

الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المركز الجامعي بلحاج بوشعيب عين تموشنت

Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib Ain Témouchent

Institut de Technologie

Département de Génie Civil



Mémoire Pour L'obtention du Diplôme de MASTER

Filière : TRAVAUX PUBLICS

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art (V.O.A)

Thème :

**Dimensionnement d'une chaussée souple : étude comparative de la méthode du catalogue Algérien et les pays subsahariens.**

Présenté Par :

- M. HAME Alio Moustapha
- M. MAMOUDA Mahaman Yahouza

Devant le jury composé de :

YOUCEF Houmadi	M.C.A	C.U.B.B.A.T	Président
AISSA MAMOUNE Sidi Mohamed	Pr	C.U.B.B.A.T	Examineur
GUELLIL Moustapha	M.A.A	C.U.B.B.A.T	Rapporteur

*Année Universitaire 2019/2020*

**REMERCIEMENT**

**Tout d'abord nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience de mener à bien notre stage au sein de la D.T.P.**

**Ensuite, nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Mr MUSTAPHA GUELLIL de nous avoir orienté vers cette dernière.**

**Puis, nos remerciement à Mme Belarbia chef du bureau de réalisation des infrastructures routières, M.Morad , M.Salmi, M.Rachid, Mme Djernat Fatima Zohra et M.Ahmed chef de service et d'entretien.**

**Enfin, nos remerciements vont à tous les personelles de la Direction des Travaux Publics.**

**DEDICACE**

**Nous dédions ce travail à :**

**Nos parents pour leurs courages, éducation et les conseils prodigués ; pour le soutien moral et l'ensemble des sacrifices consentis à notre réussite ;**

**Nos frères et sœurs pour leurs accompagnements, encouragements perpétuels, le soutien moral, et la joie qu'ils nous apportent ;**

**Toute la communauté des étudiants étrangers et les camarades du département de Génie Civil pour leurs accompagnements ;**

**Tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus.**

## Résumé

La route est l'une des principales infrastructures qui joue un rôle crucial dans le développement économique de tout pays, Le dimensionnement de structure de chaussée d'une route intègre plusieurs paramètres parmi lesquels l'on peut citer : la potence du sol support, le trafic et l'environnement de la route (le climat essentiellement) et il consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

Le but du présent travail est d'effectuer une étude comparative des deux méthodes de dimensionnement des chaussées souples : la méthode algérienne (Méthode-CTTP) et la méthode du pays subsaharienne (CEBTP).

Ce mémoire est subdivisé en cinq (5) chapitres :

- Le premier chapitre commence par les généralités sur la chaussée (définition, rôle, histoire et les différents types de chaussées) ;
- Le deuxième chapitre expose la généralité sur le dimensionnement du corps de chaussée ;
- Le troisième chapitre présente le dimensionnement de chaussée souple par la méthode de catalogue Algérien (CTTP) à savoir : la programmation et un exemple de calcul ;
- Le quatrième chapitre présente la méthode sub-saharienne (CEBTP) et un exemple de calcul
- Le cinquième chapitre est consacré à l'étude comparative des deux méthodes (CTTP et CEBTP).

**Les mots clés : Chaussée, Dimensionnement, Etude Comparative, programmation.**

## **Abstract**

The purpose of this work is to carry out a comparative study of two flexible road design methods: the Algerian method (CTTP method) and the sub-Saharan country method (CEBTP). It is a question of comparing two methods which are presented in the form of sheets of structures calling upon the geological and climatic specificities of the country as well as the material resources available for each region.

For the modelling of typical structures and the calculation of stresses and deformations in the various road layers, the Alizé software is used which is based on the elastic and linear multilayer model of BURMISTER.

**The key words: Road, Sizing, Catalog, Comparative Study, Alizé.**

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة مقارنة لطريقتين مرنتين لتصميم الرصيف: الطريقة الجزائرية ( الطريقة CTPP ) والطريقة جنوب الصحراء الكبرى ( الطريقة CTPP ) إنها مسألة مقارنة بين طريقتين يتم تقديمهما في شكل صحائف من الهياكل تستدعي الخصائص الجيولوجية والمناخية للبلد بالإضافة إلى الموارد المادية المتاحة لكل منطقة لنمذجة الهياكل النموذجية وحساب الضغوط والتشوهات في طبقات الطرق المختلفة ، يتم الذي يعتمد على نموذج متعدد الطبقات المرن والخطي من Alizé استخدام برنامج BURMISTER.

الكلمات الرئيسية: رصيف ، تحجيم، كتالوج، دراسة مقارنة، Alizé،

Sommaire.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures.....	VII
Liste des abréviations.....	VIII
Introduction Generalité.....	1
CHAPITRE I : Généralité sur les chaussées.....	2
I.1. INTRODUCTON .....	2
I.2 : Historique de l'évolution des voies de circulations .....	2
I.3. La chaussée .....	4
I.3.1. Définitions .....	4
I.3.2. Rôles.....	5
I.3.3.1 : Le sol support : .....	5
I.3.3.2 : Couche de surface : .....	5
I.3.3.3 : Couche d'assise .....	6
I.3.3.4 : Couche de forme :.....	7
I.3.4 : Les différents types de chaussées .....	8
I.3.4.1 : Les chaussées souples .....	8
I.3.4.1.1 : Mode de fonctionnement : .....	8
I.3.4.1.2 : Rôle du revêtement.....	9
I.3.4.1.3 : Rôle de la fondation : .....	9
I.3.4.1.4. Rôle de la sous-fondation : .....	9
I.3.4.1.5. Avantages des chaussées souples .....	9
I.3.4.1.6. Inconvénients des chaussées souples .....	9
I.3.4.2. Chaussée rigide .....	10
I.3.4.2.2 : Rôle du revêtement.....	10
I.3.4.2.3 : Rôle de la fondation : .....	11
I.3.4.2.4. Rôle de la sous-fondation : .....	11
I.3.4.2.5. Avantages des chaussées rigides .....	11
I.3.4.2.6. Inconvénients des chaussées rigides .....	11
I.3.4.2.7 : Chaussées à dalle non armées et non goujonnées « chaussé non articulées et non renforcées » : .....	11
I.3.4.2.8 : Chaussées à dalle non armées, à joints goujonnées « chaussées articulées et non renforcées ».....	12

I.3.4.2.9 : Chaussées à dalle armées et joints goujonnées « chaussées articulées et renforcées » .....	12
I.3.4.2.10 : Chaussées en béton armé continu « chaussées continues et renforcées » .....	13
I.3.4.3 : Chaussée semi- rigide.....	13
I.3.4.3.1 : Mode de fonctionnement.....	13
I.3.4.5 : Les chaussées mixtes .....	14
I.3.4.6 : Les chaussées à structure inverse.....	15
Chapitre II : Généralité sur le dimensionnement du corps de chaussée.....	16
II.1. Introduction : .....	16
II.2. Règle du dimensionnement.....	16
II.3. Les différentes méthodes de dimensionnement .....	16
II.3.1. Méthode empirique.....	17
II.3.1.1. Méthode CBR .....	17
II.3.1.2 : Method TRRL (Transportation Road Research Laboratory) .....	17
II.3.1.3 : Méthode A.A.S.H.O : .....	18
II.3.1.4 : Méthode de l'ASPHALT INSTITUTE : .....	18
II.3.2.5. Méthode Ivanov .....	18
II.3.2 Les méthodes théoriques .....	19
II.3.2.1 : Modèle de Boussinesq.....	19
II.3.2.2. Modèle bicouche .....	20
II.3.2.2.1. Modèle de Hogg .....	20
II.3.2.2.2. Les Modèle de Westergaard .....	22
II.3.2.3. Modèle multicouche de chaussée de Burmister (1943) .....	22
II.3.2.4 Modèles aux éléments finis .....	23
II.3.2.5. Modèle de viscoélastique.....	24
II.3.3. Méthode semi empirique .....	24
II.3.3.1. Méthode SETRA-LCPC/1981 .....	24
II.3.3.2. Méthode SATCCI.....	24
II.3.3.3. Méthode CEBTP .....	25
II.4. Paramètre de dimensionnement des chaussées souples .....	25
II.4.1. Le trafic.....	26
II.4.1.1. Agressivité de trafic.....	26
II.4.1.2 Prise en compte du trafic dans le dimensionnement.....	27

II.4.2. Le sol support .....	27
II.4.3. : Les conditions environnementales .....	28
a°) Impact de la précipitation .....	28
b°) Impact de la température .....	29
II.4.4. Matériaux de chaussée souple.....	29
II.4.4.1. Les Graves Non Traitées (G.N.T) .....	29
II.4.4.2. Le béton bitumineux .....	29
II.4.5. Le risque de calcul : Fiabilité.....	31
II.4.6. Durée de service.....	31
<b>Chapitre III : Dimensionnement de chaussée souple par la méthode de catalogue Algérien .....</b>	<b>33</b>
<b>III.1 : Introduction .....</b>	<b>33</b>
<b>III.2 : Constitution des structures de chaussée. ....</b>	<b>33</b>
<b>III.3 : DESCRIPTION DES STRUCTURES TYPES.....</b>	<b>34</b>
<b>III.3.1 : Réseau principal de niveau 1 (RP1) .....</b>	<b>34</b>
<b>III.3.2 : Réseau principal de niveau 2 (RP2) .....</b>	<b>36</b>
<b>III.3.3 : Conditions aux interfaces .....</b>	<b>37</b>
<b>III.3.4 : Modélisation des structures types et calcul des contraintes et déformations .....</b>	<b>38</b>
<b>III.4 : DONNEES D'ENTREES DU DIMENSIONNEMENT .....</b>	<b>40</b>
<b>III.4.1 : Durée de vie .....</b>	<b>40</b>
<b>III.4.2 : Risque de calcul : .....</b>	<b>41</b>
<b>III.4.3 : Trafic.....</b>	<b>42</b>
<b>III.4.4 : Sol support.....</b>	<b>44</b>
<b>III.4.5 : Matériaux.....</b>	<b>45</b>
<b>III.4.5.1 : Performances mécaniques .....</b>	<b>45</b>
<b>III.4.5.2 : Calcul des sollicitations admissibles .....</b>	<b>46</b>
<b>III.4.5.3 : Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol-support.....</b>	<b>48</b>
<b>III.5 : Calcul du corps de chaussée de la RN98.....</b>	<b>48</b>
<b>III.5.1 : Type de réseau.....</b>	<b>49</b>
<b>III.5.2 : Classe de TPLi.....</b>	<b>49</b>
<b>III.5.2.1 : Trafic .....</b>	<b>49</b>
<b>III.5.2.2 : Zone climatique .....</b>	<b>49</b>

III.5.2.3 : Classe de sol .....	49
III.5.3 : Choix de la structure .....	50
III.5.4 : Calcul de la déformation admissible .....	51
III.5.4.1 : Risqué de calcul .....	51
III.5.4.2 : Sol support .....	51
III.5.4.3. Trafic : .....	51
III.5.4.4 : Calcul de la déformation admissible sur le sol support $\varepsilon_{z,ad}$ .....	51
III.5.4.5 : Calcul de déformation admissible $\varepsilon_{t,ad}$ a la base de GB.....	52
III.5.4.5 : Modélisation.....	52
Chapitre IV : Méthode sub-saharienne.....	54
IV.1 : Introduction : .....	54
IV.2 : Présentation de l’Afrique sub-saharienne .....	54
IV.2.1 : Conditions environnemental .....	55
IV.2.1.1 : Le Climat :.....	55
IV.2.1.2 : Sol et roc :.....	56
IV.2.1.3 : Matériaux de construction.....	57
IV.2.2 : Réseau routier : état des chaussées et type de trafic .....	58
IV.3 : Les fiches de procédure : .....	59
IV.3.2 : Détermination de la classe de plate-forme :.....	61
IV.3.2.1 : Les paramètre de nature.....	61
a°) La granularité .....	61
b°) L’argilosité .....	62
IV.3.2.2 : Les paramètre de comportement mécanique.....	62
IV.3.2.3 : Les paramètres d’état : .....	63
IV.4 : Détermination des variantes de structure avec les épaisseurs des couches composantes : .....	66
IV.5 : Les fiches matériaux :.....	66
IV.6 : Les fiches de structure :.....	68
IV.7 : Calcul des limites admissibles.....	69
IV.8 : Exemple de calcul du corps de chaussée.....	69
Chapitre V : Etude Comparative.....	72
V.1 : Introduction .....	72
V.2 : Performances des deux méthodes .....	72
V.3 : Comparaison entre la méthode CTTTP et la méthode CEBTP .....	72

<b>V.3.1 : La catégorie de la voie .....</b>	<b>73</b>
<b>V.3.2 : Le trafic.....</b>	<b>73</b>
<b>V.3.3 : L'environnement.....</b>	<b>74</b>
<b>V.3.4. Le sol support .....</b>	<b>74</b>
<b>V.3.4.1 : Méthode CTTP.....</b>	<b>75</b>
<b>V.3.4.2 : Méthode ASS .....</b>	<b>75</b>
<b>V.3.4.2.2 : Les paramètre de comportement mécanique.....</b>	<b>75</b>
<b>IV.3.4.3 : Les paramètres d'état : .....</b>	<b>75</b>
<b>V.3.5 : Les matériaux : .....</b>	<b>76</b>
<b>V.3.5.1. Méthode CTTP .....</b>	<b>76</b>
<b>V.3.5.2 : Méthode CEBTP .....</b>	<b>77</b>
<b>V.3.6 : La vérification .....</b>	<b>78</b>
<b>V.3.7 : comparaison des épaisseurs de différentes couches.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.79</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>80</b>

<b><u>Tableau. II.1. Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique Francophone (CEBTP, 1982).</u></b> .....	25
<b><u>Tableau.II.2. Les classes de portance de la plateforme (CEBTP, 1982)</u></b> .....	25
<b><u>Tableau II.3 : Composition des mélanges bétons bitumineux et enrobés denses</u></b> .....	31
<b>Tableau III. 2 : Réseau principal de niveau 2 (RP2)</b> .....	37
<b>Tableau III.3 Synthèses de l'hypothèse sur les conditions de collage</b> .....	38
<b>Tableau III.4 : Durées de vie adoptées</b> .....	41
<b>Tableau III. 5 : Risques adoptés pour le réseau RP1</b> .....	41
<b>Tableau III. 6 : Risques adoptés pour le réseau RP2</b> .....	41
<b>Tableau III.7 : Choix des températures équivalentes</b> .....	42
<b>Tableau III.8 : Classes de trafic TPLi adoptées</b> .....	42
<b>Tableau III.9 : valeur du facteur de cumul C</b> .....	44
<b>Tableau III.10 : Valeurs du coefficient d'agressivité A</b> .....	44
<b>Tableau III.11 : Classes de portance à long terme du sol support</b> .....	45
<b>Tableau III.12 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux</b> .....	45
<b>Tableau III.13 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques</b> .....	46
<b>Tableau III.14: Performance mécanique des matériaux non traités</b> .....	46
<b>Tableau III.15 : valeurs de <math>t=f(r\%)</math></b> .....	47
<b>Tableau III.16 : Modélisation</b> .....	52
<b>Tableau.III.17 : Résultats de la simulation</b> .....	53
<b><u>Tableau IV.2 : Classe de trafic</u></b> .....	61
<b><u>Tableau IV.3 : Portance des sols support [</u></b> .....	63
<b><u>Tableau IV.4: de classification de sol</u></b> .....	64
<b><u>Tableau IV.5 : Matériaux-Portance</u></b> .....	68
<b><u>Tableau IV.6 : récapitulatif du mode d'utilisation de la GLL et GNT.</u></b> .....	69
<b><u>Tableau IV.7 : Résultats de la simulation</u></b> .....	71
<b><u>Tableau V.1 : Performance des deux méthodes</u></b> .....	72
<b><u>Tableau V.2 : Comparaison entre les types de voies</u></b> .....	73
<b><u>Tableau V.4 : les différents climats</u></b> .....	74
<b><u>Tableau V.5 : la comparaison entre les classifications de sol</u></b> .....	76
<b><u>Tableau V.6 : Démarche de vérification des deux méthodes</u></b> .....	79

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Le sentier.....	3
Figure I.2 : La roue.....	3
Figure I.3 : La voie romaine .....	4
Figure I.4 : Constitution d'une structure .....	7
Figure I.5: Chaussée Souple.....	10
Figure I.6 : Dalle non goujonnée.....	12
Figure I.7: dalle à joints goujonnées.....	12
Figure I.8 : béton armé continu .....	13
Figure I.7: dalle à joints goujonnées.....	14
Figure I.8: dalle à joints goujonnées.....	15
Figure.II.1. Diffusion de la contrainte selon Boussinesq.....	19
Figure.II.2. Diffusion de la contrainte d'une couche liée.....	20
Figure.II.3. Diffusion de la contrainte selon Hogg.....	21
Figure.II.4. Diffusion de la contrainte selon Westergaard.....	22
Figure.II.5. -Diffusion de la contrainte selon Busmister.....	23
Figure III.1 : Structure type 1.....	34
Figure III.2 : Structure type 2.....	34
Figure III.4 : Matériaux au liant hydraulique.....	39
Figure III.5 : Matériaux non traités.....	40
Figure. III.6 : Différentes couches de corps de chaussée.....	50
Figure. III.8 : Résultats.....	53
Figure IV.1 Vue d'ensemble de l'Afrique Sub-Saharienne.....	54
Figure IV.2 : Pluviométrie annuelle et types de sols.....	60

<b>Figure IV.3 : Schématisation de charges.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure IV. 2 : fiches de structure.....</b>	<b>69</b>
<b>Figure IV.3 Entré des données du corps de chaussée.....</b>	<b>71</b>
<b>Figure IV.4 : les résultats trouvés par logiciel.....</b>	<b>71</b>

### Liste des abréviations

- A : Coefficient d'agressivité
- A.A.S.H.O : American association state highway
- ASS : Afrique subsaharienne
- b : Pente de la droite de fatigue ( $b < 0$ ).
- BBSG : Béton bitumineux semi-grenu
- BCg : Béton du Ciment goujonné
- BS : Béton de sable
- C : Coefficient égal à 0,02.
- CBR : Califomian Bearing Ratio
- CEBTP : Centre Expérimental de Recherche et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics
- CAM : Coefficient d'agressivité structurelle moyenne d'un poids lourd par rapport à l'essieu de référence
- CTTP : Contrôle Technique des Travaux Publics
- DTP : Direction des Travaux Publics
- $E(\theta_{eq})$  : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.
- $E(10^{\circ}\text{C})$  : Module complexe du matériau bitumineux à  $10^{\circ}\text{C}$ .
- ED : Enrobés denses
- $\varepsilon_{z,ad}$  : Déformations admissibles sur le sol support
- $\varepsilon_z$  : La déformation verticale
- ESP : Ecole Supérieure Polytechnique
- ESU : Enduits superficiels
- $I_p$  : L'indice de plasticité
- GC : Grave Ciment
- GTR Guide Technique Routier
- LA : Los Angeles
- GB : Grave Bitume
- GH : Grave traitée aux liants hydrauliques
- GL : Grave Laitier GLg : Grave-laitier granulé

GLR : Grave traitée aux liants routiers

GN non traitée

GNT : Grave GB : Grave Bitume

GL. Graveleux latéritiques crus

GLC : Graveleux latéritiques améliorés au ciment

GLA : Graveleux latéritiques améliorés aux concassés 0 / D

GNTI : Graves Naturelles 0 / D (criblée, roulée)

GNT2 : Graves Concassées O/D

GRH : Graves reconstituées humides

IST : Institut des Sciences de la Terre

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

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

K $\theta$  : Facteur lié à la température.

Kr : Facteur lié au risque et aux dispersions.

Kc : Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées.

NE : Nombre d'essieux équivalents

MDE : Micro-Delval en présence d'eau

MNT : Matériaux non traités

MTB : Matériaux traités au-bitume

MTLH : Matériaux traités au laitier granulé

MJA : Moyenne journalière annuelle

RP1 : Le réseau principal de niveau I

PL : Poids lourd

SETRA : Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes  
LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

SATCCI : Southern African Transport and Communications Commission

SN : Dispersion sur la loi de fatigue.

Sb : Dispersion sur les épaisseurs (en cm).

SG : Sable Gypseux

SB : Sable Bitume

SL : Sable laitier

SH : Gables traités aux liants hydrauliques

SN : Sables naturels

SC : Sols-ciment

SB : Sable bitume

TRRL : Transport Road Research Laboraty

TC : Trafic cumulé

TCE : Trafic cumulé équivalent

V : Le coefficient de Poisson

VRNS : Voie du réseau non structurant

VRS : Voie du réseau structurant

W : Teneur en eau

W<sub>n</sub> : Teneur en eau naturelle

W<sub>opt</sub>: Teneur en eau optimale

WL : Limites de liquidité

W<sub>p</sub> : Limites de plasticité

$\delta$  : f (dispersion).

$\sigma_{t,ad}$  : La contrainte admissible de traction

$\sigma_6$  : Contrainte de flexion limite à cycles donnée par l'essai de fatigue

## Introduction générale

Les routes sont des axes de communication nécessaire au développement économique et social d'un pays. Le dimensionnement de structure de chaussée d'une route intègre plusieurs paramètres parmi lesquels l'on peut citer : la portance du sol support, le trafic et l'environnement de la route (le climat essentiellement). En termes de dimensionnement des chaussées, chaque pays adopte sa propre méthode de calcul, il n'y a pas de règle universelle.

