

الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت
Université d'Ain Témouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Civil et de Travaux publics



Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de **Master** en

Domaine : **SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

**Etude et dimensionnement du corps de chaussée de la liaison
autoroutière de Ghazaouet**

Présenté Par :

Mr. HAMIDOU HAROUNA Tourdjani

Mr. MENTEFA Ali

Devant le jury composé de :

Mr. AISSA MAMOUNE Sidi Mohamed Pr U. A.T.B.B (Ain temouchent) président

Mme. BELABACI MCB U.A.T.B.B (Ain temouchent) Examineur

Mr. DJELIL Mohamed MCD U.A.T.B.B (Ain temouchent) Encadreur

Mr. MOUSTAPHA Guellil MAA U.A.T.B.B (Ain temouchent) Co-encadreur

Année universitaire 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Je dédie le fruit de mes études à :

A ma mère Nafissa Abdou :

Tes prières et bénédictions m'ont été d'un grand secours dans ma vie et mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon bien-être .Ce travail et les fruits de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation.

A ma tante Ramatou Abdou :

Tu m'as donnée l'amour, la tendresse, le courage et le soutien pour réussir.

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

A mon oncle Hadi Hourouna : pour leur soutien et leur encouragement.

A Toutes la communauté des étudiants étrangers et les camarades de la section de m'avoir fait une place au milieu d'eux, j'en suis reconnaissant.

HAMIDOU HAROUNA

Dédicace :

Je dédie ce travail aux êtres les plus chères dans ma vie :

- ❖ Mon père,
- ❖ Ma mère,
- ❖ Ma femme ainsi que mes enfants pour leur encouragement.

MENTEFA ALI

Remerciements :

Tout d'abord Nous tenions à remercier en premier instant le tout miséricordieux et le très miséricordieux (Allah Azawajal) de nous avoir accordé, le courage, la patience et la détermination nécessaire pour accomplir ce dont nous avons toujours rêvé.

Nous remercions tout particulièrement **Mr DJLIL MOUHAMED** et **Mr MOUSTAPHA GUELLIL** de nous avoir encadrés durant notre travail en étant toujours disponible et encourageant, pour leur aide et conseils, montrer des directives et pour ses grandes valeurs humaines.

Nous remercions l'ensemble des membres du jury pour l'effort qu'ils fourniront dans le but d'examiner notre travail.

Merci à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant ces années d'étude, nous ne pouvons conclure sans un mot de remerciement à tous nos enseignants durant notre période de formation.

RÉSUMÉ

Face à l'accroissement de l'agressivité du trafic présent sur toutes les routes du monde, la technique des enrobés bitumineux à module élevé (EME) devient une solution pour assurer durablement la fonction structurelle des chaussées. Son application peut être développée sur le réseau routier principal de l'ensemble des pays, aussi bien dans les projets de renforcement structurel, que dans celui de la construction neuve d'autoroutes ou de routes à fort trafic, ainsi que sur les boulevards urbains à fort trafic.

Dans cette optique, nous nous sommes intéressés au dimensionnement de la chaussée de la pénétrante autoroutière de Ghazaouet qui fait appel à cette technique. Pour le dimensionnement de la structure de chaussée, nous avons utilisé la méthode Française du LCPC qui fait appel à une approche mécaniste-empirique, en utilisant le logiciel Alizé du LCPC.

Mots clés : Chaussée, EME, mécaniste-empirique, Alizé

Abstract

Faced with the increasing aggressiveness of the traffic present on all roads in the world, the technique of high modulus asphalt mix (EME) is becoming a solution to sustainably ensure the structural function of pavements. Its application can be developed on the main road network of all countries, both in structural reinforcement projects, as in that of new construction of highways or high traffic roads, as well as on urban boulevards in heavy traffic.

With this in mind, we were interested in the dimensioning of the roadway of the penetrating Ghazaouet motorway which uses this technique. For the dimensioning of the pavement structure, we used the French LCPC method which uses a mechanistic-empirical approach, using the Alizé software from LCPC.

Keywords: Chaussée, EME, mechanistic-empirical, Alizé

أمام التزايد الكثيف لحركة المرور على جميع الطرق عبر العالم أصبحت تقنية الإسفلت ذي (EME) المعايير العالية

حلا لضمان الوظيفة الهيكلية لقاعة الطريق بشكل مستدام ويمكن تطبيقه على شبكة الطرق الرئيسية وجميع البلدان، وذلك سواء في مشاريع التعزيز الهيكلي كما هو الحال في إنشاءات الطرق السريعة، الطرق ذات الإزدحام الشديد وكذلك في شوارع الحضرية التي تعرف حركة المرور الكثيفة.

من هذا المنظور نحن مهتمون في هذا العمل بحساب سماكة وأبعاد مختلف طبقات المشكلة لقارة الطريق الذي يربط بين طريق السيار شرق غرب ومناخ الغزوات والذي سوف يستعمل فيه هذه التقنية التصميم الهياكل ومن أجل ذلك تم إختيار الطريقة الفرنسية والتي ستدي مقارنة التقنية تجريبية مع إستعمال البرنامج القمي

الكلمات المفتاحية : Alizé ، ميكانيكي تجربي ، EME

SOMMAIRE

Dédicace	i
Dédicace.....	ii
Remerciement.....	iii
Résumé.....	iv
Tables des matières	vii
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xii
Liste des abréviations.....	xiii
Introduction générale.....	xiv
CHAPITRE I : Généralités sur les chaussées routières et les enrobés	
I.1 Introduction.....	1
I.2 Historique de l'évolution des routes.....	1
I.3 La chaussée :	1
I.3.1 Définition :	2
I.3.2 Les différents types de structure de chaussée :	3
I.3.3 Choix d'une structure de chaussée :.....	3
I.3.4 Composition de la chaussée souple :.....	3
I.4. Les bétons bitumineux :	6
I.4.1. Les types du béton bitumineux :	6
I.4.1.1. Les enrobe à chaud :	6
I.4.1.1.1. Béton bitumineux souple(BBS) :.....	6
I.4.1.1.2. Béton bitumineux semi-grenu(BBSG) :	7
I.4.1.1.3. Béton bitumineux mince(BBM) :.....	7
I.4.1.1.4. Béton bitumineux très mince (BBTM) :.....	7
I.4.1.1.5. Le béton bitumineux ultra mince (BBUM) :	8
I.4.1.1.6. Béton bitumineux drainant(BBDr) :	8

I.4.1.1.7. Béton bitumineux à module élevé(BBME) :	8
I.4.1.1.8. Les enrobe à modules élevé (EME) :	8
I.4.1.1.7. Les bétons bitumineux à modules élevé (BBME) :	9
a. Pour quoi faire un (BBME?) :	9
b. Les classes de(BBME) :	9
c. Mise en œuvre :	9
d. Importance de BBME :	10

CHAPITRE II : Béton bitumineux : Caractérisations et mise en œuvre

II.1.Introduction	11
II .2 .Caractéristique des composants	11
II.2.1. Les granulats	11
I.2.1.1 : Les différents types des granulats et leur classification. [13]	13
a. Granulats Naturels :	13
b. Granulats Artificiels :	13
II.2.1.2 : Caractéristiques et spécifications des granulats:	14
a. Caractéristiques intrinsèques :	14
b. Caractéristiques extrinsèques :	14
II.2.1.3 : Dureté :	14
II.2.1.4 : Forme :	15
II.2.1.5 : Propreté :	16
II.2.1.6 : Granularité	16
II.2.1.7 : Angularité :	16
II.2.2 Liant hydrocarbonés	17
II.2.2.1. Les trois (3) types de liants	17
II.2.2.3. Propriétés générales des liants hydrocarbonés :	18

II.2.2.4. Bitumes :	19
II .2. 2.4.1. Les différents types de bitume :	20
II .2.2.4.2. Origine et application des bitumes :	21
II .2.2.4.3. Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :	21
II.2.2.4.4. Essais de caractérisation des bitumes :	22
II .2.2.4.5 Essai de point de ramollissement bille et anneau (NF T66 – 008) :	22
II.2.3. Dopes et Additifs	23
II.2.3.1. Additif pour enrobés bitumineux	23
II.2.3.1.1. Additif pour BBME ou BBSG :	23
II.2.3.1.2. Domaine d'application des additifs :	25
II.2.3.2. Les Dopes :	25
II.3. Caractéristique en laboratoire :	26
II.3.1. Composition:	26
a. Composants minéraux :	26
b. Composition granulaire :	27
c. Détermination de la teneur en bitume :	28
II.3.2. performances :	29
II.3.2.1. Essai Marshall (NF P98-251-2)	29
a. But et principe de mesure :	29
b. Domaine d'application :	30
II.3.2.2. Essai Duriez (NF P98-251-1) :	30
a. But de l'essai :	30
b. Domaine d'application :	30
II.3.2.3. La Presse à cisaillement giratoire (NF P 98-252) :	31
II.3.2.4. Essai d'orniérage :	31
II.4 .Fabrication et mise en œuvre :	32
II.4.1 Fabrication des enrobés :	32

II.4.2. Mise en œuvre :.....	33
II.4.2.1. Mise en œuvre –répandage :.....	33
II.4.2.2. Mise en œuvre –compactage	34
II.5. Caractéristiques sur chantier – Contrôles :.....	35
II.5.1. Contrôle de la fabrication :.....	35
II.5.2. Contrôle de la mise en œuvre	36
Conclusion :.....	37

CHAPITRE III : METHODE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

III.1. Introduction :.....	38
III.2.Les Méthodes empiriques:.....	38
III.2.1 La méthode de C.B.R (California-Bearing -Ratio) :.....	38
III.2.2 .Méthode TRRL (Transportation Road Research Laboratory) :	39
III.2.3 Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials).	39
III.2.4.Méthode de l'Asphalte Institute.	40
III.3 Les Méthodes analytiques (théoriques):.....	40
III.3.1 Le modèle de Boussinesq ² (1885):.....	40
III.3.2 Le modèle de Westergaard (1926):.....	41
III .3.3 Le Modèle Multicouches de Busmister en 1943.	42
III.3.4 Modèle aux éléments finis :	43
III .4 Méthodes semi- empiriques:	44
III.4.1 La méthode du catalogue des chaussées neuves «CTTP » :.....	44
a. Le réseau principal noté RP: il se compose de route reliant:	45
b. Le réseau secondaire R S :.....	45
III.4.2 Méthode du CEBTP :	45

III.4.3.Méthode SATCCI (Southern Africa Transport and Communications Commission).....	46
III 4.4.Méthode SETRA-LCPC	46
III.5 Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement:	47

CHAPITRE IV : Dimensionnement du corps de la chaussée

IV .1 Introduction :	49
IV.2 Présentation du projet :.....	49
IV.3. objectifs du projet:.....	50
IV.4. Présentation de la wilaya de Tlemcen :.....	51
IV.4.1. Situation géographique.....	51
IV.4.2. Aspect Administratif :.....	51
IV.4 .3 . Zone d'influence du projet	52
IV.5. Les données naturelles de la région de Gazaouet.....	52
IV.5.1 Description des principaux terrains [31].....	52
a. Unité de versants :	53
b. unité de collines :	53
IV.5.2. contexte hydrogéologique	53
IV.5.3. Contraintes géotechniques :	54
IV.5.4. Contexte climatique	54
a. La température	55
IV.6. Etude de trafic :.....	56
IV.6.1. Analyse des échangeurs :	57
IV.7 La méthode SETRA- LCPC.....	58
IV.7.1 Détermination de la catégorie de la voie :.....	58
IV.7.2 Détermination de la classe de trafic :	59

a. Données d'entrée trafic	59
a. Répartition du trafic poids lourd par voie de circulation.....	60
b. Calcul du nombre cumulé de poids lourds sur la voie la plus chargée.....	61
IV.7.3 Détermination de la plate –forme support de chaussée	62
IV.7.4 Détermination de la classe de plate-forme à long terme.....	63
a. Rappel de la démarche	63
b .Classes de plate-forme prescrite	63
IV.7.5 Caractéristiques minimales de la plate-forme à la mise en œuvre des couches de chaussée (à court terme).....	64
IV.7.6 Vérification du dimensionnement de la chaussée vis -à-vis de la déformation verticale sur la plate-forme	65
IV.7.7 Choix de la composition de la couche de surface :	65
IV.8. Vérification au gel-dégel.....	67
IV .9. Application au projet :	68
IV.9.1 Détermination du type du réseau principal :.....	68
IV.9.2 Catégorie de la voie :.....	68
IV.9.3 La classe du trafic (TPLi):.....	68
IV.9.4 Détermination de la classe de trafic cumulé TCi :	69
IV.9.5 Détermination de nombre d'essieux équivalent :.....	69
IV.9.6 Détermination de Plate-forme support de chaussée :	70
IV.9.7. La composition de la plate- forme :	70
Choix de la structure :	70
IV.9 .8. Calcul des déformations admissible :	71
IV.9.9. Calcul des déformations réelles :	72
IV.10. Modélisation de la chaussée :	73

Tableau. II. 1: Les fuseaux granulométriques maxi et mini de béton bitumineux semi-grenu (BBSG) 0/14 et 0/10, le BBSG 0/10	27
Tableau. III. 1: Classes de trafic définies par le CEBTP	46
Tableau. III. 2: Classes de portance de la plateforme (CEBTP).....	46
Tableau .III.3: Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement.....	47
Tableau. IV. 1 : Températures moyennes de Ghazaouet.	55
Tableau. IV. 2 : Températures moyennes de Nedorma	55
Tableau. IV. 3: Températures équivalentes des zones en Algérie	55
Tableau. IV. 4 : Affectation du trafic en situation « Avec projet - Sur le projet».....	56
Tableau. IV. 5 : Trafic attendu sur le projet	57
Tableau. IV 6 : Trafic sur RN 98 « sans et avec projet ».....	57
Tableau. IV. 7 : Valeur des paramètres de calcul	59
Tableau. IV 8 : Bornes supérieures des classes de trafic cumulé pour les VRS et les VRNS (exprimées, en millions de poids lourds)	60
Tableau. IV. 9 : Coefficient d'agressivité structurelle moyenne (CAM).....	61
Tableau. IV. 10: Classes de plate-forme minimales de support de chaussée.....	63
Tableau. IV. 11 : Déformabilité pouvant être exigée au moment de la mise en œuvre des chaussées	65
Tableau. IV. 12: Caractéristique des matériaux de la chaussée	73

Figure. I. 1: La voie Romae _Oculi	1
Figure. I. 2: La voie Romaine	2
Figure. I. 3 : Structure type d'une chaussée souple :	5
Figure .I.4: Composition de béton bitumineux	6
Figure. II. 1 : Gisement de carrière de la production des agrégats.	12
Figure. II. 2 : Différents granulats [10]	12
Figure. II. 3: Les deux familles de granulats	14
Figure. II. 4 : Types de Liants hydrocarbonés [8].....	18
Figure. II. 5 : Morceaux de bitume provenant d'un gisement naturel en bordure de la mer morte.....	20
Figure. II. 6 : Principe de l'essai de pénétrabilité.	22
Figure.II. 7: Courbe granulométrique du mélange granulaire.....	28
Figure.II. 8 : Machine d'essai Marshall	29
Figure.II. 9: Machine d'essai Duriez	30
Figure.II. 10: Machine de l'essai Presse à cisaillement giratoire (PCG	31
Figure.II. 11: Principe de l'essai d'orniérage	32
Figure.II. 12: Centrale mobile continue en situation de production Chargement des matériaux granulaires (A), unité de malaxage (B), silo de stockage permettant une livraison par camion (C).	33
Figure.II. 13 : Mise en œuvre mécanisée à l'aide d'un finisseur.	34
Figure.II. 14: Compactage [23]	35
Figure .III. 1 : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq.	41
Figure. III 2: diffusion des contraintes selon Westergaard	42
Figure. III. 3: Schéma du modèle de Busmister	43
Figure. IV 1: Liaison autoroutière reliant le port de GHAZAOUET à l'autoroute EST-OUEST	50
Figure. IV. 2: Carte de limites administratives (wilaya de Tlemcen).....	51
Figure. IV. 3: projection du tracé sur la carte géologique	54
Figure. IV. 4 : Flux de trafic au niveau de l'échangeur de Nedroma (RN 99)	58
Figure. IV. 5: Parties d'ouvrage concernées à court terme et long terme	63
Figure. IV. 6 : Couche de surface	66
Figure. IV. 7: principe de la vérification au gel- dégel.....	67

Figure .IV.8: différentes couches du corps de chaussée..... 71

Figure. IV. 9 : Calcul de la déformation admissible de traction $\varepsilon_{t, ad}$:..... 72

Figure. IV. 10: Capture d'écran de la saisie des caractéristiques de notre chaussée avec (Alize –LCPC)..... 74

Figure. IV. 11 : Résultats obtenue par le programme (Alize)75

PK : Point Kilométrique

PCG : Presse à Cisaillement Giratoire

BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé

BBSG : Béton Bitumineux Semi-Grenu

BBD_r : Béton Bitumineux Drainants

BBUM : Béton bitumineux ultra mince

BBTM : Béton bitumineux très mince

EME : Enrobé à Module Elevé

BBMA : Béton Bitumineux à Module en Aéronautiques

GB : Graves Bitume

NF / NF P : Norme Française

LA : Essai Los Angeles

ENG : Entreprise Nationale des Granulats

MDE : Essai Micro Deval

CA : Coefficient d'aplatissement

ES : L'équivalent de sable

IC : L'indice de concassage

RC : Rapport de concassage

C.B.R : California -Bearing – Ratio

TRRL : Transportation Road Research Laboratory

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

SATCCI : Southern Africa Transport and Communications Commission

SAETI : Société Algérienne d'étude d'infrastructures

- FHCC** : First Highway Consultants Company
- ZIP** : Zone d'Influence du projet
- T.J.M.A** : Trafic journalière moyenne annuelle
- VRS** : Voies du réseau structurant
- VRNS** : Voies du réseau non structurant
- TC** : Trafic cumulé
- PTAC** : poids totale autorisé en charge
- CAM** : coefficient d'agressivité structurelle moyenne
- NE** : nombre d'essieux équivalent
- PST** : partie supérieure des terrassements
- GTR** : Guide technique de Réalisation
- $\epsilon_{z, ad}$: **Déformation** verticale admissible
- IR** : L'indice de gel atmosphérique de référence
- IA** : L'indice de gel admissible de la chaussée
- $\epsilon_{t, ad}$: Déformation admissible de traction

Introduction Générale :

Les infrastructures de transport et en particulier les routes doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et des coûts sociaux des aménagements réalisés elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie social.

C'est à dire que la relation qui existe entre l'homme, la route et l'économie est tellement évidente que l'on serait tenté de dire que la route est le précurseur de la civilisation, du développement et d'une manière générale du bien-être.

Cependant la décision de construire ou de rénover une route et/ou une autoroute est liée bien souvent à un ensemble de facteurs technico-économiques qui porteront, d'une part sur le coût de l'investissement, d'autre part sur son coût d'usage et d'entretien dans le temps. Aussi, le choix des matériaux de structure revêt une grande importance.

Conscient de ces avantages liés à la route, pour assurer cette fonction, comme toute les ouvrages du Génie Civil, des études préalables doivent être effectuées afin d'avoir une bonne qualité de route et cela pourra minimiser les entretiens ultérieurs, car ces services demandent une connaissance adéquate de matériaux mise en œuvre et une durabilité de la chaussée. La phase de dimensionnement est une phase très importante pour ces études. Plusieurs méthodes ont été développées en ce qui concerne le dimensionnement des chaussées. Il est alors nécessaire de bien analyser ces différentes méthodes avant de les appliquer à une telle circonstance.

Le présent mémoire portera sur : «Etude et dimensionnement du corps de chaussée de la liaison autoroutière de Ghazaouet». Pour atteindre l'objectif visé, nous avons structuré ce mémoire en quatre chapitres à savoir :

- ❖ **Chapitre I:** dans ce chapitre nous allons présenter une introduction sur la chaussée et son évolution ainsi que des généralités sur les enrobés bitumineux
- ❖ **Chapitre II :** est dédié aux caractérisations des enrobés et sa mise en œuvre
- ❖ **Troisième Chapitre III :** porte sur une description des méthodes de dimensionnement des chaussées.
- ❖ **Le dernier chapitre :** est consacré au dimensionnement du corps de chaussée de la pénétrante autoroutière de Ghazaouet par la méthode LCPC.
- ❖ En finissant par une conclusion générale qui regroupe le contenu de ce projet.

CHAPITRE I:

**Généralités sur les chaussées routières et les
enrobes**

I.1 Introduction

La chaussée est un ensemble de couches de matériaux superposées qui permettent la reprise des charges dû au trafic. En effet, elle doit avoir une capacité portante suffisante pour éliminer toute déformation.

L'enrobé est un mélange constitué de granulats, agglomérés entre eux par un liant hydrocarboné ; Ce mélange peut être enrichi par les fines et éventuellement des additifs en vue d'améliorer certaines propriétés.

