



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

Département de Génie civil

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Bouchiba Madani et Hebiche Ahmed el hani

DOMAINE : Sciences techniques

FILIERE : Travaux publics

OPTION : Voies et ouvrages d'art

Thème

**CONTRIBUTION AU REMPLACEMENT DE LA CHAUSSEE
SOUPLE LOCALE PAR UNE CHAUSSEE RIGIDE
- ÉTUDE COMPARATIVE -**

Jury de soutenance :

Mr. Ziregue Ahmed
Mr. Dehina Karim.
Mr. Bederina Madani
Mr. Laatafi Abdelhak

MCA
MCB
Professeur
Chef de projet TP

Président
Examineur
Encadreur
Co-encadreur

Promotion : Juin – 2023

Remerciements

Nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur **M Bederina madani** et notre co-encadreur **Mr Laatafi abdelhak** pour tous les efforts qu'ils nous ont consacré pour accomplir ce travail.

Nous remercions également monsieur Ziregue Ahmed d'avoir accepté de présider notre jury et monsieur Dehina Karim d'avoir accepté d'examiner notre thèse. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Qu'ils trouvent ici l'expression de nos profonds respects pour avoir pris la peine d'examiner notre mémoire.

Nous remercions aussi les responsables et le personnel de :

- la « DTP » de Laghouat, en particulier, Monsieur le Directeur **Neamane Somea**.
- Le Bureau des études « S.E.T.S » - Sétif pour les informations qui nous ont été fournies et la coopération dans la fourniture d'assistance.
- Société “Lafarge Béton Algérie”.
- Société “Biskria Ciment”.
- Direction de l'environnement.

Nous remercions également tous les enseignants du département Génie Civil de l'université « Amar Thelidji – Laghouat », en particulier, **Mr Ziregue ahmed, Mr makhloufi, Mme Belmecheri Oum-Habiba, Mme boulaghmen farida**.

Que toute personne ayant participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, acceptez nos grands et sincères remerciements.

DEDICACES

*Tout D'abord je remercie le bon Dieu tout miséricordieux
qui m'a donné le courage pour arriver à mener à bien ce travail.*

Je dédie ce modeste travail : A ma chère Mère

et mon chère Père

mes Frères et mes Sœurs

Mon bras droit Mohamed el aid

et tout ma famille

À tous mes amis, en particulier :

Yacine Dziri et Hamza Chenguiti

Djilali Zerarka

Hicham Zebbach

Et bien sur Mon binôme Bouchiba Madani et sa famille.

Hebiche Ahmed el hani



DEDICACES

*Tout D'abord je remercie le bon Dieu tout miséricordieux
qui m'a donné le courage pour arriver à mener à bien ce travail.
Je dédie ce modeste travail : A ma chère Mère et mon chère Père
ma chère femme et mes fils adoré spécialement GHAIHO
mes Frères et mes Sœurs
et tout ma famille
À tous mes amis dans le métier et hors métier
Et bien sur Mon binôme Hebiche ahmed et sa famille.*

Bouchiba Madani

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الأطروحة هو إجراء دراسة مقارنة بين القارعة المرنة و القارعة الصلبة، استناداً إلى بيانات معطيات حركة المرور الخاصة بالطريق الوطني رقم 23 وذلك بين ن.ك. 316 و ن.ك. 321. تم تحديد أبعاد بنيتي القارعة بطريقة الدليل الجزائري (MCA) و بطريقة حساب أبعاد جسم القارعات الصلبة (BCR). تم بعد ذلك، القيام بمقارنة مفصلة بين القارعتين، مع الأخذ بعين الاعتبار الجوانب التالية : الجانب التقني والجانب الاقتصادي وأخيرا الجانب البيئي، نذكر منها : المنشأ، التصنيع، الإنجاز، المتانة ، الديمومة والتدهور، طبقات الطريق، الصيانة، إعادة التدوير، وكذا مقارنة تكاليف البناء.

كلمات مفتاحية: القارعة المرنة، القارعة الصلبة، الحساب، المواد، الإنجاز، دراسة مقارنة.

Abstract

The main objective of this thesis is to carry out a comparative study between a flexible pavement and a rigid pavement. Based on traffic data from the RN23 national road between Pk 316 and Pk 321, the two pavement structures are dimensioned with the method of dimensioning by the Algerian catalog (MCA) and dimensioning of the rigid pavement body (BCR). The comparison is based on the technical aspect with the choice of materials and the number of layers as well as on the economic aspect and the origin and manufacture implementation, durability and degradation, maintenance, recycling, comparing construction costs and finally on the environmental aspect.

Keywords: Flexible pavement, Rigid pavement, Calculation, Materials, Construction, Comparative study.

Résumé

L'objectif principal de ce mémoire est la réalisation d'une étude comparative entre une chaussée souple et une chaussée rigide. En se basant sur les données du trafic de la route nationale RN23 entre Pk 316 et Pk 321 ; les deux structures de chaussée sont dimensionnées avec la méthode de Dimensionnement par le catalogue algérien (MCA) et Dimensionnement du corps de chaussée rigide (BCR). La comparaison s'est basée sur l'aspect technique, l'aspect économique et l'aspect environnemental, en insistant sur : les matériaux et le nombre de couches ainsi que leur provenance, leur fabrication, leur mise en œuvre, leur durabilité et leur dégradation, leur entretien et leur recyclage, tout en comparant également les coûts de constructions.

Mots clés: Chaussée souple, Chaussée rigide, Calcul et dimensionnement, Matériaux, Construction, Étude Comparative.

Liste des abréviations

Carrefours et étude du trafic	
PL	Poids lourd
Dimensionnement du corps de la chaussée	
N	Trafic cumulé
C.B.R	California – Bearing – Ratio
e	Epaisseur équivalente
I _{CBR}	Indice CBR (sol support)
N :	Désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide
P	Charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t)
Log	Logarithme décimal
Si	Portance de sol support
TPLi	Classe de trafic à l'année de la mise en service
B.B	Béton bitumineux
G.B	Grave bitume
CS	Couche de surface
Présentation de la ville de Laghouat	
τ	Taux d'accroissement
n	Nombre d'années entre les deux horizons
Etude du trafic	
R _C	La réserve de capacité
TJMA _h	Trafic moyen journalier annuel à l'année horizon 2041
TJMA _O	Trafic moyen journalier annuel à l'année origine
T _{eff}	Trafic effectif
Q _{adm}	Débit admissible

Taux de croissance annuel

A: Coefficient d'agressivité

(RPi) ;Le niveau du réseau principal

(TPLi) ;La classe du trafic (PL) à l'année de la mise en service

La zone climatique.

N : nombre de Poids Lourds par jour à la mise en service par sens de circulation

t : taux de croissance linéaire annuel du trafic

d : durée de vie , en années

r : traduit la répartition transversale des PL

Liste des figures

FIGURE I. 1- SENTIER	4
FIGURE I. 2 - ROUTE EN PISTE	4
FIGURE I. 3 - ROUTE EN ENROBEE	5
FIGURE I. 4 - AUTOROUTE	5
FIGURE I. 5 - ASPECT GENERAL D'UN TRACE EN PLAN D'UN PROJET ROUTIER	6
FIGURE I. 6 - ASPECT GENERAL D'UN PROFIL EN LONG D'UN PROJET ROUTIER	7
FIGURE I. 7 - EXEMPLE DE PROFIL EN TRAVERS-TYPE (CAS GENERAL)	8
FIGURE I. 8 - EXEMPLE DE PROFIL EN TRAVERS-TYPE EN CAS DE DEDOUBLEMENT	8
FIGURE I. 9 - DIFFERENTES COUCHES DE CHAUSSEES	10
FIGURE I. 10 - STRUCTURE D'UNE CHAUSSEE SOUPLE	12
FIGURE I. 11- STRUCTURE D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	14
FIGURE I. 12 - CHAUSSEES A DALLES NON ARMEES ET NON GOUJONNEES	16
FIGURE I. 13 - CHAUSSEES A DALLES NON ARMEES ET A JOINTS GOUJONNEES	16
FIGURE I. 14 - CHAUSSEES A DALLES ARMEES ET A JOINTS GOUJONNEES	17
FIGURE I. 15- STRUCTURE D'UNE CHAUSSEE SEMI-RIGIDE	18
FIGURE II. 1 - AFFAISSEMENT	22
FIGURE II. 2 - ORNIERAGE	23
FIGURE II. 3 - FISSURES DE FATIGUE	24
FIGURE II. 4 - FISSURE LONGITUDINALE DES RIVES	25
FIGURE II. 5 - FAÏENÇAGE	25
FIGURE II. 6 - FLASHES	26
FIGURE II. 7 - BOURRELETS LONGITUDINAUX	27
FIGURE II. 8 - FISSURES TRANSVERSALES	27
FIGURE II. 9 - NID DE POULE	28
FIGURE II. 10 - PELADE	29
FIGURE II. 11 - DENTELLES DE RIVES	29
FIGURE II. 12 - FISSURE TRANSVERSALE D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	31
FIGURE II. 13 - FISSURE LONGITUDINALE D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	32
FIGURE II. 14 - FISSURE OBLIQUE D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	32
FIGURE II. 15 - CASSURE D'ANGLE D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	33
FIGURE II. 16 - FISSURE EN « BALLES » D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	33
FIGURE II. 17 - ÉPAUFRURE DANS UNE CHAUSSEE RIGIDE	33
FIGURE II. 18 - DECALAGE DE JOINT DANS UNE CHAUSSEE RIGIDE	34
FIGURE II. 19 - FLAMBEMENT D'UNE CHAUSSEE RIGIDE	34
FIGURE II. 20 - ECAILLAGE DANS UNE CHAUSSEE RIGIDE	35
FIGURE II. 21 - NID DE POULE DANS UNE CHAUSSEE RIGIDE	35
FIGURE II. 22 - REJET DE POMPAGE DANS UNE CHAUSSEE RIGIDE	36
FIGURE III. 1 - CARTE DE LAGHOUAT	40
FIGURE III. 2 - SITUATION DE LA COMMUNE D'AFLOU SUR CARTE DE LAGHOUAT	40
FIGURE III. 3 - TEMPERATURE HORAIRE MOYENNE A AFLOU	41
FIGURE III. 4 - PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE A AFLOU	41
FIGURE III. 5 - CHUTE DE NEIGE MENSUELLE MOYENNE A AFLOU	41
FIGURE III. 6 - CARTE DU RESEAU ROUTIER DE LA WILAYA DE LAGHOUAT	42
FIGURE III. 7 - SITUATION DU PROJET	44
FIGURE III. 8 - TRACE EN PLAN D'UNE SECTION DU PROJET	46

FIGURE III. 9 - PROFIL EN LONG D'UNE SECTION DU TRACE	47
FIGURE III. 10 - PROFIL EN TRAVERS TYPE	47
FIGURE III. 11 - DEMARCHE CATALOGUE	49
FIGURE III. 12 - CLASSE DE TRAFIC POUR PR1	50
FIGURE III. 13 - CARTE CLIMATIQUE DE L'ALGERIE	51
FIGURE III. 14 – FICHE DE STRUCTURE	52
FIGURE III. 15 - SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT	53
FIGURE III. 16 – FICHE DE STRUCTURE	57
Figure IV.1 – Fabrication des bitumes	63
Figure IV. 2 - Cycles de provenance de gravier	64
Figure IV. 3- poste d'enrobage	65
Figure IV. 4 - Cycles de provenance de Ciment	67
Figure IV. 5- Centrale à béton	68
Figure IV.6 – Mise en œuvre de Béton bitumineux	69
Figure IV. 7 - montre le comportement de la chaussée souple sous l'est des charges du trafic	70
Figure IV. 1 Mise en œuvre de BCR	71
Figure IV. 9 - montre le comportement de la chaussée rigide sous l'est des charges du trafic	71
Figure IV. 10 – Recyclage de ciment	80
Figure IV. 2 Structure de chaussée rigide retenue	85

Liste des tableaux

TABLEAU III. 1 - RESEAU ROUTIER REVETU DE LA WILAYA DE LAGHOUE	42
TABLEAU III. 2 - NORMES GEOMETRIQUES ADAPTEES	45
TABLEAU III. 3 - LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'AXE	45
TABLEAU III. 4 - CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA LIGNE ROUGE	46
TABLEAU III. 5 - CLASSE DE PORTANCE DU SOL SI	50
TABLEAU III. 6 - CLASSES DE PORTANCE DE SOL-SUPPORT	51
TABLEAU III. 7 – CLASSE DU SOL ET CLASSE DU TRAFIC	52
TABLEAU III. 8 - EPAISSEUR EQUIVALENTE ET EPAISSEUR REELLE	52
TABLEAU III. 9 – STRUCTURE DU PROJET	53
TABLEAU III. 10 - DETERMINATION DU COEFFICIENT R EN FONCTION DE LA CONFIGURATION DE LA ROUTE.	54
TABLEAU III. 11 – CLASSES DE TRAFIC	54
TABLEAU III. 12 - CLASSIFICATION DES SOLS ET DES PLATES-FORMES SUPPORT EN FONCTION DE LEUR PORTANCE	56
TABLEAU III. 13 - LES TYPES DES BETONS UTILISES DANS LE SECTEUR ROUTIER ET PRESENTE DANS LE TABLEAU	56
TABLEAU III. 14 - CLASSIFICATION DES BETONS ROUTIERS	56
TABLEAU III. 15 - CALCUL DE COUT DE 1 M² DE LA STRUCTURE SOUPLE	58
TABLEAU III. 16 - COUT DE LA STRUCTURE DE LA CHAUSSEE RIGIDE DE 1M²	59
TABLEAU IV. 1 – TAUX DE FABRICATION DE BITUME	63
TABLEAU IV. 2 - COUT DE CIMENT ET DE BITUME EN « DA » PAR M2	78
TABLEAU IV. 3 - COUT DE BITUME EN « DA » PAR M2	78
TABLEAU IV. 4 - COMPARAISON ENTRE CHAUSSEE SOUPLE ET CHAUSSEE RIGIDE	86

Table des matières

Remerciements	I
DEDICACES	III
DEDICACES	IV
Résumé	IV
Liste des abréviations.....	V
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
 Introduction générale.....	 1
I. GÉNÉRALITE SUR LES ROUTES	3
I.1 Introduction	3
I.2 Généralités sur les routes	3
I.3 Etude technique de la route.....	6
I.4 Généralités sur les chaussées.....	8
I.5 Comparaison entre les trois types de chaussée « Souple, rigide et semi-rigide » [¹³]....	19
I.6 Conclusion.....	20
II. DÉGRADATION DES CHAUSSÉES ROUTIÈRES	22
II.1 Introduction	22
II.2 Différents types de dégradations des chaussées souples [].....	22
II.3 Différents types de dégradations des chaussées rigides [].....	31
II.4 Conclusion :.....	37
III. CALCUL DE DIMENSIONNEMENT	39
III.1 Introduction.....	39
III.2 Présentation du projet d'étude	39
III.3 Présentation de la RN23	42
III.4 Présentation de l'étude de dédoublement de la RN23 entre Pk 316 et Pk 320.....	44
III.5 Dimensionnement de la structure du projet.....	48
III.6 Conclusion	59
IV. Etude comparative	61
IV.1 Introduction.....	61
IV.2 Provenance, fabrication.....	61

IV.3	Mise en œuvre, contrôle et condition	68
IV.4	Durabilité et dégradation	71
IV.5	Entretien périodique	73
IV.6	Impact économique	75
IV.7	Recyclage.....	77
IV.8	Impact environnemental :	81
IV.9	Conclusion.....	87
	Références Bibliographiques.....	86

Introduction générale

On appelle « chaussée » toute surface spécialement aménagée sur le sol ou sur un ouvrage pour le stationnement ou la circulation des véhicules et des personnes.

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

Cela montre bien que le secteur du transport est un secteur stratégique sur les plans économique et social, et de l'intégrité du territoire. Il concourt à la satisfaction des besoins essentiels de la population et impulse et conforte le reste de l'économie nationale.

En Algérie le transport routier joue un rôle majeur dans la mesure où la route supporte plus de 80% du trafic de marchandises et voyageurs, ce qui pousse, d'ailleurs, les responsables concernés à donner une grande importance à la conception des chaussées algériennes.

En effet, **la chaussée** constitue un écran dont les dimensions (épaisseurs) et la qualité des matériaux dépendent des charges de circulation et de la qualité du sol support, ce qui donne pratiquement des voies de communication possédant des structures différentes, l'une par rapport à l'autre.

Par ailleurs, les chaussées des routes présentent plusieurs types de structures : **Chaussées souples, Chaussées semi-rigides, Chaussées Rigides.**

Il convient de noter qu'en **Algérie** la majorité des chaussées utilisées dans les routes sont des chaussées souples, cependant les chaussées rigides sont limitées juste à la réalisation des pistes d'aérodromes.

Dans ce contexte, M^{elle} **Boumehraz**, dans son travail de thèse de master, a essayé de rechercher le dimensionnement optimal pour une chaussée rigide [1]. L'optimisation a été formulée, comme un problème de programmation mathématique non linéaire et le processus d'optimisation a été fondé sur l'utilisation et le choix d'un algorithme adéquat pour la résolution d'un système basé sur un processus d'optimisation de coûts (coût des matériaux de construction, coût du béton de la chaussée rigide, ainsi que le coût du coffrage mobilisé. La résolution du problème a montré que l'optimisation étudiée a décroché un gain de 4%, qui reste un résultat très intéressant et représente une solution économique qui respecte les contraintes mécaniques et les règles courantes de bonne exécution.

En ce qui concerne la comparaison entre chaussées, **Loubou**, dans sa thèse d'ingéniorat, a réalisé une étude comparative entre une chaussée rigide et une chaussée flexible [2]. Celui-ci a noté que l'avenir de la conception en voirie réside dans la possibilité et la facilité de caractérisation des matériaux de construction les plus disponibles ; compte tenu des programmes d'ordinateur, les structures rigides offrent les meilleures conditions d'essai qui méritent, d'ores et déjà, une attention particulière de la part des chercheurs.

La seule étude, qui paraît très proche de la présente étude, est bien l'étude de *M^{elles} Khiat et Mecheri*. Ces dernières, dans leur travail entrant également dans le cadre d'une thèse de master, ont tenté de faire une comparaison entre une chaussée souple et une chaussée rigide, mais la comparaison a été limitée à une étude théorique [3]. Le principal résultat trouvé réside sur le fait que la différence entre les chaussées souples et rigides reste toujours en fonction de divers paramètres, tels que le matériau utilisé, la charge appliquée, la durée de vie envisagée, la rentabilité prévue, etc.

Il convient de noter que la différence entre cette dernière étude et le présent travail est que cette présente étude est basée sur des cas réels relatifs aux régions locales.

En effet, suite à certaines pathologies et dégradations observées dans certaines chaussées souples locales, on s'est posé les questions suivantes : ***pourquoi ne remplace-t-on pas les chaussées souples par des chaussées rigides ? Ou encore, est-ce que cette alternative est capable de surmonter les problèmes déjà enregistrés dans les chaussées souples ?***

En conclusion, l'objectif principal de ce présent travail est d'étudier la possibilité de remplacer la chaussée souple locale par une chaussée rigide dans certains cas de routes locales où on a enregistré des problèmes bien particuliers, tout en assurant bien sûr, une durabilité meilleure, un prix inférieur, si c'est possible, un confort amélioré et une sécurité optimale.

Pour mener à bien ce travail, le présent manuscrit a été structuré comme suit :

- Une introduction Générale
- Un premier chapitre : Généralité sur les routes
- Un deuxième chapitre : Dégradations des chaussées
- Un troisième chapitre : Dimensionnement du corps de chaussée
- Un quatrième chapitre : Etude Comparative
- Une conclusion Générale.

Chapitre I

I. GÉNÉRALITE SUR LES ROUTES

I.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous essaierons d'aborder l'historique, les étapes de développement des routes et leur classement ; on va également voir les différentes études techniques de la route, avec une clarification et une explication des différents types de chaussées. Puis, nous allons mettre le point sur les composants des différents types des chaussées, leurs domaines d'utilisation et le rôle de chaque type de chaussée, et enfin, nous allons établir une comparaison générale entre elles.

I.2 Généralités sur les routes

Le mot « route » vient de l'appellation romaine « via rupât » qui signifie voie aménagée. Donc, on peut définir une route comme étant une surface aménagée pour assurer la circulation des véhicules et des piétons en toute saison. En effet, c'est une voie de communication terrestre.

Il convient de noter que les premières voies de communication terrestres étaient de **simples sentiers** sous **piste** (Figure I.1 et Figure I.2). Ces derniers se formaient naturellement et spontanément et ils ne demandaient aucun entretien particulier.

A l'âge de pierre, les routes ne paraissaient pas nécessaires. Les sentiers avaient été créés pour franchir des obstacles. C'est ainsi que certains aménagements apparurent : couper des arbres, dégager les passages ou encore aplanir les surfaces.

À partir des années 1900, les voiries n'ont fait que prospérer. **Les techniques de revêtement noirs** (houille ou bitume) virent le jour, puis progressivement, le ciment, l'invention des pneumatiques et l'industrialisation des automobiles (Figure I.3 et Figure I.4).

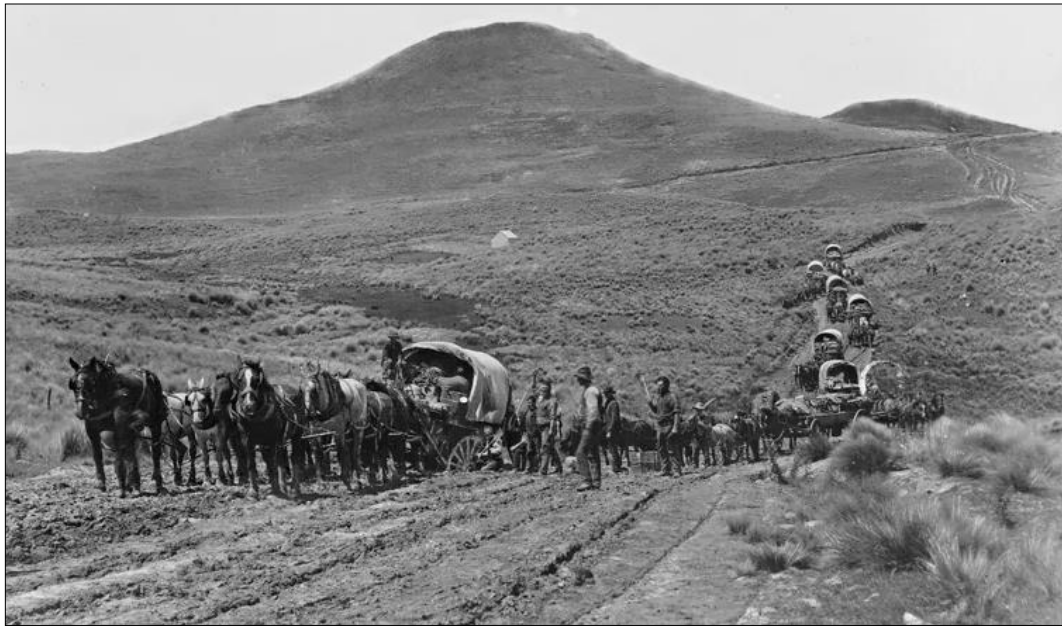


Figure I. 1- Sentier [4]



Figure I. 2 - Route en piste [5]



Figure I. 3 - Route en enrobée [5]



Figure I. 4 - AutoRoute [6]

I.3 Etude technique de la route

Généralement l'étude technique d'un projet routier se termine par l'établissement des trois plans suivants [7] :

I.3.1 Tracé en plan

Par définition, un tracé en plan est une projection de la route sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau.