Ce basant sur les mêmes données de trafic, notre travail consiste à dimensionner la structure d'une chaussée souple selon les deux méthodes, celle du catalogue algérien de dimensionnement de chaussée neuve du CTTP, et la méthode subsaharienne selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) et LCPC. Ces deux méthodes, se basent sur les hypothèses et données prises en compte dans la méthode de dimensionnement dite rationnelle, entre autres :

- L'agressivité du trafic équivalent en nombre,
- La notion de risque de calcul pour le dimensionnement,
- Les paramètres de performance des matériaux pris en compte dans le dimensionnement
- Les spécificités du pays (climat, géologie, trafic ... ).

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

Ce mémoire est subdivisé en **cinq (5) chapitres** :

**Le premier chapitre** commence par les généralités sur la chaussée (définition, rôle, histoire et les différents types de chaussées) ;

**Le deuxième chapitre** expose la généralité sur le dimensionnement du corps de chaussée ;

**Le troisième chapitre** présente le dimensionnement de chaussée souple par la méthode de catalogue Algérien (CTTP) à savoir : la programmation et un exemple de calcul ;

**Le quatrième chapitre** présente la méthode sub-saharienne (CEBTP) et un exemple de calcul ;

**Le cinquième chapitre** est consacré à l'étude comparative des deux méthode (CTTP et CEBTP).

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

## CHAPITRE I : Généralité sur les chaussées

### I.1. INTRODUCTON

De par ses dimensions sociale, économique, environnementale et donc politique, la route est un domaine clés pour toute société. Le besoin d'aménager des voies de déplacement est une conséquence de la sédentarisation de l'homme, soit environ 9000 ans avant notre ère. [14]

A travers le temps, la route est née du passage répété d'hommes et d'animaux sur un même itinéraire. C'est ainsi que les anciennes pistes étaient consolidées progressivement. L'apogée en technique routière fut atteint par les constructeurs romains qui au moyen âge avaient déjà réalisé des pistes en pierres (dallage fixe sur une couche de béton compose de chaux + argile + sable) ou des pierres cassées (diamètre = 0,10) et callées entre deux hérissons, avec une couche d'usure en pierres dures (diamètre = 0,03). [15]

Les progrès techniques à l'ère moderne de la construction routière permettent aux usages une voie de moins en moins soumise aux intempéries et aux ornières, consécutives du passage de charges de plus en plus lourds. L'essor des véhicules motorisés crée une vraie demande sociale. [14]

### I.2 : Historique de l'évolution des voies de circulations

Tout a commencé par la sédentarisation, qui consiste à s'établir dans un habitat occupé en continu, modifie profondément la sibilisation. au paravent basé sur le nomadisme, la société humaine va désormais produire sur ses lieux de vie ce principale Resource. L'élevage et l'agriculture vont générer des productions qui seront stockées cela grâce au développement de technique agricole et celui de technique de conservation. Les échanges s'adopteront, conduisant à une évolution rapide du commerce.

Les habitats étant désormais figés dans l'environnement, les premiers sentiers apparaissent. Ils permettent d'emprunter régulièrement le même itinéraire pour se rendre d'un point à un autre.

Ces traces rudimentaires ébaucheront, les premiers maillages de circulations humaines. [14]



**Figure I.1 : Le sentier [21]**

Ensuite, l'invention de la roue fut donc l'amorce d'une véritable révolution des transports et de la communication. Son origine reste assez méconnue. On attribue aux sibériens l'utilisation de rondins des bois pour dépasser de lourde pierre durant l'antiquité. Avant d'imaginer creuser un trou au centre d'une forme ronde pour y placer un axe : la roue était née !

Très rapidement, la charrette à roue supplante donc le traîneau comme moyen de transport.

Même rudimentaire et fragile, la roue apparait comme le meilleur moyen pour faciliter le déplacement de charges plus ou moins lourdes sur de voiries rudimentaire et irrégulière.

Son développement sera à l'origine des premières recherches autour de la subtilisation de chemin.

En quelques siècles la roue va connaitre des nombreuses évolutions ou adaptation.



**Figure I.2 : La roue[21]**

Puis, une meilleure circulation des marchandises permet d'accroître les échanges commerciaux, clé de voute de développement et donc d'accroissement des richesses.

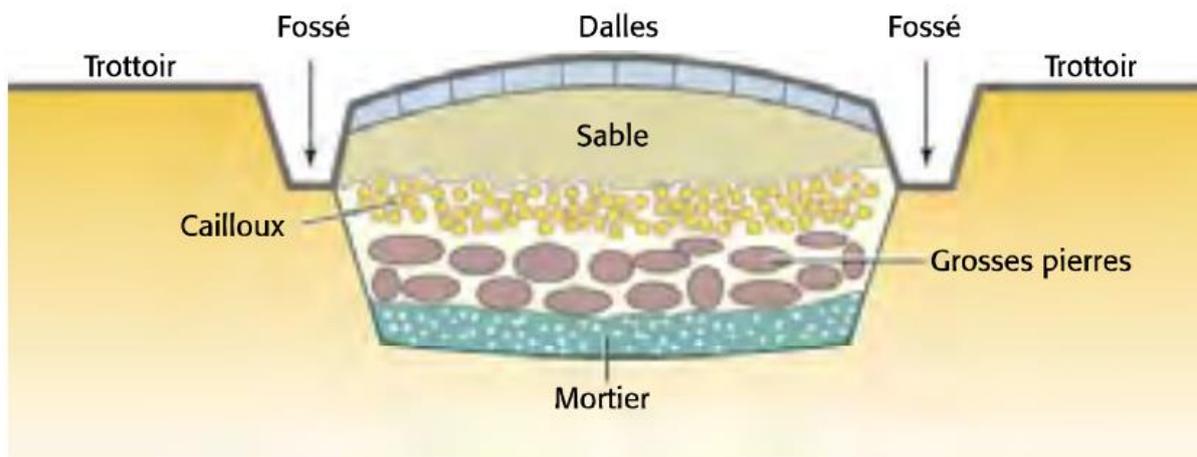
Le besoin de disposé d'un réseau accessible aux nouveaux moyens de transport qui sont les chariots sur roues traités par de bœufs devient une évidence, et ce par tous les temps.

Les premières routes pavées apparurent donc au Moyen-Orient, ainsi que des voiries en rondin en Angleterre. La première technique n'offrait pas la planéité attendue, la seconde s'avère mal adaptée aux conditions climatiques à dominante humide. Ce problème fut résolu par la mise en œuvre de sable entre les rondins.

De plus les commerces entre les différentes régions de l'empire explosaient, mais nécessitant un excellent réseau routier. L'empire Romain utilise ces esclaves qui représentent 30% de la population pour faciliter la réalisation des travaux routiers.

Une première route pavée a été construite en Grèce en 2000 avant Jésus-Christ, ancêtre des voies romaines, qui ne l'égalèrent pas toujours. Constituée de dalles de grès assemblées par un mortier d'argile et de gypse, recouverte ensuite par des dalles de basalte, la route reliant Cnossos à Gortyne en Grèce était même équipée d'aires d'arrêts !

De même, la voie romaine correspond à un schéma de construction extrêmement précis. Le principe consiste à creuser une fosse d'une profondeur variable, qui sera ensuite comblée par des superpositions successives de matériaux de granulométrie différentes.



**Figure I.3 : La voie romaine [14]**

Le développement des différentes techniques, au fil des siècles, sous des conditions du trafic relativement modéré, a permis à chacune de prospérer dans le temps. [14]

## **I.3. La chaussée**

### **I.3.1. Définitions**

-**Au sens géométrique** : On appelle chaussée toute surface spécialement aménagée, sur le sol ou sur un ouvrage, pour le stationnement ou la circulation des personnes et des véhicules. [3]

-**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 chaussée a pour rôle :

- ✓ D'absorber les charges dues aux véhicules ;
- ✓ D'encaisser les variations journalières et saisonnières de température et d'hygrométrie ;
- ✓ De supporter le poinçonnement résultant du stationnement des véhicules ;
- ✓ De rejeter les eaux de pluie vers l'extérieur ;
- ✓ Résistance aux effets de roulage et de freinage des véhicules ; [1]

### I.3.3. Constitution des structures de chaussée

#### I.3.3.1 : Le sol support :

Le sol support est généralement surmonté d'une 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. [8]

#### I.3.3.2 : Couche de surface :

Elle peut comprendre une ou plusieurs couches d'enrobé (couche de roulement, et une ou deux couches de liaison).[22]

#### Couche de roulement :

Elle est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. Elle assure une ou plusieurs des fonctions suivantes :

- **Sécurité** :
  - adhérence
  - drainabilité
  - uni longitudinal et transversal
- **Confort** :

- Bruit de roulement
- uni longitudinal et transversal
- **Protection de l'assise :**
- imperméabilisation
- résistance mécanique (cisaillement, orniéage...).
- résistance aux agents extérieurs (eau, sel, soleil...).
- ✚ **Couche de liaison :**

Lorsqu'une couche de liaison est prévue, elle est interposée entre les couches d'assise et la couche de roulement.

Selon la nature de la couche de roulement et l'importance du trafic, la nature de la couche de base et les exigences sur le niveau d'uni, une couche de liaison peut être nécessaire afin d'assurer les rôles suivants :

- imperméabilisation
- résistance à l'orniéage
- amélioration de l'uni
- retarder la remontée des fissures

### I.3.3.3 : Couche d'assise

Les couches d'assise sont généralement constituées de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base.[23]

Elles assurent les rôles suivants :

- reparti les charges sur la plate-forme : elles permettent de répartir les pressions sur le support de chaussée afin que la déformation reste dans les limites admissibles ;
- présenter des bonnes performance mécanique :elles permettent à la chaussée une résistance mécanique vis-à-vis des charges induites par le trafic ;
- assurer une bonne protection thermique.[14]

### ✚ Couche de base :

C'est une couche intermédiaire, permet le passage progressif entre couche de roulement et couche de fondation [9]. Elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes. [30]

#### ✚ Couche de fondation :

Elle a le même rôle que celui de la couche de base.

La couche de base et couche de fondation forment le « corps de chaussée ». [5]

#### I.3.3.4 : Couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe qui sert à adopter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou de terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques, et thermiques requises pour optimiser les couches de chaussée.[28]

Elle n'y est utilisée que pour opérer de corrections géométriques et améliorer la portance du sol support à long terme, elle participe à son intégrité par ses fonctions :

- ✓ Pendant les travaux, elle contribue au nivellement et assure le trafic d'engins et de véhicules sur le chantier.
- ✓ Elle permet d'égaliser le terrain naturel.
- ✓ Elle protège contre le gel.
- ✓ Elle est constituée de matériaux réutilisés. [9]

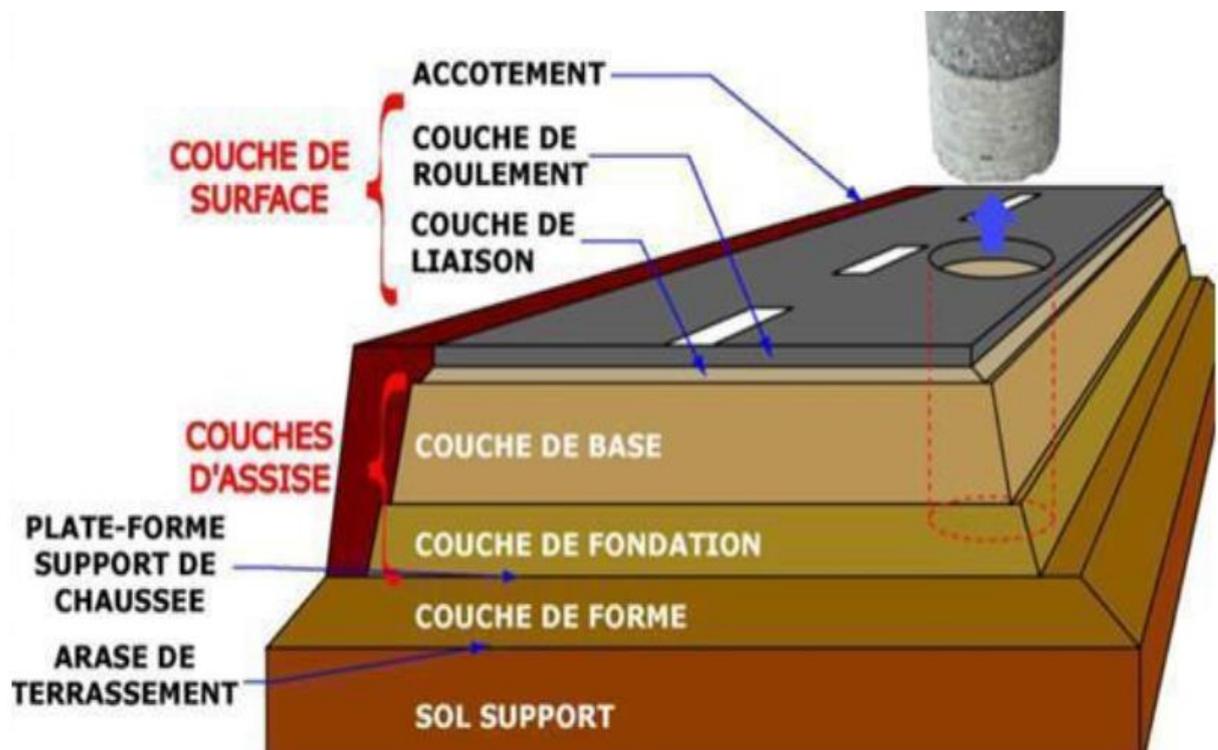


Figure I.4 : Constitution d'une structure de chaussée type. [1]

### I.3.4 : Les différents types de chaussées

L'une des caractéristiques du réseau routier est l'existence d'une grande diversité de Structure de chaussées, que l'on classe dans les familles ci-dessous, Suivant leur mode de fonctionnement, on distingue six grandes familles de chaussée. [1]

- ✓ Chaussées souples ;
- ✓ Chaussées bitumineuses épaisses ;
- ✓ Chaussées semi-rigides ;
- ✓ Chaussées à structure mixtes ;
- ✓ Chaussées à structure inverse ;
- ✓ Chaussées rigides ;

#### I.3.4.1 : Les chaussées souples

Ces sont les structures dites traditionnelles composées d'une couche bitumineuse (BB) mince (< 15 cm) pour la couche de roulement, et d'un corps de chaussée, assise, constitué d'une ou plusieurs couches de grave non traité (GNT). L'épaisseur globale de la chaussée est comprise entre 30 et 60 cm.[25]

Plusieurs catégories de chaussées souples sont identifiées. En plus de la chaussée classique ou conventionnelle (Haas, 1997), on distingue :[14]

- ✓ Les chaussées souples pleine profondeur, aussi appelées chaussées souples toute épaisseur, qui regroupent les structures où les mélanges bitumineux, employés pour toutes les couches au-dessus du sol support, à l'exception d'une couche de forme (de nivellement) granulaire drainante posée sur l'infrastructure (sol support) ;
- ✓ Les chaussées souples profondes, aussi appelées chaussées souples grande épaisseur, qui regroupent les structures où le revêtement et la couche de fondation sont en enrobé bitumineux.

L'épaisseur globale de la chaussée est généralement, comprise entre 30 et 60 cm. [2]

##### I.3.4.1.1 : Mode de fonctionnement :

Comme la couverture bitumineuse est relativement mince ( $\leq 12$  cm), elle 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 celle-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. [14]

#### **I.3.4.1.2 : Rôle du revêtement**

- ✓ Imperméabilise le corps de la chaussée pour éviter la pénétration des eaux de pluie ;
- ✓ Contribue à la répartition des charges appliquées ;[24]
- ✓ Assure l'adhérence des pneus à la chaussée et présente une surface confortable et sécuritaire ;
- ✓ Élimine la perte des granulats et la poussière. [1]

#### **I.3.4.1.3 : Rôle de la fondation :**

- ✓ Constitue l'élément porteur essentiel ;
- ✓ Supporte le revêtement ;
- ✓ Contribue à la répartition des charges appliquées ;
- ✓ Sert de protection contre le gel du sol support ;
- ✓ Offre une surface stable, pour l'exécution des travaux de pose du revêtement ; [6]

#### **I.3.4.1.4. Rôle de la sous-fondation :**

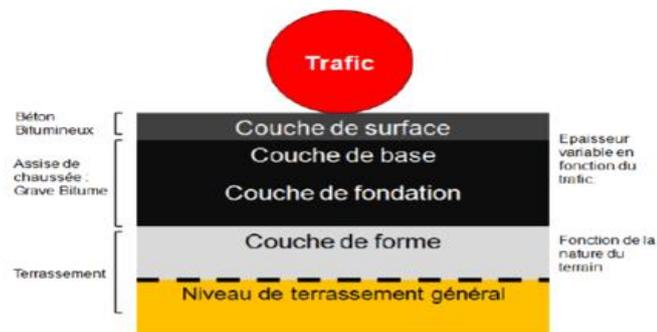
- ✓ Contribue à la répartition des charges appliquées sur l'infrastructure ;
- ✓ Sert de protection contre le gel du sol support ;
- ✓ Assure un bon drainage de la fondation et prévient la contamination du corps de la chaussée par le sol support ; [6]

#### **I.3.4.1.5. Avantages des chaussées souples**

- ✓ Structures économiques ;
- ✓ E plus élevé : de 1000 à 15000 MPa ;
- ✓ Dosage en liant faible (3 à 6%) ;

#### **I.3.4.1.6. Inconvénients des chaussées souples**

- ✓ Faible rigidité ;
- ✓ Epaisseur élevée ;
- ✓ Module dépend de la température à 40°C 1/10 du module à 10°C ; [24]



Figurel.5: Chaussée Souple

### I.3.4.2. Chaussée rigide

En général, de faibles épaisseurs, elles sont revêtues d'une dalle en béton leur conférant un module d'élasticité assez élevé.[24]

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.[29]

Il en existe aussi qui acquièrent leur rigidité dans l'équilibre entre la cohésion améliorée des différentes couches et l'importance de l'épaisseur d'ensemble du corps de chaussée. [1]

#### I.3.4.2.1 :Mode de fonctionnement

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 fissuration due au retrait de prise et thermique est contrôlée et localisée, soit par la réalisation de joints sciés formant des dalles courtes, soit par des armatures métalliques longitudinales positionnées au niveau de la fibre neutre. [14]

#### I.3.4.2.2 : Rôle du revêtement

- ✓ Imperméabilise le corps de la chaussée pour éviter la pénétration des eaux de pluie ;
- ✓ Contribue à la répartition des charges appliquées sur une surface très étendue de l'infrastructure, au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement ;
- ✓ Assure l'adhérence des pneus à la chaussée et présente une surface confortable et sécuritaire ; [1]

**I.3.4.2.3 : Rôle de la fondation :**

- ✓ Assure la continuité des dalles au droit des joints ;
- ✓ Contribue à la répartition des charges appliquées ;
- ✓ Sert de protection contre le gel du sol support ;
- ✓ S'oppose à la remontée des fines par pompage au droit des joints ;
- ✓ Offre une surface stable pour l'exécution des travaux de pose du revêtement. [6]

**I.3.4.2.4. Rôle de la sous-fondation :**

- ✓ La couche de sous-fondation n'est pas nécessaire au point de vue structural dans le cas des chaussées
- ✓ Rigides toutefois une sous-couche drainante ou anti contaminante peut être souhaitable, dans certains cas, entre l'infrastructure et la fondation. [1]

**I.3.4.2.5. Avantages des chaussées rigides**

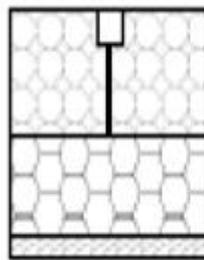
- ✓ E Très élevé : E de 35000 à 40000 MPa ;
- ✓ Réduction de l'épaisseur ;
- ✓ Durabilité élevée ;

**I.3.4.2.6. Inconvénients des chaussées rigides**

- ✓ Fissures possibles ;
- ✓ Pas d'utilisation en pente [24]

**I.3.4.2.7 : Chaussées à dalle non armées et non goujonnées « chaussé non articulées et non renforcées » :**

Pour ce type de chaussée, la fissuration spontanée est réduite par la réalisation des joints. Ces joints peuvent être soit moulés dans le béton, soit sciés dans le béton jeune. On distingue les joints longitudinaux de construction et de retrait puis les joints transversaux de construction et de retrait bien que les joints permettent de réduire significativement les problèmes de fissuration, ils constituent néanmoins des points faibles pour ce type de chaussée.

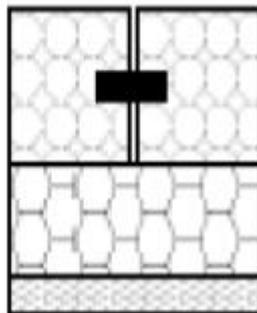


1. Béton de ciment ( 20 à 28 cm)
2. Béton maigre (12 à 18 cm) ou matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 20 cm)
3. Plate-forme support

Figure I.6 : Dalle non goudonnée

#### I.3.4.2.8 : Chaussées à dalle non armées, à joints goudonnés « chaussées articulées et non renforcées »

L'implantation des goujons au droit de chaque joint permet l'amélioration du comportement des joints transversaux et du transfert de charge entre dalles. Les goujons sont constitués par des barres d'acier lisse, mises en place dans le béton soit par insertion avec vibration dans le béton frais, soit posés à l'avance sur des berceaux [1]



1. Béton de ciment ( 17 à 23 cm)
2. Béton maigre (14 à 22 cm)
3. Plate-forme support

Figurel.7: dalle à joints goudonnés

#### I.3.4.2.9 : Chaussées à dalle armées et joints goudonnés « chaussées articulées et renforcées »

Les armatures de la dalle permettent de reprendre les efforts de traction dus aux passages des véhicules [1].