I.2 Historique de l'évolution des routes

La route est née du passage des hommes et des animaux sur un même itinéraire. Le passage répété des charges lourdes et les roulages par chariots imposèrent la consolidation superficielle dans un premier temps. Ce fut l'apparition de l'empierrement et du dallage.

L'idée du matelas pierreux a survécu de nombreux siècles. Elle s'est développée à l'époque des Romains pour donner naissance à la chaussée romaine: Les premières véritables chaussées furent construites par les Romains pour leurs voies impériales, avec un objectif essentiellement utilitaire .Celui de permettre un déplacement rapide des légions différentes points de l'empire, quelles que soient les conditions météorologiques. [2]

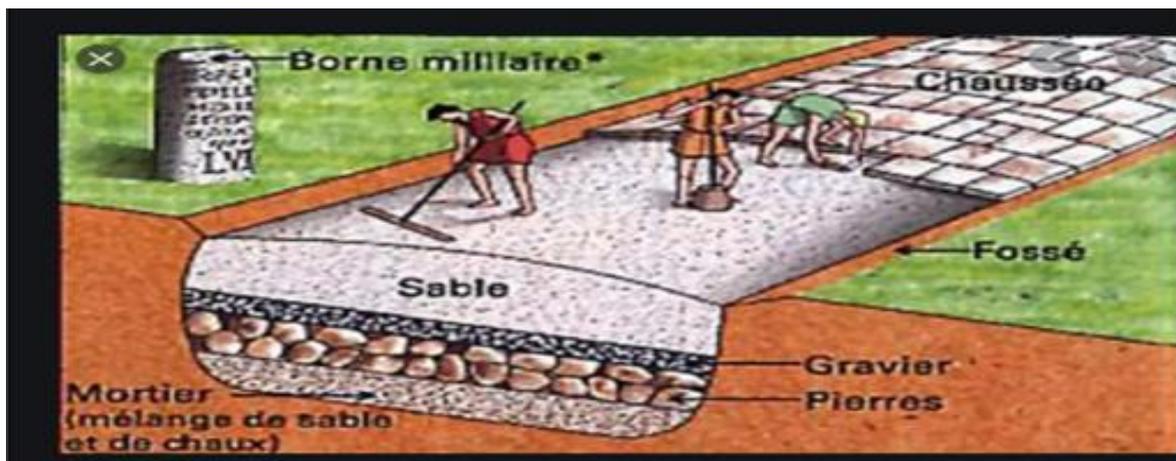


Figure. I. 1: La voie Romae _Oculi [2]

Avec l'apparition des véhicules plus lourds et nombreux, et le début de la mécanisation des travaux, on voit se développer les structures à base de « hériçon » et de « macadam ». Les chaussées de l'époque étaient composées de blocs de 250mm environ pour le « hériçon » et de pierres cassés 40/70 mm pour le « macadam », bloquées avec de l'argile. [2]



Figure. I. 2: La voie Romaine [2]

La structure de la chaussée était donc mal adaptée. Une mutation s'imposait pour aboutir à une route moderne. Elle a été initiée par l'emploi des matériaux à granulométrie continue et de calibre déterminé et puis avec l'émergence des matériaux traités au ciment.[3]

I.3 La chaussée :

I.3.1 Définition :

Elle est définie selon les sens suivants :

❖ **Au sens géométrique:**

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. [4]

❖ **Sens structurel:**

C'est l'ensemble des couches de matériaux superposées qui permettent la reprise des charges. [4]

I.3.2 Les différents types de structure de chaussée :

La structure d'une chaussée peut être souple ou rigide, selon le liant utilisé. Pour le type de chaussée souple, c'est le liant hydrocarboné qui est utilisé (bitume ou goudron), tandis que pour type rigide, c'est le ciment qui est utilisé comme liant. En raison de l'économie que présentent les matériaux entrants dans la composition de la chaussée souple, celle-ci est beaucoup plus utilisée que la chaussée rigide.

I.3.3 Choix d'une structure de chaussée :

Pour pouvoir choisir une structure de chaussée il faut connaître les trois critères suivants :

❖ Critères techniques :

Les aspects techniques porteront sur le choix de la structure proprement dite, des matériaux (liants, granulats, etc.) et des différentes couches constituant la chaussée. [3]

❖ Critères économiques :

Les aspects économiques porteront sur le coût de l'investissement mais aussi sur son coût d'usage et d'entretien pendant une période de service donnée. Les aspects environnementaux porteront sur l'analyse du cycle de vie de l'ouvrage (du berceau jusqu'à la tombe). [3]

❖ Critères environnementaux :

Les aspects environnementaux porteront sur l'analyse du cycle de vie de l'ouvrage (du berceau jusqu'à la tombe). [3]

I.3.4 Composition de la chaussée souple :

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

de chaussée. Ainsi les chaussées souples sont à grandes épaisseurs disposées en plusieurs couches de qualité géotechnique améliorée de bas en haut. [5]

Elle est composée de haut vers le bas de :

❖ **Une couche de surface :**

C'est une couche qui est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure, elle est composée de la couche de roulement et d'une couche de liaison. [4]

❖ **La couche de roulement :**

Qui a pour rôle d'absorber les efforts horizontaux tangentiels et de transmettre les charges verticales sans oublier son rôle de fermeture étanche de la chaussée.

❖ **La couche de liaison :**

Elle a pour rôle essentielle d'assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides, généralement ce sont les enrobés denses. [4]

❖ **La Couche de base :**

A son niveau, les efforts dû au trafic sont encore très importants, de même, les effets des conditions d'environnement ne sont pas entièrement amortis, aussi les matériaux utilisés doivent être de bonnes qualités géotechniques c'est à dire: granulométrie convenable pour éviter la ségrégation lors des différentes manipulations. [5]

❖ **La couche de fondation :**

Elle a pour rôle principal de réduire les charges qui sont transmises à la Plate-forme. Elle ne supporte que des contraintes verticales dès lors, sa mise en œuvre est moins soignée que les couches supérieures. Cependant elle doit être peu déformable et plus résistante que les couches sous-jacentes. [5]

❖ **La Couche de forme :**

Elle est généralement prévue pour répondre à un certains objectifs en fonction de la nature du sol support.

- ❖ Sur un sol rocheux : Elle joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface.
- ❖ Sur un sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée) : Elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement.
- ❖ Pendant les travaux, elle contribue au nivellement et assure la traficabilité du chantier;
- ❖ Elle permet d'homogénéiser les caractéristiques du sol support et le protège, notamment contre le gel.

Actuellement, on tient de plus en plus compte du rôle de portance à long terme apporté par la couche de forme dans le dimensionnement et l'optimisation des structures des chaussées. Éventuellement, une couche drainante ou anti-contaminant peut être intercalée entre la couche de forme et la couche de fondation qui s'appelle sous-couche. [4]

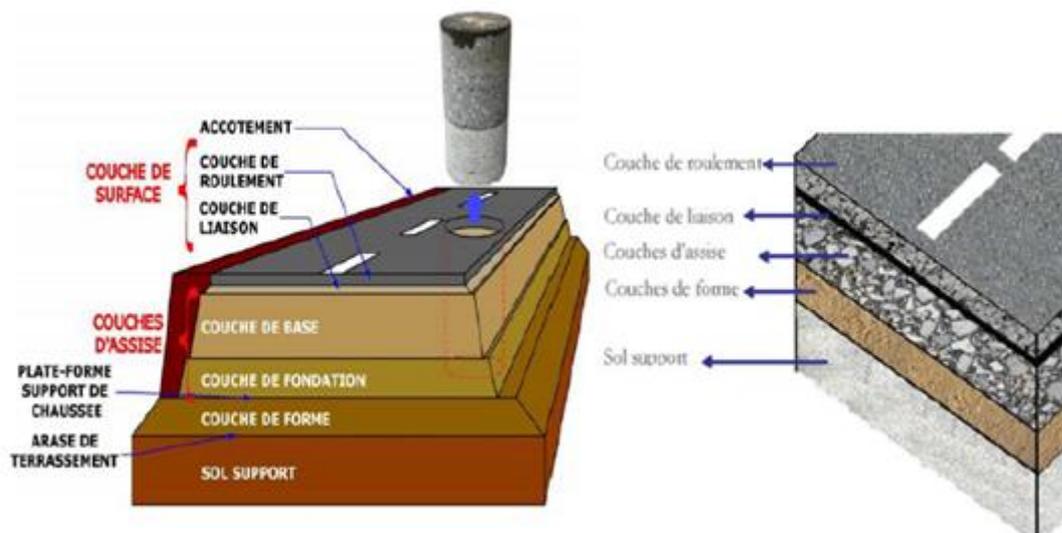


Figure. I. 3 : Structure type d'une chaussée souple : [1]

I.4. Les bétons bitumineux :

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7 % en masse), d'agrégats et de fines (passant à 80 µm). Ces enrobés font appel à des propriétés bien spécifiques en particulier, un pouvoir d'adhésion aux granulats et une consistance variable avec la température

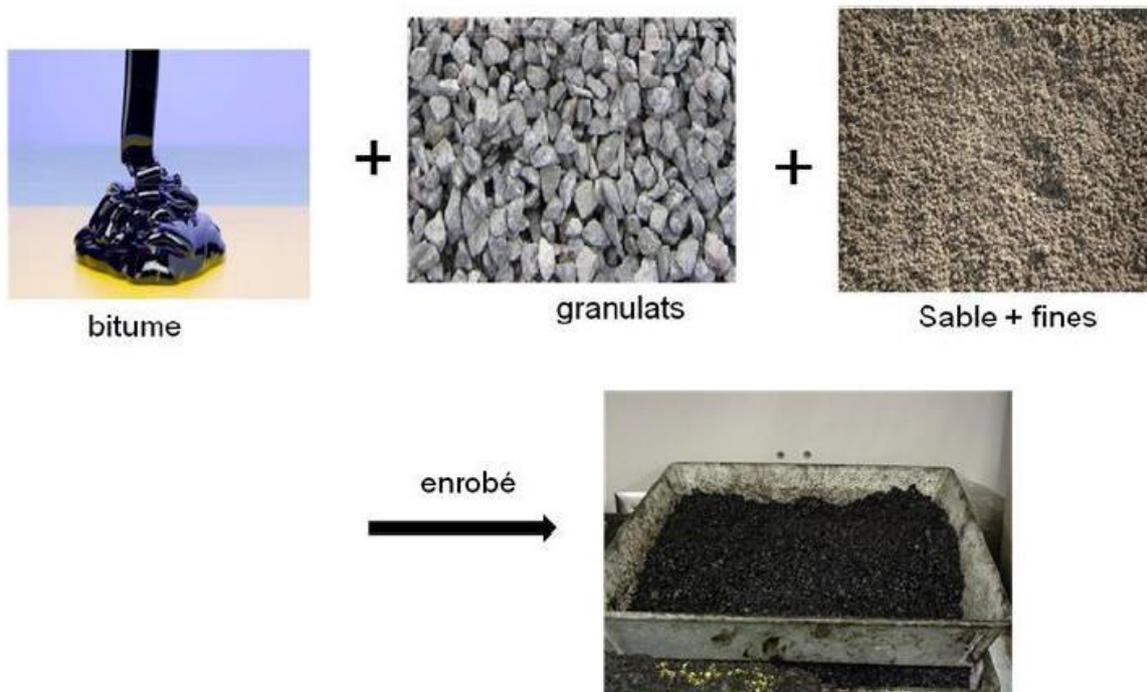


Figure .I.4: Composition de béton bitumineux [8]

I.4.1. Les types du béton bitumineux :

On distingue de nombreux types de béton bitumineux, chacun avec ses caractéristiques et les utilisations propres:

I.4.1.1. Les enrobe à chaud :

I.4.1.1.1. Béton bitumineux souple (BBS) :

Comme son nom l'indique, ce béton est constitué d'un bitume assez mou pour obtenir un enrobé déformable. Cependant, il possède une faible résistance à l'orniérage.

Leur domaine d'emploi est réservé aux chaussées souples qui sont circulées par des trafics réduits (≤ 1500 véhicules/jour) et à faible vitesse. [9]

I.4.1.1.2. Béton bitumineux semi-grenu(BBSG) :

Celui-ci est l'enrobé à chaud de référence. En effet, il répond à de nombreux besoins (trottoir, allée...) et est très adapté pour un trafic aussi bien moyen que lourd.

Ils peuvent être utilisés en couche de roulement et de liaison, selon l'épaisseur de mise en œuvre de 5 à 7 cm ou de 6 à 9 cm, Ils sont de granularité 0/10 ou 0/14, généralement de type continu. Les épaisseurs minimales en tous points correspondantes sont de 4 ou 5 cm. [9]

I.4.1.1.3. Béton bitumineux mince(BBM) :

Les liants utilisés sont essentiellement des bitumes purs. Toutefois, pour améliorer le comportement sous fort trafic, des liants spéciaux ou modifiés sont aussi utilisés.

Les performances des BBM sont jugées pour l'ensemble des critères que sont :

L'orniérage, l'adhérence, l'imperméabilisation. Cette technique est fréquemment utilisée pour les routes nationales. Les bétons bitumineux minces sont principalement utilisables en voiries urbaines, ils sont parfaitement adaptés aux chargements des tapis vieillissants pour rétablir la rugosité de la chaussée et pour des contraintes de gabarit. [10]

I.4.1.1.4. Béton bitumineux très mince (BBTM) :

C'est sans doute l'enrobé le plus intéressant en termes de rapport qualité-prix. En effet, il dispose d'une très bonne durée de vie, ainsi que d'une facilité de mise en œuvre. Quelle que soit la granulométrie (0/10 ou 0/6), le BBTM dispose d'une épaisseur comprise entre 1.5 et 3cm. [9]

Les BBTM sont employés pour les routes à vitesse élevée pour l'entretien ou chaussée neuve. Ils ont pour objectifs essentiels de contact à la surface de la chaussée des propriétés d'adhérence, de dérivabilité mais également, si nécessaire, de propriétés acoustiques ou photométriques.

La technique des BBTM tend à devenir la plus utilisée pour l'entretien des chaussées à trafic important et rapide. [10]

I.4.1.1.5. Le béton bitumineux ultra mince (BBUM) :

Destiné à une couche de roulement, il est tout indiqué pour un parking par exemple. Son épaisseur varie de 1 à 1.5 cm. [9]

I.4.1.1.6. Béton bitumineux drainant(BBDr) :

L'avantage principal de ce type de béton bitumineux réside dans son excellente adhérence, aussi bien par temps de pluie ou de forte chaleur, il réduit le bruit de roulement. Pour une allée de jardin, il est alors parfaitement adapté. [9]

I.4.1.1.7. Béton bitumineux à module élevé(BBME) :

Ce béton bitumineux fait partie des enrobés structurants. Il possède une excellente rigidité, une durée de vie importante et une bonne résistance à l'orniérage. Son épaisseur peut varier de 4 à 9 cm par couche. [9]

I.4.1.1.8. Les enrobe à modules élevé (EME) :

Le mélange est destiné aux couches de liaison soumises à un trafic lourd (principalement pour diminuer l'orniérage); Ce sont des Enrobes préparés à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats et/ou d'additifs minéraux ou organiques, dosés, chauffés et malaxés dans une installation appelée centrale d'enrobage. Ils sont destinés à la réalisation des assises dans le cadre de travaux neufs ou de renforcement de chaussées.

Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 17000MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques.

On distingue deux classes de performance classe 1 et classe 2. Les granularités utilisées sont 0/10, 0/14 et 0/20.

Chaque type d'EME comprend deux classes granulaires qui diffèrent entre elles notamment par leur teneur en liant et la dureté.

On distingue :

EME Classe 1 : correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB).

EME Classe 2 : correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur, généralement parlant de l'EME. [10]

I.4.1.1.7. Les bétons bitumineux à modules élevé (BBME) :

Est un enrobé « structurant », utilisé en couche de liaison ou en couche de roulement soumise à de fortes sollicitations (autoroutes, voies lentes, rampes et voies de bus, rond-point). De granulométrie 0/10 ou 0/14, cet enrobé à module de rigidité élevé est mis en œuvre sur une épaisseur qui peut varier de 4 à 9 cm par couche. [11]

a. Pour quoi faire un (BBME?) :

L'adoption de ces enrobés au niveau des axes routiers les plus sollicités à montrer beaucoup d'avantage en surface (Une bonne résistance à l'orniérage) et en structure (De bonnes performances mécaniques en terme de rigidité (Module élevé) permettent de réduire sensiblement les épaisseurs, de l'ordre de 20 à 25 %, d'où un intérêt économique non négligeable, une augmentation de la durée de vie de la chaussée et un apport structurel important avec un changement des habitudes en matière de teneur en liant des couches). [12]

b. Les classes de(BBME) :

Les BBME comportent trois classes selon leur comportement mécanique [10]

- ❖ Classe 1 : $E \geq 9000\text{MPa}$
- ❖ Classe 2 : $E \geq 11000\text{MPa}$
- ❖ Classe 3 : $E \geq 17000\text{MPa}$

c. Mise en œuvre :

L'autorisation de mise en œuvre de ce genre de matériaux est la plupart du temps conditionnée par la réalisation d'essais au laboratoire et en place (en centrale), à chaud ou à froid et par le respect des seuils de performance conformément aux normes en vigueur. [12]

Après la fabrication des enrobés en centrale d'enrobage, ceux-ci sont transportés sur le chantier par camion, bâché ou pas, puis mis en œuvre en trois étapes : l'application, la finition et le compactage.

d. Importance de BBME :

L'utilisation des béton bitumineux à module élevé permet un gain considérable en épaisseur de couche par rapport aux solutions classiques de par leurs propriétés mécaniques qui leur offrent de très bonnes performances en terme de rigidité (module de rigidité élevé), un pourcentage des vides aciers réduit, un comportement remarquable vis-à-vis de la fatigue, un intérêt économique et environnemental de cette structure de chaussée est également largement avéré.

Cela a pour conséquence sur l'économie de ressources naturelles non renouvelables (granulats et liants) due à l'augmentation de la durée de vie de la chaussée ainsi une réduction de l'épaisseur de cette dernière, ce qui permet de classer cette technique d'utilisant ces enrobés parmi celles qui rentrent dans le cadre du développement durable. [12]

Conclusion

A la lumière de ce qui précède, on peut déduire la nécessité d'interposer, entre le véhicule et le sol, un écran qui aura pour but de répartir les charges sur la plus grande surface et de réduire ainsi les pressions transmises au sol jusqu'à une valeur admissible. On peut remarquer que, en vue d'estimer le comportement en exploitation d'une chaussée routière, il faut connaître et comprendre les propriétés fondamentales de l'enrobé bitumineux.

CHAPITRE II :

Béton bitumineux : Caractérisations et mise en œuvre

II.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la caractérisation des différents matériaux qui compose l'enrobé bitumineux. En effet, La performance des enrobés bitumineux dépend de la qualité du mélange de ces derniers.

Nous allons présenter les différents essais de caractérisations des enrobés bitumineux au laboratoire, sa mise en œuvre in-situ et les différents moyen de contrôle sur site.

II .2 .Caractéristique des composants

II.2.1. Les granulats

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire.

Les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normalisées qui sont définies par le diamètre minimal et maximal du granulat (norme P18-101). Ainsi classés en fines, sables, gravillons, cailloux, et graves.

L'intégration des granulats dans le mélange bitumineux nécessite de connaitre des différentes caractéristiques. [10]

- ❖ Celles qui tiennent à la nature de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs).
- ❖ Celles qui résultent de la fabrication des granulats (propreté, forme, granularité, angularité, homogénéité).

Par ailleurs les essais mécaniques permettent d'établir un classement conformément :

- ❖ La résistance à la fragmentation par les essais Los Angeles.
- ❖ La résistance à l'usure et à l'attrition par l'essai Micro -Deval humide.



