REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Thème **:**

Dimensionnement du corps de chaussée de Chemin du Wilaya n°138 reliant la Route National n°01 à la nationale 62

Présenté par :

BENZEKKOUR M'HAMED

NABI NABILA

Proposé et Dirigé par :

Dr : BENSAADA ABDELHALIM

Promotion Juin 2022

Remerciement

Nos remerciements vont particulièrement à nos parents pour leur soutien et leurs encouragements.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr. BEN SAADA ABD ELHALIM pour l'élaboration de cette étude.

Nos remerciements également à l'ensemble du corps enseignants de l'université YAHIA FARES en général et plus particulièrement à ceux du GÉNIE GÉOTECHNIQUE.

Nous remercions tous les fonctionnaires de la DTP Médéa. Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont conseillées, qui se sont simplement intéressées à ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :
Mes chers parents,
Mon frères et Ma sœur et son mari ,
Toute la famille BENZEKKOUR
Tous mes amis.

Abdelmalek, Ismail benz , amine, ramzi, chérif, Salim ,
Noureddine , Zaki , Lotfi ,Lakhdar , Hadjer , ines , chaima ,
radia , leila , lamia , raouf , youcef , geloula ,ramzi

et tous mes collègues

M'HAMED BENZEKKOUR

Dédicace

Je dédie ce travail a :

Mes parents exceptionnellement

À mes chers frères et
À tout la Famille
À mes voisins et toutes mes amies et sans exception.

Mme NABI NABILA

RESUME

Le trafic routier qui est devenue plus intense, ainsi que les températures durablement élevées sont à l'origine des déformations des couches supérieures de la chaussée.

La présente étude a pour objectif de :

Dimensionnement de la route du projet CW138 reliant entre RN01 et RN62 passant par lacommune de Benchicao et la ville de Si Mehdjoub sur une longueur totale de 30KM.

L'étude est par différents aléas englobant le dimensionnement d'une structure routière par plusieurs méthodes (CBR ; la méthode algérienne, etc.) qui doit parfaitement s'adapter aux conditions d'environnement de notre zone.

L'étude de tracé différents profils de notre projet passe par une bonne connaissance de la géologie de la région et une interprétation des résultats des campagnes de reconnaissance géotechnique.

Mot clé : Dimensionnement , déformation , structure routière

ملخص

إن حركة الرؤل الذي صارت أكثر كثافة وتركيزا بالإضافة إلى االرتفاعات الكبيرة في درجة الحرارة تعد ألسباب الرئيسية التشوهات التي تحصل في الطبقات العليا للطرق، هذه العوامل قادت إلى استغالل مواد جديدة لتغطية الفصور المسجل على مستوى التركيبة الزفتية العادية.

وتهدف هذه الدراسة الى:

تحقيق طريق مشروع الطريق الوالئي CW138 الذي يربط بين RN0 الطريق الوطني و الطريق الوطني RN62 مرورا ببلدية بن شقاو وبلدة سي المحجوب على طول إجمالي يبلغ 30 كم.

تمت الدراسة بمخاطر مختلفة بما في ذلك تحديد حجم هيكل الطريق بعدة طرق)CBR؛ الطريقة الجزائرية،الخ (والتي يجب أن تتكيف تما ما مع الظروف البيئية لمنطقتنا.

تتطلب دراسة المالمح المختلفة لمشروعنا معرفة جيدة بجيولوجيا المنطقة وتفسير نتائج حمالت االستطالع الجيوتقنية .

الكلمات المفتاحية :الابعاد .التشوهات. هيكل الطريق

Summary

The sound’s traffic has become increasingly aggressive, as well as permanently high temperatures are copniterd to the pricipale causes of deformations of the upper layers of the roadway.

These factors have led to use new materials to recover the insufficiency recorded at the level of normal asphalt structure, the design the pavement structure of:

Key word : dimensioning , deformations , road structure

Sizing of the CW138 project road linking between RN01 and RN62 passing through the localities of Benchicao and the town of Si Mehdjoub over a total length of 30KM.

The study is by various hazards including the sizing of a road structure by several methods (CBR; the Algerian method, etc.) which must perfectly adapt to the environmental conditions of our area.

The study of the different profiles of our project requires a good knowledge of the géologie of the region and an interpretation of the results of the geotechnical reconnaissance campaigns.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Dédicace

RESUME

ملاخص

SOMMAIRE

liste des figures

Liste Des Tabalaux

Liste des symboles

I**NTRODUCTION GENIRALE**

Chapitre I : Généralité sur les chaussées 3

Introduction 3

Constitution d'une chaussée 3

La couche de forme 3

Les couches d'assise 4

La couche de surface 4

Les chaussées souples 5

Les chaussées bitumineuses épaisses 5

Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques 5

Les chaussées à structure mixte 6

Les chaussées à structure inverse 6

Les chaussées en béton de ciment 6

Principaux modes de fonctionnement et de dégradations des chaussées 7

Les chausses souples 7

Les chaussées bitumineuses épaisses 8

Les chaussées à assise traitée aux Liants hydrauliques 9

Les chaussées à structure mixte 11

Les chaussée de structures inverses 11

Facteurs influant sur les dégradations 12

Facteurs extérieurs 12

Facteurs liés à la structure 13

I .5.3. Facteurs Iiés aux matériaux 15
I .5.3.1. Tous matériaux 15
I .5.3.3. Matériaux bitumineux 15
I .5.3.4. Matériaux traités aux liants hydrauliques 16
1.6. Les modèles des chaussées 17
Modèles de chaussées élastiques 17
Modèle de Boussinesq 17
Modèle bicouche de Westergaard 18
Modèle de Pasternak 19
Modèle bicouche de Hogg 20
Modèle multicouche de Burmister 20
Modèles de chaussées viscoélastiques 22
Modèles de Maxwell et de Kelvin-Voigt 22
Modèles de Maxwell et de Kelvin-Voigt généralisés 23
Modèle de Huet 23
Modèle de Huet-Sayegh 24
Chapitre II : Présentation du projet et prospection géologique et géotechnique 25
Introduction 25
Présentation du projet 25
Contexte géologique du tracé de la route 26
Sismicité de la région 27
Investigation géotechnique 28
Essai in situ 29
Essais de pénétration dynamique 29
Remarque hydrogéologique 30
Essais de laboratoire 31
Résultats des essais physiques et mécaniques 31
Puits de reconnaissance 32
Stabilité du tracé de la route 33
Chapitre III : Etude du trafic 37
Introduction 37
Objectifs des études de trafic 37
Les enquête 38
Enquêtes de circulation 39
Mesures de poids 40

L'analyse des trafics existants....41
Application numérique au projet....41
Capacité d'une liaison....42
Définition de la capacité....42
Calcul de la capacité....42
Projection future du trafic....42
Calcul de trafic effectif....42
Application numérique au projet....43
Les données de trafic....43
Projection future de trafic....43
Calcul du trafic effectif....43
Chapitre IV: Etude géométrique....45
Introduction....45
Tracé en plan....45
Définition....45
Les règles à respecter pour le tracé en plan....45
Les éléments de tracé en plan....45
Les alignements....46
Les arcs de cercle....46
Les courbes de raccordement....49
Combinaison des éléments du tracé en plan....53
Courbe en S....53
Courbe á sommet....53
Courbe en C....54
Courbe en ove....54
Application au projet....55
Le profil en long....56
Définition....56
Règles à respecter dans le tracé du profil en long....57
Eléments constitutifs du profil en long....57
Coordination du tracé en plan et du profil en long....60
Profil en long du projet....61
Profil en travers....61
IV 4.1. Définition....61
Eléments constitutifs du profil en travers....62

Différents types de profil en travers 63
Application au projet 63
Cubatures des terrassements 65
Terrassement 65
Méthode de calcul 65
Description de la méthode SARRAUS 66
Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée 67
Introduction 67
Les principales méthodes de dimensionnements 67
Methode C.B.R (California – Bearing – Ratio) 67
Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials) 69
Méthode d'ASPHALT 69
Méthode du catalogue des structures 69
Détermination de la classe de trafic 69
Détermination de la classe du sol 70
La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) 70
Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves 71
Application au projet 72
Caractéristiquesdusol support 72
V.3.1.1 Amélioration de laportance dusolsupport 72
Méthode de catalogue des structures 75
Détermination du type de réseaux principaux 75
Détermination de la classe de trafic 75
V.3.3.4. Choix de différentes couches constitue de la chaussée 76
Conclusion 78
CONCLUSION GENERALE 67
Conclusion Générale 80
Références bibliographique 82

Liste des figures

Figure I.1 : Structure d'une chaussée routière 3

Figure I.2 : Chaussée souple 5

Figure I.3 : Chaussées bitumineuse épaisse 5

Figure I.4 : Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques..... 6

Figure I.5 : Chaussées à structure mixte.....6

Figure I.6 : Chaussées à structure inverse 6

Figure I.7 : Chaussées en béton de ciment 7

Figure I.8 : Mode de fonctionnement d'une chaussée souple 8

Figure I.9 : Mode de fonctionnement d'une chaussée bitumineux épaisse 8

Figure I.10 : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq… 18

Figure I.11 : Schéma du modèle de Westergraad.….....19

Figure I.12 : Principe du modèle de Pasternak… 19

Figure I.13 : Schéma du modèle de Hogg.....20

Figure I.14 : Schéma du modèle multicouche de Burmister 21

Figure I.15 : Eléments de Maxwell (a) et de Kelvin-Voigt (b) 22

Figure I.16 : Modèle de Maxwell généralisé 23

Figure I.17 : Modèle de Kelvin-Voigt généralisé 23

Figure I.18 : Représentation du modèle de Huet.....23

Figure I.19 : Représentation du modèle de Huet-Sayegh..... 24

Figure II.1 : Extrait da la carte topographique montrant une partie du CW 138… 25

Figure II.2 : Montrant un affleurement des grés durs..... 26

Figure II.3 : Montrant la formation des argiles rencontrée le long du tracé 27

Figure II.4 : Nouvelle carte de zonage sismique du territoire national 27

Figure II.5 : Montrant les travaux réalisés au niveau d'une instabilité au début du tracé de la route 34

Figure II.6 : Montrant une traversée d'oued inondable, du coté de Douar Zaouia..... 34

Figure II.7 : Montrant une traversée d'oued inondable, du coté de Douar Zaouia..... 35

Figure IV.1 : Les éléments du tracé en plan.....45

Figure IV.2 : Les forces agissant sur un véhicule dans un virage..... 46

Figure IV.3 : Les différentes sections d'un virage.....49

Figure IV.4 : Eléments de la clothoïde 50

Figure IV.5 : Courbe en S 52

Figure IV.6 : Courbe à sommet 53

Figure IV.7 : Courbe en C.....53

Figure IV.8 : Courbe en Ove 54

Figure IV. 9 : Trace en plan de projet de CW138 54

Figure IV. 10 : Profilen long d'une route..... 55

Figure IV. 12 : Profil en long du projet 59

Figure IV.13 : Profil en travers général.....60

Figure IV. 14 : Profil en travers en déblai 61

Figure IV. 15 : Profil en travers en remblai 62

Figure IV. 16 : Profil en travers mixte..... 62

Figure IV. 17 : Surface remblai et surface déblai.....64

Figure IV.18 : Principe de la méthode SARRAUS..... 64

Figure IV.19 : Coupe transversale d'une chaussée..... 65

Figure V.1 : les etaps de deminitionnement méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves..... 71

Figure. V.2 : Structure de chaussée (CBR)..... 73

Figure. V.3 : Structure de chaussée 76

Liste des symboles

e : Épaisseur de la structure de chaussées.

CBR : California – Bearing – Ratio

n : le nombre moyen de poids lourds de plus de 3.5 tonnes.

P : La charge.

E eq : épaisseur équivalente.

I : indice CBR (sol support).

N le nombre journalier de camion de plus 1500Kg à vide.

P : charge par roue p = 6.5 t (essieux équivalents de 13 t).

E : module de Young.

V : Coefficient de poisson.

LCPC : laboratoire centrale de pont de chaussées.

LCTP : Laboratoire Central des Travaux Public.

CTTP : Control technique des travaux publics.

CPT : Cahier de prescription technique.

CEBTP : Centre expérimentale de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics.

TJMA : trafic en moyenne journalière annuelle.

ESU : Enduit Superficiel.

L : grandes liaisons (autoroutes).

R : route multifonctionnelles.

PL : poids lourd.

n : la porosité.

e : l'indice de vides.

Sr : degré de saturation.

E : Extraction.

G : Action sur la granularité.

W : action sur la teneur en eau

C : Compactage.

H : Hauteur des remblais.

S : Protection superficielle.

MJA : poids lourd journalier moyen poids lourd journalier moyen de la voie la plus chargée, pendant l'année de mise en service.

Ti : La classe de trafic.

A : L'agressivité d'un essieu sur structure neuve moyen et fort trafic.

K : coefficient permettant de tenir compte du type d'essieu.

P : essieu de charge.

p_0 : référence de charge.

NPL : nombre de poids lourds pendant la période de comptage.

K: coefficient correspondant au type d'essieu.

SETRA : Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes.

VBS : la valeur au bleu de méthylène.

MDE : micro Deval.

LA : los Angeles.

W opn : l'Optimum Proctor Normal.

W n : la teneur en eau naturelle.

WL : la limite de liquidité.

W p : la limite de plasticité

I p : Indice de Plasticité.

I c : l'indice de consistance.

IPI : l'indice portant immédiat.

GTR : Guide des Terrassements routiers.

c1, c2, c3 : coefficients d'équivalence selon le matériau.

e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.

S : la portance de sol-support de chaussée.

MNT : Matériaux non traités.

BB : Béton bitumineux.

GB : Grave bitume.

GNT: Grave non traité.

GC: Grave concassé.

TVC: Tout venant de la carrière.

TVO: Tout venant de l'oued.

T eff : trafic effectif.

Q adm : Débit admissible.

C th: capacité théorique.

R m : rayon minimal.

Rn d : rayon non déversé.

Rd m: Rayon au devers minimal.

RV m: Rayon minimal en angle saillant.

RP : Le réseau principal.

RS : Le réseau secondaire.

RN : routes nationales..

PST : partie supérieur de terrassement.

FS : friabilité des sables.

MTLH : matériau traité au liant hydraulique.

GTLH : grave traité au liant hydraulique.

DTP : direction des travaux publics.

NFP : normes franç

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les coefficients d'accélération 28

Tableau II.2 :Résultats des essais penetro-métriques..... 30

Tableau II.3 :Résultats des essais physiques et mécanique de sondage carotté SC01… 31

Tableau II.4 :Résultats des essais physiques et mécanique sur les puits de reconnaissances.32

Tableau III.1 : La campagne de comptage 41

Tableau III.2: Coefficient d'équivalence 43

Tableau III.3 : Ensemble des résultats de l'étude de trafic 44

Tableau IV. 1 : Déclivité maximale..... 58

Tableau IV.2 : Rayons en angle saillant.....59

Tableau IV .3 : Rayons en angle rentrant 60

Tableau V.1 : Coefficients d'équivalence 68

Tableau V.2 : Classes de trafic poids lourds.....70

Tableau V.3 Classement des sols selon C.B.R.....70

Tableau V.4 : Résultats des recherches de CCTP pour améliorer la portance de sol..... 73

Tableau V.5 : Epaisseurs réelles et équivalence de la chaussée 74

Tableau V.6 : classification des réseaux principaux 75

Tableau V.7 : classe de trafic..... 76

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'analyse de la situation des pays développés montre que l'industrie du transport est le fondement du développement national et de la croissance économique, indiquantque l'industrie du transport est un secteur stratégique au niveau économique et social, et l'intégrité et l'intégrité du transport l'industrie peut aider pour répondre aux besoins fondamentaux de la population et pour dynamiser et consolider d'autres pans de l'économie nationale, elle constitue une véritable locomotive, comme dans l'histoire actuelle des pays développés ou en voie de développement.

En Algérie, le transport routier joue un rôle important puisqu'il supporte plus de 80% des marchandises et des passagers. Pour simplifier les transports, l'État a opté pour un programme lié à la construction de nouveaux tracés routiers et à des améliorations routières passionnantes. Le projet de chemin de wilaya CW138, reliant la Route National n°01 et la route national 62 en passant par les localités de Benchicao et Si Mahdjoub, étant nécessaire , compte tenu de l'importance de la route existante qui doit supporter l'intense trafic actuel , des différentes activités économiques , commerciales et sociales de la région.

Notre travail est de parvenir à faire une étude du dimensionnement de corps de chaussée neuve du projet de CW 138 choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises. Tout cela en fonction des paramètres fondamentaux, le trafic, l'environnement de la route (le climat essentiellement).

CHAPITRE I :
GENERALITE SUR LES CHAUSSÉES

Chapitre I : Généralité sur les chaussées

Introduction

Les chaussées (routières, ferroviaires, aéroportuaires, de tramway, industrielles, etc.) sont des structures composites, multicouches, souvent complexes, conçues pour résister sur une durée de vie relativement longue aux multiples sollicitations mécaniques (liées principalement au passage de charges lourdes) et climatiques (cycles de température, pluie, gel, UV, etc.), qui l'une après l'autre dégradent imperceptiblement les performances initiales des matériaux et de leurs interfaces.

Constitution d'une chaussée

Une chaussée est une structure multicouche constitue de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini.

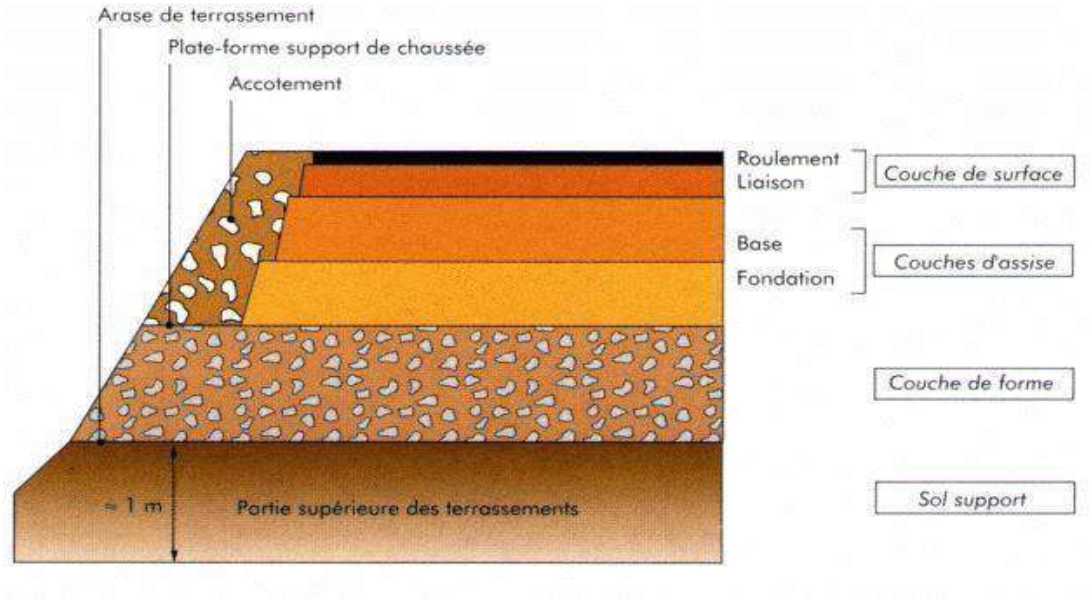


Figure I.1 : Structure d'une chaussée routière [1]

La construction d'une route passe par les étapes de choix de tracé, terrassement (préparation du terrain, comblement des trous, rognage des bosses, planéité de l'arase de terrassement), mise en œuvre d'une couche de forme (elle participe au fonctionnement mécanique de la chaussée), puis d'une couche d'assise (elle apporte la résistance mécanique aux charges), puis d'une couched'accrochage (liaison entre couche d'assise et couche de roulement, elle est réalisée avec une émulsion de bitume), et enfin d'une couche de roulement.

La couche de forme

Cette couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée a une doublefonctio:

- ✓ Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée,
- ✓ Vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

Le rôle des couches formant le corps de chaussée :

- Les couches d'assise : couche de fondation et couche de base.
- La couche de surface (couche de roulement et couche de liaison)

Peut être distingué par leur apport aux fonctions que doit assurer la chaussée. (Figure I.1)

Les couches d'assise

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés (le plus souvent liés pour les chaussées à trafic élevé) apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support a fin de maintenir les déformations à ce niveau dans des limites admissibles.

La couche de surface

La couche de surface est constituée de :

- La couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat,
- Et le cas échéant d'une couche de liaison, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

C'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assises traitées aux liants hydraulique. Des caractéristiques de surface de la couche de roulement dépendent pour une large part de la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue en outre à la pérennité de la structure de chaussée en particulier par la fonction d'étanchéité vis-à-vis de l'assise.

Les différents types de chaussée

L'une des caractéristiques du réseau routier est l'existence d'une grande diversité de structure de chaussées, que l'on classe dans les familles ci-dessous, suivant leur mode de

fonctionnement, on distingue six grandes familles de chaussée.

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

Les chaussées souples

Ces structures comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm.

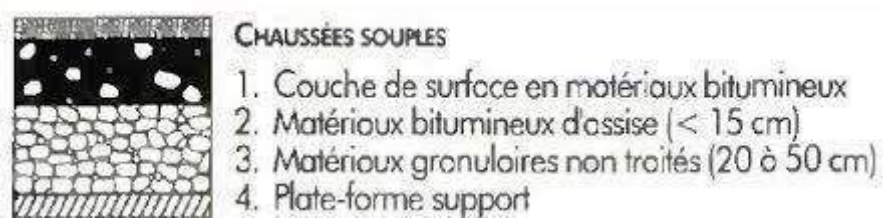


Figure I.2 : Chaussée souple [2]

Les chaussées bitumineuses épaisses

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps dechaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base etfondation). L''épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm.

