	50	125	200

Tableau IV.10.Classes de portance à long terme du sol support

➤ Classe de sols supports par niveau de réseau principal (R_{Pi})

- Pour le réseau principal RP1 : S0, S1, S2.
- Pour le réseau principal RP2 : S0, S1, S2, S3.

Si ces niveaux de portance ne sont pas atteints, il faudra alors prévoir une couche de forme.^[9]

➤ Calcul des déformations admissibles sur le sol support ($\epsilon_{z,ad}$)

La déformation verticale ϵ_z calculée devra être limitée à une valeur admissible $\epsilon_{z,ad}$ qui est donnée par la relation empirique :^[9]

$$\epsilon_{z, ad} = 22 \cdot 10^{-3} \cdot (TCEi)^{-0,235}$$

Pour chaque classe de trafic (TCEi), il correspond une valeur de $\epsilon_{z,ad}$

La vérification :

$\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$ → cas des chaussées à matériaux non traités ;

$\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$ → cas des chaussées traitées aux bitume et aux liants hydrauliques pratiquement toujours vérifié.

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.2.3.6. Les caractéristiques de matériaux:

a) Performances mécaniques :

Sont résumées dans les tableaux suivants : ^[9]

➤ Matériaux traités au bitume (MTB) :

Matériaux (MTB)	E(30°C, 10Hz) MPa	E(25°C, 10Hz) MPa	E(20°C, 10Hz) MPa	E(10°C, 10Hz) MPa	$\epsilon_6(10^{\circ}, 25 \text{ Hz})10^{-6}$	$\frac{-1}{b}$	SN	Sh (cm)	v	kc
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

Tableau IV.11. Performances mécaniques des matériaux bitumineux ^[16]

➤ Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)

Matériaux MTLH	E MPa	σ_6 MPa	-1/b	SN	Sh cm	V	Kd	Kc
GL	20000	0,50	18,4	1,24	3	0,25	1	1,5
GC	20000	0,70	12	1	3	0,25	1	1,5
BCg	35000	2,15	16	1	3	0,25	1/1,47	1,5

Tableau IV.12. Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques ^[16]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

➤ **Matériaux non traités (MNT) :**

Niveau de la couche	Modules des MNT MPa	Valeurs de K	V
Base* (15 ≤ h ≤ 20cm)	GNT = 500	2,50	0,25
	TUF 1=500	2	0,25
	TUF 2 = 300	2	0,25
	SG 1 =7 00	2	0,25
	SG2 = 300	2	0,25
	AG=300	2	0,25
Fondation (en sous couche de 25cm)	$E_{MNT}(\text{sous couche } 1) = K E_{\text{sol support}}$ $E_{MNT}(\text{sous couche } i) = k E_{M,VR}(\text{sous couche } i - 1)$ avec E_{MNT} borné à $E_{M,VR}$ couche de base		
Fondation MNT Sous GB et SB (GB/MNT,)	$E_{MNT}(\text{sous couche } 1) = K E_{\text{sol support}}$ (avec K idem ci-dessus) $E_{MNT}(\text{sous couche } i) = k E_{M,VR}(\text{sous couche } i - 1)$ avec E_{MNT} borné à $E_{MNT} 350 \text{ MPa}$		

Tableau IV.13. Performance mécanique des matériaux non traités

b) calcul des sollicitations admissibles (ϵ_t , ad)

Les sollicitations admissibles pour chaque type de matériaux sont calculées à partir des relations suivantes :^[9]

➤ **Matériaux traités au bitume :**

Le calcul de la déformation admissible de traction (ϵ_t , ad) à la base des couches bitumineuses est donné par la relation suivante : ^[9]

$$\epsilon_t, adm = \epsilon_6(10^0 C, 25HZ) \cdot K_{ne} \cdot K_{\theta} \cdot K_r \cdot K_c$$

Où

$\epsilon_6(10^0 C, 25HZ)$: Déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 100C et 25Hz.

k_{ne} : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée ;

k_{θ} : Facteur lié à la température;

k_r : Facteur lié au risque et aux dispersions

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

kc : Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur la chaussée.

Avec :

$$K_{ne} = \left(\frac{10^6}{TCEi} \right)^b, \quad K_{\theta} = \sqrt{\frac{E(10^0)C}{E(\theta_{eq})}}, \quad k_r = 10^{-tb\delta}$$

$$\epsilon_{t, ad} = \epsilon_6(10^0 C, 25HZ) \cdot \left(\frac{TCEi}{10^6} \right)^b \cdot \sqrt{\frac{E(10^0)C}{E(\theta_{eq})}} \cdot 10^{-tb\delta} \cdot K_c$$

Avec :

TCEi : trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée ;

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

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

E(Θ_{éq}) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considéré

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} Sh \right)^2} \quad \delta: f(\text{dispersion})$$

Avec :

SN: Dispersion sur la loi de fatigue ;

c : coefficient égale à 0,02 ;

Sh: dispersion sur les épaisseurs (en cm) ;

t : fractile de la loi normale, qui est fonction du risque adopté (r%).^[9]

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

Tableau.IV.14.valeurs de t = f(r%)^[16]

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

➤ Matériaux traités aux liants hydrauliques :

Le calcul de la contrainte admissible de traction à la base des couches traitées aux liants hydrauliques est donné par la relation suivante : [9]

$$\epsilon_{t,adm} = \epsilon_6 \cdot k_{ne} \cdot k_r \cdot k_d \cdot k_c$$

Où

ϵ_6 : contrainte de flexion limite à 10⁶ cycles donnée par l'essai de fatigue

k_{ne}, k_r, k_c : idem matériaux traités au bitume

k_d : facteur lié aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique (dalles en béton).

$\epsilon_{t,ad}$ peut s'écrire de la façon suivante :

$$\epsilon_{t,ad}(\text{bars}) = \epsilon_6 \frac{(TCEI)^b}{10^6} \cdot 10^{-tb\delta} \cdot k_d \cdot k_c$$

➤ Matériaux non traités:

Matériaux non traités (MNT). Il n'existe pas de calcul de sollicitations admissibles pour ce type de matériau. Il faut s'assurer du bon choix des caractéristiques du matériau afin d'asseoir une bonne tenue à l'orniérage. Il faut également s'assurer que le sol support ne soit pas trop déformable.

c) Vérification en fatigue des structures et de ladéformation du sol-support

➤ Matériaux traités au bitume (MTB) :

Il faudra vérifier que ϵ_t et ϵ_z calculées à l'aide d'Alize III, sont inférieures aux valeurs admissibles calculées, c'est à dire respectivement $\epsilon_{t,ad}$ $\epsilon_{z,ad}$

$$\epsilon_t < \epsilon_{t,ad} \quad \text{et} \quad \epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$$

➤ Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) :

Dans ce cas également, il faudra vérifier que les contraintes et déformations calculées par Alize III sont inférieures aux contraintes et déformations admissible calculées :

$$\sigma_t < \sigma_{t,ad} \quad \text{et} \quad \epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$$

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

➤ Matériaux non traités (MNT) :

Dans le cas des MNT la seule vérification est à faire sur le sol-support :

$$\varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$$

IV.3.Application au projet:

La route nationale 98 (N98) est une route nationale dans la wilaya de Tlemcen reliant la ville de Hennaya au port de Ghazaouet sur un soixantaine de kilomètres, la première partie entre Hennaya et la RN35 traverse la plaine des Zenata jusqu'à l'oued Tafna , alors que la seconde travers les monts des Traras jusqu'au port de Ghazaouet au bord de la mer Méditerranée .^[14]



Fig.IV.3: La Route Nationale N98

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

Les données de base pour le calcul du corps de chaussée :

- Le trafic moyen journalier annuel (TMJA)=11424 V/J
- Le pourcentage de poids lourd: $Z=30\%$
- Durée de vie : 20 ans (pour le cas de la chaussée en bitume)
25 ans (pour le cas de la chaussée en béton de ciment)
- Taux d'accroissement du nombre de véhicules: $i=4\%$

IV.3.1. Les données climatiques:

La wilaya de Tlemcen est située au nord-ouest de l'Algérie et s'élève à 830m d'altitude.