### I.3.4.2.10 : Chaussées en béton armé continu « chaussées continues et renforcées »

L'introduction des armatures continues au niveau de la dalle de béton permet la suppression des joints qui constituent des points faibles. Les aciers permettent de reprendre les efforts de traction dus aux moments fléchissant [1].

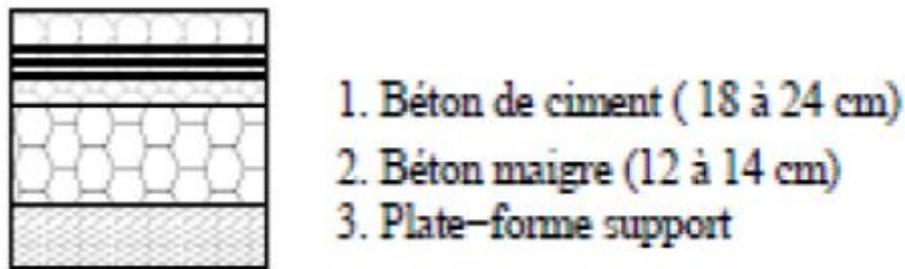


Figure I.8: béton armé continu

### I.3.4.3 : Chaussée semi- rigide

Ces sont les chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques. Elles comportent une couche de surface bitumineuse et une ou deux couches d'assise en matériaux traités au liant hydraulique (MTLH) dont l'épaisseur est de 20 à 50 cm. [5]

#### I.3.4.3.1 : Mode de fonctionnement

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 maximum 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. Si cette interface est décollée ou glissante, les deux couches sont sollicitées en traction à leur base.[14]

Ces assises sont surjetées aux retraites (phénomène de prise et thermique), qui provoquant une fissuration transversale remontant au travers et de la couche de roulement. Lorsqu'une couche de liaison est prévue, elle permet de retarder la montée des fissures de retrait vers la surface.

### I.3.4.4 : Les chaussées bitumineuses épaisses

Dans ce type de structure, l'épaisseur des matériaux bitumineux est supérieure à 12cm.les couches de surface et de base sont en matériaux bitumineux. La couche de fondation peut être en bitumineux ou en grave non traité.[25]

#### I.3.4.4.1 : Monde de fonctionnement :

La rigidité des couches en matériaux bitumineux permet de diffuser en les atténuant fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée.

Les contraintes verticales dues au trafic sont reprises en traction-flexion par les couches bitumineuses la plus profonde, lorsque les interfaces des différentes couches sont collées. Par contre, lorsque les couches sont décollées, chacune d'elles se trouve sollicitée en traction avec une plus grande amplitude et peut rompre prématurément par fatigue. [14]

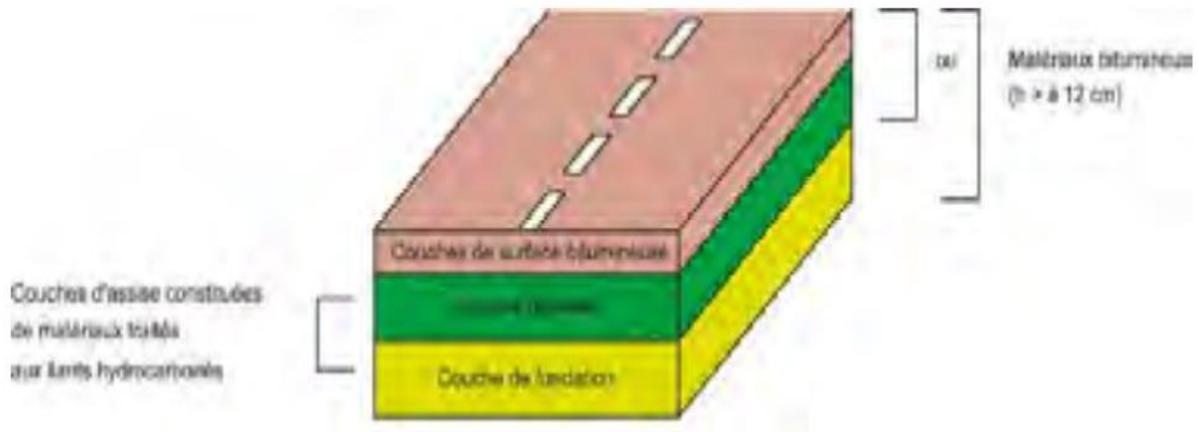


Figure I.9 : bitumineuses épaisses. [14]

#### I.3.4.5 : Les chaussées mixtes

Elles sont composées d'une couche de roulement et d'une couche de base en matériaux bitumineux sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. Le rapport  $K$  de l'épaisseur des matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée est de l'ordre de 0,5. Ces structures allient le comportement des deux types de matériaux et limite la vitesse de remontée des fissures. [5] Elle constitue un support de faible déformabilité pour les couches supérieures de matériaux bitumineux. La faiblesse de ces structures tient dans la sensibilité des interfaces à la dilatation différentielle, les couches peuvent alors se décoller et les couches supérieures supporter des contraintes qui produisent leur destruction.[31]

##### I.3.4.5.1 : Mode de fonctionnement :

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. [14]

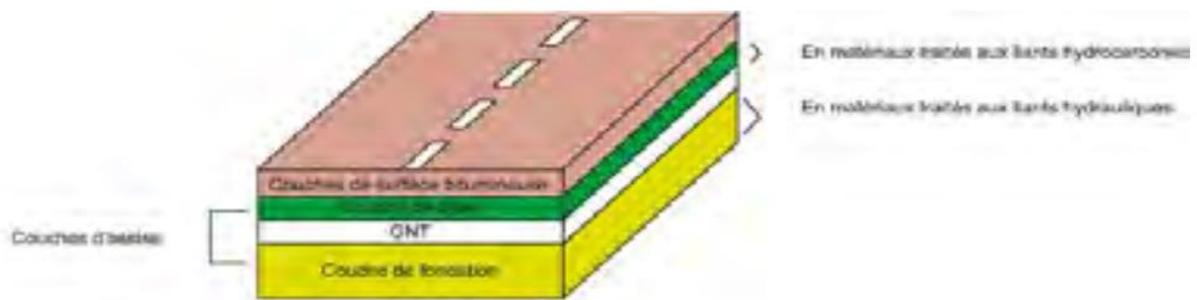


Figure I.10 : Structure mixtes

### I.3.4.6 : Les chaussées à structure inverse

Leur structure est composée de couches bitumineuses (surface et une couche d'assise) sur une couche de GNT (de 10 à 12 cm d'épaisseur) reposant sur une couche de fondation en MTLH. L'interposition d'une couche granulaire (absente de la structure mixte comportant également une couche de matériaux traités au liant hydrocarboné et une couche de MTLH) permet de réduire efficacement la vitesse de remontée des fissures. Cette structure est une configuration utilisée pour les chaussées autoroutières [5].

#### I.3.4.6.1 : Mode de fonctionnement :

La rigidité élevée des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales dues 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 (couches 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. [14]

Parmi les différents types de chaussées cités ci-dessus trois sont utilisées en Algérie et dans les pays subsahariens à savoir : **Souple, Rigide et semi-rigide**

## **Chapitre II : Généralité sur le dimensionnement du corps de chaussée**

### **II.1. Introduction :**

Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude d'un projet routier. Il s'agit simultanément de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée. Afin d'assurer de bonnes caractéristiques mécaniques qui lui permettra de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie.[26]

Le dimensionnement d'une chaussée est conditionné par trois familles de paramètres, qui sont les suivantes :

- ✓ Le trafic (l'importance de la circulation et surtout l'intensité du trafic en poids lourds).
- ✓ La portance du sol support désignée par son indice C. B. R. (le sol support).
- ✓ L'environnement de la route (le climat essentiellement). [9]

### **II.2. Règle du dimensionnement**

Les règles de dimensionnement de chaussée s'appuient sur :

- ✓ D'une part sur la connaissance techno-expérimentale permettant de fixer les caractéristiques à la rupture et les caractéristiques de déformabilité des matériaux déterminées par les essais au laboratoire et des constatations sur le comportement des chaussées ;
- ✓ D'autre part sur les méthodes mathématiques au moyen d'un modèle mathématique convenable ;
- ✓ La confrontation entre connaissance technologique et les résultats théoriques [1]

### **II.3. Les différentes méthodes de dimensionnement**

Le dimensionnement d'une structure de chaussée c'est-à-dire la détermination de l'épaisseur des différentes couches de la chaussée dépend de la nature de la structure de chaussée choisie et du pays.

En effet, certains pays ont développé des catalogues spécifiques en dehors des méthodes Classiques que sont :[10]

### **II.3.1. Méthode empirique**

Parmi les méthodes empiriques on peut citer la méthode de l'AASHTO, de l'Asphalte Institute, de Californie au CBR, Transport and Road Research Laboratory (TRRL). La méthode la plus répandue et la plus célèbre reste la méthode de l'AASHTO qui est la seule basée sur des essais routiers qui ont permis de relier la dégradation des chaussées sous le trafic au comportement. Cette méthode est bien adaptée aux chaussées souples et tient compte du climat de la zone par un paramètre correctif appelé facteur régional. [10]

#### **II.3.1.1. Méthode CBR**

C'est une méthode qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de 90 à 100% de l'optimum Proctor modifié. la détermination de l'épaisseur du corps de chaussée est par la formule de Peltier (1953, 1956) :

Pour un trafic en voiture particulière :  $TMJA \times 365 \times 1.5t < 100000$  t/ans

$$e(\text{cm}) = \frac{100 + 150\sqrt{p}}{I_{CBR} + 5}$$

e : épaisseur équivalente

P : charge par roue 6.5t (essieu 13t).

ICBR : indice CBR (sol support)

#### **II.3.1.2 : Method TRRL (Transportation Road Research Laboratory)**

Pour un trafic en voiture particulière :  $TMJA \times 365 \times 1.5t \geq 100000$  t/ans

$$e(\text{cm}) = \frac{100 + \sqrt{p(75 + 50 \log(\frac{N}{10}))}}{I_{CBR} + 5}$$

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

Log : logarithme décimal

Pour prendre en compte l'augmentation de l'agressivité des véhicules et du trafic, des rapports ont servi de base à l'établissement du catalogue de dimensionnement des routes du transportation Road Research Laboratory (TRRL). Les structures envisagées sont souples, semi-rigides ou rigides. Pour chaque type de structure, la lecture d'un graphe donne directement

l'épaisseur des couches en fonction du trafic (exprime en million d'essieux équivalent) et du type de matériaux.

### **II.3.1.3 : Méthode A.A.S.H.O :**

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

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.
- L'influence des charges et de leur répétition. [11]

### **II.3.1.4 : Méthode de l'ASPHALT INSTITUTE :**

Basée sur les résultats obtenus des essais « AASHO » on prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalte Institute [11].

### **II.3.2.5. Méthode Ivanov**

Le professeur Ivanov de l'Ecole des Ponts et Chaussées de Moscou propose dans le cas du système multicouches à élasticités différentes (modules d'élasticité variables) la formule suivante pour déterminer la contrainte verticale : [1]

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

Avec

- ✓  $a = 2.5$  dans le cas d'un sol homogène
- ✓  $a = 2$  dans le cas d'un système bicouche
- ✓  $a = 1$  dans le cas d'un système tri couche et au-delà.

Sa formule s'apparente à celle de Boussinesq avec  $q = F/\pi r^2$  qui est la pression de contact.

### II.3.2 Les méthodes théoriques

Les méthodes théoriques dites mécanistes se basent sur l'analyse théorique des contraintes engendrées dans la chaussée par les charges, sur les propriétés mécaniques des matériaux, sur des modèles expérimentaux du comportement rhéologique des matériaux soumis à des charges répétées et enfin, à divers facteurs d'environnement. [6]

#### II.3.2.1 : Modèle de Boussinesq.

Boussinesq considère le sol comme un massif élastique, semi infini. Il suppose en plus que 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 support. La charge  $q$  du pneumatique appliqué à la chaussée génère une contrainte en fonction de la profondeur. Le but est de rechercher à quelle profondeur du sol support la contrainte verticale a été suffisamment diffusée pour ne pas dépasser la contrainte admissible.[12] Le rôle de la chaussée est de répartir la pression exercée par le pneumatique pour l'amener à un niveau compatible avec ce qui peut être supporté par le sol support.

La pression  $q_0$  (d'environ 0.2 – 0.7 MPa), exercée par les pneus ne peut pas être soutenue en totalité par la couche support en sol naturel. Le rôle des couches de chaussées est de réduire cette pression compte tenu de leur rigidité.

Pour une charge circulaire de rayon  $a$  et de pression  $q_0$ , la contrainte  $\sigma_z$  à l'aplomb du cercle est maximum. A la profondeur  $z$ , elle a la valeur : [11]

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

$q_0$ : pression appliquée par le pneumatique.

$a$  : rayon d'action de la charge,  $Z$  : profondeur

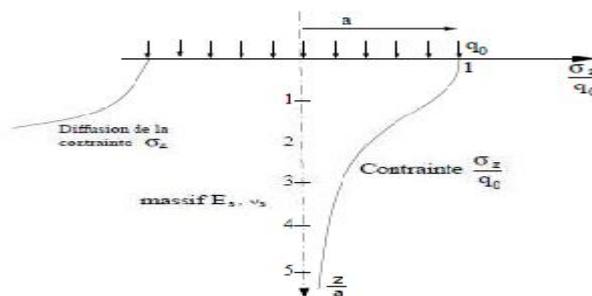
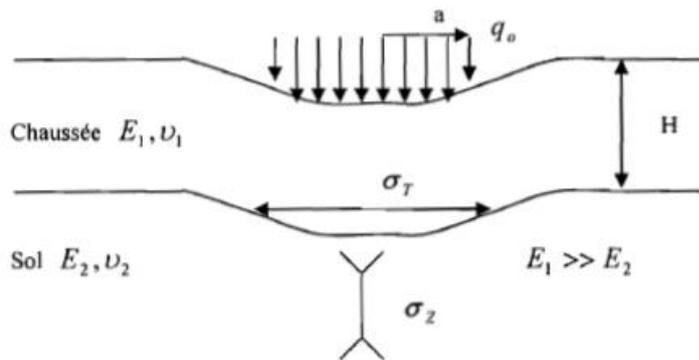


Figure.II.1. Diffusion de la contrainte selon Boussinesq. [12]

**II.3.2.2. Modèle bicouche**

Dans le cas d'une faible contrainte sur le support ; il peut être coûteux de réaliser la répartition des pressions par l'intermédiaire du corps granulaire ou bien le dimensionnement pour un corps de chaussée granulaire peut mener à une épaisseur forte. Pour l'éviter, les matériaux peuvent être traités aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés. Le liant, avec son aptitude d'augmenter le module, modifie donc son comportement mécanique. La couche de chaussée fléchit sous la charge et s'accompagne de contrainte de traction par flexion à la base de la chaussée. Pour le dimensionnement nous devons satisfaire deux critères qui conditionnent son comportement dans le temps : [12]

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z \leq \sigma_{adm} \text{ et} \\ \sigma_t \leq \sigma_{tadm} \text{ qui est une condition nécessaire et suffisante car } \sigma_t \leq \sigma_{tadm} \rightarrow \sigma_z \leq \sigma_{adm} \end{array} \right.$$



**Figure.II.2.** Diffusion de la contrainte d'une couche liée

**II.3.2.2.1. Modèle de Hogg**

Le modèle bicouche génère des contraintes verticales et des déplacements qui sont difficiles à résoudre. Pour les déterminer, Hogg assimile la chaussée à une plaque mince et utilise les hypothèses simplificatrices de Navier :

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

Les déplacements verticaux satisfont à l'équation de Lagrange qui fournit une première entre les deux inconnues  $\omega$  et  $\sigma_z$ . [20]

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

D : est un facteur de rigidité

P : la somme des pressions  $P = \sigma_z - q_0$

$$\omega : \text{la déflexion} \quad \Delta^2 \omega = \frac{\sigma_z - q_0}{D} \quad w = \frac{2(1-\mu^2)q_0}{E}$$

La deuxième relation est obtenue en assimilant les déplacements verticaux de la fibre neutre de la plaque aux déplacements verticaux du massif (dus aux contraintes sur le massif selon Boussinesq). De plus le glissement de la chaussée sur son support est supposé parfait.

Pour  $P = \pi \cdot q_0 \cdot a^2$  : charge par roue, la contrainte de traction à la base de la chaussée est donnée par la formule de Hogg :

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

$$\sigma_t = \frac{1}{H^2} \frac{1+\mu}{2} q_0 a^2 \cdot F\left(\frac{E_1}{E_2} \frac{H^3}{a^3}\right)$$

on note D le facteur de rigidité et :  $D = \frac{1+\mu}{2\pi} F\left(\frac{E_1}{E_2} \frac{H^3}{a^3}\right)$

le facteur de rigidité relative  $\frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{H^3}{a^3}$

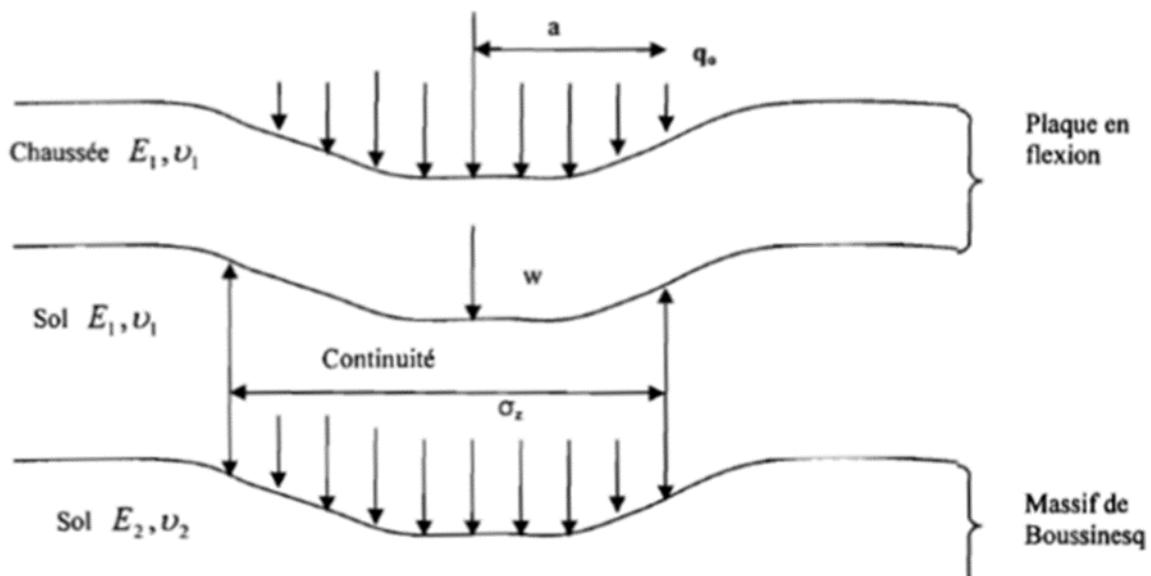


Figure.II.3. Diffusion de la contrainte selon Hogg

### II.3.2.2.2. Les Modèles de Westergaard

Outre l'hypothèse de la plaque utilisée par Hogg, Westergaard considère le sol comme un assemblage de ressort dont le déplacement vertical en un point est proportionnel à la pression verticale en ce point soit  $V = k\omega$ , voir schéma du modèle de calcul.[27]

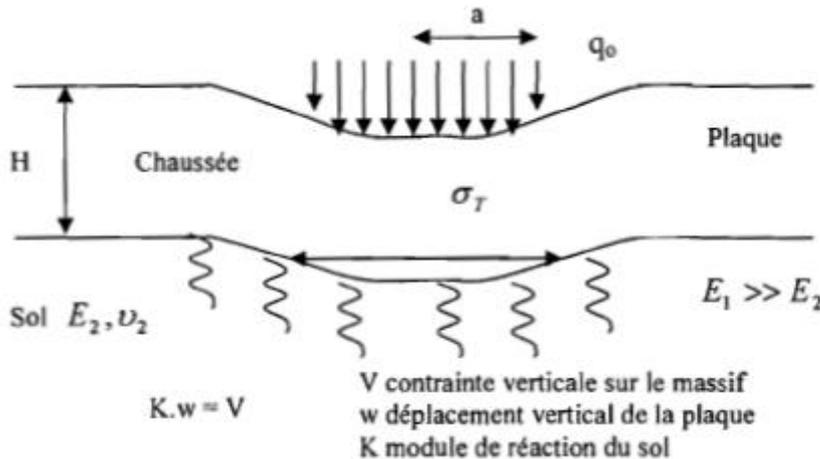


Figure.II.4. Diffusion de la contrainte selon Westergaard

Plus tard Lagrange a proposé la relation :

$$\Delta^2 \omega(r) = \frac{V(r) - q_0}{D}$$

C'est une équation différentielle du 4<sup>ème</sup> ordre pour laquelle les hypothèses simplificatrices de Hankel ont beaucoup aidé à la résolution. [12]

### II.3.2.3. Modèle multicouche de chaussée de **Burmister (1943)**

Après avoir étudié les bicouches et su apprécier le rôle de l'épaisseur, l'influence du rapport de module entre couche et l'influence du rayon de chargement. Burmister a développé le cas de modèle à n couches. Il s'agit là d'un modèle assez puissant puisque :

- les couches sont considérées comme des solides élastiques
- les interfaces entre couches peuvent être soit collées ou décollées
- le cas des charges multiples peut être appliqué en additionnant les effets de charges élémentaires. Pour évaluer les contraintes et les déplacements dans les couches, Burmister a utilisé la théorie de l'élasticité et l'hypothèse de la symétrie de révolution du chargement qui a beaucoup facilité les calculs.