Figure. II. 1 : Gisement de carrière de la production des agrégats. [Google Arth]

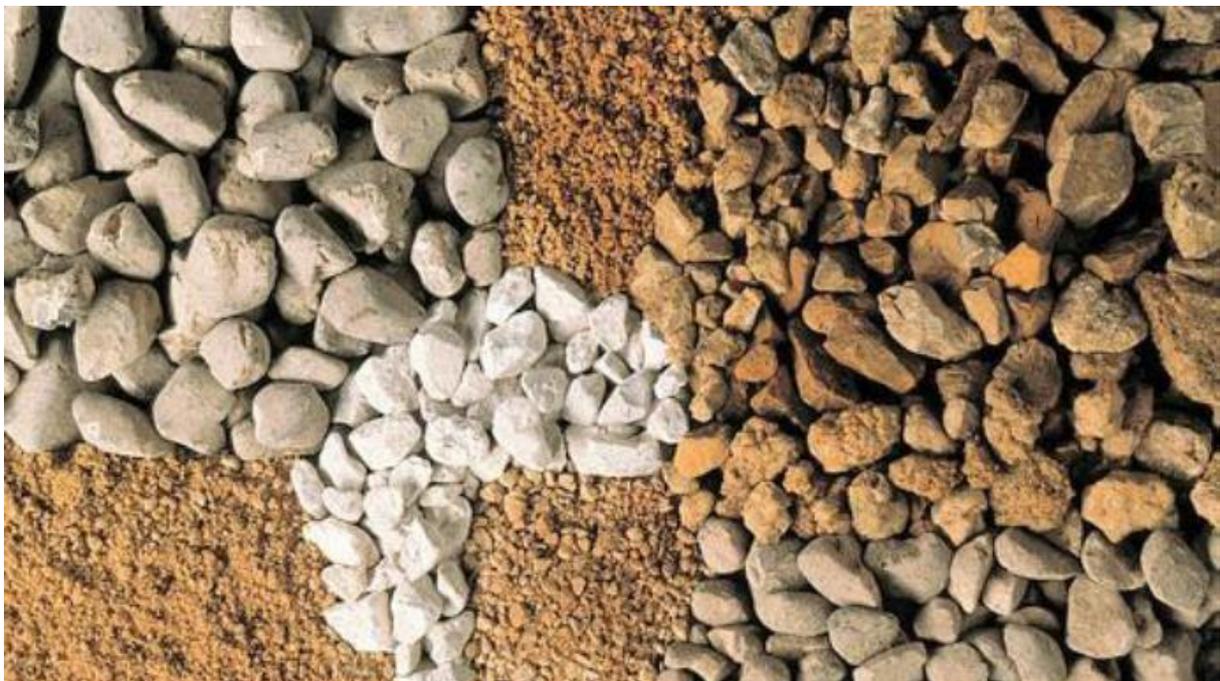


Figure. II. 2 : Différents granulats [10]

I.2.1.1 : Les différents types des granulats et leur classification. [13]

Les granulats utilisés pour composer un béton sont soit d'origine naturelle et artificielle

a. Granulats Naturels :

Les granulats naturels d'origine minérale sont issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Ceux issus des gisements alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière ou en mer éventuellement.

Géologiquement parlant, les granulats naturels sont de nature :

- ❖ Éruptives : granites, basaltes porphyres.
- ❖ Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites.
- ❖ Métamorphiques : gneiss, amphibolites.

b. Granulats Artificiels :

Les granulats artificiels sont soit des sous-produits de l'industrie sidérurgique, soit fabriqués en vue d'obtenir un produit particulier. Ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique des roches ou des minerais.

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé, obtenu par refroidissement lent à l'air ; le laitier granulé de haut fourneau, obtenu par refroidissement rapide dans l'eau et les granulats allégés par expansion ou frittage (L'argile ou le schiste expansé). Les granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser n des bétons à usage spécifique.

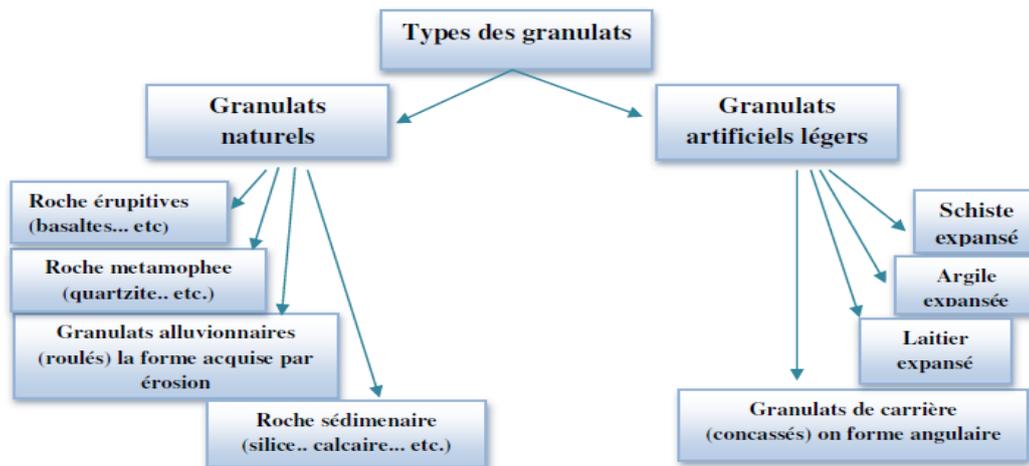


Figure. II. 3: Les deux familles de granulats

II.2.1.2 : Caractéristiques et spécifications des granulats:

Le comportement mécanique et la rhéologie des bétons bitumineux dépendent étroitement des caractéristiques physiques et mécaniques des granulats qui les constituent. On distingue deux types de caractéristiques : [13]

a. Caractéristiques intrinsèques :

Elles sont liées à la nature minéralogique de la roche ou des matériaux bruts ayant servi à la fabrication des granulats. On citera l'exemple de la dureté.

b. Caractéristiques extrinsèques :

Elles sont liées au mode de fabrication des granulats (granularité, propreté, forme et angularité).

II.2.1.3 : Dureté :

Elle est caractérisée par deux principaux coefficients : [13]

- ❖ Coefficient Los Angeles (LA) :

Il caractérise la résistance aux chocs des granulats. L'essai consiste à faire subir à un échantillon de granulats une série de chocs avec des boulets en acier de nuance Z 30 C13, de 47 mm de diamètre et d'un poids de 420 à 445 g, et de déterminer la quantité de fines (éléments <1,6 mm) qui se sont produites au cours de l'essai. Le coefficient Los Angeles est calculé selon la formule suivante :

$$LA = (m/ M) \times 100 \text{ où.....(II.1)}$$

m = masse des fines produites au cours de l'essai

M = masse de l'échantillon avant essai

❖ **Coefficient micro- Deval humide (MDE)**

Il caractérise la résistance à l'usure des granulats. L'essai consiste à faire subir à un échantillon de granulat de masse M= 500 g, un total de 12 000 tours dans un cylindre en acier en présence d'une charge abrasive et de l'eau. La charge abrasive est constituée de 2 à 4 Kg de billes de diamètre 10 mm, en acier inox de nuance Z 30 C13. Après essai, on procède à la détermination de la masse des fines (éléments < 1,6 mm) qui se sont produites au cours de l'essai.

Le coefficient MDE est calculé par la formule suivante :

$$MDE = (m/M) \times 100 \text{ où} \dots\dots\dots (II.2)$$

m= masse des fines produites au cours de l'essai

M= masse initiale de l'échantillon (M= 500 g)

II.2.1.4 : Forme :

La forme d'un granulat est caractérisée par le coefficient d'aplatissement (CA) qui Représente le pourcentage d'éléments tels que G/E > 1,58 avec : [14]

G : grosseur du granulat

E: épaisseur du granulat

En pratique, l'essai consiste à fractionner un échantillon du matériau à tester avec une série de tamis et de passer le retenu de chaque tamis dans une grille à fentes parallèles.

On détermine ensuite la masse des passants par chaque grille.

Le coefficient d'aplatissement est alors calculé par la formule :

$$CA = \sum m_i / M \text{ où} \dots\dots\dots (II.3)$$

m_i = masse des passant à la grille i

M= masse de l'échantillon soumis à l'essai

II.2.1.5 : Propreté :

Elle est appréciée par les essais d'équivalent de sable : [14]

L'essai d'équivalent de sable :

Consiste à faire flocculer les particules fines contenues dans un échantillon de sable au moyen d'une solution lavante et de mesurer, après un temps de repos, la hauteur du sable sédimenté (h) et la hauteur totale sédimentée du sable et du flocculat (h').

L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$ES = (h / h') \times 100 \dots \dots \dots (II.4)$$

II.2.1.6 : Granularité

Il s'agit de définir la classe granulaire du granulat en procédant à l'essai d'analyse granulométrique par tamisage.

L'essai consiste à fractionner le matériau à tester au moyen d'une série de tamis et de déterminer par suite les pourcentages cumulés des passants à chaque tamis. [14]

Un granulat est dit de classe granulaire d/D lorsqu'il satisfait aux conditions suivantes:

- ❖ Le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à x %
- ❖ Le tamisât au tamis d'ouverture d est inférieur à x %
- ❖ Le tamisât au tamis d'ouverture d/2 est inférieur à y %

Avec :

- ❖ $x = 10$ si $D/d \geq 2$ et $x = 15$ si $D/d < 2$
- ❖ $y = 3$ %

Pour les sables 0/D, la dénomination d'une telle classe est valable si le refus au tamis d'ouverture D est inférieur à 10 %.

II.2.1.7 : Angularité :

Elle définit le pourcentage d'éléments concassés contenus dans un matériau donné. Elle est caractérisée par l'indice de concassage ou le rapport de concassage. [14]

L'indice de concassage (IC) d'un matériau d/D est égal au pourcentage de passants au tamis d'ouverture D contenus dans le matériau brut utilisé pour sa fabrication.

Le rapport de concassage (RC) d'un matériau $d1/D1$, fabriqué à partir d'un matériau $d2/D2$ est égal au rapport $d2/D1$ un matériau est dit concassé pur lorsque son rapport de concassage est supérieur à 4. [14]

II.2.2 Liant hydrocarbonés

Après un bref aperçu des liants hydrocarbonés nous nous intéressons particulièrement au bitume, dont nous détaillerons les propriétés d'usage, les mesures de viscosité, les propriétés mécaniques et leur interprétation, ainsi que la description de de quelques modèles rhéologiques.

Un liant hydrocarboné est un liant organique constitué d'hydrocarbures, et donc essentiellement de carbone et d'hydrogène aux s'ajoutent en faibles quantités l'oxygène, le soufre et de l'azote. [15]

II.2.2.1. Les trois (3) types de liants

❖ Les liants naturels :

Trouvés en l'état dans la nature et le plus souvent associés à des matières minérales.

Il s'agit de roche asphaltique qui après broyage donnent la poudre d'asphaltite et des bitume naturels. [15]

❖ Bitume:

Composé de carbone et d'hydrogène, d'où le nom d'hydrocarbure. Il peut être d'origine naturel ou provenir de la distillation du pétrole. [8]

❖ Goudron:

Produit provenant de la distillation de diverses substances: charbon, bois, tourbe. Il est moins soluble que le bitume. [8]

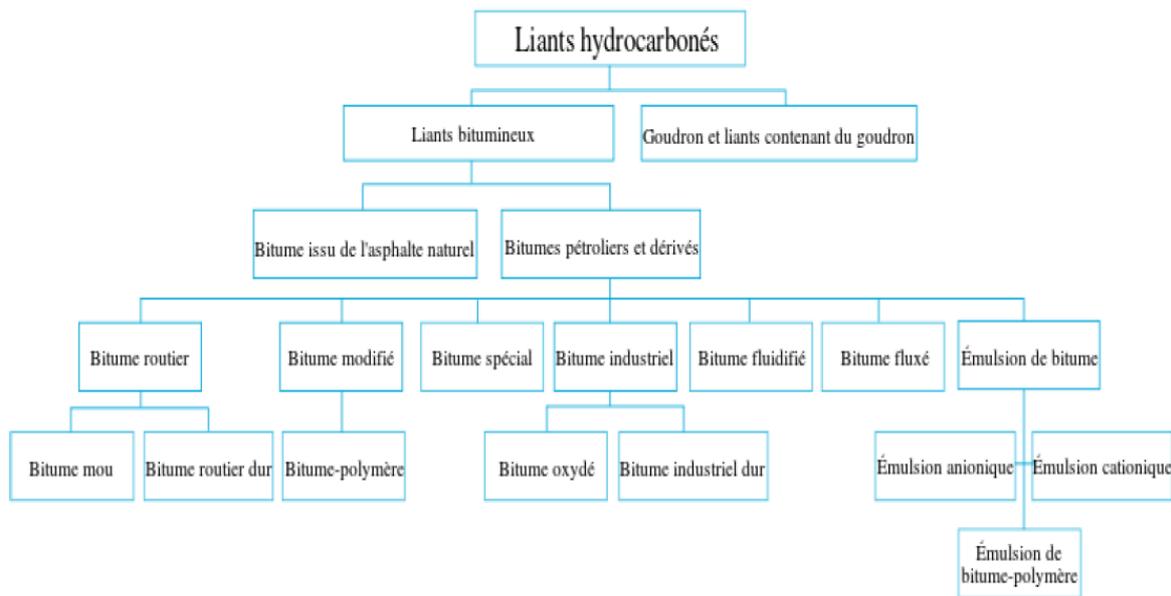


Figure. II. 4 : Types de Liants hydrocarbonés [8]

II.2.2.3. Propriétés générales des liants hydrocarbonés :

Ces produits sont, en général, trop visqueux dans leur état naturel, pour pouvoir être employés directement. Il faut diminuer cette viscosité ou les liquéfier par différents procédés (chauffage, dissolution dans des solvants volatils, émulsions dans l'eau), pour pouvoir les utiliser à la place qui leur est destinée. Il est indispensable que ces traitements n'altèrent pas leurs caractéristiques [16] essentielles indiquées ci-dessous:

- ❖ **Cohésivité :** C'est la propriété de se déformer sans arrachement ni fissuration interne en donnant des films étanches et plastiques ; [18]
- ❖ **Adhésivité:** C'est la propriété du liant de se coller aux granulats minéraux ; [18]
- ❖ **Viscosité:** elle est définie comme la résistance opposée au sein d'une masse liquide à une déformation telle que la vitesse de déplacement de différents points soit variable:

On a :

$$\eta = \frac{R}{S} \times \frac{1}{\frac{\delta v}{\delta z}} \dots \dots \dots (II.5)$$

η: Viscosité;

R: résistance totale;

S: section de cisaillement;

$\delta V/\delta Z$: gradient de vitesse

La viscosité diminue considérablement avec la température.

- ❖ **Susceptibilité:** la susceptibilité est définie, en particulier, comme la variation de la viscosité avec la température:[18]

$$S = \frac{d\eta}{dt} \dots\dots\dots(II.6)$$

- ❖ **Vieillessement:** c'est pour le liant, la perte de certaines qualités dans le temps et notamment la perte de cohésivité ;

D'une manière générale, le liant laisse échapper très lentement des huiles et devient de plus en plus dur. L'allongement plastique qui précède la rupture diminue progressivement. [18]

- ❖ **Ductilité:** c'est la caractéristique du liant qui lui permet de s'allonger en un fil très mince, mais sans se rompre. Cette qualité est évidemment une conséquence de la cohésivité. [18]

De ces caractéristiques qui dépend de l'emploi du liant ainsi que la méthodologie pour sa mise en œuvre. [18]

II.2.2.4. Bitumes :

Le bitume est un produit qui adhère à la majorité des matériaux usuels : pierre, béton, bois, ciment, métal, verre, etc. C'est un excellent isolant thermique, diélectrique et phonique et c'est un liant car ses propriétés particulières telles que étanchéité, cohésivité, élasticité, durabilité lui confèrent de l'utiliser dans des applications très variées outre la construction et l'entretien du réseau routier. [17]



Figure. II. 5 : Morceaux de bitume provenant d'un gisement naturel en bordure de la mer morte

II.2. 2.4.1. Les différents types de bitume :

Le bitume utilisé dans les enrobés attribue des propriétés viscoélastiques aux revêtements de chaussées. Un bitume ayant les caractéristiques appropriées assure des performances élevées sur le plan de la résistance à l'orniérage, à la fissuration thermique, à la fissuration de fatigue et à l'arrachement; ces caractéristiques contribuent à la réalisation de revêtements sécuritaires, durables et économiques. [8]

Les types suivants de liants à base de bitume sont :

❖ Les bitumes purs :

Ils sont obtenus par raffinage de bruts pétroliers et ne comportent aucun ajout. D'après leur mode de fabrication, on peut obtenir des bitumes dont la consistance est variable. Les conditions climatiques et le type de projet déterminent le choix du type approprié. On distingue ainsi cinq principaux types de bitume allant du plus dur aux plus mous identifiés par les classes : 20/30 ; 35/50 ; 50/70 ; 70/100 et 180/220. [13]

❖ Les cut-backs :

Ce sont des bitumes fluidifiés obtenus par un mélange de bitume pur soit avec des fractions légères de distillation du pétrole telles que le kérosène, soit avec des huiles légères provenant de la distillation de la houille afin de réduire leur viscosité. À leur exposition aux conditions atmosphériques, les solvants s'évaporent et laissent le bitume semi-dur remplir sa fonction. On utilise les cut-backs pour des enrobés pour couches de scellement et couches d'accrochage. [13]

❖ Bitumes modifiés :

Les liants modifiés sont des liants bitumineux dont les propriétés ont été modifiées par emploi d'un agent chimique qui, introduit dans le bitume de base, en modifie la structure chimique et/ou les propriétés physiques et mécaniques. Il s'agit d'un liant préfabriqué soit dans une usine soit par une unité mobile spécialisée. Le liant ainsi modifié peut être caractérisé séparément du mélange bitumineux. [18]

❖ Bitumes spéciaux :

On qualifie de bitumes spéciaux, les bitumes issus de procédés particuliers de raffinage et qui, par certaines de leurs caractéristiques, forment une classe relativement nouvelle de produits bitumineux pour lesquels il n'y a pas de spécifications communément admises.

❖ Les bitumes fluxés :

Ce sont des bitumes purs dont on a diminué la consistance par incorporation de produits provenant de la distillation du pétrole pour au moins cinquante pour cent des ajouts, et de la distillation de goudron de houille. [18]

❖ Les bitumes composés :

Mélanges comportant au moins cinquante pour cent de bitume pur. On utilise comme additifs du brai de houille ou du goudron de houille.

II .2.2.4.2. Origine et application des bitumes :

Les bitumes peuvent être d'origine naturelle (Iles des Bermudes et de la Trinité) et sont souvent mélangés de fillers fortement imprégnés (bitume de Trinidad : 44% de filler et 56% de bitume très pur) ou artificielle, produit de distillation de pétrole brut de nature. [18]

II .2.2.4.3. Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :

Le bitume confère à l'enrobé sa flexibilité et sa capacité à résister à certaines dégradations causées par plusieurs facteurs dont le trafic, les conditions climatiques du site, etc. A température de service élevée, le bitume doit demeurer suffisamment visqueux afin d'éviter le phénomène d'orniérage et autres. A l'opposé, à basse température, le bitume doit conserver une certaine élasticité pour éviter le phénomène de fissuration par retrait thermique et la fragilisation de l'enrobé. Aux températures intermédiaires, il doit être résistant à la fatigue sous l'effet du trafic répété. [19]

II.2.2.4.4. Essais de caractérisation des bitumes :

❖ Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF T66 – 004) :

❖ Définition :

La pénétrabilité est exprimée étant la profondeur, en dixième de millimètre, correspondant à la pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

❖ Principe d'essai :

Mesurer la pénétration d'une aiguille de référence dans l'échantillon d'essai conditionné (bitume). Les conditions opératoires qui s'appliquent aux pénétrations inférieures ou égales à (500 x 0,1mm), sont : Température 25 °C, Charge appliquée 100g, Durée d'application de la charge 5s. Pour les pénétrations supérieures à cette limite, la température d'essai doit être de 15 °C, alors que la charge appliquée et sa durée d'application restent inchangées.

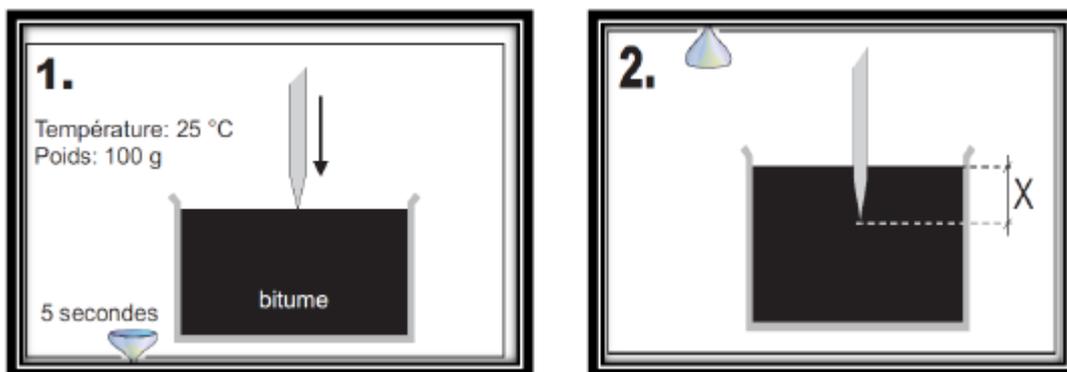


Figure. II. 6 : Principe de l'essai de pénétrabilité.

II .2.2.4.5 Essai de point de ramollissement bille et anneau (NF T66 – 008) :

Définition

Température de ramollissement c'est à laquelle le matériau dans les conditions de référence de l'essai atteint une certaine consistance. Donc cet essai concerne à déterminer la température du ramollissement des bitumes et des liants bitumineux, dans la plage des températures de 30 °C à 200 °C.