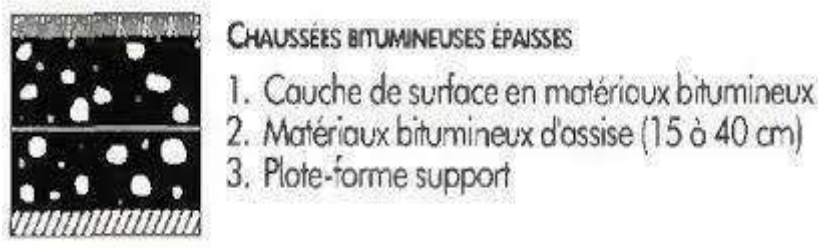


Figure I.3 : Chaussées bitumineuse épaisse [2]

Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

Ces structures sont qualifiées couramment de "semi-rigides". Elles comportent une couchede surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés enune ou deux couches (base et fondation) dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm.

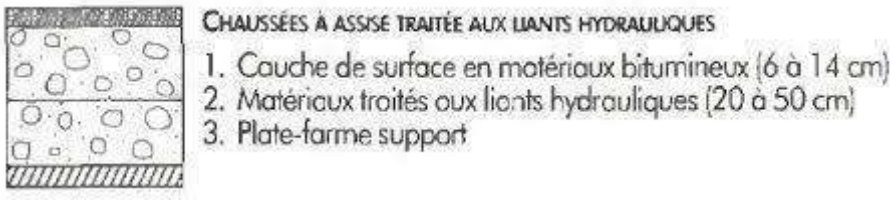


Figure I.4 : Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques [2]

Les chaussées à structure mixte

Ces structures comportent une couche de roulement et une couche de base en matériauxbitumineux (épaisseur de la base : 10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériauxtraités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). Les structures qualifiées de mixtes sont telles quele rapport de l'´épaisseur de matériaux bitumineux à l´épaisseur totale de chaussée soit del'ordre de 1/2.



Figure I.5 : Chaussées à structure mixte [2]

Les chaussées à structure inverse

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'´épaisseur totale, sur une couche de grave non traitée (environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'´épaisseur totale atteint 60 à 80 cm.

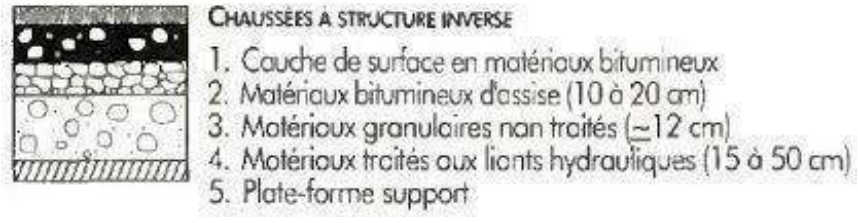


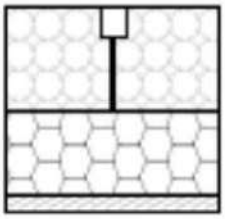
Figure I.6 : Chaussées à structure inverse [2]

Les chaussées en béton de ciment

Ces structures comportent une couche de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur qui sert de couche de roulement éventuellement recouverte d'une couche mince en matériaux bitumineux. La couche de béton repose soit sur une couche de fondation (en

matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton de ciment), soit sur une couche drainante en grave non traitée, soit sur une couche d'enrobé reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques.

La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal ("béton armé continu"), ou discontinue avec ou sans élément de liaison aux joints. Ci-dessous nous présentons les structures de chausse en béton de ciment.



Dalles non goujonnées avec fondation::
1. Béton de ciment (20 à 28 cm)
2. Béton maigre (12 à 18 cm) ou matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 20 cm)
3. Plate−forme support

Figure I.7 : Chaussées en béton de ciment [2]

Principaux modes de fonctionnement et de dégradations des chaussées

Les modes de fonctionnement et de dégradations décrits ci-après sont ceux de chaussées construites suivant les règles de l'art (sans défauts notoires à la construction). L'expression sol support utilisée ci-après désigne la ou les couches sur lesquelles reposent les assises de chaussée. Il peut s'agir du sol naturel ou de la plate-forme.

Les chausses souples

Chaussées dont l'assise est constituée de matériaux non traités, recouverte par une épaisseur bitumineuse relativement faible (inférieure ou égale à 12 cm).

L'assise en matériaux non traités présente une faible rigidité qui est en relation avec l'épaisseur de la couche granulaire et la rigidité du sol ; cela a pour effet de rendre ces chaussées particulièrement sensibles aux variations d'état hydrique des matériaux non traités et des sols supports.

La couverture bitumineuse relativement mince (≤ 12 cm) assure peu la diffusion des contraintesverticales dues au trafic et subit à sa base des efforts répétés de traction par flexion.

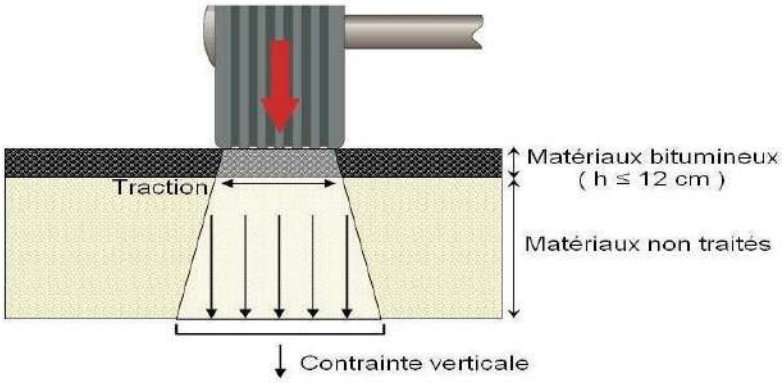


Figure I.8 : Mode de fonctionnement d'une chaussée souple [3]

Les efforts verticaux transmis aux matériaux non traités et au sol support sont relativement élevés ce qui a pour effet d'entraîner l'apparition de déformations permanentes en surface (L'orniérage à grand rayon, flaches et affaissements) ; ces déformations croissent avec le cumul du trafic. Les efforts répétés de traction - flexion à la base de la couverture bitumineuse entraînent une fatigue de celle-ci, qui se traduit en surface par l'apparition de fissuration longitudinale évoluant rapidement vers un faïençage à mailles fines. La possibilité pour les eaux superficielles de s'infiltrer dans l'assise provoque une accélération des dégradations : épaufrures aux lèvres des fissures avec départ de matériaux, augmentation de l'amplitude des déformations, puis apparition de nid-de-poule.

Les chaussées bitumineuses épaisses

Chaussées dont l'assise est constituée en matériaux bitumineux, et dont l'épaisseur totale de matériaux bitumineux est supérieure à 12 cm.

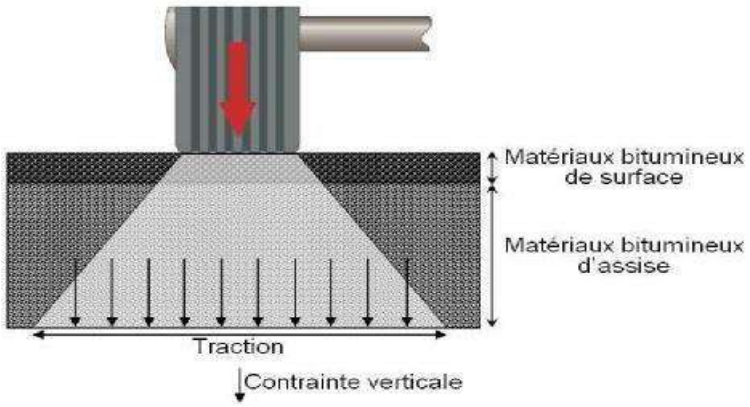


Figure I.9 : Mode de fonctionnement d'une chaussée bitumineux épaisse [3]

La rigidité des couches en matériaux bitumineux permet de diffuser, en les atténuant fortement, les contraintes verticales transmises au support. Les efforts induits par les charges roulantes sont

repris en traction-flexion dans les couches bitumineuses. Tant que les interfaces entre les différentes couches restent collées, les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche la plus profonde. Si les couches sont décollées, chacune d'elles se trouve sollicitée entraction et peut se rompre par fatigue. La qualité des interfaces a donc une grande incidence surle comportement de ces chaussées.

Dans le cas d'une chaussée correctement dimensionnée vis-à-vis du trafic et de la plate-forme support, les premières dégradations affectent généralement les couches de surface :

- Orniérage par fluage de la couche de surface, favorisé par des températures élevées, un trafic lourd lent ou des choix inadaptés de matériaux et de formulation ;
- Arrachement de gravillons sous l'effet des efforts tangentiels engendrés par le trafic ;
- Apparition d'une fissuration anarchique traduisant un durcissement par vieillissement du bitume de la couche de roulement (oxydation, gradients thermiques, lessivage des eaux superficielles) ;
- Les efforts verticaux transmis au support sont généralement suffisamment faibles pour ne pas entraîner de sollicitations excessives du sol à l'origine de déformations permanentes avant l'endommagement par fatigue des couches bitumineuses liées (sauf cas exceptionnels tels qu'une circulation intense après un hiver très rigoureux ou un défaut d'exécution par exemple) ;
- A plus long terme, les efforts répétés de traction-flexion à la base de l'assise bitumineuse entraînent une dégradation par fatigue de celle-ci, se traduisant par l'apparition d'une fissuration remontant peu à peu du fond de la structure jusqu'à affecter la couche de roulement. La fissuration longitudinale observée dès lors en surface évolue vers du faïençage dont la dimension des mailles se réduit peu à peu, cette transformatif s'amorçantdans les zones plus faibles (qualité de portance du support, caractéristiques du matériau lié,zone de décollement entre couches) ;
- De la fissuration longitudinale dans les bandes de roulement peuvent aussi apparaître en progressant du haut vers le bas des couches bitumineuses.

Les chaussées à assise traitée aux Liants hydrauliques

La grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée. L'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion qui s'avèrent déterminantes pour le dimensionnement de ce type de chaussée.

Tant que l'interface entre la couche de base et la couche de fondation est collée, la contrainte maximale de traction est observée à la base de la couche de fondation. Si cette interface est décollée ou glissante, les couches travaillent toutes deux en traction à leur base. La qualité des interfaces a donc une grande incidence sur le comportement de ces chaussées. Les assises traitées aux liants hydrauliques sont sujettes aux retraits de prise et thermique qui provoquent une fissuration transversale remontant rapidement au travers de la couche de roulement (de l'ordre du centimètre par an), selon un espacement assez régulier (entre 5 et 15 m).

Suivant les variations thermiques, l'ouverture de la fissuration évolue de quelques dixièmes de mm à quelques mm entraînant des conditions d'engrènement variables.

Au droit des fissures transversales de retrait :

- Souvent franche lors de son apparition, la fissuration transversale tend à se dédoublerait à se ramifier sous l'effet du trafic. L'étanchéité de surface n'étant plus assurée, la pénétration des eaux superficielles lors de précipitations entraîne une dégradation de la structure. Sousl'effet du trafic lourd, l'eau présente dans la fissure transversale fait l'objet d'un pompage (surpression – dépression) ayant pour conséquences :
  - Une diminution de la qualité du collage des interfaces et une désagrégation de la partie supérieure de l'assise et des parois de la fissure ;
  - une augmentation de l'allongement à la base de la couverture bitumineuse ;
  - Un accroissement des contraintes de traction à la base des couches traitées etin directement de la contrainte verticale sur le support de chaussée.
- En l'absence d'entretien (scellement des fissures de retrait), la dégradation de la fissuration transversale peut se traduire par l'apparition de remontées de boues en surface en période humide, la formation de flaches associées à du faïençage et des départs de matériaux (nids de poule).

Sur l'ensemble de la chaussée:

- Par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et des contraintes tangentielles induites par l'action du trafic, l'interface entre matériaux bitumineux et matériaux hydrauliques peut être amenée à se décoller. Les quelques centimètres supérieurs de l'assise traitée étant souvent de plus faible résistance, un glissement partiel peut rapidement apparaître, ce qui a alors pour conséquence une dégradation rapide de la couche bitumineuse, par fatigue structurelle ;
- Les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue, traduite par une fissuration longitudinale qui se

développe

dans les bandes de roulement, et conduit à terme à la ruine de la structure en semaillant avec les fissures de retrait.

-

Les chaussées à structure mixte

Les matériaux hydrauliques de la couche de fondation diffusent et atténuent, du fait de leur rigidité élevée, les efforts transmis au sol support. Grâce à son épaisseur, la couche de base en matériaux bitumineux permet de ralentir la remontée des fissures transversales de la couche de fondation et d'atténuer les gradients thermiques journaliers ; en sus, ses performances mécaniques lui permettent de réduire les contraintes de flexion à la base de la couche de fondation. Par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et de l'action du trafic, les couches de base et de fondation peuvent finir par se décoller et se rompre dans certaines zones, ce qui conduit à considérer un mode de fonctionnement mécanique de la structure en deux temps :

- 1er temps : l'interface entre les couches de fondation et de base est considérée collée :la base de la couche traitée aux liants hydrauliques est sollicitée en fatigue par traction ;
- 2emetemps : l'interface entre les couches de fondation et de base est localement décollée : dès lors, les deux couches sont fortement sollicitées en traction à leur base.

La fissuration transversale de retrait de la couche de fondation affecte au fil du temps les couchesbitumineuses. Ces fissures par l'effet du trafic et des pénétrations d'eau évoluent en se dédoublant, entraînant une dégradation des matériaux bitumineux. Les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue traduite par l'apparition d'une fissuration longitudinale remontant peu à peu dans la structure. Lorsque la grave hydraulique est dégradée et/ou que l'interface entre les matériaux hydrauliques et bitumineux présente des signes de faiblesse, la couche de base est sollicitée à son tour par fatigue, ce qui setraduit alors par l'apparition d'une fissuration longitudinale.

Les chaussées de structures inverses

La grande rigidité des MTLH permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée. La rigidité des couches bitumineuses permet de diffuser, en les atténuant, les contraintes verticales transmises à la couche de GNT. Les efforts induits par les charges roulantes sont repris en traction par flexion dans les couches bitumineuses. Le rôle de la GNT est de ralentir la remontée des fissures de retrait thermique de

La Grave Hydraulique. Tant que les interfaces entre les couches bitumineuses restent collées, lesefforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche bitumineuse inférieure.
Deux modes d'endommagement concourent à la ruine de la chaussée :

- La fissuration longitudinale de fatigue des couches bitumineuses qui favorise les entrées d'eau dans la GNT, altère sa rigidité et la rend plus sensible aux déformations permanentes. Ce phénomène amplifie la fatigue des couches bitumineuses avec une évolution rapide vers du faïençage ;
- La fissuration transversale de retrait thermique du MTLH qui apparaît en surface sous forme de fissures irrégulières, dédoublées donc difficile à étanche.

Facteurs influant sur les dégradations

Les structures de chaussée sont conçues pour répondre aux spécifications préconisées. Elles vont se dégrader sous l'action de différents facteurs qui peuvent être classés en trois catégories :

- Extérieurs aux chausses;
- Liés à la structure elle-même, à ses défauts de conception et de réalisation ;
- Lies aux matériaux constitutifs.

Facteurs extérieurs

Le trafic est le premier des facteurs extérieurs provoquant la ruine des chaussées. Il agit d'une part en sollicitant les couches traitées en traction/extension par flexion et en poinçonnant les couches non liées (sol support et GNT), provoquant respectivement fissures et déformations permanentes. Il peut également susciter l'orniérage par fluage des couches de surface bitumineuses.

Les facteurs extérieurs suivants pouvant intervenir à ce niveau sont : une température durablement élevée (période de canicule), une vitesse de sollicitation lente (rampe)ou une zone de fort cisaillement (virage, présence de feux ou stop).

Le trafic exerce également une augmentation de pression dans les fissures où l'eau s'est infiltrée.Par suite, cette eau sous pression attaque les éventuels points faibles des matériaux et de la structure, à savoir décolle les interfaces entre couches, entraîne les fines produites par l'attrition(au niveau de la fissure ou des interfaces), déchausse les granulats.

Les conditions climatiques influent sur le comportement des structures, de façon directe ou induite :

- La pluviométrie influe sur la teneur en eau des sols support et sur leur portance, sur la rigidité des matériaux non traités et sur la dégradation des discontinuités de la structure

(Fissures, interfaces). L'influence de ce facteur est amplifiée par le profil de la route (remblai, déblai), la nature et la largeur des accotements, l'état du dispositif de drainage et l'état de surface de la chaussée (déjà dégradé ou intact) ;

- Les températures estivales augmentent la sensibilité à l'orniérage ou au ressuage des couches de surface ;
- Les températures hivernales augmentent la fragilité des couches bitumineuses et les sollicitations au voisinage des discontinuités dans les structures rigides et à assise traitée aux liants hydrauliques ;
- Les variations journalières de température influent sur le fonctionnement des structures, notamment en modifiant la cambrure des dalles rigides et leur mode de fonctionnement, ainsi que sur la susceptibilité des matériaux bitumineux dans le cas où une trop grande amplitude journalière de température fragilise le matériau à basse température (pas d'accommodation possible) ;
- Les variations saisonnières de température influente elles-aussi sur le fonctionnement de la structure, en agissant sur la rigidité des matériaux pour les structures à couches bitumineuses et sur les conditions d'engrènement pour les structures à couches traitées aux liants hydrauliques ;
- L'ensoleillement et l'exposition aux intempéries provoquent un vieillissement des matériaux, qui se traduit par un durcissement des liants bitumineux et une fragilisation des liaisons granulats/liants ;
- Le gel peut, lorsqu'il est intense, provoquer le soulèvement de la structure (principalement sous nos latitudes si ses couches non traitées sont gorgées d'eau) et une dégradation de certains matériaux après de nombreux cycles de gel ;
- Plus dommageable, le dégel induit une dégradation accélérée de la structure par chute de portance du sol support (cas des sols fins, des craies …) ;
- Des périodes de grande sécheresse entraînent la dessiccation des sols (surtout ceux présentant des indices de plasticité élevés) et l'apparition de fissures de retrait en surface des chaussées.

Facteurs liés à la structure

L'épaisseur de la structure est déterminée afin que la chaussée assure la circulation d'un trafic poids lourds sur un sol support donné pendant une certaine durée. Des travaux réalisésselon les règles de l'art intègrent des variations (usuelles) d'épaisseur qui sont prises en compte dans le calcul de l'épaisseur nominale. Toute sous- épaisseur, ponctuelle ou étendue, induit dès

l'origine un excès de sollicitation dans la zone sous-dimensionnée, qui se traduit à plus ou moinslong terme par l'apparition prématurée de fissures ou de faïençage. Ces sous- épaisseurs sont d'autant plus dommageables que le matériau est rigide.

Les cas les plus fréquents de sous-épaisseurs se rencontrent en traverse d'agglomération, sur giratoire, ou sur plate-forme mal nivelée.

Les conditions de collage entre couches sont également déterminantes sur la durabilité des structures. Celles-ci sont calculées en adoptant des hypothèses de collage représentatives des conditions habituellement rencontrées : par exemple, les couches bitumineuses sont supposées collées sur leur support. Tout défaut de collage entre deux couches supposées solidaires conduit à une sollicitation excessive de chacune des couches de la structure, et donc à leur ruine prématurée. Il n'est pas rare, sur chaussées souples et bitumineuses épaisses sous fort trafic, de rencontrer des fissures longitudinales voire du faïençage dans les bandes de roulement et de mettre en évidence le décollement de la seule couche de surface par carottage.

Un défaut d'accrochage peut résulter de l'absence ou d'un mauvais dosage de la couche d'accrochage, des conditions météorologiques lors de la mise en œuvre (averses) ou de la présence d'une pollution sur la couche sous-jacente avant mise en œuvre.

Les structures rigides et à assise traitée aux liants hydrauliques génèrent quelques jours à quelques mois après leur mise en œuvre des fissures par retrait hydraulique des matériaux traités. Ces fissures ou joints doivent être étanchés et entre tenus périodiquement, afin que l'eau ne pénètre dans la structure et n'altère les conditions d'engrènement et d'interface, sous l'effet conjugué du trafic lourd.

Les travaux de type élargissements constituent souvent des points faibles de la structure.

Des comportements différentiels entre ancienne chaussée et élargissement peuvent être observés, résultant :

- Des matériaux utilisés pour ces élargissements qui ne sont pas nécessairement de même nature que ceux du corps de chaussée ;
- Du sol support remanié lors des terrassements des élargissements ;
- Des difficultés de mise en œuvre en faible largeur.
- Le joint entre élargissement et chaussée ancienne, réalisé à froid, a tendance à s'ouvrir rapidement, puis à s'épaufrer, d'autant plus qu'il est placé en bande de roulement et que des dispositions constructives de type redans n'ont pas été adoptées lors des travaux. (Conception des structures des élargissements).
- Les tranchées réalisées dans les chaussées pour les interventions sur réseaux enterrés causent les mêmes types de désordres que les élargissements.

I .5.3. Facteurs liés aux matériaux

I .5.3.1. Tous matériaux

La rigidité d'un matériau de chaussée dépend de son taux de compactage. Tous les matériaux requièrent un niveau de compactage minimal, garantissant une rigidité et un comportement en fatigue. Tout défaut de compactage affecte la rigidité du matériau, et par suite suscite une augmentation de la sollicitation induite au passage des charges lourdes. La durée de vie de la chaussée s'en voit réduite. Outre les facteurs extérieurs est le cas d'un matériau non adapté au trafic (squelette non optimisé, teneur en liant ou en sable trop élevée, susceptibilité thermique du liant bitumineux trop forte), peut également être un facteur à l'origine de l'orniérage des chaussées.