Le climat de cette région est chaud et tempéré. L'hiver à Tlemcen se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. [14]

Le dimensionnement de corps de chaussée s'effectue avec une température consistante, c'est-à-dire température équivalente θ_{eq} , en tenant compte de cycle de variation de température de chaque année. [13]

La température équivalente est généralement déterminée selon le zonage climatique du site D'après le « catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (2001CTTP) », le site de projet est classé en zone II. [13]

Zone climatique II \longrightarrow $\theta_{eq}=20^{\circ}\text{C}$

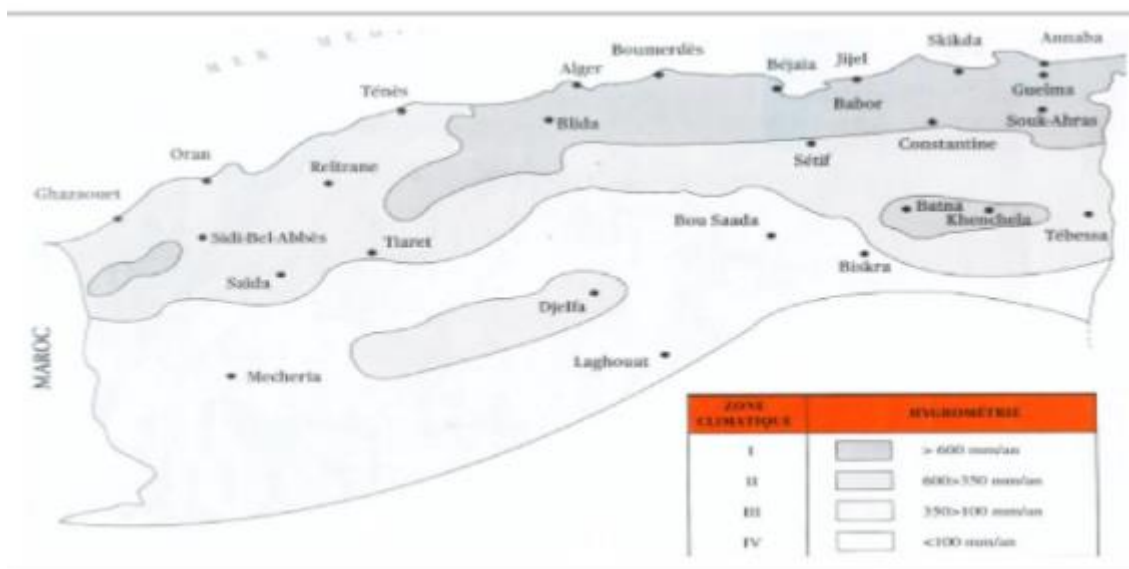


Fig.IV.4: Position de projet dans la carte climatique de l'Algérie [13]

IV.3.2.Type de réseau principal:

$$TJMA = 11424 \text{ v/j} > 1500 \text{ V/J}$$

Alors le réseau principal de niveau 1 (RP1), selon CTTP 2001

IV.3.3.La classe du trafic (TPLi):

Nous avons une chaussée bidirectionnelle à 2 voies. D'après le catalogue algérien du dimensionnement La répartition du poids lourd est de 50%.

$$TPLi = 11424 * 0.5 * 0.3 = 1713.6 \text{ PL/j/sens le plus chargé}$$

Donc, compte tenu de ce trafic (1713.6 PL/J/sens)

Cette route est classée en TPL6 conformément au catalogue de dimensionnement des chaussées neuves.

IV.3.4.Classe de portance de sol:

CBR=5 \longrightarrow La classe du sol support est S3 (selon le tableau 4 du fascicule 1).

On est dans un cas où la portance de sol support est faible (S3) pour le corps de chaussée (RP1).

Le passage de S3 à S2 nécessite la mise en place d'une couche de forme de 40cm en TUF en deux couches (tableau 5 ; fascicule 1)

Donc \longrightarrow la classe du sol support S2

IV.3.5.Dimensionnement d'une chaussée souple:

Il s'agit de structure à assises traitées au Bitume

Selon le réseau, la classe du trafic, et les matériaux choisis, on vérifie la structure suivante :

- la structure GB/GB :
 - Couche de base en Grave Bitume
 - Couche de fondation en Grave Bitume

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

RESEAU PRINCIPAL DE NIVEAU 1 (RP1) GB/GB

FICHE STRUCTURE GRAVE BITUME/GRAVE BITUME

Type : MTB
 Zone climatique : I et II
 Durée de vie : 20 ans, taux d'accroissement : 4%

TPI / PL/sens	S1	S2		S1		S0	
		50 MPa	125 MPa	125 MPa	200 MPa	200 MPa	200 MPa
6000		8 BB 11 GB 15 GB	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB		
3000		8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB	8 BB 11 GB 10 GB	8 BB 10 GB 10 GB		
1500		6 BB 11 GB 13 GB	6 BB 10 GB 10 GB				
600		6 BB 10 GB 10 GB					
300							
150							

Tableau IV.15. Fiche de structure pour chaussée souple [17]

D'après le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves on prend la structure suivante:

(8)BB + (12) GB + (13)GB + (20)TUF + (20)TUF



Fig.IV.5: Différentes couches du corps de la chaussée souple

IV.3.5.1. Risque de calcul:

La classe de trafic TPL6, la structure type GB/GB \longrightarrow $r = 5\%$

D'après le catalogue de dimensionnement algérien nous avons un risque de :

$$r = 2\% \longrightarrow t = -1,645$$

IV.3.5.2. Trafic cumulé équivalent (TCEi):

Il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.

$$TCEi = TPLi * C * A * 10^3 \quad \text{avec } TPL6 = 1713,6 \text{ PL/J/sens}$$

$C = 10,9$ et $A = 0,6$ (leurs valeurs se trouvent dans les tableaux 10 et 11 de fascicule 2)

$$TCEi = 1713,6 * 10,9 * 0,6 * 10^3$$

Donc : $TCEi = 11,20.10^6$ Essieu équivalents de 13 tonnes

- Selon les 3 fascicules de catalogue on a:

- ✓ Importance du projet routier: réseau principal de niveau 1 (RP1).
- ✓ Durée de vie: $n = 20$ ans.
- ✓ Trafic: $TPL_6 = 1713,6$ PL/j/sens.
- ✓ Taux de croissance: $i = 4\%$.
- ✓ Coefficient d'agressivité PL: $A = 0,6$.
- ✓ Risque de calcul: $r = 5\%$ (tableau: 5; fascicule: 2).
- ✓ La zone climatique: II (tableau: 7; fascicule: 2).
- ✓ $\theta_{eq} = 20^\circ\text{C}$ (tableau: 8; fascicule: 2).
- ✓ Classe sol support: S2.
- ✓ $E_{sol} = 50$ Mpa.
- ✓ Coefficient de poisson $\nu = 0,35$.
- ✓ Condition aux interfaces: toutes les couches sont collées.
- ✓ Coefficient de calage: $KC = 1,3$ (tableau: 13; fascicule: 2).
- ✓ Dispersion sur la loi de fatigue: $SN = 0,45$ (tableau: 13; fascicule: 2).
- ✓ Dispersion sur les épaisseurs (en cm): $Sh = 3$ (tableau: 13; fascicule: 2).
- ✓ Pente de la fatigue: $b = -0,146$ (tableau: 13; fascicule: 2).
- ✓ Coefficient $c = 0,02$.
- ✓ Fractile de la loi normale: $t = -1,645$ (tableau: 16; fascicule: 2).

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

- ✓ Module complexe du matériau bitumineux à 100C: $E(100C) = 12500 \text{ Mpa}$. (Tableau: 13; fascicule: 2).
- ✓ Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente:
- ✓ $E(\Theta_{eq} = 20C) \rightarrow GB = 7000 \text{ Mpa}$. $BB = 4000 \text{ Mpa}$ (tableau: 13; fascicule: 2).
- ✓ Déformation limite: $\epsilon_6(100C, 25\text{HZ}) = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Mpa}$. (tableau: 13; fascicule: 2)

IV.3.5.3. Calcul la déformation admissible (ϵ_z , adm) de sol support:

La valeur admissible est donnée par la relation empirique déduit à partir d'une étude statique de comportement des chaussées algériennes :

$$\epsilon_{z,adm} = 22 \cdot 10^{-3} \cdot (TCEi)^{-0,235}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 4,85 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 485 \cdot 10^{-6} \text{ mm} = 485 \mu \text{ def}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 485 \mu \text{ def}$$

IV.3.5.4. Calcul de la déformation admissible de traction ϵ_t , adm:

Le calcul de la déformation admissible de traction (ϵ_t , adm) à la base des couches bitumineuses est donné par la relation suivante :

$$\epsilon_{t,adm} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \cdot \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \cdot \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\Theta_{eq})}} \cdot 10^{-tb\delta} \cdot Kc$$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} Sh\right)^2} = \sqrt{0,45^2 + \left(\frac{0,02}{-0,146} * 3\right)^2} = 0,61$$