L'élément principal de ce tracé est bien l'axe de la route; ce dernier est constitué par une succession de segments de droites (appelés « Alignements droits »), reliés par des courbes, (appelées « courbes horizontales » (circulaires et clothoïdes)) (Figure I.5).

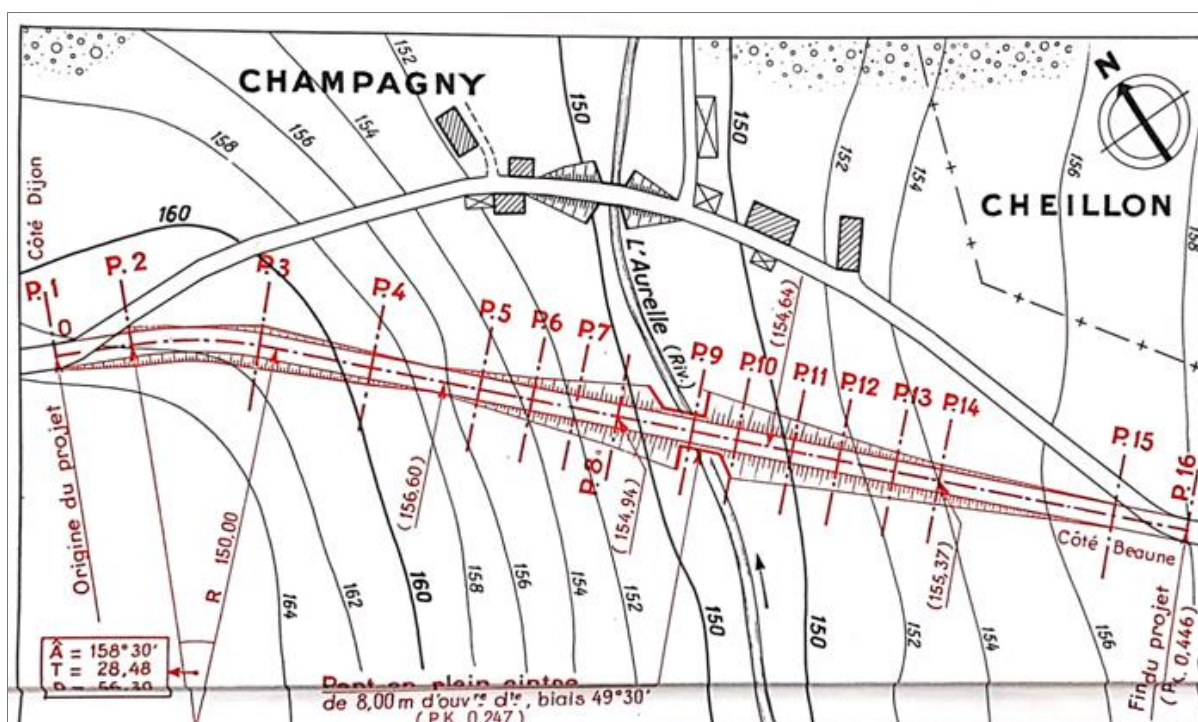


Figure I. 5 - Aspect général d'un tracé en plan d'un projet routier[7]

I.3.2 Profil en long

Le profil en long d'une route est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il exprime la variation de l'altitude de l'axe routier en fonction de l'abscisse curviligne. C'est un plan qui présente 02 traits:

- Le profil en long du terrain naturel, appelé aussi « la ligne noire »
- Le profil en long du projet routier, appelé aussi « la ligne rouge ».

Le profil en long du projet est toujours composé d'une série de segments de droites (appelés déclivités) raccordés par des courbes (appelées courbe verticales ou paraboles) (Figure I.6).

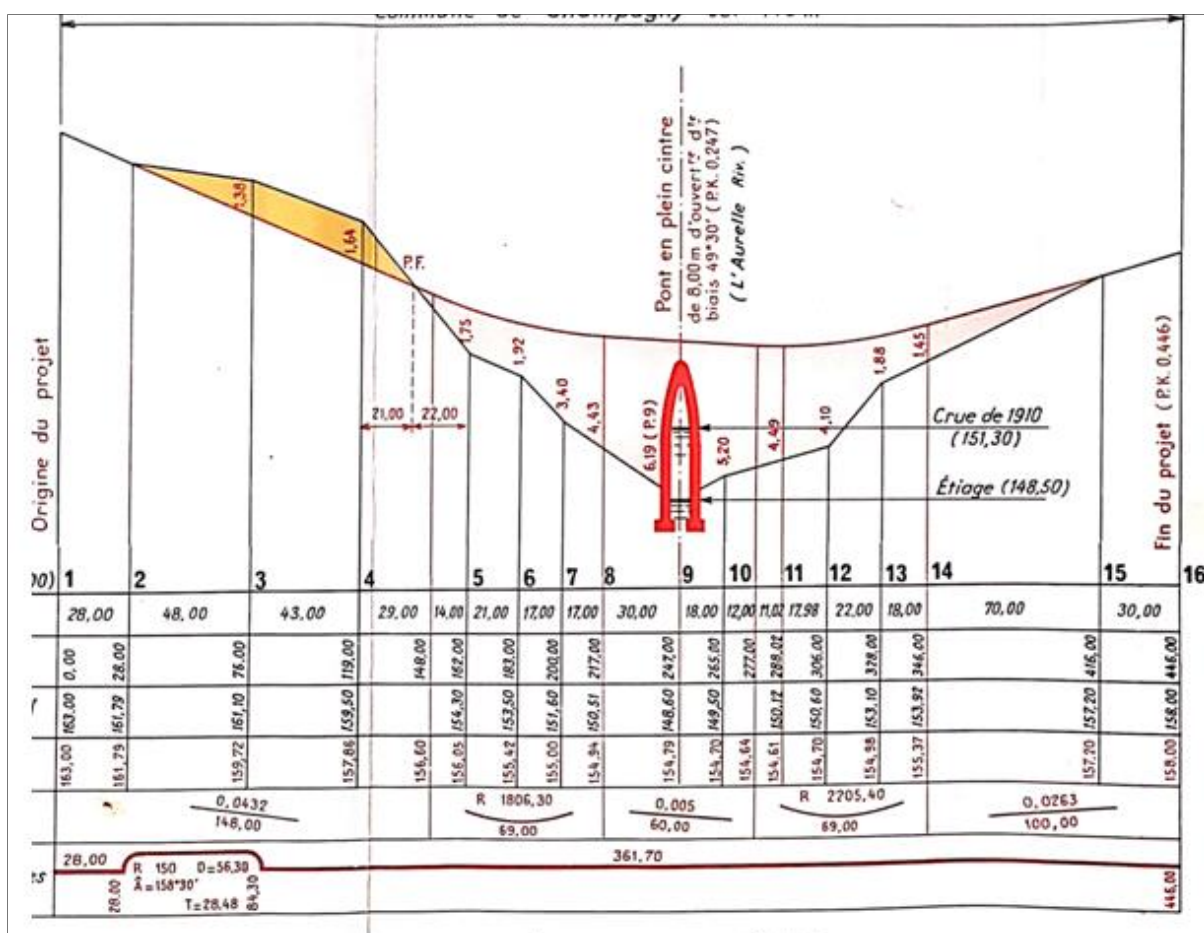


Figure I. 6 - Aspect général d'un profil en long d'un projet routier[7]

I.3.3 Profil en travers

Le profil en travers est une coupe menée transversalement à la route suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route projetée.

Un projet routier comporte généralement un grand nombre de profils en travers. Pour les dessiner, on a besoin du tracé en plan, du profil en long et surtout un autre élément appelé « profil en travers-type » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs d'un profil en travers, tels que : largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc. (Figure I.7 et Figure I.8).

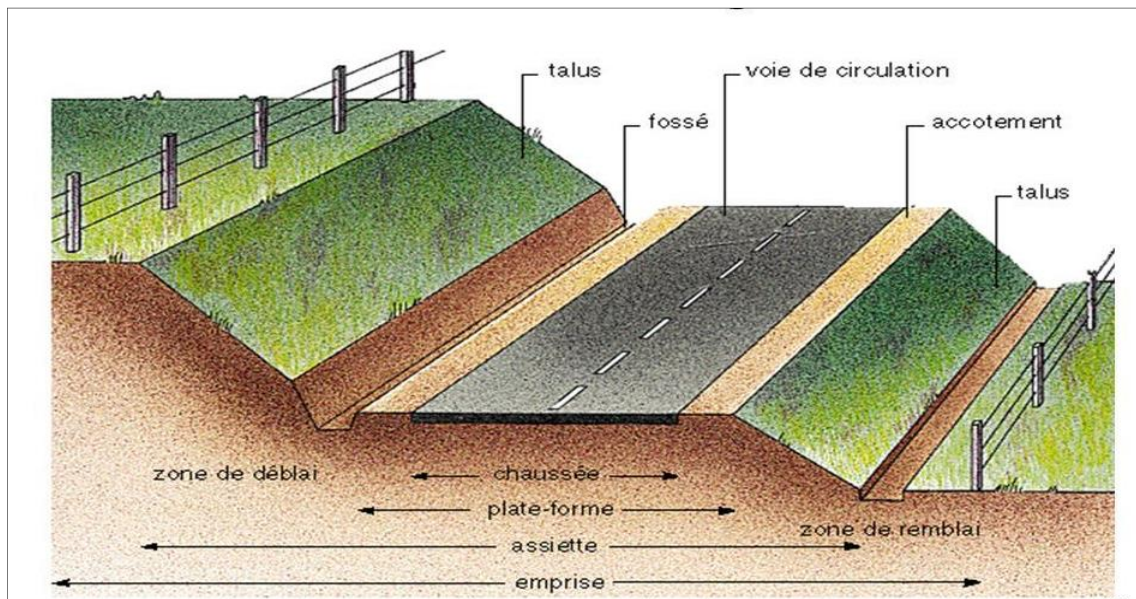


Figure I. 7 - Exemple de profil en travers-type (Cas général) [8]

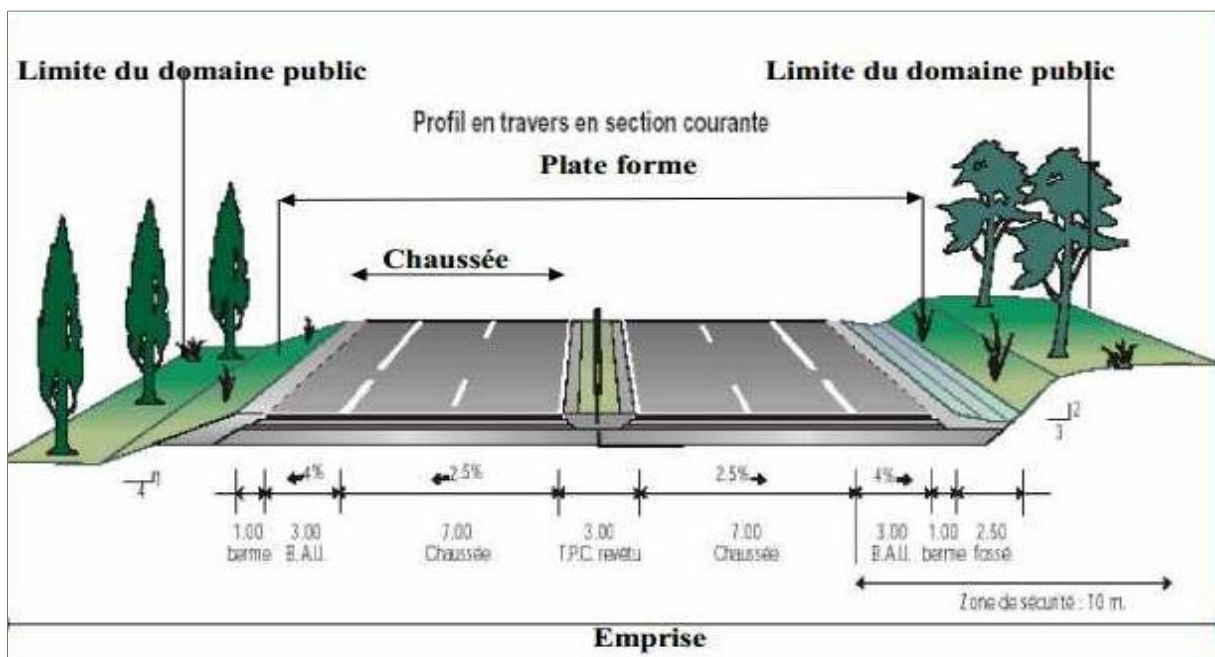


Figure I. 8 - Exemple de profil en travers-type en cas de dédoublement

I.4 Généralités sur les chaussées

Au sens géométrique, la chaussée est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. Mais, au sens structurel, c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges et surcharges afin de les transmettre, en toute sécurité, au sol support.

I.4.1 Rôle de la chaussée

La structure de chaussée a pour fonction de :

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

I.4.2 Exigences des chaussées

- Du point de vue structurel, on exige :
 - la durabilité et Résistance aux agressions dues au trafic et au climat.
- Du point de vue fonctionnel, on exige :
 - être uni, avoir une bonne adhérence, moins de bruit de roulement.
- Du point de vue économique, on exige :
 - un coût global acceptable et un entretien réduit.
- Du point de vue esthétique, on exige :
 - l'intégration au bâti environnant, couleur et luminosité.
- Du point de vue environnemental, on exige :
 - la préservation des ressources naturelles (relèvement initial, réutilisation en fin de vie, limitation des nuisances lors de la mise en œuvre.)

I.4.3 Descriptif des couches de chaussées

- Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches?

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

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

Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques décroissantes, du haut vers le bas.

Du bas vers le haut, on rencontre, en général, les couches suivantes (Figure I.9) :

- Sol support ;
- Couche de forme ;
- Couche de fondation ;

- Couche de base ;
- Couche de surface (couche de roulement et couche de liaison).

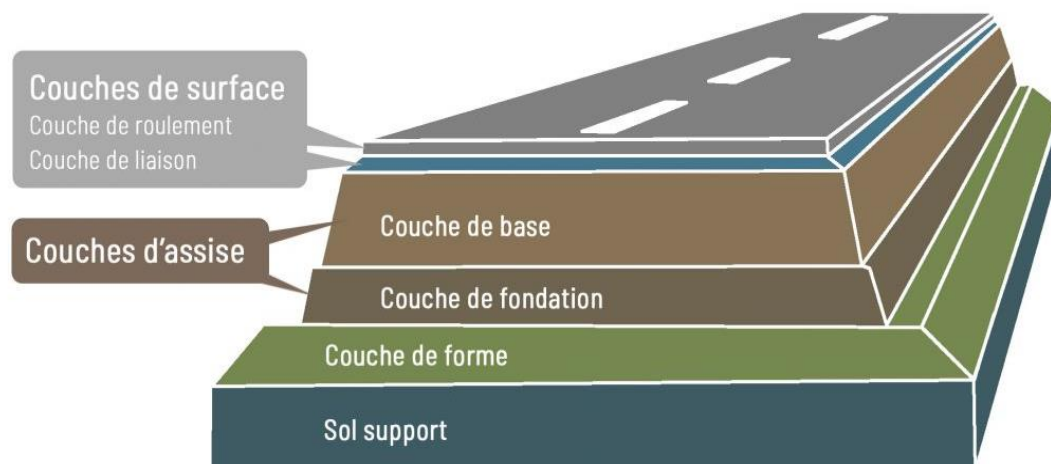


Figure I. 9 - Différentes couches de chaussées [9]

I.4.3.1 Couche de forme

C'est une couche qui constitue la plate-forme sur laquelle repose le corps de la chaussée. C'est une couche qui sert, comme son nom l'indique, à supporter les charges provenant du corps de la chaussée.

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

I.4.3.2 Couches d'assise

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

I.4.3.3 Couche de fondation

La construction de cette couche ne pose pas de problème particulier. Le plus souvent, la plupart des matériaux routiers conviennent, à l'exception des matériaux plastiques.

I.4.3.4 Couche de base:

La construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention particulière : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultant du trafic.

I.4.3.5 Couche de surface :

La couche de surface est généralement constituée d'une couche de roulement et une couche de liaison.

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

I.4.4 Différents types de chaussées

On distingue généralement trois types de chaussées : Chaussée souple, Chaussée rigide et Chaussée semi-rigide.

I.4.4.1 Chaussées souples

Les chaussées souples se caractérisent par le fait que, toutes les couches qui la composent ne présentent pas une très grande résistance ; la résistance est essentiellement assurée par l'épaisseur du corps de la chaussée (Figure I.10).

Sur les aires des chaussées fortement sollicitées, il faudra s'assurer de l'obtention de très bonnes performances mécaniques du matériau, en particulier, d'une bonne résistance au fluage, sous sollicitation tangentielle. Il faudra prévoir une protection de la surface de la chaussée.

La structure comporte une couverture bitumineuse mince, parfois réduite à un simple enduit superficiel, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités (GNT).

L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 à 60 cm.

Afin de bien assurer le transfert de contraintes entre couches superposées, les interfaces doivent être collées par des matériaux hydrocarbonés. Il est, de plus, fortement conseillé de choisir des matériaux hydrocarbonés pour la couche de base et la couche de liaison.

Dans le cas des chaussées, la couche de base est choisie en matériaux non liés, ayant des caractéristiques identiques à celles recherchées lors d'une utilisation pour chaussée routière.

Par ailleurs, les chaussées routières sont classées par rapport au trafic dont elles sont amenées à supporter durant leur vie de service. Les chaussées souples sont définies pour un trafic « T_i » inférieur ou égal à « T₂ ». En effet, leur faible rigidité structurale ne leur permet de résister qu'aux faibles trafics. A titre indicatif, pour un trafic T₂ = 200 PL/j, la chaussée est appelée à supporter 1.46×10^6 poids lourds sur une durée de vie de 20 ans. Le nombre élevé de répétitions du chargement nécessite une attention particulière au phénomène de fatigue et à l'évolution des déformations permanentes. Le trafic est donc un facteur indispensable pour le dimensionnement des chaussées.

Du fait de l'absence de cohésion dans les couches de l'assise des chaussées souples et de la faible épaisseur de la couche de roulement, celles-ci sont flexibles. Sous l'action d'une charge roulante, la couche de roulement subit, à sa base, des efforts répétés de traction par flexion, ce qui conduit à la dégradation par fatigue de la couverture bitumineuse avec l'apparition de fissures isolées.

La faible rigidité de l'assise conduit à une transmission des efforts verticaux au sol support avec une diffusion latérale relativement faible. Ceci provoque l'apparition des déformations plastiques, dont le cumul augmente avec le trafic conduisant, ainsi, à l'apparition d'ornières en surface qui détériorent la qualité du profil en long de la chaussée. Selon les travaux réalisés par Larsen [10] les déformations irréversibles - cause majeure de l'apparition de l'orniérage – se concentrent principalement dans le sol support et/ou l'assise de la chaussée.

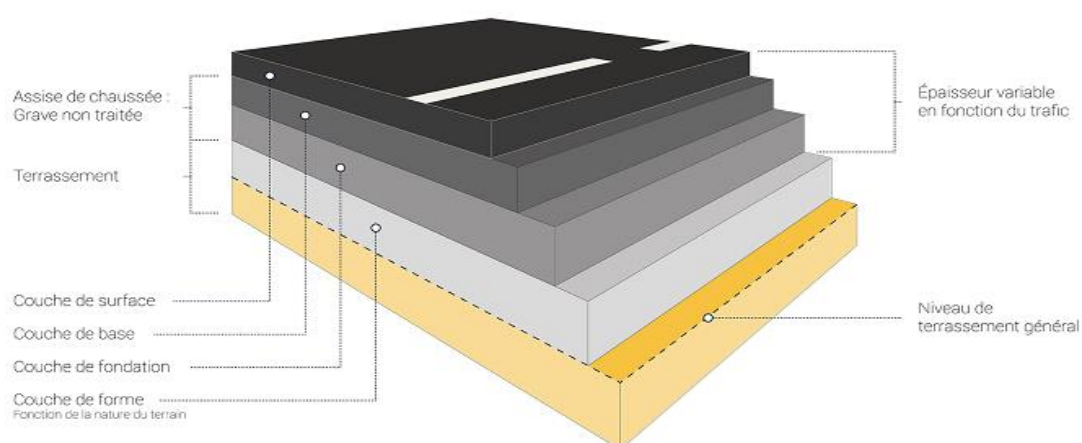


Figure I. 10- Structure d'une chaussée souple

I.4.4.1.1 Mode de fonctionnement de la chaussée souple

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

I.4.4.1.1.1 Rôle de la couche de revêtement

La couche de roulement assure les missions suivantes :

- L'imperméabilité du corps de la chaussée pour éviter la pénétration des eaux de pluie ;
- Contribue à la répartition des charges appliquées ;
- Assure l'adhérence des pneus à la chaussée et présente une surface confortable et sécuritaire ;
- Éliminer la perte des granulats et la poussière.

I.4.4.1.1.2 Rôle de la couche de fondation

La couche de fondation assure les missions suivantes :

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

I.4.4.1.1.3 Rôle de la couche sous-fondation

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

I.4.4.1.2 Avantages des chaussées souples

En général, les chaussées souples présentent les avantages suivants :

- C'est une structure économique ;

- Un module d'élasticité « E » plus élevé : de 1000 à 15000 MPa ;
- Un dosage en liant faible (3 à 6%).

I.4.4.1.3 Inconvénients des chaussées souples

En général, les chaussées souples présentent les inconvénients suivants :

- Une faible rigidité ;
- Une épaisseur élevée ;
- Un module dépendant de la température (à 40°C, on a 1/10 du module à 10°C [11]).

I.4.4.2 Chaussées rigides

Les chaussées rigides sont des structures comportant, en couche supérieure, des matériaux traités au liant hydraulique. La nature du béton hydraulique fait que la rigidité des dalles, qui constituent la partie supérieure de la chaussée, protège le sol-support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce, en premier lieu dans la dalle, par excès de contraintes [12].

Il s'agit, d'une part, des chaussées rigides qui répartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support, au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement. Du fait de cette large répartition, le sol-support est peu contraint, de sorte que la ruine de la chaussée s'amorcera ici, non dans le sol support, mais dans la dalle, lorsque celle-ci, perdant ses caractéristiques mécaniques par effet de fatigue, ne pourra plus résister à la déformation due au trafic.

Il s'agit, d'autre part, des chaussées souples qui superposent, au sol-support, plusieurs couches de matériaux offrant de meilleures qualités mécaniques, sans pour autant, être supposées, davantage, capables de travailler à la traction. Vulnérables, là où les qualités mécaniques sont les plus faibles, ces chaussées sont destinées à périr, non par usure, de leurs constituants, mais par rupture de leurs sols-supports.