I .5.3.2. Matériaux non traités

Une teneur en eau trop élevée altère les performances mécaniques de ces matériaux, aussi bien en rigidité qu'en résistance à la déformation permanente. Cette teneur en eau augmente lorsque les couches supérieures ne sont plus imperméables (forte fissuration par exemple), qu'une alimentation en eau peut se faire par un terre plein central et/ou que le dispositif de drainage ne fonctionne pas (problème d'altimétrie, de colmatage des exutoires…).

La teneur en fines et la propreté (MB) sont également des facteurs déterminants, en ce sens qu'elles contribuent à la rétention d'eau libre et adsorbée et au mouvement d'eau libre (par capillarité), rendant de ce fait le matériau sensible au gel. Cette instabilité conduit généralementà une fissuration des couches supérieures et à l'orniérage.

I .5.3.3. Matériaux bitumineux

La teneur en liant, dont l'optimum a été déterminé lors de l'étude de formulation du mélange, est également un facteur déterminant.

- Un sous dosage conduit à :
  - Une réduction des performances en fatigue (donc à une moindre durabilité des matériaux) ;
  - Une moindre maniabilité du mélange (donc à une plus grande difficulté à atteindre la compacité requise) ;
  - Une plus grande sensibilité à l'eau (dé-cohésionnement de la liaison liant/granulats) ; dans une moindre mesure, une perte de rigidité du mélange.
- Un surdosage en liant a peu de conséquence pour les couches d'assise, mais estplus pénalisant pour les couches de surface où il conduit à :

- Une plus grande sensibilité à l'orniérage et au ressuage ;

- Un état de surface plus fermé (donc une moindre macro texture) défavorable à l'adhérence sur chaussée humide.

- Un manque de fines important conduit à une plus grande sensibilité du mélange à l'orniérage.
- La surchauffe des mélanges bitumineux à la fabrication en centrale entraîne un vieillissement prématuré du liant et conduit généralement aux dés enrobage et à la fissuration des couches de surface.
- Le sur-compactage des couches de surface induit un risque accru d'orniérage, et un manque de macro texture.
- Le sous-compactage des matériaux bitumineux peut également conduire, en plus d'un affaiblissement des caractéristiques mécaniques (module et fatigue), à un risque d'orniérage par post-compactage.
- L'emploi de bitumes durs, qui s'est développé ces dernières années pour améliorer la résistance à l'orniérage des couches de roulement et rigidifier les couches d'assises, conduit généralement à une plus grande sensibilité des matériaux aux basses températures, ce qui peut poser problème dans les zones à forts écarts thermiques. Cela se traduit alors par l'apparition en surface de la chaussée de fissures orientées de façon aléatoire, dans et hors bandes de roulement, initiées par le haut de la couche de roulement. Cette fissuration peut être aggravée dans les bandes de roulement sous l'effet du trafic lourd.

Cette fragilité du matériau bitumineux face aux températures les plus basses peut également se rencontrer pour des couches de surface élaborées à partir d'agrégats d'enrobés (bitume résultant après mélange plutôt dur), ou ayant fait l'objet de thermo-recyclage (thermo-reprofilage ou thermo-régénération), pour peu que les études préalables n'aient pas suffisamment anticipé ce phénomène.

I .5.3.4. Matériaux traités aux liants hydrauliques

Un sous-dosage en liant hydraulique (ou en eau) conduit à une moindre performance du mélange, aussi bien en rigidité qu'en résistance en traction. Cette réduction des performances mécaniques conduit à une réduction importante de la durée de vie.

Un surdosage en liant hydraulique rend le matériau plus rigide et plus résistant à la traction ; mais l'expérience montre que :

- Le délai de maniabilité est réduit ;

- La prise hydraulique s'effectue plus rapidement, ce qui a pour conséquence d'augmenter la fissuration de retrait ;
- La rigidité croît plus vite que la résistance en traction, ce qui a pour effet de fragiliser le matériau, de le rendre moins durable et plus sensible aux surcharges.

Le surdosage en eau conduit à une diminution des performances mécaniques, tandis qu'un sous-dosage réduit le délai de maniabilité.

Les conditions de mise en œuvre sont déterminantes sur la durabilité de ces matériaux :

- La dessiccation de la partie supérieure de la couche doit être évitée par mise en œuvre de couche de cure ;
- Le sur-compactage et/ou l'apport de couche en faible épaisseur peuvent provoquer le feuilletage de la partie supérieure de la couche ;
- Les travaux en arrière saison et en hiver sont à proscrire (risque de gel) ;

Un délai minimal doit être respecté avant remise sous circulation.

1.6. Les modèles des chaussées

La mécanique des chaussées est une branche particulière de la mécanique des milieux continus, c'est un domaine qui est limité à la compréhension du fonctionnement des divers types de structures de chaussées. Ce domaine consiste à évaluer le niveau de sollicitationque subissent les matériaux de chaussées et le sol support sous 1' effet du trafic; cela se fait à l'aide de modèles mathématiques. Le modèle mathématique a pour but de déterminer les contraintes, les déformations dans les matériaux de chaussées et le sol support résultant du passage en surface d'une charge roulante. Il doit reproduire le plus près possible le fonctionnement mécanique de la structure.

Les modèles de la mécanique des chaussées ont évolué dans le temps; cette évolution était rendue nécessaire par suite aux différentes évolutions des structures des chaussées et la généralisation de l'emploi des calculateurs numériques. Plusieurs modèles de type analytique ont été développés. Ceux qui ont été couramment utilisés pour l'analyse du fonctionnement et le dimensionnement des chaussées souples et rigides.

Modèles de chaussées élastiques

Modèle de Boussinesq

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel, on peut considérer que la pression se répartit de la même manière que dans un sol. Ceci amène à considérer la structure de chaussée comme un massif semi-infini et à proposer une

Méthode simple de dimensionnement. Avec les hypothèses d'isotropie et d'élasticité linéaire.Ce problème a été résolu par Boussinesq en 1885.

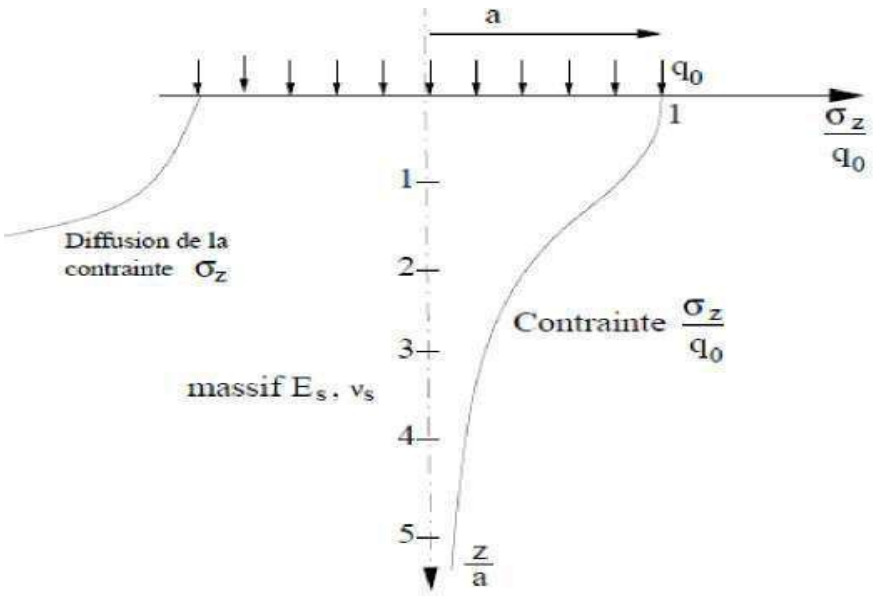


Figure I.10 : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq [4]

L'application de ce modèle à l'étude des structures de chaussées rigides présente les inconvénients suivants :

- La zone d'application est limitée (seulement pour les cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel ce qui n'est pas le cas des chaussées rigides) ;
- Il ne peut pas modéliser les structures multicouches ;
- La charge est considérée statique contrairement à la réalité.

L'étude du problème des chaussées munies de revêtements ne peut pas se faire seulement à l'aide du simple modèle de Boussinesq, du fait que ces revêtements, sous le passage des charges roulantes, contribuent à épanouir les pressions. Cet apport structural n'est pas négligeable. L'utilisation d'un modèle bicouche est nécessaire.

Modèle bicouche de Westergaard

Outre l'hypothèse de plaque mince pour la couche de la chaussée, Westergaad (1926)a adopté pour le sol une simplification. Celui-ci est considéré comme un massif de Winkler, c'est- à-dire un assemblage de ressorts indépendants. Le déplacement vertical w en un point de contact entre la couche et le massif est alors proportionnel à la pression verticale σ_{zz} en ce point, soit :

$$\sigma_{zz} = k.\ w$$

Où *k* est appelé le module de réaction de fondation et est fonction de cette dernière. Le modèle de calcul adopté peut être schématisé à la Figure suivante.

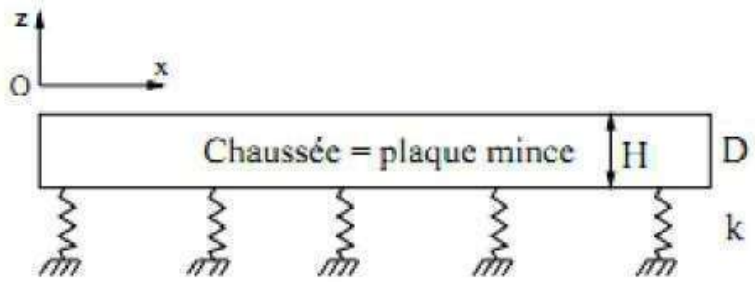


Figure I.11 : Schéma du modèle de Westergraad [4]

En se basant sur la théorie des plaques, ce modèle est simple à mettre en équation. On déterminetout d'abord l'expression de la déflexion sous l'effet d'une charge, à partir de laquelle on en déduitles moments de flexion et les contraintes, par les formules usuelles des plaques.
Bien que ce modèle soit à la base de la conception des chaussées rigides [4], il présente les inconvénients suivants :

- Les ressorts ont la même rigidité et travaillent indépendamment les uns des autres.
- Les cisaillements ne sont pas pris en compte à l'interface chaussée-sol, cequi influence beaucoup les résultats.
- Il ne peut pas représenter un complexe de type multicouche de chaussée ;
- La charge est toujours considérée statique comme par Boussinesq.

Modèle de Pasternak

Le modèle de fondation de Pasternak améliore le modèle de Westergaad en ce qui concerne la modélisation du sol. Ainsi, le massif de sol est toujours considéré comme un assemblage de ressorts, mais une couche de cisaillement est introduite entre la couche de chaussée et la fondation de Winkler. Cette couche est constituée de ressorts verticaux incompressibles, qui ne se déforment qu'en cisaillement, de module de cisaillement
G. Cette partie ajoutée a pour fonction, de ne prendre en compte que le cisaillement à l'interface chaussée-sol (Figure).

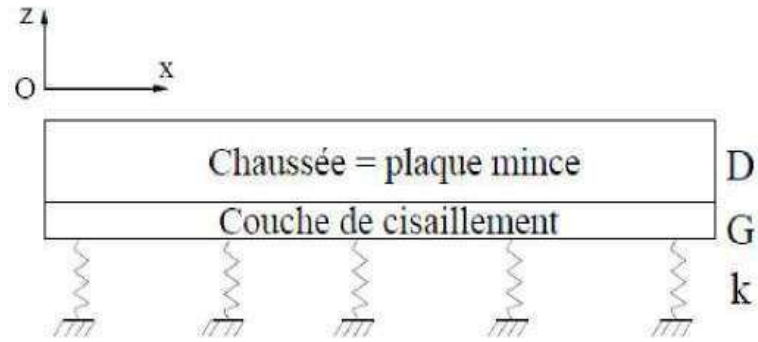


Figure I.12 : Principe du modèle de Pasternak [4]

Ce modèle présente encore les inconvénients du modèle de Westergaad à savoir :

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

Modèle bicouche de Hogg

Le modèle de Hogg est une suite du modèle de Boussinesq. Dès 1938, Hogg avait étudié le problème de la plaque appuyée sur un milieu du type Boussinesq (milieu élastique, homogèneet isotrope, semi-indéfini). Le modèle de Hogg est schématisé sur la Figure suivante dans laquelle, la plaque simule le comportement rhéologique de la chaussée et le massif simule le comportement du sol.

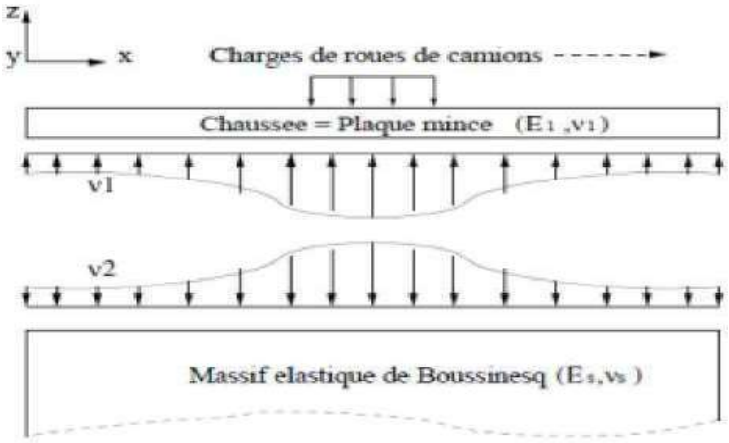


Figure I.13 : Schéma du modèle de Hogg [4]

Comme dans le cas du modèle de Westergaard, on détermine les moments fléchissant de la plaque ainsi que les contraintes de traction à partir des déplacements verticaux w.

Modèle multicouche de Burmister

Les modèles précédents ne reproduisent pas la nature multicouche de la chaussée et ne modélisent pas correctement le comportement mécanique des couches de chaussées (hypothèse de plaque). Partant de ces remarques, Burmister a traité le problème général à n couches infinies dans le plan et reposant sur le sol infini de Boussinesq (Figure suivante).

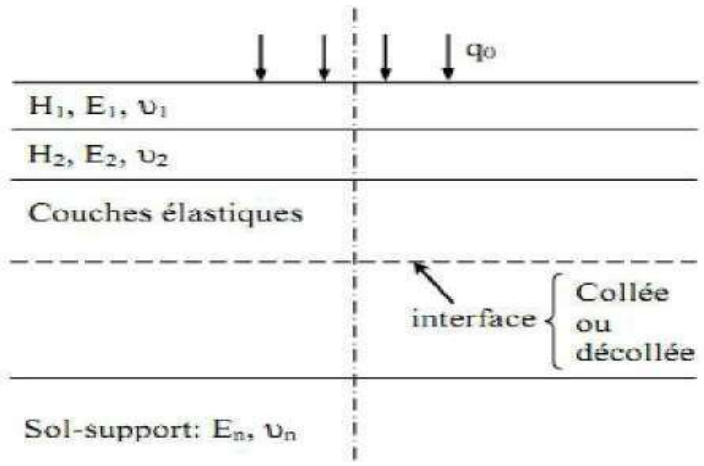


Figure I.14 : Schéma du modèle multicouche de Burmister [5]

Par rapport aux modèles précédents, le modèle multicouche de Burmister présente plusieurs avantages, puisque :

- Toutes les couches sont traitées comme des solides élastiques (on évite l'hypothèse de plaque),
- Les interfaces entre les couches peuvent être collées ou décollées, et une même structurepeut comporter des couches collées et des couches décollées,
- Le cas de charges multiples : jumelages, essieux tandem ou tr idem peut être traitéen additionnant les effets de charges élémentaires.

C'est pourquoi plusieurs programmes de dimensionnement l'utilisent comme noyau de calcul. On peut citer entre autre: le programme ALIZE du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), le programme Bistro de la société Shell et le Che v 5L de la société Chevron.

Néanmoins, ce modèle présente encore quelques inconvénients :

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

Il est évident de constater que les modèles de la mécanique des chaussées diffèrent principalement par la modélisation du sol de fondation et dans une moindre mesure par la modélisation de la structure de chaussées. Mais faut-il souligner que les charges sont

considérées pour tous ces modèles comme des charges statiques quoique la pression de contact et le type d'essieu puissent être changés.

Modèles de chaussées viscoélastiques

Pour l'′etude des chaussées à faible trafic ou soumises à de forts gradients thermiques, ilest nécessaire de prendre en compte le comportement viscoélastique des enrobés bitumineux que le modèle élastique de Burmister ne permet pas de prendre en compte [5].

Le comportement mécanique d'un enrobé bitumineux peut être classé selon le niveau déformation imposé (ε) :

- Dans le cas de sollicitations à fortes amplitudes de déformation (quelques %), le comportement mécanique de l'enrobé est fortement non-linéaire.
- À de faibles amplitudes de sollicitation, l'enrobé bitumineux présente un comportement viscoélastique linéaire.

L'enrobé bitumineux est un matériau doué d'un caractère visqueux et ses propriétés rhéologiques changent avec la température et la vitesse de chargement. Or dans la chaussée, l'enrobé bitumineux est soumis à des températures et des fréquences de sollicitation variables dans le temps.

Dans la littérature, différents modèles rhéologiques sont utilisés pour modéliser les matériaux dans le domaine viscoélastique VEL (en petites déformations). Toute combinaison de ressorts (éléments élastiques) et d'amortisseurs linéaires (éléments visqueux Newtoniens)constitue un modèle viscoélastique linéaire analogique [6].

Modèles de Maxwell et de Kelvin-Voigt

En ce qui concerne les modèles de Maxwell et de Kelvin-Voigt, un ressort et un amortisseur sont respectivement placés en série ou en parallèle. Ces deux modèles sont présentés à la Figure suivante :



a b

Figure I.15 : Eléments de Maxwell (a) et de Kelvin-Voigt (b) [7]

Les modèles analogiques de Maxwell (liquide viscoélastique) et de Kelvin-Voigt (solide viscoélastiquene peuvent pas décrire correctement le comportement complexe des matériaux

bitumineux, mais ils peuvent constituer les éléments de base pour des associations plus complexes.

Modèles de Maxwell et de Kelvin-Voigt généralisés

Le modèle de Maxwell généralisé est constitué d'un groupe de n éléments de Maxwell montés en parallèle, avec éventuellement un ressort et un amortisseur linéaire en parallèle. Le modèle de Kelvin-Voigt généralisé est constitué d'un groupe de n éléments de Kelvin-Voigt en série, avec éventuellement un ressort et un amortisseur linéaire en série.

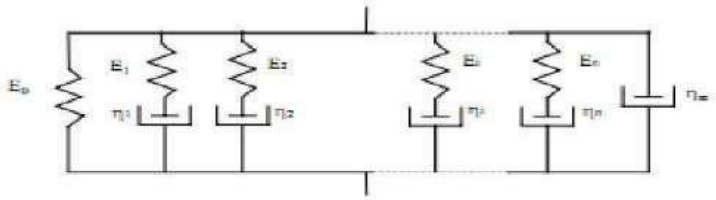


Figure I.16 : Modèle de Maxwell généralisé [7]

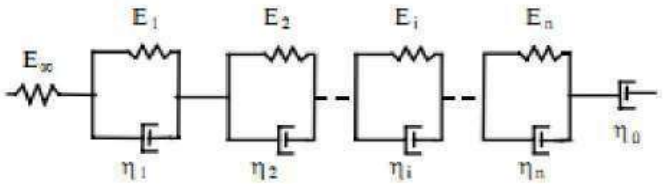


Figure I.17 : Modèle de Kelvin-Voigt généralisé [7]

Modèle de Huet

Le modèle de Huet [8] fut initialement proposé pour modéliser le comportement des liants et des enrobés bitumineux. Il s'agit d'un modèle analogique constitué d'un assemblage d'un ressort de rigidité E_∞(qui représente le module instantané) et de deux éléments à fluage parabolique montés en série (Figure suivante). Ce modèle peut être représenté par une infinité d'éléments de Kelvin-Voigt en série ou d'éléments de Maxwell en parallèle.

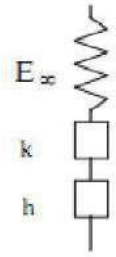


Figure I.18 : Représentation du modèle de Huet [8]

Modèle de Huet-Sayegh

Ce modèle diffère de celui de Huet pour le domaine des basses fréquences et des hautestempératures. Le modèle de Huet donne, en effet, un comportement fluide aux enrobés dans le domaine des basses fréquences et des hautes températures. En particulier, la norme du module complexe tend vers zéro à haute température et basse fréquence.

Pour ce même domaine de fréquence et de température, Sayegh obtient une courbe du module complexe qui tend vers un module réel non nul [9], appelé module statique, noté E_0.

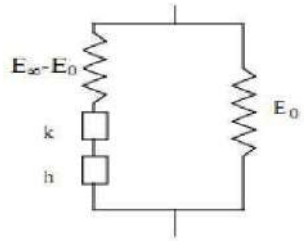


Figure I.19 : Représentation du modèle de Huet-Sayegh [9]

CHAPITRE II :

PRÉSENTATION DU PROJET ET PROSPECTION GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Chapitre II : Présentation du projet et prospection géologique et géotechnique

Introduction

La wilaya de Medea est limitée administrativement par : à l'est, au nord, par la wilaya de **Blida,** à l'ouest, par les wilayas de **Aïn Defla** et **Tissemsilt**, au sud, par la wilaya de **Djelfa**, à l'est, par les wilayas de **M'Sila** et **Bouira.**

Présentation du projet

La **Direction des Travaux Publics** de la wilaya de Médéa a sollicité le un bureau d'étude pour l'étude géologique et géotechnique du tracé du chemin de wilaya n°138reliant la Route National n°01 à la nationale n°62 en passant par les localités de Benchicao et Si Mahdjoub, sur une longueur total d'environ trente kilomètres (30km). Il contient une présentation des caractéristiques géométriques adoptées dans le projet, une description climatique et une étude de sismicité de la région.