Alors :

$$\epsilon_{t,adm} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{11,20 \cdot 10^6}{10^6}\right)^{-0,146} \cdot \sqrt{\frac{12500}{7000}} \cdot 10^{-1,645 * 0,146 * 0,61} \cdot 1,3$$

$$\epsilon_{t,adm} = 171 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\epsilon_{t,adm} = 171 \mu \text{ def}$$

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

- Exemple de modélisation de la chaussée souple :

	Epaisseurs (cm)	Modules (MPa)	Coefficient de poisson
Couche de roulement	8	4000	0,35
Couche de base	12	7000	0,35
Couche de fondation	13	7000	0.35
Couche de forme 1	20	500	0,25
Couche de forme 2	20	500	0,25
Sol support	Infini	50	0.35

Tableau.IV.16 : Caractéristique des matériaux de la chaussée souple

IV.3.5.5.Vérification des résultats de calcul de la structure souple par Alize III:

- Etape 01 : entrée des données
 - Toutes les interfaces sont collées
 - épaisseurs des couches
 - modules d'élasticité
 - coefficients de Poisson

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

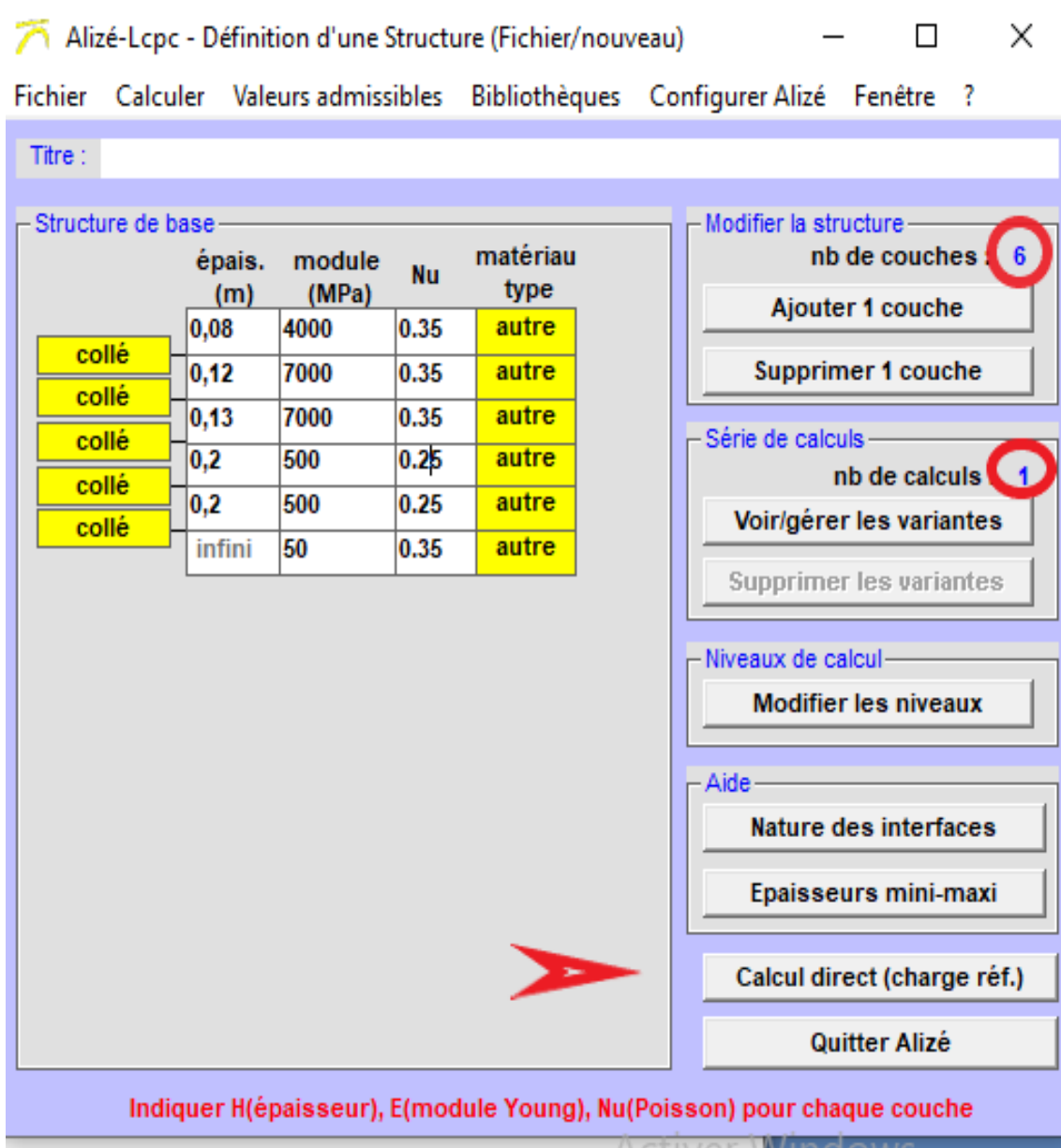


Fig.IV.6: Ecran de saisie des caractéristiques de la chaussée souple (AlizéIII)

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

- Etape 02 : l'exécution des calculs

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence)

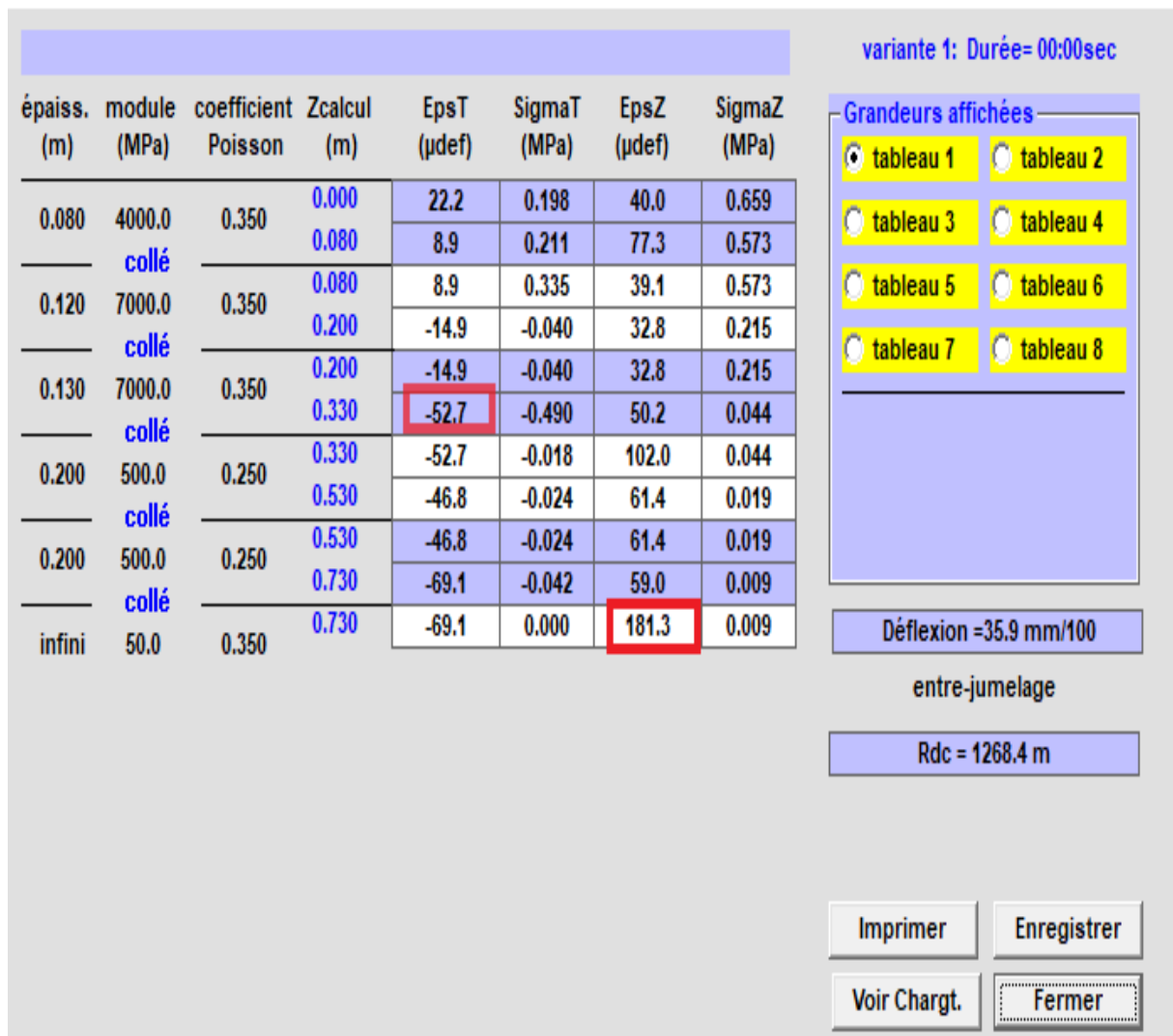


Fig.IV.7: Résultat obtenue par le programme (AlizeIII) pour la chaussée souple

Donc :