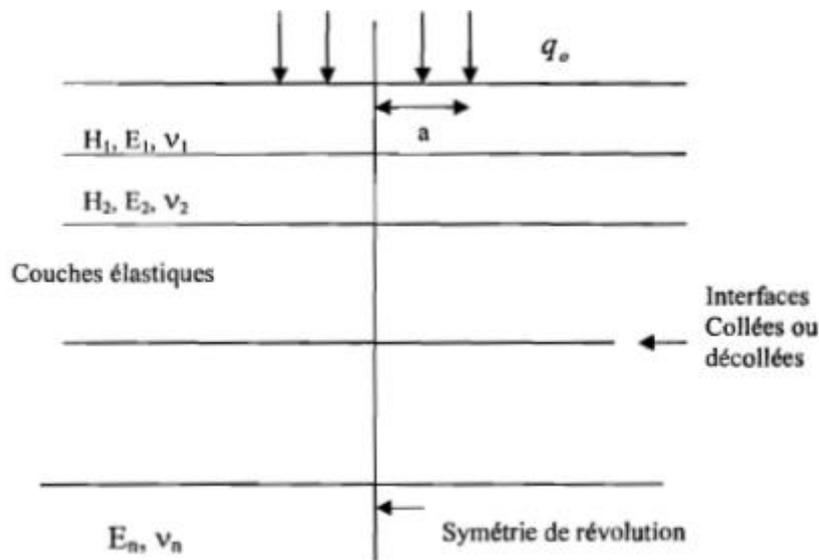


Figure.II.5. -Diffusion de la contrainte selon Busmister [27].

### II.3.2.4 Modèles 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, Duncan (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.

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 :

$$R \cdot u = C$$

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.

La résolution du système linéaire permet de déterminer les déplacements aux nœuds. À partir de ces déplacements, on peut calculer les déformations puis les contraintes dans la structure. Avec un choix adéquat des éléments géométriques, on pourrait obtenir une bonne approximation de la solution analytique. [6]

### **II.3.2.5. Modèle de viscoélastique**

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.3.3. Méthode semi empirique**

Elles intègrent les résultats des études théoriques, des essais et les constatations faites sur des routes déjà existantes. Elles sont plus répandues [13].

#### **II.3.3.1. Méthode SETRA-LCPC/1981**

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]

#### **II.3.3.2. Méthode SATCCI**

Ce guide pratique qui a été développé en Afrique du Sud récemment, est un catalogue qui est basé fondamentalement sur l'expérience du TRRL britannique, mais qui contrairement à celui-ci différencie le dimensionnement selon les régions climatiques. Les valeurs des classes de portance et du trafic sont les mêmes que celles du guide TRRL [1 ; 8].

**II.3.3.3. Méthode CEBTP**

Cette méthode tient compte de deux critères :

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

Elle décrit cinq classes de trafic exprimées en nombres cumulés de passages d'un essieu équivalent de 13 tonnes, et enfin cinq classes de portance de la plateforme. C'est ainsi qu'elle donne des épaisseurs en centimètres de corps de chaussée en graveleux latéritique amélioré ou non.

**Tableau. II.1. Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique Francophone (CEBTP, 1982).**

Nombre équivalent de PL	Classe de trafic	Nombre équivalent de Véh/j
$< 5.10^5$	T <sub>1</sub>	$< 300$
de $5.10^5$ à $1.510^6$	T <sub>2</sub>	de 300 à 1000
de $1.510^6$ à $410^6$	T <sub>3</sub>	de 1000 à 3000
de $410^6$ à $10^7$	T <sub>4</sub>	de 3000 à 6000
de $10^7$ à $210^7$	T <sub>5</sub>	de 6000 à 12000

**Tableau.II.2. Les classes de portance de la plateforme (CEBTP, 1982) [12].**

Classes	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
CBR (%)	<5	05-10	10-15	15-30	>30

**II.4. Paramètre de dimensionnement des chaussées souples**

La durée de vie d'une chaussée est liée à la fatigue des matériaux qui la composent. Pour le béton bitumineux, la fatigue ne semble être liée qu'à la déformation qu'il subit. Pour les sols supports, mis à part l'aspect de rupture plastique, la fatigue se traduit par des tassements.

Enfin pour les matériaux granulaires, la fatigue reste très sensible à leur état hydrique qui provoque une chute de rigidité notable. Le dimensionnement des chaussées souples est basé sur les paramètres suivants :

La déformation radiale à la base de la couche de béton bitumineux qui doit être limité pour empêcher sa rupture par fatigue (fissuration).

La déformation verticale à la surface du sol support qui doit être limité pour cause d'orniérage [8].

### **II.4.1. Le trafic**

Le trafic est notamment le poids lourd, est l'un des paramètres prépondérants du dimensionnement des chaussée ; il est nécessaire de l'analyser en termes d'agressivité vis-à-vis des chaussées sur lesquelles il circule.

#### **II.4.1.1. Agressivité de trafic**

Le passage d'une charge lourde sur une chaussée provoque des dommages de différentes natures :

Le support de la chaussée, sol-support ou couche de forme en matériaux non traités, enregistre à chaque passage d'une charge, une déformation permanente fonction de la contrainte verticale qui lui est appliquée. L'accumulation de ces déformations permanentes se traduit à la surface de la chaussée par des déformations du profil, du moins en ce qui concerne les chaussées traditionnelles. Sous les assises traitées aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés, les contraintes verticales sur le support sont suffisamment faibles pour que les déformations permanentes restent modérées.

Les structures des chaussées qui comportent des couches liées fléchissent à chaque passage de la charge. Ce fléchissement donne lieu, à la base de la chaussée, à des contraintes de traction par flexion, la répartition de ces contraintes de traction conduit à une accumulation des dommages de fatigue qui provoquera à terme la ruine de la chaussée (fissuration).

Ce mode de rupture par flexion répétée constitue le mode principal des ruptures des chaussées comportant des assises traitées (liants hydrauliques ou hydrocarbonés).

Le passage de charges peut aussi entraîner d'autres dommages dans la couche de surface de la chaussée. Le revêtement peut s'user jusqu'à devenir glissant (effort tangentiel), la répétition de contraintes verticales peut conduire, sur certains revêtements, à un orniérage notable (fluage).

Les modèles de calculs les plus courants, ne permettent d'étudier que les dommages des deux premiers types. Les dommages du troisième type sont plus difficiles à appréhender par le calcul. [8]

#### **II.4.1.2 Prise en compte du trafic dans le dimensionnement**

Rappelons que le dimensionnement des chaussées est un dimensionnement à la fatigue, les matériaux de chaussée étant choisis par ailleurs pour répondre à d'autres exigences telles que la résistance au fluage et les caractéristiques antidérapantes.

Caractériser le trafic en vue du dimensionnement d'une chaussée, c'est en fait déterminer le nombre  $n_{eq}$ , trafic cumulé équivalent au trafic devant réellement circuler sur cette chaussée pendant sa durée de vie, telle qu'elle a été conventionnellement définie. On en déduit ensuite les contraintes et les déformations à ne pas dépasser dans les différents matériaux de la chaussée. Ce nombre  $n_{eq}$  est fonction :

Du trafic à la mise en service, exprimé en nombre de poids lourds ou en nombre d'essieux.

De l'agressivité de ce trafic, exprimé en nombre d'essieux standards.

De la durée considérée et du taux croissance.

Selon les méthodes, c'est le nombre de cycles  $n_{eq}$  ou le trafic à la mise en service qui constitue le paramètre d'entrée dans les méthodes pratiques de dimensionnement.

La détermination de  $n_{eq}$  nécessite de faire des hypothèses et des choix sur l'agressivité du trafic, la durée de service de la chaussée et le taux de croissance. Selon le cas ; ces hypothèses et ces choix seront implicites (cas du catalogue des structures-type de chaussée neuves) ou laissée au choix du maître de l'ouvrage (cas du manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic) [8].

#### **II.4.2. Le sol support**

Les sols support sont, en général classés selon leur portance elle-même en fonction de l'indice CBR[32]

La démarche logique de la connaissance d'un sol-support de chaussée comporte trois étapes distinguées :

Une identification géotechnique qui permet de rattacher le comportement prévisible de ce sol au comportement général d'une famille connue. Cette étape s'appuie sur une classification des sols.

Une étude des paramètres d'état, car pour une famille de sols donné, il existe des paramètres caractéristiques de leurs comportement et il est important d'en situer la valeur par rapport à une valeur de référence. On s'appuie ici sur la courbe Proctor-CBR.

Une évaluation de la portance : contenu de la valeur des paramètres d'état (par exemple de la teneur en eau), on cherche ici à obtenir une évaluation chiffrée de la capacité portance, on utilise par exemple l'essai de plaque ou l'essai CBR (Californie bearing ratio) qui est utilisé pour évaluer la portance des sols sensible à l'eau.

D'autres éléments que les seuls éléments géotechniques sont néanmoins nécessaires pour effectuer l'analyse des contraintes et des déformations dans une structure de chaussées, ces autres éléments sont issus d'étude générale de laboratoire et de l'observation de comportements des chaussées [8].

### **II.4.3. : Les conditions environnementales**

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

#### **• Impact du climat sur les chaussées**

Les paramètres qui peuvent influencer sur la stabilité d'une chaussée sont principalement les précipitations et la température.

##### **a°) Impact de la précipitation**

L'eau a toujours été l'ennemi n° 1 de la chaussée. Son contact direct et prolongé avec la chaussée entraîne une instabilité de toute la structure et il s'en suit une dégradation rapide de celle-ci. Ainsi il est indispensable de protéger la chaussée des précipitations.

### **b°) Impact de la température**

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

- Pour les matériaux granulaires non traités les variations de températures entraînent des modifications surtout sur la teneur en eau,
- Pour les matériaux traités aux liants hydrauliques (cas de la latérite-ciment très utilisé) des fissures dues aux retraits thermiques sont souvent observés ;
- Les chaussées à revêtement hydrocarboné sont dans un état critique dans le cas d'une superposition de températures élevées, de fortes contraintes de traction et une longue application de la charge [12].

### **II.4.4. Matériaux de chaussée souple**

Les différents matériaux constitutifs des couches d'une chaussée souple doivent présenter des caractéristiques mécaniques leur permettant de résister aux différentes sollicitations que subit la chaussée durant sa vie de service,

#### **II.4.4.1. Les Graves Non Traitées (G.N.T)**

Sont des mélanges granulaires composés uniquement de granulats et d'eau (aucun liant hydraulique ou hydrocarboné n'entre dans leur composition). Leur granulométrie est continue avec un diamètre maximal de grains compris entre 14 et 31,5 mm. On distingue deux catégories de GNT :

Les GNT A : obtenues en une seule fraction, sans ajout d'eau, dont l'homogénéité de la granularité est codifiée.

Les GNT B : recomposées de plusieurs fractions granulaires distinctes, dans des proportions définies et qui sont malaxées et humidifiées en centrale (appellation traditionnelle GRH : grave reconstituée humidifiée).

Ils sont largement utilisés dans les chaussées à faible et moyen trafic (chaussées souples) pour la réalisation des couches d'assise et des couches de forme. Les performances mécaniques des GNT sont habituellement estimées à partir des caractéristiques suivantes :

- dureté des granulats (déterminée par les essais Los Angeles et micro-Delval, réalisés sur la fraction 10/14),
- propreté des gravillons,
- angularité des granulats (indice de concassage, coefficient d'aplatissement).

Attribuer des performances mécaniques à des GNT principalement à partir des mesures de dureté de leurs granulats est cependant réducteur et pas toujours satisfaisant. C'est pourquoi les Laboratoires des Ponts et Chaussée sont mis au point un appareil triaxial à chargements répétés (le TCR), spécialement conçu pour l'étude des sols supports de chaussées et des matériaux non traités utilisés en couche d'assise.

#### **II.4.4.2. Le béton bitumineux**

Le béton bitumineux est un mélange, parfaitement contrôlé et de haute qualité, réalisé à chaud. Il est constitué de granulats de bonne qualité et bien calibré provenant exclusivement de roches massives et de bitume pur tenant à la fois d'éléments mouillant et agglutinant. Il doit être bien compacté en une masse uniforme et dense.

Les bétons représentent à l'heure actuelle l'une des solutions techniques les plus avancées pour la réalisation des couches de roulement des chaussées revêtues. Par rapport aux autres mélanges bitumineux (sand-asphalt, enrobé dense...) le béton bitumineux présente les avantages suivants :

- une meilleure homogénéité d'ensemble
- une meilleure étanchéité une grande stabilité
- une meilleure résistance au glissement

Suivant le pourcentage des vides, du filler d'ajout et de la granulométrie on distingue les

Bétons bitumineux des enrobés denses comme résumé dans le Tableau ci-après :

**Tableau II.3 : Composition des mélanges bétons bitumineux et enrobés denses [8].**

Type de mélange	Granulats	Liant
-----------------	-----------	-------

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

### II.4.5. Le risque de calcul : Fiabilité

La fiabilité correspond à la probabilité de rupture de la chaussée, à l'issue de la durée de vie de service. Cette probabilité est fonction du niveau de service visé. Cette probabilité est fonction du niveau de service visé par l'administration routière. La notion de fiabilité est introduite dans la méthode de l'AASHTO afin de tenir compte de l'importance de la dispersion des facteurs clés de dimensionnement des chaussées. Dans le calcul de dimensionnement des chaussées, la Ville retient souvent des indices de fiabilité variant selon l'importance du rôle fonctionnel de la chaussée tel que présenté au Tableau II. [6].

**Fiabilité**

Classes de trafic	Indice de fiabilité
T1	60%
T2	60%
T3	70%
T4	80%
T5	90%

### II.4.6. Durée de service

On définit la durée de service, comme la durée pour laquelle l'ouvrage réalisé n'entraînera aucun entretien structurel [1].

La durée de vie d'une chaussée souple est habituellement de 15 à 20 ans, alors que celle d'une chaussée rigide varie de 20 à 30 ans. La durée de vie d'une nouvelle couche de revêtement souple est de l'ordre de 9 à 12 ans.[8]

On évalue l'état d'une chaussée en regard de certains défauts qui, avec le temps et l'usage, s'accroissent. Pour décrire ces défauts, on se réfère habituellement aux éléments suivants :

- ✓ L'uni, qui définit le confort de roulement et dont les défauts sont perçus comme des ondes, c'est-à-dire des secousses, des creux et des bosses ;
- ✓ Les ornières, ou l'affaissement de la surface dans les pistes de roues ;
- ✓ La fissuration et les autres bris visibles de la surface.

Chaque chaussée se comporte différemment selon, entre autres, la nature des sols, la position de la nappe phréatique, l'épaisseur des couches, le climat, le type de chaussée, sa géométrie, les caractéristiques des matériaux de construction, le trafic. Il faut considérer tous ces paramètres pour diagnostiquer adéquatement les causes de détérioration.

La compréhension des phénomènes de détérioration des chaussées permet de trouver des solutions pour mieux les contrer.

La finalité de cette thématique est d'acquérir une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu dans le contact entre un pneumatique et un revêtement de chaussée, et de proposer des outils de prévision de l'adhérence. Ces outils contribuent à l'étude de la dynamique des véhicules, notamment l'occurrence des pertes de contrôle. De nombreux facteurs influent sur l'adhérence ; la texture des revêtements de chaussée est l'un des plus importants. Des travaux antérieurs ont été conduits par la section sur le lien entre les différentes échelles d'irrégularités de surface et l'adhérence. Les recherches actuelles sont focalisées sur deux facteurs dégradants de l'adhérence :

- ✓ Le mouillage ;
- ✓ Le polissage [4].

## Chapitre III : Dimensionnement de chaussée souple par la méthode de catalogue Algérien

### III.1 : Introduction

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). [16]

Ce fascicule, outre la terminologie adoptée dans les fiches techniques de dimensionnement, présente aussi, toutes les hypothèses et données prises en compte dans la méthode de dimensionnement dite rationnelle entreprise pour l'établissement du catalogue.

L'objectif assigné à ce fascicule est d'une part, d'octroyer aux projeteurs tous les artifices de calcul rationnel de dimensionnement, entre autres :

- ✓ La notion d'agressivité pour la prise en compte du trafic équivalent en nombre d'essieux standard de 13 tonnes ;
- ✓ La notion de risque de calcul pour le dimensionnement ;
- ✓ Les paramètres de performance des matériaux pris en compte dans le dimensionnement et, d'autre part, la vulgarisation du calcul rationnel de dimensionnement des chaussées en Algérie, en tenant compte des spécificités du pays (climat, géologie, trafic ...)

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

Les modules et coefficients de Poisson ( $E, \nu$ ), correspondant aux différents types de matériaux figurant dans les fiches techniques de dimensionnement, ont été obtenus en laboratoire sur des matériaux représentatifs.

### III.2 : Constitution des structures de chaussée.

Afin de mettre en place une terminologie adaptée pour la démarche 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 matériaux non traités (MNT), matériaux traités au-bitume (MTB) et matériaux traités au laitier granulé (MTLH).

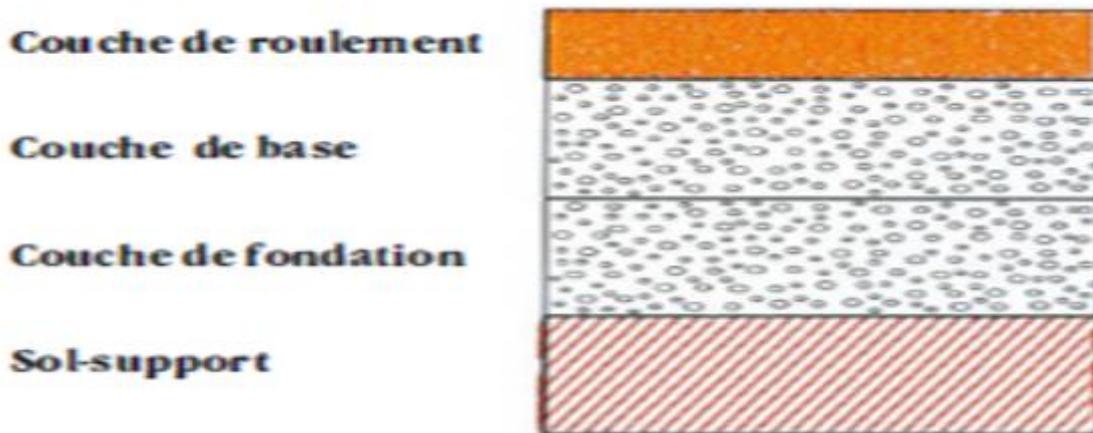


Figure III.1 : Structure type 1

Structure type 2 : Pour Béton de Ciment

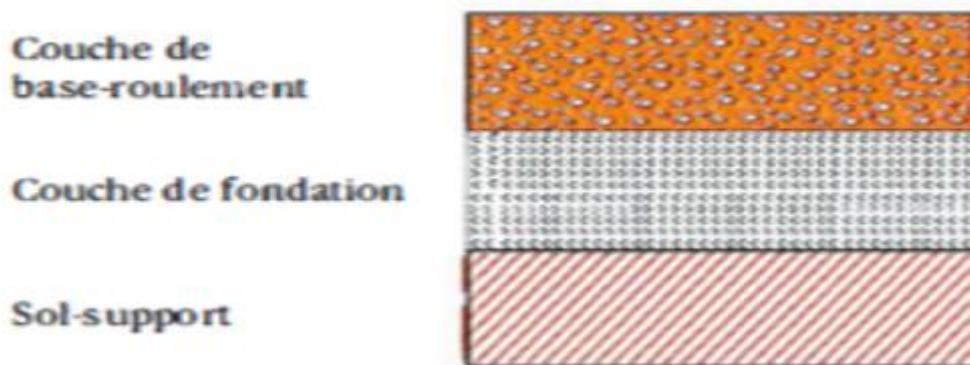


Figure III.2 : Structure type 2

### III.3 : DESCRIPTION DES STRUCTURES TYPES

Les deux types de structures décrites dans le chapitre précédent regroupent comme énoncé, les principales structures proposées en fonction du niveau du réseau principal RPi considéré (RP 1 : Réseau principal du niveau 1 et RP2 : Réseau principal du niveau 2).[16]

#### III.3.1 : Réseau principal de niveau 1 (RP1)

Les structures rencontrées sont de type 1 et 2, elles couvrent les techniques suivantes :

##### 1) 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 /TUFl :**

- 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.