Le tracé du CW 138 prend naissance à partir de la RN01 et se dirige vers l'ouest et parfois le sud-ouest pour rejoindre la RN62 en passant par les localités de Benchicao, de Douar Zaouia, de Douar Ouled El Arbi et de Ouled Amrane Cherguia et Si Mahjoub Le tracé du chemin de wilaya existant, traverse des terrains vallonnés (tantôts plats et tantôts présentant des pentes abruptes) et parfois des endroits montagneux accidentés (Figure II.1).

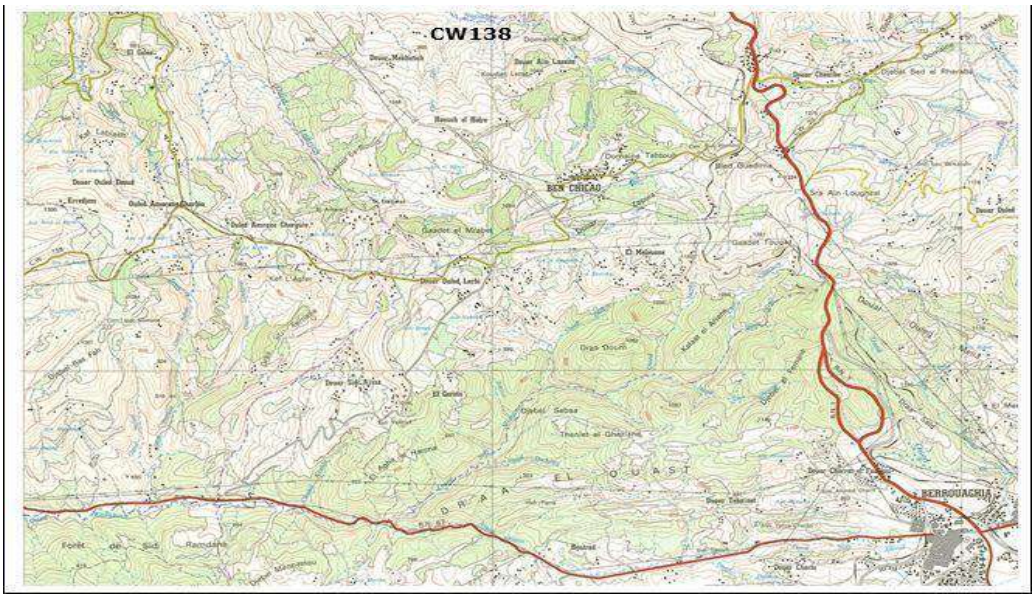


Figure II.1 : Extrait da la carte topographique montrant une partie du CW 138 [10]

Contexte géologique du tracé de la route

D'après la carte géologique 1/50 000eme de Médéa publiée par l'Office Géologique Algérien sous le n°86 ; celle-ci montre que le tracé du chemin de wilaya n°138, traverse des terrains sédimentaires représentés essentiellement par des argiles et des grès du miocène qui reposent sur le substratum cénomanien de nature marne-calcaire avec des terrains quaternaires récents rencontrés essentiellement au niveau des traversés d'oued [10].

En effet, le tracé du CW 138 traverse dans sa majorité des terrains argileux d'âge miocène avec parfois de rares affleurements gréseux (mb3) jusqu'à la fin du tracé où celui-ci traverse les grès supérieurs de Médéa (md3)

Le tracé du CW 138 traverse des terrains d'âge variable ancien à actuel ; les terrains récents sont représentés par les terrasses d'oued constituées par des limons sableux et argileux sur des argiles limoneuse évoluant à partir de 10m (en moyenne) de profondeur vers la formation ancienne représentée par des marne-calcaires, ces terrains sont rencontrés au traversées d'oueds importants rencontrés du coté du Douar Zaouia et l'autre du coté de Douar Ouled Larbi.

Le reste du tracé est représenté par des terrains anciens marne-calcaires, parfois à aspect schisteux et parfois des grès, celle-ci affleure en certains endroits très limites (Figure II.2), néanmoins, dans la majorité du tracé, cette formation est recouverte par une couche d'argile limoneuse parfois de couleur beige à jaunâtre et parfois brune à noirâtre, d'une épaisseur minimal de 2,00m (Figure II.3).



Figure II.2 : Montrant un affleurement des grés durs [10]



Figure II.3 : Montrant la formation des argiles rencontrée le long du tracé [10]

Sismicité de la région

D'après le RPA99 / version 2003 du centre national de recherche appliquée en génie-parasismique et la révision « court terme » du RPA 99 intitulée ADDENDA au RPA 99 (suite au séisme du 21 mai 2003), la wilaya Médéa est classée zone « II a» c'est-à-dire zone à sismicité moyenne. Le document technique réglementaire suscité, divise le territoire algérien en cinq (05) zones de sismicité croissante, soit : Zone 0 : Sismicité négligeable ; Zone I : Sismicité faible ;Zone II a et II b : Sismicité moyenne et Zone III : Sismicité élevée ; (Figure II.4).

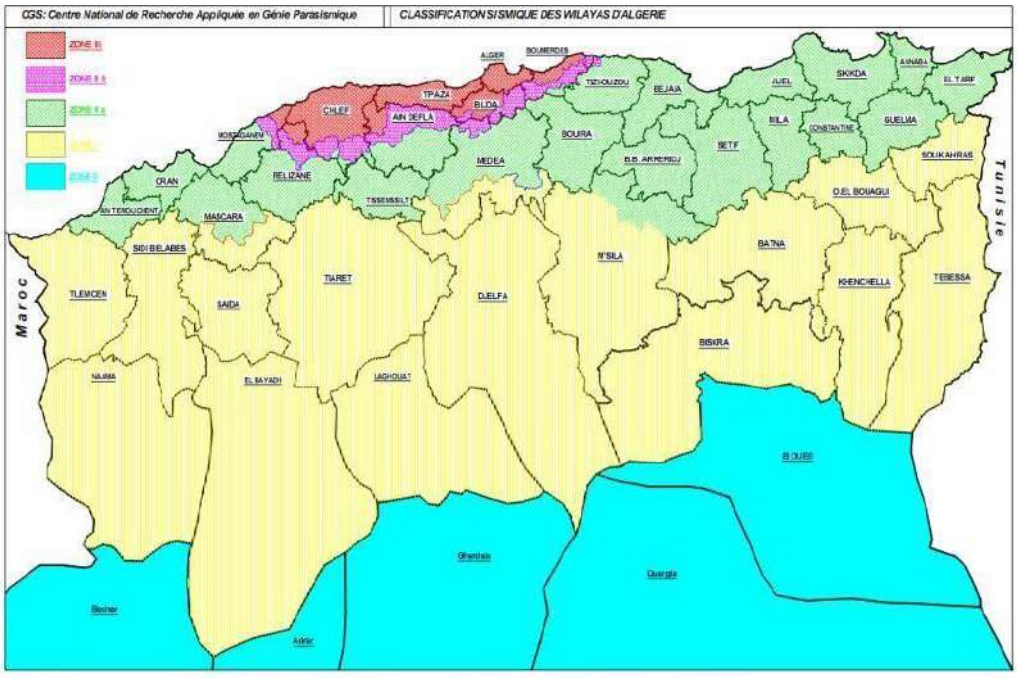


Figure II.4 : Nouvelle carte de zonage sismique du territoire national [10]

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa situation et de son importance vis-à-vis des objectifs fixés par la collectivité. Tout ouvrage qui relève du

domaine d'application des règles parasismiques algériennes RPA 99 doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci-après : Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale ; Groupe 1B : Ouvrages de grande importance ; Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne et Groupe 3 : Ouvrages de faible importance.

Les coefficients d'accélération (A) sont donnés ci-après :

Tableau II.1 : Les coefficients d'accélération

	ZONE			
Groupe	I	IIa	IIb	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.30
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

En fonction de RPA99, la zone du notre projet de la route nationale N°64C, qui se trouvedans la commune de Benchicao, au Nord de la wilaya de Médéa est II.a qui se caractérise parune moyenne sismicité.

Investigation géotechnique

La reconnaissance géotechnique a porté sur :

- ✓ L'inspection géologique et hydrogéologique du tracé de la route;
- ✓ La réalisation d'une campagne de onze (11) puits de reconnaissance le long du tracé de la route ;
- ✓ La réalisation d'un sondage carotté de 10m de profondeur et de sept pénétromètres dynamiques au niveau des traversées d'oueds ;

Les résultats des essais in situ est remis en annexe dans ce rapport, de même que :

- Les courbes pénétrométriques ;
- La coupe stratigraphique du sondage carotté ;
- Les coupes stratigraphiques des puits de reconnaissance.

Essai in situ

Essais de pénétration dynamique

Les essais à la pénétration ont été réalisés à l'aide d'un pénétromètre dynamique et automatique lourd de type Borro.Sept (07) essais au pénétromètre dynamique ont été exécutés aux niveaux des traversées d'oueds.

Les résultats de ces essais sont donnés sous forme de courbes (pénétrogrammes) en annexes de ce présent rapport.

a- Objectif :

Ces essais ont été réalisés dans le but d'étudier la variation de la résistance du sol à la pénétration dynamique de la pointe en fonction de la profondeur. Ces essais permettent aussi de définir un horizon dur pouvant jouer le rôle de base d'assise aux fondations, et d'avoir une estimation rapide de la capacité portante du sol ainsi que le degré d'homogénéité du sol du point de vue faciès et épaisseur.

b- Principe :

Les résultats rassemblés au terme d'un essai de pénétration dynamique se présentent sous forme d'une série de valeurs correspondant à l'énergie de percussion mise en œuvre pour chaque enfoncement de 0.20m.

L'énergie de percussion étant égale au nombre de coups du mouton pour 0.20m d'enfoncement multiplier par la hauteur de chute du et par le poids du mouton.

La transformation intégrale de l'énergie de percussion en énergie de pénétration se traduit par la relation suivante (formule du HOLLANDAIS) :

$$Rp = \frac{M^{2*H}}{\mathrm{A} * \mathrm{M} * \mathrm{Pz} * \mathrm{e}}$$

M : poids du mouton

e : enfoncement de la pointe

Pz : poids des tiges à la profondeur z(en Kg).H :

hauteur de chute en (cm).

A : section de la pointe en (cm^2).

L'essai au pénétromètre dynamique consiste à faire pénétrer dans le sol une pointe conique portée par un train de tiges et à mesurer de manière continue, à des intervalles déterminés, la résistance à la pénétration.

Les paramètres mesurés en cours d'enfoncement sont l'effort de pointe.

Les résultats sont présentés sous forme de pénétro-grammes qui montrent la variation de la résistance du sol en fonction de la profondeur.

Les sept courbes obtenues montrent une variation de la résistance du sol, traduites par des pénétro-grammes en dents de scie avec un refus allant de 5 à 9m de profondeur.

Tableau II.2 : Résultats des essais penetro-métriques

N Pénétromètre	Profondeur (m)	Résistance moyenne (bars)
1	0.0<p<4.00 4.0<p<6.00	36 90
2	0.0<p<3.5 3.5<p<5.0	42 90
3	0.00<p<4.0 4.00<p<8.0	36 66
4	0.00<p<3.00 3.00<p<6.0	30 90
5	0.00<p<5.0 5.00<p<7.00	22 90
6	0.00<p<4.0 4.00<p<8.00	36 90
7	0.00<p<6.00 6.00<p<9.00	36 90

c- Interprétation :

Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau des essais réalisés ou la valeur moyenne est de 30 kg/cm² entre 0 et 5 m de profondeur.

A partir de 5m, la résistance est supérieure à 90 kg/cm².

Remarque hydrogéologique

Il est a noté que lors de la reconnaissance in situ aucune présence d'eau n'a été observée.

Essais de laboratoire

Des échantillons intacts et remaniés ont été récupérés au niveau des puits de reconnaissance et du sondage carotté exécutés sur site, un programme d'essai de laboratoire a été réalisé ;

Les essais programmés sont de types physiques (Granulométrie - Sédimento-metrie et limites d'Atterberg) et mécaniques (Cisaillement, Oedomètre, Proctor et CBR).

Résultats des essais physiques et mécaniques

Les tableaux suivants résument les résultats obtenus :

Tableau II.3 :Résultats des essais physiques et mécanique de sondage carotté SC01

Sondage carotte :n°		Sc01	
Profondeur(mètre)		00-3,00	4,50-5,00
Classification géotechnique		Ap	Ap
Teneur en eau Naturelle : **Ws%**		15,9	9,2
Densité sèche: γd(t/m^3)		1,85	1,76
Densité humide:γh ht/m^3)		2,15	2,10
Teneur en eau de Saturation :ws %		16,9	19,7
Degré de saturation :Sr %		94	97,3
Granulométrie de % de passant A	2,0mm	98	99,9
	0,08mm	82,9	96
	3u	24	24
Limites D'atterberg%	Liquidité(%)	31,7	51,68
	Plasticité(%)	10	25,26
Caractéristiques oedemetrique	Pc(Kpa)	2,39	2,25
	Cc	15,48	19,10
	Cg	5,04	5,75
Cisaillement rectiligne	C(Kpa)	0,22	
	φ(dégrée)	4,89	

Puits de reconnaissance

Afin de mettre en évidence les terrains traversés par le tracé de la route, des observations de surface détaillées et une investigation par puits de reconnaissance ont été réalisés.

Onze (11) puits de reconnaissance d'une profondeur de 2,00m ont été réalisés. Les résultats obtenus sont illustré dans les tableaux suivants :

Tableau II.4 :Résultats des essais physiques et mécanique sur les puits de reconnaissances

PUITS		PUITS n°1	PUITS n°2	PUITS n°3	PUITS n°4	PUITS n°5	PUITS n°6
Profondeurs		0.0-2.0	0.0-2.1	0.0-2.0	0.0-2.0	0.0-2.0	0.0-2.0
Natures apparente des sols		Argile	Argile	Argile	Argile	Argile	Argile
W% naturelle		19.2	17.5	15.6	16.1	17.0	18.2
Granulométrie % de passant à	5mm	77	100	83	100	100	100
	2mm	73	98	80	99	99	99
	80µ	47	89	41	34 min	51	83
	3 µ	12	24	21	19	24	22
Limites d'Atterberg	WL	26.07	73.71	21.92	23.7	20.95min	44.44
	IP	8.41	40.28max	5.48	7.34	3.33min	20.12
Proctor modifié	ϒd t\m3	1.96	1.68		1.92	1.94	1.84
	W%	9.3	11.6		11.8	10.7	12.6
Indice CBR 95% OPM		2.36	2.25		6.68	2.90	2.45

PUITS		PUITS n°7	PUITS n°8	PUITS n°9	PUITS n°10	PUITS n°11
Profondeurs		0.0-2.0	0.0-2.1	0.0-2.0	0.0-2.0	0.0-2.0
Natures apparente des sols		Argile	Argile	Argile	Argile	Argile
W% naturelle		16.5	15.5	21.2	18.5	18.7
Granulométrie % de passant à	5mm	99		100	100	79
	2mm	98	100	99	98	77
	80µ	89	96max	58	57	68
	3 µ	23	26	15	15	18
Limites d'etterberg	WL	43.56	75.12max	26.82	31.83	31.82
	IP	18.95	39.58	9.13	11.44	12.19
Proctor modifié	Ɣd t\m3			1.84		1.93
	W%			11.5		8.5
Indice CBR 95% OPM				2.36		2.73

L'analyse des résultats des puits de reconnaissance et du sondage carotté, a permis de confirmer les observations faites sur terrain, en effet, le tracé de la route traverse sur les deux premiers mètre la formation des argiles limoneuse, parfois beige jaunâtre et parfois brune à noirâtre, consistante, celle-ci est recouverte par des argiles limoneuses finement sableuses au niveau de certaines traversées d'oued. Cette formation évolue en profondeur vers un substratum marne-calcaire ou gréseux.

Stabilité du tracé de la route

La tracé de la route existant est stable dans son ensemble, aucune instabilité majeure n'a été observés lors de nos différentes visites, excepté certains endroits limités qui doivent être pris en charge rapidement et faire des contrôles réguliers afin d'éviter que leur état de stabilité ne s'empire ; à savoir :

1- Au début du tracé de la route, où une instabilité a été observée (Figure II.5), celle-ci a été remise en état récemment.



Figure II.5 : Montrant les travaux réalisés au niveau d'une instabilité au début du tracé de la route[10]

2- Une traversée de l'oued inondable rencontrée au sud de la localité de Benchicao, du coté du Douar Zaouia à cause des dalots bouchés et mal dimensionnés (Figure II.6) ;



Figure II.6 : Montrant une traversée d'oued inondable, du coté de Douar Zaouia[10]

3- Des gabions basculés à cause de la force des eaux et de leur emplacement mal choisis, ceci a été observé à la fin du tracé de la route.



Figure II.7 : Montrant une traversée d'oued inondable, du coté de Douar Zaouia [10]

Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que :

Du PK 1+200 au PK13+200 :

Les résultats des analyses granulométriques réalisées sur ces matériaux présentent des passants à 80 µm allant de 30 à 46 %.

Les limites de liquidité varient de 21 à 26%.

Les indices de plasticité varient de 3 à 8%

Celles-ci sont classées, d'après la classification LCPC, dans la catégorie des sables argileux (SA), et d'après la classification GTR, dans la catégorie (B5).

Du PK 13+200 au PK30+000 :

La formation rencontrée présente une granulométrie d'un sol fin (plus de 50% passe au tamis de 80microns) et une plasticité variable faible à élevée.

Les limites de liquidité varient de 26 à 75% ;

Les indices de plasticité varient de 9 à 20% ;

Celles-ci sont classées, d'après la classification LPC, dans la catégorie des argiles peu à très plastiques (Ap à At), et d'après la classification GTR, dans la catégorie (A2 à A3).Les résultatsdes essais de cisaillement directs à la boite ont donné des cohésions faibles et angles de frottements faibles (Cu=0.22 bars et φu=4.89°). Les essais de compressibilité à l'oedomètre indiquent des sols sur-consolidés, moyennement compressibles et gonflants.

Les résultats des essais Proctor et CBR indiquent que la portance C.B.R, mesurée après imbibition des échantillons pendant 4 jours dans l'eau, égale à 2 en moyenne à la compacité de 95 % de l'OPM.

CHAPITRE III :

ETUDE DU TRAFIC

Chapitre III : Etude du trafic

Introduction

L'étude de trafic est une donnée nécessaire aux réflexions sur le développement des infrastructures de transport. Elle impactera directement les caractéristiques des voies à créer ainsi que les caractéristiques des chaussées. Le trafic joue un rôle primordial dans la conception de la route. Il intervient à plusieurs niveaux :

- Dans la classification et la hiérarchisation de la liaison dans le réseau routier national ;
- Dans le calcul du nombre de voies de la liaison (largeur de la chaussée) ;
- Dans la conception de la chaussée (type de chaussée) ;
- Dans la détermination de l'épaisseur des couches de chaussée.

Objectifs des études de trafic

L'étude de trafic a pour but la détermination, d'une part de l'intensité du trafic, et d'autre part de sa constitution, notamment la proportion des véhicules poids lourds (PL). Des études sont donc nécessaires pour évaluer les différents paramètres de trafic (intensité, composition, évolution dans le temps, répartition du trafic sur les voies...) afin de se rapprocher au mieux de la réalité lors de la conception d'un projet routier.

Ces études portent sur :

- La détermination des valeurs actuelles du trafic dans la zone d'influence ;
- L'analyse des origines, des destinations et des motifs de déplacements ;
- La détermination de la répartition du trafic par catégorie de véhicules.

L'utilité de l'exploitation des renseignements statistiques est multiple :

Sur le plan de l'économie générale : Pour l'élaboration des plans économiques, financiers et fiscaux, il est indispensable de connaître la consistance du parc des véhicules, la consommation en carburant, les tonnages globaux transportés par la route.

Sur le plan de la construction routière : L'étude de la circulation sur les diverses artères du réseau est nécessaire pour élaborer les plans d'aménagements ou de transformation de l'infrastructure, déterminer les dimensions à donner aux routes et apprécier l'utilité des travaux projetés.

Sur le plan circulation routière proprement : la connaissance des circulations est nécessaire pour l'élaboration des mesures de police, d'exploitation…

Les enquête

Se rapprocher au maximum de la situation actuelle revient à étudier les données du trafic les plus récentes. L'étude peut être complétée par les enquêtes suivantes [11]:

Enquêtes de trafic

- **Un comptage automatique des véhicules :** Cette opération consiste à recenser le flux du trafic au moyen d'un compteur automatique dans les différents postes de comptages pendant au moins une semaine entière. Ce comptage permet la détermination des fluctuations journalières du trafic et la part du trafic nocturne.
- **Un comptage exhaustif des véhicules :** Cette opération consiste à compter manuellement les véhicules qui passent par les différents postes de comptages tout en classant le trafic par heure, par sens et par type de véhicule (Voitures particulières, camions lourds et articulés, Taxis et louages ...).
- **Une enquête Origine-Destination :** Cette opération consiste à interroger un échantillon représentatif des occupants des différents types de véhicules à propos de l'origine, la destination et le motif de leurs déplacements, leurs professions, leurs revenus.
- **Comptages périodiques :** Le réseau routier est divisé en sections de 8 à 15 Km de long, homogènes de point de vue des caractéristiques géométriques, du trafic et de la densité démographique des abords. Ces types de comptages sont généralement réalisés une fois tous les cinq ans et font l'objet d'une publication. Ils sont menés par des agents recenseurs qui peuvent déterminer les véhicules par catégories
- **Comptages continus :** Outre les comptages périodiques à grande échelle, il est intéressant d'effectuer des comptages sur un itinéraire devant faire l'objet d'un aménagement (Construction d'une déviation, renforcement, entretien..).