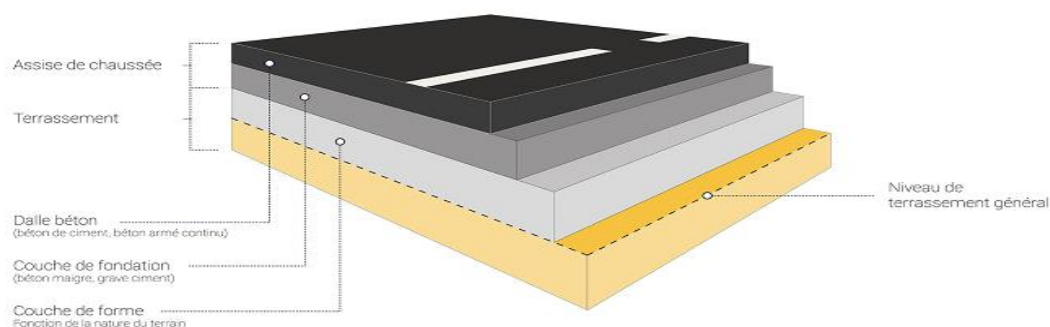


Figure I. 11- Structure d'une chaussée rigide

I.4.4.2.1 Mode de fonctionnement

Compte tenu du module d'élasticité élevé, les efforts dus au trafic sont repris en flexion par la couche de béton. Ainsi, les contraintes de compression transmises au support de chaussée sont faibles tant que les conditions d'appui des dalles restent bonnes.

La fissuration due au retrait de prise et thermique est contrôlée et localisée, soit par la réalisation de joints sciés formant des dalles courtes, soit par des armatures métalliques longitudinales positionnées au niveau de la fibre neutre [13]

I.4.4.2.1.1 Rôle du revêtement

Le revêtement a pour rôle :

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

I.4.4.2.1.2 Rôle de la couche de fondation

La couche de fondation a pour rôle :

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

I.4.4.2.1.3 Rôle de la sous-fondation

La couche de sous-fondation a pour rôle :

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

I.4.4.2.2 Différents types des chaussées rigides

I.4.4.2.2.1 Chaussées à dalle non armées et non goudonnées « chaussée non articulées et non renforcées » :

Pour ce type de chaussée, la fissuration spontanée est réduite par la réalisation des joints. Ces joints peuvent être soit moulés dans le béton, soit sciés dans le béton jeune (Figure I.12). On distingue les joints longitudinaux de construction et de retrait puis les joints transversaux de construction et de retrait bien que les joints permettent de réduire significativement les problèmes de fissuration, ils constituent néanmoins des points faibles pour ce type de chaussée.

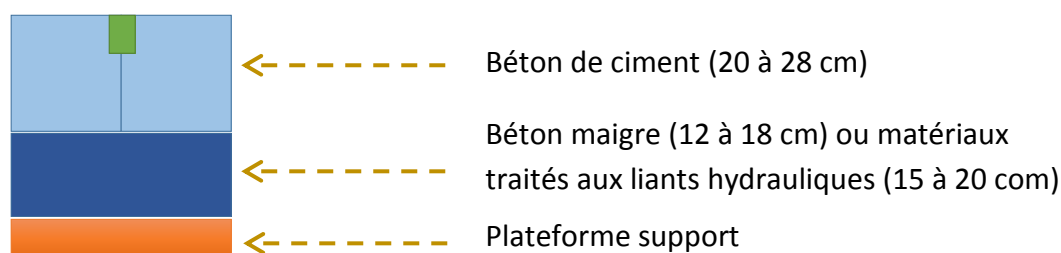


Figure I. 12 - Chaussées à dalles non armées et non goudonnées

I.4.4.2.2.2 Chaussées à dalle non armées, à joints goudonnées « chaussées articulées et non renforcées »

L'implantation des goujons au droit de chaque joint permet l'amélioration du comportement des joints transversaux et du transfert de charge entre dalles. Les goujons sont constitués par des barres d'acier lisse, mis en place dans le béton, soit par insertion avec vibration dans le béton frais, soit posés à l'avance sur des berceaux (Figure I.13).

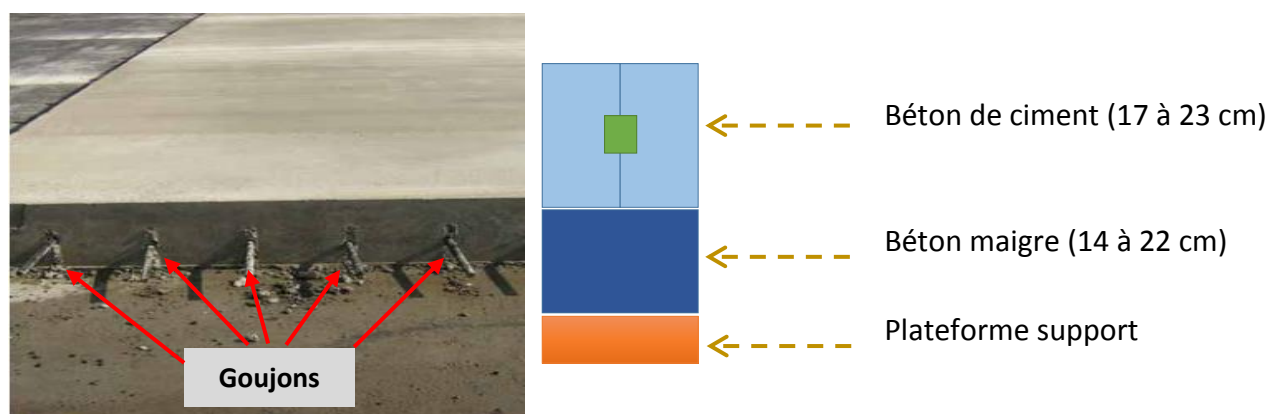


Figure I. 13 - Chaussées à dalles non armées et à joints goudonnées

I.4.4.2.2.3 Chaussées à dalle armées et joints goujonnées « chaussées articulées et renforcées »

Les armatures de la dalle permettent de reprendre les efforts de traction dus aux passages des véhicules (Figure I.14).

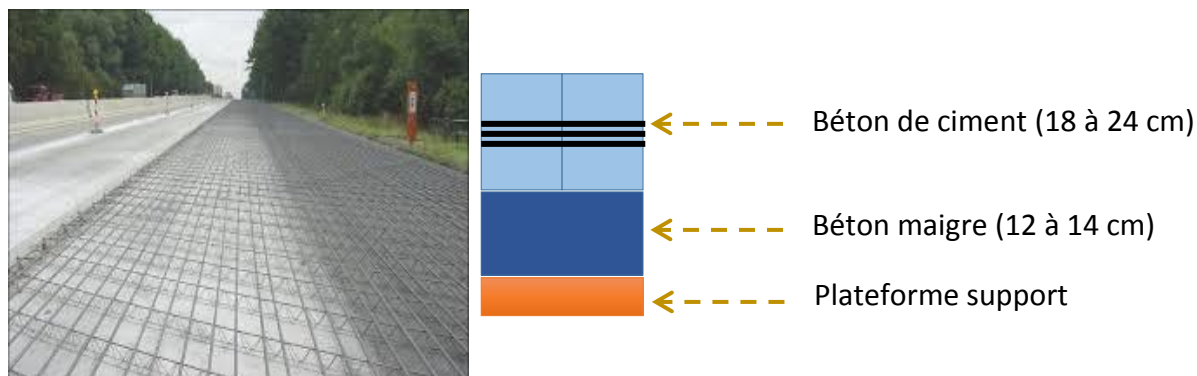


Figure I. 14 - Chaussées à dalles armées et à joints goujonnées

I.4.4.2.2.4 Chaussées en béton armé continu « chaussées continues et renforcées »

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

I.4.4.2.3 Avantages des chaussées rigides

- Module d'élasticité « E » très élevé : E de 35000 à 40000 MPa ;
- Réduction de l'épaisseur ;
- Durabilité élevée ;
- La bonne répartition des charges sur le sol support ;
- La bonne tenue à la fatigue

I.4.4.2.4 Inconvénients des chaussées rigides

- Fissures possibles ;
- Pas d'utilisation en pente.

I.4.4.3 Chaussée semi-rigide

Chaussée avec une couche de surface hydrocarbonée reposant sur une ou plusieurs couches traitées aux liants hydrauliques (MTLH). L'épaisseur est de 20 à 50 cm, jouant un rôle structurel déterminant (ou couches traitées aux liants hydrocarbonés, qui, par leur rigidité ou épaisseur, ne peuvent être considérées structurellement comme souples).

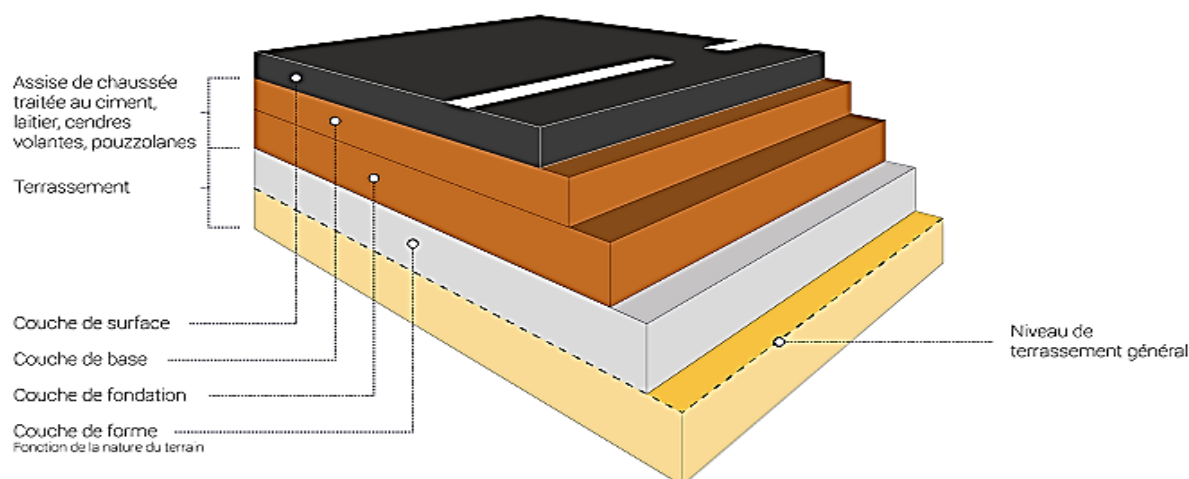


Figure I. 15- Structure d'une chaussée semi-rigide

I.4.4.3.1 Mode de fonctionnement

La grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée.

L'assise traitée subit des contraintes de traction par flexion élevées. Dans le cas d'une assise réalisée en deux couches, les efforts de traction maximum se produisent à la base de la couche la plus profonde, lorsque l'interface entre la couche de base et la couche de fondation est collée. Si cette interface est décollée ou glissante, les deux couches sont sollicitées en traction à leur base.

Ces assises sont surjetées aux retraits (phénomène de prise et thermique), qui provoquent une fissuration transversale remontant au travers de la couche de roulement. Lorsqu'une couche de liaison est prévue, elle permet de retarder la montée des fissures de retrait vers la surface ^[13].

I.5 Comparaison entre les trois types de chaussée « Souple, rigide et semi-rigide » ^[13]

Les types de chaussées diffèrent les uns des autres (Tableau I.1) :

Tableau- Comparaison entre chaussée souple, rigide et semi rigide

Aspects de comparaison	Type de chaussée		
	Chaussée souple	Chaussée rigide	Semi rigide
Domaine d'utilisation	Préférable pour les accotements de piste	Préférable pour les aires de stationnement des aérodromes fréquentés par un trafic commercial	Plus durable que les chaussées souples
Durabilité	Vieillissent plus rapide que les chaussées rigides	Vieillissent moins rapide que les chaussées souples	Moins durable que les chaussées rigides
Entretien	Moins difficiles à renforcer	Plus difficiles à renforcer	Entretien plus facile que la chaussée rigide
Economie	Préférables sur les sols supports susceptibles de tassements	Plus économiques à la construction que les chaussées souples sur les sols de résistance faible, mais homogène	Plus cher que les chaussées souples et moins cher que les chaussées rigides
Visibilité	Mauvaise visibilité de nuit	Bonne visibilité de nuit	Bonne visibilité de nuit

I.6 Conclusion

A partir de ce qui a été cité ci-avant, on a, généralement, trois types de chaussées. Ces types diffèrent en termes de composition et d'épaisseur, et chacun a certaines caractéristiques avec des avantages et des inconvénients. Certains facteurs doivent donc être pris en compte dans le choix du type approprié à utiliser selon les besoins afin de garantir le meilleur résultat, notamment, à long terme.

Chapitre II

II. DÉGRADATION DES CHAUSSÉES ROUTIÈRES

II.1 Introduction

Sous l'action des charges de trafic, les conditions climatiques et le vieillissement des matériaux, les chaussées routières se dégradent. Ces dégradations peuvent être de différents ordres et sont la conséquence de problèmes d'origines diverses. La dégradation est définie comme étant le délabrement qui résulte du manque de soin ou de l'action du temps, du trafic et de la variation de température.

II.2 Différents types de dégradations des chaussées souples [14]

En pratique, différents types de dégradations peuvent être rencontrés dans le cas des chaussées routières :

II.2.1 Déformations

Les déformations sont des dépressions ou ondulations de la route qui prennent généralement naissance dans le corps de chaussée ou dans le sol support et qui se manifestent sur la couche de roulement. On les différencie suivant leur forme et leur localisation. Dans ce type de dégradations, on distingue : les affaissements, les flaches, les bourrelets, les ornières et plus rarement les tôles ondulées.

II.2.1.1 Affaissements

Ce sont des dépressions très prononcées et souvent assez étendues, localisées soit à la partie comprise entre le bord et la bande de roulement de rive ou à gauche ou dans la bande de roulement de rive (Figure II.1). Ces derniers prennent le nom de flaches lorsqu'ils présentent une forme circulaire.



Figure II. 1 - Affaissement

Causes probables de l'apparition d'un affaissement dans une chaussée routière :

- Un sous-dimensionnement du corps de chaussée (épaisseurs insuffisantes).
- Des tassements différentiels (défaut de portance du sol).
- Une zone de déblai argileux ou secteurs marécageux.
- Un drainage insuffisant.
- Une chaussée non butée en rive.
- La présence d'eau consécutive à la perméabilité des couches supérieures.
- La présence de matériaux inadéquats ou mal compactés.

II.2.1.2 Ornière (frayée)

C'est une déformation permanente longitudinale de la chaussée fréquente dans les sentiers des roues des véhicules, pouvant affecter, soit la couche de roulement, soit le corps de chaussée et pouvant s'étendre sur d'assez grandes ou petites longueurs (Figure II.2).



Figure II. 2 - Orniérage

Causes probables de l'apparition d'une ornière dans une chaussée routière :

- Un sous-dimensionnement des couches inférieures.
- Un compactage insuffisant lors de la réalisation.
- Instabilité des matériaux de la couche de base ou de la couche de roulement.
- Une perte de portance des couches sous-jacentes du revêtement due à un mauvais drainage ou l'action du dégel.
- Déformation plastique des enrobés (fluage).

II.2.1.3 Fissures de fatigue

Les fissures sont considérées comme un des plus grands modes de dégradation des chaussées. Une fissure est une ligne de rupture apparaissant à la surface de la chaussée (Figure II.3) ; elle est aussi définie comme une dégradation qui consiste en de petites fentes.



Figure II. 3 - Fissures de fatigue

Causes probables de l'apparition d'une fissure dans une chaussée routière:

- Une mauvaise construction du joint longitudinal entre deux bandes d'enrobés.
- Un mouvement différentiel dans le cas d'élargissement de la chaussée.
- La fatigue de la chaussée due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic ou une portance de sol support insuffisante.
- Mauvaises caractéristiques du sol : tassement, retrait du sol argileux à la suite d'une longue période de sécheresse.

II.2.1.4 Fissures longitudinales des rives :

Ce sont des fissures fines parallèles à l'axe de la route et apparaissant le plus souvent en rive (Figure II.4).



Figure II. 4 - Fissure longitudinale des rives

Causes probables de l'apparition d'une fissure longitudinale dans une chaussée routière:

- Des conditions de trafic particulières.
- Un mauvais assainissement.
- Une insuffisance de la portance du sol support.

II.2.1.5 Fatigue de la chaussée (Faïençage)

C'est une fissuration à mailles, plus ou moins fines, se produisant dans les couches de surface (Figure II.5). Le faïençage est une traduction d'un phénomène de fatigue intense de la chaussée, notamment des couches supérieures en matériaux bitumineux, ou à un manque d'imperméabilité de la couche de surface ou des remontées d'eau dans le corps de la chaussée.



Figure II. 5 - Faïençage

Causes probables :

- Couche de roulement rigide sur une couche de base très déformable.
- Mauvais accrochage de la couche de surface à la couche de base.
- Vieillissement et fatigue de la chaussée.
- Effets thermiques dans la couche de roulement.
- Durcissement et retrait de l'enrobé.

II.2.1.6 Flaches

Une dépression localisée en creux de la surface de la chaussée, généralement de forme arrondie avec une longueur inférieure à 5 m (Figure II.6).



Figure II. 6 - Flaches

Causes probables de l'apparition de flaches dans une chaussée routière :

- Un défaut de surfacage lors de la mise en œuvre de la couche de roulement.
- Un défaut de compactage de la couche de roulement ou de la couche de base ponctuellement insuffisant.
- Tassement des couches inférieures en un point sensible (présence de matériaux sans consistance...).
- Un drainage et un assainissement déficient.

II.2.1.7 Bourrelets longitudinaux

Ce sont des déplacements horizontaux du revêtement de la chaussée, créant un renflement allongé dans la direction du trafic de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée. Ils sont généralement accompagnés d'ornières (Figure II.7).



Figure II. 7 - Bourrelets longitudinaux

Causes probables de l'apparition de Bourrelets longitudinaux dans une chaussée routière :

- Fluage des enrobés sous des efforts tangentiels importants (zone de démarrage brutal).
- Fatigue de la chaussée due au passage de véhicules trop lourds.
- Défaut de compactage à la construction.
- Entrée d'eau entraînant une diminution de la portance du corps de chaussée.
- Qualité inadéquate du revêtement bitumineux.
- Manque de liaison entre le revêtement bitumineux et la couche sous-jacente.

II.2.1.8 Fissures transversales

Ce sont des fissures sensiblement perpendiculaires à l'axe de la chaussée, isolées ou périodiques, d'espacement variable (de 5 à 20 m), intéressant tout ou une partie de la largeur de la chaussée (Figure II.8).



Figure II. 8 - Fissures transversales

Causes probables de l'apparition des fissures transversales dans une chaussée routière:

- Un défaut de mise en œuvre de la couche de roulement (arrêt et reprise des travaux de pose d'enrobé).
- Le vieillissement du liant ou une sensibilité du bitume aux variations thermiques.
- La fatigue avancée de la chaussée due à la répétition des efforts ou un sous dimensionnement d'une ou de plusieurs couches.
- La diminution de portance du sol support.
- L'infiltration d'eau dans le sol.

II.2.1.9 Nid de poule

C'est une désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables, créée par enlèvement des matériaux de chaussée (Figure II.9).



Figure II. 9 - Nid de poule

Causes probables de l'apparition des nids de poules dans une chaussée routière:

- Une épaisseur insuffisante du revêtement.
- Une chaussée fortement sollicitée par le trafic lourd.
- Un défaut localisé de la couche de roulement ou de base lors de la fabrication ou de la mise en œuvre des matériaux.
- Un mauvais drainage ou drainage inexistant.
- L'arrachement des matériaux sous l'effet mécanique.

II.2.1.10 Pelade

C'est un décollement (arrachement) de la couche de surface par plaque, plus au moins grande (Figure II.10).



Figure II. 10 - Pelade

Causes probables de l'apparition des pelades dans une chaussée routière:

- Une mauvaise adhésion entre la couche de surface et la couche de base.
- Une épaisseur de la couche de roulement insuffisante.
- Un défaut d'accrochage de la couche de roulement (manque de liant d'accrochage...).

II.2.1.11 Dentelles de rives

Encore appelées *épaufrures*, c'est une dégradation qui se manifeste par l'érosion de la couche de roulement à partir des bords, causant ainsi une nette réduction de la largeur de chaussée jusqu'à sa disparition même (Figure II.11).



Figure II. 11 - Dentelles de rives

Causes probables de l'apparition des dentelles de rives dans une chaussée routière:

- Un mauvais drainage.
- L'absence de butée latérale.
- Un compactage insuffisant des rives.
- Une chaussée trop étroite : les véhicules circulent sur les accotements.
- Les arrêts fréquents de véhicules sur les accotements.
- Une mauvaise courbure des virages : les virages trop serrés obligent les conducteurs à emprunter les accotements entraînant une usure transversale.
- Un vieillissement accentué du revêtement.

Dans la wilaya de Laghouat, et plus précisément dans la commune d'Oued Mourra, où se situe le projet que nous essayons d'étudier, la route est fréquemment exposée à des dégradations bien connus et récurrents, parmi lesquels nous citons :

- **Fatigue de la chaussée.**
- **Fissures de fatigue.**
- **Ornière (frayée)**
- **Faïençage.**
- **Dentelles de rives.**
- **Nid de poule.**

II.3 Différents types de dégradations des chaussées rigides [15]

Dans le cas du recours à l'utilisation d'une chaussée rigide, nous sommes également confrontés à certaines détériorations. Le catalogue des dégradations de surface des chaussées (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées LCPC, 1998) rassemble la totalité des dégradations, recensées par famille de structure, avec leurs différents niveaux de gravité.

II.3.1 Type de Déformation**II.3.1.1 Fissure transversale**

C'est une fissure sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée, isolée ou périodique, d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la dalle (Figure II.12).

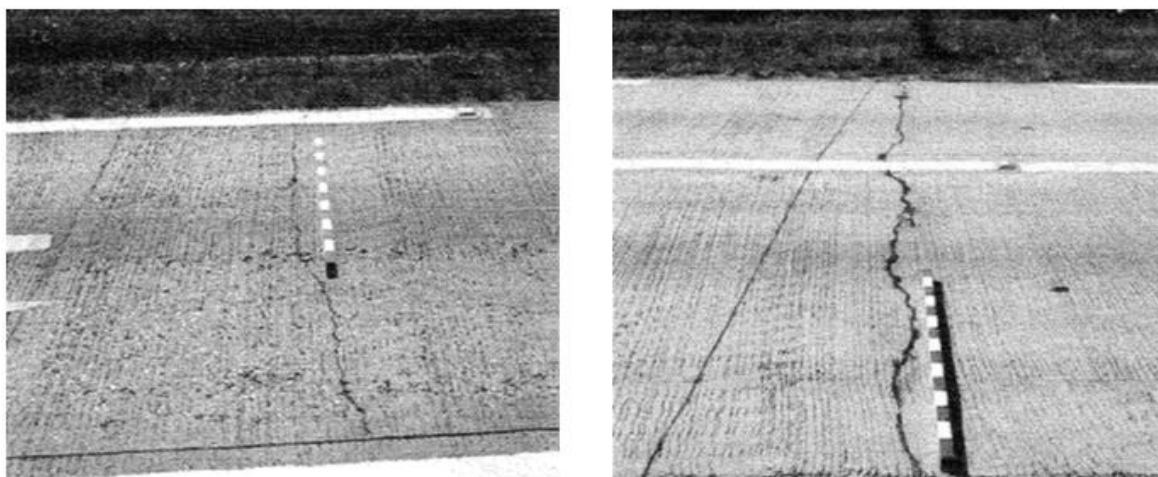


Figure II. 12 - Fissure transversale d'une chaussée rigide

II.3.1.2 Fissure longitudinale

C'est une fissure sensiblement parallèle à l'axe de la chaussée, non limitée à la bande de roulement (Figure II.13).