**• 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

**2) Structure type 2 :**

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

**Structure BCg/GC :**

- Couche de base-roulement en Béton du Ciment goujonné
- Couche de fondation en Grave Ciment [16]

**III.3.2 : 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

**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 [16]

• **Tableaux III.1 : récapitulatifs concernant les fiches structures**

Types de Matériau	Fiche structure n °	Types de structure	Zones climatiques
<b>MTB</b>	<b>1</b>	<b>GB/GB</b>	<b>I , II</b>
	<b>2</b>	<b>GB/GNT</b>	<b>I , II</b>
	<b>3</b>	<b>GB/GNT</b>	<b>III</b>
	<b>4</b>	<b>GB/SG1</b>	<b>IV</b>
	<b>5</b>	<b>GB/TUF 1</b>	<b>III</b>
<b>2 - MTLH (matériaux traités liants hydrauliques)</b>	<b>6</b>	<b>GL/GL</b>	<b>I , II</b>
	<b>7</b>	<b>BCg/OC</b>	<b>I , II</b>

**Tableau III. 2 : Réseau principal de niveau 2 (RP2)**

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

**III.3.3 : Conditions aux interfaces**

Les conditions aux interfaces interviennent dans la modélisation de la structure pour les calculs de contraintes et déformations effectuées à l'aide du modèle retenu dans les calculs. Les différentes hypothèses adoptées sont synthétisées dans le tableau 3 ci-dessous :

**Tableau III.3 Synthèses de l'hypothèse sur les conditions de collage**

<b>Structures types</b>	<b>Hypothèses sur le type d'interface</b>
<b>MTB :</b> 1- BB/GB/GB/sol support	Toutes les interfaces sont collées
2- B B/GB/GNT ou TUF ou SG/sol	Toutes les interfaces sont collées
3- SB/SG/sol support	Toutes les interfaces sont collées
<b>MTLH :</b> 1- B B/GL/GL/sol support	Toutes les interfaces sont collées
2- BCg/GC/sol support	Interface BCg/GC décollée Interface OC/sol collée
<b>MNT :</b> 1- GNT/GNT/sol support 2- TUF/TUF/sol support 3- SG/SG/sol support 4- AGIAG/sol support	Toutes les interfaces sont collées

### III.3.4 : Modélisation des structures types et calcul des contraintes et déformations

Le programme de calcul Alize III permet de déterminer à partir d'un modèle multicouches élastique fondé sur l'hypothèse de BURMISTER, les contraintes et déformations ( $\sigma_t, \varepsilon_z, \sigma_z$ ) 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 :

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

#### • Mode de fonctionnement des différentes structures

Les schémas suivants donnent un aperçu sur le type de modélisation propre à chaque type de structure ainsi que sur leur mode de fonctionnement. [16]

• Matériaux traités au bitume (MTB)

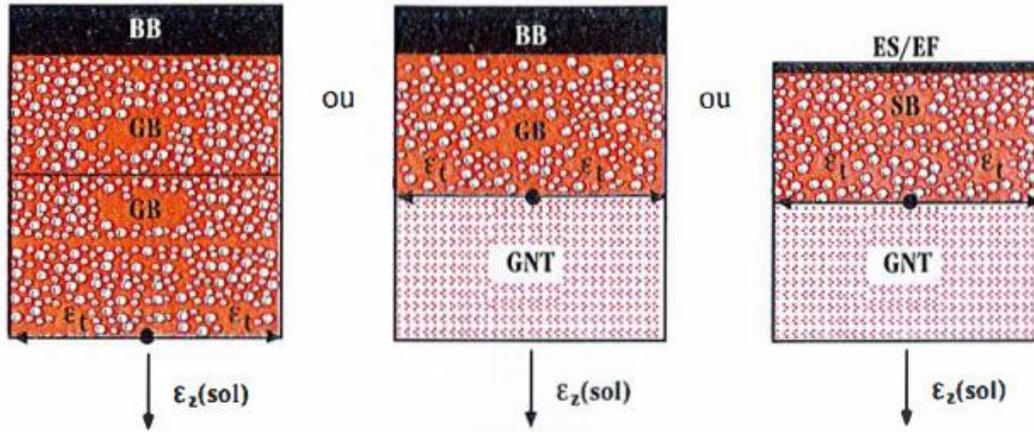


Figure III.3 : Matériaux traités au bitume

\* $\epsilon_t$ , étant la déformation de traction par flexion à la base des matériaux traités au bitume

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

• Matériaux traités au liants hydrauliques (MTLH)

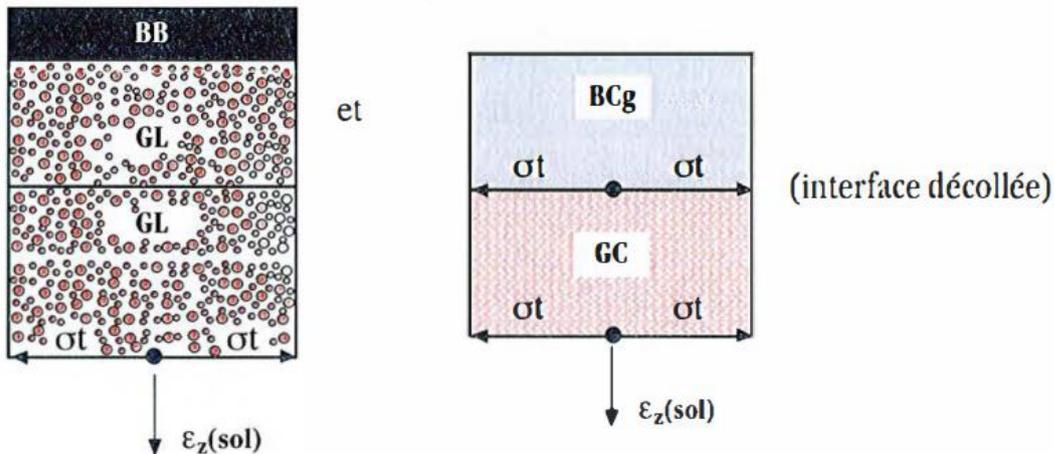
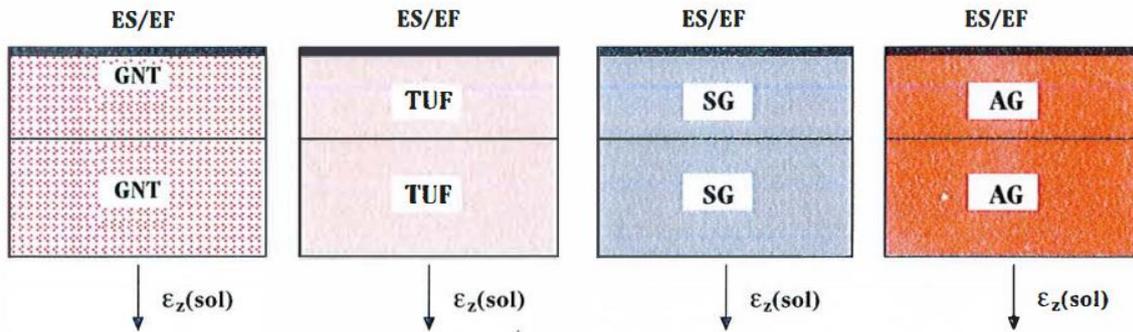


Figure III.4 : Matériaux au liant hydraulique

\* $\sigma_t$  étant la contrainte de traction flexion à la base des matériaux traités aux liants hydrauliques

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

• **Matériaux non traités (MNT)**



*Figure III.5 : Matériaux non traités*

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

### III.4 : DONNEES D'ENTREES DU DIMENSIONNEMENT

Les données de base pour le dimensionnement des structures de chaussées sont :

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

Nous examinerons dans ce chapitre les différents paramètres précités ci-dessus. [C.T.T.P]

#### III.4.1 : 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 élever et des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction du niveau de réseau principal considéré.

Les durées de vie fixées par niveau de réseau principal (RP1, RP2) et par matériaux types sont synthétisées dans le tableau 4 ci-dessous :

**Tableau III.4 : Durées de vie adoptées**

Niveau de réseau principal ( RPi )	Matériaux types	Structures types	Durée de vie (années)
RP1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF, GB/SG	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydraulique)	GL/GL	20
		BCg	25
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

### III.4.2 : Risque de calcul :

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. [16]

Les risques de calcul ( $r\%$ ) adoptés dans le dimensionnement des structures, qui sont fonction du trafic et du niveau de réseau principal, sont donnés dans les tableaux 5 et 6 ci-dessous.

**Tableau III. 5 : Risques adoptés pour le réseau RP1**

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

**Tableau III. 6 : Risques adoptés pour le réseau RP2**

Classe de trafic (TPLi) (PL/J/Sens)	TPL 0	TPL 1	TPL 2	TPL 3
	Risque (%)			
GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, SB/SG	25		20	

Les valeurs de température équivalentes ( $\theta_{eq}$ ) retenues pour le calcul de dimensionnement sont données dans le tableau III 7 ci-dessous :

**Tableau III.7 : Choix des températures équivalentes**

Température équivalente $\theta_{eq}$ (°C)	Zone climatique		
	I ET II	III	IV
	20	25	30

### III.4.3 : Trafic

La connaissance du trafic, essentiellement le trafic poids lourds (véhicules de plus de 3,5 tonnes) intervient :

- 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.

Pour le calcul du dimensionnement proprement dit, c'est le trafic cumulé 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 cumulé équivalent (TCEi) [16]

- Classes de trafic (TPLi)

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

Le tableau III.8 ci-dessous donne par niveau de réseau (RP 1 ou RP2), les classes de trafic adoptées.

**Tableau III.8 : Classes de trafic TPLi adoptées**

	Classe de trafic TPLi RPi	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL	TPL
		0	1	2	3	4	5	6	7
(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	-	-	-	-

- 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). Il est donné par la formule suivante :

$$TCi = TPLi \times 365 \times (1 + i)^n - 1 / i$$

D'où :

- i = taux d'accroissement géométrique, (pris égal à 0,04 dans le calcul de dimensionnement), ce taux de 4 % résulte d'une enquête nationale de trafic réalisée dans le cadre de l'étude du schéma directeur routier national.

- n = durée de vie considérée.

- 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.

NB : L'essieu de référence standard en Algérie est l'essieu isolé à roues jumelées de 130 kN (13 tonnes). C'est l'essieu maximum légal.

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

$$TCEi = TCi \times A = TPLi \times A \times (1 + i)^n - 1 / i$$

Cette formule peut être simplifiée comme suit :

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

Avec

$$C = 365 \times \frac{1+i}{i} \times 10^{-3} \text{ (appelé facteur de cumul)}$$

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

A titre indicatif, le tableau III.9 ci-dessous donne les valeurs de C en fonction de i et n :

**Tableau III.9 : valeur du facteur de cumul C**

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

Les coefficients d'agressivité A ont été calculés conformément à la norme NFP98-082, à partir des histogrammes de charges obtenus lors de différentes campagnes nationales de pesages des poids lourds.

Les résultats de calculs sont donnés dans le tableau III.10 ci-après :

**Tableau III.10 : Valeurs du coefficient d'agressivité A**

Niveau de réseau principal (RPi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP1	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
RP2	Chaussées à matériaux non traités : GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	0,6
	Chaussées à matériaux traités au bitume : SB/SG	0,4
RP1 et RP2	Sol support (calcul de $\epsilon_{z,ad}$ )	0,6

### III.4.4 : Sol support

- Classes de sols supports retenues

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

Les caractéristiques mécaniques nécessaires pour la modélisation (Alizé III) sont le module de Young (E) et le coefficient de Poisson ( $\nu$ ).

- Le coefficient de Poisson ( $\nu$ ) pour les sols est en général pris égal à 0,35.
- Le module du sol support ( $E$ ) appelé également module de Young

Les classes de portances sont données dans le tableau III.11 ci-dessous :

**Tableau III.11 : Classes de portance à long terme du sol support**

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

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

La déformation verticale  $\epsilon_z$  calculée par le modèle Alizé III, devra être limitée à une valeur admissible  $\epsilon_{z,ad}$  qui est donnée par une relation empirique déduite à partir d'une étude statistique de comportement des chaussées algériennes. Cette formule est la suivante :

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

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

La vérification  $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$  sera surtout à faire dans le cas des chaussées à matériaux non traités, car c'est le critère prépondérant dans le calcul de dimensionnement.

Dans le cas des chaussées traitées au bitume et aux liants hydrauliques, la pression sur le sol support sera tellement faible que le critère  $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$  sera pratiquement toujours vérifié.

### III.4.5 : Matériaux

#### III.4.5.1 : Performances mécaniques

Les performances mécaniques relatives aux différents types de matériaux sont données dans les tableaux 12, 13 et 14 ci-dessous.

• **Matériaux traités au bitume (MTB)**

**Tableau III.12 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux**

Matériaux (MPa)	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)	$\nu$	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 III.13 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques**

Matériaux MPa	E	$\sigma_6$	-1/b	SN	Sh	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

- **Matériaux non traités (MNT)**

**Tableau III.14: Performance mécanique des matériaux non traités**

Niveau de la couche	Modules des MNT MPa	Valeurs de K	$\nu$
Base* ( $15 \leq h \leq 20\text{cm}$ )	GNT = 500 TUF 1=500 TUF 2 = 300 SG 1 =7 00 SG2 = 300 AG=300	2,50 2 2 2 2 2	0,25 0,25 0,25 0,25 0,25 0,25
Fondation (en sous couche de 25cm)	$E_{MNT}$ (sous couche1) = $KE_{sol}$ support $E_{MNT}$ (sous couche i) = $kE_{M,vr}$ (sous couche i - 1) avec $E_{MNT}$ borné à $E_{M,vr}$ couche de base		
Fondation MNT Sous GB et SB (GB/MNT,)	$E_{MNT}$ (sous couche 1) = $KE_{sol}$ support(avec K idem ci-dessus) $E_{MNT}$ (sous couche i) = $kE_{M,vr}$ (sous couche i - 1) avec $E_{MNT}$ borné à $E_{MNT}$ 350 MPa		

### III.4.5.2 : Calcul des sollicitations admissibles

- **Matériaux traités au bitume**

Le calcul de la déformation admissible de traction ( $\epsilon_{t, ad}$ ) à la base des couches bitumineuses est donné par la relation suivante :

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \cdot K_{ne} \cdot K_\theta \cdot K_r \cdot K_c$$

Avec

$$K_{ne} = (10^6 / TCE_i)^b$$

$$K_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}}$$

$$K_r = 10^{-tb\delta}$$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} S_b\right)^2}$$

Telle que

- $\epsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz})$ : déformation limite détenue au bout de  $10^6$  cycles avec une probabilité de rupture de 50% à  $10^\circ\text{C}$  et 25Hz (essai de fatigue).
- **kne**: facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.
- **k $\theta$**  : facteur lié à la température.
- **kr** : facteur lié au risque et aux dispersions.
- **kc** : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées.
- **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  $10^\circ\text{C}$ .
- **E ( $\theta_{eq}$ )** : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.
- **$\delta$** : f (dispersion).
- **SN** : dispersion sur la loi de fatigue.
- **Sb** : dispersion sur les épaisseurs (en cm).
- **c** : coefficient égal à 0,02.
- **t** : fractile de la loi normale, qui est fonction du risque adopté (r%) voir tableau

**Tableau III.15 : valeurs de  $t=f(r\%)$**

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

#### **Matériaux traités aux liants hydrauliques**

Le calcul de la contrainte admissible de traction  $\sigma_{t,ad}$  à la base des couches traitées aux liants hydrauliques est donné par la relation suivante :

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_6 \cdot K_{ne} \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_c$$

-   **$\sigma_6$** : contrainte de flexion limite à  $10^6$  cycles donnée par l'essai de fatigue
-  **kne, kr, kc** : idem matériaux traités au bitume

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

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

$$\sigma_{t,ad} \text{ (bars )} = \sigma_6 \cdot \left(\frac{TCEI}{10^6}\right)^b \cdot 10^{-tb\delta} \cdot Kd \cdot kc$$

+ **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'ornièrage. Il faut également s'assurer que le sol support ne soit pas trop déformable.

### III.4.5.3 : Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol-support

+ **Matériaux traités au bitume (MTB)**

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

$$\varepsilon_t < \varepsilon_{t,ad} \text{ et } \varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$$

+ **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 :

$$\sigma_t < \sigma_{t,ad} \text{ et } \varepsilon_z < \varepsilon_{z,ad}$$

+ **Matériaux non traités (MNT)**

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

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

## III.5 : Calcul du corps de chaussée de la RN98

La route national 98(N98) est une route nation dans la wilaya de Tlemcen, reliant la ville de Tlemcen au port de Ghazaouet sur une soixantaine de kilomètre.

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

Projet RN98(Tlemcen-Ghazaouet)

TJMA =11424 v/j

Pourcentage poids lourds PL=30%

Taux d'accroissement des véhicules i =4%

Durée de vie 20 ans

### III.5.1 : Type de réseau

On a le TMJA= 11424 V/J > 1500 V/J

Alors le réseau principal de niveau 1 : RP1 selon la méthode du catalogue des chaussées neuves « CTPP »

### III.5.2 : Classe de TPLi

#### III.5.2.1 : Trafic

$$N_{pl} = TJMA \cdot P_{pl}$$

AN :

$$N_{pl} = 11424 \times 0.3 \times 0,5 = 1714 \text{ PL/J}$$

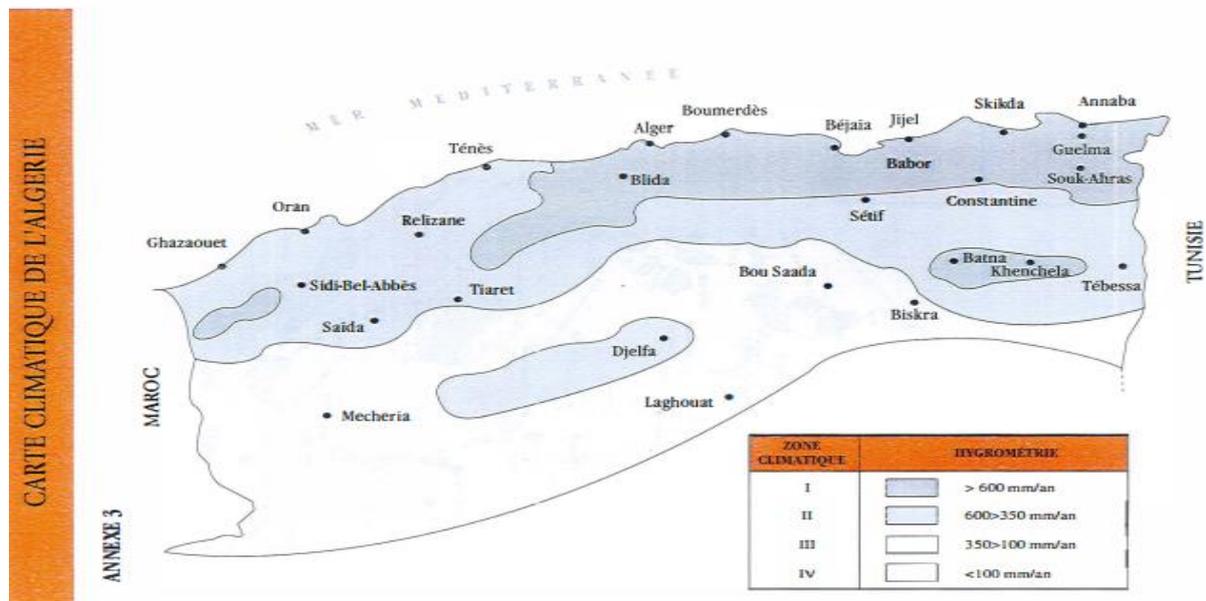
$$TPLi = 1714 \text{ PL/J/Sens}$$

Compte tenu de ce trafic (1714 PL/J/sens), cette route est classée en TPL6

Conformément au catalogue de dimensionnement des chaussées neuves.

#### III.5.2.2 : Zone climatique

Zone climatique I  $\longrightarrow$   $\theta_{eq} = 20^\circ$  (voire la carte ci-dessous)



#### III.5.2.3 : Classe de sol

CBR = 5  $\longrightarrow$  le sol est de classe S3

On est dans un cas où la portance de sol support est faible (S3) pour le corps de chaussée (RP1), le recours à une couche de forme devient nécessaire pour permettre la réalisation des couches de chaussées dans des conditions acceptables.

Dans ce cas le CTTP prévoit un sur classement du sol support en réalisant une couche de forme de 40cm d'épaisseur (en deux couches) en matériaux non traité. Alors la classe devient (S2).