La structure **8BB + 12GB + 13GB+20TUF+20TUF** est vérifiée, car :

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_{t,cal} = 52,7\mu\text{def} < \epsilon_{t,adm} = 171\mu\text{def} \\ \epsilon_{z,cal} = 181,3\mu\text{def} < \epsilon_{z,adm} = 485\mu\text{def} \end{array} \right.$$

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

IV.3.6. Dimensionnement d'une chaussée rigide:

Selon le réseau, la classe du trafic, et les matériaux choisis, on vérifie la structure suivante:

- la structure BCg/GC :
 - Couche de base-roulement en Béton du Ciment goujonné
 - Couche de fondation en Grave Ciment

FICHE STRUCTURE BETON DE CIMENT/ GRAVE CIMENT

Type : MTLH
 Zone climatique : I et II
 Durée de vie : 25 ans, taux d'accroissement : 4%

Type PL/sens	S1	S2	S1	S0
	50 MPa	125 MPa	200 MPa	
6000 TPL7			23 BCg 16 GC	22 BCg 15 GC
3000 TPL6	25 BCg 18 GC		21 BCg 16 GC	20 BCg 15 GC
1500 TPL5	21 BCg 15 GC		20 BCg 16 GC	18 BCg 15 GC
600 TPL4	20 BCg 18 GC		17 BCg 16 GC	16 BCg 15 GC
300 TPL3				
150				

Tableau IV.17. Fiche de structure pour la chaussée rigide ^[17]

D'après le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves on prend la structure suivante:

(23) BCg+ (18) GC+ (20) TUF+ (20) TUF

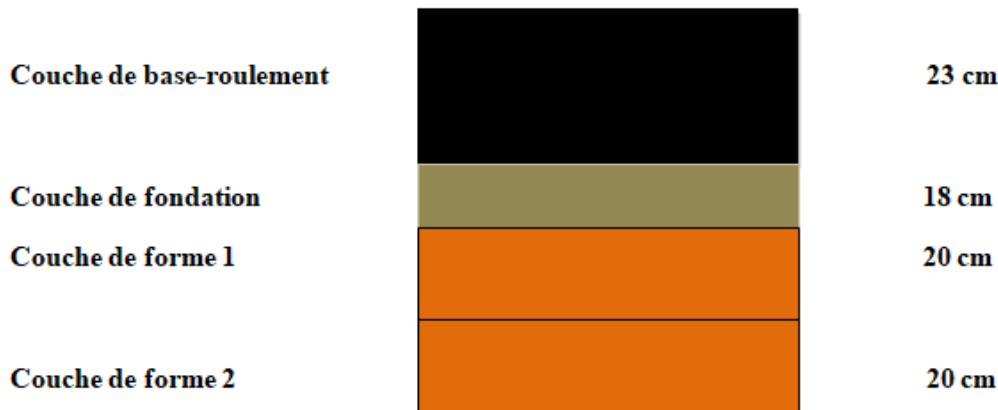


Fig.IV.8: Différentes couches du corps de la chaussée rigide

IV.3.6.1.Risque de calcul:

Ce risque adopté pour le réseau RP1 et une classe de trafic TPL6 pour BCg/GC est de 2% (tableau 5 ; fascicule 2)

$R=2\% \longrightarrow t=-2.054$ (tableau 14 ; fascicule 2)

IV.3.6.2.Trafic cumulé équivalent (TCEi):

$TPL_6= 1713,6 \text{ PL/J/sens}$

Durée de vie : 25 ans

Taux d'accroissement $i=4\%$

$TCEi=TPL_i * C * A * 10^3$ Avec $C=15,2$ et $A=1$ (leurs valeurs se trouve dans les tableaux 10 et 11 de fascicule 2)

$TCEi=1713,6. 15,2. 1. 10^3$

Donc $TCEi=26,04.10^6$ Essieu équivalents de 13 tonnes

- Selon les 3 fascicules de catalogue on a:

- ✓ Importance du projet routier: réseau principal de niveau 1 (RP1).
- ✓ Durée de vie: $n=25$ ans.
- ✓ Trafic: $TPL_6= 1713,6 \text{ PL/j/sens}$.
- ✓ Taux de croissance: $i= 4\%$.
- ✓ Coefficient d'agressivité PL: $A=1$
- ✓ Risque de calcul: $r= 2\%$ (tableau: 5; fascicule: 2).
- ✓ La zone climatique: II (tableau: 7;fascicule: 2).

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

- ✓ $\Theta_{eq}=20^{\circ}\text{C}$ (tableau: 8;fascicule: 2).
- ✓ Classe sol support: S2.
- ✓ $E_{sol}=50\text{ Mpa}$.
- ✓ Coefficient de poisson $\nu=0.35$.
- ✓ Facteur lié aux effets des discontinuités (fissures) et gradient thermique (dalles en béton). $K_d=0,68$ (tableau: 14;fascicule: 2).
- ✓ Condition aux interfaces: toutes les couches sont collées.
- ✓ Coefficient de calage: $k_c=1.5$ (tableau: 14; fascicule: 2).
- ✓ Dispersion sur la loi de fatigue: $SN=1$ (tableau: 14; fascicule: 2).
- ✓ Dispersion sur les épaisseurs (en cm): $Sh=3$ (tableau: 14; fascicule: 2).
- ✓ Pente de la fatigue: $b=-0.0625$ (tableau: 14;fascicule: 2).
- ✓ Fractile de la loi normale: $t=-2.054$ (tableau: 16; fascicule: 2).
- ✓ ϵ_6 : contrainte de flexion limite à 106 cycles donnée par l'essai de fatigue, $\epsilon_6=2,15\text{MPa}$.

IV.3.6.3.Calcul la déformation admissible (ϵ_z, adm) de sol support:

La valeur admissible est donnée par la relation empirique suivante :

$$\epsilon_{z,adm}=22 \cdot 10^{-3} \cdot (TCEi)^{-0,235}=22 \cdot 10^{-3} \cdot (26,04 \cdot 10^6)^{-0,235}$$

$$\epsilon_{z,adm}=3,97 \cdot 10^{-4} \text{ def}$$

$$\epsilon_{z,adm}=397 \cdot 10^{-6} \text{ def}=397\mu \text{ def}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 397\mu \text{ def}$$

IV.3.6.4.Calcul de la contrainte admissible de traction ϵ_t, adm :

Le calcul de la contrainte admissible de traction à la base des couches traitées aux liants hydrauliques est donné par la relation suivante :

$$\epsilon_{t, adm}=\epsilon_6 \cdot \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \cdot 10^{-tb\delta} \cdot K_c \cdot K_d$$

$$\delta=\sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b}Sh\right)^2}=\sqrt{1^2 + \left(\frac{0,02}{0,0625} 3\right)^2}=1,39$$

$$\epsilon_{t,adm}=21,5 \cdot \left(\frac{26,04 \cdot 10^6}{10^6}\right)^{-0,0625} \cdot 10^{-0,0625 \cdot 2,054 \cdot 1,39} \cdot 1,5 \cdot 0,68$$

$$\epsilon_{t,adm}=11,86 \text{ bars} = 1,186 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{t, adm} = 1,186 \text{ MPa}$$

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

- Exemple de modélisation de la chaussée rigide:

	Épaisseurs (cm)	Modules (MPa)	Coefficient de poisson
Couche de base-roulement	23	35000	0,25
Couche de fondation	18	20000	0.25
Couche de forme 1	20	500	0,25
Couche de forme 2	20	500	0,25
Sol support	Infini	50	0.35

Tableau IV.18. Caractéristique des matériaux de la chaussée rigide

IV.3.6.5. Vérification des résultats de calcul de la structure rigide par Alize III :

- **Etape 01 : entrée des données**
 - Interface BCg/GC décollée
 - interface GC/sol collée
 - épaisseurs des couches
 - modules d'élasticité
 - coefficients de Poisson.