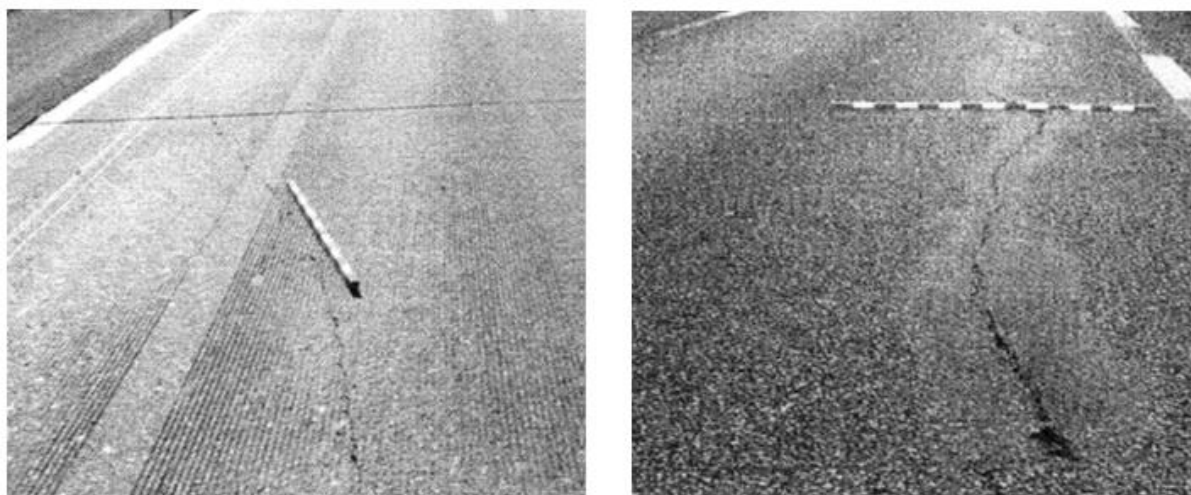


Figure II. 13 - Fissure longitudinale d'une chaussée rigide

II.3.1.3 Fissure oblique

C'est une cassure de dalle rejoignant deux côtés adjacents et située à plus de 50 cm du coin de dalle (Figure II.14).

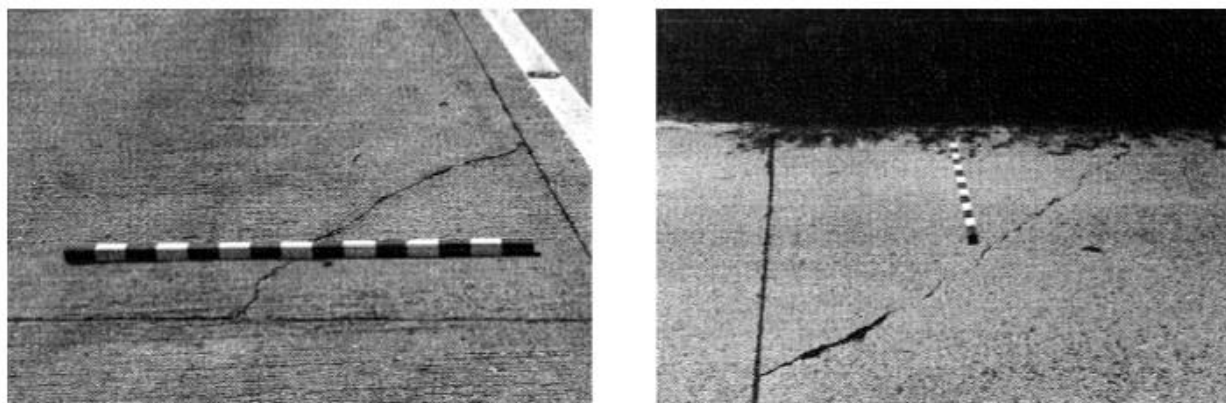


Figure II. 14 - Fissure oblique d'une chaussée rigide

II.3.1.4 Cassure d'angle

C'est une cassure de dalle rejoignant deux côtés adjacents et située à moins de 50 cm du coin de la dalle (Figure II.15).

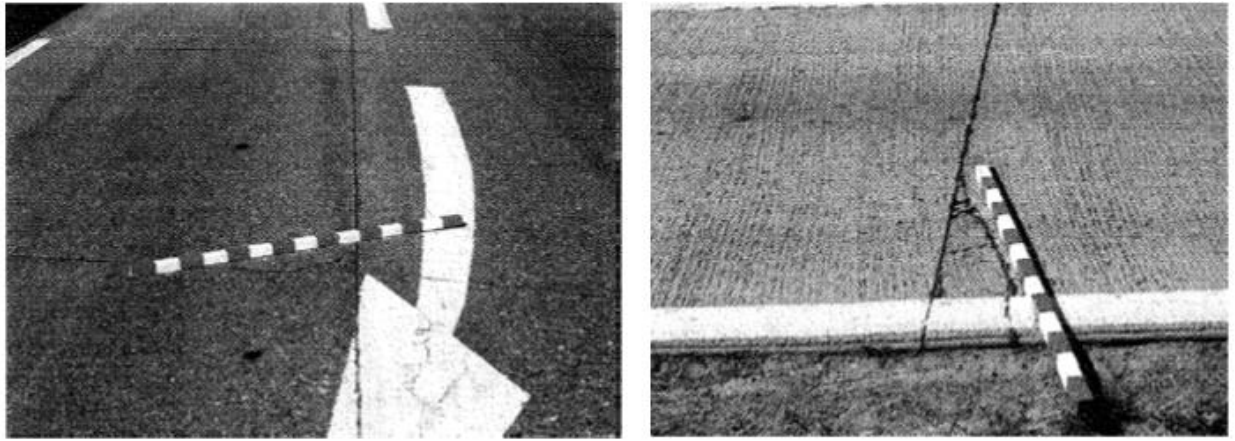


Figure II. 15 - Cassure d'angle d'une chaussée rigide

II.3.1.5 Fissures en « Balles »

Ce sont des fissures longitudinales et transversales se rejoignant pour former un réseau ou un maillage (Figure II.16).

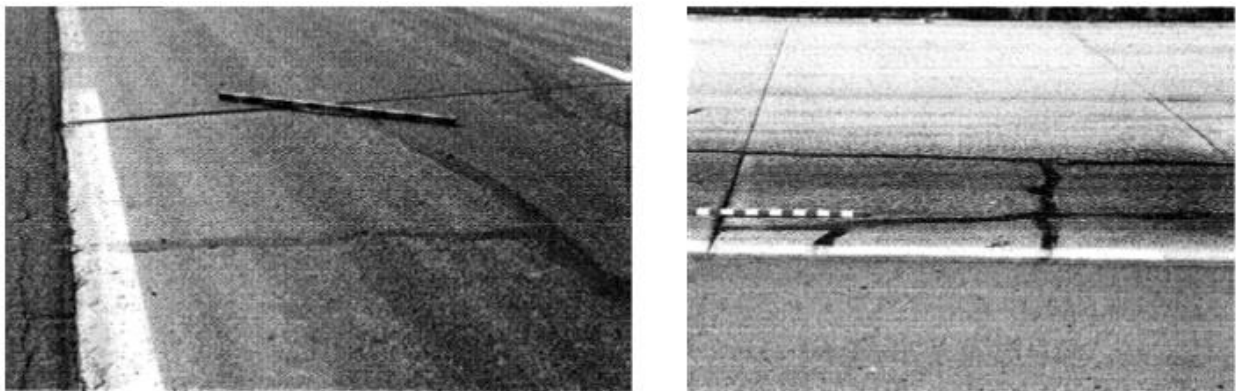


Figure II. 16 - Fissure en « Balles » d'une chaussée rigide

II.3.1.6 Épaufrure

C'est un effritement du bord de la dalle au niveau du joint (Figure II.17).

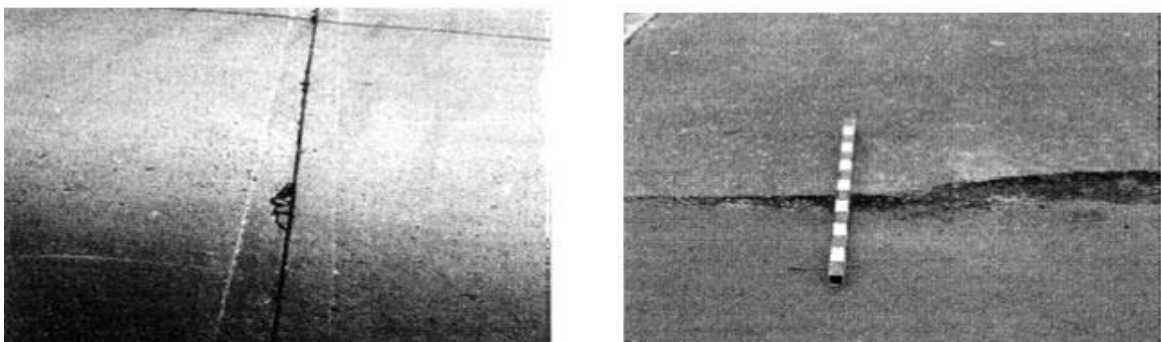


Figure II. 17 - Épaufrure dans une chaussée rigide

II.3.1.7 Décalage de joint (de dalle ou de bord de fissure)

C'est une dénivellation verticale entre les deux lèvres d'un joint de dalle ou de bord de fissure (Figure II.18).

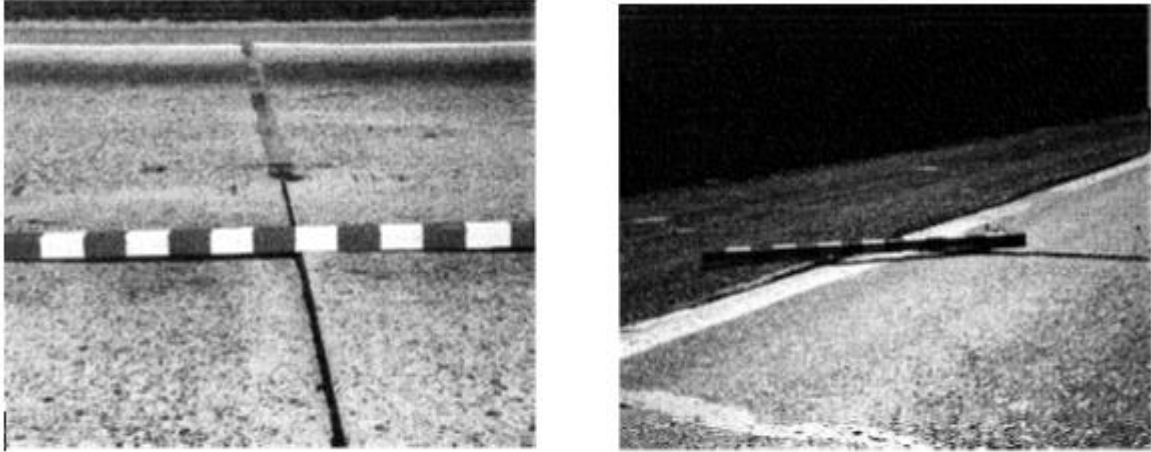


Figure II. 18 - Décalage de joint dans une chaussée rigide

II.3.1.8 Flambement

C'est le renflement localisé par mise en compression d'un joint de dalle (Figure II.19).



Figure II. 19 - Flambement d'une chaussée rigide

II.3.1.9 Ecaillage

C'est la désintégration superficielle localisée de la surface de béton (Figure II.20).

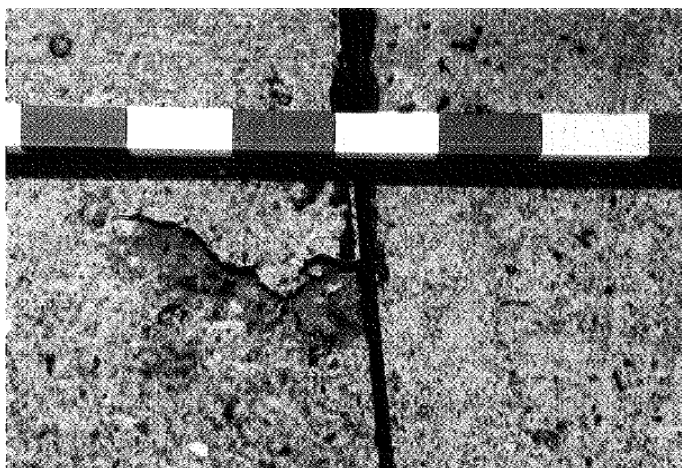


Figure II. 20 - Ecaillage dans une chaussée rigide

II.3.1.10 Nid de poule

C'est une cavité circulaire créée à la surface de la chaussée par des départs de matériaux (Figure II.21).

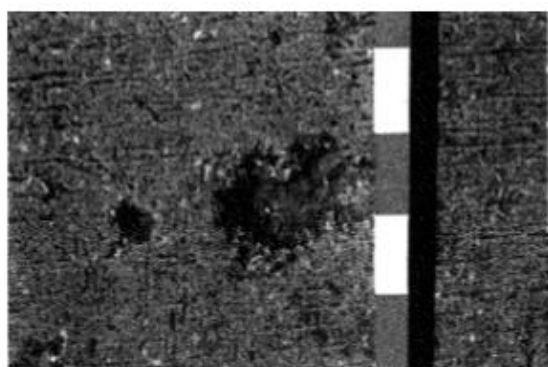


Figure II. 21 - Nid de poule dans une chaussée rigide

II.3.1.11 Rejet de pompage

C'est l'éjection de matériaux (eau, boue...) à la surface de chaussée lors de passages de véhicules lourds, au niveau des fissures ou des joints (par suite de l'existence de cavités sous les dalles) (Figure II.22).



Figure II. 22 - Rejet de pompage dans une chaussée rigide

Pour les chaussées en dalles de béton, chaque type de dégradation comporte, par ailleurs, l'explication des causes probables, l'évolution prévisible de la dégradation, les principaux paramètres susceptibles d'influencer l'évolution.

II.3.2 Causes probables

Les causes probables des dégradations des chaussées en béton peuvent être résumées comme suivant :

- Rupture par fatigue des dalles de béton sous l'effet de l'accumulation de contraintes de traction-flexion excessives.
- Mauvais appui de la dalle.
- Mauvais appui du coin de la dalle.
- Mauvais drainage.
- Pénétration de l'eau dans le corps de chaussée.
- Manque de cohésion et sensibilité à l'eau du support.
- Inclusion accidentelle, lors de la fabrication ou de la mise en œuvre, d'éléments étrangers au matériau de construction (boule d'argile, papier, caoutchouc, morceau de bois ou de métal, feuilles d'arbres).
- Compression d'un point dur dans le joint.
- Action du gel et des produits anti gel.
- Chocs mécaniques.
- Chocs thermiques sur pistes aéronautiques.

- Blocage des joints par des corps étrangers ne permettant plus la dilatation du béton.
- Glissement des dalles dans une forte rampe.
- Erodabilité de la fondation.
- Mauvais transfert des charges au niveau des joints transversaux.
- Portance et/ou cohésion insuffisante du sol support.
- Mouvements de matériaux sous les deux bords du joint dus à un phénomène de pompage.
- Joints bloqués empêchant la dilation thermique et créant une compression au niveau des bords de la dalle qui entraîne leur effritement.
- Evolution de l'endommagement par excès de contraintes de traction-flexion à la base des dalles. L'origine de cet excès de contrainte est une sous-épaisseur des dalles associée à une portance insuffisante du support qui peut être liée à un défaut de drainage ou exceptionnellement à des phénomènes de gel et de dégel.

II.4 Conclusion :

En conclusion, la compréhension des différents types de dégradation qui peuvent survenir dans les chaussées souples et rigides est cruciale pour une gestion et un entretien efficaces des chaussées. Les chaussées souples et rigides sont soumises à différentes formes de détérioration, ce qui peut avoir un impact négatif sur leurs performances, leur durabilité et leur durée de vie. Un entretien et des réparations périodiques sont, généralement, inévitables. Différentes techniques de réparation et d'entretien sont possibles, selon bien sûr, le type de dégradation.

Chapitre III

III. CALCUL DU DIMENSIONNEMENT

III.1 Introduction

Le calcul de dimensionnement c'est la recherche de la structure de la chaussée qui répond aux plusieurs facteurs : climat, trafic, poids lourd et la classe du sol support, on les appelle les données d'entrées.

Plusieurs méthodes à suivre pour effectuer le dimensionnement des chaussées, mais elles ont toujours le même objectif et elles nous déterminent les couches du corps de chaussée.

L'objectif de ce dimensionnement est donc la recherche d'une structure adéquate, économique et résistante aux sollicitations de trafic, condition climatique, effet gel-dégel et les caractéristiques du sol.

En effet ce chapitre présente :

- Premièrement : la zone du projet (Wilaya de Laghouat, ville d'Aflou et les conditions climatiques).
- Deuxièmement : l'étude géométrique du tracé selon les normes adoptées.
- Troisièmement : le calcul de dimensionnement du corps de la chaussée de notre projet par plusieurs méthodes afin de faire sortir une structure convenables pour les deux types de chaussée, soit souple et rigide.

III.2 Présentation du projet d'étude

III.2.1 Présentation de La wilaya de Laghouat et la Ville d'Aflou

- **Laghouat** est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 455602 habitants sur une superficie de 35 413 km². La densité de population de la Wilaya de Laghouat est donc de 12,9 habitants par km².

La wilaya est limitée géographiquement par plusieurs autres wilayas, comme illustré dans la figure (III.1) :

- Au nord, par la wilaya de Tiaret,
- À l'est, par la wilaya de Djelfa,
- À l'ouest, par la wilaya d'El Bayadh
- Et au sud, par la wilaya de Ghardaïa



Figure III. 1 - Carte de la wilaya de Laghouat [16]

- **Aflou** est une commune de la wilaya de Laghouat. C'est l'une des premières daïras du pays et qui a connu d'importants événements durant la guerre de libération nationale. La ville d'Aflou se situe à 110km du chef-lieu de la wilaya.



Figure III. 2 - Situation de la commune d'Aflou sur carte de Laghouat [16]

III.2.2 Conditions climatiques

Le climat de la wilaya de Laghouat comporte trois zones climatiques différentes selon la température, la quantité de pluie et de neige :

- Le côté ouest, d'Oued Morra à Gultat Sidi Saad, est la zone climatique 2, où la quantité de précipitations varie entre 350 et 600 mm/h. Quant aux températures, elles sont élevées ; en été, elles sont basses et descendent en dessous de zéro en hiver, ce qui se traduit par la formation de glace.

- Au nord de Laghouat, on a la zone climatique 3 ; elle est représentée par une quantité fluctuante de précipitations comprises entre 100 et 350 mm/h.
- Au sud de Laghouat, cette région est dominée par la zone climatique 4, car caractérisée par la sécheresse tout au long de l'année.

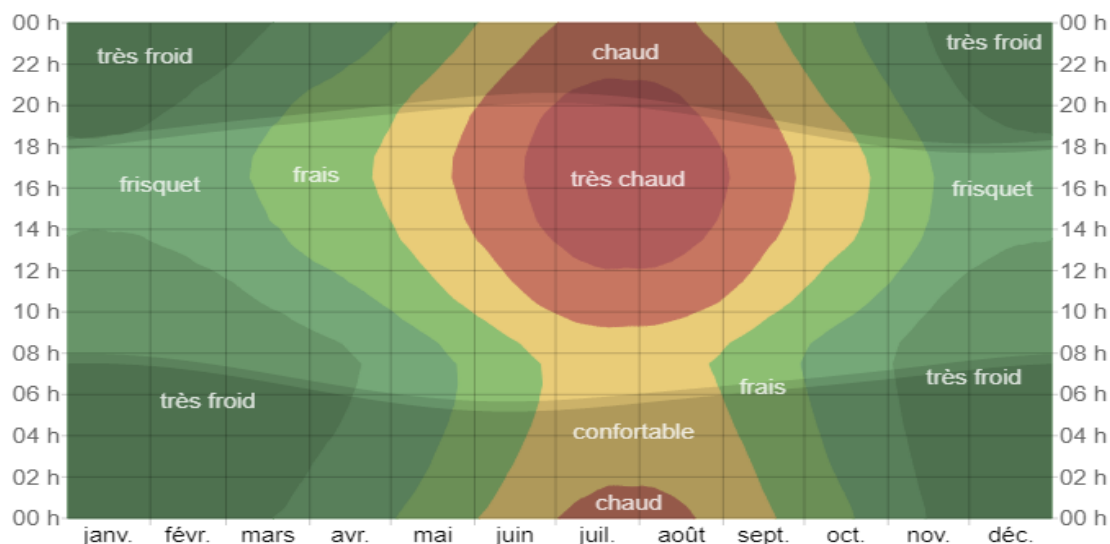


Figure III. 3 – Zones climatiques de la région d'Aflou [17]

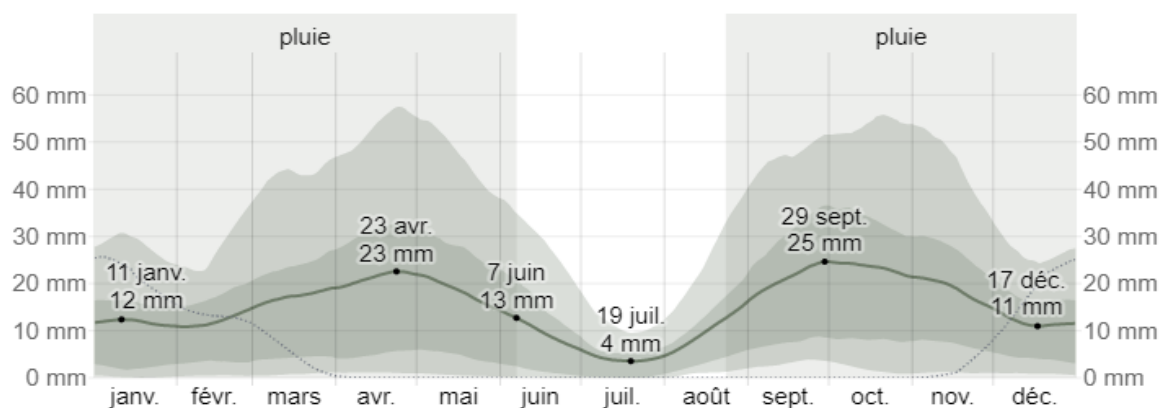


Figure III. 4 - Pluviométrie mensuelle moyenne à Aflou [17]

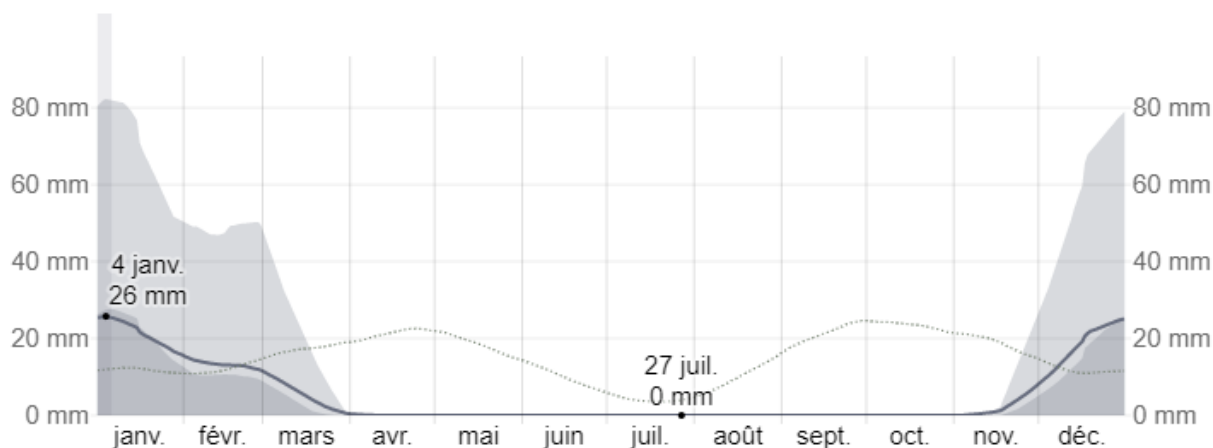


Figure III. 5 - Chute de neige mensuelle moyenne à Aflou

III.2.3 Infrastructure routière

L'infrastructure de la wilaya de Laghouat comporte un **réseau routier** important composé de plusieurs catégories et différents types de voie ; on y trouve des routes nationales, des chemins de wilaya, des chemins communaux et des pistes agricoles.