❖ Principe d'essai :

Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux de laiton à épaulement, sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé, alors que chacun soutient une bille d'acier. La température de ramollissement notée doit correspondre à la moyenne des températures auxquelles les deux disques se ramollissent suffisamment pour permettre à chaque bille, enveloppée de liant bitumineux, de descendre d'une hauteur de 25mm.

II.2.3. Dopes et Additifs

II.2.3.1. Additif pour enrobés bitumineux

Les liants bitumineux tels que produits dans les raffineries ne possèdent pas les performances requises pour être utilisés dans la construction des routes qui sont de plus en plus soumise à de fortes charges des camions, à un trafic intense et à des conditions climatiques très rigoureuses.

Pour augmenter les performances de ces liants, on fait donc appel à des techniques de modification. L'objectif de la modification est de produire un liant "idéal" qui devrait avoir une cohésivité et une adhésivité améliorées et une susceptibilité thermique très faible dans toute la plage des températures d'utilisation.

Les résistances à la déformation permanente, à la rupture et à la fatigue devraient être fortes, alors que la susceptibilité aux temps de charge devrait être faible. À cet effet, les chercheurs se sont fixés comme objectif de trouver des additifs plus performants, moins coûteux et facile à incorporer dans des matrices bitumineuses [25].

II.2.3.1.1. Additif pour BBME ou BBSG :

L'emploi d'additifs intégrer directement lors de la fabrication est autorisé pour les BBME ou BBSG.

L'additif recherché est composé d'une base polyoléfine contenant du bitume sous forme de granulées lenticulaires.

Sa composition spécifique permet de fabriquer des enrobés à haut module et à très forte résistance à l'orniérage à partir de l'emploi de grade classique de bitume (35/50 ou 50/70).

Cet additif peut être utilisé pour améliorer les caractéristiques des BBME et BBSG, notamment :

- ❖ Le module
- ❖ La résistance à l'orniérage
- ❖ L'augmentation de la durée de vie de l'enrobé

❖ L'amélioration de la résistance à la déformation permanente

Le choix du type d'additifs doit concourir à l'obtention des performances mécaniques requises par la norme du produit prescrit. [20]

On peut les introduire directement dans les cuves de bitume ou lors du malaxage en doses calculé d'après une formulation faite au niveau du laboratoire, quelques exemples d'additifs sont donnés ci-dessous

❖ **Selenizza SLN 120® :**

C'est un additif anti orniérant, livré sous différentes formes (blocs, granulés, poudre) Conditionné en sacs fusibles de poids variables facilitant l'utilisation dans les centrales d'enrobage discontinues dotées d'un malaxeur à pales.

Conditionné en « BIG BAGS » de 800 Kg à 1 tonne

Le matériau est traité préalablement par un produit anti-mottant afin d'éviter toute reprise en masse.

Très souple d'utilisation, il peut être introduit soit dans le liant chaud, soit au niveau de l'anneau de recyclage d'une centrale continue, soit dans le tapis enfourneur des centrales à double flux de matériaux.

Matières insolubles (fines siliceuses): 7 à 15 %

Pénétrabilité à 25 °C : 0

Point de ramollissement bille anneau : 120 °C

Perte de masse à 163 °C pendant 5 h : 0.08%. [21]

❖ **PR PLAST S :**

C'est un additif anti orniérant pour les bétons bitumineux BBME, et les couches de liaison.

Il a une granulométrie de 0/5 mm, s'emploie directement au malaxage des enrobés, dosé en Big Bag pour les postes continues, et en sacs thermo fusibles pré dosés de 7 à 12 kg pour les postes discontinues, ses caractéristiques sont représentés comme suit :

Granulométrie : 0/5 mm

Densité : 0,93 à 0,965 gr/cm³.

Point de fusion : 175 °C. [21]

❖ **Plastomères de polyoléfines :**

C'est un additif anti orniérant pour les bétons bitumineux, il se présente sous forme granulé et qui peut être introduit dans le mélange au moment du malaxage ses caractéristiques sont comme suit :

Densité (g/cm³) : 0,91 à 0,96

Point de fusion (°C) : 140 à 150

Granulométrie : 4 mm

Plastomères (%) : > 95. [21]

II.2.3.1.2. Domaine d'application des additifs :

Enrobés à module élevés.

Bétons Bitumineux à module élevés.

Routes à fort trafic.

Giratoires.

Zones canalisées et à fort trafic.

Zones portuaires.

Plates-formes industrielles.

Aéroports.

Barrières de péage, arrêts de bus, [21]

II.2.3.2. Les Dopes :

Les dopes sont des composés tensio-actifs permettant d'améliorer l'adhésivité du liant sur les granulats.

Ces produits doivent être définis par une fiche technique qui fixe leurs conditions de transport, de stockage et d'emploi (dosage et mode d'introduction).

Note : Certains dopes peuvent être altérés à température élevée.

II.3. Caractéristique en laboratoire :

II.3.1. Composition:

Les normes définissent les produits par des niveaux de performances à obtenir en laboratoire (exigences fondées sur des performances). La composition d'un produit (courbe granulométrique, teneur en liant) ne doit donc pas être imposée a priori, mais doit résulter de l'étude en laboratoire. Les normes ne donnent, à titre indicatif, pour certains produits, qu'une courbe granulométrique constituant un point de départ pour l'étude.

Cependant, la plupart de normes produites comporte une spécification de module de richesse minimal. Les courbes granulométriques théoriques des mélanges minéraux et la teneur en liant minimal répondront aux spécifications des normes enrobés. [22]

a. Composants minéraux :

Le squelette granulaire de l'enrobé est constitué des composants minéraux. Ils représentent environ 95% en poids de l'enrobé soit 85-87% en volume. Leur choix, tant en nature qu'en proportion, est important et affecte directement les caractéristiques mécaniques et autres performances visées du mélange bitumineux, en fonction du type d'enrobé (propriétés acoustiques, d'adhérence, de tenue à l'eau, fatigue, module ...). Ces composants minéraux peuvent être classés selon leur provenance pétrographique en trois familles qui conviennent en général pour les usages routiers :

- ❖ Les roches éruptives qui proviennent de la solidification de la matière en fusion (granite, basalte, ...);
- ❖ Les roches sédimentaires qui sont issues de la lente superposition des dépôts et dont la qualité est variable, parmi lesquelles les roches siliceuses (sables, grès, ...);
- ❖ Les roches métamorphiques qui résultent du changement de la nature des roches sédimentaires sous l'effet de la pression et de la température.

Les méthodes d'obtention des composants minéraux peuvent varier :

- ❖ Extraction à partir d'une roche mère compacte en carrière. Il s'agit alors de matériaux concassés.
- ❖ Creusage d'un gisement de type gravière, alluvion fluviale ou lacustre.

On parle dans ce cas de matériaux roulés ou semi-concassés.

Une fois extraits, les matériaux pierreux sont concassés et criblés afin de les fractionner en 20 coupures granulométriques. Ils sont ensuite lavés dans le but de les rendre propres et de maîtriser la teneur en éléments fins (filler).

Les granulats sont classifiés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments. Une classe granulaire (d/D) est répertoriée par la taille en millimètre du plus petit grain d et du plus gros grain D qui la compose. On peut distinguer les classes granulaires suivantes, exprimées en mm :

- ❖ Filler < 0,063
- ❖ Sables 0/2 ou 0/4
- ❖ Gravillons 2/4, 2/6, 4/6, 6/10, 10/14, 10/20, 14/20

L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux. La Figure 1 donne à titre d'exemple les fuseaux granulométriques maxi et mini de béton bitumineux semi-grenu (BBSG) 0/14 et 0/10, le BBSG 0/10. [23]

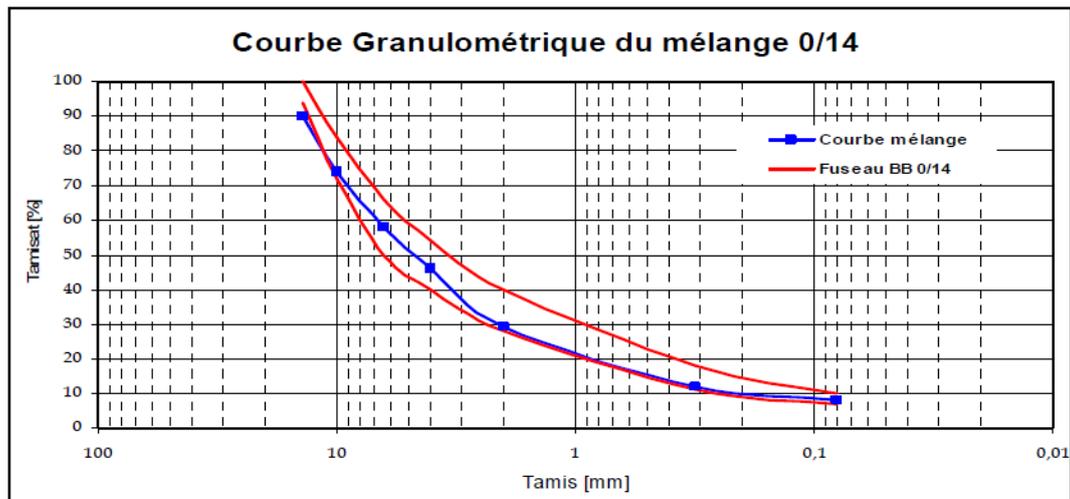
Tableau. II. 1: Les fuseaux granulométriques maxi et mini de béton bitumineux semi-grenu (BBSG) 0/14 et 0/10, le BBSG 0/10 [23]

Passant tamis en mm	Valeurs habituelles D = 14 mm			Valeurs habituelles D = 10 mm		
	Mini	Visée	Maxi	Mini	Visée	Maxi
10		78			97	
6.3	47	52	58	45	57	68
4		47			52	
2	25	31	35	27	34	39
0,063	6,3	6,8	7,2	6,3	6,7	7,2

b. Composition granulaire :

Nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux à module élevé de classe granulaire 0/14 ; Il s'agit d'un mélange composé des trois classes granulaires : 0/3, 3/8 et 8/15.

À partir des courbes granulométriques moyennes des différentes classes granulaires choisies pour la réalisation de l'étude de formulation, on compose un mélange minéral dont, la courbe granulométrique du mélange est donnée dans la figure(II.8), elle s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique au béton bitumineux semi grenu 0/14 selon les recommandations algériennes de février 2004.



Diamètre des grains (mm)

Figure. II. 7: Courbe granulométrique du mélange granulaire [33]

c. Détermination de la teneur en bitume :

La teneur en liant est définie par le rapport de la masse de liant à la masse des granulats secs, exprimée en pourcentage.

Elle est calculée à partir du module de richesse K, de la surface spécifique

Conventionnelle Σ et d'un coefficient α correcteur de la masse volumique des granulats pr exprimée en gramme par centimètre cube, à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Teneur en liant} = P = \alpha k^5 \sqrt{\Sigma} \dots \dots \dots (II.7)$$

Σ : surface spécifique conventionnelle.

$$\Sigma: 0.25G + 2.3S + 12s + 135f \text{ en m}^2/\text{kg} \dots \dots \dots (II.8)$$

G : proportion pondérale des éléments supérieurs à 6.3 mm

S : proportion pondérale des éléments compris entre 6.3 et 0.315

S : proportion pondérale des éléments compris entre 0.315 et 0.08

f : proportion pondérale des éléments inférieurs à 0.08 mm

K : module de richesse qui caractérise l'épaisseur moyenne du film autour des granulats.

α : coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats.

α = masse volumique des granulats (2,65). [20]

$$\alpha = 2,65 / MVRg$$

II.3.2. performances :

Il s'agira, à ce stade, de vérifier l'efficacité du traitement en comparant les performances obtenues à celles des normes prescrites ; la valeur de ces normes étant fixée par l'expérience et les conditions climatiques de chaque pays. Le problème essentiel consiste à déterminer la teneur optimale en liant convenablement et à juger de l'aptitude du sol à être stabilisé avec un liant hydrocarboné. Il n'existe pas de méthode normalisée et les meilleures méthodes généralement utilisées sont celle des essais mécaniques pour étudier leur comportement sous différentes sollicitations, il s'agit des essais Marshall, essai Duriez, essai à la Presse à Cisaillement Giratoire (PCG), module de rigidité ainsi que l'essai d'orniérage. [22]

II.3.2.1. Essai Marshall (NF P98-251-2)

L'essai Marshall est un essai destructif, effectué au laboratoire sur des éprouvettes cylindriques selon un mode opératoire bien précis. Il permet de comparer des formules diverses de mélange hydrocarboné et d'évaluer leurs performances à des niveaux de compactage différents. Il permet aussi dans une certaine mesure de prévoir si sous le trafic routier un mélange hydrocarboné sera stable ou aura tendance à fluer.

La compression est appliquée sur l'éprouvette après une demi-heure d'immersion dans l'eau à 60°C. Et à la vitesse de 0.86 mm/sec. Cet essai est applicable à tous les enrobés à chaud ne comportant pas de granulats de dimensions supérieurs à 20 mm

a. But et principe de mesure :

Son but est de déterminer, pour une température et une énergie de compactage donnée, la stabilité (S) qui la résistance maximale à la déformation d'une éprouvette moulée d'enrobé, le fluage (f) défini comme étant la déformation de l'éprouvette sous la charge maximale ainsi le quotient Marshall qui est le rapport S/F, d'un mélange hydrocarboné à chaud.



Figure. II. 8 : Machine d'essai Marshall

b. Domaine d'application :

L'essai s'applique aux mélanges hydrocarbonés à chaud fabriqués en laboratoire ou prélevés sur chantier (grave bitume, béton bitumineux, et autres mélanges hydrocarbonés à chaud).

La température de compactage correspond à celle nécessaire au malaxage pour assurer une viscosité de $170 \text{ mm}^2/\text{s}$ et permettre en chantier le maximum de compactibilité. Les éprouvettes ainsi préparées servent à déterminer d'abord la densité brute de l'enrobé, puis sa stabilité, c'est-à-dire sa résistance à la déformation, et enfin cette déformation même.

II.3.2.2. Essai Duriez (NF P98-251-1) :**a. But de l'essai :**

L'essai Duriez (essai de compression simple) type LCPC (NF P 98-251-1) est réalisé sur une éprouvette cylindrique d'enrobé bitumineux de poids et de section bien déterminés, ayant pour but de déterminer, à 18 C° pour un compactage donné, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à chaud à partir du rapport des résistances à la compression avec et sans immersion des éprouvettes

b. Domaine d'application :

L'essai Duriez est appliqué essentiellement aux matériaux denses ou demi-denses enrobés avec du bitume, dont les agrégats passent en totalité au tamis de 20 mm (maille carrée).



Figure. II. 9: Machine d'essai Duriez

II.3.2.3. La Presse à cisaillement giratoire (NF P 98-252) :

La presse à cisaillement giratoire permet d'étudier l'aptitude au compactage des enrobés hydrocarbonés par l'estimation du pourcentage de vides en fonction de l'épaisseur de la couche d'enrobé. Le mélange hydrocarboné préparé en laboratoire, est placé dans un moule cylindrique de 150 mm ou 160 mm de diamètre. On applique sur le sommet de l'éprouvette une pression, verticale de 0,6 MPa. En même temps, l'éprouvette est inclinée d'un angle faible de l'ordre de 1° (externe) ou $0,82^\circ$ (interne) et soumise à un mouvement circulaire. Ces différentes actions exercent un compactage. On observe l'augmentation de compacité (diminution du pourcentage de vides) en fonction du nombre de tours. L'essai à la PCG permet de mesurer l'évolution du pourcentage de vides dans le mélange en fonction du type d'enrobés, de la nature des granulats et de l'épaisseur de mise en œuvre.



Figure. II. 10: Machine de l'essai Presse à cisaillement giratoire (PCG)

II.3.2.4. Essai d'orniérage :

L'essai a été conçu pour pouvoir tester en laboratoire le comportement de matériaux bitumineux soumis à la circulation, essentiellement leur résistance vis-à-vis des déformations du type orniérage-fluage. Le passage répété d'une roue équipée d'un pneumatique soumettant une éprouvette parallélépipédique de matériau hydrocarboné à une charge verticale provoque une diminution relative de l'épaisseur appelée « ornière ». L'éprouvette est placée dans un moule et est testée dans des conditions isothermes ; la surface de l'éprouvette affleurant la partie supérieure du moule. La charge verticale est maintenue quasi-constante par un

dispositif approprié. Le pneumatique est animé suivant le grand axe de l'éprouvette d'un mouvement sinusoïdal de fréquence et d'amplitude spécifiques.

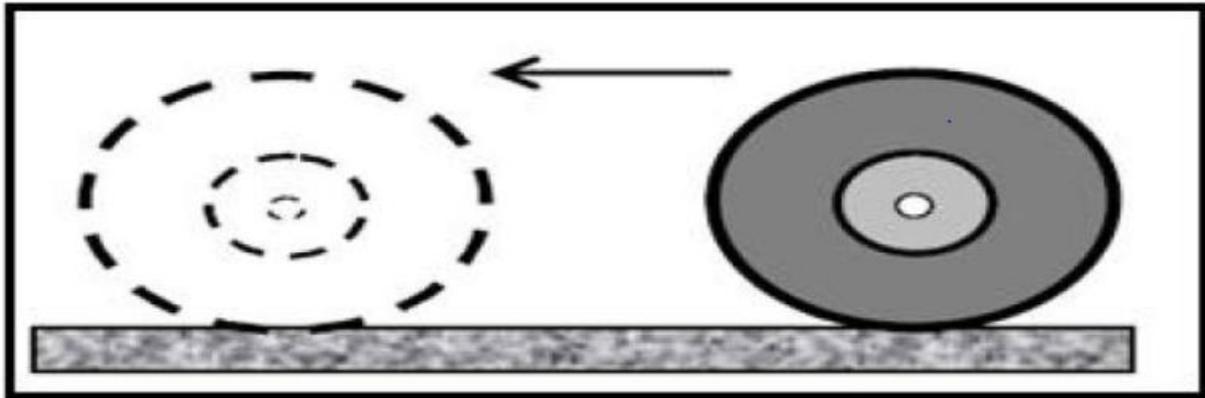


Figure. II. 11: Principe de l'essai d'orniérage[10]

II.4 .Fabrication et mise en œuvre :

II.4.1 Fabrication des enrobés :

La fabrication industrielle des enrobés bitumineux s'opère dans des centrales d'enrobage par mélange des granulats et du liant bitumineux à des températures de l'ordre de 160°C à 180°C. À ces températures le liant bitumineux se présente sous la forme d'un fluide visqueux. Cet état permet sa bonne répartition et donc un bon enrobage des granulats pendant le malaxage.

Les centrales d'enrobage se distinguent par leur mobilité et leur mode de fabrication de l'enrobé bitumineux. Celui-ci peut être produit de manière continue (centrales d'enrobage continues) ou séquencée (centrales d'enrobage discontinues). Les centrales d'enrobage discontinues sont généralement situées à la périphérie urbaine où leur souplesse de production est adaptée à la diversité de la demande. Les centrales dites « fixes » sont destinées à l'approvisionnement en enrobé bitumineux d'une zone géographique proche et délimitée. Les centrales dites « mobiles » sont déplacées au plus près du chantier (Figure II.14) pour limiter le transport routier des enrobés bitumineux. Les centrales de configuration discontinues et mobiles sont peu fréquentes.

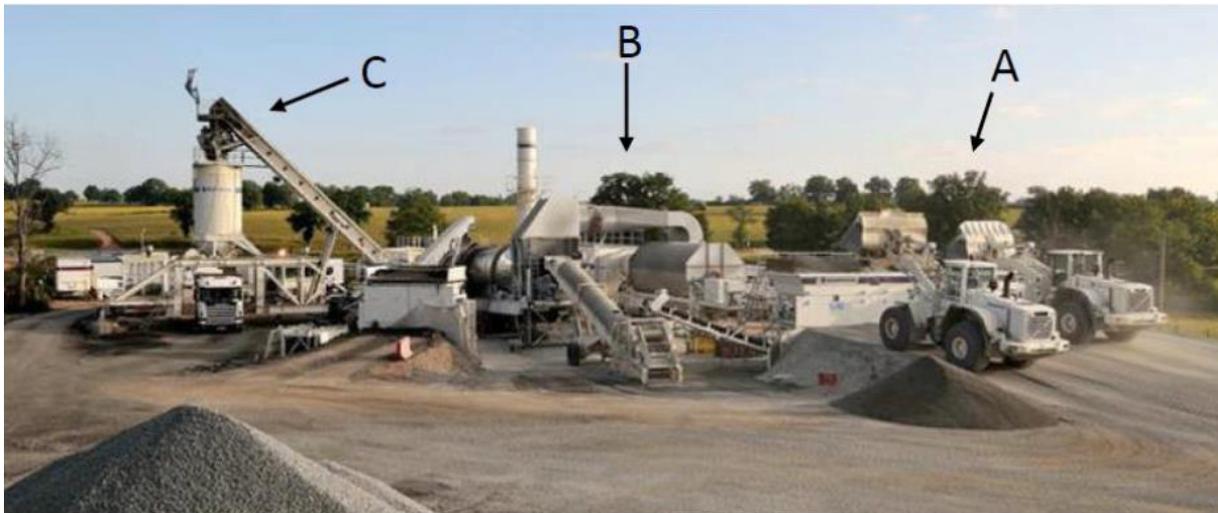


Figure.II. 12: Centrale mobile continue en situation de production Chargement des matériaux granulaires (A), unité de malaxage (B), silo de stockage permettant une livraison par camion (C). [18]

II.4.2. Mise en œuvre :

Après la fabrication des enrobés en centrale d'enrobage, ceux-ci sont transportés sur le chantier par camion, bâché ou pas, puis mis en œuvre en trois étapes : l'application, la finition et le compactage.