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

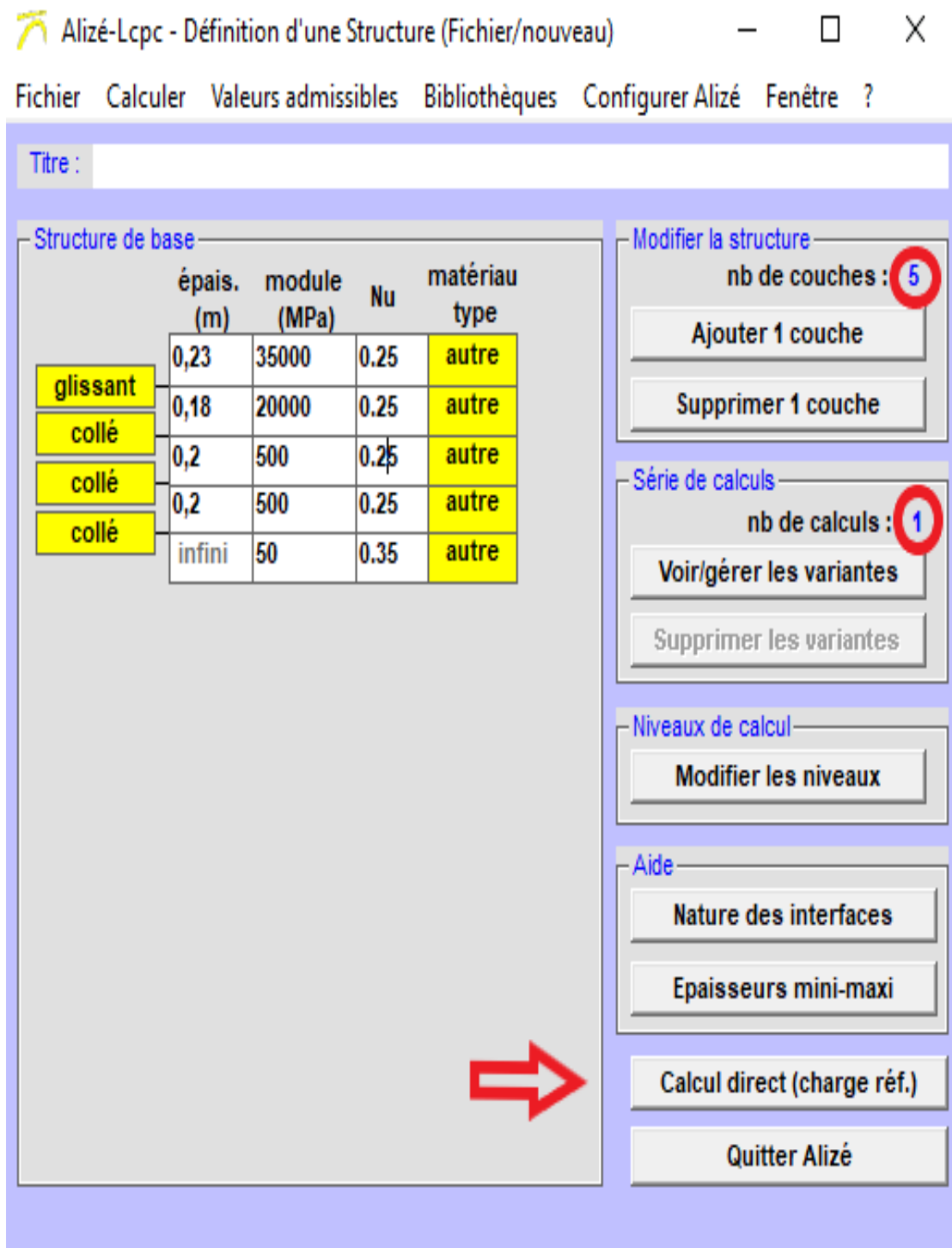


Fig.IV.9: Ecran de saisie des caractéristiques de la chaussée rigide (AlizéIII)

Chapitre IV : Exemple de dimensionnement des chaussées

- Etape 02 : l'exécution des calculs

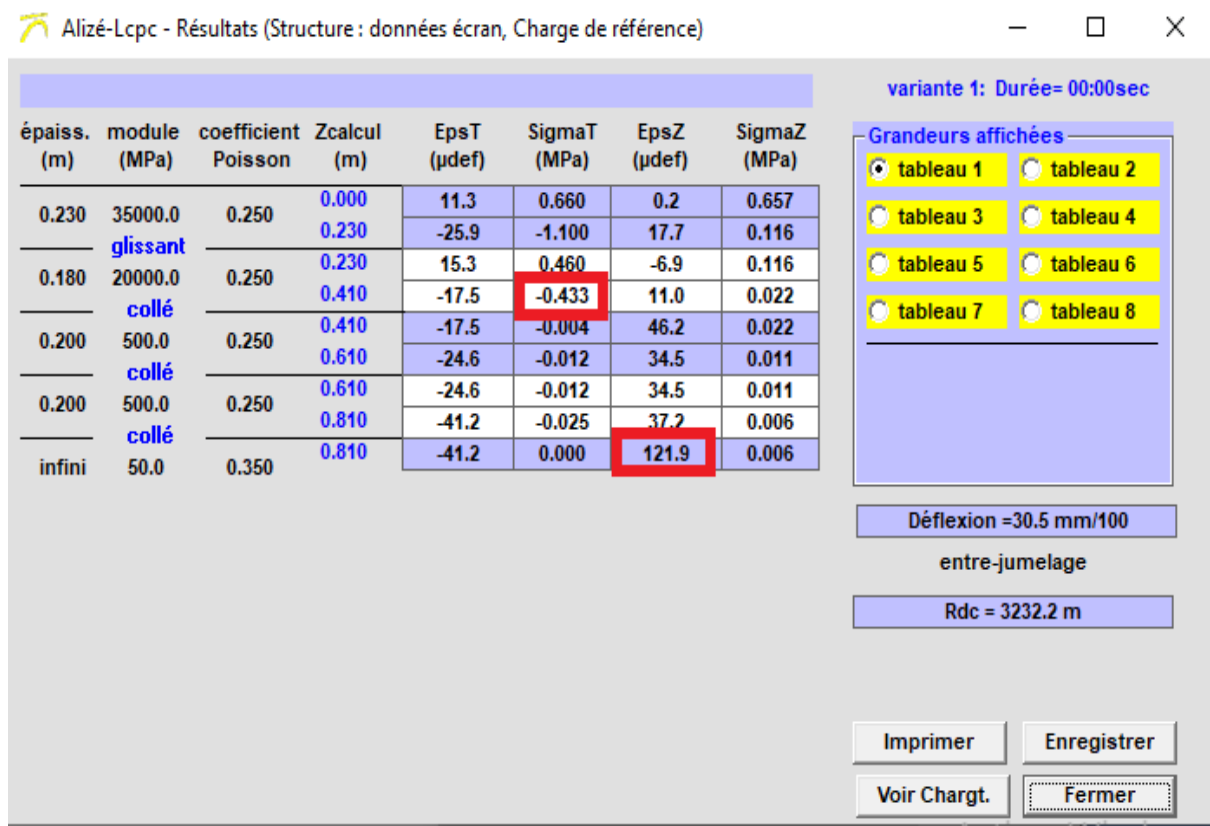


Fig.IV.10: Résultat obtenue par programme (AlizeIII) pour la chaussée rigide

Donc la structure **23BCg+18GC+20TUF+20TUF**
est vérifiée, car :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{t,cal} = 0,433 \text{ MPa} < \sigma_{t, adm} = 1,186 \text{ MPa} \\ \epsilon_{z,cal} = 121,9 \mu\text{def} < \epsilon_{z,adm} = 397 \mu\text{def} \end{array} \right.$$

IV.4.Conclusion:

Après avoir dimensionné chaque type de chaussée (souple et rigide) par la même méthode (la méthode du catalogue algérien CTTT), sachant que cette méthode est la plus utilisée en Algérie dans les routes nationales et les autoroutes.

Donc les structures retenues sont :

- ✚ Un corps de chaussée souple d'une épaisseur (e=73cm)
- ✚ Un corps de chaussée rigide d'une épaisseur (e=81cm)



Chapitre **V** **E**tude comparative entre la chaussée souple et la chaussée rigide

- 1. Introduction**
- 2. Comparaison économique**
- 3. Comparaison technique**
- 4. Comparaison environnementale, écologique et
esthétique**
- 5. conclusion**

V.1.Introduction:

En termes simples, une chaussée souple peut être définie comme une chaussée revêtue de bitume, reposant sur plusieurs couches constituées de matériaux de meilleure qualité qui se poseront sur le dessus.