Tableau III. 1 - Réseau routier revêtu de la wilaya de Laghouat [18]

Catégorie	Longueur sur réseau (km)	Section en double voie (km)	Proportion sur réseau global (%)
Route nationale RN	403	203	27.3
Chemins de wilaya CW	573	30	38.82
Chemin communaux CC	500	/	33.87
Total	1476	233	

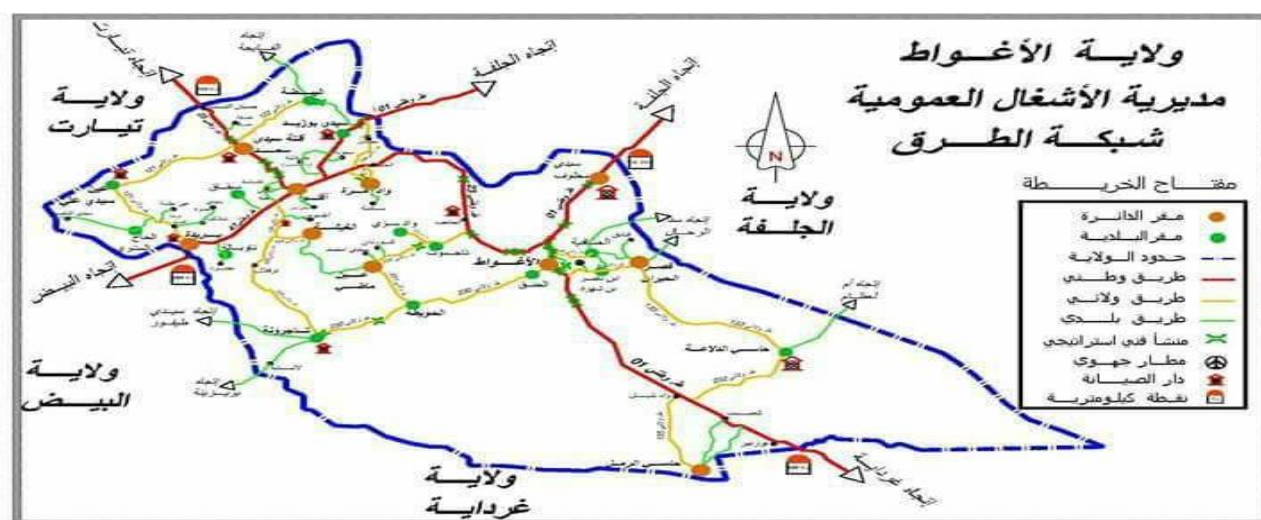


Figure III. 6 - Carte du réseau routier de la wilaya de Laghouat [18]

Les routes nationales font 27 % de la longueur totale du réseau :

- RN° 01 : fait partie de la transsaharienne et classée comme un axe autoroutier Nord-Sud ;
- RN° 23 : reliant Mostaganem (le port) et Tiaret aux villes du Sud ;
- RN° 47 menant vers EL Bayadh et la région sud-ouest ;
- RN° 1A : reliant la wilaya de Djelfa et la région nord (RN01).

III.3 Présentation de la RN23

III.3.1 Pourquoi le choix de la RN23

Nous avons choisi la RN23 comme un projet d'étude, pour les raisons suivantes :

1. L'importance de la route comme liaison sociale et économique ;
2. L'état du corps de la chaussée touché par les conditions climatiques ;

3. Le trafic important et la sollicitation agressive sur la chaussée.**III.3.1.1 Importance de la route**

La route prend sa naissance de la wilaya de Mostaganem, sur 398 km, jusqu'à la ville de Laghouat (RN01 au Pk 398), elle assure une liaison importante, sociale et économique (passant par 04 wilaya, port de Mostaganem, champ pétrolier de Hassi Messaoud)

III.3.1.2 Etat de la chaussée

La section de la route entre Aflou et Laghouat s'étale sur 110 km ; elle est composée de 2 voies dans la majorité du tracé. Les conditions climatiques agissent sur la chaussée d'une façon agressive, donc les opérations d'entretien sont toujours requises et les coûts d'entretien sont en état d'augmentation.

III.3.1.3 Trafic important

Puisque le trafic est important, il y a un taux de 20 à 25 % du poids lourd qui fait des sollicitations agressives sur la structure de la chaussée, les problèmes de dégradation sont signalés jours après jours.

Nous avons procédé à étudier ce projet d'une autre manière, en cherchant une solution pour minimiser les opérations et les coûts d'entretien par le remplacement de la chaussée souple par une chaussée rigide, afin de réduire les maladies auxquelles est exposée la route et assurer plus de durabilité et moins d'entretien.

III.3.2 Situation du projet

La tronçon, objet de cette expertise, se situe entre le Pk 316 et le Pk 320 sur 5 km, elle entre dans le cadre d'une étude de dédoublement de la route établie par un bureau d'étude au compte de la DTP de Laghouat.



Figure III. 7 - Situation du projet [18]

Notre mission touche la partie de dimensionnement du corps de la chaussée par la proposition de deux structures :

- structure d'une chaussée souple,
- structure d'une chaussée rigide,

afin de faire la comparaison entre les deux et extraire les différences sur les aspects suivants :

- l'aspect environnemental,
- et l'aspect économique.

III.4 Présentation de l'étude de dédoublement de la RN23 entre Pk 316 et Pk 320

Les caractéristiques de l'aménagement retenue sur le tronçon entre le Pk 316 et Pk 320 sont inspirées du dossier d'étude de dédoublement de la RN23 établi par la 'DTP' de Laghouat.

III.4.1 Les normes géométriques adoptées

La route est calculée avec une vitesse de référence de 120 km/h, qui correspond à la catégorie L1, selon la norme établie par l'ICTAAL 2000 « instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison isolées de leur environnement et dont les carrefours sont dénivelés ». Les caractéristiques géométriques minimales sont résumées et illustrées dans le tableau suivant:

Tableau III. 2 - Normes géométriques adaptées [18]

Symbole	Vitesse de référence	120 km/h
Tracé en plan	Normes	ICTAAL 2000
	<i>Rayon minimal en plan</i>	
	Rayon minimal (R_m) (m)	600
	Rayon minimal non déversé (R_{nd}) (m)	1 000
Profil en long	Déclivité maximale (%)	5
	<i>Rayon minimal en profil en long</i>	
	Rayon minimal en angle saillant (m)	12 500
	Rayon minimal en angle rentrant (m)	4 200
Profil en travers type	<i>Profil en travers type</i>	
	Largeur de la voie (m)	3.5
	Devers minimum (%)	2.5
	Devers maximum (%)	7

III.4.2 Tracé en plan

Les paramètres géométriques de l'axe en plan, à appliquer, sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III. 3 - Les caractéristiques géométriques de l'axe [18]

Élément	Nombre	Longueur (ml)	Pourcentage (%)
Alignement droit	11	14 545	71
L max	/	4 525	/
L min	/	285	/
Rayon $R < 600m$	/	/	/
Rayon $R = 600m$	/	/	/
$600m < \text{Rayon } R < 1000m$	/	/	/
Rayon $R = 1000m$	2	1 466	7
$1000m < \text{Rayon } R < 1500m$	/	/	/
Rayon $R = 1500m$	5	2 692	13
$1500m < \text{Rayon } R$	3	1 780	9

L'application de ces paramètres permet de recevoir une étude adéquate qui donne un tracé en plan normalisé et sécurisé.

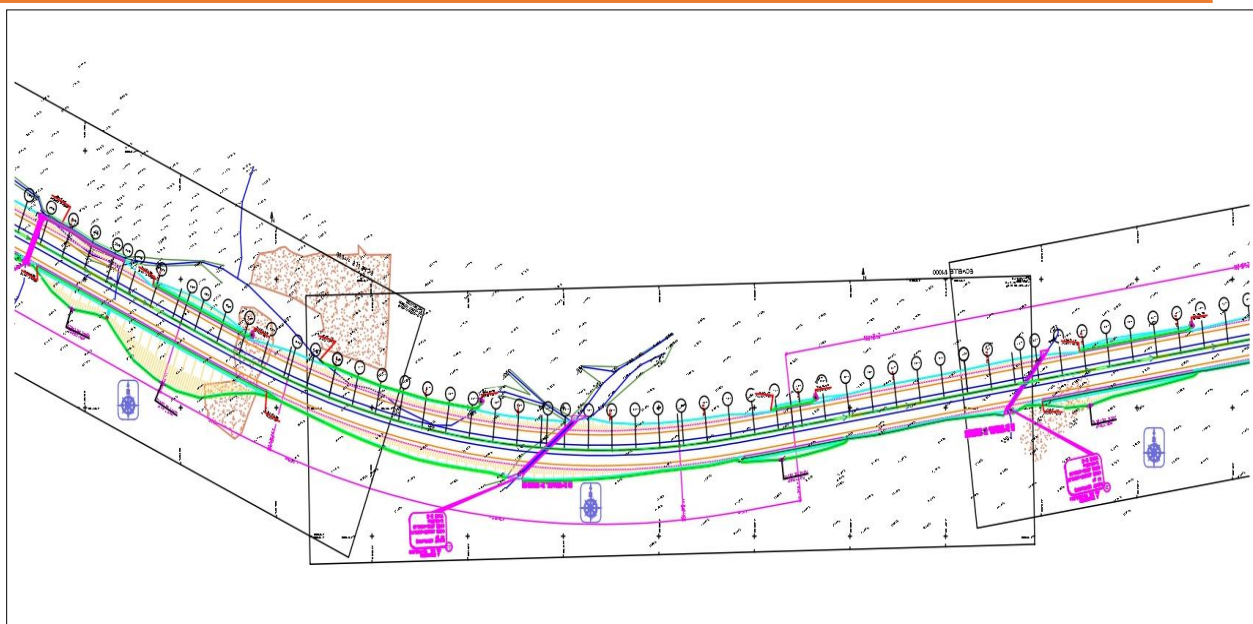


Figure III. 8 - Tracé en plan d'une section du projet [18]

III.4.3 Profil en long

Les paramètres géométriques de profil en long appliqués sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III. 4 - caractéristiques géométriques de la ligne rouge [18]

Élément	Nombre	Longueur (ml)	Pourcentage (%)
Déclivité $i \leq 0.25\%$	/	/	/
$0.25\% < \text{Déclivité } i \leq 0.5\%$	4	1 877	9
$0.5\% < \text{Déclivité } i \leq 5\%$	23	10 715	52
$5\% < \text{Déclivité } i$	/	/	/
Déclivité total	27	12 595	61,5
Rayon angle saillant $< 12\,500\text{m}$	/	/	/
Rayon angle saillant $= 12\,500\text{m}$	2	835	4
$12\,500\text{m} < \text{Rayon angle saillant}$	9	3 300	16
Rayon angle rentrant $< 4\,200\text{m}$	/	/	/
Rayon angle rentrant $= 4\,200\text{m}$	/	/	/
$4\,200\text{m} < \text{angle rentrant}$	15	3 750	18,5
Rayon total	26	7 890	28,5

Ces paramètres assurent le confort et la visibilité adéquate pour une bonne conduite.

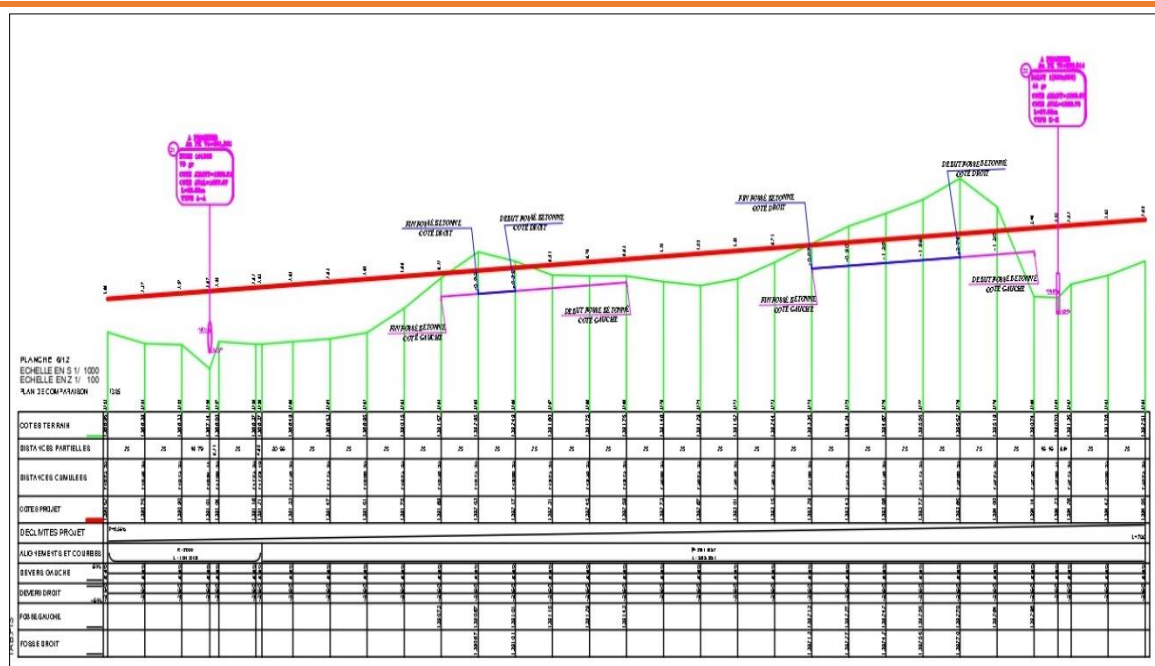


Figure III. 9 - profil en long d'une section du Tracé [18]

III.4.4 Profil en travers

Le profil en travers-type retenu dans l'étude de dédoublement de la RN23 est finalement composé de 2 chaussées à sens unique, comportant chacune deux voies de circulation. Les éléments du profil en travers sont comme suit :

- Chaussée : 2 (2x 3.50 m)
- TPC : 1 x 10,00 m
- Accotement : 2 x 3,00 m

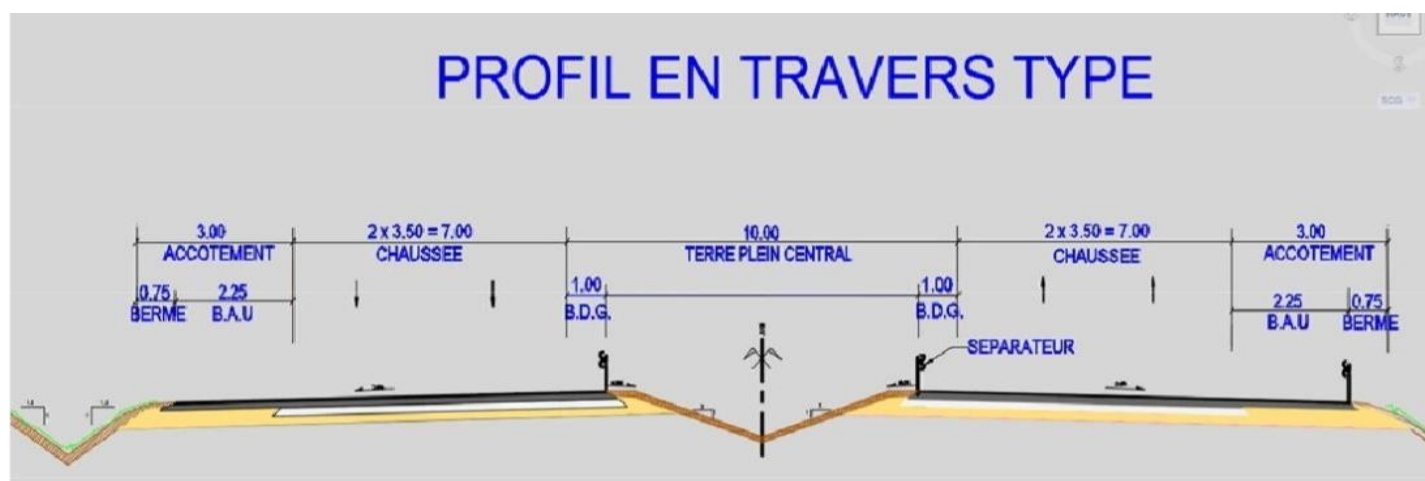


Figure III. 10 - Profil en travers type [18]

III.5 Dimensionnement de la structure du projet

III.5.1 Données du projet

Le trafic à l'année 2020 : $TJMA_{2020} = 6550 \text{ v/j}$

- Trafic de l'année à la mise en service (2023):

$$TJMA_n = TJMA_0 (1+\tau)^n \dots\dots\dots (III.1)$$

$$TJMA_{2023} = 7368 \text{ v/j}$$

Poids lourd : 24 %.

Taux de croissance annuel = 4% ;

Coefficient d'agressivité : $A = 0.6$

III.5.2 Dimensionnement du corps de la chaussée souple

Dans la dimensionnement de la chaussée souple, on a utilisé la méthode du catalogue algérien (MCA).

III.5.2.1 Dimensionnement par la méthode du catalogue algérien (MCA)

Dans ce catalogue, on peut tirer le type de structure approprié qui est déjà pré-calculé en fonction des facteurs suivants :

- La portance du sol ;
- Le trafic actuel ;
- Le niveau du réseau principal (R_{Pi}) ;
- La classe du trafic (PL) à l'année de la mise en service (T_{PLi}) ;
- La zone climatique.

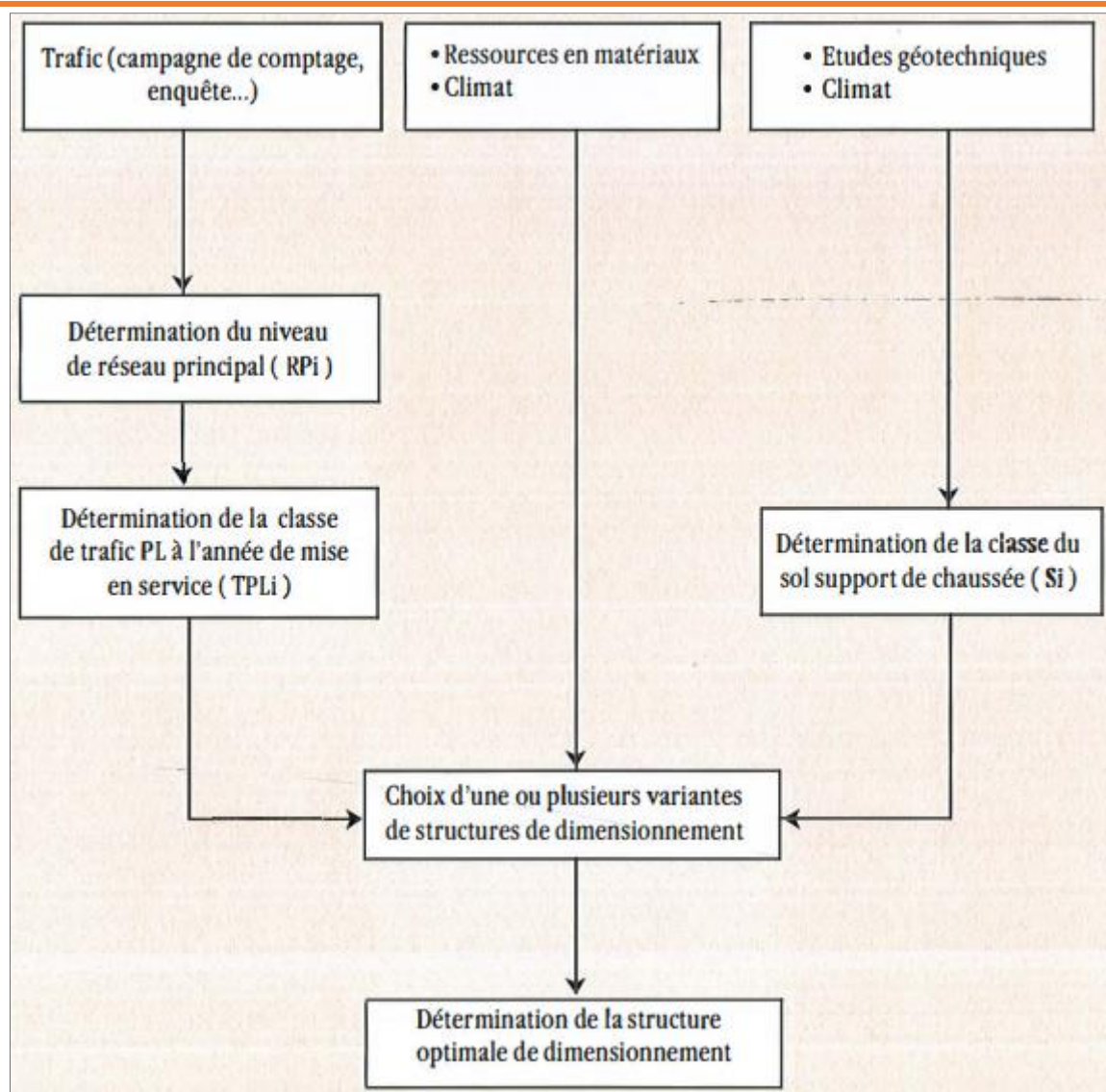


Figure III. 11 - Démarche catalogue [19]

III.5.2.1.1 Niveau du réseau principal (RPi) ;

La détermination de la catégorie du niveau de réseau principal se fait en fonction de données, telles que [24] :

- Le trafic ;
- L'intérêt socio-économique de la route.

Dans notre cas, on a le réseau principal de niveau (**RP1**), puisqu'il s'agit d'une route nationale supportant un trafic supérieur à 1500 véhicules/jour. Par conséquent on s'intéresse au dimensionnement à long terme (20 ans de service).

III.5.2.1.2 Classe du trafic

La classe de trafic (TPLi) est donnée en nombre de poids lourds par jour et par sens sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service.

Année de mise en service : 2023, TJMA₂₀₂₃ = 7368 v/j

Route unidirectionnelle à deux voies :

TPLi = 796 Pl/j/voie la plus chargée

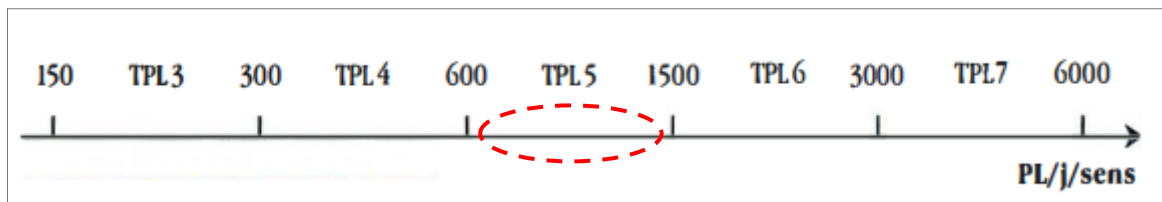


Figure III. 12 - Classe de trafic pour PR1 [19]

Selon la figure (III.12), la classe du trafic **TPL5**

III.5.2.1.3 Définition de la portance du sol support

Le tableau (III.7) regroupe les classes de portance des sols par ordre croissant de **S4** à **S0**. Cette classification sera également utilisée pour le sol support de la chaussée.