### III.5.3 : Choix de la structure

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

✚ Structure GB/GB

Tableau III.16 : Fiche structure

		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%					
TPLi Pl/j/sens	Si	S2	S1	S0	
		50 MPa	125 MPa	200 MPa	
6000 TPL7	6000	8 BB 14 GB 15 GB	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB	
	5000				
	5000	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB	8 BB 10 GB 10 GB	
1500 TPL5	1500	6 BB 11 GB 12 GB	6 BB 10 GB 10 GB		
	600				
	600	6 BB 10 GB 10 GB			
300 TPL4	300				
	300				

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

**8BB + 12GB + 13GB + 20GNT + 20GNT**

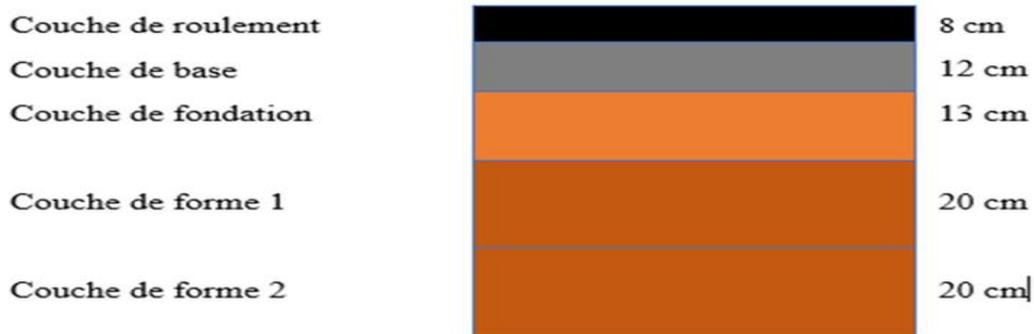


Figure. III.6 : Différentes couches de corps de chaussée

### III.5.4 : Calcul de la déformation admissible

#### III.5.4.1 : Risqué de calcul

On a :

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

$$r = 5\% \longrightarrow t = -1,645$$

#### III.5.4.2 : Sol support

Classe de sol support S2  $\longrightarrow E = 5 \times \text{CBR} = 5 \times 5 = 25 \text{ MPa} = 250 \text{ bars}$

#### III.5.4.3. Trafic :

TPL6 = 1714 PL/J/sens

Durée de vie : 20 ans,

Taux d'accroissement  $i = 4\%$ ,

Coefficient d'agressivité  $A = 0,6$

Alors le trafic cumulé équivalent (TCEi)

$TCEi = TPLi \times C \times A \times 10^3$  Avec  $C = 10,9$  et  $A = 0,6$  (leurs valeurs se trouve dans les tableaux de fascicule 2)

$$TCE6 = 1714 \times 10,9 \times 0,6 \times 10^3 = 11209560$$

#### III.5.4.4 : Calcul de la déformation admissible sur le sol support $\epsilon_{z,ad}$

$$\epsilon_{z,ad} = 22 \cdot 10^{-3} \times (TCEi)^{-0,235} = 22 \cdot 10^{-3} \times (11209560)^{-0,235} = 485 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

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

**III.5.4.5 : Calcul de déformation admissible  $\epsilon_{t,ad}$  a la base de GB**

$$\epsilon_{t,ad} = \epsilon_0 \times \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}} \times 10^{t\delta} \times Kc$$

Avec :  $b = -0,146$  ,  $t = -1,645$  ,  $Kc = 1,3$

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

$$\epsilon_{t,ad} = 100 \cdot 10^{-6} \times \left(\frac{11209560}{10^6}\right)^{-0,146} \times \sqrt{\frac{12500}{7000}} \times 10^{(-1,645 \times 0,146 \times 0,61)} \times 1,3 = 171 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

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

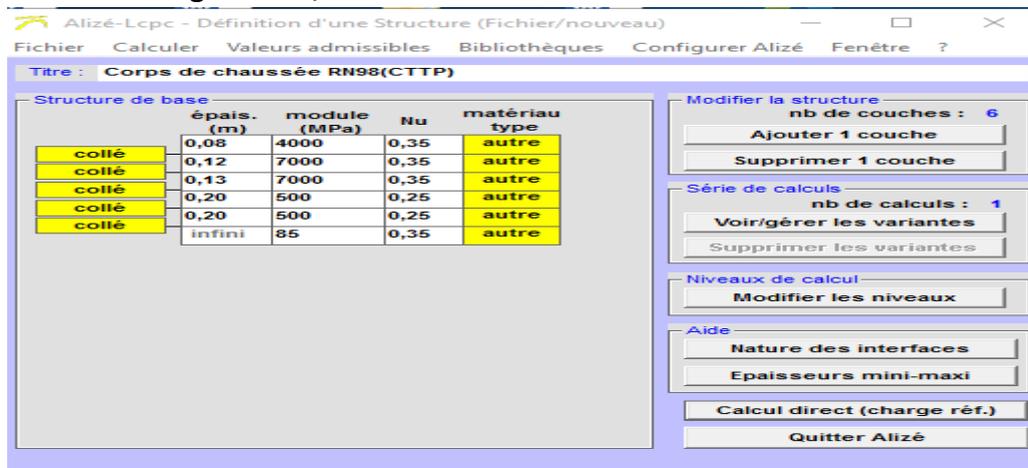
**III.5.4.5 : Modélisation**

**Tableau III.16 : Modélisation**

	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	85	0,35

Condition aux interfaces : toutes les interfaces sont collées

**Durée de calage :  $k_c = 1,3$**



**Figure.III.7 : Entré de donnée de dimensionnement du corps de chaussée**

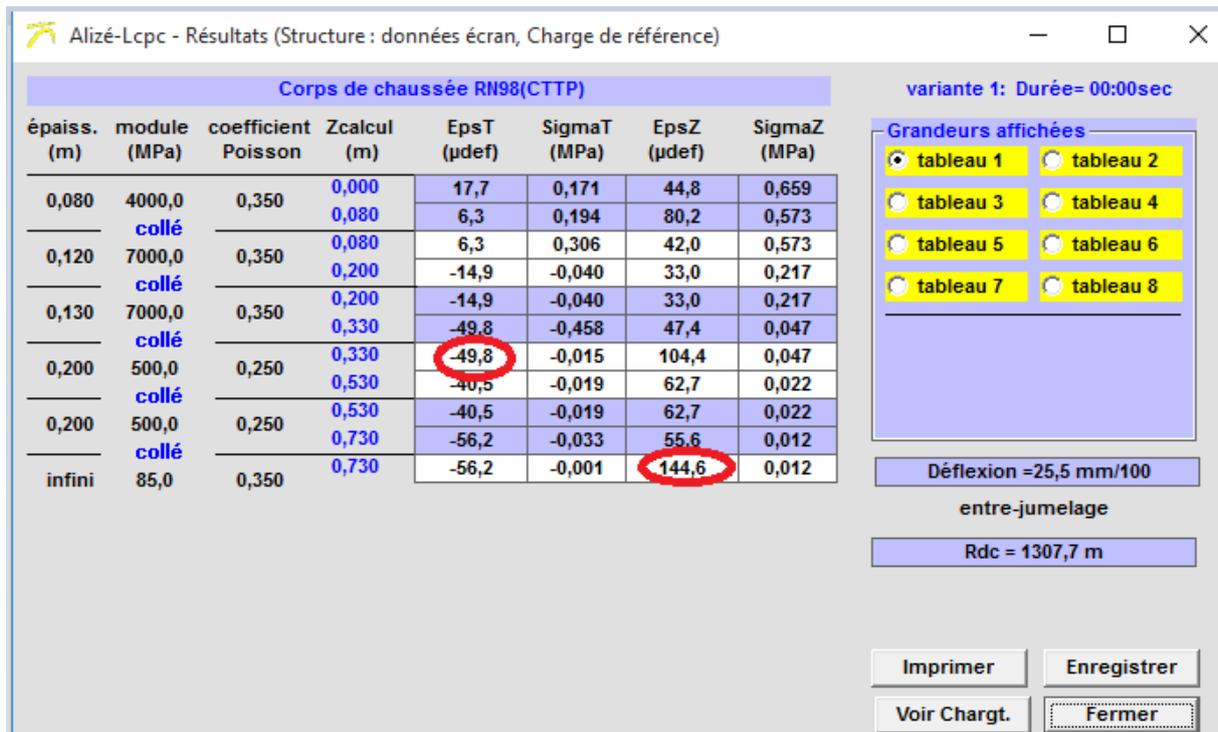


Figure. III.8 : Résultats

Tableau.III.17 : Résultats de la simulation

	Déformations calculées	Déformations admissibles
$\varepsilon_z$ (sol support)	<b>144,6.10<sup>-6</sup></b>	<b>485.10<sup>-6</sup></b>
$\varepsilon_t$ (à la base de GB)	<b>49,8 .10<sup>-6</sup></b>	<b>171.10<sup>-6</sup>mm</b>

La structure du corps de chaussée RN98 est donc vérifiée car  $\varepsilon_z < \varepsilon_{z\text{ ad}}$  et  $\varepsilon_t < \varepsilon_{t\text{ ad}}$

## Chapitre IV : Méthode sub-saharienne

### IV.1 : Introduction :

Dans ce présent chapitre nous allons voir les pays de subsaharien qui sont majoritairement en voie de développement, de ce fait on va s'intéresser sur la voie de communication autrement dit les routes qui sont les principaux moyens de développement d'un pays.

Quand on parle de la route il est obligatoire de parler de dimensionnement de sa chaussée, d'où le but de ce chapitre.

Le dimensionnement d'une chaussée se fait par des guides pratique qui sont approprier pour chaque pays. En Afrique subsaharienne contenus de leurs matériaux, climats, trafics la plupart des pays utilisent le CEBTP et LCPC comme le cas du Sénégal.

### IV.2 : Présentation de l'Afrique sub-saharienne

Ce chapitre présente quelques traits généraux de la zone d'études et les paramètres locaux qui jouent un rôle majeur dans le dimensionnement structural et la détérioration des chaussées.

#### ✚ Limites et étendues

Le territoire nommé « Afrique Sub-Saharienne ou ASS » dans ce chapitre désigne une région qui s'étend du Mali jusqu'à l'Afrique du Sud. Les différents pays ciblés dans cet espace de l'Afrique peuvent être visualisés à travers la carte présentée à la figure IV.1.

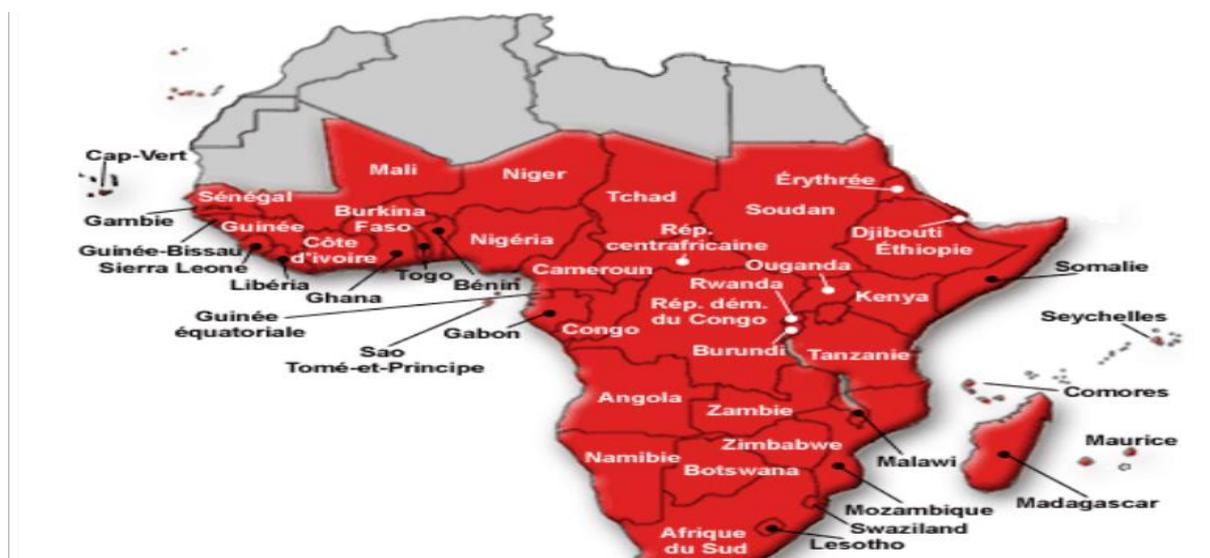


Figure IV.1 Vue d'ensemble de l'Afrique Sub-Saharienne [18]

La superficie couverte représente les 3/5 environ de l'Afrique (Labecque, 2010). La frontière du côté Nord est occupée par un espace désertique appelé Sahara qui a donné naissance à l'adjectif « sub-saharien ». Cette zone est divisée en trois (03) territoires ayant des enjeux économiques et environnementaux similaires, qui sont :

- L'espace CEDEAO (Communauté Économique et Douanière de l'Afrique de l'Ouest) ou territoire de l'Afrique de l'Ouest regroupant 16 pays [5112 060 km<sup>2</sup>] ;
- La zone CEEAC (Communauté Économique des États de l'Afrique Centrale) ou Afrique centrale avec 11 pays (3021 180 km<sup>2</sup>) ;
- La région SADC (Communauté de Développement au Sud de l'Afrique) (6 755 902 km<sup>2</sup>) et la COMESA (Communauté Monétaire et Économique au Sud de l'Afrique) (605 240 km<sup>2</sup>) ou Afrique australe et Afrique de l'Est avec quatorze (14) pays.

### **IV.2.1 : Conditions environnemental**

Pour réaliser une conception structurale de chaussée raisonnable, le contexte local est pris en compte à travers les analyses de certains paramètres comme : le climat, le sol, les matériaux de construction et le trafic. [18]

#### **IV.2.1.1 : Le Climat :**

En génie routier, les impacts du climat sont analysés à travers plusieurs facteurs qui sont susceptibles d'accentuer la magnitude des détériorations. Plusieurs auteurs ont retenu que la pluviométrie, la température, le cycle du gel/dégel et la fluctuation de la nappe phréatique constituent les paramètres déterminants [18].

L'ASS présente un climat continental à deux composantes : tropicale et équatoriale. Celles-ci contrôlent la répartition climatique latitudinale régionale marquée par des contrastes locaux<sup>7</sup> au niveau de la pluviométrie et de la température. On observe également une influence de la désertification dans ses limites septentrionales (Sahara) et méridionales (Kalahari).

#### **✚ Pluviométrie**

La pluviométrie moyenne montre une distribution hétérogène avec des régimes bimodaux et monomodaux. Les pluies sont de type orageux, de courte durée et à forte intensité. Les valeurs moyennes des précipitations varient annuellement entre les isohyètes de 250mm à plus de 2000mm. Leur répartition permet de distinguer trois (3) zones climatiques (figure IV.2) :

- La zone à climat tropical sec ou climat intertropical sahélien (soudano-guinéen) et kalaharien est marquée par une tendance pluvio-orageuse annuelle monomodale de courte durée (1 à 3mois) qui concentre de 300mm (millimètre) à 800mm d'eau.
- La zone à climat équatorial qui se rencontre en Afrique centrale (espace CEEAC) avec plus de 2000 mm d'eau enregistrés à travers un régime bimodal de 6 à 8 mois [18]. C'est le territoire le plus humide de toute l'Afrique, avec un maximum pluviométrique pouvant atteindre 9000mm. On y note également une fluctuation de faible profondeur (0,5 à 5mètres) de la cote de la nappe phréatique. Les experts du Centre Expérimental et Recherches du Bâtiment et des Travaux Publics [20] ont observé que dans ces conditions la teneur en eau dans les matériaux est fréquemment au-dessus de l'optimum PROCTOR. Ceci contribue à la baisse du module des matériaux et de la portance du sol ;
- La zone à climat tropical humide (guinéen) est caractérisée par une moyenne comprise entre 800mm et 2000mm avec des disparités locales de type monomodal (2,5 à 4 mois de pluies) ou bimodal (2-3mois et4-3mois). C'est la zone de la majorité des pays de la CEDEAO situés sur le littoral côtier de l'Atlantique (Golfe de Guinée), la COMESA et de la SADC. [18]

#### **Température :**

Les conditions de température et de pression atmosphérique en ASS suivent la tendance pluviométrique et le relief. Les moyennes des températures annuelles sont comprises entre 16°C et 35°C. Les écarts moyens thermiques saisonniers entre les zonages sont de 4°C à 6°C.

Tandis que la variation journalière de température (jour/nuit et saison pluvieuse/saison sèche) enregistrée varie entre 8°C (climat tropical humide et équatorial) et 15°C (climat tropical sec et soudano-guinéen). Ces conditions stables pendant une longue durée favorisent :

- les conditions d'humidité qui accélèrent à l'altération du sol et du roc
- l'évapotranspiration ambiante qui assèche les sols et engendre la fissuration par dessiccation des sols argileux et des matériaux traités au liant hydraulique.

#### **IV.2.1.2 : Sol et roc :**

En ASS, la zonalité climatique a influencé la composition, la nature des sols et le type d'altération du roc. Deux types de sols ont été différenciés : les dépôts sédimentaires et les sols résiduels. Leur constitution comprend aussi bien des matériaux fins pulvérulents (argileux à silteux) que des éléments granulaires (sable à gravier).

### **✚ Sols latéritiques**

Ce sont des sols résiduels dont la composition dominante est de type latéritique. Ils sont issus de l'altération in-situ du roc (roche magmatique, métamorphique ou sédimentaire indurée) daté du Précambrien au Cénozoïque.

Les sols latéritiques présentent des drainages médiocres et des indices de plasticité (IP) dont la valeur 25 constitue le seuil de différenciation [18]. Ces auteurs ont établi la classification suivante pour ces matériaux granulaires :

- Classe  $IP \leq 25$  correspond aux sols ferrugineux (plus noduleux et moins argileux) ;
- Classe  $IP > 25$  pour les sols ferralitiques (forte proportion d'argile).

### **✚ Dépôts sédimentaires :**

Les dépôts sédimentaires détritiques sont par contre constitués soit par des alluvions (anciennes terrasses des cours d'eau), soit par des dunes, ou soit par des accumulations d'anciennes plages marines ou lacustres.

### **✚ Classification géotechnique et limitations :**

Différents types de classification des sols sont utilisés en géotechnique routière en ASS. Les plus courantes sont :

- les normes USCS (Unified Soil Classification System), le Guide de Terrassement Routier (GTR) et le Guide sur la Grave Non Traité (GNT) majoritairement pour les pays francophones ;
- les critères de l'American Association States Highway Officials (AASHO) pour la zone Anglophone ;
- les classifications locales comme le cas de la Côte d'Ivoire. [18]

#### **IV.2.1.3 : Matériaux de construction**

L'analyse de la figure IV.2 ci-dessous montre que la géologie de l'ASS présente divers faciès lithologiques ayant une extension à l'échelle régionale. Ces similitudes se rencontrent également dans les caractéristiques géotechniques. Leurs performances mécaniques permettent de fournir des matériaux de construction avec des options variables d'utilisation :

Soit à l'état naturel (après concassage), soit après traitement (litho stabilisation par enrichissement du squelette granulaire, traitement hydraulique à la chaux ou au ciment ou avec un mélange ciment + émulsion bitumineuse). Les principales roches exploitées dans les carrières proviennent des roches, soit :

- Sédimentaires (sable, gravier, grès, silicite, jaspes, dolomies, calcaires, etc.) ;
- Magmatiques intrusifs (granite, gabbro, granodiorite, etc.) et volcaniques (basalte, rhyolite, dolérites, etc.) ;
- Métamorphiques (gneiss, migmatites, quartzites, etc.).

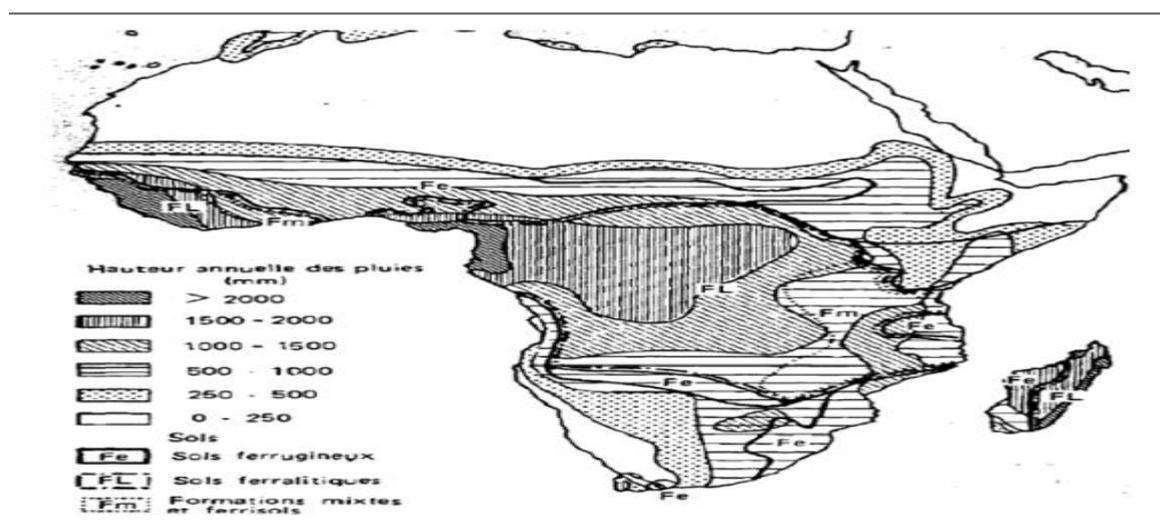


Figure IV.2 : Pluviométrie annuelle et types de sols [18]

### IV.2.2 : Réseau routier : état des chaussées et type de trafic

Le réseau routier sub-saharien est faiblement dense et occuperait 4,2km/km<sup>2</sup> de la superficie disponible. Du point de vue structural, deux catégories de routes ont été réalisées : les chaussées revêtues et les chaussées non-revêtues (tableau IV.1). Les résultats du diagnostic national des infrastructures routières en ASS ont montré que 16% seulement des 1.8 millions de kilomètres de routes étaient revêtues en 2007.Ce réseau présentait un état de roulement d'ensemble passablement bon. [18]

Tableau IV.1 Types de routes et leur état fonctionnel :

Type de chaussées	État fonctionnel (en pourcentage)		
	Bon	Acceptable	Médiocre
Revêtues	44	22	34
Non-Revêtues	22	25	51

Selon l'importance du trafic et les zones desservies, les axes routiers ont été classés en trois catégories ou réseaux :

- réseau primaire : route inter-état ou route reliée au corridor transafricain (trafic transfrontalier), route nationale (axe reliant les principales métropoles du pays) ;
- réseau secondaire : routes départementales (routes inter-régionales) et voiries urbaines ;
- réseau rural : axes entre villages ou liaison avec une route secondaire ou connexion à l'axe primaire. [18]

### **IV.3 : Les fiches de procédure :**

L'utilisation du catalogue nécessite la connaissance des données suivantes :

Le trafic poids lourd par sens de circulation ;

Les caractéristiques et la classe de plate-forme sur laquelle repose la structure.

Avec ces deux paramètres et les matériaux disponibles dans la zone, on peut utiliser les fiches structures pour déterminer la ou les structures possibles avec les épaisseurs des couches composantes. [17]

#### **IV. 3.1 : Détermination du trafic poids lourds**

Le trafic est donné en millions de poids lourds sur la durée de vie escomptée de la route.