Les chaussées rigides, quant à elles, sont fabriquées à partir de béton de ciment ou de dalles de béton armé, posées sur une couche de béton à faible résistance ou sur une couche d'agrégats bien compactée ou les deux.



Fig. V .1: Chaussée rigide et chaussée souple

Pour dégager les avantages et les inconvénients de la chaussée souple et la chaussée rigide, il est intéressant d'évaluer d'abord les paramètres devant être considérés pour mieux cerner la différence.

Les paramètres sont :

- Paramètres économiques
- Paramètres techniques
- Paramètres environnementaux, écologiques et esthétiques

V.2.Comparaison économique :

La comparaison la plus simple est celle chiffrée. Aussi nous avons essayé d'étayer nos propos par l'étude économique (comparaison entre les coûts de constructions).

V.2 .1.Calcul de la quantité totale des matériaux utilisés:

- On considère un profil en travers à deux voies avec une chaussée de 7,0 m et des accotements de 2 m de large de chaque côté et un angle de talus égale à 45°. On prend le corps de chaussée calculé dans le chapitre 4 et une longueur d'un kilomètre est considérée pour le calcul du coût.

V.2.1.1.La chaussée souple:

➤ Les masses volumiques des différents matériaux :

- La masse volumique du béton bitumineux est de 2,4 t/m³
- La masse volumique du grave bitume est de 2,3 t/m³

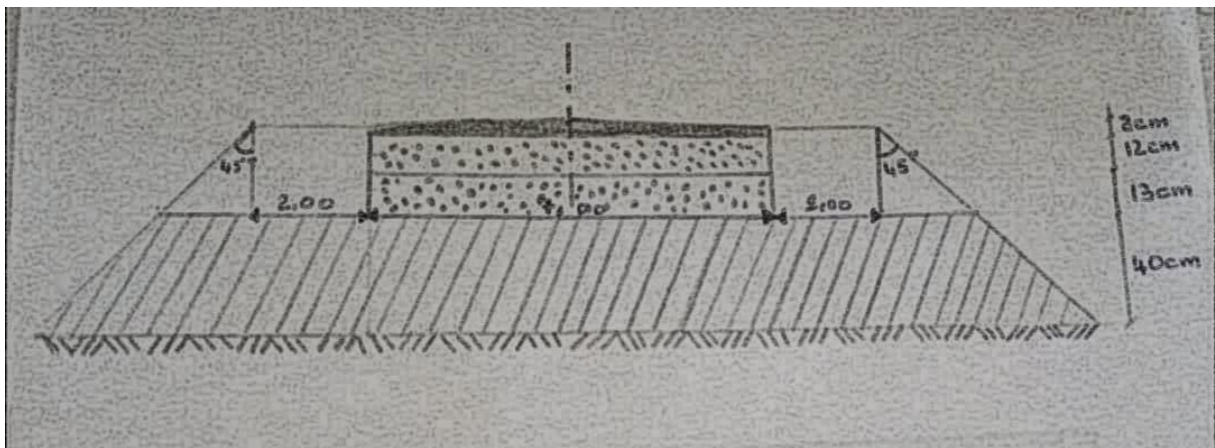


Fig.V.2: Schéma du profil en travers type de la chaussée souple

❖ Couche de forme (chaussée+accotements) : (e= 0,4m)

$$Q = \left[\left[(7 + (2 \times 2)) \times 0,4 \right] \left[2 \times \left(\frac{0,73 + 0,33}{2} \times 0,4 \right) \right] \right] \times 1000$$

$$Q=4824\text{m}^3$$

❖ Couche de fondation en GB: (e= 0,13m)

$$Q = 7 \times 0,12 \times 1000 \times 2,3 \text{ t/m}^3$$

$$Q = 1932\text{t}$$

❖ Couche de base en GB : (e= 0,12m)

$$Q = 7 \times 0,13 \times 1000 \times 2,3 \text{ t/m}^3$$

$$Q = 2093\text{t}$$

❖ Couche de roulement en BB : (e= 0,08m)

$$Q = 7 \times 0,08 \times 1000 \times 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$Q = 1344 \text{ t}$$

❖ Accotement en grave concassée compacté en deux couches: (e= 0,33m)

$$Q = \left[\frac{2 + 2,33}{2} \times 0,33 \right] \times 2 \times 1000$$

$$Q = 1428,9 \text{ m}^3$$

❖ Couche d'imprégnation en cut back 0/1

$$Q = 7000 \text{ m}^2$$

❖ Remblais provenant des déblais

$$Q = 11 \times 1000 \times 0,4$$

$$Q = 4400 \text{ m}^3$$

V.2.1.2. La chaussée rigide:

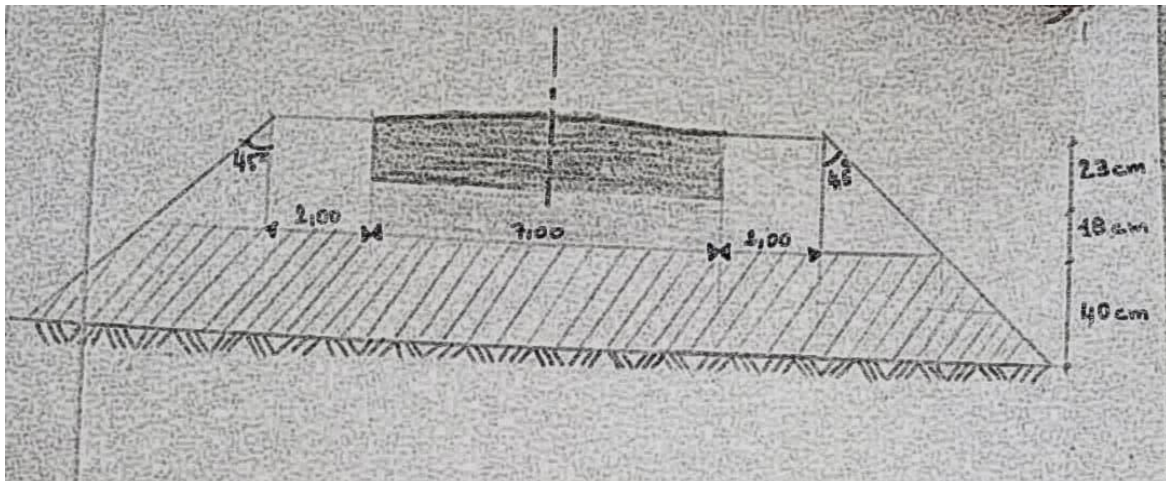


Fig.V.3: Schéma du profil en travers type de la chaussée rigide

- ❖ Couche de forme pour chaussée+accotements : (e= 0,4m)

$$Q = [(7 + 4) \times 0,4] + \left[2 \times \frac{0,41 + 0,81}{2} \times 0,4 \right] \times 1000$$

$$Q = 4888 \text{ m}^3$$

- ❖ Couche de fondation en grave ciment: (e= 0,18m)

$$Q = 7 \times 0,18 \times 1000$$

$$Q = 1260 \text{ m}^3$$

- ❖ Couche de la dalle de béton: (e= 0,23m)

$$Q = 7 \times 0,23 \times 1000$$

$$Q = 1610 \text{ m}^3$$

- ❖ Curage et sablage de la surface de grave ciment

$$Q = 7000^2$$

- ❖ Protection des dalles en béton par des produits de cure

$$Q = 7000 \text{ m}^2$$

- ❖ Accotements en grave concassée compacté en deux couches (e=41cm)

$$Q = \left[\left[\left(\frac{2,41 + 2}{2} \right) \times 0,41 \right] \times 2 \right] \times 1000$$

$$Q = 1808 \text{ m}^3$$

- ❖ Remblais provenant des déblais

$$Q = 11 \times 1000 \times 0,4$$

$$Q = 4400 \text{ m}^3$$

Matériaux	chaussée rigide	chaussée souple
béton goudonné non armé	1610 m³	/
Béton bitumineux	/	1344 t
Grave bitume	/	4025 t
Grave concassée pour les accotements	1808 m³	1428,9m³
Grave ciment	1260 m³	/
TUF	4888 m³	4824 m³
couche d'imprégnation	/	7000 m²
Curage et sablage de la surface du grave ciment	7000 m²	/
produits de cure pour la Protection des dalles en béton	7000m²	/
Remblais provenant des déblais	4400 m³	4400 m³

Tableau V.1. Tableau récapitulatif de la quantité totale des matériaux utilisés

V.2.2. Devis quantitatif et estimatif des chaussées souple et rigide :

Sont résumées dans les tableaux suivants :

N°	Désignation	U	Quantité	Prix unitaire	Montant total en hors taxes
1	Section de chaussée souple et accotements				
1.1	Remblais provenant des déblais	M ³	4400	200,00	880 000,00
1.2	Couche de forme en tuf pour chaussées et Accotements	M ³	4824	500,00	2 412 000,00
1.3	Couche de fondation (e=13cm) et couche de base (e=12cm) en grave bitume	T	4025	4000,00	16 100 000,00
1.4	Couche d'imprégnation au Cut-Back 0/1	M ²	7000	60 ,00	420 000,00
1.5	Couche de roulement en béton bitumineux 08cm y/c couche d'accrochage	T	1344	4750,00	6 384 000,00
1.6	Accotement en grave concassée	M ³	1428,9	800,00	1 143 120,00
SOUS TOTAL					27 339 120,00

Tableau V.2. Devis quantitatif et estimatif de Chaussée souple et accotements.