Tableau III. 5 - Classe de portance du sol Si

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

Selon le tableau (III.7) et l'indice de CBR (CBR = 18 : donné par le rapport géotechnique du projet lui-même), la classe de la portance de sol Si de notre projet est **S2**.

III.5.2.1.4 La zone climatique.

Selon la figure (III.13), notre projet se situe dans la zone III.

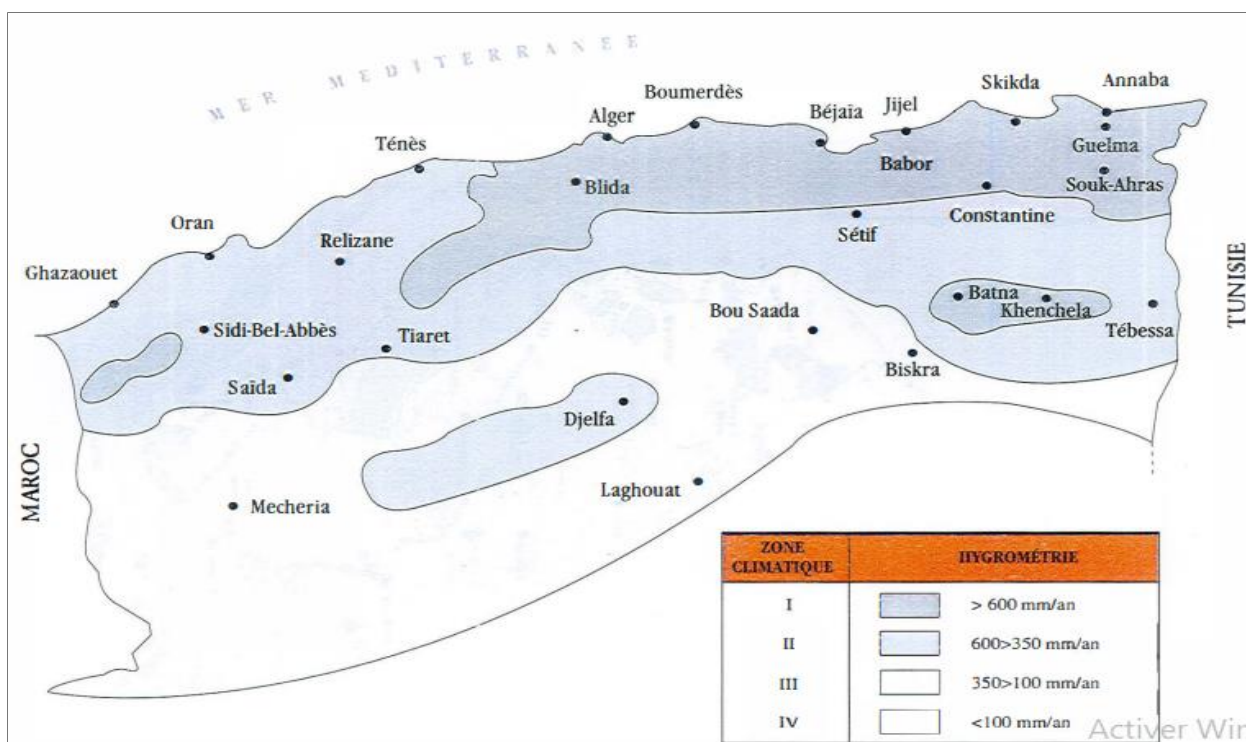


Figure III. 13 - Carte climatique de l'Algérie [19]

III.5.2.1.5 Portance de sol-support pour dimensionnement

Pour le dimensionnement des structures, on distingue 4 classes de portance de sols supports à savoir S3 ; S2 ; S1 ; et S0. Les valeurs des modules indiquées sur le tableau (III.8), ont été calculées à partir de la relation empirique suivante : (III.2)

$$E(\text{MPa}) = 5 \cdot \text{CBR} \quad \dots\dots\dots (III.2)$$

Pour notre projet : $E(\text{MPa}) = 5 \cdot \text{CBR} = 5 \cdot 18 = 90 \text{ MPa}$

Tableau III. 6 - Classes de portance de sol-support

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

Donc la classe : **S2**

Le rapport géologique et géotechnique présenté par la « DTP » précise qu'il s'agit d'un sol support de type « Encroulement calcaire (EC) »

En se reportant au tableau du catalogue de dimensionnement, on aura :

Tableau III. 7 – Classe du sol et Classe du trafic

Nature du sol support	T (PL/j)	TPLi	RPi	Si	Structure
Encroutement calcaire (E.C)	900	TPL5	RP1	S2	Cas non figuré au niveau du catalogue Algérien

On constate que la structure est non figurée dans notre cas au niveau du MCA (Méthode du Catalogue Algérien), à cet effet on a fait recourt à la classification de la classe de sol, pour utiliser la fiche de dimensionnement de la classe de sol S1. Comme montré dans la figure (III.14)

TPLi PL/j/sens	S1	S2	S1	S1
		50 MPa	125 MPa	200 MPa
6000				
TPL7				
3000				
3000				
TPL6				
1500				
1500				
TPL5			6 III 12 GB 35 GNT	35 GNT
600				

Figure III. 14 – Fiche de Structure

Après la projection des données sur les fiches techniques du catalogue (MCA) :

Tableau III. 8 - Epaisseur équivalente et Epaisseur réelle

Type de couche	Nature du matériau	Epaisseur équivalente (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur réelle (cm)
Couche de roulement	Enrobé à chaud BB0/14	16	2.0	08
Couche de base	Grave bitume GB0/20	18	1.50	12
Couche de fondation	Grave non traitée GNT0/31.5	35	1.00	35
Total	/	69	/	53

La structure choisie est comme suite :

Tableau III. 9 – Structure du projet

Nature de la couche	Type de matériau	Epaisseur
Couche de fondation	Grave non traitée GNT 0/31.5	35 cm
Couche de base	Grave bitume GB0/20	12 cm
Couche de roulement	Béton bitumineux BB0/14	08 cm

III.5.3 Dimensionnement du corps de chaussée rigide [20]

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement de chaussées en béton, basées sur des modèles mathématiques et/ou des considérations pratiques tirées de l'expérience et qui se présentent sous la forme d'abaques de dimensionnement. Les paramètres d'entrée indispensables au dimensionnement d'une chaussée en béton (Fig III. 14) sont relatifs :

- à l'action du Trafic,
- à la portance du sol ou de la plate-forme support de chaussée,
- aux caractéristiques des matériaux qui constituent la chaussée.

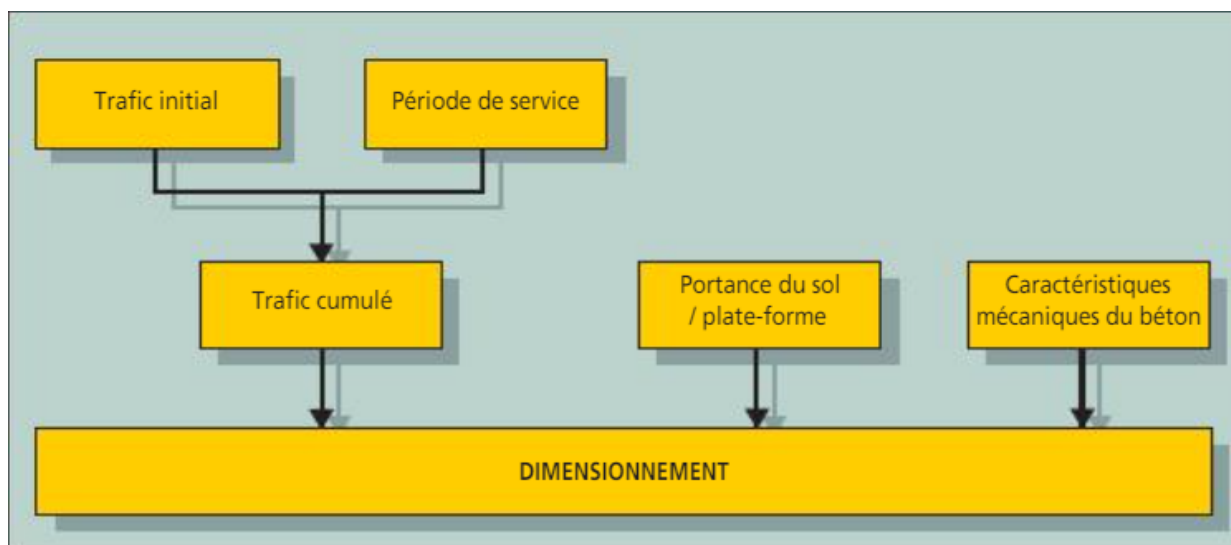


Figure III. 15 - Schéma synoptique de la méthode de dimensionnement

Pour le dimensionnement de notre chaussée rigide, on a opté pour la méthode de (CATALOGUE DES STRUCTURES DE CHAUSSEES)

III.5.3.1 Détermination du Trafic à la mise en service

Selon les données mentionnées dans (III.5)

III.5.3.2 Coefficient R

C'est un coefficient de pondération lié à la largeur utile de la route. Il prend en compte le recouvrement des bandes de roulement dans le cas des chaussées bidirectionnelles à largeur réduite. Le tableau III.11 donne le coefficient R en fonction de la configuration de la route.

Tableau III. 10 - Détermination du coefficient R en fonction de la configuration de la route.

Configuration des routes	Répartition transversale des PL (r)
Route bidirectionnelle de largeur ≥ 6 m	1
Route bidirectionnelle de largeur de 5 à 6 m	1.5
Route bidirectionnelle de largeur ≤ 5 m	2
Route unidirectionnelle	1
Route à 2 fois 2 voies	0.9
Route à 2 fois 3 voies	0.8

III.5.3.3 Classes de trafic

Lorsque les comptages sont réalisés sur tous les véhicules, c'est-à-dire qu'ils ne différencient pas les poids lourds des véhicules légers, il est possible d'estimer la classe de trafic poids lourds en fonction du nombre total journalier de véhicules supporté par la chaussée (Tableau 11).

Tableau III. 11 – Classes de trafic

<i>MJA</i>									
<i>PL/sens</i>	0	25	50	85	150	300	750	2000	5000
<i>Classe</i>	T5	T4	T3 ⁻	T3 ⁺	T2	T1	T0	TS	Texp

** La classe du trafic est **T0**

III.5.3.4 Trafic poids lourds cumulé

Pour le dimensionnement mécanique de la chaussée, il est également nécessaire de déterminer le trafic cumulé sur la période de dimensionnement, et calculé selon l'Équation (III.3).

$$TC = 365 \times N \times \left[d + \frac{t \times d \times (d-1)}{2} \right] \times r \quad \dots\dots\dots (III.3)$$

Où :

N : nombre de Poids Lourds par jour à la mise en service par sens de circulation : 796
PL/j/sens

t : taux de croissance linéar annuel du trafic : 4 %

d : durée de vie , en années : 20 ans

r : traduit la répartition transversale des PL : 1

Donc : $TC = 365 \times 796 \times [20 + (0.04 \times 20 \times 19)/2] \times 1 = 8 \times 10^6 \text{ PL}$

III.5.3.5 Détermination de la classe de trafic TCi

Classe Tci	TC0	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
Valeurs limites TC en PL	0,01.10 ⁶ à 0,1.10 ⁶	0,1 à 0,2.10 ⁶	0,2 à 0,5.10 ⁶	0,5 à 1,5.10 ⁶	1,5 à 2,5.10 ⁶	2,5 à 6,5.10 ⁶	6,5 à 17,5.10 ⁶	17,5 à 43,5.10 ⁶	> 43,5.10 ⁶

Suivant le tableau on a la classe TC6

III.5.3.6 Détermination de la classe de la plateforme [21]

Pour pouvoir déterminer l'épaisseur de la nouvelle structure, il est nécessaire de connaître, au préalable, les caractéristiques de la plate-forme, après décaissement (degré d'homogénéité et niveau de portance) obtenus.

En règle générale, la plate-forme support envisagée pour la nouvelle structure présente une bonne homogénéité et un niveau de portance suffisant, supérieur ou égal à PF1, par suite de la protection du support assurée par l'ancien revêtement et de sa consolidation acquise au cours du temps.

Tableau III. 12 - Classification des sols et des plates-formes support en fonction de leur portance

Classe de portance		Niveau de portance			
Sol support	Plate-forme support	Examen visuel (Essieu de 13 t)		Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV2 (MPa)
AR0	-	Support très déformable et ornières derrière l'essieu de 13 t		$CBR \leq 6$	$EV2 \leq 20$
AR1	PF1	Pas d'ornières derrière l'essieu de 13 tonnes	Support déformable	$6 < CBR \leq 10$	$20 < EV2 \leq 50$
AR2	PF2		Support peu déformable	$10 < CBR \leq 20$	$50 < EV2 \leq 80$
	PF2qs				$80 < EV2 \leq 120$
AR3	PF3		Support très peu déformable	$20 < CBR \leq 50$	$120 < EV2 \leq 200$
AR4	PF4	$CBR > 50$		$EV2 > 200$	

III.5.3.7 Les classe de béton selon la nature de couche

Les types des bétons utilisés dans le secteur routier et présenté dans le tableau suivant (III. 13) (VOIRIES ET AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BÉTON)

Tableau III. 14 - Classification des bétons routiers

Désignation des bétons routiers et domaines d'emploi (NF P 98 170 et NF P 98 086)	Résistance caractéristique à 28 jours (MPa)	Résistance en compression (NF EN 206/CN)	Résistance en fendage (NF P 98 170)
BC1 Couche d'assises	< 20 (8 ; 12 et 16)	C 8/10 ; C12/15 ; C 16/20	$< 1,3$ (0,7 ; 1,0 et 1,3)
BC2 Couche d'assises	20	C 20/25	1,7
BC3 Couche d'assises	25	C 25/30	2,0
BC4 Couche de roulement	29	C 30/37	2,4
BC5 Couche de roulement	32	C 35/45	2,7
BC6 Couche de roulement routière et aéroportuaire	38	C 40/50	3,3

Dans notre structure on a utilisé deux classes de béton BC5/BC2

III.5.3.8 Choix de la structure

Selon les deux paramètres PF2 et TC6 et suivant la fiche de structure

Fiche n° 22

Structure : BC5 non goudonné/BC2

	PF1*	PF2	PF3
	20 Mpa	50 Mpa	120 Mpa
TC7			
TC6		 100°C jour Qb=1.5 200°C.jour Qb=4.3	 100°C jour Qb=2.3 200°C.jour Qb=5.2
TC5		 100°C jour Qb=1.7 200°C.jour Qb=4.5	 100°C jour Qb=2.5 200°C.jour Qb=5.4
TC4		 100°C jour Qb=2.2 200°C.jour Qb=5	 100°C jour Qb=2.7 200°C.jour Qb=5.7

Figure III. 16 – Fiche de structure

La structure retenue est :

1^{er} Couche : Béton de ciment BC5 de 23 cm

2^{ém} Couche : Béton de ciment BC2 de 18 cm.

III.5.3.9 Coût des structures des chaussées

Pour simplifier la méthode de l'estimation du coût des travaux de construction du corps de la chaussée, nous avons donné un calcul par unité de mètre carré ($01M^2$).

III.5.3.10 Coût de la structure de la chaussée souple

Suivant la structure proposée pour une chaussée souple, le tableau suivant présente le calcul d'un mètre carré comme suit :

Tableau III. 15 - Calcul de coût d' 1 M^2 de la structure souple

N°	Désignations des travaux	U	Formule	Quantité	P.U	Montant
01	Couche de forme en TUF. e = 35 cm,	M^3	$1 \times 1 \times 0.35$	0.35	600	210
	Couche de fondation en GNT (0/31.5), e = 35 cm,	M^3	$1 \times 1 \times 0.35$	0.35	2500	875
02	Couche d'imprégnation cut back 0/1 dosé à 1,2 kg/m ² ,	M^2	1 x 1	1	120	120
03	Couche de base en grave bitume (0/20), e = 12 cm,	T	$1 \times 1 \times 0.12 \times 2.3$	0.28	8000	2240
04	Couche d'accrochage en émulsion 65%, dosé à 0,8 kg/m ² ,	M^2	1x1	1	120	120
05	Couche de roulement en béton bitumineux (0/14), e = 6 cm,	T	$1 \times 1 \times 0.06 \times 2.35$	0.141	8500	1198.5
Coût de réalisation de 1 M^2 en (DA)						4763.5

III.5.3.11 Coût de la structure de la chaussée rigide

Suivant la structure proposée pour une chaussée rigide, le tableau suivant présente le calcul d'un mètre carré comme suite :

Tableau III. 16 - Calcul de coût d' 1 M² de la structure rigide

N°	Désignations des travaux	U	Formule	Quantité	P.U	Montant (DA)
01	Couche de fondation en GNT (0/20), e = 10 cm,	M ³	1x1x0.15	0.10	2500	250
02	Couche d'imprégnation cut- back 0/1 dosé à 1,2 kg/m ² ,	M ²	1x1	1	120	120
03	Couche de BCR, e = 23cm en BC5	M ³	1x1x0.23	0.23	7000	1610
04	Couche de BCR, e = 18 cm en BC2	M ³	1x1x0.18	0.18	5000	1150
05	Joint de dilatation pour BCR tout 25 ml	ml	1x1/25	0.04	350	14
04	Couche de roulement en béton bitumineux (0/14), e = 6 cm,	T	1x1x0.06x2.35	0.141	8500	1198.5
	Coût de réalisation de 1 M² en (DA)					4342.5

III.5.3.12 Différence de coût entre les deux structures

Nous avons constaté que le coût de la structure de chaussée en BCR **4342.5 DA** est **moins de 9 %** par rapport à la structure de chaussée souple **4763.5 DA** (en Béton bitumineux).

III.6 Conclusion

En conclusion, dans ce chapitre, nous avons essayé de mettre en évidence les données de bases locales qui nous aident à étudier la possibilité de changer la structure du corps de la chaussée souple par un corps de chaussée rigide, afin d'assurer plus de performances, plus de durabilité et plus d'économie. Dans le chapitre suivant, et en se basant sur ces données, on va essayer de faire une comparaison générale reposant sur plusieurs volés afin d'illustrer la différence entre les deux propositions de structures de chaussée, souple et rigide.

Chapitre IV

IV. ETUDE COMPARATIVE

IV.1 Introduction

La qualité du corps de chaussée a un grand effet sur la durée de la vie de la route, et le choix du type de conception suivi est un facteur clé pour la construction d'une route durable et fonctionnelle.

En pratique, deux principaux types de revêtements routiers peuvent être utilisés : la chaussée souple et la chaussée rigide. Chacune de ces deux options présente ses propres avantages et inconvénients, en termes de composition, de comportement sous l'effet des charges du trafic, de flexibilité, de coûts, d'entretien et de durabilité.

Dans ce chapitre, nous allons examiner, en détail, ces deux types de chaussées, en envisageant tous leurs aspects possibles, afin de mieux comprendre la différence qui peuvent exister en proposant l'une ou l'autre. Les aspects possible qu'on va envisager sont les suivants :

- La provenance et la fabrication ;
- La mise en œuvre ;
- La durabilité et la dégradation ;
- L'entretien ;
- L'impact économique ;
- Recyclage ;
- L'impact environnemental.

IV.2 Provenance, fabrication

IV.2.1 Cas de la chaussée souple

La construction du corps de la chaussée souple demande plusieurs matériaux, soient :

- Produit noir (Bitume)
- Produit Blanc (Graviers)

Le bitume est le facteur le plus important.

IV.2.1.1 Provenance et fabrication de bitume

Le bitume est facilement disponible, en tant que sous-produit du processus de raffinage du pétrole brut (Figure IV. 3) ; il est largement utilisé pour la construction des routes, il est utilisé aussi comme liant pour les applications de pavage et d'étanchéité. Toutefois, les performances du bitume, à une température donnée, sont insuffisantes dans les climats plus chauds ou plus froid et peut entraîner l'orniérage des routes ou l'égouttement sur les toits et les ponts. L'amélioration de la qualité du liant bitumineux est une condition préalable pour minimiser la fissuration sous contrainte à basse température et la déformation permanente à haute température de service. Un grand intérêt pour les bitumes modifiés, dans les chaussées routières, a connu une croissance rapide au fil des ans. De nombreuses méthodes et techniques ont été utilisées pour améliorer la durée de vie des routes.

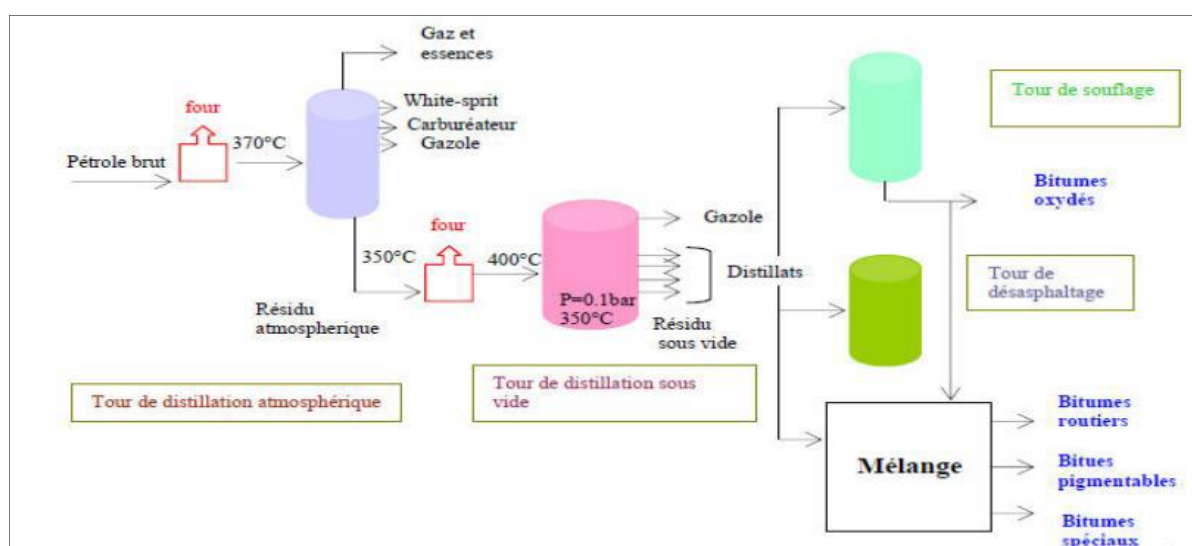


Figure IV. 1 – Fabrication des bitumes [22]

IV.2.1.2 Production

Le taux de fabrication de bitume en Algérie est illustré sur le tableau (IV.1)

Tableau IV. 1 - Taux de fabrication de bitume

Source de Fabrication	Produit Local	Produit importé
Taux de consommation	10 %	90 %

IV.2.1.3 Provenance des graviers

La fabrication en roche massive commence par une phase d'extraction, avec l'utilisation d'explosifs, c'est donc l'abattage. Les matériaux extraits vont, ensuite, être lavés, concassés et criblés, pour obtenir la granularité souhaitée. Les plus grosses fractions de roche sont rejetées lors du criblage, pour subir un nouveau concassage (Figure IV. 2).