II.4.2.1. Mise en œuvre –répandage :

L'étape d'application, ou répandage des enrobés, peut se faire de deux manières différentes selon les configurations du chantier : on parle de mise en œuvre mécanisée, le plus souvent à l'aide d'un finisseur (très rarement avec une niveleuse), ou bien de mise en œuvre manuelle (déversement à la brouette et étalement manuel).

Lors de la mise en œuvre mécanisée, qui n'est possible que si les chantiers sont accessibles par l'ensemble finisseur/camion, ces deux appareils avancent ensemble. Au fur et à mesure de l'avancement, le camion vide sa benne dans la trémie du finisseur qui étale l'enrobé à l'aide d'une vis de répartition et le pré-compacte à l'aide d'une table flottante ajustée à la largeur de la voie. [23]



Figure. II. 13 : Mise en œuvre mécanisée à l'aide d'un finisseur. [23]

II.4.2.2. Mise en œuvre –compactage

La dernière étape de mise en œuvre est celle du compactage ; elle intervient peu après le répandage et les finitions, pour compacter la couche d'enrobé mise en place à la compacité définie au préalable et en assurer une bonne épaisseur. Cette étape est primordiale pour garantir en partie les performances de l'enrobé dans le temps, tout en conservant des caractéristiques superficielles (uni, macro texture, perméabilité) compatibles avec la sécurité et le confort de l'utilisateur.

Le compactage est réalisé par un atelier formé de divers engins de compactage agissant dans un ordre déterminé et respectant un plan de balayage de la surface à compacter, de manière à assurer en tout point de la couche un nombre de passages du compacteur aussi constant que possible.[23]



Figure. II. 14: Compactage [23]

C'est au niveau des deux premières étapes de cette mise en œuvre qu'interviennent les propriétés de maniabilité des enrobés bitumineux. Les enrobés bitumineux à chaud ont toujours été fabriqués à des températures suffisamment élevées, permettant de garantir une maniabilité satisfaisante pour être mis en œuvre correctement, sans trop de difficulté pour les compagnons, et donc ils ne nécessitent pas de caractérisation de cette maniabilité. Les abaissements de température liés au développement des enrobés tièdes ont naturellement incité les chercheurs et les industriels à s'y intéresser, surtout si l'on veut conserver les mêmes méthodes d'application et limiter d'éventuels défauts de mise en œuvre et d'éventuelles Pathologies pour les ouvriers. [23]

II.5. Caractéristiques sur chantier – Contrôles :

Dans le cadre du suivi des travaux, le maître d'œuvre exerce un contrôle permanent afin de garantir que l'ouvrage réalisé est conforme aux exigences du maître d'ouvrage. Ce contrôle s'applique à chaque phase du chantier et notamment pour vérifier si les caractéristiques prescrites dans le cahier des clauses techniques particulières sont bien respectées. Ce contrôle porte notamment sur les points précisés ci-après.

Pour les travaux routiers et aéronautiques, les caractéristiques à contrôler peuvent être :

II.5.1. Contrôle de la fabrication :

Le contrôle de la fabrication consiste à vérifier que les caractéristiques du mélange fabriqué sont conformes à celles définies à l'issue de l'étude de formulation et compatibles avec la mise en œuvre des matériaux.

Les caractéristiques à contrôler sont :

- ❖ Les proportions des différents composants (granulats, fines, liant, dopes),
- ❖ Les caractéristiques des différents composants après fabrication et particulièrement celles du bitume,
- ❖ l'homogénéité du mélange fabriqué,
- ❖ la température des enrobés fabriqués à chaud.

Ce contrôle comprend les étapes suivantes qui doivent être articulées de manière cohérente :

- ❖ vérification du matériel,
- ❖ exécution et vérification des réglages du matériel,
- ❖ contrôle du respect des consignes adoptées pour le processus de fabrication,
- ❖ contrôle de conformité du produit fabriqué. [24]

II.5.2. Contrôle de la mise en œuvre :

Pour les travaux routiers les caractéristiques à contrôler peuvent être :

- ❖ Le nivellement (contrôle du profil en travers et en long),
- ❖ l'épaisseur,
- ❖ le pourcentage de vides,
- ❖ l'uni, les flaches, l'adhérence.

Ce contrôle comprend les étapes suivantes :

- ❖ travaux préparatoires et vérification du support,
- ❖ vérification des matériels,
- ❖ exécution et vérification des réglages des matériels,
- ❖ contrôle du respect des consignes adoptées et du bon fonctionnement des matériels,
- ❖ contrôle de conformité de l'ouvrage réalisé. [24]

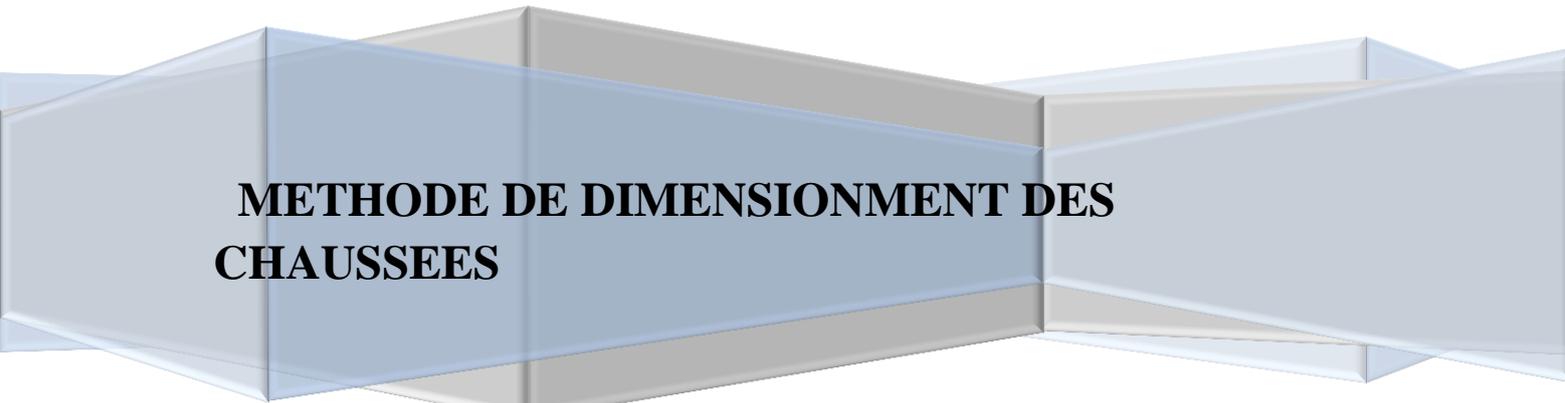
Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une Caractérisations et mise en œuvre sur les enrobés bitumineux.

A lumière de cette caractérisation nous avons constaté qu'un enrobé est un mélange de graviers, de sable, de fines, de liant, des dopes et de l'additifs.

La liaison entre ces différents composants est très complexe et pour formuler un enrobé convenable plusieurs critères sont à prendre en considération afin de conférer aux chaussées une bonne résistance à l'usure due au trafic et aux conditions climatiques surtout dans les régions à forte température. Les caractéristiques de laboratoire du mélange étudié constituent des indicateurs des futures propriétés d'usage.

CHAPITRE III



METHODE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

III.1. Introduction :

Comme pour les autres ouvrages de génie civil, la structure de la route doit être définie à la suite d'un dimensionnement. En effet le dimensionnement est un élément important pour l'étude d'un projet routier. Plusieurs méthodes tant empiriques que théoriques ont été développées pour le dimensionnement des chaussées.

Dans ce chapitre, Nous avancée serons une description de quelques méthodes de dimensionnement.

III.2. Les Méthodes empiriques:

Ce sont des méthodes basées, pour la plupart, sur des essais accélérés et des observations effectuées sur routes expérimentales. Ces approches empiriques ont apporté de nombreux renseignements sur l'action des charges de trafic et des sollicitations thermiques, sur les propriétés des matériaux constitutifs de la chaussée ainsi que sur le comportement à long terme des structures routières. [26]

- ❖ La méthode de C.B.R (California -Bearing - Ratio)
- ❖ Méthode TRRL (Transportation Road Research Laboratory)
- ❖ Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials)
- ❖ Méthode de l'Asphalte Institute

III.2.1 La méthode de C.B.R (California-Bearing -Ratio) :

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 donnée par la formule de Peltier (1953, 1956) :

$$e = \frac{100+150\sqrt{p}}{ICBR+5} \dots\dots\dots (III.1)$$

Avec les résultats des recherches, cette formule a été améliorée en 1956 pour donner :

Pour un trafic en voiture particulière: **TMJA×365×1.5t ≥ 100000 t/ans.**

$$e = \frac{100 + (\sqrt{p} (75 + 50 \log_{10} \frac{N}{10}))}{ICBR + 5} \dots\dots\dots(III.2)$$

Où ona :

e (cm) : épaisseur équivalente

ICBR : l'indice CBR Californien de sol support (%).

P: charge par route P = 6.5 t (essieu 13 t)

Log: logarithme à base 10

N: Nombre moyen journalier des véhicules (*TJMA*) >1,5t à l'année horizon. [27]

$$N = T_H \cdot \%PL \dots\dots\dots(III.3)$$

TH: trafics prévus pour une durée de vie de 20 ans.

$$T_H = \frac{T_0}{2} (1 + \tau)^m \dots\dots\dots(III.4)$$

T₀ : trafics actuel (v/j).

III.2.2 .Méthode TRRL (Transportation Road Research Laboratory) :

La TRRL fait partie des méthodes pratiques de dimensionnement. Elle est issue de la méthode CBR, elle s'appuie sur celle du CBR. Elle est issue de l'observation des chaussées britanniques sur une durée de 15 ans. Ces abaques fixent l'épaisseur de la couche de revêtement et de la base en concassé en fonction du trafic et celle de la fondation et de la plate-forme support en fonction de CBR de la plate-forme. [27]

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.

III.2.3 Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials).

Cette méthode empirique qui 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. [27]

III.2.4.Méthode de l'Asphalte 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.

III.3 Les Méthodes analytiques (théoriques):

La méthode est appelée ainsi car elle fait partiellement appel à une approche analytique qui est complétée par des données empiriques. Elle est basée sur la mécanique des milieux continus et sur la résistance des matériaux. Elle s'appuie sur l'analyse des résultats des essais sur les matériaux réalisés au laboratoire ou sur un chantier expérimental (planche d'essai) auxquels sont associées les données contrôlées sur le terrain pour valider les structures sélectionnées.

Le processus se fait en deux étapes :

Calcul des contraintes et des déformations admissibles dans la chaussée en fonction du trafic attendu (modèle de fatigue et de déformation),

Calcul des épaisseurs requises pour rencontrer les critères de contraintes ou déformations admissibles

III.3.1 Le modèle de Boussinesq2 (1885):

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel, on peut considérer que la pression se répartit de la même manière que dans un sol. Ceci conduit à considérer la structure de chaussée comme un massif semi-infini et proposer une méthode une simple de dimensionnement .Avec l'hypothèse d'isotropie et d'élasticité linéaire, ce problème a été résolu par Boussinesq.

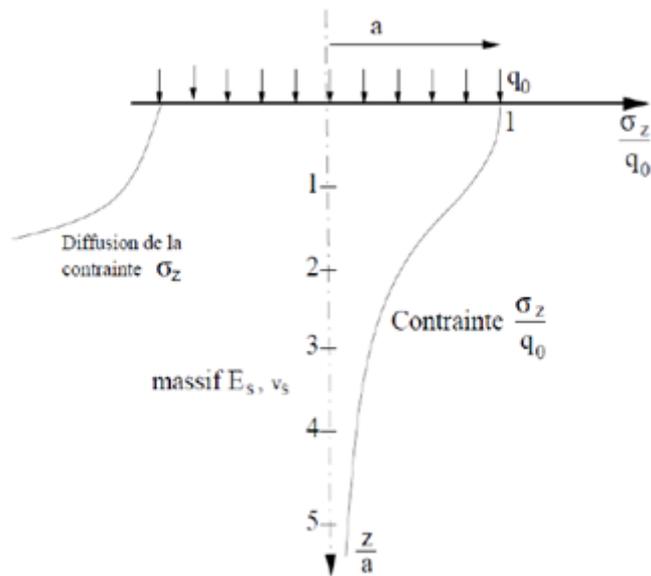


Figure .III. 1 : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq. [27]

Une charge d'intensité q_0 appliquée sur un cercle de rayon a , le déplacement, la contrainte verticale et radiale en un point sur l'axe de la charge situé à une profondeur z est déterminé par la formule ci-dessous :

Grâce aux résultats de Boussinesq, on peut trouver l'épaisseur H de la chaussée où la pression verticale ne dépasse pas la valeur admissible du sol. Ce modèle est simple et facile à utiliser

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{z^3}{(a^2+z^2)^{3/2}} \right] \dots \dots \dots (III.5)$$

q_0 : pression appliquée par le pneumatique.

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

III.3.2 Le modèle de Westergaard (1926):

Ce modèle donne les contraintes et déformations d'un système constitué d'une plaque reposant sur un sol assimilable à un ensemble de ressorts dont le déplacement vertical en un point donné est proportionnel à la pression verticale en ce point.

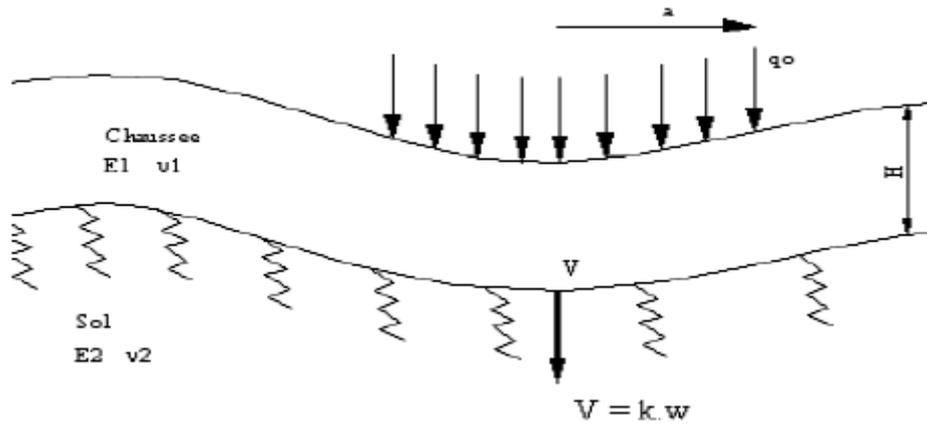


Figure. III 2: diffusion des contraintes selon Westergaard [28]

$\sigma_t = \frac{p}{H^2} C \left(\frac{l}{a}\right)$ avec $I = \sqrt[4]{D/K}$; avec $P = \pi x q_0 x a$: Charge par roue et

D le facteur de rigidité $D = \frac{1+V}{2\pi} F \left(\frac{E1}{E2} H^3/a^3\right)$ (III.6)

$V = K.W$ et K : Module de réaction du sol support. [28]

III .3.3 Le Modèle Multicouches de Busmister en 1943.

Après une première étude sur les bicouches qui lui a permis d’apprécier le rôle de l’épaisseur et l’influence du rapport entre module et rayon de chargement, Busmister a développé le cas du modèle à plusieurs couches. Les couches sont considérées comme des solides élastiques. Les Interfaces des couches peuvent être soit collées soit glissantes. Le cas des charges multiples peut être appliqué en additionnant les effets de charge élémentaires. Afin d’analyser les réponses à la méthode (déplacements et Contraintes), Busmister s’est servi de la théorie de l’élasticité et l’hypothèse de la symétrie de révolution de chargement. La figure cis-bas référencée figure III 3, illustre le principe du modèle de Busmister.

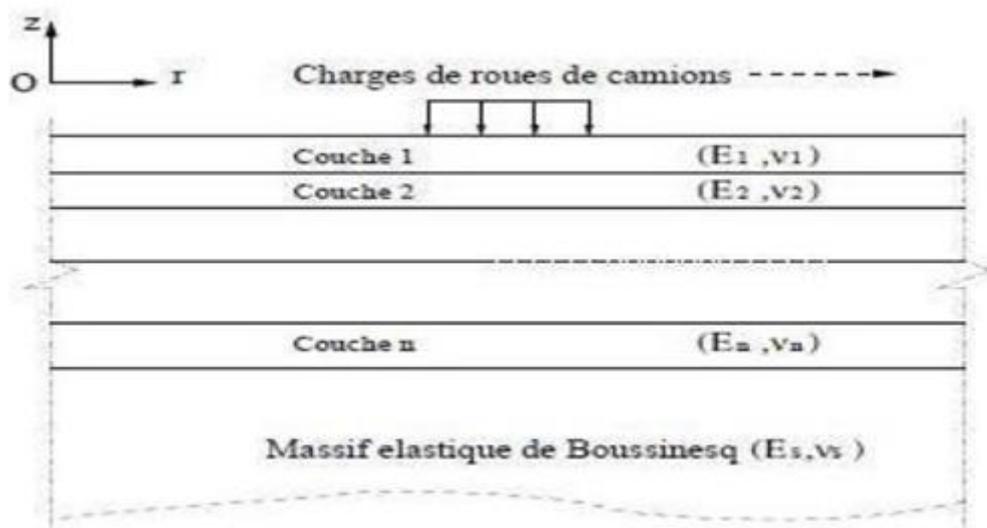


Figure. III. 3: Schéma du modèle de Busmister [25]

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

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

Ce modèle présente encore quelques inconvénients :

- ❖ avec l'hypothèse d'asymétrie de couche infinie dans le plan, ce modèle ne peut pas aborder la présence de discontinuités comme celles rencontrées dans les chaussées en béton ou les chaussées fissurées.
- ❖ la charge est considérée circulaire et bien que l'on puisse reconstituer une charge de forme différente par superposition des calculs ce n'est pas tout à fait satisfaisant pour modéliser dans certains cas une charge de poids lourd. [30]

III.3.4 Modèle aux éléments finis :

La méthode des éléments finis n'a pu se développer qu'à partir du moment où l'emploi des calculateurs numériques a été généralisé. Dès 1963, DUCAN (1968) a analysé par éléments finis le problème axisymétrique tel que représenté par le modèle multicouche de Burmister.

Il a étudié par la suite le cas des matériaux ne présentant pas un comportement élastique. Aussi cette approche a été améliorée au cours du temps et d'autres variantes ont été développées permettant d'envisager l'utilisation de modèles de plus en plus réaliste

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:

$$\mathbf{R.U}=\mathbf{C}.....(\text{III.7})$$

- ❖ **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.
[30]

III .4 Méthodes semi- empiriques:

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

- ❖ **Méthode CTTTP**
- ❖ **Méthode CEBTP**
- ❖ **Méthode SATCCI**
- ❖ **Méthode SETRA-LCPC**

III.4.1 La méthode du catalogue des chaussées neuves «CTTP » :

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

- ❖ Approche théorique.
- ❖ Approche empirique

L'utilisation de catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussées :

Trafic, matériaux, sol support et environnement. [25]

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

Trafic : C'est le trafic poids lourds (véhicules de charge supérieure à 3.5 tonnes).

a. Le réseau principal noté RP: il se compose de route reliant:

- ❖ Les chefs-lieux de wilaya tes.
- ❖ Les ports, les aérodromes et les postes frontaliers.
- ❖ Les principales agglomérations et important zone industrielles.

Ce réseau principal se décompose en deux niveaux.

RP1 ($T > 1500V/J$) → RN, Autoroute, CW.

RP2 ($T < 1500V/J$) → R, CW,...

b. Le réseau secondaire R S :

Répartition transversale du trafic :

On adoptera les valeurs suivantes :

- ❖ Chaussée unidirectionnelles à 2 voies : 90 % du trafic PL sur la voie lente de droite.
- ❖ Chaussée unidirectionnelles à 3 voies : 80 % du trafic PL sur la voie lente de droite.
- ❖ Chaussée bidirectionnelles à 2 voies : 50% du trafic PL.
- ❖ Chaussée bidirectionnelles à 3 voies : 50% du trafic PL.