Il est exprimé par le trafic cumulé poids lourds N (en nombre d'essieux standard) :

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

Si  $C = n (1 - i)^n$  appelé facteur de cumul on a :

$$N = 365 \times t \times A \times C$$

t : Trafic Journalier Moyen ( TJM ) en poids lourd de l'année en cours: c'est le débit total d'une période donnée en jours ( de plus d'un jour et de moins d'une année) divisé par le nombre de jours de cette période.

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

n : la durée de vie ( ou de service) escomptée en nombre d'années: c'est la période minimale de fonctionnement de la chaussée avant l'apparition de dégradations nécessitant un entretien.

$i$  : taux de croissance annuel du trafic en pourcentage : il peut être pris entre 7 et 10 % si on ne dispose pas d'informations précises.

L'essieu standard est celui de 130 kN ou 13 tonnes, à deux (02) roues jumelées.

La charge de référence est une charge uniformément répartie sur deux cercles de rayon  $a$  et dont les centres sont distants de 37.4 cm. Elle est schématisée par la figure IV.3.

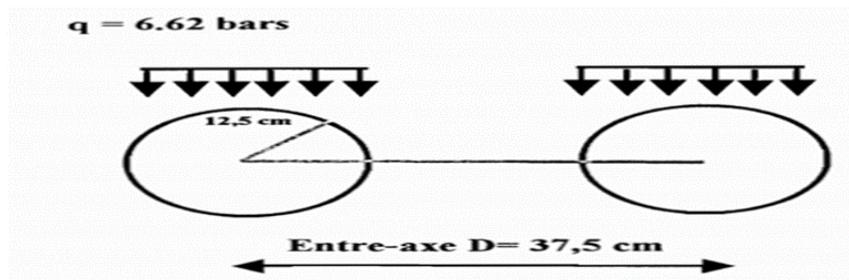


Figure IV.3 : Schématisation de charges

#### ✚ Détermination des paramètres du trafic

- Le trafic journalier moyen TJM est obtenu après comptage des poids lourds par sens de circulation et des traitements statistiques ; ou encore par des méthodes indirectes (tonnage transporté en trafic, estimation du trafic "drainé" par la nouvelle route à partir des itinéraires qu'elle déleste). [17]

- Le taux de croissance  $i$  est déterminé à partir des résultats des comptages actuels et passés.

Si ces résultats ne sont pas disponibles, pour nos pays en voie de développement, il faudra prendre un taux de 7 % ;

- La charge à l'essieu est celui de 13 tonnes. Cependant les véhicules circulant sur la chaussée ont une charge plus ou moins supérieure à cette dernière, il faut donc appliquer un coefficient d'équivalence qui prendra en compte cet écart entre le poids standard et celui circulant sur la chaussée : c'est le coefficient d'agressivité  $A$ . [17]

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

Cependant, il faut signaler que pour être plus précis, il faut faire des campagnes de comptages et de pesages. Les résultats obtenus feront l'objet d'études statistiques, ce qui permettra de déterminer des classes de poids par essieu  $P$ . A chaque classe correspond ainsi un coefficient d'agressivité  $A = (P/13)^4$ .

• Le durée de vie d'une route est la période qui se sera écoulee depuis sa date de mise en service jusqu'à l'apparition des dommages necessitant un entretien. Actuellement avec la croissance du trafic, le niveau de service demande et les budgets liberes pour les routes, la tendance est à la réalisation de routes avec une durée de vie escomptee de vingt (20) ans. Le trafic ainsi determine est le trafic poids lourd du projet Np. Il sera par la suite compare aux classes de trafic defines pour la conception du catalogue en vue de son utilisation dans les fiches structures.

**Tableau IV.2 : Classe de trafic**

Classe de trafic	Trafic equivalent en véh/j	Trafic en nombre cumule de Poids Lourds (PL)
T <sub>1</sub>	< 300	< 5.10 <sup>5</sup>
T <sub>2</sub>	300 à 1000	5.10 <sup>5</sup> à 1,5.10 <sup>6</sup>
T <sub>3</sub>	1000 à 3000	1,5.10 <sup>6</sup> à 4.10 <sup>6</sup>
T <sub>4</sub>	3000 à 6000	4.10 <sup>6</sup> à 10 <sup>7</sup>
T <sub>5</sub>	6000 à 12000	10 <sup>7</sup> à 2.10 <sup>7</sup>

**IV.3.2 : Détermination de la classe de plate-forme :**

La classe de plate-forme est obtenue après une identification complète du matériau de plate-forme et la détermination du module de rigidité par essai à la plaque.

Le type de plate-forme se détermine après détermination des différents paramètres que sont :

- les paramètres de nature
- les paramètres de comportement mécanique
- les paramètres d'état.

**IV.3.2.1 : Les paramètre de nature**

**a°) La granularité.**

- Le diamètre maximal : Dmax
- Le tamisât à 80mm : Pour évaluer leur sensibilité à l'eau.

- Le tamisât à 2 mm : Ce paramètre permet de définir les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

**b°) L'argilosité :**

- L'indice de plasticité : elle met en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau.

- L'indice de consistance relative ( $I_c$ ) : La consistance d'un matériau est la caractéristique rhéologique qui traduit le comportement plastique ou non plastique, et qui change avec les variations de teneur en eau. Il permet de situer le comportement du sol à l'état naturel par rapport à sa plasticité définie par les limites d'Atterberg.

- La valeur de bleu de méthylène

L'analyse par sédimentométrie : Elle est utilisée pour définir la répartition des grains dont le diamètre est inférieur à 0,1 mm.

**IV.3.2.2 : Les paramètre de comportement mécanique**

Le comportement mécanique des sols de plate-forme est beaucoup tributaire du niveau de sollicitation donc du trafic et de l'état hydrique. La détermination des caractéristiques mécaniques doit donc se faire dans les conditions les plus défavorables de pluviométrie.

La portance à long terme permet de dimensionner les structures. Celle-ci est égale à la portance à long terme du sol augmentée le cas échéant, du gain de portance obtenu soit par une éventuelle couche de forme, soit par un éventuel traitement en place. La portance du sol est mesurée par la détermination de l'indice CBR, du module de déformation  $EV_2$ , ou du coefficient de rigidité  $k$  par essai à la plaque. On peut aussi procéder par examen visuel qui est néanmoins approximatif. Le coefficient de Poisson sera utile et est pris en moyenne égale à 0,35 pour les plates-formes. [17]

Cinq (5) classes de sol ont été retenus, qui correspondent à une répartition assez constante de divers types de sols rencontré en pays tropicaux selon Le guide CEBTP.

**Tableau IV.3 : Portance des sols support [19]**

Type		Catalogue (CEBTP)	CBR	K	E	V
PF	1	S2	$\leq 5$	4	20	0,35
	2	S3	5-10	5	50	0,35
	3	S4	10-20	6	120	0,35
	4	S5	$\geq 30$	7	200	0,35

### IV.3.2.3 : Les paramètres d'état :

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve. Ces paramètres permettent de caractériser des sols et, pour certains d'entre eux, leur état de compacité en place.

C'est surtout l'état hydrique de la plate-forme qu'il faut connaître. En effet les variations de l'état hydrique de la plate-forme ont une grande influence sur la portance de cette dernière.

Généralement cinq états hydriques sont distingués dans les différentes classifications.

➤ L'état très humide (th)

C'est un état d'humidité très élevé ne permettant plus en général la réutilisation du sol ;

➤ L'état humide (h)

C'est un état d'humidité élevé autorisant toutefois la réutilisation du sol en prenant des dispositions particulières (aération, traitement, etc.)

➤ L'état d'humidité moyenne (hm)

C'est l'état d'humidité optimale avec un minimum de contraintes pour la mise en œuvre

➤ L'état sec (s)

C'est un état d'humidité faible mais autorisant encore une mise en œuvre en des dispositions particulières (arrosage, sur compactage, etc.)

➤ L'état très sec (ts)

C'est un état d'humidité très faible ne permettant pas la réutilisation du sol dans des

Conditions technico-économiques actuelles. [17]

Le classement suivant l'état hydrique se base sur les paramètres suivants :

- La position de la teneur en eau naturelle  $W_n$  par rapport à la teneur en eau de l'optimum Proctor normal :  $W_n / W_{opt}$
- La position de la teneur en eau naturelle  $W_n$  par rapport aux limites, qui s'exprime par l'indice de consistance  $le$

$$L_C = (W_L - W_n) / I_p$$

- l'indice portant immédiat (IPI) qui exprime la valeur de l'indice CBR immédiat mesuré sans surcharge, ni immersion sur une éprouvette de sol compacté à l'énergie

Proctor normal et à sa teneur en eau naturelle.

Il est donc nécessaire de connaître les teneurs en eau naturelle et la pluviométrie de la zone afin de savoir les conditions d'emploi de la plate-forme, de réalisation de certains essais, les traitements nécessaires et les modalités de mise en œuvre.

Ces paramètres étant déterminés, on pourra par la classification du sol de plateforme et par la suite utiliser le tableau de classification des sols de plate-forme présenté dans le tableau IV.1 pour déterminer le type de plate-forme auquel il correspond.

**Tableau IV.4: de classification de sol**

Portance des sols : Classification et essais					
Type	Examen visuel (Essieu de 13t)	Indice portant CBR	Module de déformation a la plaque EV2(MPa)	Module de réaction du sol K(daN/cm <sup>2</sup> )	Type de sol
P <sub>0</sub>	Circulation impossible ; sol inapte très déformable	CBR ≤ 3	EV2 ≤ 15	K ≤ 3	Argiles fines saturées, sols tourbeux, faible densité sèche, sol contenant des matières organiques, etc.
P <sub>1</sub>		3 ≤ CBR ≤ 5	3 < EV2 ≤ 15	3 < K ≤ 5	Limon plastiques, argileux et argiloplastiques, argiles à silex,

					alluvions grossières, etc. Très sensible à l'eau
P <sub>2</sub> ou PF1	Déformable	$6 \leq \text{CBR} \leq 10$	$30 < \text{EV2} \leq 50$	$5 < K \leq 6$	Sables alluvionnaires argileux ou fins limoneux, graves argileuses ou limoneuses, sols marneux contenant moins de 35% de fines
P <sub>3</sub> ou PF2	Peu déformable	$10 \leq \text{CBR} \leq 20$	$50 < \text{EV2} \leq 120$	$6 < K \leq 7$	Sables alluvionnaires propre avec fines < 5%, graves argileuses ou limoneuses avec fines < 12%
P <sub>4</sub> ou PF2	Très peu déformable	$20 \leq \text{CBR} \leq 50$	$120 < \text{EV2} \leq 250$	$6 < K \leq 15$	Matériaux insensibles à l'eau, sables et graves propres, matériaux rocheux saints, etc., Chaussées anciennes
P <sub>EX</sub> ou PF4		$\text{CBR} > 50$	$\text{EV2} > 250$	$K > 15$	

Les sols les plus utilisés en construction routière en Afrique, au sud du Sahara, sont des sols latéritiques.

Certaines classes de ces sols sont utilisées en corps de chaussées (couches de base et couches de fondation), en appliquant des règles qui ont été définies par pays, à partir de règles générales d'aptitude des sols au compactage. Les latérites sont plus ou moins abondantes selon les régions et leur utilisation systématique comme matériaux de construction routière commence à en faire une ressource rare dans certaines parties du Niger. Les matériaux latéritiques sont le plus souvent situés à proximité des tracés routiers.[33]

#### IV.4 : Détermination des variantes de structure avec les épaisseurs des couches composantes :

Après avoir déterminé le trafic poids lourd sur le tronçon du projet et les classes de plate-forme, on peut passer aux fiches de structures.

Dans les fiches structures, les données d'entrée sont le trafic et la classe de plateforme tandis que les données de sortie sont les épaisseurs de la structure. En fonction des matériaux existant dans la zone, il est possible de choisir une structure ou des variantes. Une analyse économique comparative permettra ensuite de choisir une option parmi ces variantes en fonction du budget.

#### IV.5 : Les fiches matériaux :

Les fiches matériaux présentent pour un matériau utilisé dans l'esquisse du catalogue :

- Les hypothèses de dimensionnement à savoir : le trafic sous lequel le matériau garde toujours ses propriétés mécaniques, la contrainte à 10<sup>6</sup> cycles du matériau ( $\sigma_6$ ), la pente b de la droite de fatigue, l'écart-type ( $\sigma_n$ ) sur la loi de fatigue, l'écart-type ( $\sigma_h$ ) sur les épaisseurs, le coefficient KT (trafic), le coefficient Kc (calage), le coefficient Kr (risque et dispersion), le coefficient Kd (discontinuité), le coefficient l/Ks (rigidité de la couche support).
- Le calcul des contraintes admissibles  $\sigma_{ad}$  pour les différents trafics que le matériau peut supporter ;
- Les paramètres d'entrée sur Ecoroute ou Alizé, utilisés pour le calcul des contraintes s'exerçant sur la couche composée par ce matériau : le Module E, le coefficient de Poisson  $\nu$  ainsi que l'épaisseur minimale de mise en œuvre.

C'est la fiche d'identité du matériau utilisé dans ce catalogue. [17]

#### Matériaux liés aux liants hydrocarbonés

Les caractéristiques mécaniques des Matériaux Bitumineux (MB) sont dépendantes de la température et de la fréquence de sollicitation. De ce fait, le calcul doit être fait pour des valeurs représentatives des conditions de projet.

- Pour la température équivalente, la valeur de 30°C sera retenue.
- Pour la fréquence de sollicitation, on retient 10Hz.

En se basant sur la disponibilité des matériaux, la température et la fréquence des sollicitations, les matériaux suivants ont été retenus : [19]

#### **Matériaux utilisés en ASS**

##### ➤ **Couche de fondation**

- Graveleux latéritiques naturels ;
- Graveleux latéritiques améliorés au ciment ou à la chaux ;
- concassé o/d ;
- Grave naturelles O/D.
- Sable argileux
- Sable argileux améliorés au ciment ou à la chaux ;
- Scories volcaniques ou pouzzolanes ;
- Matériaux coquilliers ou naturels ou améliorés ;
- Matériaux coralliens naturels ou améliorés.

##### ➤ **Couche de base**

- Graveleux latéritiques naturels ;
- Graveleux latéritiques améliorés au ciment ou à la chaux ;
- concassé o/d ;
- Béton de sols ;
- Sable argileux améliorés au ciment ou à la chaux ;
- Sable bitume ;
- Autres matériaux traités ;
- Grave bitume ;
- Grave ciment ;

##### ➤ **Couche de roulement**

- Enduits superficiels ;
- Micro-enrobés (send asphat) ;

- Enrobés denses ;
- Béton bitumineux ;
- Types de bitumes [20]

Tableau IV.5 : Matériaux-Portance [19]

Matériaux	Module (E) MPa	C.poisson ( $\gamma$ )
Bitumineux température 30° fréquence 10Hz		
BBdr	720	0,35
BB	1300	
BG1	2000	
BG2	2700	
BG3	2700	

**IV.6 : Les fiches de structure :**

C'est une représentation schématique des structures du catalogue. Une fiche de structure présente pour une structure proposée les épaisseurs des différentes couches obtenues après calcul sur Alizé. Les données d'entrée sont le trafic et la classe du sol de plate-forme.

Elles auront la forme suivante (figure 2) : [17]

TRAFFIC $T_s$		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
		$T_s$	$T_s$	$T_s$	$T_s$	$T_s$
R	Béton bitumineux	X	10	10	10	10
B	Grave ciment		22	22	22	25
F	Graveleux latéritique ou grave naturelle ou tout-venant de concassage		35	20	25	0
R	Béton bitumineux	10	10	10	10	10
B	Grave ciment	22	22	22	22	25
F	Sable argileux ou grave améliorés au ciment	45	25	20	15	0
R	Béton bitumineux	7	7	7	7	7
B	Grave bitume	18	18	18	18	18
F	Graveleux latéritique ou grave naturelle ou tout-venant de concassage	50	35	30	25	0

Figure IV. 2 : fiches de structure [20]

**IV.7 : Calcul des limites admissibles.**

Sol support et matériaux non traités

Pour la plate-forme et les matériaux non traités (constitués de matériaux granulaires non liés), les contraintes sont caractérisées par les contraintes  $\sigma_z$  adm et déformation  $\epsilon_z$  adm verticales admissibles au sommet de la couche. Elles sont calculées à partir des formules suivantes :

$$\sigma_{z \text{ adm}} = \frac{0,3 \cdot CBR}{1+0,7 \log N} \text{ en bars et } \epsilon_{z \text{ adm}} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25} \text{ en mm}$$

**Tableau IV.6 : récapitulatif du mode d'utilisation de la GLL et GNT. [19]**

Condition d'utilisation des GLL et GL-N		Mode d'endommagement	
<b>Trafic faible</b>		Déformations verticales irréversibles des matériaux non traités	
<b>Trafic fort</b>	Fondation des structures bitumineuses ou semi-rigides	Critère de vérification	
		Trafic fort	Trafic faible
		Vérification pour la GL-N et GLL ainsi que la PF	Vérification pour la PF uniquement
		$\epsilon_z \leq \epsilon_{z \text{ adm}}$	
		En haut des matériaux non traités	

**IV.8 : Exemple de calcul du corps de chaussée**

Pour les données de calcul du corps de chaussée se trouvent dans le chapitre précédent en III.5 (page 47) partie calcul du corps de chaussée RN98.

- Détermination du trafic poids lourds

$$N = 360 \times t \times A \times n(1-i)^n \text{ avec } C = n(1-i)^n = 20 (1- 0,04)^{20} = 8,84$$

$$=360 \times t \times A \times C = 360 \times 3427 \times 1,3 \times 8,84 \quad \longrightarrow \quad N = 14178737,66 \text{ PL/J}$$

Cette route est classée en TCE5 , conforment au tableau IV.2 ci-dessous

- Détermination de sol support

$$CBR = 5 \quad \longrightarrow \quad \text{le sol est de classe S2}$$

CBR = 5 on a : une faible portance de sol alors on doit faire recours a la couche de forme de 45 cm d'épaisseur. [18]

Le choix de fiche de structure se fait en fonction de classe et du trafic

- Les fiches structure : **7 BB + 18 GB + 35 GL + 45 GNT** (voire le figure IV.2 ci-dessus).
- Calcul de contrainte admissible  $\sigma_{z adm}$

$$\sigma_{z adm} = \frac{(0,3 \times CBR)}{(1+0,7 \log N)} = \frac{(0,3 \times 5)}{(1+0,7 \times \log 14178737,66)} = 250.10^{-3} \text{ MPa}$$

- Détermination de déformation admissible verticale

$$\epsilon_{z adm} = 2,8.10^{-2} \times N^{-0,25} = 2,8.10^{-2} \times (14178737,66)^{-0,25} = 556.10^{-6} \text{ mm}$$