  Ces comptages sont d'intérêt important du fait qu'ils remplacent un contrôle manuel fastidieux et sont de faible coût. L'erreur relative est de l'ordre de 10 à 20% selon le moyen utilisé. En effet ces appareils automatiques sont distingués en plusieurs types suivant leurs modes de fonctionnement:
- **Compteurs pneumatiques :** C'est un tube en caoutchouc spécial très souple à tension réglable, de 12 à 18 mm de diamètre extérieur et de 6 mm de diamètre intérieur. Ce tube est tendu en travers de la chaussée dont l'une de ses extrémités est munie d'un about spécial et l'autre est reliée à la machine.

- **Détecteur capacitif :** Il est constitué de deux fils transversaux parallèles espacés de 4 cm et noyés dans la chaussée; Le premier est lié à un émetteur tandis que l'autre est branché sur un récepteur détectant le passage d'un pneu.
- **Détecteur radar :** Son fonctionnement est basé sur la différence de fréquence entre une onde émise et celle réfléchie par le véhicule (mesure de vitesse).
- **Détecteur magnétique :** Il est formé d'une boucle à une ou plusieurs spires (3m x 1.2 m) enterrée dans la chaussée. Suite au passage d'un véhicule, l'inductance du circuit est modifiée et enregistrée dans un oscillateur L'enregistrement des impulsions (qu'elles proviennent de tubes ou de boucles) peut être fait sur des mini cassettes ou sur des compteurs à mémoire statique qui sont relevés à intervalles réguliers par un opérateur ou automatiquement sur un circuit téléphonique.

Enquêtes de circulation

Pour la résolution des problèmes d'aménagement ou d'exploitation routière, il est insuffisant de connaître la circulation en un point donné d'une route. A cet effet, des enquêtes sont menées pour connaître les différents courants de circulation et la plupart des destinations. Ces enquêtes sont sous quatre formes [11]:

- **Enquêtes sur route :** Il s'agit de commencer par isoler le trafic dans la zone concernée et installer des stations d'enquêtes pour interroger un certain pourcentage de conducteurs. Ces enquêtes sur route rendent nécessaire l'aménagement d'aires de stationnement pour les véhicules questionnés. Le moment opportun de l'enquête doit être représentatif de la circulation moyenne ou de la circulation dominante, suivant le problème posé. Le nombre total N de véhicules à soumettre à l'enquête dépend de la précision que l'on veut obtenir (pour une précision de 40 v/j sur 5000, faut environ 500 véhicules enquêtés).
- **Enquêtes simplifiées :** Elles sont utilisées pour avoir une idée approximative de l'importance de certains courants de circulation. Il s'agit de repérer les numéros d'immatriculations des véhicules aux entrées et sorties du cordon. Un recours à l'utilisation des papillons ou des cartes peut également être envisagé:
- Pour les enquêtes par papillons, les véhicules sont arrêtés à l'entrée de la zone. Un papillon est apposé sur le pare-brise. Dans le sens de la sortie on compte, sans pratiquement arrêter les véhicules, les papillons de diverses origines.
- Pour les enquêtes par cartes, des cartes distinctes sont distribuées aux usagers à chaque entrée. Les cartes sont récupérées à la sortie. Cette enquête peut renseigner sur l'heure

d'entrée et l'heure de sortie d'un véhicule et fournit diverses autres indications. L'inconvénient de cette méthode réside au fait d'arrêter deux fois les véhicules.

- **Enquêtes à domicile :** L'enquête ménage, l'enquête Origine-Destination et les sondages effectués dans les carrefours de la zone considérée servent à avoir une idée précise sur les caractéristiques des différents mouvements. Ces informations sont à comparer avec celles tirées des données statistiques sur les origines et les destinations les plus fréquentes des véhicules. Sur une carte seront reportées les lignes désirs qui représentent les courants virtuels les plus importants ainsi que les demandes d'emplacements pour stationnement.
- **Enquêtes de stationnement :** Elles représentent un type particulier d'enquête qui se réalise en site urbain. En effet, le stationnement est un consommateur important d'espace et il appartient de bien appréhender le phénomène pour pouvoir y apporter des solutions efficaces. Le stationnement peut être distingué en 4 formes:
- Stationnement des riverains ;
- Stationnement de longue durée des pendulaires ;
- Stationnement de courte durée ;
- Stationnement pour livraison.

L'enquête de stationnement est manuelle. Chaque enquêteur dispose d'un plan des stationnements d'une zone déterminée, avec places de parking numérotées. Il doit effectuer, à période fixe (1/2 heure), le pointage des véhicules stationnés, en repérant généralement le numéro d'immatriculation. Cet enregistrement permet de déterminer le taux d'occupation des places, le délai de rotation et la durée moyenne de stationnement.

Mesures de poids

Le contrôle du poids des véhicules est indispensable non seulement pour l'analyse statistique et les prévisions de trafic, mais surtout pour limiter les surcharges d'essieux qui sont extrêmement dommageables pour les chaussées. L'agressivité des véhicules lourds croît très vite en fonction du poids des essieux. Or, les compagnes de contrôle mettent en évidence des proportions de véhicules en surcharge atteignant 20 %. Tout véhicule en surcharge de plus de 5 % doit être immobilisé[12].

Sont employés pour ces contrôles :

- Des matériels mobiles, bascules mécaniques, mesurant par un système de levier les déformations d'un ressort ;

- Des matériels dits « semi-fixes » déterminant le poids d'une roue, au moyen de quatre jauges de contraintes branchées sur un pont de Wheatstone ;
- Des ponts bascules classiques, présentant l'inconvénient de donner le poids total du véhicule et non pas la charge par essieu.

Il existe également des dispositifs équipés de façon à déterminer la vitesse, l'écartement des essieux et le poids de chaque essieu.

L'analyse des trafics existants

Diverses méthodes permettent de recueillir des informations de nature et d'intérêt variable en ce qui concerne les trafics, on veille cependant à adopter le niveau de connaissance aux besoins, le coût des investigations conduit à limiter celle-ci à ce qui est nécessaire mais on s'attache à disposer aussi de l'ensemble des éléments permettant de décider en toute connaissance de cause, enfin, on peut être amené à procéder en plusieurs étapes et à affiner l'étude de trafic au fur et à mesure de l'avancement de l'étude de l'ensemble du projet. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories :

- Celles qui permettent de quantifier le trafic : les comptages (qui permettent de connaître le pourcentage de poids lourds et les transports en communs. Les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (T.J.M.A) ;
- Celles qui en outre permettent d'obtenir des renseignements qualificatifs (les enquêtes).

Application numérique au projet

Le comptage de trafic est réalisé en 2013 par les services de la DTP, le tableau suivant présente les résultats de la campagne de comptage :

Tableau III.1 : La campagne de comptage

Localisation	TJMA (véh /j)	Poids lourd	Pourcentage de Poids lourd	Réseau Principal
CH138	1000	300	30%	RP2

Hypothèse de calcul :

- Année de comptage : 2013
- Année de mise en service : 2016
- Durée de vie escomptée : N = 15 ans
- Coefficient d'accroissement annuel : i = 4 %.

Capacité d'une liaison

Définition de la capacité

La capacité d'une route est le flux horaire maximum des véhicules qui peuvent raisonnablement passer en un point ou s'écouler sur une section de route uniforme (ou deux directions) avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminer, la capacité dépend :

- ✓ Des conditions de trafic ;
- ✓ Des conditions météorologiques.

Calcul de la capacité

Projection future du trafic

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est :

$$\mathbf{TJMA_h = TJMA_0\ (1+\tau)\ n \ldots\ldots\ldots\ (III.1)}$$

Avec : $TJMA_h$: le trafic à l'année horizon.

$TJMA_0$: le trafic à l'année de référence.

n: nombre d'année.

τ: taux d'accroissement du trafic (%)

Calcul de trafic effectif

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (uvp), en fonction de type de route et de l'environnement. Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (uvp).Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

$$\mathbf{T_{eff} = [(1-z) + p.z]\ TJMA_h \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (III.2)}$$

Avec :

T_{eff}: trafic effectif à l'année horizon en (uvp).

Z : pourcentage de poids lourd.

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourd il dépend

Tableau III.2: Coefficient d'équivalence

Routes	E1	E2	E3
2 voies	3	6	12
3 voies	2.5	5	10
4 voies et plus	2	4	8

Application numérique au projet

Les données de trafic

D'après les résultats de trafic qui nous ont été fournis par la D.T.P. [10]de la wilaya de Médéa qui sont les suivants :

- Le trafic à l'année 2013= 1000 v/j
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté τ= 4%
- Le pourcentage de poids lourds Z=30%
- La vitesse de référence 40 km/h sur la majorité du tracé.
- L'année de mise en service sera en 2016.
- La durée de vie estimée de 15 ans.

Projection future de trafic

L'année de mise en service (2016)

$$\mathbf{TJMA_h = TJMA_0\,(1+IJ)\,n}$$

Avec :

$TJMA_h$: trafic à l'horizon (année de mise en service 2016)

$TJMA_0$: trafic à l'année zéro (origine ……)

$TJMA_{2016} = 1000\ /2(1 + 0{,}04)3 = 1560$ v/j.

Trafic à l'année (2031) pour une durée de vie de 15 Ans

$TJMA_{2031} = 1560 \times (1 + 0{,}04)15 = 24336$ v/j.

Calcul du trafic effectif

$$\mathbf{T_{eff} = [(1 - Z) + Z.P]\ TJMA_h}$$

Avec:

P: coefficient d'équivalence pris pour convertir le poids lourds. Pour une route à deux voies et un environnement E1 on a P = 3

Z: le pourcentage de poids lourds est égal à 30%

$$T_{eff} = 2107 \times [(1 - 0.3) + 2 \times 0.3]$$

$$T_{eff} = 2739 \text{ uvp /j}$$

Le tableau suivant illustre l'ensemble des résultats :

Tableau III.3 : Ensemble des résultats de l'étude de trafic

Localisation PK-PK	TJMA (véh/j)	% PL	PL/J/sens	Réseau Principal	Classe du trafic
0+000 – 30+000	1000	30%	150	RP2	TPL2

CHAPITRE IV:

ETUDE GEOMETRIQUE

Chapitre IV: Etude géométrique

Introduction

La surface de roulement d'une route est une conception de l'espace, définie géométriquement par trois groupes d'éléments qui sont :

.Tracé de son axe en situation ou en plan.

.Tracé de cet axe en élévation ou profil en long.

.Profil en Travers. [13]

Tracé en plan

Définition

Le tracé en plan est la projection de la route sur un plan horizontale.

Il est constituée de :

.Lignes droites de longueur limitée en fonction de la vitesse de référence.

.Courbes de raccordements à rayons de courbure variable.

. Arcs de cercles à rayon de courbures constants. [13]

Les règles à respecter pour le tracé en plan

- ✓ Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles.
- ✓ Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum de constructions des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques ; si on n'a pas le choix on essaie de les franchir perpendiculairement.
- ✓ Adapter au maximum le terrain naturel.
- ✓ Appliquer les normes du B40.
- ✓ Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- ✓ Respecter la cote des plus hautes eaux.
- ✓ Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau.
- ✓ Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.
- ✓ Se raccorder sur les réseaux existants.
- ✓ S'inscrire dans le couloir choisi.

Les éléments de tracé en plan

Le tracé en plan comporte :

a) Des alignements droits ;

b) Des arcs de cercle ;

c) Des courbes de raccordement.

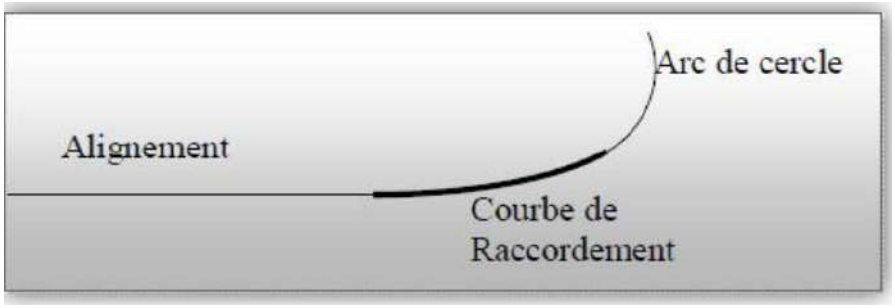


Figure IV.1 : Les éléments du tracé en plan

IV.2.3.1. Les alignements

Deux courbes de même sens doivent être séparées par une longueur d'alignement droit (non compris les raccordements progressifs) au moins égale à la distance L parcourue pendant 5 secondes, à la vitesse correspondant au plus grand des rayons des deux courbes.

$$L_{min} = 5 \times \frac{V_B}{3.6}$$

La longueur maximale L Max est prise égale à la distance parcourue pendant soixante (60) secondes. Donc cette longueur maximale est donnée par la relation suivante :

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_B}{3.6}$$

V_B : vitesse de base en km/h

Les arcs de cercle

Trois éléments interviennent pour limiter la courbe :

La stabilité des véhicules.

L'inscription de véhicules longs dans les courbes de faible rayon.

La visibilité dans les tranchées en courbe

-Stabilité en courbe :

Le véhicule subit en courbe une instabilité à l'effet de la force centrifuge, afin de réduire de cet effet on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur, pour

éviter le glissement des véhicules en temps plusieurs, en fait de fortes inclinaisons d'ou are

Cours à augmenter le rayon.

Dans la nécessité de fixer les valeurs de l'inclinaison (dévers) ce qui implique un rayon minimal.

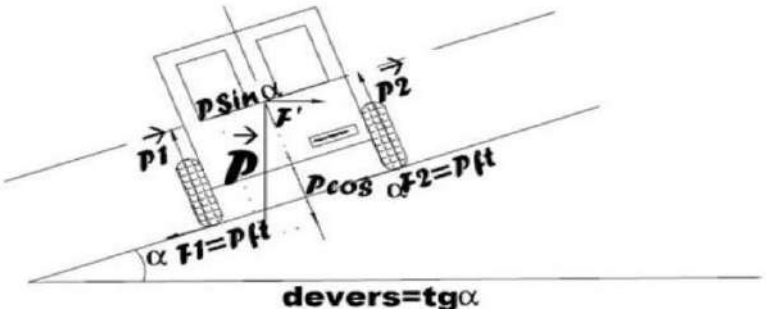


Figure IV.2 : Les forces agissant sur un véhicule dans un virage

.Rayon horizontal minimal absolu :

$$Rh_{min} = (Vr^2)/\ 127\ (ft+d)$$

Pour g = 9.81 m/s2

Ainsi pour chaque Vr on définit une série de couple (R, d).

.Rayon minimal normal :

$$RHN \geq Vr^2/130(ft+d)$$

Pour g = 10 m/s2

Le rayon minimal normal (RHN) doit permettre à des véhicules dépassant Vr de 20 km/h de roulés en sécurité.

NB : ne doit pas être trop grand (risque de glissement par temps pluvieux ou par verglas), ni trop petite pour assurer un bon écoulement des eaux. C'est ceux qui nous conduisent à la série de couples (R, d). Au devers maximum correspond le rayon minimum absolu R_{Hm}

Avec :

d_{max} = 7% pour les catégories 1-2

d_{max} = 8% pour les catégories 3-4

d_{max} = 9% pour la catégorie 5.

a- Rayon horizontal minimal absolu (R_{HM})

C'est le rayon minimum pour lequel la stabilité du véhicule est assurée, et il ne faut jamais descendre au-dessous de cette valeur, et il est défini comme étant le rayon de devers maximal.

$$\boldsymbol{R_{HM}} = (\boldsymbol{Vr}^2) / \mathbf{127}\ (\boldsymbol{ft} + \boldsymbol{dmax})$$

Ainsi pour chaque V_r on définit une série de couple (R, d).

b- Rayon minimal normal (R_{HN})

Le rayon minimal normal (RHN) doit permettre à des véhicules dépassant Vr de 20 km/h de roulés en sécurité.

$$\boldsymbol{R_{HN}} = (\boldsymbol{Vr} + \mathbf{20})^2 / \mathbf{127}(\boldsymbol{ft} + \boldsymbol{dmax})$$

Dévers associé : (d_{max} = 2%)

c- Rayon au dévers minimal (R_{Hd})

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et tel que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse Vr serait équivalente à celle subit par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Dévers associé :

d_{min} = 2,5% en catégorie 1 – 2

d_{min} = 3% en catégorie 3 – 4 – 5

$$\boldsymbol{R_{Hd}} = (\boldsymbol{Vr}^2) \ / \ \mathbf{127} \times \mathbf{2} \times \boldsymbol{dmin}$$

d- Rayon minimal non déversé (R_{Hnd})

Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toi et le divers est négatif pour l'un des sens de circulation ; le rayon min qui permet cette disposition est le rayon min non déversé (Rhnd).

Pour les catégories 1 – 2 $\boldsymbol{R_{H\text{nd}}} = \boldsymbol{Vr}^2 / \mathbf{127} \times \mathbf{0.035}$

Pour les catégories 3– 4–5 $\boldsymbol{R_{H\text{nd}}} = \boldsymbol{Vr}^2 / \mathbf{127} \times \mathbf{(f' - d_{min})}$

Avec : **f'=0.07** cat 3

f'=0.075 cat4–5

e- Règles pour l'utilisation des rayons en plan

Il n'y a aucun rayon inférieur à R_{Hm}, on utilise autant que possible des valeurs de rayon ≥ R_{HN}. Les rayons compris entre R_{Hm} et R_{Hd} sont déversés avec un dévers interpolé linéairement en 1/R arrondi à 0,5% prés.

- Si $R_{Hm} < R < R_{HN}$:

$$d = dmax + (1/R + 1/R_{Hm}) \times (dmax - d_{RHN}) / (1/R_{Hm} - 1/R_{HN})$$

-Si $R_{HN} < R < R_{Hd}$:

$$d = dmin + (1/R + 1/R_{Hd}) \times (dmin - dR_{HN}) / (1/R_{Hd} - 1/R_{HN})$$

Les rayons compris entre R_{Hd} et R_{Hn} sont en dévers minimal d_{min}.Les rayons supérieurs à R_{Hn} peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépensenotable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

Remarque :

Il est recommandé de choisir les plus grands rayons possibles ;Tout rayon choisi doit être au moins égale au rayon minimum préconisé.

Les courbes de raccordement

Le passage de l'alignement droit au cercle ne peut se faire brutalement, mais progressivement (courbe dont la courbure croit linéairement de R= ∞ jusqu'à R=constant), pour assurer :L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre conditionssuivantes:

- Stabilité transversale des véhicules ;
- Confort des passagers en véhicules ;
- Transition de la forme de la chaussée ;
- Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant. [3]

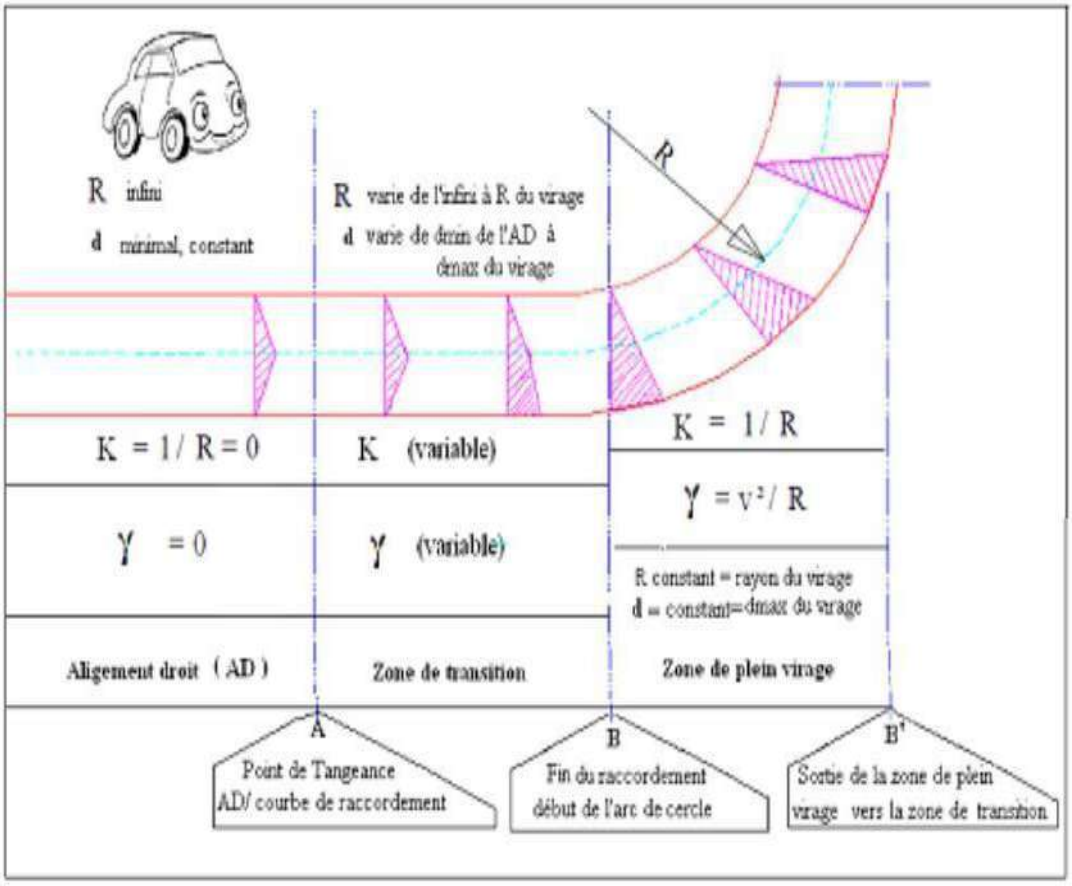


Figure IV.3 : Les différentes sections d'un virage [3]

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une variation continue de la courbure, on retient les trois courbes suivantes :

a- Parabole cubique

Cette courbe est d'un emploi très limité vu le maximum de sa courbure vite atteint (utiliséedans les tracés de chemin de fer). [14]

b- Lemniscate

c- Courbe utilisée pour certains problèmes de tracés de routes « trèfle d'autoroute » sa courbure est proportionnelle à la longueur de rayon vecteur mesuré àpartir du point d'inflexion.[14]

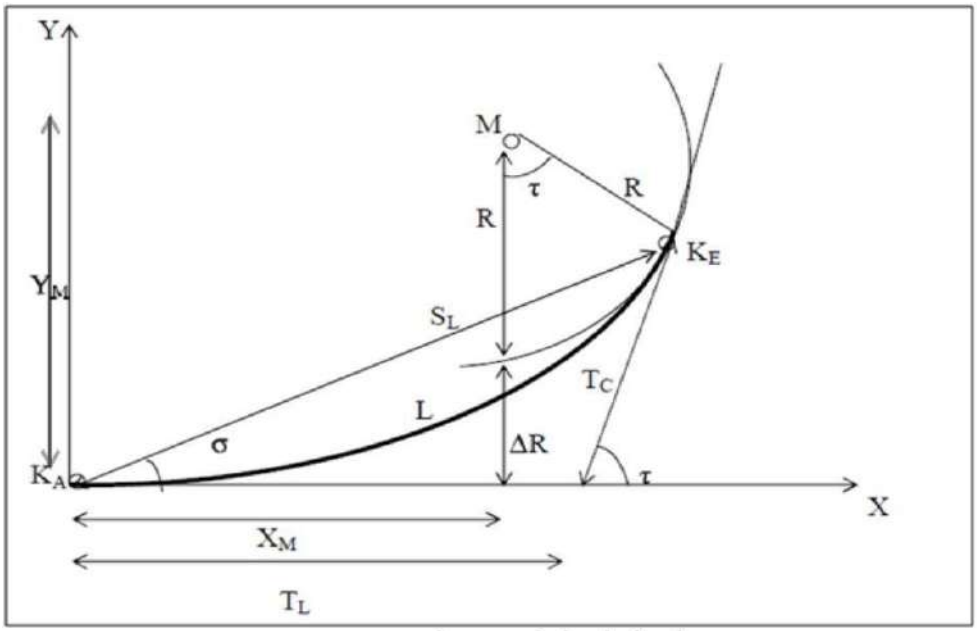
Clothoïde

Parmi les courbes susceptibles de satisfaire à la condition de variation continue du rayon decourbure, c'est la clothoïde qui a été retenue en matière de tracé routier. Cette courbe est une spirale dont le produit, en chaque point du rayon de courbure par la longueur de l'axe, a une valeur constante égale à A^2. L'équation paramétrique de cette courbe est donc :

$$A^2 = R \times L$$

La courbure de la clothoïde, est linéaire par rapport à la longueur de l'arc. Parcourue à vitesse constante, la clothoïde maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers. C'est la courbe la plus utilisée dans le tracé routier.

d- Eléments de la Clothoïde



➢

Figure IV.4 : Eléments de la clothoïde [15]

R : Rayon du cercle.