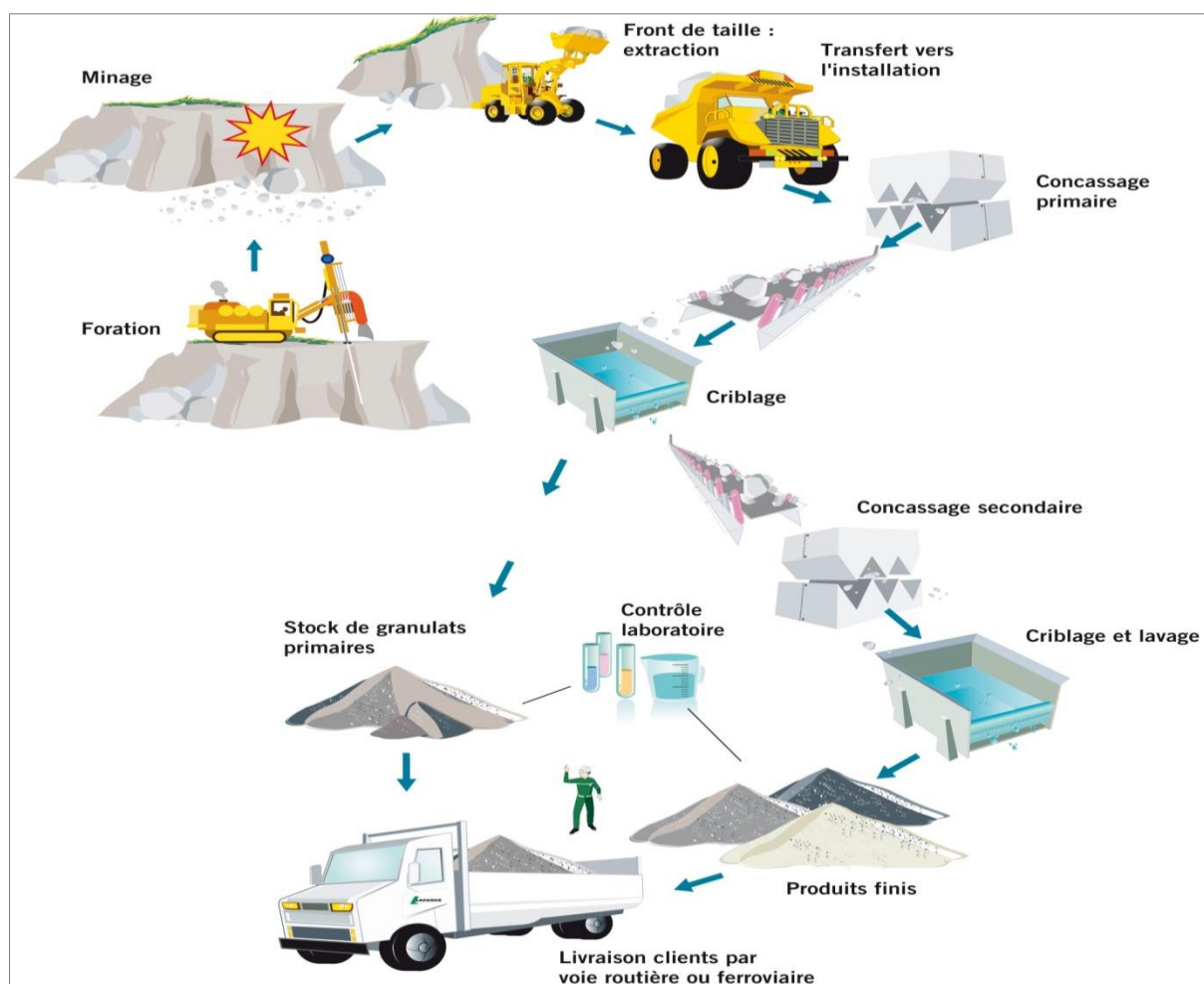


Figure IV. 2 - Cycles de provenance de gravier [23]

IV.2.2 Fabrication du béton bitumineux

L'enrobé est fabriqué dans des usines appelées « centrales à enrobés », fixes ou mobiles, utilisant un procédé de fabrication continu ou par gâchées (**Figure IV. 3**). Il est mis en œuvre à chaud (150 °C environ).



Figure IV. 3 - poste d'enrobage [24]

La fabrication du mélange de béton bitumineux passe par les étapes suivantes :

- Alimentation de poste d'enrobage en granulats et en bitume ;
- Chauffage et déshydratation des granulats ;
- Chauffage de bitume ;
- Dépoussiérage ;
- Malaxage de produit ;
- Chargement et transport de l'enrobé.

IV.2.3 Cas chaussée rigide

Comme déjà vu, dans les chaussées rigides, on utilise également le ciment. Le ciment est un liant hydraulique. C'est une substance qui, mélangée à l'eau dite de gâchage, est capable ensuite de durcir aussi bien à l'air que sous l'eau. La pâte de ciment durci est pourvue d'une résistance mécanique élevée et elle ne se dissout plus dans l'eau.

Le terme " ciment " est issu du latin « coementum » qui signifie mortier, liant des maçonneries. Ce sens étymologique a donc été, à peu près, conservé ; il s'est toutefois restreint aux seuls liants dits hydrauliques – parce qu'ils sont capables de durcir sous l'eau –, dont le durcissement est dû aux réactions chimiques d'hydratation des silicates et des aluminates de chaux.

IV.2.4 Provenance et fabrication de ciment

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant, vers 1450°C, des mélanges de calcaire et d'argile. On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers ; c'est en broyant très finement ceux-ci, additionnés d'un peu de gypse, qu'on produit le ciment Portland (Figure IV. 4). D'autres types peuvent être obtenus en mélangeant ce clinker broyé avec des constituants, broyés également, qui présentent des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques : ce sont soit des laitiers de hauts fourneaux granulés, soit des cendres volantes ou encore des pouzzolanes, naturelles ou artificielles.

Il existe, en outre, des ciments spéciaux, tels les alumineux ou les sulfates. La Principale utilisation du ciment est le béton, dont il est le composant actif, mais il entre aussi dans la composition des mortiers pour maçonneries ou pour enduits.

En Algérie, il existe 24 sociétés nationales et privées de production de ciment qui produisent **40 millions** de tonnes de ciment chaque année, et le pays en consomme **20 millions** de tonnes dans tous les domaines.

Dans la wilaya de Laghouat on a une cimenterie a la commune de « El bayda »

Et les carriers « BOUJALTI » « MAAIOUF».

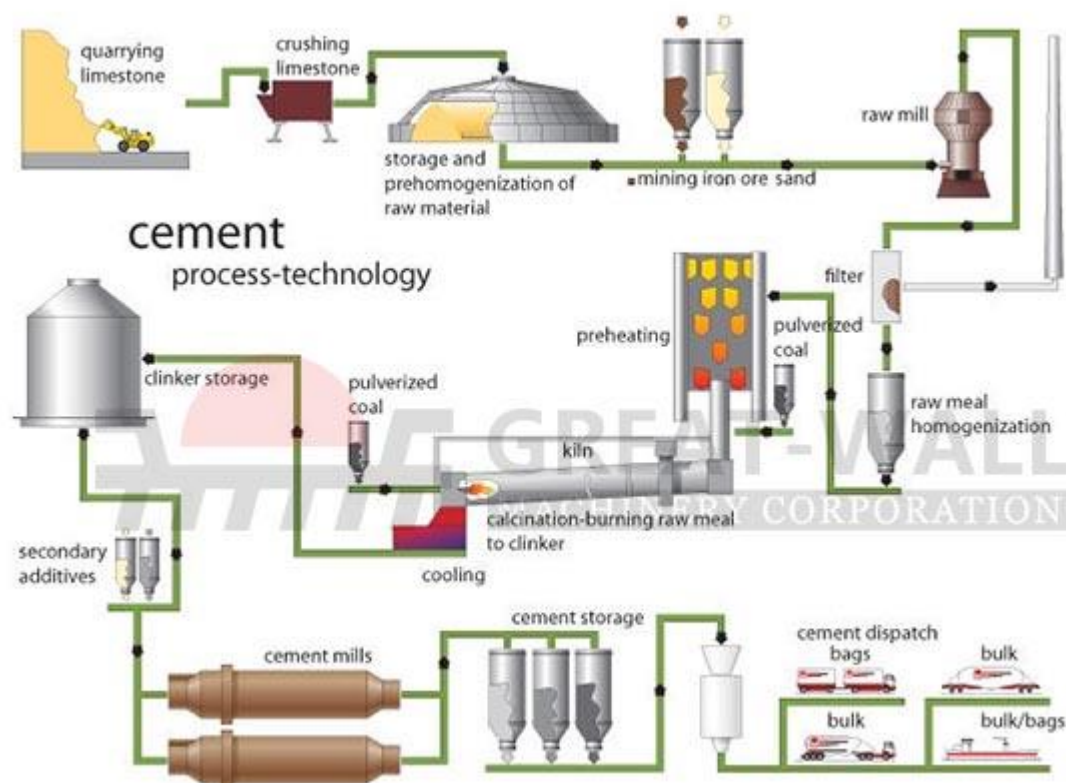


Figure IV. 4 - Cycles de provenance de Ciment [25]

Le ciment est un produit fabriqué localement.

IV.2.5 Provenance de graviers

La provenance des graviers, pour les bétons en ciment, est la même comme les bétons bitumineux.

IV.2.6 Fabrication de béton

On passe généralement par la centrale à béton (Figure IV. 5) ; il s'agit d'une machine qui combine divers ingrédients comme les agrégats, le sable, l'eau, le ciment et les additifs. Ces composants sont d'abord pesés individuellement puis combinés pour préparer le béton prêt à l'emploi. Ce matériau préparé est largement utilisé pour plusieurs types de projets de construction.



Figure IV. 5 - Centrale à béton [26]

IV.2.7 Conclusion

Nous avons conclu de cette comparaison que la principale différence réside dans les sources de matières premières.

- La structure de la chaussée rigide adopte des matières premières nationales.
- La structure de chaussée souple adopte des matériaux nationaux et des matériaux importés.
- Il y a 20 millions de tonnes de surplus de production de ciment

IV.3 Mise en œuvre, contrôle et condition

IV.3.1 Mise en œuvre

Le processus de réalisation de la chaussée comprend plusieurs étapes successives :

IV.3.1.1 Mise en œuvre d'une chaussée souple

La mise en œuvre des bétons bitumineux sur chantier passe par les étapes suivantes :

- Installation et étalonnage du matériel sur chantier ;
- Pose de l'enrobé (alimentation du finisseur) ;
- Compactage de l'enrobé (Figure IV.6) ;
- Maitrise des épaisseurs ;
- Joints transversaux ;
- Joints longitudinaux ;
- Autres joints ;
- Contrôle de la mise en œuvre de l'enrobé.



Figure IV.6 – Mise en œuvre de Béton bitumineux [27]

La figure IV.7 montre le comportement de la chaussée souple sous l'est des charges du trafic.

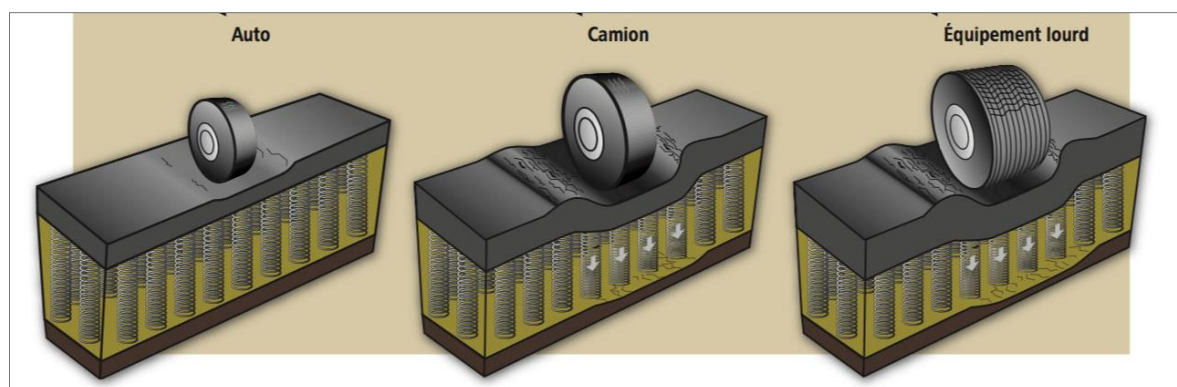


Figure IV. 7 - Comportement de la chaussée souple sous l'effet des charges du trafic.
[28]

IV.3.1.2 Mise en œuvre d'une chaussée rigide (BCR)

Le BCR est un mélange de béton sans affaîssement préparé directement au chantier. Il se met en place à l'aide d'équipements de pavage conventionnel tels que paveuses et rouleaux compacteurs. Le mûrissement accéléré du BCR permet une mise en service très rapide des surfaces.

Le BCR ne requiert pas plus de préparation que tout autre projet de pavage. Sa rigidité combinée à son excellente résistance en flexion en fait une solution de grande qualité. Vous pourrez en profiter longtemps.



Figure IV. 8 - Mise en œuvre de BCR [28]

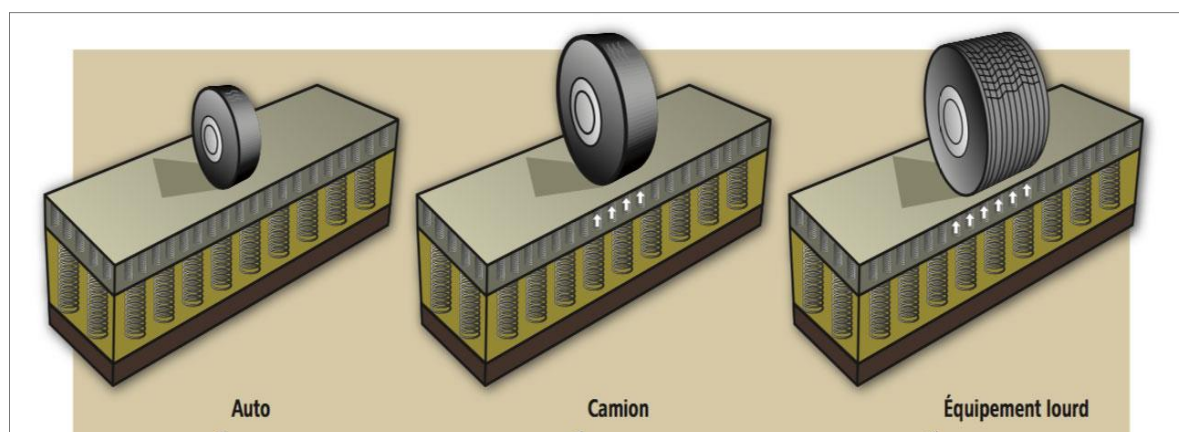


Figure IV. 9 - montre le comportement de la chaussée rigide sous l'est des charges du trafic. [28]

IV.3.2 Contrôle et condition de mise en œuvre :

Lors de la réalisation d'une route, souple ou rigide, l'observation et les conditions de bon comportement doivent être prises en compte.

IV.3.2.1 Contrôle de mise en œuvre de la chaussée souple

Ce qu'on doit faire, dans ce cas :

- Contrôle de conformité de poste d'enrobage ;
- Vérification de la formulation et Contrôle des caractéristiques de produits ;
- Contrôle de la température du produit ;
- Contrôle de la température du site (condition climatique) ;
- Contrôle des performances du matériel ;
- Mesure de l'uni ;
- Mesure d'épaisseur ;
- Evaluation du compactage.

IV.3.2.2 Contrôle de mise en œuvre de chaussée rigide

Ce qu'on doit faire, dans ce cas :

- Contrôle de la température du site (condition climatique) ;
- Contrôle des performances du matériel.

IV.3.3 Conclusion

Les mécanismes utilisés dans la construction des chaussées rigides sont légèrement réduits en comparaison avec les mécanismes utilisés dans les chaussées souples.

Les conditions de réalisation de la chaussée souple sont plus contraignantes que la chaussée rigide.

IV.4 Durabilité et dégradation

IV.4.1 Cas de la chaussée souple

La durabilité des chaussées souples est influencée par divers facteurs, notamment les matériaux utilisés, les techniques de construction, les conditions climatiques, les charges de trafic et les pratiques d'entretien. Dans ce qui suit, on va présenter un aperçu sur la durabilité des chaussées souples.

IV.4.1.1 Capacité portante

Les chaussées souples sont conçues pour répartir uniformément la charge du trafic sur les multiples couches, en commençant par la couche de surface en asphalte jusqu'au sous-sol. La flexibilité de la couche de surface en asphalte lui permet de se déformer légèrement sous de lourdes charges, réduisant ainsi les contraintes sur les couches sous-jacentes et améliorant la capacité portante.

IV.4.1.2 Résistance à la fatigue :

Les chaussées souples présentent une bonne résistance à la fatigue en raison de la capacité de l'asphalte à fléchir et à se déformer sous des charges répétitives. Cela permet d'éviter la formation de fissures et prolonge la durée de vie de la chaussée.

IV.4.1.3 Fissuration

Les chaussées flexibles peuvent développer des fissures au fil du temps en raison de divers facteurs, tels que les charges de trafic, les changements de température et l'infiltration d'humidité. Cependant, des techniques de conception et de construction appropriées, telles que l'utilisation d'épaisseurs appropriées de couches d'asphalte et l'incorporation de techniques de renforcement, telles que des intercalaires en tissu, peuvent réduire l'occurrence et la gravité des fissures.

IV.4.2 Cas de la chaussée rigide

La durabilité des chaussées rigides, également appelées chaussées en béton, est réputée pour sa durabilité exceptionnelle. Le béton utilisé dans la chaussée rigide est résistant à l'usure, aux intempéries et aux produits chimiques, ce qui en fait un choix idéal pour les routes soumises à un trafic intense et à des conditions environnementales définies. La capacité du béton à résister aux charges lourdes, aux fissures et aux déformations permanentes en fait un matériau de choix pour les routes nécessitant une longue durée de vie et une maintenance réduite, est fournie aussi par divers facteurs.

IV.4.2.1 Capacité portante

Les chaussées rigides sont conçues pour supporter des charges de circulation élevées grâce à leur structure rigide en béton armé ou non armé. Elles ont généralement une capacité portante élevée, ce qui les rend adaptées aux zones à fort trafic, comme les autoroutes et les aéroports.

IV.4.2.2 Résistance aux fissures

Les chaussées rigides sont moins sujettes aux fissures que les chaussées flexibles en raison de leur structure continue et rigide en béton. Cependant, des fissures peuvent se former au fil du temps, en raison du retrait et du fluage du béton, des variations de température et d'autres facteurs. L'utilisation des articulations de dilatation et de contraction appropriées peut minimiser la formation de fissures et maintenir la durabilité de la chaussée.

IV.4.2.3 Réflexion de fissures

Les chaussées rigides peuvent également être exposées à la réflexion de fissures provenant de la couche de sous-sol, où les fissures peuvent se propager à travers les différentes couches de la chaussée. Cela peut entraîner des dommages à la surface de la chaussée.

IV.4.3 Conclusion

De cette comparaison, nous concluons que la chaussée rigide est beaucoup plus durable que la chaussée souple.

IV.5 Entretien périodique

IV.5.1 Chaussées souples

L'entretien périodique de la chaussée souple est crucial pour garantir la sécurité, la durabilité et la fonctionnalité de cette infrastructure routière. Voici quelques-unes des activités clés d'entretien pour la chaussée souple :

IV.5.1.1 Réparation des fissures :

Les fissures sont l'un des problèmes les plus courants rencontrés sur la chaussée souple. Elles peuvent permettre à l'eau de s'infiltrer dans les couches inférieures de la chaussée, ce qui peut entraîner l'érosion et d'autres formes de dommages structurels. Les réparations de fissures peuvent être réalisées en utilisant des mastics, des scellements ou des adhésifs spécifiques pour empêcher l'eau de pénétrer dans la chaussée.

Réparation des nids-de-poule : Les nids-de-poule sont une autre préoccupation majeure pour la chaussée souple. Ils peuvent se former lorsque l'eau s'infiltre dans la chaussée et gèle, ce qui provoque des déformations et des fissures. Les réparations de nids-de-poule peuvent inclure le remplissage avec de l'asphalte chaud, des patchs en béton, ou des mastics spéciaux.

IV.5.1.2 Réparation des bordures

Les bordures peuvent se détériorer au fil du temps, en raison de l'usure et des conditions météorologiques. Les réparations peuvent inclure le remplissage avec de l'asphalte chaud ou des patchs en béton, selon le matériau de la bordure.

Réparation des zones de déformation : les zones de déformation sont des zones de la chaussée qui se déforment en raison du poids des véhicules ou des conditions météorologiques. Les réparations peuvent inclure le remplissage avec de l'asphalte chaud, des patchs en béton, ou des mastics spéciaux.

IV.5.1.3 Réparation des caniveaux

Les caniveaux sont des zones de drainage le long des bords de la chaussée qui permettent à l'eau de s'écouler et de s'évacuer de la chaussée. Les caniveaux peuvent se détériorer au fil du temps, en raison de l'usure ou des conditions météorologiques. Les réparations peuvent inclure le remplissage avec de l'asphalte chaud, des patchs en béton, ou des mastics spéciaux.

L'entretien périodique de la chaussée souple est essentiel pour garantir sa durabilité et sa sécurité : réparations de fissures, de nids-de-poule, de bordures, de zones de déformation, et de caniveaux.

IV.5.2 Chaussées rigides

L'entretien périodique de la chaussée rigide est essentiel pour garantir la sécurité, la durabilité et la fonctionnalité de cette infrastructure routière. Voici quelques-unes des activités d'entretien clés pour la chaussée rigide :

IV.5.2.1 Réparation des joints

Les joints permettent à la chaussée de se dilater et de se contracter, en réponse aux changements de température. Au fil du temps, ils peuvent se détériorer en raison de l'exposition aux intempéries et aux contraintes exercées par les véhicules. Les réparations de joints peuvent inclure la reconstruction, le nettoyage ou le remplacement, selon l'étendue des dommages.

IV.5.2.2 Réparation des fissures

Les fissures peuvent permettre à l'eau de s'infiltrer dans les couches inférieures, entraînant l'érosion, des déformations et d'autres formes de dommages structurels. La réparation des fissures peut être réalisée en utilisant des mastics, des scellements ou des adhésifs spécifiques pour empêcher l'eau de pénétrer dans la chaussée.

IV.5.2.3 Réparation de la surface de la chaussée

Les éclatements, les déformations, les nids-de-poule et autres formes de dommages doivent être réparés pour éviter toute perturbation de la circulation et de la sécurité routière. Les techniques de réparation peuvent inclure la pose de revêtements, la reconstruction partielle ou totale de la surface, la réparation de dalles ou de plaques de béton, selon les besoins.

IV.5.2.4 Réparation des défauts de surface

Les défauts de surface, tels que les fissures, les éclatements, les nids-de-poule et les déformations, doivent être réparés rapidement pour garantir la sécurité des usagers de la route. Les réparations peuvent inclure le remplissage de la zone endommagée avec du béton ou de l'asphalte, la réparation des dalles, ou la reconstruction partielle ou totale de la surface.

IV.5.2.5 Évaluation de la portance

L'évaluation de la portance est une activité d'entretien périodique essentielle pour la chaussée rigide. Elle permet de déterminer la capacité de la chaussée à supporter le poids des véhicules. Si une chaussée rigide présente des problèmes de portance, il est possible qu'elle doive être renforcée ou reconstruite pour éviter des accidents.