N°	Désignation	U	Quantité	Prix unitaire	Montant total en hors taxes
2	Section de chaussée rigide et accotements				
2.1	Remblais provenant des déblais	M ³	4400	200,00	880 000,00
2.2	Couche e forme en TUF pour chaussée et accotements	M ³	4888	500,00	2 444 000,00
2.3	Couche de fondation en grave ciment épaisseur 18cm	M ³	1260	12000,00	15 120 000,00
2.4	Béton pour dalles dosage 400kg/m ³	M ³	1610	27000,00	434 700 00,00
2.5	Curage et sablage de la surface du grave ciment	M ²	7000	1000,00	7 000 000,00
2.6	produits de cure pour la Protection des dalles en béton	M ²	7000	450,00	3 150 000,00
2.7	Accotements en grave concassée	M ³	1808	800 ,00	1 446 400,00
SOUS TOTAL					73 510 400,00

Tableau V.3 Devis quantitatif et estimatif de Chaussée rigide et accotements

V.2.3. Conséquences:

Nous estimons que le coût de construction de la chaussée rigide est 2,7 fois plus que celui de la chaussée souple, mais en général une chaussée souple nécessite une sorte d'entretien ou de restauration et pour la chaussée rigide le bilan économique à long terme est très favorable du fait de son entretien réduit.

V.3. Comparaison technique:

La chaussée souple diffère de la chaussée rigide en termes de répartition de la charge (Fig. V.4) :

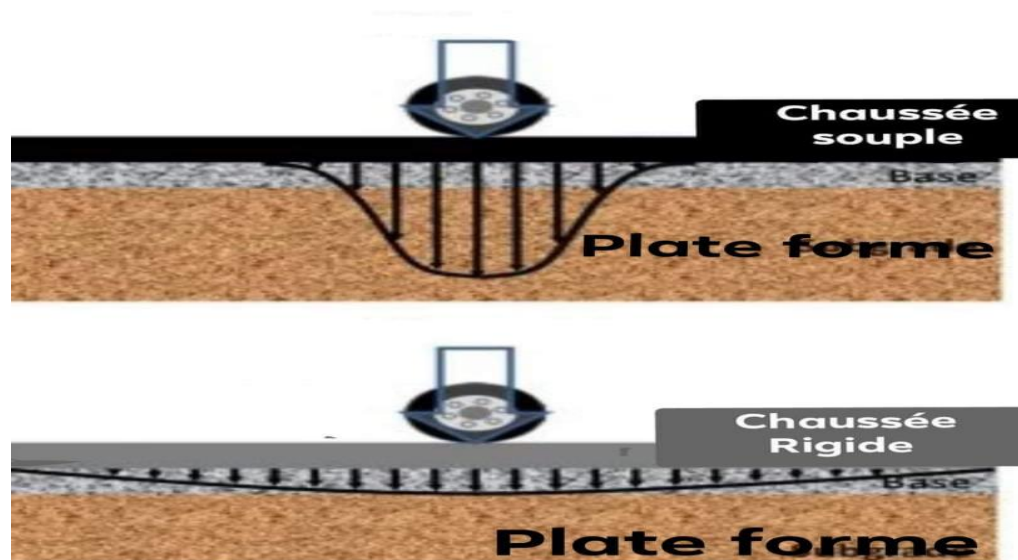


Fig.V.4: Répartition comparative de charge

- La capacité structurelle d'un revêtement souple dépend des caractéristiques de chaque couche. Alors que la capacité structurelle des chaussées rigides ne dépend que des caractéristiques de la dalle de béton. Il en est ainsi, en raison de la faible capacité portante du sol sous-jacent.
- Le bulbe de pression de la chaussée souple est assez profond, en raison de sa dépendance sur les couches sous-jacentes. Alors qu'en cas de chaussée rigide, le bulbe de pression est peu profond, cela est dû à l'indépendance de la chaussée rigide sur les couches sous-jacentes.
- La chaussée souple a un module d'élasticité très faible (moins résistant). Le module d'élasticité de la chaussée rigide est très élevé, en raison du béton à haute résistance et

Chapitre V : Etude comparative entre la chaussée souple et la chaussée rigide

de la plus grande capacité portante de la chaussée elle-même par rapport aux chaussées souples.

- Dans les chaussées souples, les couches sous-jacentes jouent un rôle très important. Par conséquent, en cas de chaussées rigides, leur rôle est limité : Le rôle maximal est joué par la couche supérieure (c'est-à-dire la dalle) par elle-même, et une partie infime est prise par des sous-couches.

V.3.1. Conséquence :

Le tableau ci-dessous résume la comparaison entre les deux types de chaussées du point de vue technique :

Chaussée souple	Chaussée rigide
Il se compose d'une série de couches avec des matériaux de la plus haute qualité sur ou près de la surface de la chaussée.	Il se compose d'une dalle de béton de ciment Portland à une couche ou d'une résistance à la flexion relativement élevée.
Il reflète les déformations de la couche de fondation et des couches subséquentes à la surface.	Il est capable de combler les défaillances localisées.
Sa stabilité dépend du verrouillage global, du frottement des particules et de la cohésion.	Sa résistance structurelle est fournie par la dalle de chaussée elle-même par son action de poutre.
La conception de la chaussée est grandement influencée par la résistance du sol.	La résistance à la flexion du béton est un facteur majeur pour la conception.
Il fonctionne par un moyen de répartition de la charge à travers les couches des composants de la structure.	Il répartit la charge sur une large zone de fondation en raison de sa rigidité et de son module d'élasticité élevé.
Les chaussées flexibles ont des propriétés d'auto-cicatrisation en raison de charges de roues plus lourdes qui peuvent être récupérées dans une certaine mesure.	Toute déformation excessive due à des charges de roue plus lourdes n'est pas récupérable, c'est-à-dire que les tassements restent permanents.

Tableau V.4. Comparaison technique entre chaussée souple et rigide

V.4.Comparaison environnementale, écologique et esthétique :

La route impacte l'environnement dans sa phase de construction mais aussi dans sa phase d'utilisation, à des degrés divers, chacun selon le type de chaussée (souple ou rigide), les routes ont également des effets esthétiques en termes de forme, couleur et de texture, le tout en fonction de types de route et des conditions économiques

Le tableau ci-dessous montre les atouts environnementaux, écologiques et esthétiques des deux chaussées souple et rigide :

Chaussée rigide	Chaussée souple
bonne visibilité de nuit.	mauvaise visibilité nocturne due à l'utilisation de bitume.
éblouissement élevé dû à la lumière du soleil.	pas d'éblouissement dû à la lumière du soleil.
La rigidité des surfaces des chaussées rigides est plus lisse et réduit la consommation de carburant de 10% à 20% par rapport aux chaussées souples, et est moins polluante que le bitume.	Les chaussées bitumineuses augmentent la consommation de carburant et par conséquent elles sont beaucoup plus polluantes.
Le revêtement en béton reste intact jusqu'à vingt-cinq ans	Le revêtement bitumineux se dégrade au bout de cinq ans
Les changements de température induisent de fortes contraintes dans les chaussées rigides.	Les variations de température dues au changement des conditions atmosphériques produisent peu de contraintes dans les chaussées souples.