L : Longueur de la branche de Clothoïde.

A : Paramètre de la Clothoïde.

KA : origine de la Clothoïde.

KE : extrémité de la Clothoïde.

D**R** : ripage.

t : Angle des tangentes.

TC : tangente courte.

TL : tangente longue

s : Angle polaire.

SL : corde **KE –KA.**

M : centre du cercle d'abscisse **XM**.

XM : abscisse du centre du cercle **M** a partir de **KA**.

YM : ordonnée du centre du cercle **M** à partir de **KA**

e- Les conditions de raccordement

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes :

f-1- **Condition de confort optique :**

C'est une condition qui permet d'assurer à l'usager une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels. L'orientation de la tangente doit être supérieure à 3° pour être perceptible à l'œil. Règle générale (B40) :

$$\tau \geq 3° \Rightarrow \tau \geq 1/18 rad \Rightarrow L/2 \times R \geq 1/18 \Rightarrow A^2/2 \times R^2 \geq 1/18$$

D'où : $R/3 \leq A \leq R$

Dans les mêmes conditions le ripage du cercle raccordé R, est défini comme suit :

$$\Delta R = L^2/24 \times R = L/216 = R/1944$$

Avec :

R ≤ 1500m ⇒ΔR = 1m (éventuellement 0,5 m) ⇒ L = 24 × R × ΔR 1500 < R ≤ 5000m ⇒L ≥R/9

R >5000m ⇒ΔR = 2,5m ⇒L = 7,75× *R*

f-2- Condition de confort dynamique :

La vérification de cette condition évite la variation trop brutale de l'accélération transversale, ce qui impose une variation limitée à : pour g = 9.8m/s2 [16]

$$L \geq \frac{V_r^2}{18}\left(\frac{V_r^2}{127 \times R} - \Delta d\right)$$

Où :

V_r : vitesse de référence en (Km /h).

R : rayon en (m).

Δd : variation de dévers.

f-3- Condition de gauchissement :

Cette condition à pour objet d'assurer à la voie unaspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation des dévers. Elle s'explique dans le rapport à son axe.

$$\boldsymbol{L \geq l \times \Delta d \times Vr}$$

Où, **L :** Longueur de raccordement.

***l* :** Largeur de la chaussée.

Δd : Variation de dévers.

Combinaison des éléments du tracé en plan

La combinaison des éléments de tracé en plan donne plusieurs types de courbes, oncite :

Courbe en S

Une courbe constituée de deux arcs de clothoïde, de concavité opposéetangente en leur point de courburenulle et raccordant deux arcs de cercle.Elle est fréquemment utilisée.

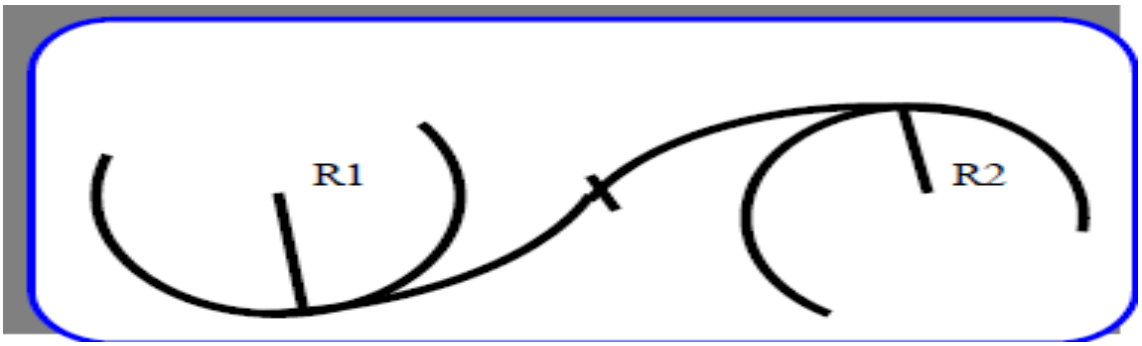


Figure IV. 5 : Courbe en S [14]

Courbe á sommet

Une courbe constituée de deux arcsclothoïde, de même concavité, tangentsen un point de même courbure etraccordant deux alignements.

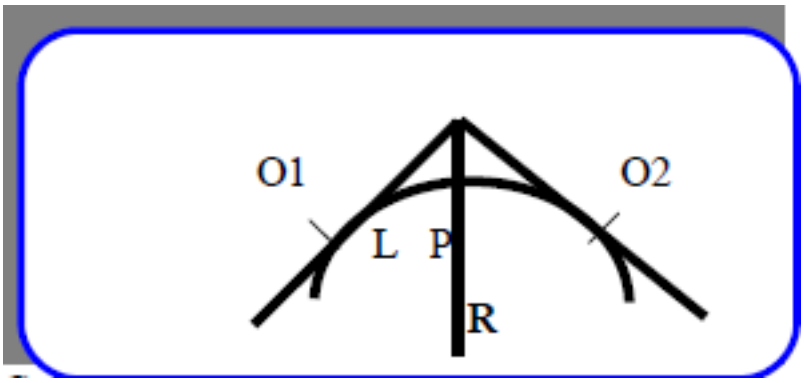


Figure IV. 6 : Courbe à sommet [14]

Courbe en C

Une courbe constituée de deux arcs de clothoïde, de même concavité, tangents en unpoint de même courbure et raccordant deux arcs de cercles sécants ou extérieurs l 'un à l'autre.

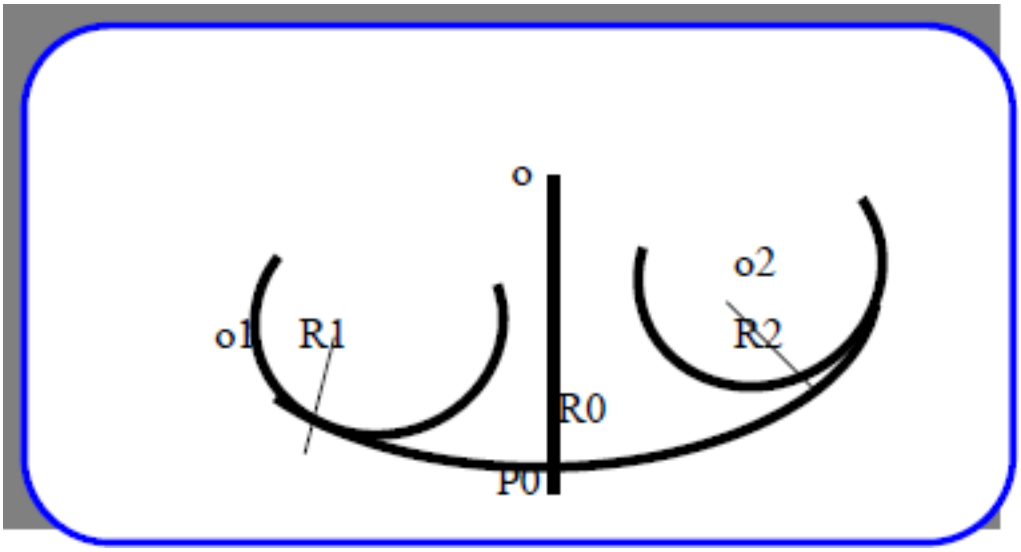


Figure IV.7 : Courbe en C [14]

Courbe en ove

Un arc de clothoïde raccordant deux arcs de cercles dont l'un est intérieur à l'autre, sanslui être concentrique.

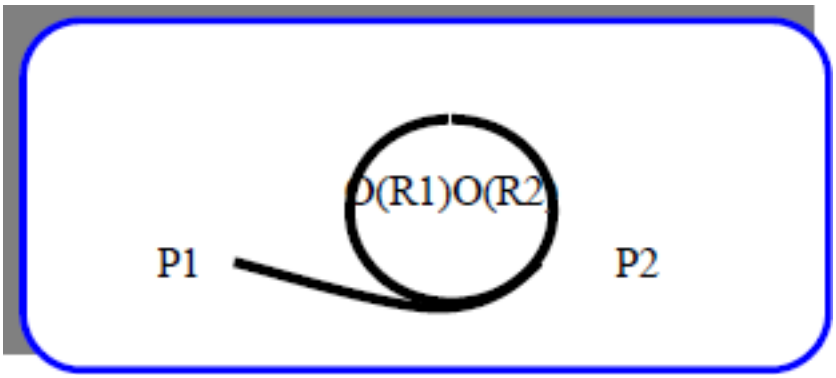


Figure IV. 8 : Courbe en Ove [14]

Application au projet

Pour réaliser l'axe en plan du tracé sur le logiciel PISTE il faut passer tout d'abord par l'AUTOCAD, et cela suivant les étapes suivantes :

- à partir du plan du site (contenant le nuage de points "points topographiques"), on fixe le point de départ qui correspond au début du projet.
- l'axe de la route qui est réalisé avec l'AUTOCAD contient deux éléments:
  - ✓La ligne brisée;
  - ✓Les rayons des virages.
- on relève les coordonnées des points particuliers du tracé (point de départ, point de la fin de projet, sommets des virages et les rayons).

Apres avoir terminé ces étapes, on introduit ces données dans le logiciel PISTE. Le plan obtenu est représenté dans la figure IV.9 :

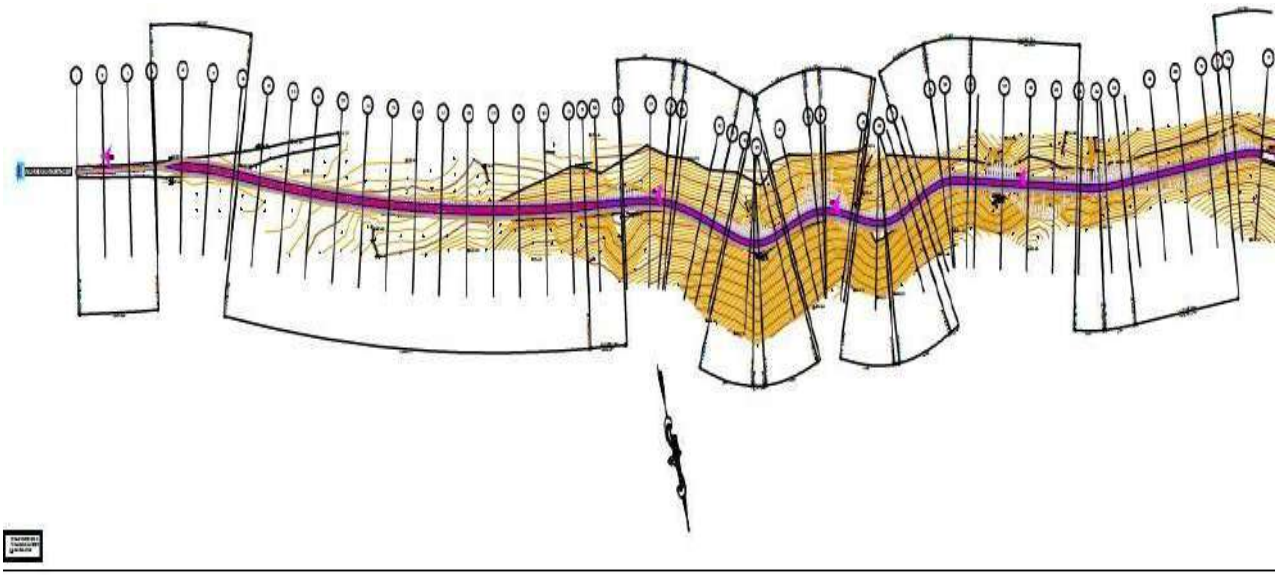


Figure IV. 9 : Trace en plan de projet de CW138

Le profil en long

Définition

Le profil en long d'une route est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive. Donc il exprime la variation de l'altitude de l'axe routier en fonction de l'abscisse curviligne.

Le profil en long est toujours composé d'éléments de lignes droites raccordés par des cercles. [17]

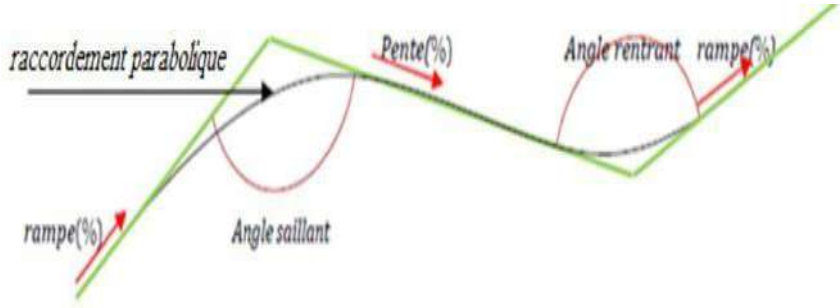


Figure IV. 10 : Profilen long d'une route

Règles à respecter dans le tracé du profil en long

Dans ce paragraphe on va citer les règles qu'il faut les tenir en compte –sauf dans des cas exceptionnels- lors de la conception du profil en long. L'élaboration du tracé s'appuiera sur les règles suivantes : [17]

*Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.

*Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.

*Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.

*Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des dévers nul dans une pente du profil en long.

*Recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.

Eviter une hauteur excessive en remblai.

*Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles notamment.

*Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.

*Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.

*Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

Eléments constitutifs du profil en long

a) Les alignements

Sont des segments de droites caractérisés par leurs déclivités. On distingue deux types de déclivité:

- Déclivité minimale :

Pour les déclivités minimales en profil en long, il n'est plus imposé en règle générale de valeur minimale, il est nécessaire d'avoir une déclivité.

- Dans les zones de dévers nul, au moins de 0.5% à 1% pour éviter la stagnation des eaux.
- Dans la longue section en déblai ; au moins 0.2% pour l'ouvrage longitudinal d'évacuation des eaux ne soit pas trop profondément enterré du cote aval.[18]

- Déclivité maximale : La déclivité maximale est tolérée surtout dans les courtes distances. Selon le B40 elle doit être inférieure à une valeur maximale associée à la vitesse de référence.

Tableau IV. 1 : Déclivité maximale

V_r(km/h)	40	60	80	100	120
I_{max}(%)	8	7	6	5	4

Pour notre cas la vitesse de référence Vr = 40 km/h, donc la pente maximale I_{max}=8 %. Voie supplémentaire pour véhicule lent ;

Les déclivités importantes posent un problème pour les poids lourds. L'atténuation de ce problème de déclivité consiste à :

En rampe : Prévoir une voie supplémentaire pour poids lourds afin d'éviter le ralentissement des véhicules et le développement des files d'attente.

En pente : L'influence de la pente sur la vitesse des véhicules poids lourds est importante. En conséquence la vitesse doit être adaptée au véhicule et à la pente en utilisant convenablement les freins.

b) Les raccordements verticaux

Le passage d'une déclivité à une autre doit être adouci par l'aménagement d'accordement circulaire (parabolique) qui doit satisfaire les conditions de visibilité de confort et d'esthétique. On distingue deux types de raccordement :

1) Raccordement convexe (angle saillant)

La conception des raccordements convexes doit satisfaire les conditions suivantes :

Condition de confort : Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, le véhicule subit une accélération verticale importante qui modifie sa stabilité et gêne les usagers. La condition de confort consiste à limiter l'accélération verticale est représentée par la formule suivante :

$$\boldsymbol{Vr^2/Rv \leq g/40 \Rightarrow Rv \geq 0.30 \times Vr^2} \qquad \boldsymbol{Pour\ (Cat\ 1\ et\ 2)}$$

$$\boldsymbol{Vr^2/Rv \leq g/30 \Rightarrow Rv \geq 0.23 \times Vr^2} \qquad \boldsymbol{Pour\ (Cat\ 3,\ 4\ et\ 5)}$$

Où,

Rv : rayon de raccordement (m).

Vr : vitesse de référence (km/h).

g : accélération de la pesanteur = 10 m/s2.

Condition de visibilité : Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de condition confort.

Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.[16**]**

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{Rv} = \frac{d^2}{2 \times (\sqrt{h_a + h_g})^2}$$

Condition esthétique : Comme tout ouvrage désigné de ce nom, une route devrait être conçue et réalisée de façon à procurer aux usagers une impression d'harmonie, d'équilibre et de beauté. Pour cela il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivité sur une distance restreinte.[10]

Les rayons assurant ces conditions sont données pour les normes en fonction de la vitesse de base et la catégorie, pour choix bidirectionnelle, vitesse de référence Vr = 40Km/h et pour la catégorie 1 on à le tableau **IV. 2** suivant :

Tableau IV.2 : Rayons en angle saillant

Rayon	**Symbole**	**Valeur (m)**
Minimal absolu	RVM	500
Minimal normal	RVN	1500
Dépassement	RVD	2500

- Raccordement concave (angle rentrant) : La visibilité du jour dans le cas de raccordement des points bas n'est pas déterminante c'est pendant la nuit qu'il faut s'assurer que les phares du véhicules devront éclairer un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle, la visibilité est assurée pour un rayon satisfaisant la relation :[16**]**

$$\boldsymbol{Rv'} = d_1^2 / (1.\,\mathbf{5} + \mathbf{0.\,035} \times d_1)$$

Pour une chaussée unidirectionnelles avec une Vr = 80 Km/h et catégorie 1 on a le tableau suivant

Tableau IV .3 : Rayons en angle rentrant [18]

Rayon	Symbole	Valeur (m)
Minimal absolu	R' VM	2400
Minimal normal	R' VN	3000

Coordination du tracé en plan et du profil en long

Pour qu'une route présente des caractéristiques satisfaisantes, il ne suffit pas que son tracé en plan et son profil en longs, considérés isolements, soient en règles qui leur sont propres. Il faut aussi que le tracé en plan et le profil en long de la route aient l'objet d'une étude d'ensemble assurant leur coordination.

La coordination du tracé en plan et du profil en long a pour objectif principal d'assurer aux usagers une vue satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité.

La route telle qu'elle apparaît en perspective de chaque point du parcours, doit permettre à l'usager:

De distinguer la chaussée et les obstacles éventuels à une distance assez grande pour lui permettre de manœuvrer ou de s'arrêter. Ce sont les conditions de visibilité.

De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs…etc.).

De prévoir de loin l'évolution du tracé, sans être abusé par des trompe-l'œil ou gêné par des brisures ou des discontinuités.

Les règles qu'il faut suivre pour éviter les défauts résultants, d'une mauvaise coordination tracée en plan- profil en long sont :

_ Si le profil en long est convexe, augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan.

_ Le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe.

_ Avant un point haut, amorcer la courbe en plan.

_ Faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celle du profil en long (porter les rayons de raccordement vertical à 6 fois au moins le rayon en plan).[18]

Profil en long du projet

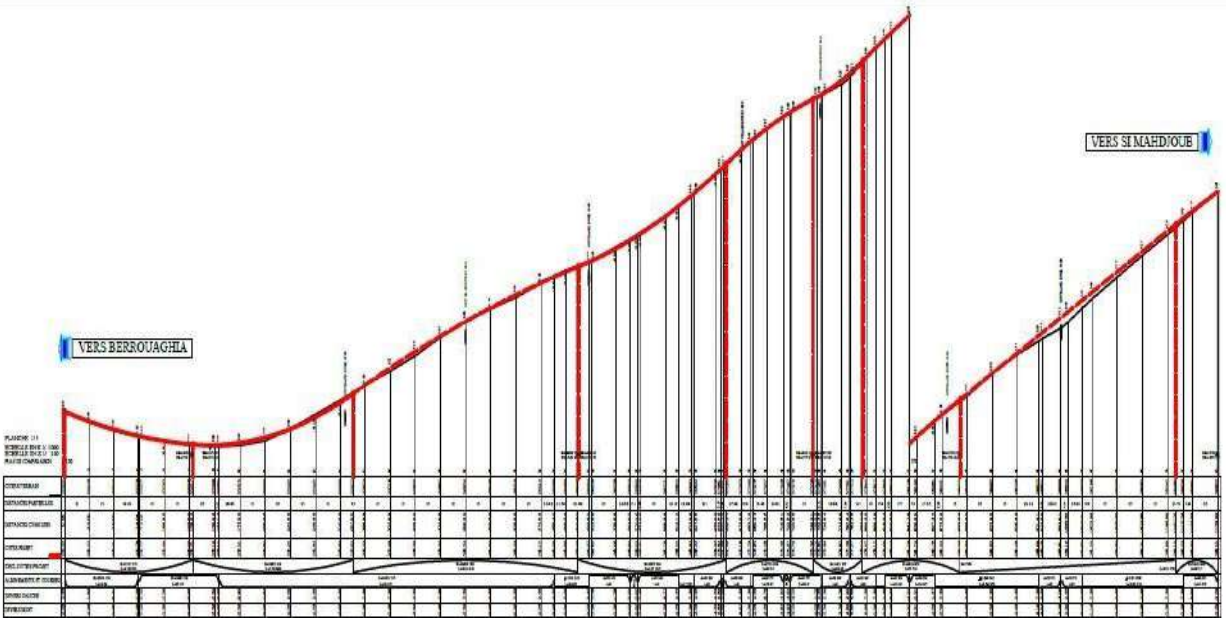


Figure IV. 12 : Profil en long du projet [1]

Profil en travers IV

4.1. Définition

Le profil en travers d ‘une route est une coupe transversale menée selon un plan perpendiculaire à l’axe de la route projeté.

Un projet routier comporte le dessin d’un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d’abord un

profil unique appelé « profil en travers » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, etc.…).

Eléments constitutifs du profil en travers

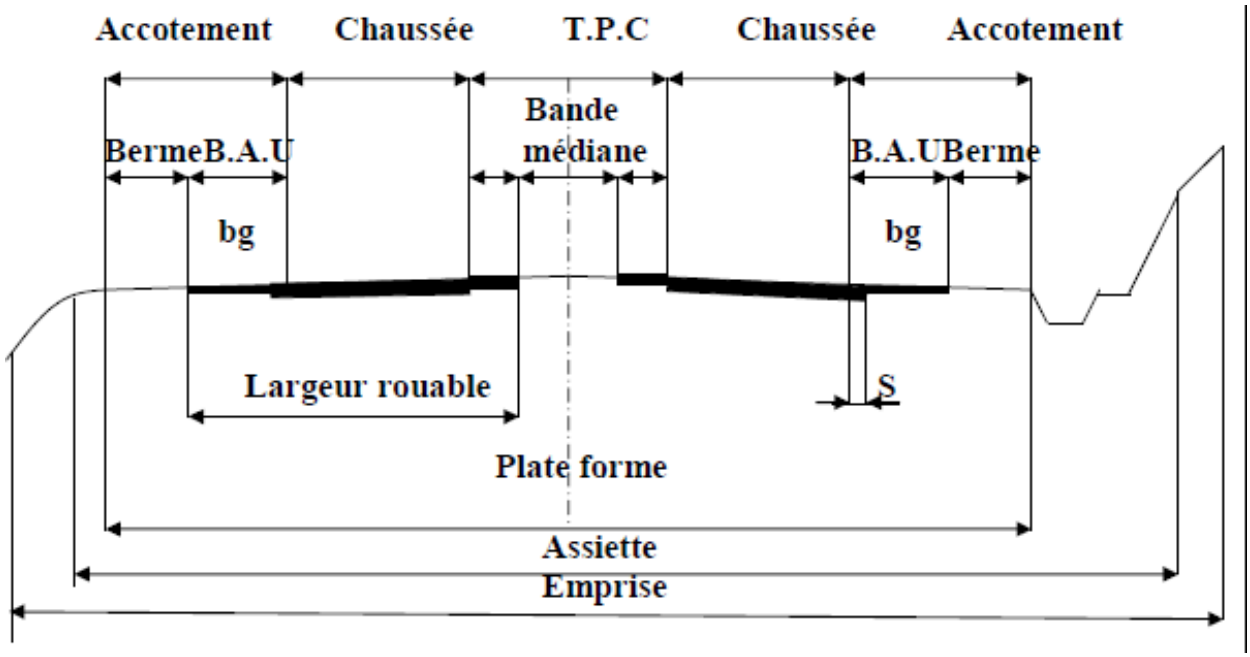


Figure IV.13 : Profil en travers général.[13]

Emprise : Surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances, limitée par le domaine public.

Assiette : Surface du terrain réellement occupé par la route, ses limites sont les pieds de talusen remblai et crête de talus en déblai (terrassements).

Plate-forme : Pour un projet routier, une plate-forme est constituée d'une ou deux chaussées, des accotements et, éventuellement, d'un terreplein central.

Chaussée : Surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. Elle doit être revêtue ou non revêtue ou en béton, elle peut être bidirectionnelle ou unidirectionnel.

Terre plein central (TPC): Espace aménagé séparant deux chaussées à sens opposés, comportant les deux bandes dérasées de gauche (BDG) et la bande médiane. Elle sert à séparerles deux sens de circulation, et à implanter certains équipements (barrière, support de signalisation... etc.).

Accotements : Elément de la route comprenant une bande dérasée, constituée d'une sur largeur de chaussée et d'une bande stabilisée ou revêtue, et la berme.

Bande dérasée : Bande contiguë à la chaussée, stabilisée, revêtue ou non, dégagée de tout obstacle. Elle comporte le marquage en rive.

Fossé : Tranchée creusée parallèlement à la route, permettant l'évacuation des eaux internes oude ruissellement.

Berme : Zone située immédiatement à l'extérieur de la bande dérasée. Elle est généralement engazonnée. Elle supporte certains panneaux de signalisation et d'éventuels équipements.

Talus : Terrain en pente faisant la liaison entre la plate-forme et le terrain naturel. Le talus de remblai surplombe la plate-forme et en est séparé par un fossé destiné à recevoir les eaux de ruissellement. Le talus de déblai se trouve en contrebas de la plate-forme. [3]

Différents types de profil en travers

Dans une étude d'un projet de route l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers :

***a*- profil en travers type :**

Il contient tous les éléments constructifs de la future route dans toutes les situations (en remblai, en déblai, en alignement et en courbe).

***b*- profil en travers courants :**

Se sont des profils dessinés à des distances régulières qui dépendent du terrain naturel (accidenté ou plat).

Application au projet étudier n°138

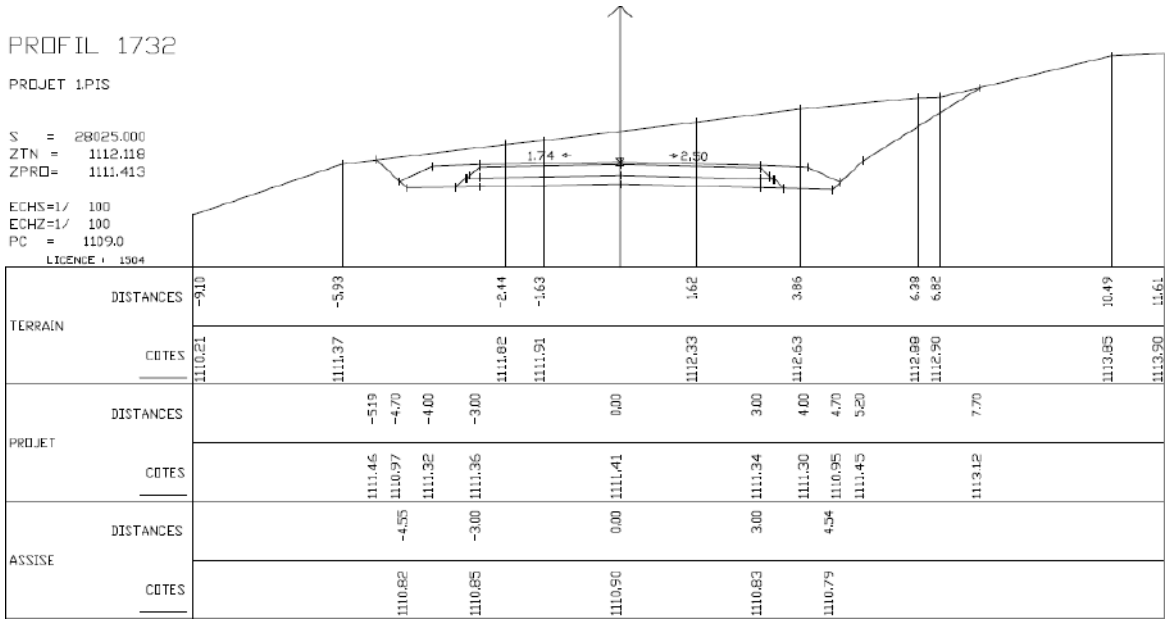


Figure IV. 14 : Profil en travers en déblai [10]

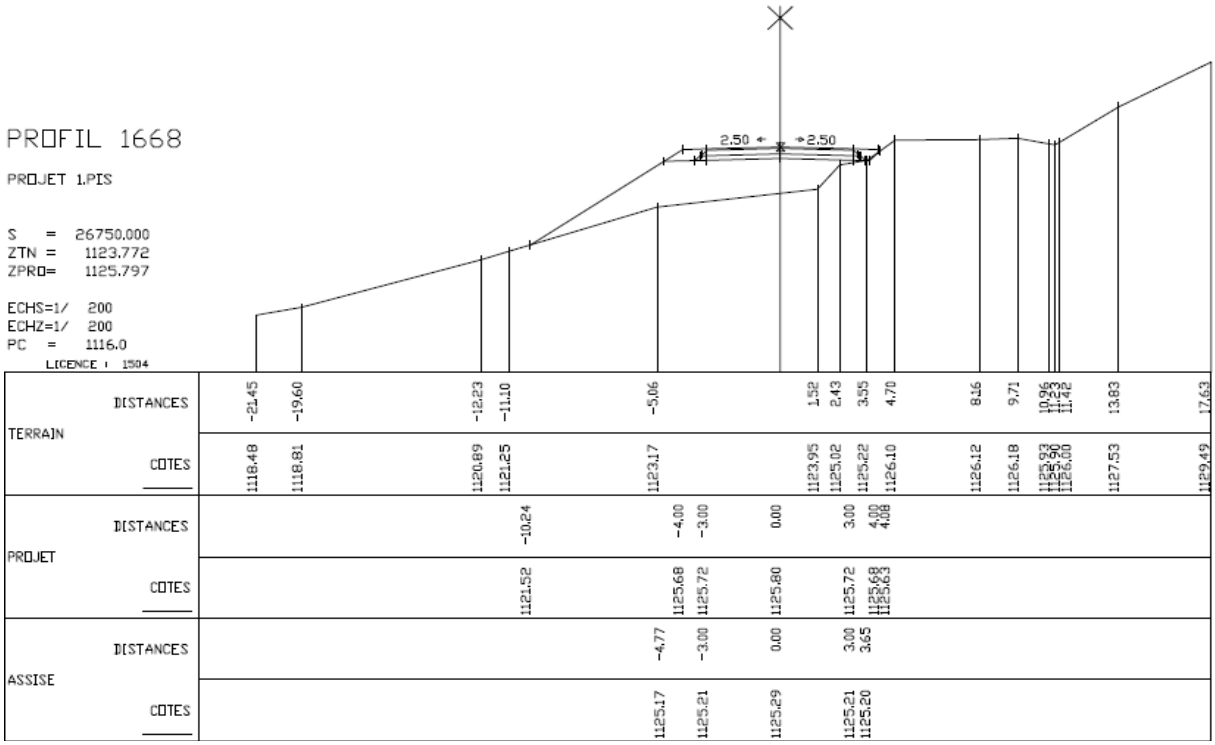


Figure IV. 15 : Profil en travers en remblai [10]

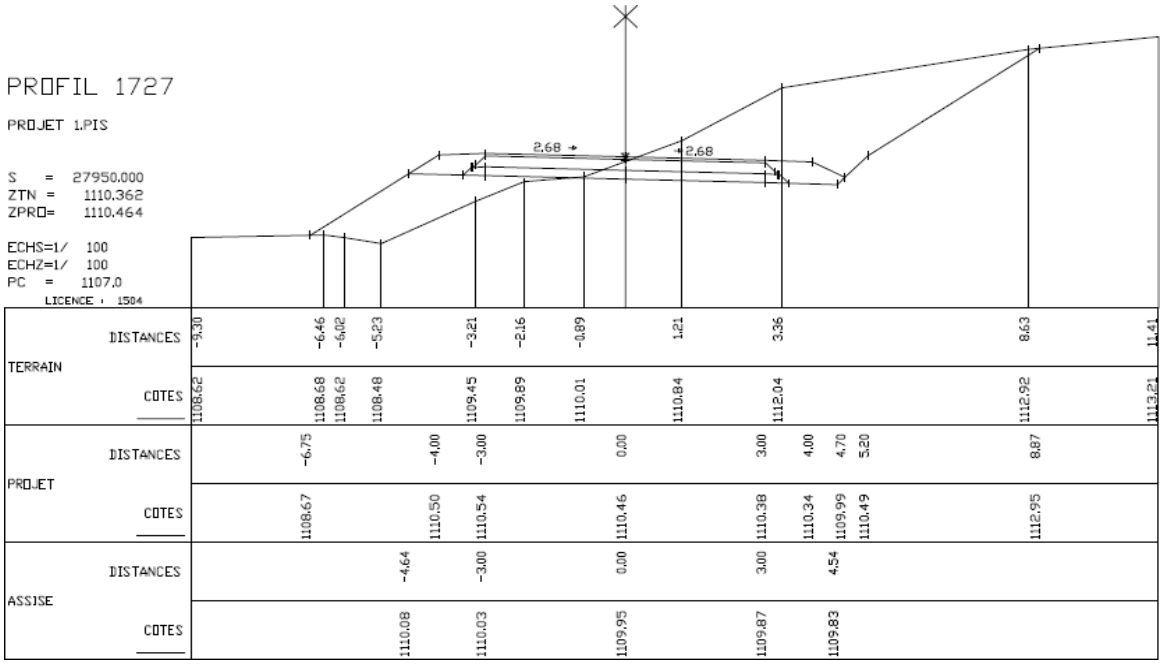


Figure IV. 16 : Profil en travers mixte [10]

Cubatures des terrassements

Les cubatures de terrassement, c 'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet :

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

· Les profils en long

· Les profils en travers

· Les distances entre les profils.

Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents le moinspossible de la ligne du terrain qu'il représente. [13]

Terrassement

Les terrassements sont l'ensemble des travaux destinés à modifier la forme naturelle du terrain. Cette modification s'effectue soit par apport de terre sur le sol du terrain naturel (remblai).

Soit par excavation des terres existantes au dessus du niveau de la ligne rouge (déblai). Dans le langage des travaux publics, terrasser c'est extraire, transporter et éventuellement utiliser un sol naturel en vue de construire un ouvrage (tranchée, remblai, tunnel, etc.) ou de servir d'assiette à un ouvrage (fondation, piste d'aérodrome, etc.). On distingue dans l'exécution des terrassements routiers trois phases essentielles : l'extraction, le transport et la mise en remblai ou en dépôt. Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle **"cubature des terrassements".**

On définit la cubature par le nombre des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin d'obtenir une surface uniforme sensiblement rapprocher et sous adjacente à la ligne rouge de notre projet. Le profil en long et le profil en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents le moins possiblede la ligne du terrain qu'il représente.[19]

Méthode de calcul

Ayant dessiné le profil en travers du terrain au droit des sections transversales de la plate forme de voie (une fois tous les 50m et à chaque point de changement de déclivité) de la ligne rouge ou du profil en long du terrain naturel)

Nous considérons sur ce profil en travers du terrain naturel, le profil type lui correspondant (profil en travers type en remblai, en alignement droit ou en courbe). [13]

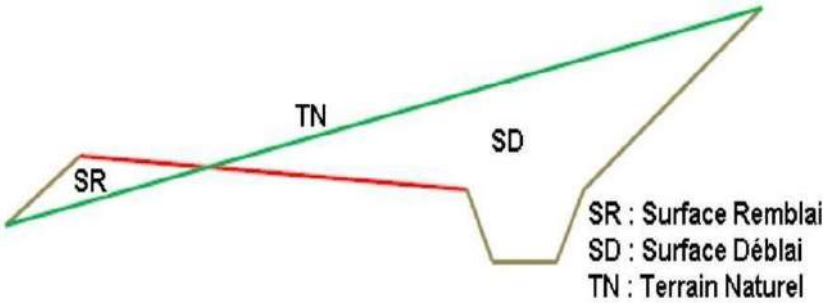


Figure IV. 17 : Surface remblai et surface déblai

Nous calculons les surfaces SD et SR de déblai et de remblai pour chaque profil en travers

Description de la méthode SARRAUS

On calcule séparément les volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs en utilisant la formule des trois niveaux ou formule au prismoide .

$$V = h/6(s1+s2+4s)$$

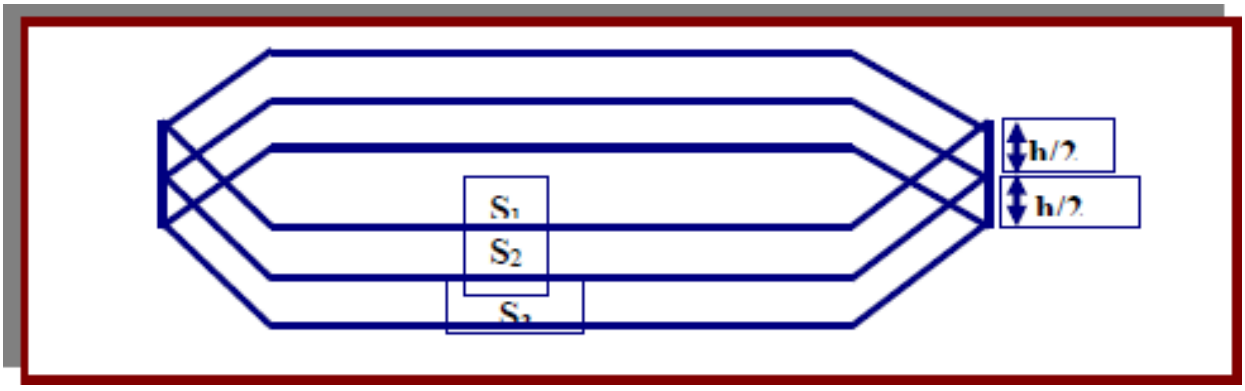
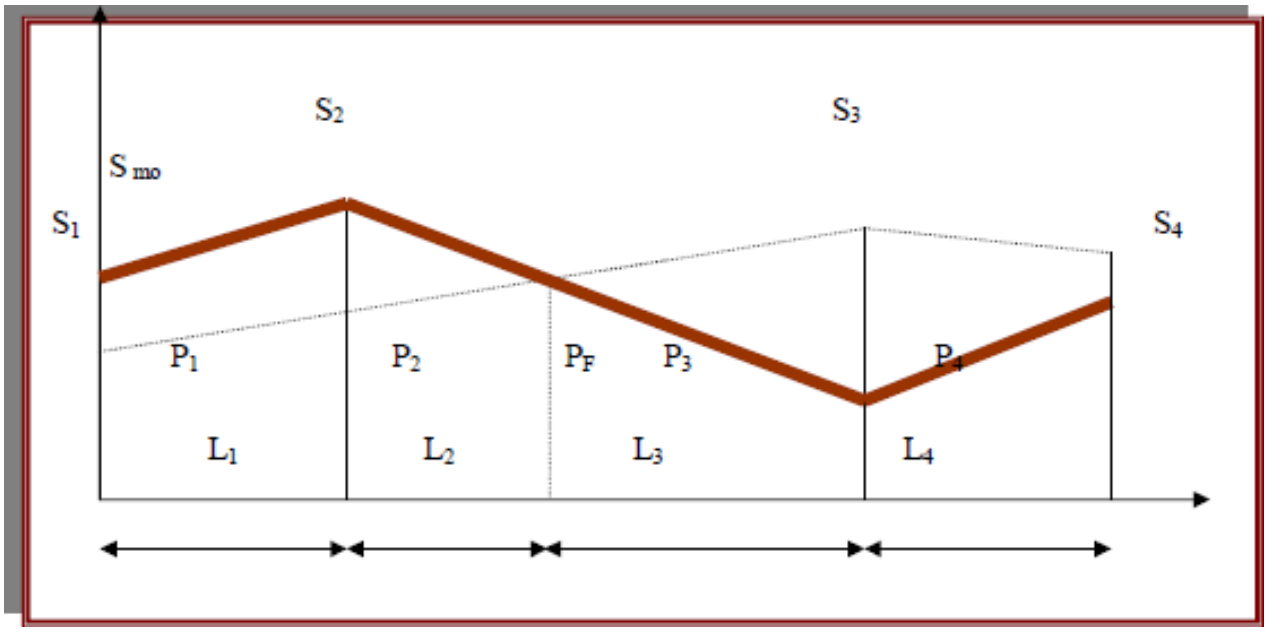


Figure IV.18 : Principe de la méthode SARRAUS

Pf : profil fictif surface nulle

S1 et S2 : surface des deux profils en travers P1 et P2



Li : distance entre ces deux profils

S : Base intermédiaire (surface parallèle et à mi-distance de P1 et P2)

Si on applique la formule de SARRAUS, le volume entre P1 et P2 de surface S1 et S2 sera :

V1 = L1 /6(S1+S2)

Le volume total de terre pour la figure de l'exemple ci –dessus est :

$$\mathbf{V= L_1 (S_1+S_2)/2 + L_2 S_2/2 + L_3S_3/3 +L_4 (S_3+S_4)/2}$$

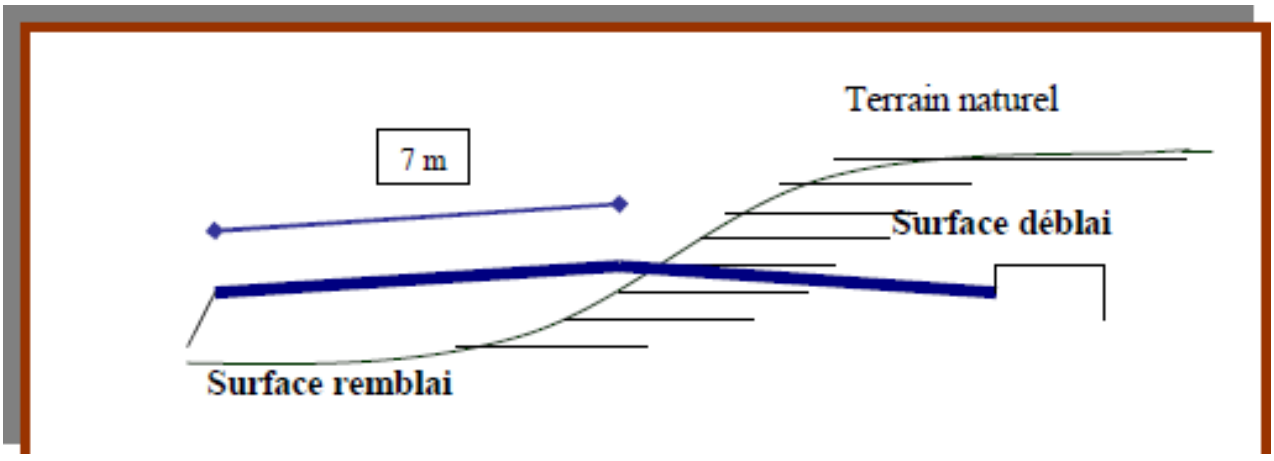


Figure IV.19 : Coupe transversale d'une chaussé

CHAPITRE V :

DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée

Introduction

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial. Celle-ci passe d'abord par une bonne connaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à réaliser. Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude. Il s'agit en même temps de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée. Tout cela en fonction de paramètres fondamentaux suivants :

- Le trafic ;
- L'environnement de la route (le climat essentiellement) ;
- Le sol support.