- Calcul par Logiciel Alizé de déformation admissible

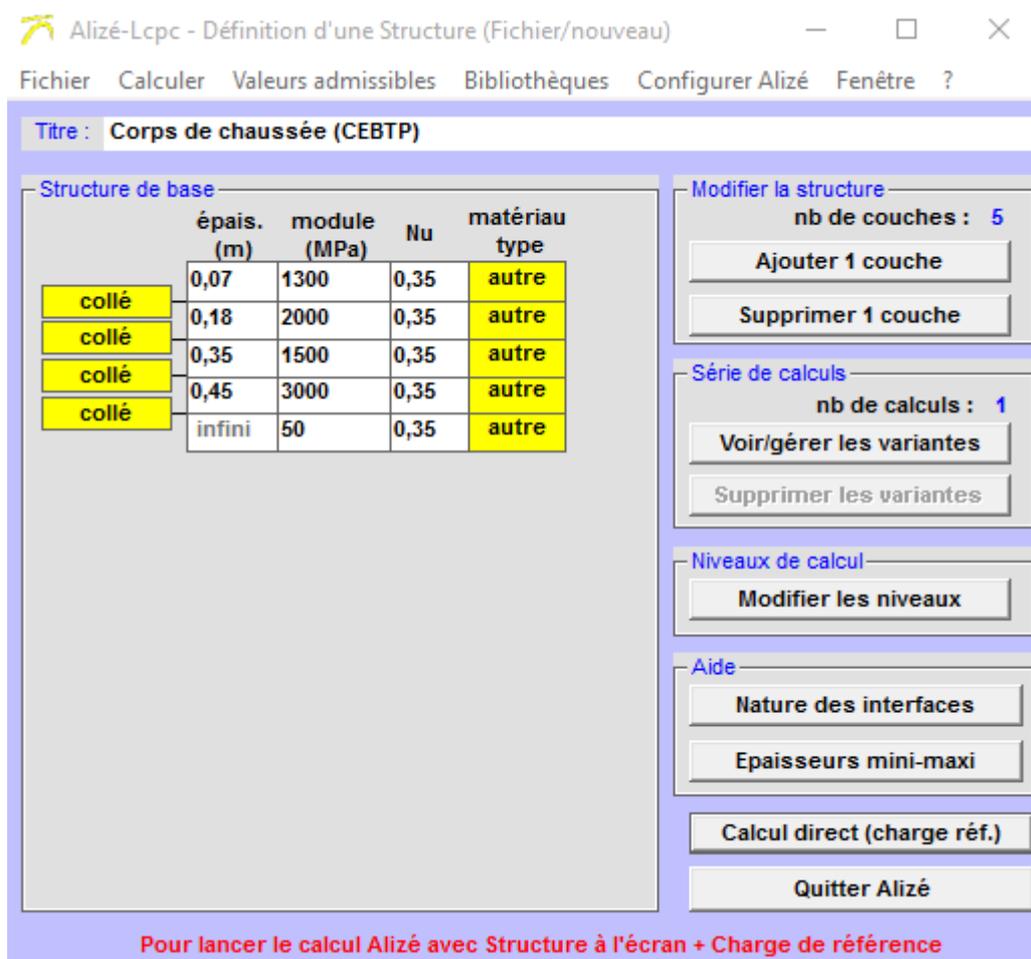


Figure IV.3 Entré des données du corps de chaussée

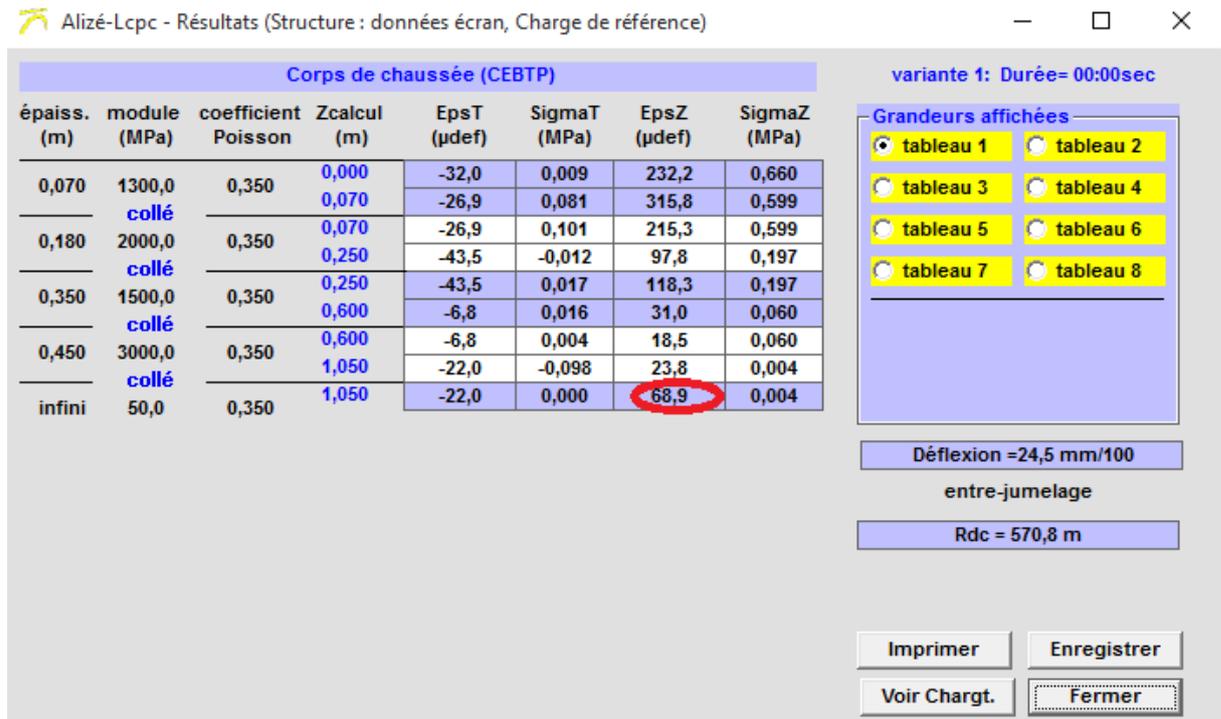


Figure IV.4 : les résultats trouvés par logiciel

Tableau IV.7 : : Résultats de la simulation

	Déformation calculée	Déformations admissibles
$\epsilon_z$ (sol support)	$68,9 \cdot 10^{-6}$	$556 \cdot 10^{-6}$

$\epsilon_z = 68,9 \cdot 10^{-6} < \epsilon_{z\text{ ad}} = 556 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$  , alors la structure de chaussée est vérifiée.

## Chapitre V : Etude Comparative

### V.1 : Introduction

Dans ce chapitre, on va comparer les méthodes précédentes par rapport à leur performance qui dans sa démarche tenir compte de l'effet des sollicitations non seulement sur l'état de la chaussée, mais également sur l'évolution des propriétés des matériaux en fonction du dommage subi. Elle doit également intégrer l'effet des variations de température et des données réelles de trafic.

### V.2 : Performances des deux méthodes

On remarque que tous les éléments techniques nécessaires pour le dimensionnement des chaussées neuves sont pris en considération par les deux méthodes voire le tableau V.1

**Tableau V.1 : Performance des deux méthodes**

Méthode	Trafic	Sol support	Données climatiques	Matériaux	Vérification
CTTP	✓	✓	✓	✓	✓
ASS (CEBTP)	✓	✓	✓	✓	✓

### V.3 : Comparaison entre la méthode CTTP et la méthode CEBTP

L'étude de dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante, qui consiste d'une part à choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et d'autre part à déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée selon paramètres fondamentaux suivants :

- ✓ Catégorie de la voie
- ✓ Le trafic.
- ✓ L'environnement de la route (le climat essentiellement).
- ✓ Le sol support.
- ✓ Matériaux.

**V.3.1 : La catégorie de la voie**

Les catégories de voies proposées par les deux méthodes sont présentées dans le Tableau V.2

**Tableau V.2 : Comparaison entre les types de voies**

Méthode	CTTP	CEBTP
Type de voie	<b>RP1</b> : reliant deux chefs lieu de wilaya	<b>Réseau primaire</b> : route national ou inter-état
	<b>RP2</b> : route national et chemin de wilaya	<b>Réseau secondaire</b> : routes départementales et voiries urbaines
	✓	<b>Réseau rural</b> : axes entre village ou liaison avec une route secondaire ou connexion à l'axe primaire

**V.3.2 : Le trafic**

Le dimensionnement des structures de chaussées et le choix des matériaux de chaussée dépend des paramètres dont parmi eux le trafic du poids lourd.

Il est donc important d'estimer le trafic en place sur celui projeté, de prévoir leur évolution ainsi que leur composition. Pour se faire, l'on passe, généralement, par un comptage afin de connaître la classe de trafic (TPLi) à la date de mise en service de la chaussée.

**✚ CTTTP :**

Pour le réseau principal 1 RP1, on trouve 5 classes (TPL3 ... TPL7) et 4 classes pour le réseau principal 2 RP2 (TPL0...TPL3). Alors que le risque de calcul dépend de types des matériaux (MTB, MTLH ...) et la classe de trafic. Le coefficient d'agressivité moyen CAM dépend de la catégorie de voies et le type de matériaux.

**✚ CEBTP :**

On trouve 5 classes de réseau (T1...T5)

**Comparaison de la classe de trafic**

Méthode	Méthode CEBTP	Méthode CTTTP
Classe de trafic	<b>RP</b> : cinq classes	<b>RP1</b> : cinq classes
		<b>RP2</b> : quatre classes
	N'ont pas tenu compte de risque	Risque de calcul lié au trafic
	Coefficient d'Agressivité : 1.3	Coefficient d'Agressivité : 0.6

### V.3.3 : L'environnement

La variation de la température intervient dans le choix du liant hydrocarboné, et aussi les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support.

En Algérie se trouve quatre zones climatiques avec des températures varient entre 20°C et 30°C tandis que la condition de température en ASS suivant la tendance pluviométrique et le relief. Les moyennes des températures annuelles sont comprises entre 16°C et 35°C.

**Tableau V.4 : les différents climats**

Méthode	CTTP	CEBTP
<b>Les zones climatiques</b>	Au Nord : 20°C Au Nord, hauts-plateaux : 20°C Aux Hauts-plateaux : 25°C Au sud : 30°C	16°C à 35°C en ASS

### V.3.4. Le sol support

Le sol support est le terrain naturel sur lequel repose le corps de chaussée. Sa portance joue un rôle important pour les choix de l'épaisseur des différentes couches de chaussée.

#### V.3.4.1 : Méthode CTTP

La classification de sol selon la méthode CTTP est déterminées par :

##### ✚ Module à la plaque EV2 > 50 MPa

L'un des objectifs à la réalisation de la caractérisation d'une structure de chaussée consiste à déterminer le module sous chargement statique à la plaque (EV2)

##### ✚ Valeur de l'indice CBR

Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support.

#### V.3.4.2 : Méthode ASS

Le type de plate-forme se détermine après détermination des différents paramètres qui sont :

##### V.3.4.2.1 : Les paramètre de nature

###### a°) La granularité.

- Le diamètre maximal : Dmax

- Le tamisât à 80mm : Pour évaluer leur sensibilité à l'eau.
- Le tamisât à 2 mm : Ce paramètre permet de définir les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

**b°) L'argilosité :**

- L'indice de plasticité : elle met en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau.
- L'indice de consistance relative ( $I_c$ ) : La consistance d'un matériau est la caractéristique rhéologique qui traduit le comportement plastique ou non plastique, et qui change avec les variations de teneur en eau. Il permet de situer le comportement du sol à l'état naturel par rapport à sa plasticité définie par les limites d'Atterberg.
- La valeur de bleu de méthylène

L'analyse par sédimentométrie : Elle est utilisée pour définir la répartition des grains dont le diamètre est inférieur à 0,1 mm.

**V.3.4.2.2 : Les paramètre de comportement mécanique**

Le comportement mécanique des sols de plate-forme est beaucoup tributaire du niveau de sollicitation donc du trafic et de l'état hydrique. La détermination des caractéristiques mécaniques doit donc se faire dans les conditions les plus défavorables de pluviométrie.

La portance à long terme permet de dimensionner les structures. Celle-ci est égale à la portance à long terme du sol augmentée le cas échéant, du gain de portance obtenu soit par une éventuelle couche de forme, soit par un éventuel traitement en place [205]. La portance du sol est mesurée par la détermination de l'indice CBR, du module de déformation  $EV_2$ , ou du coefficient de rigidité  $k$  par essai à la plaque. On peut aussi procéder par examen visuel qui est néanmoins approximatif. Le coefficient de Poisson sera utile et est pris en moyenne égale à 0,35 pour les plates-formes.

**IV.3.4.3 : Les paramètres d'état :**

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve. Ces paramètres permettent de caractériser des sols et, pour certains d'entre eux, leur état de compacité en place.

Généralement cinq états hydriques sont distingués dans les différentes classifications :

- L'état hydrique très humide (th),
- L'état hydrique humide (h) ;
- L'état hydrique moyen (m) ;
- L'état hydrique sec (s) ;
- L'état hydrique très sec (ts) ;

Le classement suivant l'état hydrique se base sur les paramètres suivants :

- la teneur en eau naturelle associée à l'étude Proctor normal ;
- l'indice portant immédiat ;
- l'indice de consistance ;

**Tableau V.5 : la comparaison entre les classifications de sol**

<b>Méthode</b>	<b>CTTP</b>	<b>ASS</b>
Classification de sol	La valeur de l'indice CBR - essai à la plaque EV2 - essai à la plaque E	-paramètres de nature ; -paramètres de comportement mécanique, - paramètre d'état. - essai à la plaque EV2 - essai à la plaque E

### **V.3.5 : Les matériaux :**

#### **V.3.5.1. Méthode CTTP**

La méthode CTTP propose les matériaux routiers suivants :

- Matériaux pour revêtement :
  - béton bitumineux très mince (BBTM)
  - béton bitumineux mince (BBM)
  - béton bitumineux pour chaussées souples à faible trafic (BBS)
  - béton bitumineux semi grenu (BBSG)
  - béton bitumineux à module élevé (BBME)

- Matériaux bitumineux pour assises :
  - graves traitées aux liants hydrauliques (GH)
  - sables traités aux liants hydrauliques (SH)

- Matériaux pour assises :
  - graves non traitées (GNT)
  - graves traitées aux liants hydrauliques (GH)
  - sables traités aux liants hydrauliques (SH)
  - béton de ciment (BC)
  - Matériaux autocompactants
  - Sols fins traités aux liants hydrauliques

#### **V.3.5.2 : Méthode CEBTP**

##### ➤ **Couche de fondation**

- Graveleux latéritiques naturels ;
- Graveleux latéritiques améliorés au ciment ou à la chaux ;
- Gravier concassé,
- Grave naturelles O/D.
- Sable argileux
- Sable argileux améliorés au ciment ou à la chaux ;
- Scories volcaniques ou pouzzolanes ;
- Matériaux coquilliers ou naturels ou améliorés ;
- Matériaux coralliens naturels ou améliorés.

##### ➤ **Couche de base**

- Graveleux latéritiques naturels ;
- Graveleux latéritiques améliorés au ciment ou à la chaux ;

- Gravier concassé o/d ;
- Béton de sols ;
- Sable argileux améliorés au ciment ou à la chaux ;
- Sable bitume ;
- Autres matériaux traités ;
- Grave bitume ;
- Grave ciment ;

➤ **Revêtement**

- Enduits superficiels ;
- Micro-enrobés (send asphat) ;
- Enrobés denses ;
- Béton bitumineux ;
- Types de bitumes

### **V.3.6 : La vérification**

La vérification est faite en comparant les contraintes et déformations calculées à celles admissibles. (Voir le tableau V.6 ci-dessous).

Tableau V.6 : Démarche de vérification des deux méthodes.

Méthode	Lois de fatigue
CTTP	Pour les couches réalisées avec des matériaux traités au bitume (MTB) On vérifie les relations suivantes : $\epsilon_t < \epsilon_{t,ad}$ et $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$
	Pour les couches réalisées avec des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH). On vérifie les relations suivantes : $\sigma_t < \sigma_{t,ad}$ et $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$
CEBTP	Les matériaux non traités (constitués de matériaux granulaires non liés), les contraintes sont caractérisées par les contraintes $\sigma_z$ adm et déformation $\epsilon_z$ adm verticales admissibles au sommet de la couche. Elles sont calculées à partir des formules suivantes : $\sigma_{z,adm} = (0,3 \cdot CBR) / (1+0,7 \log N)$ en bars et $\epsilon_{z adm} = 2,8 \cdot 10^{-2} \times N^{-0,25}$ en mm $\epsilon_z < \epsilon_{z,ad}$

**V.3.7 : comparaison des épaisseurs de différentes couches**

- Pour **CTTP** on a une épaisseur de 33cm
- Pour **CEBTP** on a une épaisseur de 60cm

On constate que l'épaisseur de différente couche de **CEBTP** est supérieure à celle de **CTTP**, alors cette dernière est plus économique.

✚ D'après tout ce qui précède dans ce chapitre, nous pouvons dire que les méthodes sont toutes les deux **semi empiriques**, se basant sur le même **modèle de burmister**, et que les différences entre ces deux méthodes répondent aux exigences du **climat** et du **trafic**.

### **Conclusion**

A l'issue du travail qu'on a réalisé dans ce mémoire, on peut conclure que les deux méthodes, celle du catalogue CTTTP et celle pour les pays sub-saharien CEBTP, partagent le principe de proposer à l'utilisateur des fiches de dimensionnement dans lesquelles les structures sont déjà précalculées. Elles partagent la même démarche adoptée faisant appel aux spécificités géologiques et climatiques du pays ainsi qu'aux ressources en matériaux disponibles pour dans la région.

En Afrique subsaharienne, ces pays se contentent des études occidentales pour la réalisation de leurs réseaux routiers et cela n'est pas sans conséquence sur la performance des couches au niveau local, il est donc important et urgent d'avoir des outils prenant en compte les réalités en termes de disponibilité des matériaux locaux et aussi de guide pratique le mieux adopté à ces pays. Il faut noter aussi que parmi ces pays on enregistre de percées notables dans le développement des codes et règlements de constructions, on peut citer l'exemple du Sénégal et l'Afrique du sud.

Quant à l'Algérie, certes qu'elle possède son propre catalogue de dimensionnement mais il est aussi indispensable d'élaborer un nouveau code de calcul pour la détermination des contraintes et des déformations réservées à la méthode Algérienne au lieu du code Alizé.

## Bibliographie

- [1] : AYADI Sabrina, le 06 /06 / 2018, mémoire : Etude comparative de la méthode algérienne et la méthode française de dimensionnement des chaussées souples, Université Larbi tébessi – Tébessa.
- [2] : Touahria Adel ; Rezaiguia Mohammed, le 21/05/2017, mémoire : DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉS SOUPLES PAR LA METHODE AASHTO, CAS DE L'EVITEMENT DE LA VILLE DE TEBESSA, Université Larbi tébessi – Tébessa.
- [3] : REMADNA Mohamed Saddek, le 21/05/2007, mémoire : MODELISATION NUMERIQUE DU RENFORCEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE PAR GEOGRILLE, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA.
- [4] : BELKIDAR Katia, mémoire : contribution à la nation d'adhérence sur les chaussées du réseau algérien, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [5] : ACHIR Farida, MEDJOU DJ Maliza, 2017, Etude Géotechnique D'un Tronçon De La Pénétrante autoroutière Reliant le Port de Bejaia à l'autoroute Est-Ouest au niveau d'Ahnif de PK35+000 Au PK36+800, Université A. MIRA-Bejaia.
- [6] : TAREKAGAL, IE 12 AOÛT 2005, mémoire : DÉVELOPPEMENT D'UN CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT STRUCTURAL DES CHAUSSÉES POUR LA VILLE DE MONTRÉAL, université du Québec.
- [7] : Mme ADDACI Badra, 2008, mémoire : comportement mécanique des enrobés bitumineux renforcés par la fibre de verre, université de Batna.
- [8] : KHIREDDINE ZAKARIA, KHASNADJI MOUNIR, 2016, mémoire : Dimensionnement d'une structure de chaussée en utilisant les matériaux locaux, université M'HAMED BOUGUERRA BOUMERDES.
- [9] : ABAD MOHAMED EL MAMI, BOUBACAR ADAMOU HABIB, 2017, mémoire : Étude géométrique d'une Section de la Liaison autoroutière Sidi Bel Abbès - Saida, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.
- [10] : Emile Sourou OKOUNDE, 2009, mémoire : contribution à l'utilisation des pierres en couche de roulement dans les chaussées urbaines des régions des collines et des montagnes au Bénin : Possibilité des pavés de pierre, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement.
- [11] : Nour-Said IKHLEF, le 12 Novembre 2015, mémoire : Comportement d'un matériau routier traité aux liants hydrauliques -application aux autoroutes-, université Djallali Liabés Sidi Bel Abbés.
- [12] : Sandoumbé TRIAW, 2006, mémoire : Dimensionnement mécanistique-empirique des structures de chaussée : Application au tronçon Séo-Diourbel, université Cheikh Anta Diop de Dakar.

- [13] : Loubou AIDARA, Juin 89, mémoire : Etude comparative de chaussée rigide et chaussée flexible dans le cadre du Sénégal, Ecole Polytechnique de Thies.
- [14] : Jean Barrillot, Hervé Cabanes, Philippe Carillo, le 17 mai 2018, Livre : La route et ses chaussées (pages : 1,4,5, 6, 148, 149, 153, 154, 156 ,157, 158, 159, 160).
- [15] : Paul Mamadou Ouattara, Nana Tchouani Joseph Marie, mise à jour juillet 2005 Jean-Pierre Essone Nkoghe, cours : Des piste rurales page 1
- [16] : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P).
- [17] : Ousmane MBODJI, 2003, mémoire : Esquisse d'un catalogue de dimensionnement des chaussées pour le Sénégal, université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [18] : Claude Hugo KOUBIKANA PAMBOU, LE 14 JUIN 2013, mémoire : Développement d'un catalogue de conception des chaussées pour les pays sub-sahariens, université du Québec.
- [19] : Wilfried Nicaise Natabzanga Armel NIKIEMA, 2015, mémoire : Elaboration d'un catalogue de dimensionnement des chaussées neuves avec la méthode rationnelle, Institut International d'Ingénierie.
- [20] : Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP).
- [21] : fr.m.wikipedia.org. Google.com. Consulté le 02/06/2020
- [22] : CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSÉES NEUVES (LCPC)
- [23] : Conception et Dimensionnement de Structure de Chaussée (SETRA)
- [24] : AGAL Tarek, 12 aout 2005, mémoire : développement d'un catalogue de dimensionnement structural des chaussée pour la ville de Montréal, université du Québec.
- [25] : BENAÏSSA A, (2003), Glissement de terrain, calcul de la stabilité. Ed O.P.U. Alger
- [26] : Cours : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE, Chapitre VII PAGES 40
- [27] : DORE G. (2003) - Conception et analyse des chaussées.
- [28] : ZERROUKI Mouhssin, AHMED Ammar Bouzeyiene, 2012, mémoire : Etude d'aménagement de la rocade côtière entre Honaine et Ouardania sur 10km dans la willaya de Tlemcen.
- [29] : TRIAN, SANDOUMB, 2006, mémoire : Dimensionnement mécanistique-empirique des structures de chaussée.
- [30] : Guide technique de conception et de dimensionnement des structures des chaussées communautaires. Fascicule 2 dimensionnement de structure de chaussée neuve et élargissement des voies, 2009 pages 106.
- [31] : RAHMANI Hanane, KADDAR Fatima, 2013, mémoire : Etude de modernisation réhabilitation et de l'impact sur l'environnement de la route nationale numéro 2 sur 3km, université Aboubekr Belkaid Tlemcen.

**[32] : HACINI YAHIA, GFEKIH OUSSAMA, 2011, mémoire : Etude du dédoublement de la route nationale 101 entre (Ain Temouchent et Sidi Bel Abbas) sur 15km, université Aboubekr Belkaid Tlemcen.**

**[33] : MAMADOU SOULEY ISSAKA, NADIA SAIYOURI, YANNICK, 24 juin 2015, document : ETUDE DES MATÉRIAUX LATÉRIQUES UTILISÉS EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE AU NIGER : MÉTHODE D'AMÉLIORATION.**