III.4.2 Méthode du 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 cinq classes de portance de la plateforme. [29]

Tableau. III. 1: Classes de trafic définies par le CEBTP

Nombre équivalent de PL	Classe de trafic	Nombre équivalent de véh. /jr
< 5.105	T1	< 300
de 5.105 à 1,5 106	T2	de 300 à 1000
de 5.105 à 1,5 106	T3	de 1000 à 3000
de 4.106 à 107	T4	de 3000 à 6000
de 107 à 2.107	T5	de 6000 à 12000

Tableau. III.2: Classes de portance de la plateforme (CEBTP)

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

III.4.3.Méthode SATCCI (Southern Africa Transport and Communications Commission)

Ce guide pratique qui a été développé en Afrique du Sud récemment, est un catalogue qui est basé fondamentalement sur l'expérience du TRRL britannique, mais qui contrairement à celui-ci différencie le dimensionnement selon les régions climatiques. Les valeurs des classes de portance et du trafic sont les mêmes que celles du guide TRRL. [29]

III 4.4.Méthode SETRA-LCPC

La Méthode 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 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. [29]

III.5 Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement:

Au vue de ce qui précède, on a constaté que chaque approche présente des avantages et inconvénients résumés dans le Tableau III.3

Tableau .III.3: Avantages et Inconvénients des méthodes de dimensionnement [30]

Méthode	Avantages	Inconvénient
Empirique	facilité de calcul	Les résultats des analyses ne peuvent pas être généralisés car ne s'appliquant qu'aux matériaux étudiés, aux conditions d'environnement de l'expérience et aux sols supports rencontrés
Théorique1	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Minimise les erreurs ❖ Prise en compte des compositions réelles du Trafic et des matériaux locaux. ❖ Adaptation aux différentes conditions environnementales et climatiques 	Base théorique donc aucune certitude pratique

Conclusion :

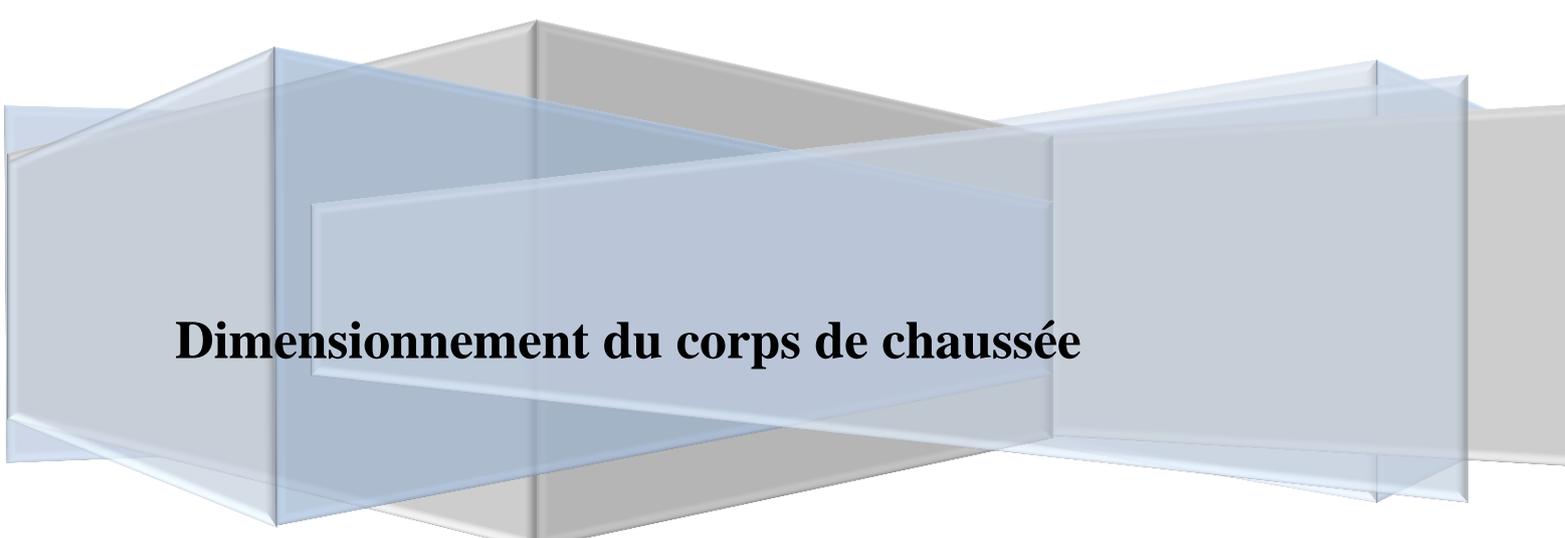
Dans ce chapitre nous avons donné une description de quelques méthodes de dimensionnement des chaussées et au cours de cette description on a constaté que toutes ces méthodes de dimensionnement se base dans leurs principes sur quatre facteurs à savoir :

- ❖ Les matériaux utilisés dans le corps de chaussée
- ❖ L'étude du trafic
- ❖ La portance du sol
- ❖ Les conditions climatiques

Pour le dimensionnement du corps de chaussée de notre projet, nous allons retenu celui de la méthode de SETRA – LCPC parce qu'elle tient compte de l'intensité du trafic, de climat, des matériaux et économiquement rentable

CHAPITRE IV:

Dimensionnement du corps de chaussée

A 3D perspective diagram of a road cross-section. It shows a central road surface with a slight dip in the middle. Below the surface is a base layer, and below that is the subgrade. The diagram is rendered in shades of blue and grey, with a semi-transparent effect that allows the underlying layers to be seen through the top surface. The text 'Dimensionnement du corps de chaussée' is overlaid on the diagram.

IV.1 Introduction :

Dimensionner une chaussée c'est optimiser le choix des matériaux et les épaisseurs des différentes couches constituant le corps de chaussée.

Pour le dimensionnement du corps de chaussée de notre projet, nous allons utiliser le catalogue des structures types de chaussées neuves comprenant des fiches de matériaux définissant les spécifications auxquelles devront répondre les matériaux routiers et des fiches de structures intégrant les multiples scénarios de structures techniquement réalisables et économiquement rentables.

IV.2 Présentation du projet :

L'ouvrage faisant l'objet de notre projet de fin d'étude est la liaison autoroutière entre le Port de Ghazaouet et l'autoroute Est-Ouest sur un alignement d'environ 50km subdivisée en deux tranches ; du PK 0+000 au PK 11+600 et du PK 11+600 au PK 50+068 pour rejoindre l'autoroute Est-Ouest.

A cet effet, la Société Algérienne d'étude d'infrastructures (SAETI) s'est chargée de l'étude d'avant-projet détaillé de la pénétrante reliant la ville portuaire de Ghazaouet à l'autoroute Est-Ouest. Par la suite le bureau d'étude chinois FHCC (First Highway Consultants Company) s'est chargé de réviser et d'optimiser la variante de l'étude APD faite par la SAETI de cette liaison autoroutière.

Ce projet sera d'un apport économique de très haute importance, sera aussi un plus pour les échanges maritimes.

Pour les opérateurs économiques, ce projet n'est plus une simple priorité mais une urgence.

[31]

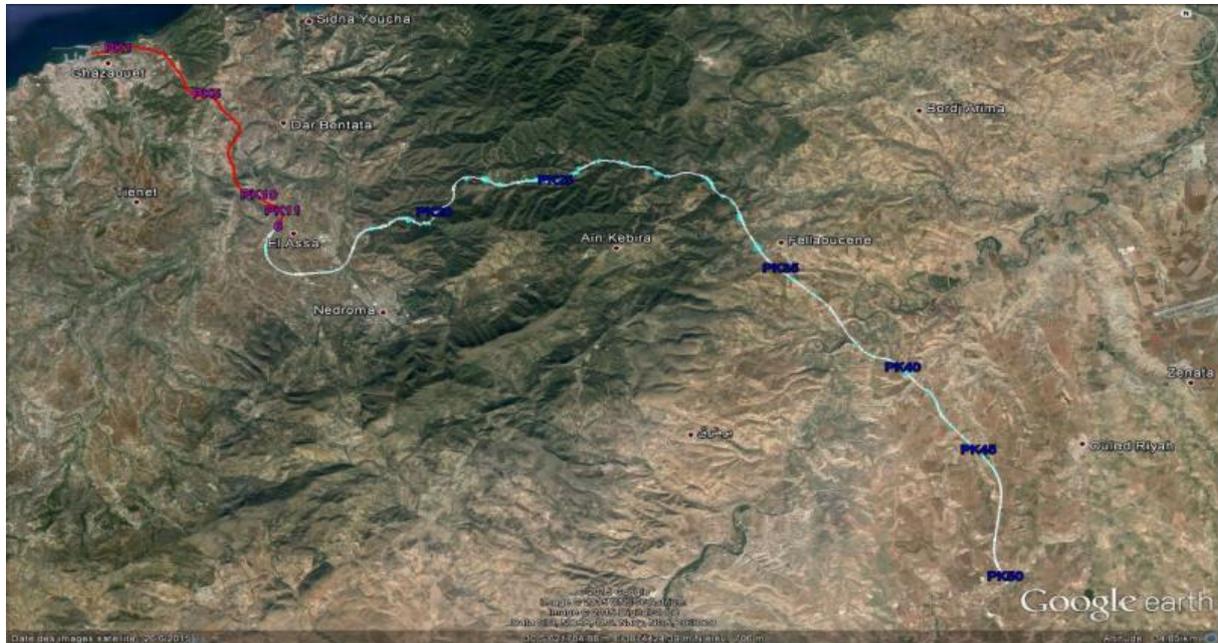


Figure. IV 1: Liaison autoroutière reliant le port de GHAZAOUET à l'autoroute EST-OUEST [31]

IV.3. objectifs du projet:

Lorsqu'il s'agit de concevoir une liaison autoroutière, la première question qui implique un choix est de savoir pourquoi on conçoit, la décision d'une réalisation devra toujours reposer sur une étude critique c'est-à-dire une réflexion préalablement approfondie concernant le projet d'étude. Celui faisant objet de notre étude est la liaison autoroutière de Ghazaouet à l'autoroute Est- Ouest sur un alignement de 50km, s'inscrit dans le cadre du programme de développement de l'infrastructure de base de la commune de Ghazaouet et dont les raisons de ce choix sont :

- ❖ Assuré une fluidité de la circulation et de sécuriser les usagers sur ce tronçon où le trafic est en croissance permanente.
- ❖ L'augmentation de la capacité de la route.
- ❖ Doter la chaussée d'une structure adéquate capable de supporter le trafic actuel et futur.
- ❖ Un apport économique de très haute importance
- ❖ Aussi un plus pour les échanges maritimes entre l'Algérie et les autres pays.

IV.4. Présentation de la wilaya de Tlemcen :

IV.4.1. Situation géographique

La wilaya de Tlemcen se situe au Nord-Ouest de l'Algérie dispose d'une façade maritime de 74 Km. C'est une wilaya frontalière avec le Maroc, avec une superficie de 9017,69 Km². Elle est l'une des plus importantes du pays par sa position géographique.

La wilaya de Tlemcen est délimitée comme suit :

- ❖ La côte méditerranéenne au nord ;
- ❖ Le Maroc à l'ouest ;
- ❖ La wilaya de Naama au sud ;
- ❖ Les wilayas de Sidi Bel-Abbes et Ain Temouchent à l'est.

IV.4.2. Aspect Administratif :

La wilaya de Tlemcen est composée de 20 Daïras réparties en 53 communes. Les daïras les plus importantes sont justement situées dans la zone d'influence du présent projet, à savoir : Ghazaouet, Hennaya, Fellaoucène et Nadroma. [32]

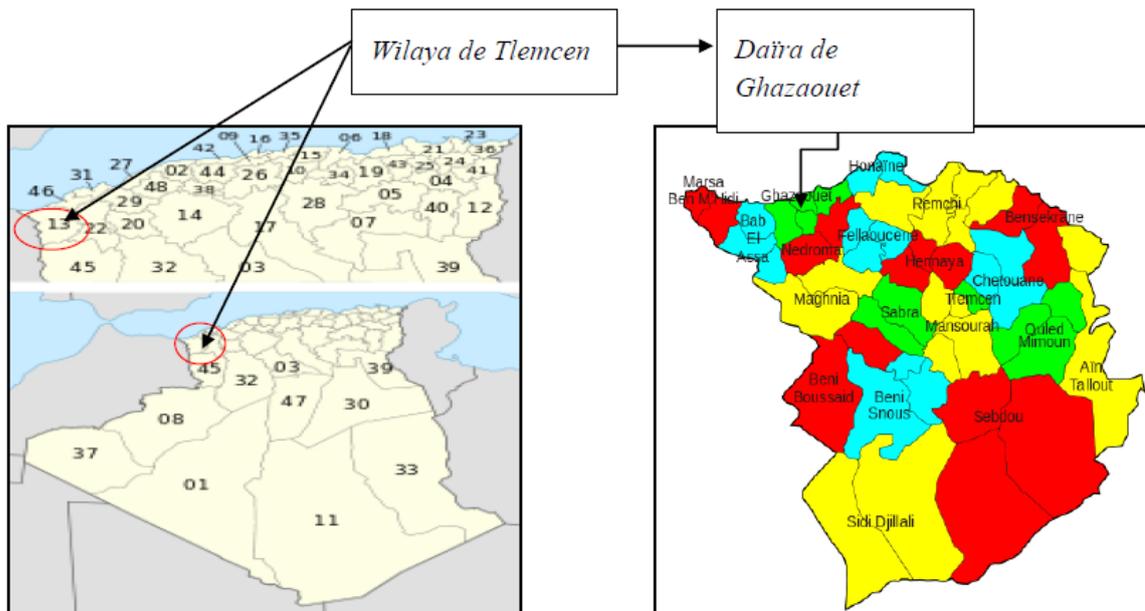


Figure. IV. 2: Carte de limites administratives (wilaya de Tlemcen) [DTP Tlemcen]

IV.4 .3 . Zone d'influence du projet

La zone d'Influence du projet (ZIP), regroupe le territoire géographique délimité par les infrastructures routières fonctionnelles, elle s'étend aux wilayas avoisinantes la wilaya de Tlemcen à proximité de la connexion avec l'autoroute Est-Ouest. Dans la zone d'influence du projet, la RN 98 est le principal axe routier Est-ouest qui relie Tlemcen à Ghazaouet. Entre Ghazaouet jusqu'à Hennaya, la RN 98 affiche une longueur de 59,2 Km.

Les traversées d'agglomérations sont nombreuses, de l'est à l'Ouest, les plus importantes (Ghazaouet, Hennaya, Nedroma, Fellaoucène). La RN 98 traverse notamment les localités suivantes :

- ❖ Sidi Amar.
- ❖ Dar Bentata.
- ❖ Boukio.
- ❖ Zenata.
- ❖ Hennaya

Ces traversées d'agglomérations influent sur les temps de parcours, la sécurité et les nuisances de circulation en ville.

La zone d'influence du projet est traversée verticalement par des routes nationales telles que :

RN 57 : relie Ghazaouet à Maghnia (AEO), en passant par Souahlia.

RN 35 : relie Remchi à l'Autoroute Est Ouest.

RN 99 : relie Ghazaouet à Maghnia, en passant par Nedroma.

IV.5. Les données naturelles de la région de Gazaouet

IV.5.1 Description des principaux terrains [31]

L'itinéraire de la présente liaison autoroutière travers essentiellement deux grandes unités morpho-pédologiques :

a. Unité de versants :

Cette unité caractérise la section de la trace du pk11+600 au pk32+600 avec une dominance d'un paysage montagneux à déclivité importante. Les sols sont hétérogènes généralement peu profonds, alternant les sols très dégradés (à sub-affleurement rocheux) aux sols peu profonds, humifères, stabilisés sans couvert forestier. Les sols rouges sont très faiblement localisés.

b. unité de collines :

Cette unité se rapproche de l'unité à relief montagneux mais à déclivité moins importante, avec des sols hétérogènes alternant les sols à encroutements calcaires caillouteux avec des sols rouges plus profonds, cette unité représente la section du tracé du pk32+600 jusqu'à la fin en raccrochant avec l'autoroute Est –Ouest.

D'une manière générale, la commune de Ghazaouet est profondément touchée par l'action de l'érosion hydrique qui est très intense, notamment: dans la zone des Anabras. Le relief de la commune se caractérise par de petites entités topographiques dont les plus répandues sont les systèmes de versants.

IV.5.2. contexte hydrogéologique

Le tracé de la présente liaison autoroutière traverse une région à unités géotechniques très diversifiées, formées par des terrains très variés de point de vue lithologique. Ces terrains se subdivisent en deux éléments structuraux principaux.

- ❖ Unité des versants : Les terrains sont dominés par les grés et schistes fissurés, à perméabilités très élevées par cette fissuration et une circulation hydrique moyennement importante selon des apports atmosphériques.
- ❖ Unité des collines : seules les alluvions localisées au niveau des Oueds peu ou pas perméables qui sont considérées comme des formations aquifères potentielles.

Le principal bassin hydrographique recoupé par le tracé autoroutier est le bassin de TEFNA, ce bassin endoréique qui est subdivisé en plusieurs sous-bassins. [31]

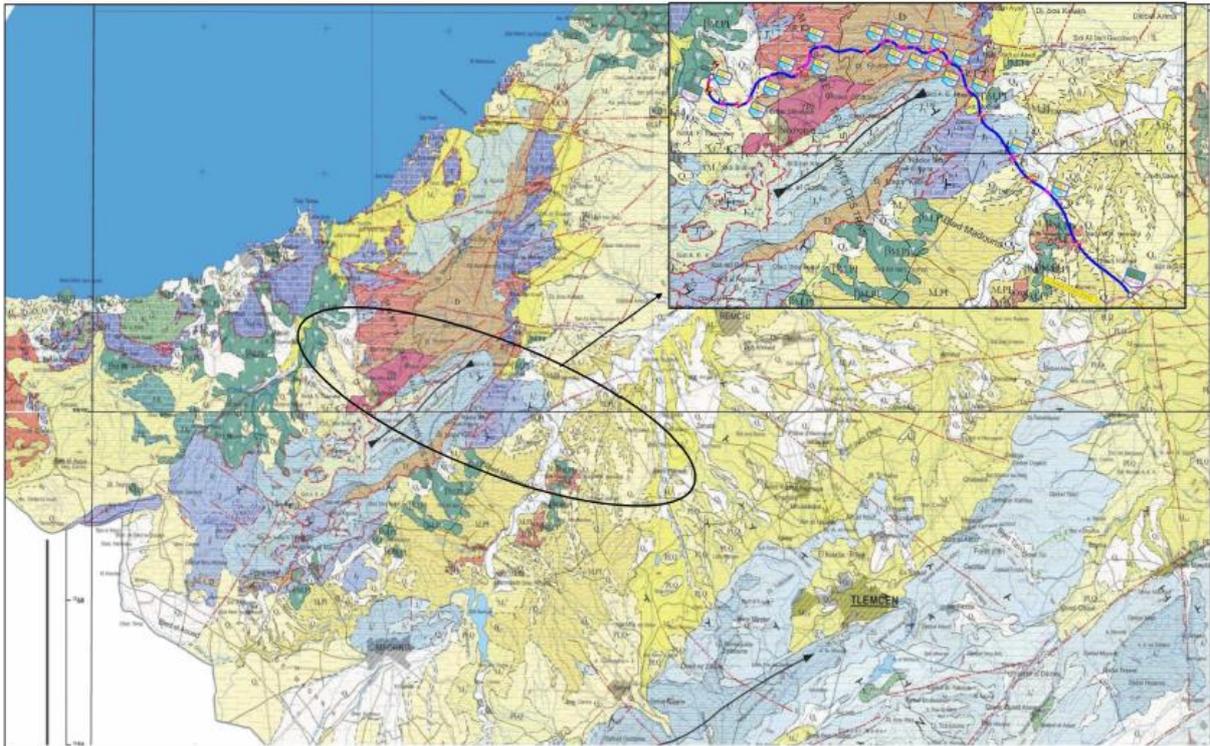


Figure. IV. 3: projection du tracé sur la carte géologique [31]

IV.5.3. Contraintes géotechniques :

Les contraintes géotechniques sont:

- ❖ Présence de relief montagneux.
- ❖ Problème d'inondation (passage de zones de reliefs aux zones de plaines).
- ❖ Présence de formations rocheuses (recours probable à l'explosif).
- ❖ Problème de stabilité (glissement en présence de terrains marneux).
- ❖ Présence de formations rocheuses fissurées.

IV.5.4. Contexte climatique

La zone du projet dispose, d'un climat méditerranéen, froid et humide en hiver, tempéré au printemps et chaud et sec en été. Elle se subdivise en deux parties.

- ❖ La plaine côtière de Ghazaouet jusqu'aux hauteurs de NEDROMA dispose d'un climat méditerranéen maritime ou les précipitations annuelles sont de l'ordre de 400 à 500mm par an.

- ❖ La deuxième partie correspondant à l'autre versant de la montagne ou le tracé traverse la vallée de l'oued TAFNA peut-être classé en climat méditerranéen à caractère semi-aride ou les précipitations annuelles sont l'ordre de 250 à 450 mm par an.

a. La température

Le dimensionnement d'un corps de chaussée s'effectue avec une température équivalente de la région, c'est à dire la variation de température de cette région sur plusieurs cycles d'années.