Les principales méthodes de dimensionnements

Il existe deux méthodes, les méthodes empiriques et semi empiriques. Ces méthodes s'appuient sur trois paramètres :

- ✓ La force portante : obtenue par les différents essais géotechniques ;
- ✓ Le trafic : charge par voie, pression de gonflage et répétition des charges ;
- ✓ Caractéristiques mécaniques des différents matériaux constituant les couches.

Method C.B.R (California – Bearing – Ratio)

La méthode américaine CBR, fournit une épaisseur équivalente totale de Chaussée. Les épaisseurs réelles de matériaux sont déterminées en attribuant à chaque Matériau un coefficient d'équivalence représentatif de ses qualités mécaniques. Les coefficients d'équivalence ont été déterminés pour chaque type de matériau L'épaisseur est donnée par la formule suivant[10] :

$$\mathbf{E_{eq} = 100 + (\sqrt{P})\ (75 + 50 \log (N/10))\ /\ (I_{CBR} + 5)}$$

Avec :

E_{eq} : épaisseur équivalente

I : indice CBR (sol support)

N: désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide

N=TH.%PL

TH : trafics prévus pour une durée de vie de 15 ans.

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

Log : logarithme décimal

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{E_{eq} = c1 \times e1 + c2 \times e2 + c3 \times e3}$$

c1 × e1 : couche de roulement

c2 × e2 : couche de base

c3 × e3 : couche de fondation

Où : c1, c2, c3 : coefficients d'équivalence (Voir tableau IV.1)

e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

Tableau V.1 : Coefficients d'équivalence [10]

Matériaux utilisés	**Coefficient d'équivalence**
Béton bitumineux ou enrobe dense	2,00
Grave ciment-grave laitier	1,50
Grave bitume	1,20 à 1,70
Grave concassée ou gravier	1,00
Grave roulée-grave sableuse T.V.O	0,75
Sable ciment	1,00 à 1,20
Sable	0,50
Tuf	0,60

Remarque :

Pour le calcul de l'épaisseur réelle, on fixe «e1» et «e2» et on calcule «e3», généralement les épaisseurs adoptées sont :

BB = 6 - 8 cm ;

GB = 10 - 20 cm ;

GC = 15 - 25 cm ;

TVO = 25cm et plus.

Method A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials)

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

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps ;
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux ;
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai ;
- L'influence des charges et de leur répétition [20].

Méthode d'ASPHALT

Elle basée sur les résultats obtenus des essais «A AS H O » on prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalte institué [20].

Méthode du catalogue des structures

C'est le catalogue des structures type neuves et établi par «SETRA »Il distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB). Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de200 à 1500Véh/J. Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation. Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données [5]:

- ✓ Trafic cumulé de poids lourds à la 20ième année Tj ;
- ✓ Les caractéristiques de sol (Sj).

Détermination de la classe de trafic

La classe de trafic (TPLi) est déterminée à partir du trafic poids lourd par sens circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service. Les classes de trafics adoptées sont dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : Classes de trafic poids lourds

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumulé sur 20 ans
T_1	$T< 7.3\ 10^5$
T_2	$7.3\ 10^5<T<2\ 10^5$
T_3	$2\ 10^6<T<7.3\ 10^6$
T_4	$7.3\ 10^6<T<4\ 10^7$
T_5	$4\ 10^7<T$

Le trafic cumulé est donné par la formule :

$$\mathbf{Tc = TPL\ [1+ ((1+ \tau)\ (n+1)-1)\ /\ \tau].365}$$

TPL : trafic poids lourds à l'année de mise en service

n: durée de vie (n = 15 ans) ;

Et**τ :** taux d'accroissement pris est égal 4%.

Détermination de la classe du sol

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à la teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante. Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils suivants [10] :

Tableau V.3 Classement des sols selon C.B.R

Classe de sol	Indice C.B.R
S0	>40
S1	25-40
S2	10-25
S3	05-10
S4	<05

La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression [20]:

$$T_{eq} = [TJMA.\ a\ [(1+Z)\ n-1] \times 0.75 \times P \times 365] / [(1+Z)-1]$$

Avec :

T_{eq}**=** trafic équivalent par essieu de 13t.

TJMA = trafic à la mise en service de la route.

a = coefficient qui dépend du nombre de voies.

Z = taux d'accroissement annuel.

n = durée de vie de la route.

p = pourcentage de poids lourds.

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente **e** (en fonction de **Téq, ICBR**) à partir de l'abaque L.C.P.C. L'abaque L.C.P.C est découpé en un certain nombre de zones pour lesquelles, il est recommandé en fonction de la nature et la qualité de la couche de base.

Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves

L'utilisation de catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussées : trafic, matériaux, sol support et environnement. Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour la dimensionnement, en fonction de cela on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée. La Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelles qui se base sur deux approches [20] :

- Approche théorique ;
- Approche empirique.

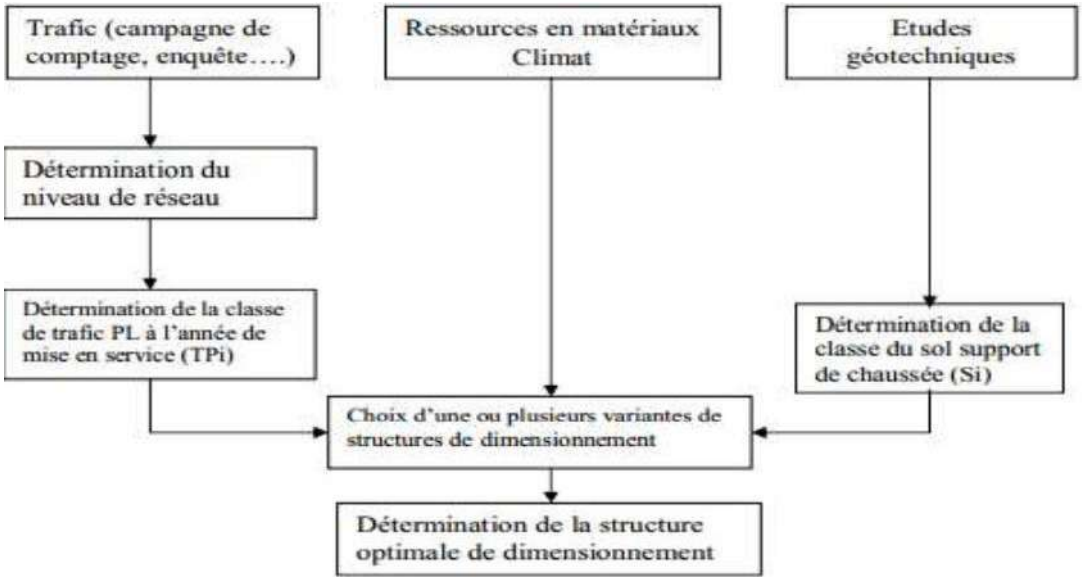


Figure V.1 : les étapes de deminitionnement méthode du catalogue de dimensionnement deschaussées neuves

Application au projet

Pour le dimensionnement du corps de chaussée on va utiliser deux méthodes qui sont : La méthode dite CBR et la méthode du catalogue des chaussées neuves « CTTP ». Aprèsl'étude géotechnique on a trouvés des tronçons en indices CBR différents.

Caractéristiques du sol support

D'après le rapport géotechnique, nous avons un indice de CBR= 2.5 (notre sol est de faible portance), donc la portance de sol support est de S4.On doit prévoir une couche de forme en matériau non traité de 60cm (en deux couches de 30cm), pour améliorer la portance de sol support.

Amélioration de la portance du sol support

La couche de forme a pour but d'améliorer la portance du sol support, Le (CTTP) a fait des recherches sur la variation du CBR selon les différentes épaisseurs de CF, le mode de sa mise en place (nombre de couches) et la nature du matériau utilisé(Les plus répandus en Algérie) pour la réalisation de la CF. Les résultats de ces recherches sont résumés dans le tableausuivant:

Tableau V.4 : Résultats des recherches de CCTP pour améliorer la portance de sol**.**

Portancedesol	**MatériaudeCF**	**EpaisseurdeCFE$_{cf}$**	**Portancevisée**
<S4	Nontraité	50cm(2couches)	S3
S4	Nontraité	35cm(2couches	S3
S4	Nontraité	60cm(2couches)	S2
S3	Nontraité	40cm(2couches)	S2
S3	Nontraité	70cm(2couches)	S1

NB : Nous avons choisi le matériau non traité pour des conditions économiques.

Pour notre cas on a un CBR=2.5, la classe S4 (tableau V.3), nous proposonsE$_{cf.}$ =60cmdetuf Pour obtenir un CBR compris entre 10 et 25 classe S2.

Méthode dite CBR

- ICBR= 2.5
- Le trafic à l'année 2013 : TJMA2013= 1000V/j
- Durée de vie de la chaussée : 15 ans
- Coefficient d'accroissement annuel du trafic : $\tau = 4\ \%$
- Durée de la mise en service n= 03 ans.
- Le pourcentage de poids lourds : Z= 30%.

NPL2031= $\%PL \times TJMA\ /2 \times (1 + 0.04)^{15} = 270$ p l/j.

P = 6.5 t

, Donc :

E = 100 + ($\sqrt{P}$) (75 + 50 log (N/10)) / (I_{CBR} + 5)

E = 100 + ($\sqrt{6.5}$)(75 + 50 log (270 /10)) / (2.5 + 5) = 63.15

E eq= 63.15 cm

Lorsque le corps de chaussée est composé par des différents matériaux, on utilise le coefficient d'équivalence de chaque matériau :

Avec :

$$e = \sum_{i=1}^{n} a_i \,.e_i$$

a_i : coefficients d'équivalences ;

e_i : épaisseurs réelles.

On propose les matériaux suivants de chaque couche :

- Couche de roulement : béton bitumineuxa1 = 2
- Couche de base : grave bitume a2 = 1.7
- Couche de fondation : GC a3 = 1

Alors :

a1e1+a2e2+a3e3 = 63.15.

7×2+ 15×1.7+e3×1 = 63.15.

e3 = 23.65 cm

Donc : Notre chaussé et constitué de **:**

- ✓ 7 cm : couche de roulement en (BB) : béton bitumineux ;
- ✓ 15 cm : couche de base en (GB) : grave bitume ;
- ✓ 25 cm : couche de fondation en (GC) : touvenente d'oued.

Tableau V.5 : Epaisseurs réelles et équivalence de la chaussée.

Nom de la couche	Matériaux	Coefficient d'équivalence	L'épaisseur de la couche
Roulement	BB	2	7
Base	GB	1,7	15
Fondation	GC	1	25

Remarque :

Les épaisseurs sont indiquées en centimètre (cm)

Notre structure comporte : 7 BB + 15GB +25GC

L'épaisseur réelle égale = 47cm, la structure comporte :



Figure. V.2 : Structure de chaussée (CBR)

Méthode de catalogue des structures

On a les données d'entrées du dimensionnement suivantes :

- Structure de type « Matériau non Traités » -MNT-
- Zone climatique = I
- Durée de vie = 15 ans
- Taux d'accroissement = 4%.
- TJMA2013=1000 v/j
- Pourcentage de poids lourds : Z = 30 %.

Détermination du type de réseaux principaux

D'après le catalogue on a la classification des réseaux principaux suivante :

Tableau V.6 : classification des réseaux principaux

Réseau principal	Trafic (véhicules/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

$TJMA_{2013}$ = 1000 (V/j).

1000(V/j) < 1500(V/j) ⟶ le réseau principal est RP2.

Détermination de la classe de trafic

Définition du poids lourd :

Un poids lourd (PL) est un véhicule de plus de 3.5 tonnes de poids total autorisé en charge.

- $TJMA_{2016}$ =1560 v/j.
- τ= 4 %.
- Z=30%.

TPL= 1000×0.3×0.5= 150 PL/ j/sens

Répartition transversale du trafic :

En l'absence d'informations précises sur la répartition de poids lourds sur les différentes voies de circulation, on adoptera la valeur suivante :

- Chaussée bidirectionnelles à 2voies :50 du trafic PL sur la voie lente de droite.

  $TPL_{2011} = 150 \times 0.5 = 75$ (PL/j/sens).

Détermination de la classe de trafic (TPL_i) :

Les classes de trafic (TPLi) adoptées dans les fiches structures de dimensionnement sont données, pour chaque niveau de réseau principal, en nombre PL par jour et par sens à l'année de mise en service.

Classe TPL_i pour RP2 :

Tableau V.7 : classe de trafic

TPL_i	TPL_0	TPL_1	TPL_2	TPL_3
PL/j/sens	0-50	50-100	100-150	150-300

TPL= 150 (PL/j/sens). ⟶ La classe de trafic est TPL_2.

Détermination de la portance de sol-support de chaussée

On a ICBR = 2.5 % ⇨ S 4(sol de faible portance). Vue l'appartenance au réseau RP2, on doit viser la portance de sol S2. D'où le recours à une couche de forme de 60 cm d'épaisseur (en deux couches) en matériaux non traités (GNT, TVO, TUF...).

Apres la réalisation de la couche de forme la classe de sol support est la classe S2.

Choix de différentes couches constitue de la chaussée

Dans le cadre de notre projet, nous avons proposé la structure suivante :

- Couche de roulement : BB.
- Couche de base : GNT.
- Couche de fondation : GNT.

- Détermination de la zone climatique :

D'après la carte de la zone climatique de l'Algérie, notre projet est dans la zone climatique I.

- Choix de dimensionnement :

Nous sommes dans le réseau principal (RP2), la zone climatique I, durée de vie de 15 ans, taux d'accroissement (4%), portance de sol (S2) et une classe de trafic (TPL2).

Avec toutes ces données le catalogue Algérien (fascicule 3) propose la structure suivante :

- couche de roulement : BB = 6 cm.
- couche de base : GNT = 20 cm.
- couche de fondation : GNT =30 cm.

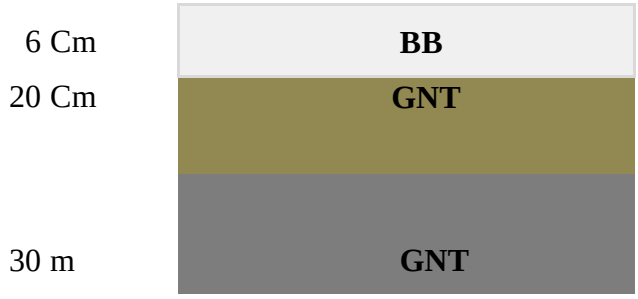


Figure. V.3 : Structure de chaussée

Conclusion

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement des chaussées, et de mise en œuvre des structures routières pour montre une méthodologie de Dimensionnement des chaussées plus intéressante selon la réglementation algérienne et d'essayer de Proposer une structure de chaussée, pour notre cas nousavons choisi le dimensionnement par la méthode de catalogue des structures pour des raisons économiques**.**

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale :

Ce présent travail était l'occasion pour perfectionner nos modestes connaissances dans le domaine des routes.

C'est un travail de base qu'on vient de réaliser, il est d'une utilité incontestable parce qu'il nous a confrontés à certains problèmes et nous a permis entre autre de tirer profit des expériences des personnes qualifiées dans le domaine.

Ce travail nous a permis de passer en revue les différentes étapes d'un projet routier ; et nous avons conçu le tracé géométrique et déterminé les différentes caractéristiques du projet. Ceci nous a permis de prendre connaissances des différentes normes régissant le domaine routier. Par ailleurs, nous avons mis à profit l'élaboration de notre PFE La partie dimensionnement, en plus des méthodes acquisses durant nos études, nous a permis de bien comprendre comment tenir compte des divers facteurs de dimensionnement, notamment comment changer la classe d'un sol peu portant par une classe de meilleure portance.

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

En fin, notre mémoire a été bénéfique pour nous et nous a ouvert les portes du domaine professionnel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographique

[1] Wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/view/vitrine Site web visit le 18/05/2022.

[2] SETRA-LCPC, Conception et dimensionnement des structures de chaussée. 1994: SETRA-LCPC.

[3] Edilab.com/technique-routière/ site web

[4] TRAN Q. D. (2004). Modèle simplifié pour les chaussées fissurées multicouches. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

[5] BURMISTER D. M. (1943). The theory of stresse and displacement in layered systems and application of the design of airport runways. Proceedings of the Hingway Research Board , vol 23, novembre.

[6] FERRY J.D. (1980). Viscoelastic properties of polymers. 3rd Edition, John Wiley & Sons.

[7] OLARD F. (2003). Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à bassestempératures - Relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé. Thèse de Doctorat del'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

[8] HUET C. (1963). Etude par une méthode d'impédance du comportement viscoélastique des matériaux hydrocarbonés. Paris: Thèse de Docteur Ingénieur, Faculté des Sciences del'université de Paris, 69 p.

[9] SAYEGH G. (1965). Variation des modules de quelques bitumes purs et bétons bitumineux. Paris: Thèse de Doctorat d'Ingénieur : Faculté des Sciences de l'université de Paris.

[10] DTP de Médea - Rapport géotechnique CW38 2007.

[11] Malki et Kola (2018) Mémoire de fin d'étude université de Médéa.

[12] Conception et calcul des ouvrages géotechniques, Bouafia Ali.

[13] ETUDE EN APD DU DEDOUBLEMENT DE LA RN 43 SUR 8 .124KM AVEC CARREFOURS Proposé par *:* **Mr. GOUMETTRE AHMED** Etudié par **BETATACHE AMMAR** et **OTSMANE MOURAD.**

[14] projet de fin d'étude sur le thème de ETUDE EN APD DU DEDOUBLEMENT DE LA RN 43 SUR 8 .124KM AVEC CARREFOURS Proposé par : Mr. GOUMETTRE AHMED Etudié par : BETATACHE AMMAROTSMANE MOURADPromotion 2007.

[15] Etude en ADP du déboulement de la RN03 sur 12KM Constantine Encadrer par : ***M r .GOUMETTRE AHMED*** Elaboré par: ***Mr. KAHLESSENANE MOURAD Et Mr. LOUIBDA ABDERRAHMANE*** **Promotion 2007.**

[16] ETUDE EN APD DUDEDOUBLEMENT DE LA RN 90A SUR 10.8KM LOT N°2:TRONÇON CW24 – CW13 BIS Encadré par : Mr: K.GHAFFAR *Présentés par* : Mr: ADOUM MAHAMAT YOUSSOUF et Mr : YAYA AHMAT ALLANGAMI Promotion : Juin 2007

[17] ETUDE EN APD D'UNE PÉNÉTRANTE RELIANT LA VOIE EXPRESS Á L'AUTOROUTE EST-OUEST TRONÇON :ÉCHANGEUR TIPAZA EST – RN 42 Encadré par : Melle: HARHAD. N. Présenté par : DJELLOUL DAOUADJI ADDA et HECHICHE AMER

[18] etude en adp du déboulement de la RN03 sur 12km Constantine promotion 2007]

[19] MEMOIRE DE FIN D'ETUDES : Etude de l'aménagement de la liaison routière : rocade sud d'alger –village artistique de zeralda (ENS POLYTECHNIQUE)]

[20] Etude de modernisation de la route national « RN 64C » à la commune de Tablât Présenté par :SAIDANI MEROUAN et ADEL KARIM Proposé et Dirigé par : **Dr : BENSAADA ABDELHALIM** Promotion Juin 2021