<p>Les couleurs : Gris ou blanc, le ciment, mélangé aux éléments les plus fins du sable donnent au béton brut sa teinte de fond qui peut être modifiée par l'ajout de colorants. Dans le cas des bétons désactivés, c'est la couleur des granulats qui influencera la teinte du béton.</p> <p>Et on peut employer des traitements de surface qui offrent de nombreuses possibilités décoratives</p>	<p>Il en existe de différentes sortes d'enrobés et de différentes couleurs suivant les granulats et colorants utilisés. Les enrobés colorés ne possèdent pas exactement les mêmes propriétés que l'enrobé noir car la base des composants diffère légèrement (présence d'un liant clair avec moins de bitume).</p>
<p>La solution béton requiert moins de granulats.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Il constitue, en se prêtant au recyclage, un gisement potentiel de matériaux pour de nouvelles routes et apporte donc sa contribution pour préserver l'environnement. 	<p>Les granulats (cailloux, sable et fines) représentent près de 95 % d'un enrobé bitumineux.</p>
<p>Elles vont des surfaces lisses aux surfaces rugueuses (lavées, désactivées, grenillées, bouchardées, imprimées, etc.). Suivant la nature du traitement choisi, le relief obtenu à la surface du béton sera plus ou moins accentué et l'esthétique de surface dépendra directement de la qualité de la texture minérale du béton.</p>	<p>Le béton bitumineux clouté offre une meilleure rugosité.</p>

Tableau V.5. Comparaison environnemental, esthétique et écologique

V.5. Conclusion :

D'après tout ce qui précède dans ce chapitre, on peut dire que les deux types de chaussées basées sur des considérations de conception et que la différence entre les chaussées souples et rigides est en fonction de divers paramètres tels que le matériau, la charge, la durée de vie plus longue, la rentabilité, etc.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La chaussée est un paramètre économique important jouant un grand rôle dans le trafic routier. De par ses dimensions, la variété des matériaux qui la composent, l'aspect aléatoire des sollicitations qu'elle reçoit, la chaussée s'avère un ouvrage très complexe dont toute l'attention lui doit être accordée en termes de sa conception et sa gestion (entretien).

D'après l'étude comparative réalisée dans ce mémoire, on peut conclure que le choix du type de chaussée est régi par le type de circulation, les conditions du sol et l'aspect économique. Dans les zones où le sol est faible (comme l'argile) et les conditions de drainage sont également difficiles à maintenir au niveau de performance souhaité (comme dans les zones urbaines ou dans les situations où la route traverse des habitations), une chaussée rigide peut être un bon choix mais lorsque le sol de fondation est de bonne qualité et que le trafic n'est pas très lourd, les chaussées flexibles peuvent être plus intéressantes. Aussi. Le plus grand avantage des chaussées souples est qu'elles peuvent être réalisées par étapes.

Les chaussées flexibles sont préférées aux chaussées en béton de ciment en raison de certains de leurs avantages, car elles peuvent être renforcées et améliorées au fur et à mesure de la croissance du trafic. Les chaussées souples sont moins chères en ce qui concerne le coût initial et l'entretien.

Les chaussées en béton sont de nos jours devenues de plus en plus connues et appréciées des constructeurs dans le monde, le plus grand avantage de l'utilisation d'une chaussée rigide est sa durabilité et sa capacité à maintenir une forme contre la circulation et les conditions environnementales difficiles. Bien que la chaussée en béton soit plus coûteuse, elle nécessite moins d'entretien et une longue durée de vie.



Bibliographie

[1] : AYADI SABRINA, juin 2018, mémoire : Etude comparative de la méthode algérienne et la méthode française de dimensionnement des chaussées souples, Université Larbi tébessi – Tébessa.

[2] : JEAN BARRILLOT, HERVE CABANES, PHILIPPE CARILLO, le 17 mai 2018, Livre : La route et ses chaussées.

[3] : TOUAHRIA ADEL, 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] : LOUBOU AIDARA, 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] : KHIREDINE ZAKARIA, KHASNADJI MOUNIR, 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] : OULMANE SALAH EDDINE, juin 2019, mémoire : Etude comparative entre les méthodes de dimensionnement des chaussées utilisées en Algérie, Université Mohamed khider – Biskra.

[9] : CHIBANI AMMAR, 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] : SANDOUMBE TRIAW, 2006, mémoire : Dimensionnement mécanistique-empirique des structures de chaussée: Application au tronçon Séo-Diourbel. Université cheikh antadiop de dakar.

[11] : Site Internet, http://lycee-cherioux.fr/Mooc/Routes/structure_route/~gen/structure%20des%20routes.publi/web/co/structure_des_routes_44.html

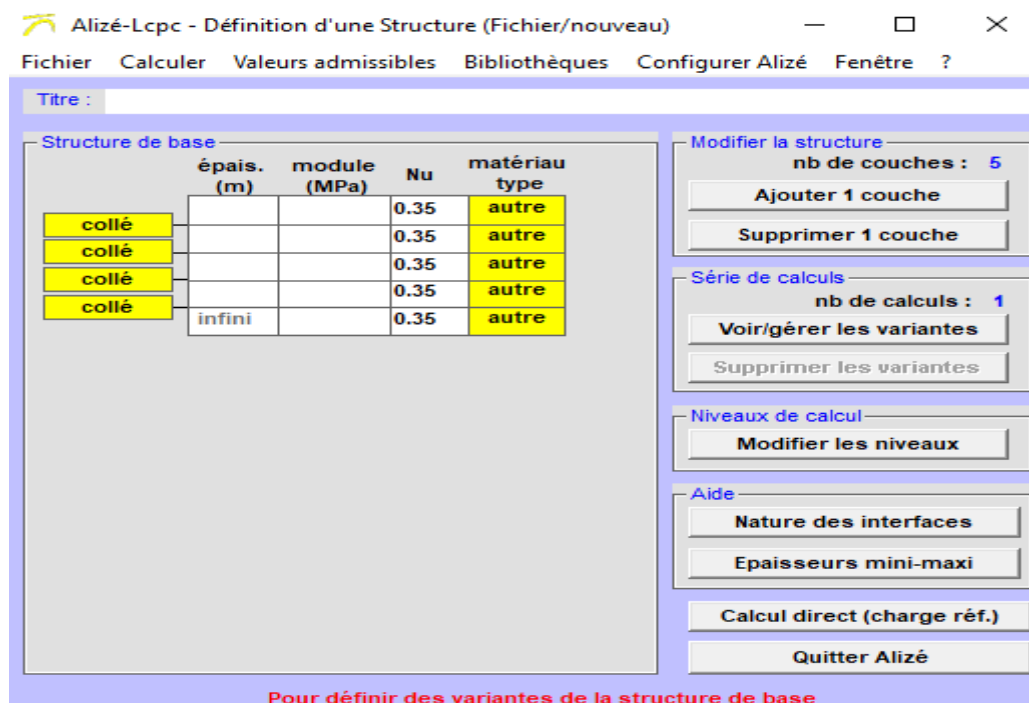
- [12] : Site Internet, <https://www.infociments.fr/route/criteres-de-choix-des-structures-de-chaussees>
- [13] : CHAPITRE VIII dimensionnement du corps de chaussée (DJELFA).
- [14] : Site Internet, [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Route_nationale_98_\(Alg%C3%A9rie\)](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Route_nationale_98_(Alg%C3%A9rie))
- [15] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). Fascicule 1
- [16] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). Fascicule 2
- [17] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P). Fascicule 3
- [18] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P).
- [19] :G.JEUFFROY, R.SAUTERY, Guide pratique de construction routière partie 1(Notions élémentaires sur le comportement des chaussées), (pages 3:4).
- [20] :A.MANFRED, livre premier: Abrégé d’histoire universelle

ANNEXE

ANNEXE

Alizé-LCPC-routes Le logiciel ALIZE-LCPC est le programme de référence, depuis les années soixante-dix, pour les calculs de dimensionnement des chaussées en France. Il est fondé sur le calcul des sollicitations internes causées par le trafic dans les structures de chaussées en se basant sur la solution statique multicouche élastique linéaire isotrope de Burmister (1945). Ce logiciel offre de plus une aide complète au dimensionnement, conformément à la méthode rationnelle LCPC-SETRA. Sa mise au point a permis l'élaboration du guide de dimensionnement des chaussées (SETRA-LCPC 1994) et du catalogue de dimensionnement des chaussées (SETRA-LCPC), lesquels constituent les outils de dimensionnement les plus utilisés en France.

Ce logiciel inclut des menus d'aide, modules et sous programmes divers permettant de résoudre aisément et rapidement les expertises et calculs de dimensionnement normalement rencontrés en bureau d'étude. Il automatise la gestion de variantes ainsi que l'exploitation des résultats sous forme graphique. Il intègre aussi le module Gellid-Routes pour la vérification au gel-dégel des chaussées selon la démarche complète LCPC-SETRA. Il s'applique également à des actions de recherche et d'enseignement.



Structure de chaussée