Les températures moyennes pour les villes de Ghazaouet et NEDROMA sont présentées aux tableaux suivant

Tableau. IV. 1 : Températures moyennes de Ghazaouet. [31]

Ghazaouet	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Jui	Ju	Aout	Se	oct	N	De
Température moy max (°C)	16.2	17	17.9	19.7	21.6	25.2	27.9	29	26.9	23.6	19.9	21.6
Température moy min (°C)	7.3	7.3	9	11.3	13.8	16.7	19.4	20	18.3	14.5	11.1	7.9

Tableau. IV. 2 : Températures moyennes de Nedorma [31]

Nedorma	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Jui	Ju	Aou	Se	oct	N	De
Température moy max (°C)	14.9	16.5	17.6	20.1	22.7	26.7	31	31.4	28.4	23.7	18.8	16.9
Température moy min (°C)	5.2	5.7	7.8	9	12.2	15.8	18.8	19.4	16.6	12.6	9.4	5.7

Tableau. IV. 3: Températures équivalentes des zones en Algérie [CTTP]

Température équivalente	Zone climatique		
	Zone I et II	Zone III	Zone IV
	20°C	25°C	30°C

D'après le " catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, la wilaya de Tlemcen est classée en Zone II notre projet et classée dans cette zone, donc la température équivalente considérer pour notre dimensionnement est 20°C.

IV.6. Etude de trafic :

L'étude de trafic est une étape primordiale dans toute réflexion relative à un projet routier.

Cette étude va permettre de déterminer les volumes actuels et prévisionnels de trafic dans la zone d'influence du projet, elle se base sur les résultats :

- ❖ Le trafic lourd de cette région et sa progression à travers le temps.
- ❖ Les données du trafic antérieur et d'autre part.
- ❖ Des comptages antérieurs disponibles, réalisés régulièrement dans la zone d'influence du projet.
- ❖ Les résultats d'une campagne de recensement de trafic sur les principaux axes routiers de la zone.

L'étude du trafic, a été menée par le bureau ICA, en 21/06/2015

Tableau. IV. 4 : Affectation du trafic en situation « Avec projet - Sur le projet» [32]

Unité : TJMA

Section	Longueur (km)	Horizons				
		2020 Trafic	2025 Trafic	2030 Trafic	2040 Trafic % PL	
Ghazaouet - Echangeur Nedroma	15,3	16 520	19 633	23 429	33 366	16%
Ech. Nedroma - AEO	35,3	16 370	19 453	23 212	33 048	17%
Intensité kilométrique	50,63	16 415	19 507	23 278	33 144	17%

En plus de trafic, issu de l'affectation de notre matrice, et donc, une redistribution des déplacements dans la ZIP en situation « avec projet », l'amélioration de l'offre de transport a pour conséquences de réduire les coûts de transport, ce qui engendre un trafic supplémentaire,

appelé « trafic induit ». Ce nouveau trafic est étroitement lié à l'accroissement du niveau des activités existantes et au développement de nouvelles activités économiques dans la ZIP.

Le trafic attendu sur le projet aux divers horizons est présenté dans le tableau suivant :

Tableau. IV. 5 : Trafic attendu sur le projet [32]

Unité : TJMA

Prévision trafic	2020	2025	2030	2040
Trafic dévié	16 415	19 507	23 278	33 144
Trafic induit	2053	2 439	2 911	4 144
Trafic total	18 468	21 947	26 188	37 289

Dès la mise en service de la pénétrante, cette dernière attirera un trafic de plus de 18 000 véh/jour, avec un taux de PL égal à 17 %, principalement en provenance (à destination) du port de Ghazaouet.

Un calcul de taux de déviation a été établi pour faire apparaître l'impact de la nouvelle pénétrante sur l'axe concurrent, notamment la RN 98. Ce taux calculé est de 66 %, soit les 2 tiers du trafic qui emprunte, en situation sans projet, la RN 98.

Tableau. IV 6 : Trafic sur RN 98 « sans et avec projet » [32]

RN 98	Horizon 2020
Intensité kilométrique Sans projet	12 800

IV.6.1. Analyse des échangeurs :

La pénétrante Ghazaouet – AEO prend son origine du port Ghazaouet un carrefour giratoire est prévu en début de projet, l'échangeur intermédiaire est prévu au PK 15+300 avec la RN 99 (Nedroma). Elle prend fin à l'autoroute Est Ouest avec la création d'un nouvel échangeur au PK 50+630 Km.

Les flux de trafic attendu au niveau de l'échangeur de Nedroma sont présentés dans la figure ci-après :

Flux de trafic à l'échangeur Nedroma

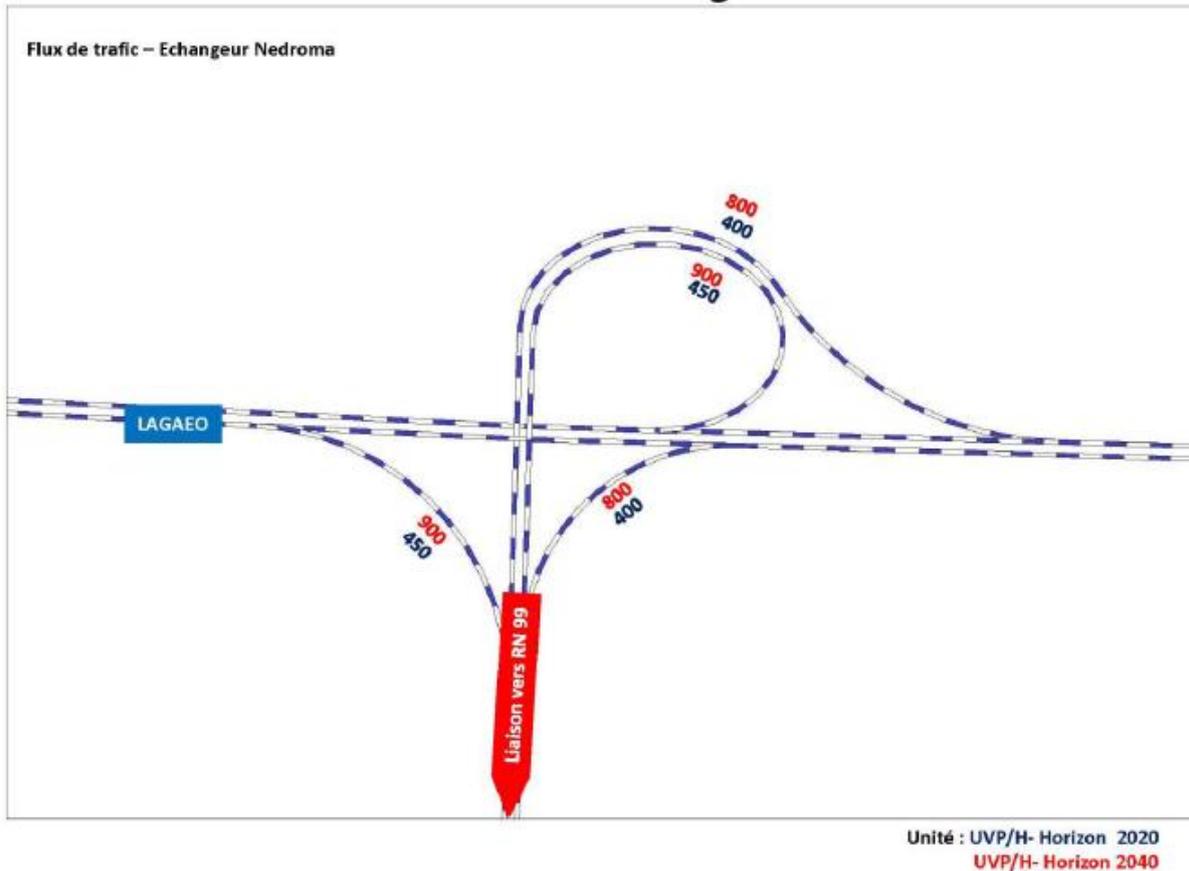


Figure. IV. 4 : Flux de trafic au niveau de l'échangeur de Nedroma (RN 99) [32]

IV.7 La méthode SETRA- LCPC

IV.7.1 Détermination de la catégorie de la voie :

Le catalogue différencie, vis-vis du dimensionnement, deux catégories de voies. Pour chaque structure de chaussée, il existe donc deux types de fiches. L'un est relatif aux voies du réseau structurant et l'autre aux voies du réseau non structurant.

La détermination de la catégorie de la voie se fait à partir du catalogue des types de routes en milieu interurbain :

- ❖ Les types 1 et 2 de ce catalogue (autoroutes et routes express à une chaussée) sont considérées comme des voies du réseau structurant, notées VRS ;
- ❖ Les types 3 et 4 (artères interurbain et autres routes) sont considérées comme les voies du réseau non structurant, notées VRNS.

L'ingénieur responsable du projet après avoir déterminé la catégorie de la voie projetée, se reportera aux fiches de structures correspondantes.

La différence de dimensionnement des structures de chaussées de ces deux catégories de voies résulte d'hypothèses de calcul différentes (durée de dimensionnement initiale de 30 ans pour les VRS et 20 ans pour les VRNS, agressivité,...). Ces données sont détaillées dans le fascicule **Hypothèses et données de calcul** auquel l'ingénieur peut se porter pour une plus ample information.

Tableau. IV. 7 : Valeur des paramètres de calcul [32]

		TC2	TC3	TC	TC5	TC6	TC7	TC8
Duré de dimensionnement initial	VRS			30ans				
	VRNS			20ans				
Risque %	Chaussées souples et bitumineuses	30	18	10	5	2	1	1
	Assises traitées et chaussées béton	12,5	10	7,5	5	2,5	1	1
	Fondation des structures mixtes	50	35	20	10	3	2	1

IV.7.2 Détermination de la classe de trafic :

a. Données d'entrée trafic

Le trafic est l'un des paramètres d'entrée du catalogue.

Pour le dimensionnement des chaussées, il est nécessaire de connaître le nombre de poids lourds qu'aura à supporter la chaussée durant sa durée de vie (TC).

Dans les fiches de structures, la donnée de trafic prise en compte est la classe de trafic poids lourds cumulé.

Définition du poids lourd est la suivantes :

La norme NF P 98-082 définit les poids lourds comme des véhicules de plus de 35 kN de poids totale autorisé en charge (PTAC).

Les classes de trafic poids cumulé sont définies par leur borne supérieure. Le trafic pris en compte est le nombre de poids lourds circulant sur la voie la plus chargée, cumulé sur la durée de dimensionnement de chaussée. **(Setra-LCPC 98)**

Le tableau suivant définit deux séries de huit classes de trafic cumulé : une pour les VRS notée TCi 30 (classe de trafic cumulé sur 30 ans), une pour les VRNS notée TCi 20 (i'eme classe de trafic cumulé sur 20 ans).

Tableau. IV 8 : Bornes supérieures des classes de trafic cumulé pour les VRS et les VRNS (exprimées, en millions de poids lourds)

VRS	TC1₃₀	TC2₃₀	TC3₃₀	TC4₃₀	TC5₃₀	TC6₃₀	TC7₃₀	TC8₃₀
	0.5	1	3	6	14	38	94	
VRNS	TC1₂₀	TC2₂₀	TC3₂₀	TC4₂₀	TC5₂₀	TC6₂₀	TC7₂₀	TC8₂₀
	0.2	0.5	1.5	2,5	6.5	17.5	43.5	

a. Répartition du trafic poids lourd par voie de circulation

En l'absence de données précises sur la répartition des poids lourds entre les différentes voies de la chaussée, on adoptera les valeurs suivantes :

- ❖ chaussée unidirectionnelle à 2 voies : 90% du trafic poids lourd sur la voie de droite
- ❖ chaussée unidirectionnelle à 3 voies : 80% du trafic poids lourd sur la voie de droite et 20% sur la voie médiane.

Ces valeurs sont relatives aux sections courantes en rase campagne. Dans tous les autres cas une étude particulière devra être conduite.

b. Calcul du nombre cumulé de poids lourds sur la voie la plus chargée

Le calcul du nombre de poids lourds cumulé $T_{ci20ou30}$ se fait à l'aide de la relation suivante :

$$T_{ci20ou30} = 365 \times T \times C \dots \dots \dots (IV.1)$$

Avec T : trafic poids lourd MJA à l'année de mise en service sur la voie la plus chargée

$$C = d + t \times d \times (d-1)/2 \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec d : durée de dimensionnement initiale de la chaussée

t : taux de croissance linéaire annuelle du trafic lourd/100

Cette formule est valable seulement dans le cas où les hypothèses de croissance du trafic lourd se réduisent à un seul taux de croissance annuelle se rapportant à l'année de mise en service. Dans les autres cas plus complexes, l'ingénieur se reportera aux exemples d'utilisation pour savoir comment calculer le nombre de poids lourds cumulé.

Dans tous les cas une étude préalable de trafic sera faite pour définir le taux de croissance linéaire annuel (t) à retenir pour le projet et le trafic poids lourds MJA (T) attendu à la mise en service sur la voie la plus chargée.

Ce nombre est à comparer aux valeurs du tableau 5 pour déterminer la classe TCi à prendre en compte.

Remarque :

Le dimensionnement d'une structure de chaussée se fait en réalité à partir du nombre d'essieux équivalents de 130kN, noté NE .Il se calcule à l'aide de l'expression suivante :

$$NE = T_{ci20ou30} \times CAM \dots \dots \dots (IV.3)$$

CAM : coefficient d'agressivité structurelle moyenne d'un poids lourd qui dépend de la nature de la voie et du type de structure.

Tableau. IV. 9 : Coefficient d'agressivité structurelle moyenne (CAM)

Type de structure		
	VRS	VRNS
Bitumineuses épaisses*	0,8	0,5
GNT/GNT	Sans objet	1
Mixtes	1,2	0,75
Semi-rigide et béton	1,3	0,8

IV.7.3 Détermination de la plate –forme support de chaussée

La plate-forme support de chaussée se détermine à partir des indications du Guide technique Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR)

Les structures de chaussée sont construites sur un ensemble dont la surface supérieure est appelée plate-forme support de chaussée. Cet ensemble est constitué :

- ❖ d'un sol support (déblai ou remblai, sol en place ou rapporté) désigné dans sa partie supérieure (sur 1 mètre d'épaisseur environ) par le terme partie supérieure des terrassements, notée PST, et dont la surface constitue l'arase de terrassement, notée AR.
- ❖ d'une couche de forme éventuelle mise en œuvre sur la PST.

Les plates-formes doivent présenter :

- ❖ à court terme (lors de la réalisation du chantier), un niveau de traficabilité qui permette la circulation des engins approvisionnant les matériaux d'assise, un nivellement qui assure la régularité des épaisseurs prescrites pour les couches de chaussée et un niveau de déformabilité qui autorise un compactage satisfaisant de celles-ci.
- ❖ à long terme, une portance minimale pour assurer le bon fonctionnement de la chaussée en service. Les plates- formes sont regroupées de ce point de vue en 3 classes par ordre croissant de portance estimée à long terme, de PF2 à PF4.

La couche de forme est réalisée en vue de remplir ces fonctions lorsque la PST ne peut y répondre. Le schéma suivant (figure IV.1) montre les parties d'ouvrage concernées à court et



long termes.

Court terme (Réalisation du chantier)

Long terme (chantier en service)

Figure. IV. 5: Parties d'ouvrage concernées à court terme et long terme [satra- lpc 98]

IV.7.4 Détermination de la classe de plate-forme à long terme

La classe de la plate-forme à long terme se détermine sur la base des résultats des études géotechniques préalables, à l'aide du Guide technique de Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR)

a. Rappel de la démarche

La détermination de la classe de la plate-forme support de chaussée, notée PF résulte :

- ❖ de l'appréciation du comportement à long terme du sol support, sur l'épaisseur de la PST,
- ❖ de la nature et de l'épaisseur de la couche de forme éventuelle.

Comportement à long terme du sol support

Le comportement à long terme du sol support sur l'épaisseur de la PST est apprécié à partir :

- ❖ de la nature et de l'état du sol (cf. classification géotechnique)
- ❖ de l'environnement hydrique pour les conditions les plus défavorables

b .Classes de plate-forme prescrite

Sauf cas particulier associé à des conditions techniques et économiques locales à justifier, la réalisation de plates- formes PF1 n'est plus autorisée sur le réseau routier national.

Le niveau de portance minimal à obtenir à long terme est modulé en fonction du type de route et du trafic selon les indications du tableau IV.10

Tableau. IV. 10: Classes de plate-forme minimales de support de chaussée

Classe de trafic	VRS	VRNS
TC7 et TC8	≥ PF3	≥ PF3
TC6	≥PF3	≥PF2
≤TC5	≥PF2	≥PF2

IV.7.5 Caractéristiques minimales de la plate-forme à la mise en œuvre des couches de chaussée (à court terme)

Afin de permettre une mise en œuvre correcte de la chaussée, la plate-forme doit présenter en tout point des caractéristiques minimales:

- ❖ de nivellement: la tolérance de nivellement est de ± 3 cm par rapport à la cote de la plate-forme finie. Cette tolérance est portée à ± 2 cm dans le cas où l'épaisseur totale d'assise en matériau bitumineux est inférieure ou égale à 12 cm ;
- ❖ de déformabilité selon l'objectif de classe de plate-forme retenu pour le projet.

La portance sur laquelle se fonde le dimensionnement est une valeur à long terme. On vérifiera au moment du chantier que la déformabilité n'est pas supérieure à celle attendue à long terme. Dans le cas où l'on table sur, un effet positif différé du drainage mis en place ou sur une augmentation dans le temps des caractéristiques mécaniques d'un sol traité, ceci devra être justifié.

Avec une couche de forme en matériaux non traités, on se référera aux valeurs de la première partie tableau IV.11. Dans le cas d'une couche de forme en sols traités en place à la chaux ou avec un liant hydraulique, la déflexion maximale au moment où l'on envisage la mise en œuvre des couches de chaussée est indiquée dans la seconde partie du tableau VI. 11. On notera que les exigences sont ici plus sévères que pour les couches de forme en matériau non traité pour éviter la rupture de la couche traitée sous le trafic de chantier.

**Tableau. IV. 11 : Déformabilité pouvant être exigée au moment de la mise en œuvre des
chaussées [stra- lpc]**

Couche de forme non traitées

Classe de plate-forme visée	Module de déformabilité en MPa	Déflexion maximale en mm mesurée au deflectographe Lacroix ou à la poutre Benkelman sous essieu de 130 kN
PF2	50	2,0
PF3	120	0,9
PF4	200	0,5

Couche de forme en sols argileux ou limoneux traités en place

Classe de plate-forme visée	Déflexion maximale en mm mesurée au deflectographe Lacroix ou à la poutre Benkelman sous essieu de 130 kN	
	traitement à la chaux seule	traitement à la chaux + ciment
PF2	1,20	0,80
PF3	0,80	0,60
PF4		0,50

IV.7.6 Vérification du dimensionnement de la chaussée vis -à-vis de la déformation verticale sur la plate-forme

La déformation verticale $\epsilon_{z,}$ est limitée à une valeur $\epsilon_{z, ad}$ donnée par la relation suivante :

$$\epsilon_{z, ad} = 0,012 (NE)^{-0,222} \dots\dots\dots (IV.4)$$

IV.7.7 Choix de la composition de la couche de surface :

Elle a été définie selon le trafic et la nature de la couche de base, en vue d'assurer la protection de l'assise de chaussée. Les épaisseurs de couche de surface varient de 2,5 cm à 14 cm suivant les types de structures.

Pour la plupart des structures, plusieurs combinaisons de nature de couche de roulement et de couche de liaison sont envisageables. Sur chaque fiche de structure figurent les compositions des couches de surface autorisées.

Le choix de la composition de la couche de surface doit s'effectuer en fonction de l'expérience locale et des objectifs recherchés vis-à-vis des caractéristiques d'usage (par exemple l'adhérence, le bruit, le confort par temps de pluie, l'obtention d'un uni en adéquation avec le niveau de service de la route, . . .). Ce choix doit également respecter les spécifications du Guide d'application des normes pour le réseau routier national en particulier celles relatives à l'orniérage.

On impose sur les VRS, ainsi que sur les VRNS lorsque le trafic est supérieur à TC5 20, la dissociation des fonctions des couches de liaison et de roulement. Cette disposition est également conseillée pour la classe TC520.

Cette mesure conduit sur ces chaussées à retenir une couche de roulement en béton bitumineux très mince (BBTM), béton bitumineux drainant (BBD_r), ou éventuellement en béton bitumineux mince de classe a (BBMa) si les caractéristiques de surface sont satisfaisantes.