IV.5.2.6 Réparation des bordures et des caniveaux

Les bordures et les caniveaux peuvent subir des dommages en raison de l'usure ou des intempéries. Les réparations peuvent inclure le remplacement des éléments endommagés ou le nivellement des bordures et des caniveaux pour améliorer la sécurité de la chaussée.

En somme, pour assurer la durabilité et la sécurité de la chaussée rigide, il est indispensable de réaliser un entretien périodique. Les activités clés d'entretien comprennent la réparation des joints, des fissures de la surface et des défauts de surface. Il est crucial de réaliser ces tâches, de manière régulière, afin de garantir que la chaussée reste en bon état et de prolonger sa durée de vie.

IV.5.3 Conclusion

En ce qui concerne l'entretien, nous concluons que les chaussées rigides nécessitent moins d'entretien que les chaussées souples, qui nécessitent un entretien périodique très fréquent.

IV.6 Impact économique

IV.6.1 Coût de ciment et de bitume en « DA » par m²

IV.6.1.1 Chaussée rigide

Tableau IV. 2 - Coût de ciment et de bitume en « DA » par 1m² de chaussées

	Quantité sur m2	Prix (du kg en DA)	Coût par m2 (DA)
Bitume (m2) / 6 cm	3.60 kg	100 da /kg	360
Ciment (m2) / 23cm	350x0.23 = 73.5 kg	6.4 da / kg	515.2
Ciment (m2) / 18cm	250x0.18 = 45 kg	6.4 da / kg	288.4
Total			1163.2

** Le ciment est un produit fabriqué localement.

IV.6.1.2 Chaussée souple

Tableau IV. 3 - Coût de bitume en « DA » par 1m² de chaussées

	Quantité pour 1 m2	Prix d'1kg (DA)	Coût par m2 (DA)
Bitume GB (m ²) / 12 cm	40x0.12 kg	100 da /kg	480
Bitume BB (m2) / 6 cm	60x0.06 kg	100 da /kg	360
Total			840

** Le bitume est un produit fabriqué à l'extérieur et importer en devis.

IV.6.1.3 Conclusion

Le coût des produits premiers utilisé dans les deux types de structures de chaussée :

- Le ciment est un produit fabriqué localement (803.6 da/m², soit 69% pour la chaussée rigide et 0 da/m² dans la chaussée souple).
- Le bitume est un produit importé de l'étranger (360 da/m², soit 31% pour la chaussée rigide et 840 da/m² dans la chaussée souple).

Tableau IV. 2 - Taux des quantités de produits premiers (ciment/bitume) dans les structures des chaussées rigide et souple

Structure	Produit de fabrication	
	Bitume (Importé)	Ciment (Local)
Souple	17 %	0 %
Rigide	8.5 %	18.5 %

IV.7 Recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (industriels ou ménagers) de produits arrivés en fin de leur vie, qui permet de réintroduire certains de leurs matériaux dans la production de nouveaux produits. Les matériaux recyclables comprennent certains métaux, plastiques et cartons, le verre, les gravats, etc.

IV.7.1 Cas de chaussée souple (le bitume) [29]

Dans ce contexte, le recyclage des chaussées en place à froid aux liants hydrauliques s'affirme comme une solution particulièrement attractive, présentant un nombre de points forts décisifs : moins de déchets, moins de rotations de camions et, donc, la préservation du réseau routier avoisinant, une sécurité renforcée, une durée de travaux écourtée, la réduction des coûts, un moindre impact environnemental, etc. La question de la connaissance des matériaux réutilisés doit, toutefois, faire l'objet d'une attention particulière avant la phase de déconstruction.

Le retraitement en place à froid aux liants hydrauliques : une solution « tout-terrain » rationnelle, écologique, économique et durable ; cette technique recycle et valorise, in situ, les matériaux de la chaussée à entretenir sur une épaisseur pouvant atteindre 50 cm.

- C'est une technique d'entretien structurel par excellence : le retraitement en place à froid aux liants hydrauliques est particulièrement recommandé pour la réhabilitation des chaussées anciennes, présentant des dégradations structurelles et nécessitant des travaux de recalibrage ou d'élargissement. Il peut être appliqué à toutes les routes (rurales ou urbaines).
- C'est une technique à large spectre : le retraitement des chaussées en place à froid aux liants hydrauliques est une technique à large spectre, capable de traiter un bon nombre de situations rencontrées par les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre en matière de réhabilitation des routes et d'offrir une large gamme de solutions opérationnelles.

Sans prétendre à l'exhaustivité, les solutions d'entretien structurel proposées par la technique de retraitement en place sont les suivantes :

- Retraitement de la structure au liant hydraulique en pleine largeur, hors circulation ;

- Retraitement de la structure en pleine largeur, avec élargissement ;
- Retraitement de la structure en pleine largeur, avec recalibrage et élargissement ;
- Retraitement de la structure en demi-chaussée, sous circulation ;
- Retraitement de la structure avec un liant composé (ciment + émulsion de bitume) ;
- Retraitement de chaussée comportant des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- Retraitement de la structure aux liants hydrauliques, associé à un dispositif anti-remontée de fissures ;
- Retraitement des chaussées en rives ;
- Retraitement d'une voirie urbaine avec traitement des émergences.

Il convient noter que certains chantiers, réalisés depuis une quinzaine d'années, se comportent de façon tout à fait satisfaisante grâce à la compétence de tous les acteurs : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises et fournisseurs.

IV.7.2 Cas de chaussée rigide (le Ciment) : [29]

La figure IV.10 nous montre un exemple de recyclage de ciment.



Figure IV. 10 – Recyclage de Ciment

IV.7.2.1 Etat des lieux

Il faut distinguer deux types de flux de bétons recyclables ou valorisables :

Ceux issus des procédés de fabrication (usine de préfabrication ou unités de production de béton prêt à l'emploi), ainsi que les retours des chantiers.

Ceux issus de la déconstruction.

Les déchets de béton générés par la fabrication ont plusieurs origines : déchets de béton frais, déchets de béton durci, rebuts de fabrication et retours de chantiers. Ils peuvent être réintégrés in situ (usine de préfabrication ou unité de production de béton prêt à l'emploi) pour la fabrication de nouveaux produits, ou recyclés une fois durcis, sans nécessité de tri complémentaire, dans des installations de concassage. 80% des bétons de déconstruction déjà valorisés.

Il existe actuellement plusieurs débouchés pour les bétons issus de la déconstruction des ouvrages et bâtiments.

Ils sont **majoritairement récupérés**, puis traités dans des installations dédiées (concassage, criblage, tri complémentaire, ...), afin d'être ensuite valorisés en remblaiement ou en applications routières (couche de forme, couches d'assises de chaussées, bétons de fondation ...).

L'ensemble de ces valorisations représente un marché de 14,5 Mt, soit 80 % des tonnages de béton déconstruit, correspondant à une économie équivalente en ressources naturelles.

Les 20 % restants sont aujourd'hui dirigés vers des installations de **stockage de déchets inertes (ISDI)**. En effet, les démolitions sans tri, ont généralement lieu là où la distance entre les chantiers et les installations de traitement ne permettent pas toujours une valorisation économiquement acceptable. C'est notamment le cas en zone rurale, contrairement aux zones urbaines où la quasi-totalité des bétons de déconstruction est valorisée.

Le tri, une étape obligée.

Un tri est indispensable pour séparer les bétons des autres matériaux (plâtre, PVC, armatures...) lors de la déconstruction de bâtiments ou d'infrastructures, puis lors du traitement des déchets sur les plateformes de tri et de regroupement.

Les techniques de tri s'améliorent régulièrement et les démarches de déconstruction sélectives devraient se systématiser toujours davantage. Le diagnostic déchets avant déconstruction, désormais obligatoire pour les bâtiments importants, participe à cette optimisation de la qualité du tri.

De son côté, afin de faciliter les opérations de déconstruction et ainsi mieux valoriser, voire réutiliser les produits, la filière ‘béton’ est engagée pour faire évoluer la conception des systèmes et des produits constructifs.

Les objectifs de la filière :

- Accroître le recyclage des bétons de déconstruction dans les bétons.

L’engagement des acteurs de la filière se traduit par l’évolution du contexte normatif avec la révision des normes suivantes :

- Norme granulat NF EN 12620 de juin 2008 et NF P18-545 de septembre 2011 qui spécifient les caractéristiques et les propriétés des granulats recyclés ;
- Norme béton NF EN 206-1/CN de décembre 2012 qui autorise l’utilisation de granulats recyclés issus de la déconstruction pour la fabrication de bétons.

Mais pour développer encore plus cette démarche, les travaux de recherche autour d’axes techniques, environnementaux, réglementaires et économiques, doivent se poursuivre.

Depuis janvier 2012, le **Projet National de recherche et développement « RECYBETON »** vise à optimiser les procédés existants pour utiliser :

- les éléments fins du béton concassé dans la fabrication du ciment ou comme filler ou addition dans la réalisation de nouveaux bétons ;
- les granulats du béton concassé dans la fabrication de nouveaux bétons, dans le but d’un recyclage complet des bétons de déconstruction.

Les résultats de ce projet ont été publiés en 2018.

Dans le cadre de la loi anti-gaspillage, pour une économie circulaire (AGEC), le régime de la responsabilité élargie du producteur (REP) est étendu aux produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment, à compter du 1er janvier 2022.

Afin de répondre à cette nouvelle orientation, les syndicats professionnels (FIB, Routes de France, SFIC, SNBPE, SNROC et UNPG) représentant les 2000 entreprises des industries du béton, prêt à l’emploi ou préfabriqué, du granulat, du ciment, de la pierre de construction et des enrobés, ainsi que des entreprises des tuiles et briques annoncent la création d’un éco-organisme pour les produits de construction minéraux générant des déchets inertes : ECOMINERO.

IV.7.3 CONCLUSION

Le processus de recyclage du béton est plus facile et moins coûteux, et les matériaux obtenus sont plus utilisables, contrairement aux chaussées souples, plus difficiles et plus coûteuses, aussi le recyclage de bitume produire plus de CO₂ et nuit l'environnement.

IV.8 Impact environnemental :

En pensant aux impacts environnementaux des routes, cela peut nous rappeler les effets de la production et du transport des quantités massives de matériaux de construction que le gouvernement utilise pour les structures routières.

Nous constatons que l'effet de l'asphalte sur les routes molles ou l'effet du béton sur les routes dures affectent tous deux la nature.

IV.8.1 Cas de la chaussée souple (le bitume)

Une substance extraite du pétrole brut, lorsqu'elle est produite, la température de la terre augmente et produit des gaz à effet de serre (**CO₂**), ce qui augmente le pourcentage de dioxyde de carbone, ce qui produit le réchauffement climatique, ce qui entraîne divers changements climatiques (inondations - sécheresse - désertification - incendies - pollutions de toutes natures, atmosphériques, maritimes et sauvages).

IV.8.2 Cas de la chaussée rigide (le Ciment)

Le ciment est considéré, comme le matériau **bitume**, le plus important et le plus productif ; cela est dû à son utilisation fréquente dans de nombreux domaines différents, à sa demande et à la facilité de son obtention localement, en plus de son prix moins cher. Pour la construction des routes en dur, il a les mêmes effets négatifs que **bitume**, sauf que la différence réside dans le piétinement. Le béton, après l'avoir piétiné, est classé comme déchet inerte, contrairement au **bitume**.

IV.8.3 Conclusion

En ce qui concerne l'impact des deux structures de chaussée sur l'environnement, nous concluons que tous les aspects précédents de la comparaison ont une relation avec la nature et une influence sur l'environnement.

Après avoir recherché et comparé la chaussée souple à la chaussée rigide pour une durée de vie de 20 ans, nous avons découvert que la chaussée rigide BCR est plus durable et pouvant aller plus.

De ce qui précède, la structure proposée, pour un trafic de 796 PL/j et une classe de portance pf2qs et pour une durée de vie de 50 ans est : 10 cm de GNT comme couche de réglage et 41 cm de BCR réalisés en deux couches (23+18 cm).

NB : comme il s'agit d'une route nationale, la vitesse des Véhicules dépasse les 50 km/h , nous recommandons une couche d'enrobé d'une épaisseur de 6 c

Nous suggérons donc de choisir la structure suivante :

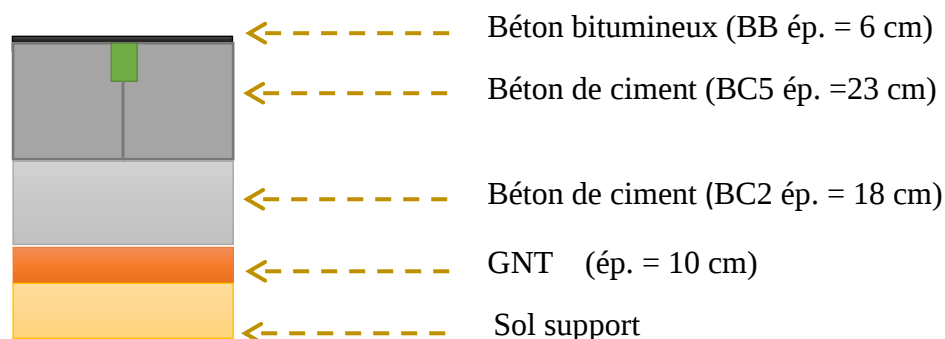


Figure IV. 6 Structure de chaussée rigide retenue

IV.9 Conclusion

En conclusion, le remplacement de la chaussée souple locale par une chaussée rigide paraît possible, vu les avantages que présente cette dernière, comme montré dans le tableau suivant (IV.5).

Tableau IV. 4 - Comparaison entre chaussée souple et chaussée rigide

Aspects de comparaison	Type de chaussée	
	Chaussée souple	Chaussée rigide
Provenance, Fabrication	Demande moins de matériaux locaux	Demande plus de matériaux locaux
Durabilité et Dégradation	Vieillissent plus rapide	Vieillissent moins rapide
Mise en œuvre	Réquisition des moyens matériel et humains en plus et utilise des sources énergétique de matières premières	Réquisition des moyens matériel et humains en moins et Utilise des sources énergétiques renouvelable
Entretien périodique	Demande plus d'entretien	Demande moins d'entretien
Impact Economique	Dépend fortement du devis et influé négativement de la trésor public	Dépend en moins du devis et influé positivement de la trésor public
Recyclage	Profitez un peu des matériaux recyclés	Profitez plus des matériaux recyclés
Impact Environnemental	Affecter l'environnement	Affecter l'environnement un peu

Conclusion Générale

Dans cette recherche, nous avons abordé l'histoire et les étapes du développement des routes et leur classification. Puis, nous passons également en revue des différentes études techniques de la voirie, avec une explication des différents types de chaussées. Ensuite, nous nous sommes concentrés sur les composants des différents types de chaussées, leurs domaines d'utilisation et le rôle de chaque type de chaussées. Nous avons également fait une comparaison entre les deux méthodes de dimensionnement (BCR-MCA.)

Puis, une étude d'un projet en cours de réalisation dans la région d'Aflou, la commune d'Oued Mourra, connue pour son climat froid et instable où la route est exposée à de nombreux problèmes différents, a été menée. Lors de cette étude, on a utilisé les méthodes (BCR-MCA). Ceci nous a permis d'identifier les points négatifs et les points positifs pour chacune des deux méthodes et parvenir à une solution technique qui réduit les problèmes rencontrés sur la route.

Selon l'étude comparative menée dans cette thèse, on peut conclure que le choix du type de la chaussée est limité par le type du trafic, les conditions du sol et l'aspect économique.

Après des études appliquées, nous avons conclu que les chaussées rigides sont préférables aux chaussées souples dans certaines zones en raison de leur grande résistance et de leur endurance au grand trafic. Les chaussées rigides sont également connues pour leur grande durabilité et leur moindre entretien. Le facteur le plus important et le plus influençant est l'augmentation récente des prix du bitume et la diminution des prix et la disponibilité du ciment au niveau national.

On peut donc dire qu'il est nettement possible de remplacer la chaussée souple par une chaussée rigide, au moins localement ; il a été montré que cela est bénéfique dans tous les aspects, technique, économique et environnemental.

D'après nos recherches sur cet axe, nous avons constaté que ce sujet contient plusieurs aspects que la recherche devrait être encouragée à améliorer pour garantir les meilleurs résultats ; Malgré tout ça, nous avons quelques perspectives et des points de vue que, à proposer pour des éventuelles recherches avenir, telles que :

- Développement de matériaux : Explorez de nouveaux matériaux ou additifs qui peuvent améliorer les performances et la durabilité des chaussées rigides. Étudier l'utilisation de matériaux cimentaires alternatifs, tels que les géo-polymères ou les matériaux recyclés, pour réduire l'impact environnemental et améliorer la durabilité.
- Résilience climatique : Étudier l'impact du changement climatique sur l'infrastructure routière et élaborer des lignes directrices pour la conception de chaussées rigides capables de résister à des conditions météorologiques extrêmes, notamment les variations de température, les cycles de gel-dégel et les fortes précipitations. On peut également considérer les effets du changement climatique sur les propriétés des matériaux utilisés dans la construction des chaussées.
- Évaluation de la performance : Mener d'autres études pour évaluer la performance à long terme des chaussées rigides par rapport aux chaussées souples dans différentes régions et dans des conditions de circulation variables. Cela pourrait impliquer de surveiller la performance des sections de route existantes et de collecter des données sur des facteurs, tels que l'intégrité structurelle, les exigences d'entretien et la durabilité.
- Pratiques durables : Étudier les moyens d'intégrer des pratiques durables dans la conception et la construction de chaussées rigides, telles que l'optimisation de l'utilisation des matériaux, la réduction de la consommation d'énergie pendant la construction et la mise en œuvre de stratégies efficaces d'entretien des chaussées pour prolonger la durée de vie des infrastructures routières.
- Avancées technologiques : explorer les technologies émergentes et les techniques de construction innovantes pour la conception et la construction de chaussées rigides. Cela pourrait inclure l'utilisation d'outils avancés de modélisation et de simulation, de techniques de télédétection et d'automatisation des processus de construction pour améliorer l'efficacité, la précision et le contrôle de la qualité.

Enfin, nous espérons, qu'avec ce modeste travail, nous avons répondu à la question qu'on s'est posé dans la problématique de ce travail :

➤ ***Pourquoi l'Algérie ne construit pas des routes en chaussées rigides ?***

Références Bibliographiques

- **01-** Boumehraz Nada. Dimensionnement optimal des chaussées rigides. Mémoire de master soutenu dans l'année 2017/2018, Université de Blida, 62p.
- **02-** Loubou Aidara. Etude comparative de chaussée rigide et chaussée flexible. Thèse d'ingénieur, soutenue dans l'année 1989/1990, Ecole Polytechnique de Thies, Sénégal. 75p.
- **03-** KHIAT Asmaa et MECHERI Wissem. Comparaison entre la chaussée souple et la chaussée rigide. Mémoire de master, soutenu dans l'année 2019/2020, Université de Ain Temouchent.
- **04-** Prentice, G., Publishing, C., & Publishing, C. (2022, August 22). *Exploring the development and construction of Kiwi roading*. Contractor Magazine. <https://contractormag.co.nz/contractor/heritage-nz/history-of-kiwi-roading/>
- **05-** Bittle, J. (2021, April 26). *The history-and future-of hitting the road*. Popular Science. <https://www.popsoci.com/history-future-roads-feature/>
- **06-** Nelson, B. (2017, October 11). *This is the real difference between streets, roads, and Avenues*. Reader's Digest. <https://www.rd.com/article/difference-between-streets-roads-avenues/>
- **07-** Cours « Routes 1 » : Chapitre 03, université de Laghouat, (Présenté par: Prof. Madani BEDERINA)
- **08-** *Tracés et Normes géométriques 1. Problème 3- dimensionnel –dimensions en x, y, & Z 2 de kilarski. - PPT télécharger*. SlidePlayer. (n.d.). <https://slideplayer.fr/slide/17006460/>
- **09-** *Vos routes - un entretien régulier pour des chaussées saines*. Techniroute. (n.d.). <https://techniroute.fr/vos-routes/>
- **10-** [Larsen, H.J.E., Ullidtz P. 1997. Pavement subgrade performance study in the Danish road-testing machine. 8th International Conference on Asphalt Pavements, Seattle, Washington, Proceedings vol.I, pp.](#)
- **11-** M. HAME Alio Moustapha et M. MAMOUDA MahamanYahouza. Mémoire de MASTER. Dimensionnement d'une chaussée souple : étude comparative de la

méthode du catalogue Algérien et les pays subsahariens (Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib Ain Témouchent).

- **12** - BOUMEHRAZ NADA. Dimensionnement optimal des chaussées rigides - Mémoire de master, UNIVERSITE DE BLIDA 1, 2018.
- **13**- AHMED YAHIAOUI Wahiba. Rénovation de la piste d'atterrissage de l'aérodrome Moulay Ahmed Medeghri Laghouat - Le cas de l'utilisation des plaques en béton non armé goudonnées. MEMOIRE DE MASTER, Université de Laghouat, (2018)
- **14** -BENBEKHMA Sabrina, CHERIGUENE Amal (Diagnostic des dégradations) 2019
- **15**- AHMED YAHIAOUI Wahiba. Rénovation de la piste d'atterrissage de l'aérodrome Moulay Ahmed Medeghri Laghouat - Le cas de l'utilisation des plaques en béton non armé goudonnées. MEMOIRE DE MASTER, Université de Laghouat, (2018)
- **16**- Bots verification - التحقق البشري. (n.d.).
<https://djelfainfo.dz/ar/news/steppe/1065.html?print>
- **17**- Weatherspark.com. Climat, météo par mois, température moyenne pour Aflou (Algérie) - Weather Spark. (n.d.).
<https://fr.weatherspark.com/y/47081/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Aflou-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l%27ann%C3%A9e#Figures-SolarElevation>
- **18** -DTP – Laghouat
- **19**- Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves
- **20**- Destombes, A. (2003). *Catalogue des structures De chaussées: Guide technique pour l'utilisation des Matériaux régionaux d'ile-de-france*. Préfecture de la région d'Ile-de-France.
- **21**- Abou, & Infociments, E. (n.d.). *T50. Voiries et aménagements urbains en Béton (tome 1) - conception et dimensionnement*. Infociments.
<https://www.infociments.fr/route/t50-voiries-et-amenagements-urbains-en-beton-tome-1-conception-et-dimensionnement>
- **22**- Synthesis, experimental and theoretical vibrational studies of chloride ... (n.d.-b). <http://www.univ-tissemsilt.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/2323/MM540-006.pdf?sequence=1>
- **23**- *Fabrication des granulats*. Lafarge France : ciment, bétons, granulats, solutions et produits. (n.d.). <https://www.lafarge.fr/fabrication-des-granulats>
- **24**- *TSM range*. ERMONT. (n.d.).
<https://ermont.fayat.com/en/products/continuous-asphalt-plants/tsm-range>

- 25- Leasing. (n.d.). The composition and characteristics of Great Wall Cement production line. <http://www.great-wall.co/media/company-news/2015/04/11.html#.ZGZnAHbMLIU>
- 26 - SEROEST Laghouat (société algérienne de réalisation des ouvrages d'art)
- 27 - Projet RN23 – Lot No 4
- 28-BCR. Ciment Québec. (2020, June 11).
<https://www.cimentquebec.com/construction/bcr/>

- 29- Tamouya, & Infociments, E. (n.d.). *Recycler les Chaussées en place : Un Procédé rationnel, économique, durable et écologique*. Infociments.
<https://www.infociments.fr/retraitement-des-chaussees/recycler-les-chaussees-en-place-un-procede-rationnel-economique-durable-et-ecologique>