IV .9. Application au projet :

IV.9.1 Détermination du type du réseau principal :

Pour le dimensionnement du corps de chaussée de notre projet, nous allons utiliser le catalogue des structures types de chaussées neuves (SETRA-LCPC 98)

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

- ❖ Le trafic moyen journalier annuel (TMJA)= 18 468 V/J
- ❖ Le pourcentage de poids lourd: $Z= 17\%$
- ❖ Durée de vie : 20 ans (pour le cas de la chaussée en bitume)
- ❖ Taux d'accroissement du nombre de véhicules: $i =3,60\%$
- ❖ Répartition du trafic = 80%

IV.9.2 Catégorie de la voie :

La détermination de la catégorie de la voie se fait à partir du catalogue des types de route en milieu interurbain :

Les types 1et 2 de ce catalogue (autoroute et routes express à une chaussée) sont considèrent comme des voies du réseau structurant, notées VRS ;

- ❖ Les types 3 et 4 (artères interurbaines et autres routes) sont considérées comme les voies du réseau non structurant, notées VRNS [SETRA-LCPC 98]

L'étude de notre projet se portera sur la voie à réseaux structurants VRS  Tci₂₀

IV.9.3 La classe du trafic (TPLi):

Le trafic est l'un des paramètres d'entrée du catalogue.

Pour le dimensionnement des chaussées, il est nécessaire de connaître le nombre de poids lourds qu'aura à supporter la chaussée durant sa durée de vie (TC).

Pour le choix des couches de surface, il est nécessaire de connaître la classe de trafic T_i déterminée à partir de la moyenne journalière annuelle en PL à la mise en service (MJA).

[SETRA LCPC - 98]

$$N_{pl} = T_{JMA} \times P_{pl} \times 0,5 \times 0,8 \dots \dots \dots (IV.5)$$

AN :

$$T_{2020} = N_{pl} = 18468 \times 0,5 \times 0,8 \times 0,17 = 1256 \text{ PL/J/sens}$$

IV.9.4 Détermination de la classe de trafic cumulé TC_i :

S'agit de déterminer le nombre total de PL que devra supporter la chaussée durant sa durée de vie. Sauf cas particuliers, la durée de vie pourra être prise à 20 ans pour les chaussées courantes. Cette durée de vie pourra être portée à 30 ans ou plus pour les voies supportant un trafic important et pour lesquelles il convient de réduire au maximum les opérations d'entretien ultérieures (voies rapides urbaines ...).

Le calcul du nombre de poids lourds cumulé $TC_{i 20}$ se fait à l'aide de la relation suivante :

$$TC_{i 20} = 365 \times T_{2020} \times C \dots \dots \dots (IV.6)$$

$$C = d + t \times d \times (d-1)/2 \quad \text{AN : } C = 20 + 0,0360 \times 20 \times 19/2 = 26,84$$

$$\text{AN : } TC_{i 20} = 365 \times 1256 \times 26,84 = 12,30 \cdot 10^6 \text{ PL/J/sens} \quad \longrightarrow \quad TC_{520} \text{ d'}$$

après le tableau 1 de [SETRA-LCPC 98]

IV.9.5 Détermination de nombre d'essieux équivalent :

Le dimensionnement d'une structure de chaussée se fait en réalité à partir du nombre d'essieux équivalents, noté NE (l'essieu équivalent est l'essieu isolé de 130 kN autorisé par le Code de la route). [SETRA-LCPC 98] NE se calcule par la formule suivante :

Avec :

CAM : coefficient d'agressivité moyen d'un PL = 0,8 d'après le tableau 6 du catalogue SETRA – LCPC 98

$$\text{AN : } Ne = 12,30 \cdot 10^6 \times 0,8 = 9,84 \cdot 10^6$$

IV.9.6 Détermination de Plate-forme support de chaussée :

Les structures de chaussée sont construites sur un ensemble dont la surface supérieure est appelée plate-forme support de chaussée.

❖ **Zone climatique :**

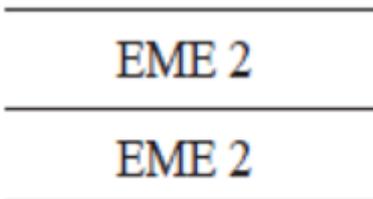
Notre projet se trouve dans la Zone climatique II

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

IV.9.7. La composition de la plate- forme :

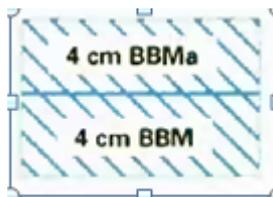
Dans ce cas le catalogue de dimensionnement on prévoit une couche de forme de 40 cm, et une partie supérieure des terrassements (PST) de 50cm. Donc la classe du sol support visée est PF2 d'après GTR

$E=80$ MPa ; $\nu=0,35$ (donnée du projet)

Choix de la structure :❖ **Couche d'assise EME2/EME2****Couche de surface CS :**

CS = couche de roulement + couche de liaison

CS= 4cmBBMA+ 4cmBBME



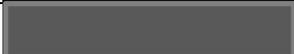
Couche de roulement		BBMA 4cm
Couche de liaison		BBME 4cm
{ Couche de base et Couche de fondation		EME 19cm

Figure .IV.8: différentes couches du corps de chaussée

IV.9 .8. Calcul des déformations admissible :

❖ Calcul la déformation admissible ($\epsilon_{z, ad}$) de sol support:

La déformation verticale ϵ_z , est limitée à une valeur $\epsilon_{z, ad}$ donnée par la relation suivante :

$$\epsilon_{z, ad} = 0,012(NE)^{-0,222}$$

$$AN : \epsilon_{z, ad} = 0,012(9,84 \cdot 10^6)^{-0,222} = 336,30 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$$

$\epsilon_{z, ad} = 336,30 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$
--

❖ Calcul de la déformation admissible de traction $\epsilon_{t, ad}$:

On :

- ❖ CM : coefficient d'agressivité du PL= 0,8 (d'après le tableau 6 de SETRA –LCPC 98)
- ❖ Risque de calcul $r = 5\%$ (selon tableau 5 hypothèse)
- ❖ H =23cm

$\epsilon_{t, ad} = 74,4 \cdot 10^{-6} \text{ mm}$ (voir Alizé LCPC)
--

Alizé-Lcpc - Calcul des valeurs admissibles

Trafic PL cumulé : données

Moyenne journalière annuelle (MJA) :
 Taux accroissement géométrique (%) :
 Taux accroissement arithmétique (%) :
 Durée de service (années) :
 Trafic cumulé PL : 9840000
 Cocher au plus 3 cases

Aide

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

Valeurs admissibles : données

matériau type : eme2
 coefficient CAM : 0,8
 risque (%) : 5,0
 trafic cumulé NE : 7,8720E+6
 Epsilon6 (µdéf) : 130
 -1/b : 5

Téta équiv. (°C) : 20 °C
 E10°10Hz (MPa) : 17000
 Etêq10Hz (MPa) : 11000
 Hstructurel MB (m) : 0,23
 écart type Sh (m) : 0,025
 écart type SN : 0,250
 Kr (risque) : 0,765
 Kc (calage) : 1,0
 Ks (couche liée/pf2) : 1/1,1

Calculer EpsiT admissible
 Calcul inverse NE = f(EpsiT)
 Calcul inverse Risk = f(EpsiT)
 Bibliothèque des matériaux
 Imprimer
 Enregistrer

EpsilonT
 74,4 µdéf
 Annotation libre : eme2
 Mémo ...
 1 - EpsiT= 74,4 (eme2)

effacer=dbl click
 Fermer

Pour modifier les valeurs standard : cliquer sur "eme2"

Figure. IV. 9 : Calcul de la déformation admissible de traction $\epsilon_{t, ad}$:

IV.9.9. Calcul des déformations réelles :

Les caractéristiques des matériaux prises en compte pour les calculs de dimensionnement selon le projet sont les suivants :

- ❖ BBMA : $E = 3685 \text{ MPa}$;
- ❖ BBME : $E = 6030 \text{ MPa}$;
- ❖ EME : $E = 11060 \text{ MPa}$;
- ❖ Infinie $E = 80 \text{ MPa}$;
- ❖ Le coefficient de Poisson est pris égal à 0,35 ;

IV.10. Modélisation de la chaussée :**Tableau. IV. 12: Caractéristique des matériaux de la chaussée**

	Epaisseurs (cm)	Modules (MPa)	Coefficient de poisson
Couche de roulement	4	3685	0,35
Couche de liaison	4	6030	0,35
{ Couche de base et Couche de fondation	19	11060	0,35
Sol support	Infinie	80	0,35

❖ **Résultats de la simulation :**

La vérification du calcul de dimensionnement est faite avec le logiciel Alize-LCPC

Pour valider la structure de chaussée retenue, nous faisons une vérification avec le logiciel Alize-LCPC. Il s'agit de modéliser la structure de la chaussée, calculer les contraintes et déformations, puis procéder à la vérification de ces dernières par rapport aux valeurs admissibles.

Elle nous permettra de faire le choix de la structure de chaussée.

❖ Calcul de la déformation et contrainte admissible

❖ **Etape 01 : entrée des données**

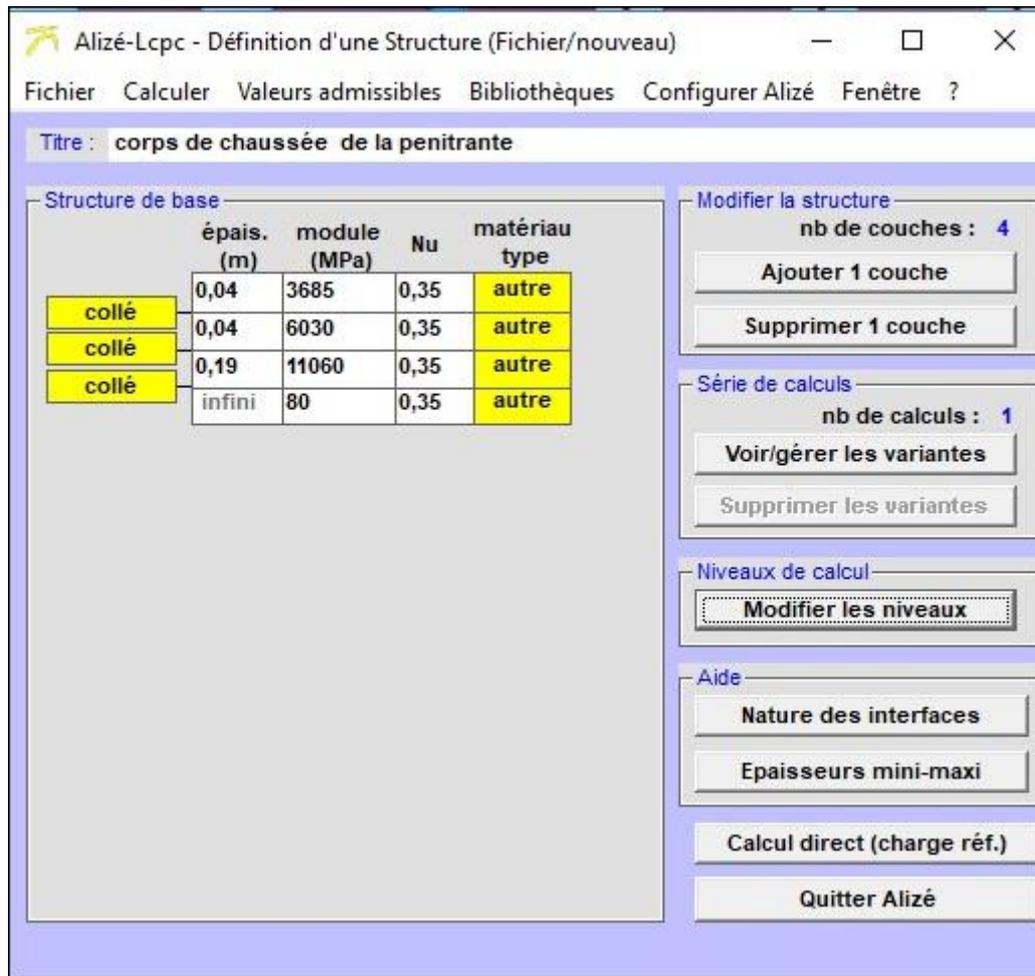


Figure. IV. 10: Capture d'écran de la saisie des caractéristiques de notre chaussée avec (Alize –LCPC)

Etape 02 : l'exécution des calculs

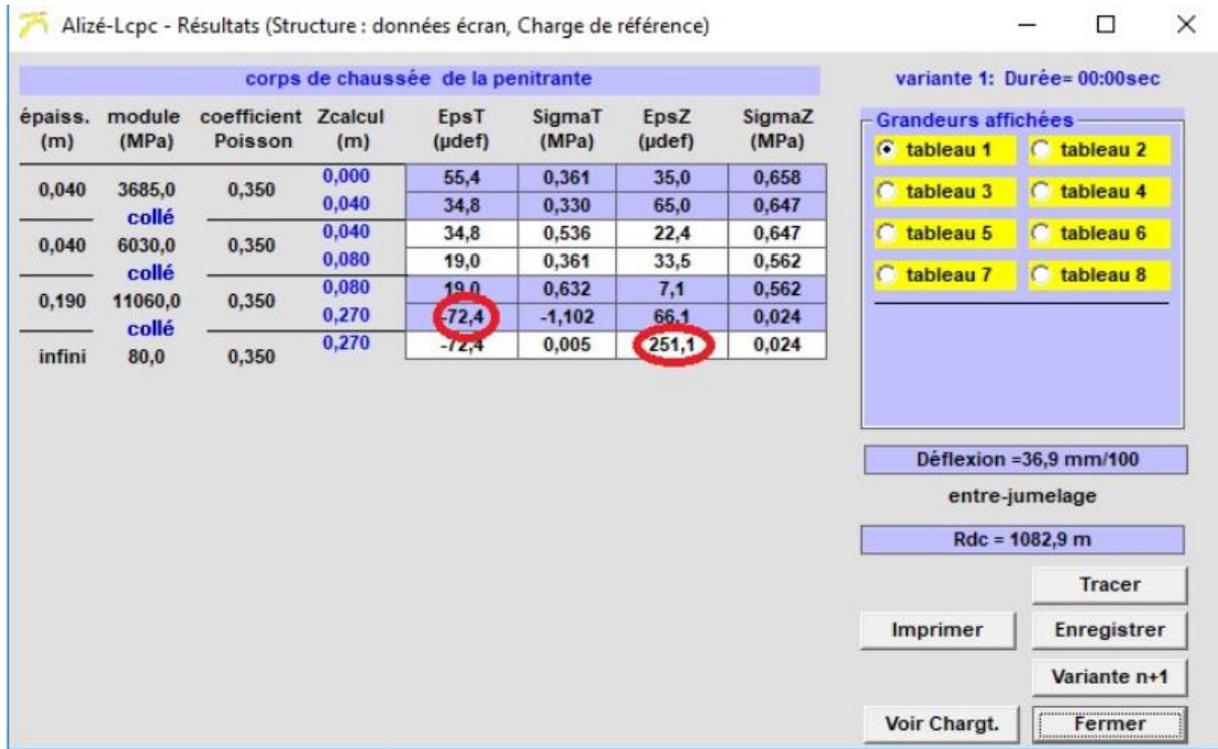


Figure. IV. 11 : Résultats obtenue par le programme (Alize)

$$\begin{cases} \epsilon_{z, cal} = 251,1 \cdot 10^{-6} mm < \epsilon_{z, ad} = 336,30 \cdot 10^{-6} mm \\ \epsilon_{t, cal} = 72,4 \cdot 10^{-6} mm < \epsilon_{t, ad} = 74,4 \cdot 10^{-6} mm \end{cases}$$

Après vérification, il ressort que les valeurs de calcul sont bien inférieures aux valeurs admissibles. D’où notre structure est vérifiée.

Conclusion

A la lumière de tout ce qui précède on peut constater que le dimensionnement des différentes couches constitue notre corps de chaussée est quasiment égale à la valeur trouvée par le bureau d'étude chinois, d'où notre dimensionnement est correct, et il est à noter que les épaisseurs trouvées sont après compactage.

Conclusion Générale :

Ce projet de fin d'étude était l'occasion pour nous d'approfondir nos connaissances dans le domaine routier, c'était une grande opportunité pour nous de connaître que les infrastructures routières ont une importance capitale pour le développement d'une région ou d'un pays, que l'investissement dans le domaine routier est généralement rentable pour l'Etat et une amélioration globale des conditions de vie de l'homme .

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

En effet la présente étude est réalisée sur des BBME qui est actuellement utilisé dans la réalisation des autoroutes algériennes. Au terme de cette étude, il ressort que la considération du comportement réel des matériaux est un facteur important dans la réponse des chaussées, ce qui nous a permis de connaître que l'utilisation des bétons bitumineux à module élevé va conduire à concevoir des chaussées à un gain considérable en épaisseur de couche par rapport aux solutions classiques de par leurs propriétés mécaniques qui leur offrent de très bonnes performances en terme de rigidité, un pourcentage des vides réduit et un comportement remarquable vis-à-vis de la fatigue.

- [1] : Cours de route 4^{ème} année par Mr Moustapha Geullil.
- [2] : Cours de VRD 5^{ème} année par Mme Kazi Tani.
- [3] : Collection technique cimbeton : Voirie et Aménagement Urbains en béton.
Tome(1) conception et dimensionnement.
- [4] : Guide pratique de dimensionnement pour les pays Tropicaux.
- [5] : Mémoire « Etude comparative de chaussée rigide et chaussée flexible dans le cadre du Sénégal » (Promotion Juin 98. Ecole polytechnique de Thies).
- [6] : Mémoire « Enrobe à Module élevé : Formulation et utilisation cas de formulation à 4 niveaux» (promotion 2017, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [7] : cours de route : GV 842 dimensionnement des chaussées par Pr A. Bezzar.
- [8] : Mémoire « Etude d'un béton bitumineux à base de sables de dunes (promotion 2017, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [9] : bétons bitumineux : [www.guidebeton.com/beton-bitumineux]
- [10] : Mémoire« Caractérisation des enrobes bitumineux recyclés » (promotion 2016, Université de Tébessa)
- [11] : [www.google.com/enrobés bitumineux/PDF](http://www.google.com/enrobés%20bitumineux/PDF).
- [12]: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01167622>, Submitted on24Jun2015
- [13] : Mémoire «Formulation et Caractéristique d'un Béton Bitumineux à base des matériaux d'Adrar» (promotion 2018, université d'Adrar)
- [14] : Mémoire A.BOUMADIANE : [Ingénieur Expert routier] « Les bétons bitumineux, Formulation; Exécution; Contrôle de qualité»
- [15] : Thèse « Caractérisation des formations d'orniérage des chaussées bitumineuses » (promotion 2005, Ecole, Doctorale des sciences pour l'ingénieur de Lyon)

[16] : Thèse : «Etude de la fissuration et de la fatigue des enrobés bitumineux. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat», (promotion 2009, Université de Lyon)

[17] : Le bitume; histoire d'un matériau routier; (USRIF) Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française, Edition septembre 2013)

[18] : Thèse « Contribution à l'amélioration du comportement des corps de chaussée avec l'utilisation des matériaux recyclés », (promotion 2018, Université d'Annaba)

[19] : Enrobes hydrocarbonés à chaud (le SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES 46, avenue Aristide Briand -B.R 100 - 92223 Bagneux Cedex - France)

[20] : Cahiers des clauses techniques particulières C.C.T.P. VOIRIES.

[21] : [https://www.memoire online.com/07/08/1346/comparaison formulation-enrobes – à-chaud – roulement –chaussées \)-très –circulées. html](https://www.memoire online.com/07/08/1346/comparaison formulation-enrobes – à-chaud – roulement –chaussées)-très –circulées. html)

[22] :

[23] : Angélique Fabre Des Essarts. Etude du comportement des enrobés bitumineux aux températures de mise en œuvre. Matériaux. Université Paris-Est, 2016. Français. NNT : 2016PESC1110.

[24] : Projet de Norme Marocaine: «Enrobés hydrocarbonés : Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement»

[25] : Mémoire «Etude comparative entre les méthodes de dimensionnement des chaussées utilisées en Algérie»

[26] : Mémoire «Dimensionnement d'une structure de chaussée en utilisant les matériaux locaux» (promotion 2016, Université de Boumerdes)

[27] : Thèse «Traité aux liants hydrauliques -Application aux Autoroutes» (promotion 2015, Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès)

[28] : Mémoire« Elaboration d'un catalogue de dimensionnement des chaussées neuves avec la méthode rationnelle» (promotion 2015,2iE)

[29] : « Etude comparative des méthodes de dimensionnement de chaussée au Burkina Faso» (promotion 2015, 2iE).

[30] : Mémoire Etude comparative des différentes techniques de stabilisation en Géotechnique Routière 2iE.

[31] : Etude d'avant-projet détaillé Réalisation de la liaison autoroutière reliant le port de Ghazaouet à l'autoroute EST –OUEST (groupement SEROR DENNOUNI CRCC)

[32] : Étude de la pénétrante Port de Ghazaouet – Autoroute Est Ouest (CRCC)

[33] : Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION (Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie)