



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : D'ARCHITECTURE ET DE GENIE CIVIL

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

AOUAY Mustapha & BOUMEDIENE Mohamed Amine

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : TRAVAUX PUBLICS

OPTION : VOIRIES ET OUVRAGES D'ART

Thème

**ETUDE D'UN TRONÇON DE DEDOUBLEMENT
DE LA RN 23 ENTRE PK « 346 » ET PK « 353 »**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Membre1 : <i>BOULAGHMEN Farida</i>	MAA	Président
Membre2 : <i>MERGHOUB Messaouda</i>	MAA	Examinatrice
Membre3 : <i>FERHAT Ahmida</i>	MAA	Rapporteur
Membre4 : <i>MELLAL Rachid</i>	ING	Co-rapporteur



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : génie civil et architecture

DEPARTEMENT : génie civil

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : sciences et techniques

Filière : Travaux publics

Option : voiries et ouvrages d'art

Thème : Etude d'un tronçon de dédoublement de la RN 23 entre PK « 346 » et PK « 353 »

Présenté par : AOUAY Mustapha, BOUMEDIENE Mohamed amine

Encadré par : FARHAT Ahmida, MELLAL Rachid.

Résumé : Ce projet de fin d'étude étudie une problématique qui est posée sur la route nationale n° 23, qui relie entre Laghouat et Aflou. Notre étude se concentre sur un tronçon de 7 km. L'insuffisance de la capacité de la route présente la problématique en question.

Pour résoudre ce problème, nous avons décidé de faire un dédoublement de cette route, c-à-dire la projection d'une nouvelle route à gauche de l'ancienne route, les caractéristiques de la nouvelle route sont les suivants :

Largeur de 7m, les accotements de 2 m, et une structure de la chaussée composée de 3 couches (BB 6cm. GB 11cm .GNT 15cm).

Mot clés : Dédoublement, trafic, géométrie de la route, Clothoïde, vitesse de référence.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة عمار ثليجي - الأغواط

كلية: الهندسة المدنية والمعمارية
قسم: الهندسة المدنية

ملخص مذكرة الماستر

الميدان: علوم وتكنولوجيا

الشعبة: اشغال عمومية

التخصص: طرق و منشآت فنية

عنوان المذكرة: دراسة مقطع من ازدواجية الطريق الوطني رقم 23 من النقطة الكيلومترية 346 الى 353

تقديم الطالب: عواي مصطفى، بومدين محمد أمين

الأستاذ المؤطر: فرحات أحميدة، رشيد ملال

ملخص المذكرة: تندرج هذه الدراسة في إطار البنى التحتية للنقل وبالخصوص مجال الطرقات تحت عنوان ازدواجية الطريق الوطني رقم 23 تحديدا دراسة المقطع الذي يقع بولاية الاغواط بداية من محول الطريق الوطني رقم 1 (النقطة الكيلومترية 398) الى غاية حدود ولاية تيارت (النقطة الكيلومترية 243) على مسافة 155 كم، فالطريق تعتبر عنصرا فعالا للربط بين مختلف مناطق الوطن والمساهمة في تنميتها عبر مختلف الأنشطة الاقتصادية والتبادلات التجارية.

في هذه المذكرة ندرس إشكالية مطروحة بالنسبة للطريق المذكورة، والتي تتمثل في ان سعة الطريق صارت لا تكفي لكثافة السير المتزايد وارتفاع حصىلة حوادث المرور، ومن اجل تدارك هذه الوضعية ركزنا على دراسة المقطع ما بين النقطتين الكيلومتريتين (346 و 353) بإنشاء ازدواجية أي اضافة طريق جديد على يسار الطريق القديمة بالمواصفات والهيكلية التالية:

عرض الطريق 7 م، هوامش الطريق 2 م، 3 طبقات مكونة لبدن الطريق (BB 6cm. GB 11cm. GNT 15cm).

الكلمات المفتاحية: الازدواجية، حجم المرور، التصميم الهندسي للطريق، المنحنيات الدائرية، السرعة المرجعية.

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous tenons à remercier **Allah**, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail.

En second lieu, nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à mes encadreurs Mr : **MALLAL.R** et Mr : **FARHAT.H** pour la patience et l'aide durant tout l'encadrement.

Nous tenons également à remercier ; Mme : **BOULAGHMAN. F** d'avoir accepté de présider le jury de notre projet de fin d'études.

Que Mme : **MARGHOUB.M** trouve l'expression de nos profonds remerciements, de faire partie de jury d'examinations.

Un grand merci pour Mr : **MAHBOUBI.A** ; ingénieur de la direction de travaux public (DTP), Mr : **LAALOUI.Y**; directeur de (LTPS), sans oublier **MAATALAH.A** et **ATTAFI.A**, pour leur aide.

Nous remercions tous nos enseignants durant toute notre formation, et tout le personnel administratif de Département.

Enfin on adresse nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à nos recherches et à l'élaboration de ce mémoire.

إهداء

بداية أحمد الله عز وجل على منه وعونه لإتمام هذا العمل

أهدي ثمرة جهدي الى الوالدة الغالية التي رعتني حق الرعاية و كانت دعواها لي

بالتوفيق سدي في الشدائد، إلى الذي سهر على تعليمي بتضحيات جسام ودعمي

طول المسار "ابي"، اطل الله عمرهما وجزاهما الله عني خير جزاء

إلى إخوتي الذين تقاسموا معي عبء الحياة: (الهاشمي، مبروك، محمد وعلي) وإلى

الأخت المدللة "أميرة" وإلى كل العائلة الكريمة كل باسمه

كما أهدي هذا العمل المتواضع الى رفقاء الدرب (بومدين محمد أمين وحماني شمس

الدين) وفقهما الله وسدد خطاهما

وإلى صديقي من يدعمني حتى بالكلمة الطيبة لا يبخلني "خالد بلة" وأذكر أيضا

"الهاشمي كروم" وإلى جميع الأصدقاء الأهداء موصول

بدون ان أنسى زملاء الدراسة من عرفتهم في هذا المشوار العلمي و إلى الاساتذة الكرام

وطاقم قسم الهندسة المدنية بدون استثناء وكل من يعرفني من قريب أو من بعيد

مصدق



إهداء

قبل كل شيء، نحمد الله عز وجل ان وفقنا ويسر لنا طريقنا لإنجاز هذا المشروع .

اهدي ثمرة جهدي هذا الى سندي ومنبع قوتي الغالية "أمي" والى العزيز "ابي"

الى اخوتي حميدة، سميلة، هشام، علي، عبد الجليل، شرفه الدين والى جميع عائلة بومدين
كل باسمه.

الى صديقيّ ورفيقيّ دربي مصطفى وشمس الدين راجيا من الله أن يسدّ خطاهما
وبرعاهما.

الى اصدقائيّ شعبه سمير – معطالله علي والى كل زملائي في دفعة 2017-2018.

الى كل اصدقائي في كلية الهندسة المدنية والى الرائعين الذين عرفتهم في حياتي.

بومدين محمد أمين

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I PRESENTATION DU PROJET	
I.1. Généralités	2
I.2. Historique de la Route	2
I.3. Contexte du Projet.....	3
I.4. Aperçu géographique	3
I.5. Le relief	4
I.6. Description de l'état initiale du projet	4
I.6.1 La géométrie du la route	5
I.6.2 Niveau de service	5
I.6.3 Climatologie	6
I.6.4 Les réseaux.....	6
I.7. Contexte Topographique.....	6
I.8. Objectif de l'étude.....	7
CHAPITRE II ETUDE DE TRAFIC	
II.1. Introduction	8
II.2. Analyse du Trafic	8
II.3. Différents types de trafics.....	9
II.3.1. Trafic normal	9
II.3.2. Trafic dévié (dérivé)	9
II.3.3. Trafic induit	9
II.3.4. Trafic total.....	9
II.4. Modèles de présentation de trafic	9
II.4.1. Prolongation de l'évolution passée	9
II.4.2. Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques	10
II.4.3. Modèle gravitaire	10
II.4.4. Modèle de facteurs croissance	10
II.5. Projection des trafics aux horizons futurs.....	10
II.6. Notion de capacité de la route	10

II.6.1. Définition	10
II.6.2. Trafic à un horizon donné	11
II.6.3. Calcul Du Trafic Effectif	11
II.6.4. Débit De Pointe Horaire Normal	12
II.6.5. Débit Horaire Admissible:	12
II.6.6. Détermination du Nombre Des Voies	13
II.7. Application au projet	13
II.8. Conclusion :	15

CHAPITRE III ETUDE GEOMETRIQUE

Généralité	16
III.1. Trace en plan	16
III.1.1. Définition	16
III.1.2. Les règles à respecter	16
III.1.3. Les éléments du tracé en plan	17
III.1.3.1 Les alignements	17
III.1.3.2 Arc de cercle	18
III.1.3.3 Les Courbes De Raccordement	21
III.1.4. Les conditions de raccordement	23
III.1.4.1. Condition de confort optique	23
III.1.4.2 Condition de confort dynamique	23
III.1.4.3. Condition de gauchissement	24
III.1.5. Combinaisons des éléments du tracé en plan	24
III.1.5.1 Courbe en S	24
III.1.5.2. Courbe à sommet	24
III.1.5.3. Courbe en C	25
III.1.5.4. Courbe en Ove	25
III.1.6. Notions de devers	25
III.1.6.1 Devers en alignement	26
III.1.6.2. Devers en courbe	26
III.1.6.3. Rayon de courbure	26
III.1.6.4. Calcul des devers	26

III.1.7. La vitesse de référence.....	27
III.1.7.1. Choix de la vitesse de référence.....	27
III.1.7.2. Vitesse de projet.....	28
III.1.8. Calcul de l'axe	29
III.1.8.1. Exemple De Calcul D'axe Manuellement	30
III.1.9. Application au projet	33
III.2. profil en long	35
III.2.1. Définition :.....	35
III.2.2. Les règles à respecter.....	35
III.2.3. Les éléments géométriques dans le profile en long	36
III.2.4. Coordination de trace en plan et du profile en long	36
III.2.5. Déclivité.....	36
III.2.5.1. Déclivité minimum	36
III.2.5.2. Déclivité maximum.....	36
III.2.6. Raccordements en profil en long	37
III.2.6.1 Raccordement convexes (angle saillant).....	37
III.2.6.2 Raccordement concave (angle rentrant).....	38
III.2.7. Application ou projet	39
III.3. Profil en travers	41
III.3.1. Définition.....	41
III.3.2. Les éléments du profil en travers.....	41
III.3.3. Les différent type de profil en travers	43
III.3.3.1. Le profil en travers type	43
III.3.3.2. Profil en travers courants	43
III.3.4. Les Dévers de la chaussée	43
III.3.5. La largeur de la chaussée	43
III.3.6. Conclusion	44
III.4. CUBATURE	45
III.4.1. Introduction	45
III.4.2. Définition.....	45

III.4.3. Méthode de calcul des cubatures	46
III.4.3.1. Méthode de la moyenne des aires	46
III.4.3.2. Calcul d'un volume entre deux profils en travers consécutifs	47
III.4.3.3. Méthodes des profils en long (notion de distance d'application)	48
III.4.4. Calcul des cubatures des terrassements	49

CHAPITRE IV GEOTECHNIQUE ROUTIER

IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Objectif de l'étude géotechnique	50
IV.3. Réglementation Algérienne En Géotechnique	51
V.3.1. L'étude Des Archives Et Documents Existants	51
IV.3.2. Visite sur site et essais « in-situ ».....	51
IV.3.2.1. Les forages.....	51
IV.3.3. Les essais de laboratoire.....	52
IV.3.3.1. Les essais d'identification.....	52
IV.3.3.2. Les essais mécaniques	54
IV.3.3.3. Les essais chimiques.....	57
IV.4. Les données géotechniques du projet.....	57
IV.4.1. Les essais d'identification	58
IV.4.1.1. Analyse granulométrique.....	59
IV.4.1.2. Limites d'Atterberg	59
IV.4.1.3. Equivalent de sable	59
IV.4.2. Les Essais mécaniques	59
IV.4.2.1. Proctor modifié	60
IV.4.2.2. Indice CBR	60
IV.4.2.3. Analyses chimiques	61
IV.4.3. Etude des emprunts (carrières)	62
IV.5. Conclusion	62

CHAPITRE V DIMENSIONNEMENT

V.1. Introduction	63
V.2. Définition de la chaussée.....	63

V.3. Durée de vie d'une chaussée.....	63
V.4. Les différents types de chaussée	64
V.4.1. Chaussée souple.....	64
V.4.1.1. Couche de roulement (surface)	65
V.4.1.2. Couche de base.....	65
V.4.1.3. Couche de fondation	65
V.4.1.4. Couche de forme	65
V.4.2. Chaussée semi-rigide	66
V.4.3. Chaussée rigide	66
V.5. Les différents facteurs pour les études de dimensionnement	68
V.5.1. Trafic.....	68
V.5.2. Le climat et Environnement.....	68
V.5.3. Le sol support	68
V.5.4. Les matériaux.....	69
V.6. Différents méthodes de dimensionnement	69
V.6.1. La méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio)	69
V.6.2. Méthode A.A.S.H.O «American association of state highway officials»	70
V.6.3. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)	71
V.6.3.1. Détermination de la classe de trafic :	71
V.6.3.2. Détermination des classes de portance de sols.....	72
V.7. Application au projet.....	72
V.8. Conclusion.....	75

CHAPITRE VI OUVRGE D'ARE

VI.1. Introduction.....	76
VI.2. L'exigence fonctionnelle.....	76
VI.3. Choix du type de l'ouvrage.....	78
VI.3.1. Les ponts en béton armé	78
VI.3.1.1. Pont à poutres en B.A	78
VI.3.1.2. Ponts dalles en B.A.....	78
VI.3.2. Les ponts en béton précontraint.....	79

VI.3.2.1. Ponts à poutres en B.P	79
VI.3.2.2. Ponts dalle en B.P	80
VI.3.3. Les ponts mixtes.....	80
VI.4. Conclusion	80

CHAPITRE VII ASSAINISSEMENT

VII.1. Introduction.....	82
VII.2. Objectif d'assainissement	82
VII.3. Assainissement de la chaussée.....	83
VII.3.1. Fosse de pied du talus de déblai	83
VII.3.2. Fosse de crête de déblai	83
VII.3.3. Fosse de pied du talus de remblai	83
VII.3.4. Drain.....	83
VII.3.5. Descentes d'eau	84
VII.4. Définition des termes hydrauliques	84
VII.5. Choix des ouvrages d'assainissement.....	85
VII.5.1. Les dalots	86
VII.5.2. Les buses	86
VII.5.3. Les Fossés	86
VII.6. Critère de choix.....	87
VII.7. Protection Contre La Nappe Phréatique	87
VII.8. Dimensionnement des ouvrages d'évacuations	87
VII.8.1. Le débit d'apport.....	88
VII.8.2. Débit de saturation	90
VII.9. Application au projet	90

Liste des abréviations

APS: l'étude d'avant-projet sommaire ;

APD: l'étude d'avant-projet détaillé ;

RN : Route Nationale ;

PK : point kilométrique ;

GNT : grave non traitée ;

GT : grave traitée ;

GB : grave bitume ;

BB : béton bitumineux ;

DTP : Direction des Travaux Publics ;

SERO-EST : Société d'Etudes et Réalisation d'Ouvrages d'Art de l'Est

TPC : terre plaine centrale ;

PNB : Produit nationale brute ;

TJMA_n : trafic journalier moyen à l'année n ;

TJMA₀ : trafic journalier moyen à l'année de référence ;

Teff : trafic effectif ;

UVP : Unités des Véhicules Particuliers ;

PL : poids lourd ;

V_R : vitesse de référence ;

V_B : vitesse de base ;

B40 : Normes technique d'aménagement des routes ;

ICTAAL : Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison;

SETRA : Service d'études sur les transports les route et leurs aménagement ;

RHN : rayon minimal normal ;

RHm : rayon horizontal minimal ;

Rhnd : rayon horizontal non déversé ;

Rhd: rayon horizontal au devers minimal ;

RV : rayon vertical ;

RVD : Rayon de visibilité de dépassement ;

RVN : Rayon vertical normal ;

VRD : voirie et réseaux devers ;

LTPS : Laboratoire des Travaux Public du Sud ;

W_L : la limite de liquidité ;

W_p : la limite de plasticité ;

I_p : Indice de Plasticité ;

ES : équivalent de sable ;

CBR: California Bearing Ratio;

AASHO : American association of state highway officials ;

CTTP : contrôle technique de travaux publics ;

CU: coefficient d'uniformité ;

NF : norme française ;

RTR : règlement technique de route ;

VBS : Valeur au bleu de méthylène ;

C_1, C_2, C_3 : coefficients d'équivalence selon le matériau ;

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches ;

TPL : trafic poids lourd ;

TCE : trafic cumulé par en essieux ;

RP : réseau principal ;

L_R : largeur roulable ;

B.A : béton armé ;

B.P : béton précontrainte ;

PJ : Pluit journalier ;

CV : coefficient de variation ;

KST : coefficient de STRICKLER ;

RH: rayon hydraulique ;

S_M : section mouillée.

Liste des principaux symboles

V/J : Véhicule par jour ;
J : jour ;
h : heure ;
 T_0 : est le trafic à l'arrivée pour origine ;
 τ : est le taux de croissance ;
Z : pourcentage de poids lourd ;
P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds ;
Q : débit de pointe horaire ;
 Q_{adm} : débit admissible ;
 C_{th} : capacité théorique ;
n : nombre d'heure ;
N : nombre de voies ;
S : coefficient de dissymétrie ;
 K_1, K_2 : coefficient correcteur ;
R : rayon du cercle ;
A : paramètre de Clothoïde ;
 τ : angle des tangentes ;
 σ : angle polaire ;
 Δd : variation de dévers ;
L : longueur ;
l : Largeur ;
 S_1, S_2, S_{moy} : les surfaces ;
PF : profil fictif ;
 ω : teneur en eau ;
N : nombre de coups ;
A : facteur d'agressivité ;
C : facteur de cumul ;
 Q_a : débit d'apport en provenance du bassin versant ;
 Q_s : débit d'écoulement au point de saturation ;
K : coefficients de rugosité ;
C : coefficient de ruissellement .

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1: Localisation du projet	3
Fig. I.2: Limite de projet selon le relief.....	4
Fig. I.3: Localisation du Tronçon.....	7
Fig. III. 1:Les éléments géométriques de trace en plan.....	17
Fig. III. 2 Stabilité en courbe.....	19
Fig. III. 3 Zone de dérasement	20
Fig. III. 4 : Les éléments de la Clothoïde	22
Fig. III. 5 Courbe en S	24
Fig. III. 6: Courbe à sommet	25
Fig. III. 7 Courbe en C	25
Fig. III. 8: Courbe en Ove	25
Fig. III. 9: rayon assurant visibilité	38
Fig. III. 10 : Les éléments constitutifs du profil en travers	41
Fig. III. 11: profil en travers type	44
Fig. III. 12: Calcul par la moyenne des aires	46
Fig. III. 13: calcul d'un volume de terres entre deux profils en travers consécutifs	47
Fig. III. 14: Utilisation de la notion de distance d'application.....	48
Fig. IV. 1: Analyse granulométrique.....	52
Fig. IV. 2: Limites d'Atterberg	53
Fig. IV. 3: Essai PROCTOR	54
Fig. IV. 4: Essai C.B.R (California Bearing Ratio).....	55
Fig. IV. 5: Essai Los Angeles.....	56
Fig. V. 1: Constitution d'une structure de chaussée souple	66
Fig. V. 2: Constitution d'une structure de chaussée semi-rigide.....	66
Fig. V. 3: Constitution d'une structure de chaussée rigide	67
Fig. V. 4: schéma récapitulatif des matériaux constitutifs de chaussée.....	67
Fig. V. 5: présentation de classe TPLi pour RP1	71
Fig. V. 6: présentation de Classe TPLi pour RP2	71
Fig. V. 7: représentation des épaisseurs des différentes couches selon <i>CBR</i>	74
Fig. V. 8: représentation des épaisseurs des différentes couches selon <i>CTTP</i>	75
Fig. VI. 1: l'emplacement de l'ouvrage neuf	76

Fig. VI. 2: intersection « station de compression 2 »	77
Fig. VI. 3 : Vue en plan de l'intersection	81
Fig. VI. 4: schéma représentative de l'aménagement routier proposé	81
Fig. VII. 1: Situation des réseaux d'assainissement d'une route	84
Fig. VII. 2: schéma bassin versant	85
Fig. VII. 3: dalot type portique.....	86
Fig. VII. 4: buse en béton.....	86
Fig. VII. 5: fossé coulée sur place	86
Fig. VII. 6: les dimensions de fossé	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. I 1: les éléments en courbes (virages).	5
Tableau. I 2: Les déclivités longitudinales (pentes et rampes).....	5
Tableau. I 3: Les zones climatiques de l’Algérie.	6
Tableau II. 1: Coefficient d’équivalence « P ».....	12
Tableau II. 2: coefficient lié à l’environnement.	12
Tableau II. 3: coefficient de réduction de capacité.....	13
Tableau II. 4: Les capacités théoriques.	15
Tableau II. 5: Récapitulatif des résultats du calcul.	15
Tableau. III. 1 Valeurs des sur largeurs.	21
Tableau. III. 2 rayons du tracé en plan.	28
Tableau. III. 3 Paramètres fondamentaux.	29
Tableau. III. 4 : I _{max} (%) Déclivité max en fonction de Cat et E.	37
Tableau. III. 5: Valeurs des différents rayons calculées et selon B40 en profil en long.	40
Tableau. III. 6: les divers en fonction de la Catégorie de la route.	43
Tableau .IV. 1: description géotechnique de sol support.	58
Tableau .IV. 2: Les résultats des essais d’identification.	58
Tableau .IV. 3: Les résultats des essais mécaniques.	60
Tableau .IV. 4: classe de portance de sol selon C _{TP}	60
Tableau .IV. 5: classification de sol support selon RTR.	61
Tableau .IV. 6: Les résultats des essais chimiques.	61
Tableau .IV. 7: Situations et coordonnées des gites de matériaux.	62
Tableau. V. 1: exigences de la chaussée.	64
Tableau. V. 2: Coefficient d’équivalence en fonction de matériaux utilisés.	70
Tableau. VII. 1: Coefficient de ruissellement« C ».....	88
Tableau. VII. 2: Variation de Gauss « u ».....	89

INTRODUCTION GENERALE



Introduction Général

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

En Algérie, avec l'accroissement brusque du parc automobile au cours des derniers ans la route supporte plus de 80% du trafic de marchandises et voyageurs, ce qui a causé un déphasage entre l'infrastructure et les besoins de transport.

La problématique qui est à la base des projets d'infrastructure routière est souvent liée à l'insuffisance de réseau existant par saturation d'une part, et d'augmentation de nombre des accidents de circulation d'autre part. Afin de résoudre les problèmes de l'encombrement routier et de diminuer le taux des accidents, l'état a opté pour un programme portant sur la réalisation des tracés routiers neufs et des mises à niveau des routes existantes. C'est dans ce contexte, et vu l'importance du sujet , on a choisi pour le projet de fin d'étude de Master 2 l'étude de dédoublement de la Route Nationale RN°23 en générale, et en particulier un tronçon de 7 km de point kilométrique 346+00 au point kilométrique 353+00. Pour réaliser ce but notre plan de travail est structuré comme suit :

- ▶ Le premier chapitre fait une présentation du projet ;
- ▶ Le deuxième chapitre porte sur l'étude de trafic ;
- ▶ Le troisième chapitre porte sur l'étude géométrique de la route ;
- ▶ Le quatrième chapitre parle sur la géotechnique routier ;
- ▶ Dimensionnement de corps de chaussée est en le cinquième chapitre ;
- ▶ Ensuite le sixième chapitre qui parle sur l'ouvrage d'art ;
- ▶ Et le septième chapitre qui parle sur Assainissement.

Chapitre I

Présentation du projet

I.1. Généralités

La route joue un rôle moteur et vital dans l'aménagement du territoire, elle favorise l'implantation d'activités économiques et industrielles et réduit les coûts de transport et donc de production, parmi les avantages de la route nationale.

Les avantages directs : qui concernent principalement tous les usagers de la route, gain de temps et de confort, garantir la sécurité et l'économie de fonctionnement des véhicules. Ces avantages peuvent être mesurés en unités physiques (heures, nombre d'accidents, de morts de blessés, journées d'hospitalisation, carburants).

Les avantages indirects : qui ne concernent pas directement les usagers de la route, mais la politique du transport et plus généralement, le développement économique national ou local et l'aménagement du territoire.

Lors de l'élaboration de tout projet routier, généralement on commence par la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain.

L'étude d'un projet routier est répartie en 3 phases :

- ◆ Phase N°1 : l'étude préliminaire ;
- ◆ Phase N°2 : l'étude d'avant-projet sommaire (**APS**) ;
- ◆ Phase N°3 : l'étude d'avant-projet détaillé (**APD**).

I.2. Historique de la Route

La route nationale **RN23** à partir de Hassian Dib limite Nord-Ouest de la wilaya de Laghouat **PK 243+00** jusqu'au carrefour RN01-RN23 **PK 398+00** a été construite durant les années « 1960-1961 » en utilisant des moyens limités existants à l'époque, ce qui influe sur la géométrie de la route.

Dans les années « 1970 » elle a subi une modernisation avec quelques changements de tracé, mais elle reste toujours dans sa totalité loin des exigences aux normes appliquées vis-à-vis aux routes de tel envergure, et à partir de l'année « 2005 » des renforcements ont été réalisés avec un corps de chaussée moderne (**GNT**, **GB** et **BB**) et projection des quelques ouvrages d'assainissement (tout type).

Vue l'augmentation du parc des véhicules, plusieurs accidents ont été constatés au niveau de cet axe vu les paramètres suscités, à cet effet la **Direction des Travaux Publics** de la wilaya de Laghouat a lancé une étude du dédoublement de cette route en exigeant au bureau d'étude de corriger toutes les insuffisances existantes et la transformer en voies express avec nouvelle vitesse de référence et cela pour éliminer aux maximum les accidents[1].

I.3. Contexte du Projet

Laghouat est une ville très grande importance par sa situation géographique. La zone d'étude est comprise dans la région Nord-Ouest du schéma national d'aménagement du territoire, implantée dans les hauts plateaux, la wilaya de Laghouat se distingue par la richesse de ses terres agricoles, la croissance économique de cette région induite une demande et le dévalement des infrastructures de base ce qui engendre un grand projet routier.

L'objet de la présente étude est de chercher de nouvelles variantes de tracé plus proches des route actuelle telles que la **RN23** s'approcher des grandes agglomération de la région capables d'attirer des volumes de trafic plus importants assurant ainsi une meilleure liaison entre la wilaya de Laghouat et le Nord-Ouest du pays [1].

I.4. Aperçu géographique

La route nationale RN23 débute de la wilaya de Mostaganem jusqu'à la wilaya de Laghouat, la partie appartenant à la Wilaya de Laghouat débute de Hassian Dib en passant par Aflou vers Laghouat sur **155 Km** du PK 243 au PK 398 (carrefour à la **RN 1**).

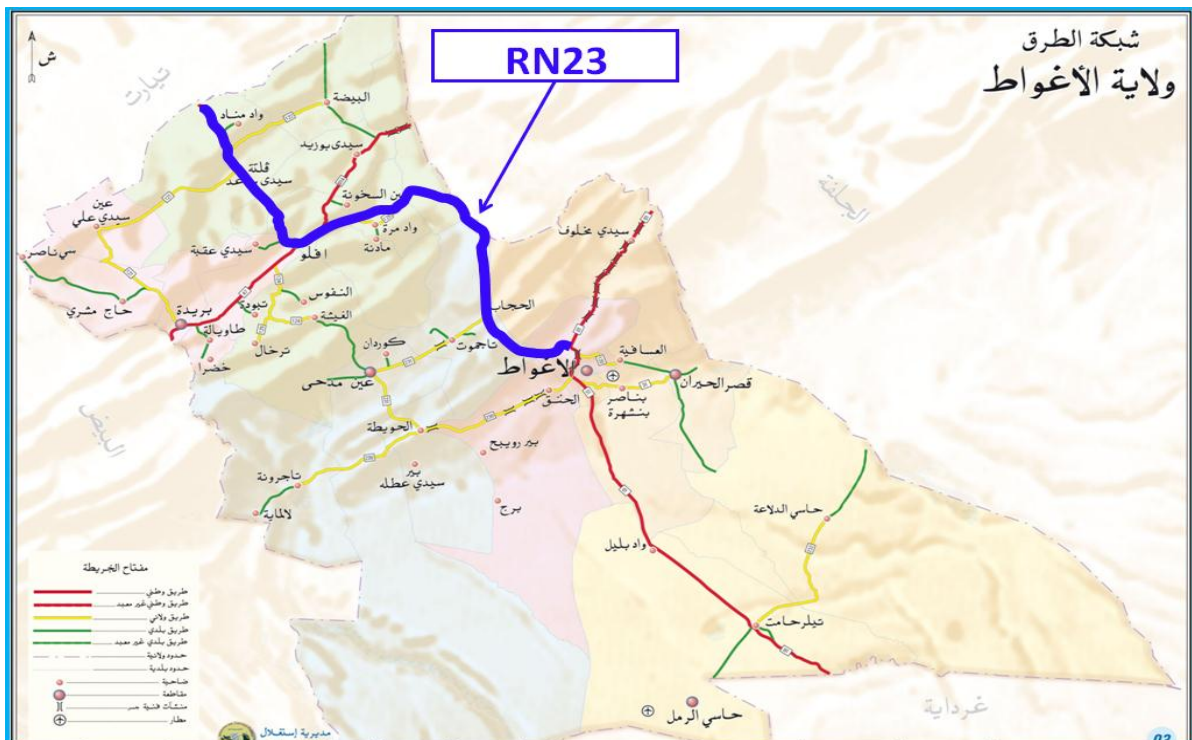


Fig. I.1: Localisation du projet

I.5. Le relief

Laghouat est divisées en trois régions différentes, car elles sont au-dessus du niveau de la mer et sont les suivantes [2]:

- 1- La zone de l'Atlas saharien est caractérisée par des altitudes allant de 1000 à 1700 m ;
- 2- La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux sahariens, caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1 000 m ;
- 3- Région du désert Situé dans la partie sud.

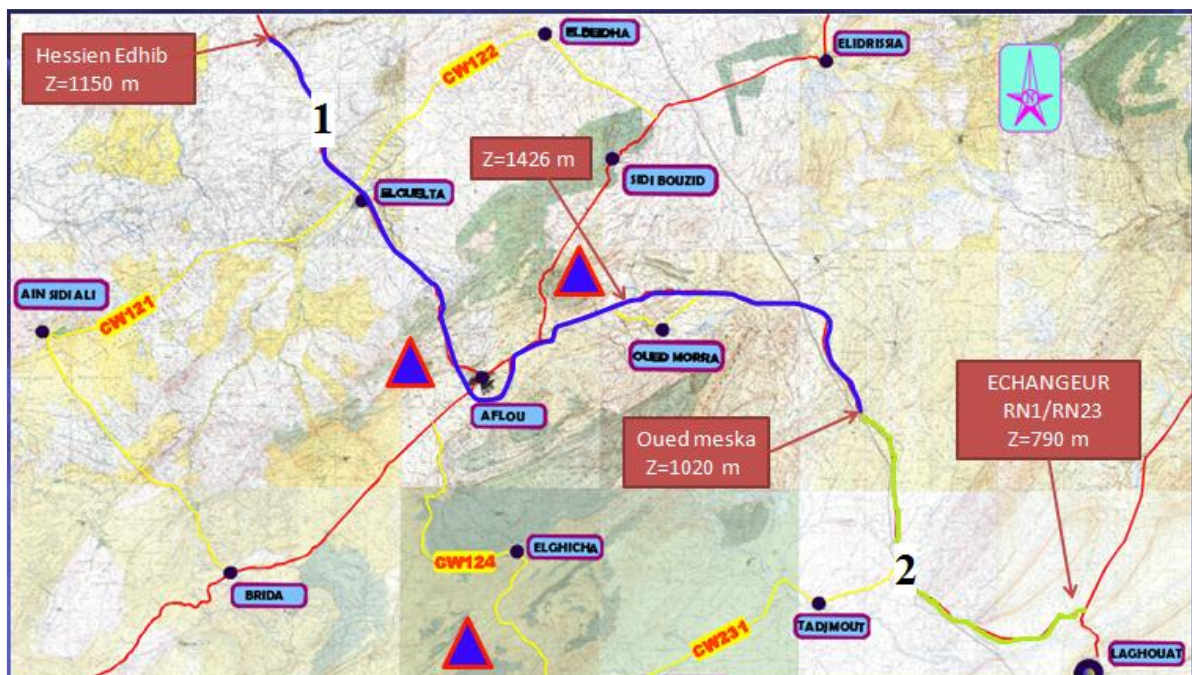


Fig. I.2: Limite de projet selon le relief

Le projet est situé au niveau de deux types de relief Selon les données du projet, nous déterminons :

- 1- 105 km du projet situé dans l'Atlas saharien ;
- 2- 50 km du projet situé dans la zone Hauts Plateaux.

I.6. Description de l'état initiale du projet

L'état actuel de la route a été diagnostiqué à partir de plusieurs aspects, la géométrie et le niveau de service, le terrain, le climat et le drainage, la circulation, la biologie et les réseaux (électricité, gaz, fibre optique, eau, rail).

I.6.1 La géométrie du la route [1]

Tableau. I. 1: les éléments en courbes (virages).

Les éléments en courbes				
	Quantité	Linéaire	V _B	Taux
	(u)	(m)	(km/h)	(%)
R < 450	20	4729	80	3,15
450 ≤ R < 600	22	6281	80/100	4,20
600 ≤ R < 1000	32	9700	100/120	6,40
1000 ≤ R < 1500	27	9410	120	6,20
1500 ≤ R	39	10500	120	7,00
TOTAL	140	40620	/	27,00

Tableau. I. 2: Les déclivités longitudinales (pentes et rampes).

Tronçons de ligne de projet			
	Quantité	Extension	Taux
Déclivité (i)	(u)	(m)	(%)
i < 0,5%	83	16400	10,6
0,5% ≤ i < 5,0%	329	87855	56,7
5,0% ≤ i	4	2695	1,7
TOTAL	416	106950	69,0

- ✓ La largeur roulable (surface de roulement) varie entre 7 et 8 m ;
- ✓ La largeur des accotements est comprise entre 1 et 2 m.

I.6.2 Niveau de service

À l'achèvement des travaux du dédoublement de la **RN 23**, et après la mise en service de la route en toute sécurité et confort avec une vitesse de 120 km/h, le trafic connaîtra une croissance de 18%.

En outre, l'activité de la nouvelle cimenterie située à la commune d'El-Baydah, influe par un grand nombre de poids lourds sur la route nationale **RN23** et la route nationale **RN1**. Après l'analyse des données de cette usine, elle montre que le trafic va augmenter de 4,5% dont le

poids lourds (plus de 20 tonnes) occupe la majorité de l'accroissement. Enfin, le trafic à l'an 2021 sera estimé à 8029 V/J et un pourcentage du poids lourd qui dépasse 26,8% [1].

I.6.3 Climatologie

La région d'étude est caractérisée par un climat est de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm, des chutes de neige, et Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type saharien et aride. La pluviométrie atteint 150 mm [4].

Tableau. I. 3: Les zones climatiques en l'Algérie.

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	T °C	Région
1	>600	Très-humide	20	Nord
2	350-600	Humide	20	Nord, hauts plateaux
3	100-350	Semi-aride	25	Hauts plateaux
4	<100	aride	30	sud

I.6.4 Les réseaux

D'après le responsable de la gestion des réseaux sur le territoire de la province de Laghouat, il s'avère qu'il y a [1] :

- deux lignes de fibre optique sur le côté gauche le long de la route, la première entre **5 et 10 m** du bord de la route et la deuxième est à **50 m** environ ;
- plusieurs lignes électriques hautes tension, moyenne et basse tension situées à côté de la route et également traversées plusieurs fois ;
- plusieurs canaux de gaz et d'eau ;
- des canaux pour la conversion du pétrole et du gaz et plusieurs stations de pompage ;
- une ligne ferroviaire qui est en cours de réalisation et qui traversera la route au **PK 393+000**.

I.7. Contexte Topographique

Les traces en plans et les profils en long ont été établis sur la base d'un levé topographique effectué sur une bande varie entre **150 et 200m** de largeur.

La polygonale de base est importante sur le terrain, elle est constituée de bornes en béton et surmontées d'un piquet en fer, cette polygonale a servi de base pour le levé et servira par la suite à l'implantation de l'axe dédoublement lors des travaux de réalisation [1].

I.8. Objectif de l'étude

Cette étude a été conçue dans l'objectif d'améliorer l'aménagement routier de la route nationale **RN23** de telle sorte à augmenter le niveau de service et de sécurité des usagers, et aussi pour assurer une fluidité de la circulation sur le tronçon entre la wilaya de Laghouat et la limite de wilaya Tiaret sur 155 km par dédoublement avec un séparateur (TPC), afin de choisir les variantes qui répondent effectivement aux critères Economique, sécurité, confort et Environnement.

Note : Notre étude s'est limitée sur le tronçon entre PK 346 et PK 353 sur une longueur de **7Km**, qui traverse *Oued M'Seka*

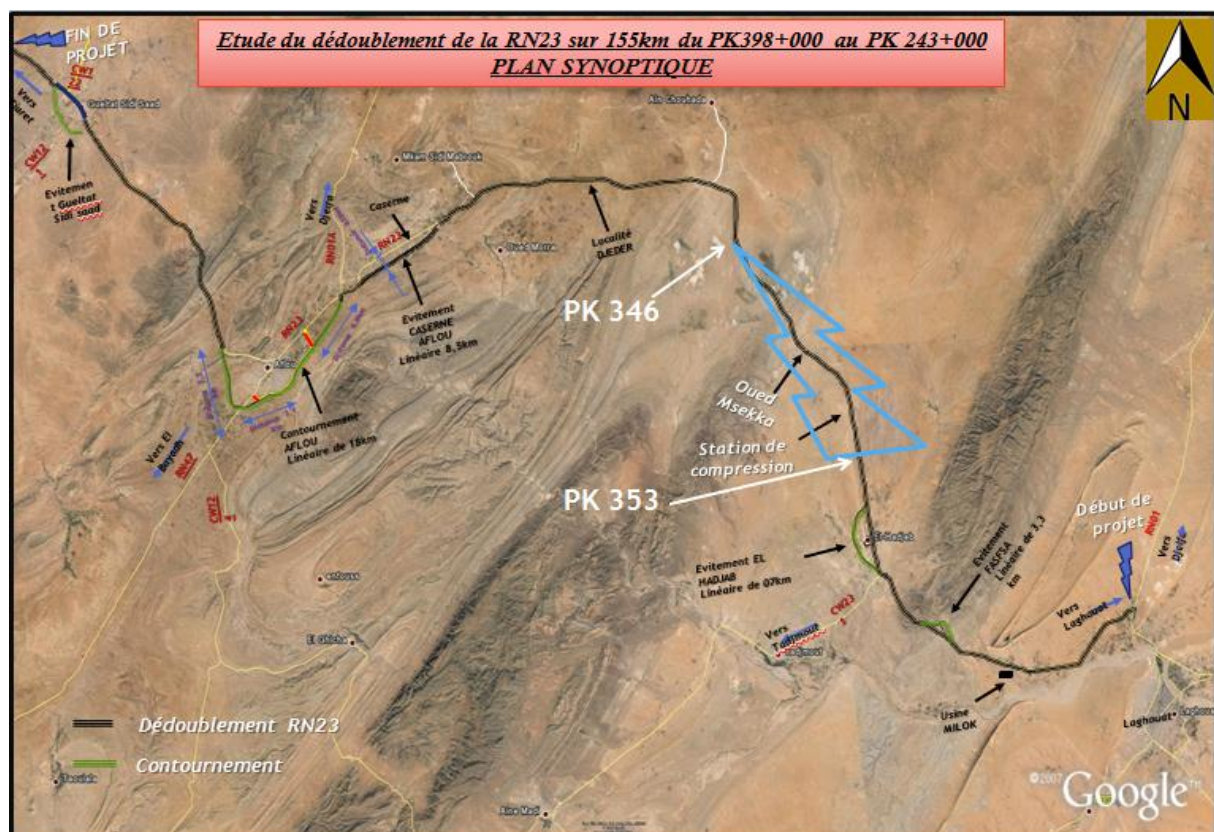


Fig. I.3: Localisation du Tronçon

Chapitre II

Etude de trafic

II.1. Introduction

L'étude de trafic est un élément essentiel qui doit être préalable à tout projet de réalisation ou d'aménagement d'infrastructure de transport, elle permet de déterminer le type d'aménagement qui convient et, au-delà les caractéristiques à lui donner, le nombre de voie et l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent le corps de chaussée.

L'objectif de l'étude de trafic en phase préliminaire est de faire le diagnostic de la situation actuelle et d'entamer une analyse rétrospective des trafics antérieurs afin de proposer un programme de recensement optimisé, elle constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers.

Cette conception repose, en partie « **stratégie, planification** » sur la prévision des Trafics sur les réseaux routiers, qui est nécessaire pour [4] :

- ✚ Apprécier la valeur économique des projets ;
- ✚ Estimer les coûts d'entretiens ;
- ✚ Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.

II.2. Analyse du Trafic

Pour connaître en un point et à un instant donné le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de procéder à un comptage. Ces derniers nécessitent une logistique et une organisation appropriées.

Les analyses de circulation sur les diverses artères du réseau routier sont nécessaires pour l'élaboration des plans d'aménagement ou de transformation de l'infrastructure, détermination des dimensions à donner aux routes et appréciation d'utilité des travaux projetés.

Les éléments de ces analyses sont multiples [4] :

- ❖ Analyses des données recueillies ;
- ❖ Statistiques générales ;
- ❖ Comptages sur routes (manuels, automatique) ;
- ❖ Enquêtes de circulation.

II.3. Différents types de trafics

II.3.1. Trafic normal

C'est le trafic existant sur l'ancienne route sans prendre en compte le nouveau projet.

II.3.2. Trafic dévié (dérivé)

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans investissement, d'autres routes ayant la même destination, la dérivation de trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination [3].

II.3.3. Trafic induit

Des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations [5].

II.3.4. Trafic total

Le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié.

II.4. Modèles de présentation de trafic

Dans l'étude des projections des trafics, la première opération consiste à définir un certain nombre de flux de trafic qui constitue des ensembles homogènes, en matière d'évolution ou d'affectation.

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont [4] :

- ✓ Prolongation de l'évolution passée ;
- ✓ Corrélation entre le trafic et les paramètres économiques ;
- ✓ Modèle gravitaire ;
- ✓ Modèle de facteur de croissance.

II.4.1. Prolongation de l'évolution passée

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir, l'évolution des trafics observés dans le passé. On établit en général un modèle de Croissance du type exponentiel. Le trafic T_n à l'année n sera [4] :

$$T_n = T_0 (1 + \tau)^n \quad (\text{II.1})$$

Avec :

T_0 : est le trafic à l'arrivée pour origine ;

τ : est le taux de croissance.

II.4.2. Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques

Elle consiste à rechercher dans le passé une corrélation entre le niveau de trafic d'une part et certains indicateurs macro-économiques :

- ❖ Produit nationale brute (**PNB**) ;
- ❖ Produits des carburants.

D'autres part, si on pense que cette corrélation restera à vérifier dans le taux de croissance du trafic, mais cette méthode nécessite l'utilisation d'un modèle de simulation [4].

II.4.3. Modèle gravitaire

Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, elle s'interprète mal à la projection [3].

II.4.4. Modèle de facteurs croissance

Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine destination. La méthode la plus utilisée est celle de **FRATAR** qui prend en considération les facteurs suivants :

- Le taux de motorisation des véhicules légers et utilisation ;
- Le nombre d'emploi ;
- La population de la zone.

Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie de la zone à étudier [4].

II.5. Projection des trafics aux horizons futurs

La projection des trafics dans le futur dépend de nombreux facteurs et notamment [4] :

- ▶ L'évaluation de la population (démographie) ;
- ▶ L'évaluation des emplois ;
- ▶ L'évaluation de la fréquentation touristique ;
- ▶ Des projets d'aménagement (construction de logements, d'équipement collectifs, de voiries, des zones d'activités, des pôles touristiques).

II.6. Notion de capacité de la route

II.6.1. Définition

On définit la capacité de la route par le nombre maximale des véhicules pouvant Raisonnablement passé sur une section donnée d'une voie dans une direction (ou deux

Directions) avec des caractéristiques géométriques et de circulation pendant une période de temps bien déterminée, La capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire elle est exprimée en **Unités des Véhicules Particuliers (U.V.P/h)**

La comparaison entre le trafic et la capacité est une première approche pour définir les aménagements à réaliser [5].

La capacité dépend :

- ✓ Des conditions du trafic ;
- ✓ Des conditions météorologiques ;
- ✓ Le type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire ;
- ✓ Des distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des conducteurs variables d'une route à l'autre) ;
- ✓ Des caractéristiques géométriques de la section considérée (nombre et largeur des voies).

II.6.2. Trafic à un horizon donné

Du fait de la croissance annuelle du trafic [4].

Tel que :

$$TJMA_n = TJMA_0 (1 + \tau)^n \quad (II.2)$$

$TJMA_n$: trafic journalier moyen à l'année n ;

$TJMA_0$: trafic journalier moyen à l'année de référence ;

τ : taux d'accroissement annuel (%) ;

n : nombre d'année à partir de l'année d'origine.

II.6.3. Calcul Du Trafic Effectif

C'est le trafic traduit en unité de véhicule particulier (*UVP*), en fonction de type de route et de l'environnement. Pour cela on utilise les coefficients d'équivalence pour convertir les *PL* en (*UVP*) [4].

Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

$$T_{eff} = [(1-z) + p.z] TJMA_h \quad (II.3)$$

Avec :

T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon en (*UVP*) ;

Z : pourcentage de poids lourd ;

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds ;

P : il dépend.

Tableau II. 1: Coefficient d'équivalence « P » [4]

Type de la Route	Environnement		
	E1	E2	E3
2 voies	3	6	12
3 voies	2,5	5	10
4 voies et plus	2	4	8

Selon les données en notre possession en outre, levé topographique notre route peut être considérée comme étant une route ayant un environnement **E2**.

II.6.4. Débit De Pointe Horaire Normal

Le débit de pointe horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon il est exprimé en unité de véhicule particulier (UVP) et donné par la formule [4] :

$$Q = (1/n).T_{eff} \quad (II.4)$$

Avec :

Q : débit de pointe horaire ;

n : nombre d'heure, (en général **n=8heures**) ;

T_{eff} : trafic effectif.

II.6.5. Débit Horaire Admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par application de la formule [4] :

$$Q_{adm} = K_1.K_2.C_{th} \quad (II.5)$$

Valeur K₁:

Tableau II. 2: coefficient lié à l'environnement [4]

Environnement	E1	E2	E3
K ₁	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Valeur K_2 :

Tableau II. 3: coefficient de réduction de capacité.

Environnement	Catégorie de la route				
	C1	C2	C3	C4	C5
E1	1	1	1	1	1
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

II.6.6. Détermination du Nombre Des Voies

- **Cas d'une chaussée bidirectionnelle** : on compare Q à Q_{adm} et on opte le profil auquel correspond la valeur de Q_{adm} la plus proche à Q ;
- **Cas d'une chaussée unidirectionnelle** : le nombre de voie à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport.

$$S.Q/Q_{adm} \quad (II.6)$$

Avec :

Q_{adm} : débit admissible par voie ;

S : coefficient de dissymétrie, en général égale à 2/3.

II.7. Application au projet

🚦 Données de trafic dans notre projet

D'après les résultats de trafic qui nous ont été fournis par la **DTP** de Laghouat qui sont les suivants :

- ➡ Le trafic à l'année 2016, $TJMA_{2016} = 5763 \text{ v/j}$;
- ➡ L'année de mise en service en 2020 ;
- ➡ La vitesse de base sur le tracé $V_R = 120 \text{ km/h}$;
- ➡ Le taux d'accroissement annuel du trafic noté $\tau = 4 \%$;
- ➡ Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 25 \%$;
- ➡ La durée de vie estimée de **20 ans** ;
- ➡ Catégorie C1 ;
- ➡ L'environnement E2.

II.7.1 Trafic à un horizon donné

L'année de mise en service (2020)

$$TJMA_h = TJMA_0 (1+\tau)^n$$

Avec :

$TJMA_h$: trafic à l'horizon (année de mise en service 2020) ;

$TJMA_0$: trafic à l'année zéro (origine 2016) ;

$$TJMA_{2020} = 5763 (1 + 0,04)^4 \approx 6742 \text{ v/j} ;$$

Trafic à l'année (2040) pour une durée de vie de 20 Ans

$$TJMA_{2040} = 6742 \times (1 + 0,04)^{20} \approx 14773 \text{ v/j}.$$

II.7.2. Calcul Du Trafic Effectif :

$$T_{\text{eff}} = [(1-z) + p.z] TJMA_h$$

Avec :

P : coefficient d'équivalence pris pour convertir le poids lourds.

Pour une route à deux voies et un environnement E2 on a **P=6**

Z : le pourcentage de poids lourds est égal à 25%

$$T_{\text{eff}} = 14773 \times [(1 - 0,25) + 6 \times 0,25] = 33239 \text{ uvp/h}.$$

Donc : **$T_{\text{eff}} = 33239 \text{ uvp/j}$**

II.7.3. Débit De Pointe Horaire Normal :

Le débit de pointe horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon, il est donné par la formule :

Q : est exprimé en UVP/h

AN :

$$Q = (1/n) \cdot T_{\text{eff}}$$

Avec :

1/n : coefficient de pointe horaire pris est égal à 0.12

$$Q = 0.12 \times 33239 = 3989 \text{ uvp/h}$$

$$Q = 3989 \text{ uvp/h}$$

II.7.4. Débit admissible :

Le débit que supporte une section donnée [5] :

$$Q_{\text{adm}} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{th}$$

Avec :

K₁: coefficient correcteur pris égal à **0.85** pour **E2** ;

K₂: coefficient correcteur pris égal à **0.99** pour environnement (**E2**) et catégorie (**C1**) ;

C_{th}: capacité théorique.

Tableau II. 4: Les capacités théoriques.

Nombre des voies de la route	Capacité théorique (uvp/h)
Route à 2 voies de 3,5 m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3,5 m	2400 à 3200
Route à chaussées séparées	1500 à 1800

C_{th} = **2000** (d'après le **B40** pour **E2**, **C1** et pour une chaussée à **2 voies**).

$$Q_{adm} = 0,85 \times 0,99 \times 2000$$

Donc : **Q_{adm}** = **1683 uvp/h**

II.7.5. Le nombre des voies :

$$N = S \times (Q / Q_{adm}) \quad \text{Avec: } S=2/3$$

$$N = (2/3) \times (3989/1683) = 1.58 \approx 2$$

Donc : **N** = **2 voie /sens**.

Les résultats des calculs sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II. 5: Récapitulatif des résultats du calcul.

TJMA ₂₀₁₆ (v/j)	TJMA ₂₀₂₀ (v/j)	TJMA ₂₀₄₀ (v/j)	T _{eff} (uvp/j)	Q (uvp/h)	N
5763	6742	14773	33239	3989	2

II.8. Conclusion :

Vu des volumes de trafic attendus et du niveau de service assigné à ce type de route et d'après les résultats nous avons conclu que ce tronçon de la RN23 selon la norme de **B40** nécessite un dédoublement immédiat de 2X2 voies (chaussée séparée) de 3,5 m de largeur avec des accotements de 2 m pour supporter le trafic dans les prochaines années.

Chapitre III

Etude géométrique de la route

✓ Généralité

La conception géométrique d'une route consiste à étudier les éléments nécessaires à la détermination des normes à appliquer aux traces en plan (courbes) et profils en long (angle saillant, et rentrant), et du profil en travers type, de la route projetée. Ces éléments géométriques sont calculés suivant les normes, mais découlant des principes fondamentaux universels qui sont la sécurité, le confort, l'économie et l'esthétique. Ces considérations sont matérialisées par l'adoption de paramètres qui constituent les données de base pour le calcul des éléments géométriques de la route. Ces paramètres varient en fonction des conditions climatiques et topographiques.

III.1. Trace en plan

III.1.1. Définition

Le tracé en plan d'une route est obtenu par la projection de tous les points de cette route sur un plan horizontal, Il est constitué en général par une succession des alignements droits et des arcs reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

Ce tracé est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on pourra déterminer les caractéristiques géométriques de la route.

Le tracé en plan d'une route nous permet d'assurer une bonne sécurité et de confort [7].

III.1.2. Les règles à respecter

Les normes exigées et utilisées dans notre projet sont résumées dans le **B40** et **ICTAAL 2000**, il faut respecter ces normes dans la conception et lors de la réalisation. Dans ce qui suit, on va Citer certaines exigences qui nous semblent pertinentes [7].

- ✚ L'adaptation de tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants ;
- ✚ Le raccordement du nouveau tracé au réseau routier existant ;
- ✚ Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières ;
- ✚ Eviter au maximum les propriétés privées ;
- ✚ Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet ;
- ✚ Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques ;
- ✚ Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- ✚ Il est recommandé que le pourcentage de longueur des alignements varie entre **40%** et **60%** de la longueur total de tracé.
- ✚ En présence des lignes électriques aérienne prévoir une hauteur minimale de 10m.

III.1.3. Les éléments du tracé en plan

Le tracé en plan est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes, il est caractérisé par la vitesse de référence appelée ainsi vitesse de base qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes entre elles d'autre part, elle se fait à l'aide de **Clothoïdes** qui assurent un raccordement progressif par nécessiter de sécurité et de confort des usagers de la route.

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments [7]:

- Des alignements droits ;
- Des arcs de cercle ;
- Des courbes de raccordement progressives.

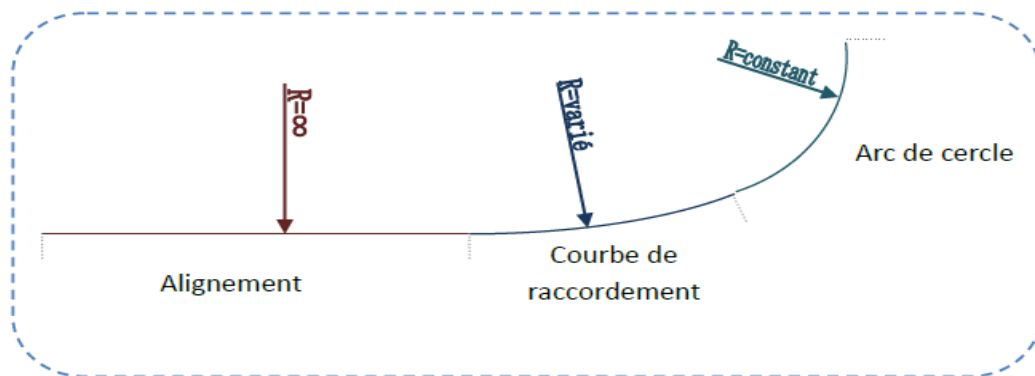


Fig. III. 1: Les éléments géométriques de trace en plan

III.1.3.1 Les alignements

Bien qu'en principe une droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes est restreint.

La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment [7]:

- ❖ De nuit, éblouissement prolongé des phares ;
- ❖ Monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents ;
- ❖ Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés ;
- ❖ Mauvaise adaptation de la route au paysage.

Il existe toutefois des cas où l'emploi d'alignement se justifie :

- ✓ En plaine où, des sinuosités ne seraient absolument pas motivées ;
- ✓ Dans des vallées étroites ;
- ✓ Le long des constructions existantes.

Pour donner la possibilité de dépassement. Donc la longueur des alignements dépend de :

- La vitesse de base, plus précisément de la durée du parcours rectiligne ;
- Des sinuosités précédentes et suivant l'alignement ;
- Du rayon de courbure de ces sinuosités.

Une longueur minimale d'alignement **L_{min}** devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant **cinq (5) secondes** à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle.

Une longueur maximale **L_{max}** est prise égale à la distance parcourue pendant **soixante (60) secondes** [6].

D'après B40 on a
$$L_{min} = 5 \times \frac{V_B}{3.6} \quad \text{avec } V_B \text{ en (km/h)} \quad (\text{III.1})$$

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_B}{3.6} \quad \text{avec } V_B \text{ en (km/h)} \quad (\text{III.2})$$

V_B : vitesse de base en km/h

III.1.3.2 Arc de cercle

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- ✓ Stabilité, sous la sollicitation centrifuge des véhicules circulant à grande vitesse ;
- ✓ Visibilité en courbe ;
- ✓ Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

Pour cela on essaie de choisir des rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous du rayon minimum préconisé [7].

III.1.3.2.1 Stabilité en courbe

Dans un virage, l'effet de la force centrifuge provoque une instabilité au véhicules, pour réduire cet effet on doit procéder à la réalisation d'un devers s'exprimé en pente. On doit incliner la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage afin d'éviter le phénomène de dérapage (Fig.III.2) [7].

Les rayons en plans dépendent de 4 paramètres qui sont :

- ▶ La force centrifuge
- ▶ Poids des véhicules
- ▶ Accélération de la pesanteur
- ▶ Le dévers

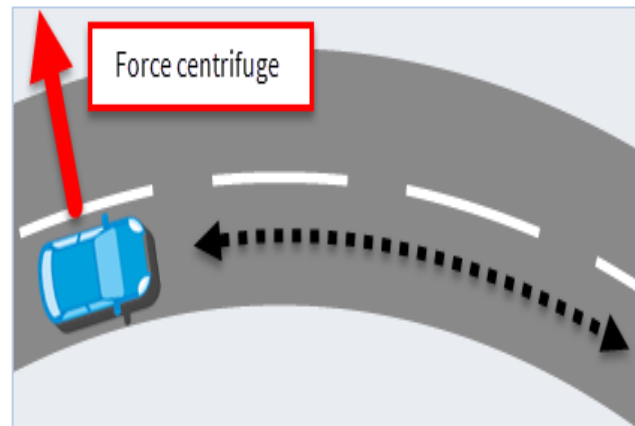


Fig. III. 2 Stabilité en courbe

A. Rayon horizontal minimal absolu

Ainsi pour chaque V_R ont défini une série de couple (R, d) [7].

$$Rh_{min} = \frac{V_R^2}{127(ft+d_{max})} \quad (III.3)$$

ft : coefficient de frottement transversal

B. Rayon minimal normal

Le rayon minimal normal (RHN) doit permettre à des véhicules dépassant V_R de 20 km/h de roulés en sécurité [7].

$$RHN = \frac{(V_R+20)^2}{127(ft+d_{max}-i)} \quad (III.4)$$

C. Rayon au dévers minimal (RHd)

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et telle que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_B serait équivalente à celle subit par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit [6].

$$RHd = \frac{V_B^2}{254 \times d_{min}} \quad (III.5)$$

Dévers associé

$d_{min} = 2.5\%$ pour les catégories « 1 – 2 »

$d_{min} = 3\%$ pour les catégorie « 3 – 4 »

D. Rayon minimal non déversé (RHnd)

C'est le rayon non déversé telle que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_B [6].

Pour Cat 1-2 :

$$RHnd = \frac{V_B^2}{127 \times 0.0035} \quad (\text{III.6})$$

E. Visibilité masquée dans une sinuosité

Un virage d'une route peut être masqué de côté intérieur de la courbe par le talus du déblai si la route est en tranchée, par une construction ou un foret, pour assurer une visibilité étendue au conducteur d'un véhicule il va falloir reculer le talus ou abattre les obstacles sur une certaine largeur à déterminer [6].

$$S = \frac{L^2}{2R} \quad (\text{III.7})$$

Avec :

L : longueur du véhicule (valeur moyenne $L = 10 \text{ m}$) ;

R : rayon de l'axe de la route.

Au lieu de cela, une autre solution serait d'augmenter le rayon du virage jusqu'à la visibilité soit bonne, mais nous partons de l'idée que le trace adopter qu'il est nécessaire de « déraser » l'intérieur du virage (Fig. III.3).

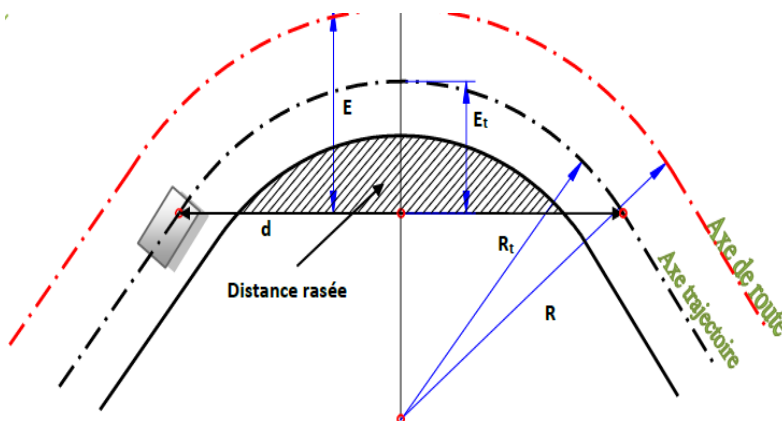


Fig. III. 3 Zone de dérasement

d : distance de visibilité ;

E : l'espacement entre l'axe de la route et l'obstacle ;

R_t : rayon de la trajectoire ;

R : rayon de l'axe de la route ;

E_t : l'espacement entre l'axe de la trajectoire et l'obstacle.

Sur largeur

Un long véhicule à deux (2) essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit. Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une sur largeur par rapport à sa largeur normale en alignement (Tableau. III.1) [7].

Tableau. III. 1 Valeurs des sur largeurs.

Rayon (m)	40	45	60	80	100	160	180
Sur largeur (m)	1.25	1.00	0.5	0.25	0.5	0.25	0.25

III.1.3.3 Les Courbes De Raccordement

Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des courbures progressives permettant l'introduction du devers et la condition du confort et de sécurité.

La courbe de raccordement la plus utilisée est la **Clothoïde** grâce à ses particularités, c'est-à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules [6].

III.1.3.3.1 Rôle et Nécessité Des Courbes De Raccordement

L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre (4) conditions suivantes [6]:

- ✓ Stabilité transversale du véhicule ;
- ✓ Confort des passagers du véhicule ;
- ✓ Transition de la forme de la chaussée ;
- ✓ Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

III.1.3.3.2 Types De Courbe De Raccordement

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une variation continue de la courbure, nous avons retenu les trois (3) courbes suivantes [6]:

- Parabole cubique ;
- Lemniscate ;
- Clothoïde.

a) Parabole cubique

Cette courbe est d'un emploi très limité vu le maximum de sa courbure vite atteint (utilisée dans les tracés de chemin de fer) [7].

b) Lemniscate

Cette courbe utilisée pour certains problèmes de tracés de routes « **trèfle d'autoroute** » sa courbure est proportionnelle à la longueur de rayon vecteur mesuré à partir du point d'inflexion [7].

c) Clothoïde

La **Clothoïde** est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul.

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 [7].

C.1. Les éléments de la Clothoïde

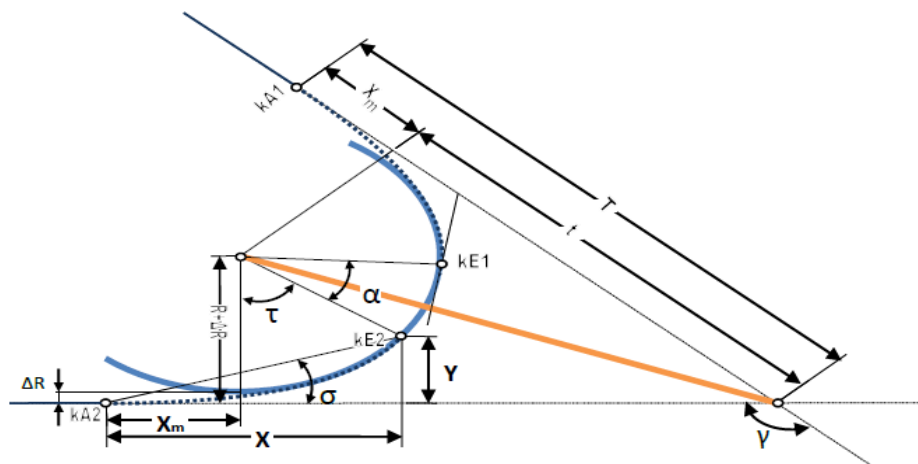


Fig. III. 4 : Les éléments de la Clothoïde

R: rayon du cercle.

A: paramètre de Clothoïde.

τ: angle des tangentes.

σ: angle polaire.

X: abscisse de **KE**.

Xm: abscisse du centre du cercle

L : longueur de la branche de Clothoïde.

KA : origine de la Clothoïde.

TC : tangente courte.

M à partir de **KA**.

Y : ordonnée de **KE**

Ym : ordonnée du centre du cercle

C.2. Expression mathématique de la Clothoïde

Courbure **K** linéairement proportionnelle à la longueur curviligne [6].

$$K = C \cdot L \text{ avec } K = \frac{1}{R} \Rightarrow L \cdot R = \frac{1}{C} \Rightarrow \frac{1}{R} = C \cdot L \text{ On pose: } \frac{1}{C} = A^2$$

$$L \cdot R = A^2 \quad (\text{III.8})$$

III.1.4. Les conditions de raccordement

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

III.1.4.1. Condition de confort optique

Cette condition 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 [6].

$\tau \geq 3^\circ$ soit $\tau \geq 1/18 \text{ rads}$

$\tau = L/2R > 1/18 \text{ rads} \Rightarrow L > R/9$ soit $A > R/3$

$$R/3 \leq A \leq R$$

Règle générale (B40) :

➡ $R \leq 1500\text{m}$ $\Delta R = 1\text{m}$ (éventuellement 0.5m)

$$L = \sqrt{12 \times R \times \Delta R}$$

➡ $1500 < R \leq 5000\text{m}$

$$L \geq R/9$$

➡ $R > 5000 \text{ m}$ $\Delta R = 2.5 \text{ m}$

$$L = 7.75 \sqrt{R}$$

III.1.4.2 Condition de confort dynamique

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours « Δt » du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule [6].

$$L = \frac{V_B^2}{18} \left(\frac{V_B^2}{127 \times R} - \Delta d \right) \quad (\text{III. 9})$$

V_B : vitesse de base (**km/h**) ;

R : rayon en (**m**) ;

Δd : variation de dévers(%).

III.1.4.3. Condition de gauchissement

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation de dévers, elle s'applique par rapport à son axe [6].

$$L \geq l \cdot \Delta d \cdot V_B \quad (\text{III. 10})$$

L : longueur de raccordement ;

l : Largeur de la chaussée ;

Δd : variation de dévers.

Note : La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique, peut se faire à l'aide d'une seule condition qui sert à limiter pendant le temps de parcours du raccordement, la variation par unité de temps, du dévers de la demie -chaussée extérieure au virage.

Cette variation est limitée à 2%.

$$L \geq \frac{5 \times \Delta d \times V_B}{36}$$

III.1.5. Combinaisons des éléments du tracé en plan

La combinaison des éléments du tracé en plan donne plusieurs types de courbes, on cite :

III.1.5.1 Courbe en S

Une courbe constituée de deux arcs de **Clothoïde**, de concavité opposée tangente en leur point de courbure nulle et raccordant deux arcs de cercle [4].

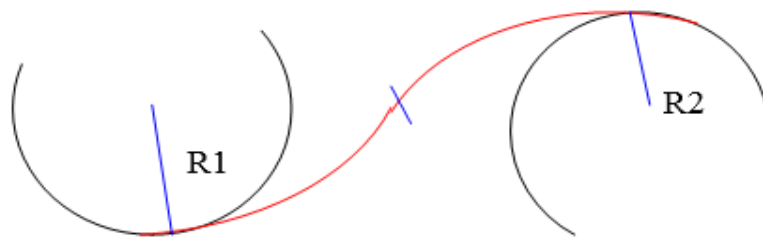


Fig. III. 5 Courbe en S

III.1.5.2. Courbe à sommet

Une courbe constituée de deux arcs de **Clothoïde**, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux alignements (FigIII.6) [4].

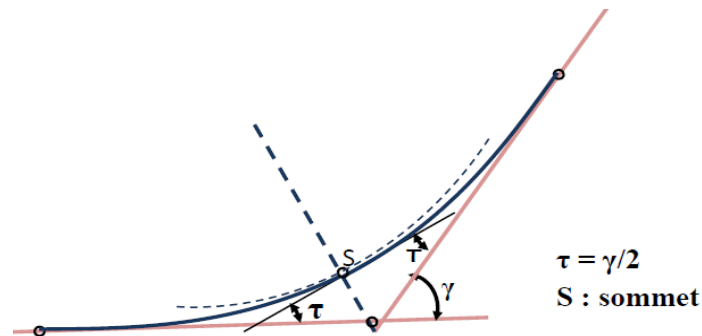


Fig. III. 6: Courbe à sommet

III.1.5.3. Courbe en C

Une courbe constituée de deux arcs de **Clothoïde**, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux arcs de cercles sécants ou extérieurs l'un à l'autre [4].

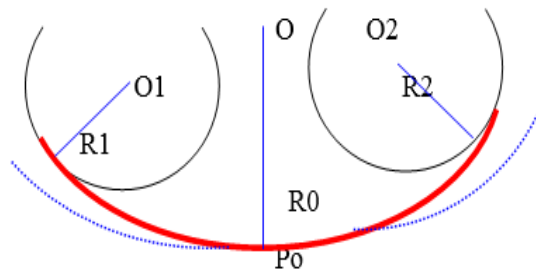


Fig. III. 7 Courbe en C

III.1.5.4. Courbe en Ove

Un arc de **Clothoïde** raccordant deux arcs de cercles dont l'un est intérieur à l'autre, sans lui être concentrique [4].

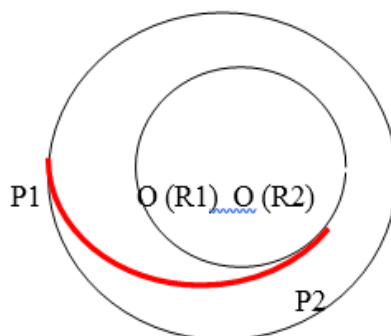


Fig. III. 8: Courbe en Ove

III.1.6. Notions de devers

Le devers est par définition la pente transversale de la chaussée, il permet l'évacuation des eaux pluviales pour les alignements droits et assure la stabilité des véhicules en courbe.

La pente transversale choisie résulte d'un compromis entre la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre et la recherche d'un écoulement rapide des eaux pluviales [8].

III.1.6.1 Devers en alignement

En alignement le devers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée. Il est pris égal à : **$d_{min} = 2.5\%$**

III.1.6.2. Devers en courbe

En courbe permet de [8] :

- ❖ Assurer un bon écoulement des eaux superficielles ;
- ❖ Compenser une fraction de la force centrifuge et assurer la stabilité dynamique des véhicules ;
- ❖ Améliorer le guidage optique.

III.1.6.3. Rayon de courbure

Pour assurer une stabilité du véhicule et réduire l'effet de la force centrifuge, on est obligé de d'incliner la chaussée transversalement vers l'intérieur d'une pente dite devers, exprimée par sa tangente; d'où le rayon de courbure [8].

III.1.6.4. Calcul des devers

Dans les alignements droits et dans les courbes de **$R \geq RH_{nd}$** le devers est égal à **2.5%** et pour les courbes de rayon **$R < RH_{nd}$** un calcul de devers peut être fait par l'interpolation en « **$1/R$** » [4].

$$RH_m < R < RH_n \text{ on a: } \frac{d(R) - d(RH_m)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RH_m}} = \frac{d(RH_m) - d(RH_n)}{\frac{1}{RH_m} - \frac{1}{RH_n}}$$

$$RH_n < R < RH_d \text{ on a: } \frac{d(R) - d(RH_d)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RH_d}} = \frac{d(RH_n) - d(RH_d)}{\frac{1}{RH_n} - \frac{1}{RH_d}}$$

Les rayons compris entre **RH_d** et **RH_{nd}** sont au devers minimal mais des rayons supérieurs à **RH_{nd}** peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépense notable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

Raccordement de devers

En alignement droit les devers sont de type unique et ont des valeurs constantes (**2.5%**), en courbe ils ont des valeurs supérieures (**de 3 à 7%**) [4].

Le raccordement des alignements droits aux courbes se fait par des **Clothoïdes** :

- Dans le cas où les devers sont de même sens le raccordement sera progressif à partir du début de la **Clothoïde** jusqu'au début de l'arc de cercle ;
- Dans le cas où les devers sont opposés, le problème se pose pour passer du devers d'alignement droit au devers de l'arc de cercle, donc il faut passer par un devers nul, ce dernier peut être placé en général à une distance appelée longueur de gauchissement **D min** ;

$$D_{\min} = \frac{5}{36} \times v_B \Delta d \quad (\text{III. 11})$$

- Pour les courbes en **S**, il est souhaitable de prendre le devers nul au point d'inflexion ;
- Pour les courbes de raccordement de devers entre deux courbes de même sens le devers peut unique peut être conservé.

III.1.7. La vitesse de référence

Plusieurs paramètres influent sur le choix de l'emplacement horizontal et vertical d'une route. Le plus important est La vitesse de référence (**V_R**). Elle devrait être choisie en fonction de la topographie, de l'exploitation des terrains adjacents et de la fonction de la route.

Pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes, un changement de celle-ci ne doit être admis qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible à l'utilisateur (traverser une ville, modification du relief, etc.....).

III.1.7.1. Choix de la vitesse de référence

Le choix de la vitesse de référence dépend de :

- ✓ Type de route ;
- ✓ Importance et genre de trafic ;
- ✓ Topographie ;
- ✓ Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

III.1.7.2. Vitesse de projet

La vitesse de projet « V_p » est la vitesse théorique la plus élevée pouvant être admise en chaque point de la route, compte tenu de la sécurité et du confort dans les conditions normales.

On entend par conditions normales:

- ➡ Route propre sèche ou légèrement humide, sans neige ou glace;
- ➡ Trafic fluide, de débit inférieur à la capacité admissible;
- ➡ Véhicule en bon état de marche et conducteur en bonne conditions normales.

Remarque :

La vitesse de référence dans notre projet (donnée par DTP de LAGHOUAT)

Dans le rapport de l'étude de trafic et de $V_R = 120 \text{ Km/h}$.

Pour notre projet, situé dans un environnement (**E2**), et classé en catégorie (**C1**) avec une vitesse de base de « **120km/h** », donc à partir du règlement **B40** on peut avoir le tableau suivant (Tableau. III.2):

Tableau. III. 2 rayons du tracé en plan.

Paramètres	symboles	valeurs
Vitesse (km/h)	V	120
Rayon horizontal minimal (m)	RHm (7%)	650
Rayon horizontal normal (m)	RHN (5%)	1000
Rayon horizontal déversé (m)	RHd (2.5%)	2200
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd (2.5%)	3200

✚ Paramètre fondamentaux

D'après le règlement des normes algériennes **B40**, pour un environnement (**E2**) et une catégorie (**C1**), avec une vitesse de base de « **120km/h** », on définit les paramètres suivants :

Tableau. III. 3 Paramètres fondamentaux.

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse (km/h)	V	120
Longueur minimale (m)	Lmin	111
Longueur maximale (m)	Lmax	1333
Devers minimal (%)	Dmin	2.5
Devers maximal (%)	Dmax	7
Temps de perception réaction (s)	t ₁	1.8
Frottement longitudinal	F _l	0.33
Frottement transversal	F _t	0.10
Distance de freinage (m)	d ₀	175
Distance d'arrêt (m)	d ₁	235
Distance de visibilité de dépassement minimale (m)	d _m	550
Distance de visibilité de dépassement normale (m)	d _n	800
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement (m)	d _{md}	425

III.1.8. Calcul de l'axe

Dans le calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de Clothoïde (Fig. III.4), cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées. L'opération de calcul d'axe n'aura lieu, qu'après avoir déterminé le couloir par le quel passera la voie. Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées, et il doit suivre les étapes suivantes :

- ❖ Calcul des gisements ;
- ❖ Calcul de l'angle entre alignements ;
- ❖ Calcul de l'angle polaire;
- ❖ Vérification de non chevauchement ;
- ❖ Calcul de la tangente **T**;
- ❖ Calcul de la corde **SL**;
- ❖ Calcul de l'arc de cercle ;
- ❖ Calcul des coordonnées des points singuliers ;
- ❖ Calcul de kilométrage des points particuliers.

III.1.8.1. Exemple De Calcul D'axe Manuellement

Pour illustrer notre travail de calcul d'axe, il nous semble qu'il est intéressant de détailler au moins un calcul d'une liaison de notre axe.

Caractéristiques De La Courbe De Raccordement :

$V_R=120\text{Km/h}$	X (m)	Y (m)	R (m)
S0	764443.18	4003021.30	747
S1	764492.034	4002973.05	
S2	764523.30	4002946.40	

III.1.8.1.1. Caractéristiques De La Courbe De Raccordement**a) Calcul du paramètre A**

Selon le règlement B40 on a :

$$R/3 \leq A \leq R \rightarrow 747/3 \leq A \leq 747$$

$$\rightarrow 249 \leq A \leq 747$$

b) détermination de la valeur minimale de longueur de la CLOTHOIDE :**b.1) Condition de confort optique**

$$L1 = \sqrt{14 \times R \times \Delta R} \quad \text{On a } R = 747 < 1500 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 1$$

$$L1 = \sqrt{14 \times 747 \times 1}$$

$$L1 = 102.26 \text{ m}$$

b.2) Condition de confort dynamique

$$L2 = \frac{v_R^2}{18} \left(\frac{v_R^2}{127R} - \Delta d \right)$$

$$\Delta d = d - (-2.5)$$

$$d = d_{min} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_H d} \right) \times \frac{d_{min} - d_{RHN}}{\frac{1}{R_H d} - \frac{1}{RHN}}$$

$$d = 0.025 + \left(\frac{1}{747} - \frac{1}{2200} \right) \times \frac{0.025 - 0.05}{\frac{1}{2200} - \frac{1}{1000}} = 0.0659 = 6 \%$$

$$\Delta d = 6 - (-2.5) = 8.5\%$$

$$L2 = \frac{120^2}{18} \left(\frac{120^2}{127 \times 747} - 0.085 \right)$$

$$L2 = 53.43 \text{ m}$$

b.3) Condition de gauchissement :

$$L \geq l \times \Delta d \times V_B \rightarrow L \geq 7 \times 0.085 \times 120 = 71.4 \text{ m}$$

$$L_3 = 71.4 \text{ m}$$

$$L_R = \max(L_1, L_2, L_3) \Rightarrow L_R = L_1 = 102.26 \text{ m}$$

c) Calcule du paramètre (PAR)

$$L = \frac{A^2}{R} \Rightarrow A = \sqrt{L \times R} = 276.38 \text{ m}$$

On prend: $A = 276.38 \text{ m}$

On sait que $A^2 = \text{Par} \times R$

$$\text{Par} = \frac{A^2}{R} = 102.25 \text{ m}$$

d) Calcul du ΔR

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} = \frac{102.26^2}{24 \times 747} = 0.58 \text{ m}$$

III.1.8.1.2. calcul des gisements

Le gisement d'une direction est l'angle fait par cette direction avec le nord Géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

$$S_0 S_1 \left\{ \begin{array}{l} |\Delta X| = |X_{S_0} - X_{S_1}| = 48.854 \text{ m} \\ |\Delta Y| = |Y_{S_0} - Y_{S_1}| = 48.25 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$S_0 S_2 \left\{ \begin{array}{l} |\Delta X| = |X_{S_0} - X_{S_2}| = 80.12 \text{ m} \\ |\Delta Y| = |Y_{S_0} - Y_{S_2}| = 74.9 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$G_{S_1}^{S_0} = \arctg\left(\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}\right) \Rightarrow G_{S_1}^{S_0} = 200 + \arctg\left(\frac{|48.854|}{|48.25|}\right)$$

$$G_{S_1}^{S_0} = 250 \text{ grades}$$

$$c = \arctg\left(\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}\right) \Rightarrow G_{S_2}^{S_0} = \arctg\left(\frac{|80.12|}{|74.9|}\right)$$

$$G_{S_2}^{S_0} = 52 \text{ grades}$$

III.1.8.1.3. Calcul de l'angle γ

$$\gamma = |G_{S_1}^{S_0} - G_{S_2}^{S_0}| = 250 - 52$$

$$\gamma = 198 \text{ grades}$$

Calcul de l'angle τ

$$\tau = \frac{L_r \times 200}{2 \times R \times \pi} = \frac{102.26 \times 200}{2 \times 747 \times \pi} = 4.36 \text{ grades}$$

III.1.8.1.4. vérification de non chevauchement

On a

$$2 \times \tau = 2 \times 4.36 = 8.72 \text{ gr}$$

$$\gamma = 198 \text{ grades}$$

Donc $2 \times \tau < \gamma \Rightarrow$ pas de chevauchement.

III.1.8.1.5. Calcul des distances

$$\overline{S_0 S_1} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{48.85^2 + 48.25^2} = 68.66 \text{ m}$$

$$\overline{S_0 S_2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{80.12^2 + 74.9^2} = 109.68 \text{ m}$$

III.1.8.1.6. Calcul de l'abscisse du centre du cercle

$$X_m = \frac{A^2}{2 \times R} = \frac{L}{2}$$

$$X_m = \frac{102.25^2}{2 \times 747} = 7 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad L = 14 \text{ m}$$

► Abscisse de KE :

$$X = L \left(1 - \frac{L^2}{40 \times R^2} \right) = 14 \left(1 - \frac{14^2}{40 \times 747^2} \right) = 13.99 = 14 \text{ m}$$

► Origine de KE :

$$Y = \frac{L^2}{6 \times R} = \frac{14^2}{6 \times 747} = 0.043 \text{ m}$$

III.1.8.1.7. Calcul de la tangente

$$T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma}{2} \right) = 7 + (747 + 0.58) \operatorname{tg} \left(\frac{198}{2} \right) = 47.6 \text{ m}$$

III.1.8.1.8. Calcul des coordonnées SL

$$S_L = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{14^2 + 0.043^2} = 14 \text{ m}$$

► Calcul de σ :

$$\sigma = \operatorname{arctg} \left(\frac{y}{x} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{0.043}{14} \right) = 0.2 \text{ gr}$$

III.1.8.1.9. Calcul de l'arc

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 198 - 2 \times 4.36 = 189.28 \text{ grades}$$

$$\widehat{K_{E1}K_{E2}} = \frac{R\pi\alpha}{200} = \frac{747 \times \pi \times 189.28}{200} = 2220.98 \text{ m}$$

III.1.8.1.10. Calcul des coordonnées des points singuliers

$$\begin{cases} X_{KA1} = X_{S1} - (\overline{S_0S_1} - T)\cos(300 - G_{S1}^{S0}) \\ Y_{KA1} = Y_{S1} - (\overline{S_0S_1} - T)\sin(300 - G_{S1}^{S0}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KA1} = 764443.18 - (68.66 - 47.6)\cos(300 - 250) = 764428.28 \text{ m} \\ Y_{KA1} = 4003021.30 - (68.66 - 47.6)\sin(300 - 250) = 4003006.408 \text{ m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KA2} = X_{S2} - T\cos(300 - G_{S2}^{S0}) \\ Y_{KA2} = Y_{S2} - T\sin(300 - G_{S2}^{S0}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KA2} = 764523.30 - 47.6\cos(300 - 52) = 764557.99 \text{ m} \\ Y_{KA2} = 4002946.40 - 47.6\sin(300 - 52) = 4002978.98 \text{ m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} - S_L\cos(300 - \sigma - G_{S1}^{S0}) \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} - S_L\sin(300 - \sigma - G_{S1}^{S0}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KE1} = 764428.28 - 14\cos(300 - 0.2 - 250) = 764418.35 \text{ m} \\ Y_{KE1} = 4003006.408 - 14\sin(300 - 0.2 - 250) = 4002996.54 \text{ m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} - S_L\sin(G_{S2}^{S0} - \sigma - 200) \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} - S_L\cos(G_{S2}^{S0} - \sigma - 200) \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KE2} = 764557.99 - 14\sin(52 - 0.2 - 200) = 764568.16 \text{ m} \\ Y_{KE2} = 4002978.98 - 14\cos(52 - 0.2 - 200) = 4002988.6 \text{ m} \end{cases}$$

III.1.9. Application au projet

$$V_R = 120 \text{ km/h. ; } d_{\max} = 7\% ; d_{\min} = 2.5\% ; f_t = 0.10$$

- **Rayon minimal absolu Rhm**

$$R_{hm} = \frac{V_R^2}{127(f_t + d_{\max})}$$

$$\text{AN } R_{hm} = \frac{120^2}{127(0.10 + 0.07)} = 666.98 \text{ m}$$

- **Rayon minimal normal Rhn**

$$R_{hn} = \frac{(V_R + 20)^2}{127(f_t + d_{\max} - i)}$$

$$\text{AN } R_{hn} = \frac{(120+20)^2}{127(0.10+0.07-0.025)} = 1064.35 \text{ m}$$

- Rayon au dévers minimal R_{hd}

$$R_{hd} = \frac{V_R^2}{254 \times d_{\min}}$$

$$\text{AN } R_{hd} = \frac{120^2}{254 \times 0.025} = 2267.72 \text{ m}$$

- Rayon minimal non déversé R_{hnd}

$$R_{hnd} = \frac{V_R^2}{127 \times 0.0035}$$

$$\text{AN } R_{hnd} = \frac{120^2}{127(0.06+0.025)} = 3239.6 \text{ m}$$

Le tableau ci-dessous donne les différentes valeurs des rayons calculés et ceux donnés par le **B40**.

Rayon minimal absolu $R_{hm}(m)$		Rayon minimal normal $R_{hn}(m)$		Rayon au dévers minimal $R_{hd} (m)$		Rayon minimal déversé $R_{hnd}(m)$	
Calculé	B40	Calculé	B40	Calculé	B40	Calculé	B40
666.98	650	1064.35	1000	2267.72	2200	3239.6	3200

Le tronçon objet d'étude de la **RN23 PK«346-353 »** en termes de trace en plan est caractérisé par un axe en plan qui constitué d'éléments droits ainsi des courbes.

III.2. profil en long

III.2.1. Définition :

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la route, développé et représentée sur un plan à une échelle. Ou bien c'est une élévation verticale dans le sens de l'axe de la route de l'ensemble des points constituant celui-ci.

Le but principal du profil en long est d'assurer pour le conducteur une continuité dans l'espace de la route afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers. Afin d'éviter des terrassements importants une correction de la ligne rouge sera exécutée tout en respectant les conditions technique d'aménagements des routes.

III.2.2. Les règles à respecter

Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur [13]:

- Eviter les angles entrants 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 devers nuls dans une pente du profil en long ;
- Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais dans la partie de tracé neuve ;
- 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 des 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 ;
- Limité la déclivité pour une catégorie donnée ($i \leq i_{\max}$).

III.2.3. Les éléments géométriques dans le profil en long

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires, pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- ✓ L'altitude du terrain naturel ;
- ✓ L'altitude du projet ;
- ✓ La déclivité du projet, etc....

III.2.4. Coordination de trace en plan et du profil en long

Il est très nécessaire de veiller à la bonne coordination du tracé en plan et du profil en long en tenant compte également de l'implantation des points d'échange afin [9]:

- D'avoir une vue satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité minimale ;
- D'envisager de loin l'évolution du tracé ;
- De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs, etc.)

Pour éviter les défauts résultats d'une mauvaise coordination tracée en plan et profil en long, les règles suivantes sont à suivre:

- ✚ D'augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan si le profil en long est convexe ;
- ✚ D'amorcer la courbe en plan avant un point haut ;
- ✚ lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe ;
- ✚ De 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).

III.2.5. Déclivité

On appelle déclivité d'une route la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nombre de pente pour les descentes et rampe pour montées [6].

III.2.5.1. Déclivité minimum

Pour des raisons de l'écoulement des eaux, il faut éviter les paliers de grande longueur ayant une pente minimale $< 0.5\%$ ($I_{\min}=0.5\%$).

III.2.5.2. Déclivité maximum

La déclivité maximum dépend de [6] :

- ❖ Condition de l'adhérence entre pneu et chaussée ;

- ❖ Vitesse minimum de poids lourd « PL » ;
- ❖ Condition économique.

Selon la norme B40 on prend les valeurs en fonction de la catégorie (Tableau. III.4)

Tableau. III. 4 : I_{max}(%) Déclivité max en fonction de Cat et E.

Environnement			
Déclivité max (I %)	E1	E2	E3
Cat- 1 et 2	4	5	6
Cat 3	6	5	6
Cat 4 et 5	6	7	8

« Dans notre cas la déclivité maximum est : 5%. »

III.2.6. Raccordements en profil en long

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long. Ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort [9].

On distingue deux types :

III.2.6.1 Raccordement convexes (angle saillant)

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angle saillant sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et visibilité d'autre part [9].

a) Condition de confort

Elle consiste à limiter l'accélération verticale à laquelle le véhicule sera soumis lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe [6].

Limitation de l'accélération verticale :

- $g/40$: pour les catégories « 1 -2 »
- $g/30$: pour les catégories « 3- 4- 5 »

$$\frac{V_R^2}{RV} < \frac{g}{40} \quad RV_{min} \begin{cases} 0.3 V_R^2 & \text{pour } c(1-2) \\ 0.23 V_R^2 & \text{pour } c(3-4-5) \end{cases}$$

Pour : $g = 10 \text{ m/s}^2$

Dans notre cas :

$$RV_{min} = 0.3 V_R^2 \quad (\text{III.12})$$

Avec :

RV : rayon vertical (m).

V_R : vitesse référence (km/h)

b) Condition de visibilité

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaires à celle de confort.

Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum [6].

Le rayon de raccordement est donné par l'expression :

$$RV = \frac{d_0^2}{2} (h_0 + h_{01} + 2\sqrt{h_0 \times h_1}) \quad (\text{III. 13})$$

Avec :

d_0 : distance d'arrêt (m) ;

h_0 : hauteur de l'œil (m) ;

h_1 : hauteur de l'obstacle (m).

III.2.6.2 Raccordement concave (angle rentrant)

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité du jour n'est pas déterminante, plutôt c'est pendant la nuit qu'on doit s'assurer que les phares du véhicule devront éclairer un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle, la visibilité est assurée pour un rayon satisfaisant la relation (Fig. III.9) [6]:

$$\text{Avec :} \quad R'V = \frac{d_0^2}{(1.5 + 0.035 \times d_0)} \quad (\text{III.14})$$

d_0 : distance d'arrêt (m).



Fig. III. 9: rayon assurant visibilité

Condition esthétique

Il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivité sur des distances courtes, pour éviter cet effet on impose une minimale ($b > 50$) pour dévers $d < 10\%$ (spécial échangeur) [6].

Avec :

$$RV_{min} = 100 \frac{50}{\Delta d(\%)} \quad (\text{III.15})$$

Δd : changement de dévers

RV_{min} : rayon verticale minimale

III.2.7. Application au projet

✓ « Cas d'un angle saillant »

Rayon minimal absolu RV_{m1} :

$$RV_{m1} = \frac{d_1^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{h_0 + h_1})} \approx 0.26 \times d_0$$

Avec :

d_0 : Distance d'arrêt (m) à V_R ;

h_0 : hauteur de l'œil (m) = 1m ;

h_1 : hauteur de l'obstacle (m) = 0.15m.

AN

$$RV_{m1} = 0.26 \times 235^2 = 1435.5 \text{ m}$$

Rayon minimal normal RV_{N1} :

$$RV_{N1} = \frac{d_1^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{h_0 + h_1})} \approx 0.26 \times d_1$$

AN

$$d_1 = d_0 + 0.5 \times (v + 20) = 159 + 0.5(120 + 20) = 229 \text{ m}$$

$$RV_{N1} = 0.26 \times 229^2 = 13634.67 \text{ m}$$

Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement R_{VD} :

$$R_{VD} = 0.11 \times d_m^2$$

d_m : distance de visibilité de dépassement.

AN

$$R_{VD} = 0.11 \times 400^2 = 17600m$$

✓ « Cas d'un angle rentrants »

Rayon minimal absolu RV_m' :

$$RV_m' = 0.33 \times V^2$$

Avec : $V=V_R$

AN

$$RV_m' = 0.33 \times 120^2 = 4752m$$

Rayon minimal normal RV_N' :

$$RV_N' = 0.33 \times V^2$$

Avec : $V=V_R+20$

⇒

$$RV_N' = 0.33 \times (120 + 20)^2 = 6468 m$$

Le tableau suivant donne les valeurs des différents rayons calculés et ceux donnés par B40 :

Tableau. III. 5: Valeurs des différents rayons calculées et selon B40 en profil en long.

	Rayon en angle saillant RV		Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement dm	Rayon en angle rentrant	
	Unidirectionnelle				
	Minimal absolu	Minimal Normal	RVD	R'Vm	R'VN
	RVm1	RVn1			
Calculé	1435	13634.67	17600	4752	6468
B40	1200	18000	20000	4200	6000

III.3. Profil en travers

III.3.1. Définition

Le Profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la route projetée.

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 type » 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, système d'évacuation des eaux etc....) [7].

III.3.2. Les éléments du profil en travers

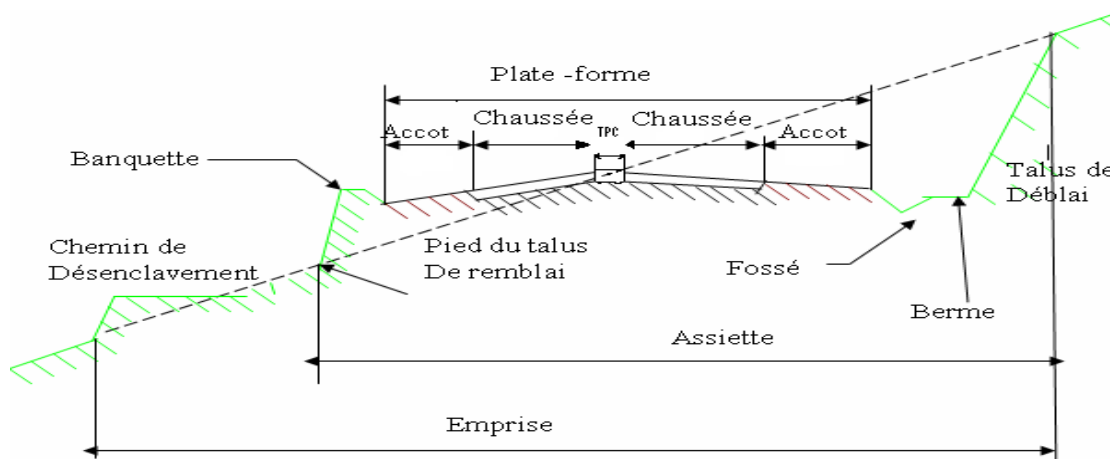


Fig. III. 10 : Les éléments constitutifs du profil en travers

III.3.2.1. La chaussée

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules. La route peut être à chaussée unique ou à chaussée séparée par un terre-plein central [8].

III.3.2.2. La largeur roulable

Elle comprend les sur largeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt. Sur largeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive [8].

III.3.2.3. La plate-forme

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais, comprenant la ou les deux chaussées et les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêts [8].

III.3.2.4. L'assiette

Champ du terrain occupé par la chaussée, elle comprend les accotements ; les fossés et l'encombrement total des ouvrages [8].

III.3.2.5. L'emprise

C'est la surface du terrain naturel appartenant à la collectivité et affectée à la route et à Ses dépendances coïncident généralement avec le domaine public [8].

III.3.2.6. Les accotements

Les accotements sont les zones latérales de la plate-forme qui bordent extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés.

Ils comportent généralement les éléments suivants [8]:

- ◆ Une bande de guidage ;
- ◆ Une bande d'arrêt ;
- ◆ Une berme extérieure.

III.3.2.7. Le terre-plein central (TPC)

Le T.P.C assure la séparation des deux sens de circulation, Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il comprend [8]:

- ✓ Les sur largeurs de chaussée (bande de guidage) ;
- ✓ Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.

III.3.2.8. Le fossé

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux pluviales provenant de la route et talus.

III.3.2.9. Le talus

Le talus est l'inclinaison de terrain qui dépend de la cohésion des sols qui le constitue. Cette inclinaison exprimée par une fraction (A/B) telle que [8]:

A : la distance sur la base du talus ;

B : la hauteur du talus.

En terre de moyenne cohésion, l'inclinaison de talus est de $(3/2)$ pour les remblais et $(1/1)$ pour les déblais.

III.3.2.10. Banquette

Parapet de terre établi le long d'une route.

III.3.2.11. Caniveau

Bordure extérieure de la chaussée aménagée pour l'écoulement de l'eau.

III.3.3. Les différents type de profil en travers

III.3.3.1. Le profil en travers type

Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou l'aménagement de routes existantes.

L'application du profil en travers type sur le profil correspondant du terrain en respectant la cote du projet permet le calcul de l'avant mètre des terrassements.

Il contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (en remblais, déblais ou mixte) [11].

III.3.3.2. Profil en travers courants

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

III.3.4. Les Dévers de la chaussée

Selon le B40 les dévers sont limités dans le tableau suivant :

Tableau. III. 6: les divers en fonction de la Catégorie de la route.

Dévers (%)	Catégorie de la route				
	1	2	3	4	5
Dévers minimal d_{min}	2,5	2,5	3	3	3
Dévers maximal d_{max}	7	7	8	8	9

« Pour notre projet on a : $d_{min} = 2.5 \%$ et $d_{max} = 7\%$ »

III.3.5. La largeur de la chaussée

La largeur de la chaussée dépend surtout de l'importance de la circulation à écouler.

La largeur du gabarit des véhicules étant de 2.50 m, cette même largeur constitue un minimum pour la largeur d'une voie. Sur les routes à circulation intense et rapide, une largeur de voie de 2.50m est insuffisante, il faut au moins 3 m et mieux encore 3.50 m pour que les véhicules de tous gabarits qui puissent se croiser et se dépasser en toute sécurité.

La largeur de voie peut être réduite à 3m (exceptionnellement 2.50 m) sur les routes peu fréquentées [6].

III.3.6. Conclusion

Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour notre route sera composé d'une chaussée Unidirectionnelle.

Les éléments du profil en travers type sont comme suit :

- ➡ Deux chaussées de deux voies de **3,5m** chacune : $(2 \times 3,5) = 7,00m/sens$.
- ➡ Un accotement de **2m** à chaque côté droit de la chaussée : **4.00m**.
- ➡ Un terre-plein centrale « TPC » de **10m**

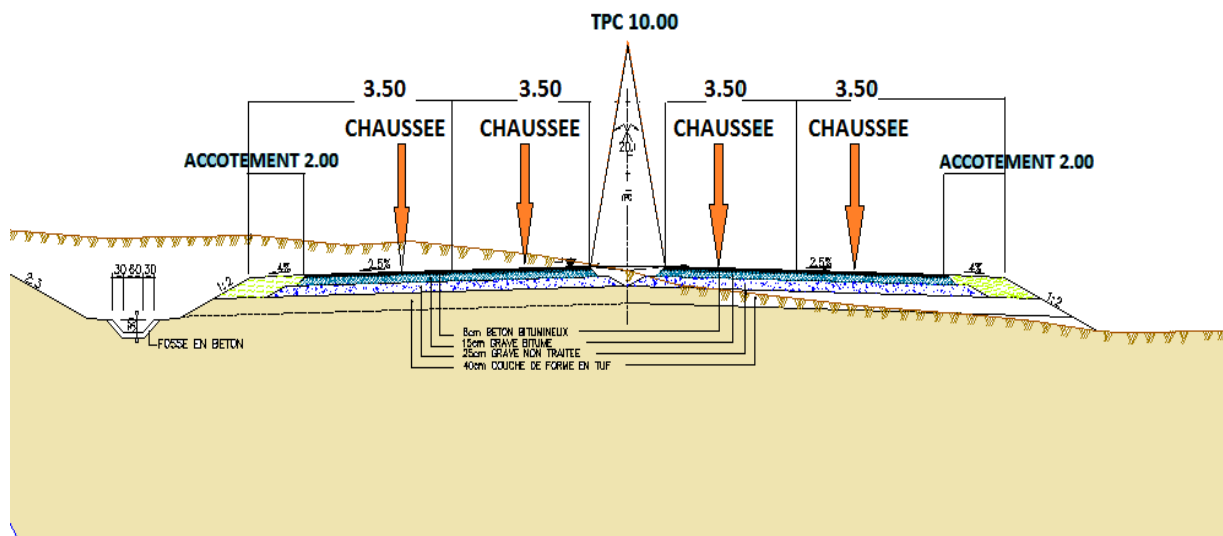


Fig. III. 11: profil en travers type

III.4. Cubature

III.4.1. Introduction

Les mouvements des terres désignent tous les travaux de terrassement, et ils sont objectif primordial de modifier la forme du terrain naturel pour qu'il soit disponible à recevoir des ouvrages en terme général.

Ces actions sont nécessaires et fréquemment constatées sur les profils en longs et les profils en travers.

La modification du terrain naturel comporte deux actions, la première s'agit d'ajouter des terres (remblai) et la deuxième, c'est d'enlever des terres (déblai).

Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle (les cubatures des terrassements) [4].

Pour atteindre l'économie maximale du point de vue du coût des terrassements il faut bien :

- ✓ mettre en œuvre le minimum de matériau ;
- ✓ Equilibrer les mouvements des terres (déblais- remblais) ;
- ✓ Minimiser la distance de transport.

La finalisation d'un projet de route passe nécessairement par une optimisation du profil en long permettant d'atteindre ces objectifs.

III.4.2. Définition

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais et remblais 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 moins possible de la ligne du terrain qu'il représente [4].

Note : le calcul des volumes de terrassements donne des résultats avec une marge d'erreurs, pour être en sécurité on prévoit une majoration des résultats.

III.4.3. Méthode de calcul des cubatures

Plusieurs méthodes permettent de calculer le volume de terrassement, on citera :

- ▶ Méthode de la moyenne des aires ;
- ▶ Calcul d'un volume entre deux profils en travers consécutifs ;
- ▶ Méthodes des profils en long (notion de distance d'application).

III.4.3.1. Méthode de la moyenne des aires

A l'aide du profil en long, on détermine le volume des terrassements à effectuer (Fig. III.12) [10].

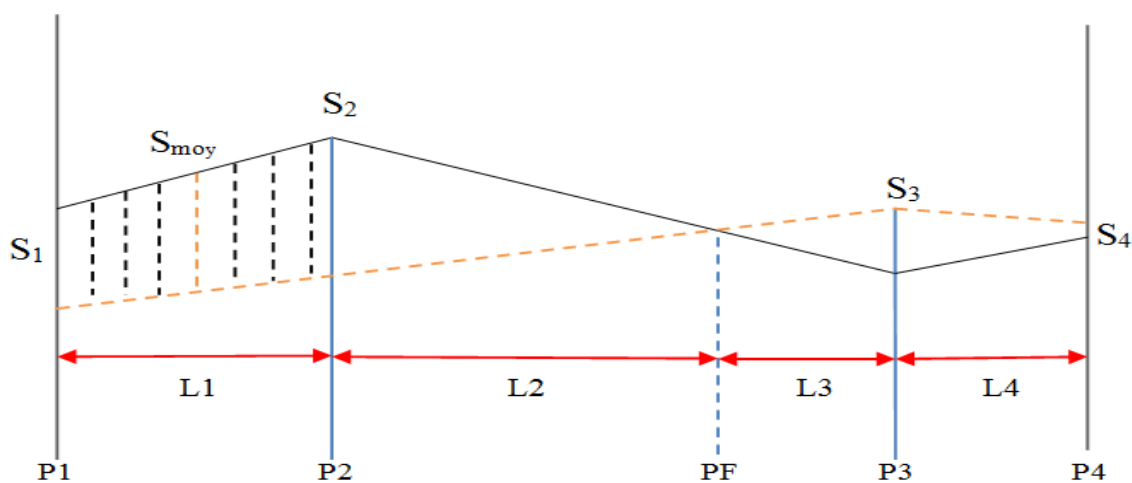


Fig. III. 12: Calcul par la moyenne des aires

Le volume compris entre les deux profils en travers P₁ et P₂ de section S₁ et S₂ sera égale à :

$$V = \frac{L_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_{\text{moy}}) \quad (\text{III.16})$$

Avec :

L₁ : la distance comprise entre les deux profils P₁ et P₂ ;

S₁, S₂, S_{moy} : les surfaces en profil en travers.

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines

les deux expressions S_{moy} et $\frac{(S_1 + S_2)}{2}$.

Ceci donne :

Donc les volumes seront :

$$V_1 = \frac{L_1}{6} \times (S_1 + S_2) \quad (\text{III.17})$$

- Entre P_1 et P_2 $V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$
- Entre P_2 et P_F $V_2 = \frac{l_2}{2} \times (S_2 + 0)$
- Entre P_F et P_3 $V_3 = \frac{l_3}{2} \times (0 + S_3)$

En additionnant membres à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = \frac{l_1}{2} S_1 + \frac{l_1+l_2}{2} S_2 + \frac{l_2+l_3}{2} \times 0 + \frac{l_3+l_4}{2} S_3 + \frac{l_4}{2} S_4 \quad (\text{III.18})$$

On voit l'utilité de placer les profils P_F puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul, $SF=0$

III.4.3.2. Calcul d'un volume entre deux profils en travers consécutifs

La figure ci-dessous définit les notations utilisées pour calculer le volume de terres situé entre deux profils en travers consécutif, distants de D_n (Fig. III.13).

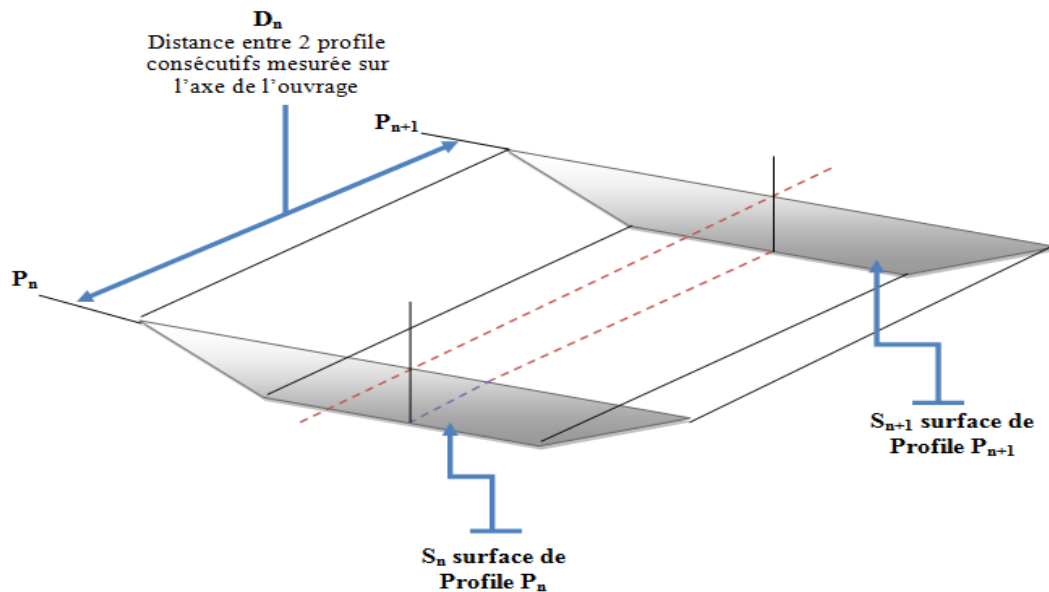


Fig. III. 13: calcul d'un volume de terres entre deux profils en travers consécutifs

Les deux surfaces S_n et S_{n+1} sont supposées parallèles, Le volume V_{pn} est alors :

$$V_{pn} = \left(\frac{S_n + S_{n+1}}{2} \right) \times D_n \quad (\text{III.19})$$

Ou encore :

$$V_{pn} = (S_n + S_{n+1}) \times \frac{D_n}{2} \quad (\text{III.20})$$

III.4.3.3. Méthodes des profils en long (notion de distance d'application)

Une route est définie par une succession de profils. Aussi, dans le cadre de calcul manuel ou non automatisé, il est souvent judicieux de présenter les calculs sous forme de tableau, ce qui permet d'obtenir rapidement les résultats.

Toutefois, dans ce cas, il est plus simple de relier les calculs de cubatures à chaque profil [10].

Appliquons cette notion à l'exemple ci-dessous :

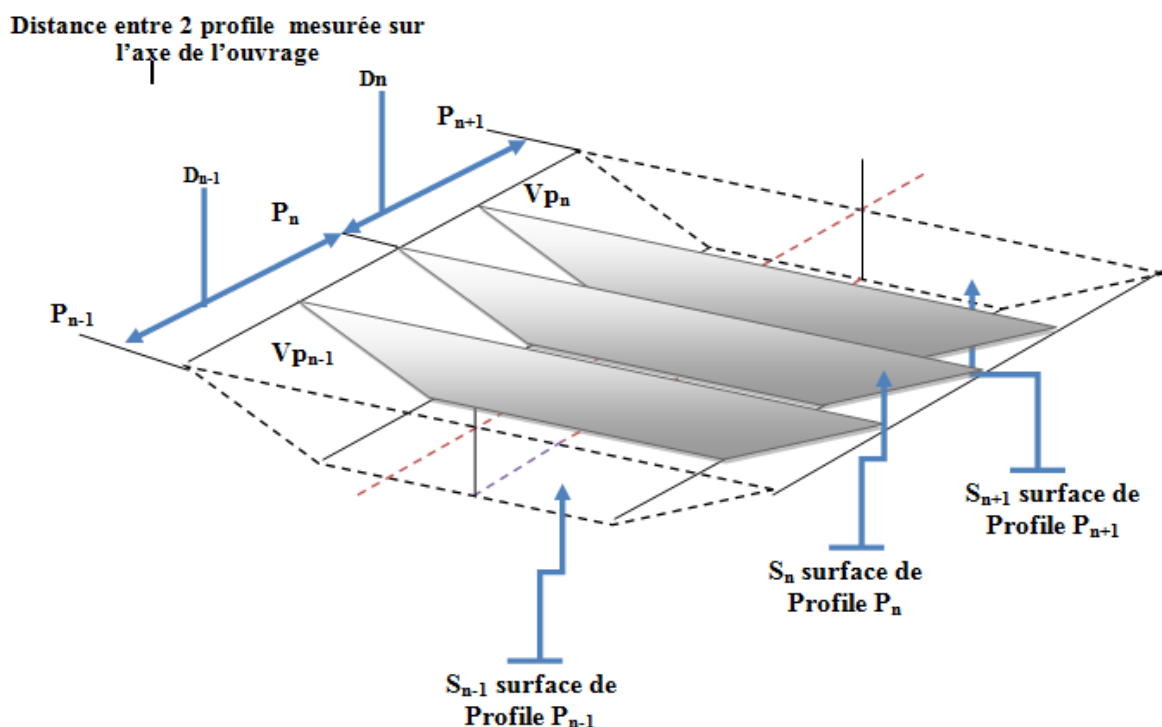


Fig. III. 14: Utilisation de la notion de distance d'application

La distance est mesurée sur l'axe de l'ouvrage. Le volume V situé de part et d'autre du profil P_n peut s'écrire sous la forme :

$$V_{pn} = S_n \frac{D_{n-1}}{2} + S_n \frac{D_n}{2} \quad (\text{III.21})$$

- V_n : volume engendré par le profil ;
- S_n : surface du profil ;
- $(D_{n-1} + D_n) / 2$: Distance d'application.

III.4.4. Calcul des cubatures des terrassements

Pour notre projet on a les volumes totaux de déblais et remblais, Le calcul automatique s'effectue à l'aide de logiciel (COVADIS).

➡ Volume cumulé remblais (m³) **326769,18**

➡ Volume cumulé déblais (m³) **220764,13**

Les résultats de calcul cubature sont joint en (**Annexe 1**)

Chapitre IV

Géotechnique routier

IV.1. Introduction

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée.

Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs et intérieurs.

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol.

L'exécution d'un projet routier nécessite une bonne connaissance des terrains traversés, et qui exige la reconnaissance géotechnique.

La géotechnique joue un rôle essentiel dans tous les travaux de génie civil et d'aménagements.

On peut citer [9] :

- ▶ les fondations des ouvrages : bâtiments, ponts, usines, silos... ;
- ▶ les ouvrages de soutènement ;
- ▶ la stabilité des pentes naturelles et des talus ;
- ▶ les terrassements : routes, autoroutes, voies ferrées... ;
- ▶ les V.R.D. et chaussées ;
- ▶ les tunnels et travaux souterrains ;
- ▶ les barrages et notamment digues et barrages en terre ;
- ▶ les ouvrages fluviaux, portuaires et maritimes ;
- ▶ l'hydrogéologie et la protection de l'environnement.

IV.2. Objectif de l'étude géotechnique

L'exécution de chaque projet routier doit être précédée par une reconnaissance des terrains traversés, à ce niveau se concrétise le rôle de l'étude géotechnique soit [11] :

- ❖ Pour le dimensionnement du corps de chaussée et éventuellement les fondations des ouvrages d'arts prévues dans la phase d'étude ;
- ❖ L'identification et classification des types de matériaux pour leur utilisation à la réalisation de la route ;
- ❖ Pour prévoir les matériaux et les méthodes adéquates aux travaux de terrassement dans la phase d'exécution ;
- ❖ L'identification des sources d'emprunt des matériaux et la capacité de ses gisements ;
- ❖ La sécurité en indiquant la stabilité des talus et des remblais ;
- ❖ Préserver l'environnement et les ressources naturelles.

IV.3. Réglementation Algérienne En Géotechnique

Les normes algériennes adoptées dans le domaine de la géotechnique sont relatives aux modes opératoires et des essais de sols couramment réalisés en laboratoire dans le cadre des études géotechniques. Donc Les moyens de reconnaissance du sol pour l'étude d'un tracé routier sont essentiellement [14] :

- ◆ l'étude des archives et documents existants ;
- ◆ visite sur site et essais « in –situ » ;
- ◆ Les essais de laboratoire.

V.3.1. L'étude Des Archives Et Documents Existants

Les études antérieures effectuées au voisinage du tracé sont des sources précieuses d'informations préliminaires sur la nature des terrains traversés.

Les cartes géologiques et géotechniques de la région, lorsqu'elles existent, peuvent aussi apporter des indications assez sommaires mais tout aussi précieuses pour avoir une première idée de la nature géologiques et géotechniques des formations existantes.

IV.3.2. Visite sur site et essais « in-situ »

Les visites sur site permettent de vérifier et de préciser les informations déjà recueillies sur les documents précédemment cités. Dépendent, de la connaissance précise, les caractéristiques des sols nécessitent des investigations «in-situ» permettant :

- ✓ Soit la mesure de certaines caractéristiques en place ;
- ✓ Soit le prélèvement d'échantillons pour les besoins d'essais au laboratoire.

Pour ce projet le Laboratoire des Travaux Public du Sud s'est basé à sur un seul type d'essais.

IV.3.2.1. Les forages

C'est le seul moyen précis pour reconnaître l'épaisseur et la nature des différentes couches des sols existantes, on y prélève généralement des échantillons de sols remaniés ou intacts pour les besoins d'essais au laboratoire.

Les forages permettent aussi de reconnaître le niveau des nappes éventuelles et le suivi de leur niveau à l'aide de types piézométrique.

Les forages peuvent être réalisés :

a) Manuellement

Ce sont des puits creusés à la main ou à la pelle mécanique, la profondeur ne dépasse pas 3 à 4m, ils permettent la reconnaissance visuelle directe des parois du puits et le prélèvement d'échantillons intacts et/ou remaniés.

b) Sondeuse

On peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de profondeur en utilisant des tubes carottiers et couronnes diamantées. Les couches de sols sont identifiées visuellement, des échantillons intacts ou remaniés sont prélevés pour les essais de laboratoire.

IV.3.3. Les essais de laboratoire

Les essais réalisés en laboratoire pour les échantillons prélevés :

- + Des essais d'identification ;
- + Des essais mécaniques ;
- + Des essais chimiques.

IV.3.3.1. Les essais d'identification**a) Analyse granulométrique**

Les résultats des analyses granulométriques sont des courbes dites courbe granulométrique seront porter et construite sur un graphique, cette analyse se fait par une série de tamis [10].



Fig. IV. 1: Analyse granulométrique

1) Principe d'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

2) But de l'essai

C'est un essai qui a pour objet la détermination en poids des éléments d'un sol (matériau) suivant leurs dimensions (cailloux, gravier, gros sable, sable fin, limon et argile).

2) Domaine d'utilisation

La granulométrie est utilisée pour la classification des sols en vue de leur utilisation.

b) Limites d'Atterberg

Limite de plasticité (WP) et limite de liquidité (WL), ces limites conventionnelles séparent les états de consistance du sol [10].



Fig. IV. 2: Limites d'Atterberg

Limite de plasticité (WP)

Caractérisant le passage du sol de l'état solide à l'état plastique.

Elle varie de 0% à 100%, mais elle demeure généralement inférieure à 40%.

Limite de liquidité (WL)

Caractérisant le passage du sol de l'état plastique à l'état liquide

$$WL = \omega (N/25)^{0.121}$$

ω : teneur en eau au moment de l'essai donnant n coups

N : nombre de coups

IP : L'indice de plasticité

$$IP = WL - WP$$

1) Principe de l'essai

La détermination de **WL** et **WP** nous donnent une idée approximative des propriétés du matériau étudié, il permet de le classer grâce à l'abaque de plasticité de Casa grande.

2) But de l'essai

Cet essai permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action de la teneur en eau, il se fait uniquement sur les éléments fins du sol (caractériser les sols fins).

3) Domaine d'application

L'essai s'applique aux sols fins pendant les opérations de terrassement dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de forme).

c) Equivalent de sable :

Lorsque les sols contiennent très peu de particules fines, les limites **D'ATTERBERG** ne sont pas mesurables, pour diminuer la quantité plus ou moins importante de limon et d'argile, on réalise un essai appelé « **équivalent de sable** » [10].

1) Principe de l'essai

L'essai équivalent de sable s'effectue sur la fraction des sols passant au tamis de 5mm ; il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments les plus fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments plus fins (argileux par exemple).

2) But de l'essai

Cet essai permet de séparer les sables et graviers des particules fines comme les limons et argiles.

Cet essai révèle très intéressant au laboratoire et sur chantier grâce à sa simplicité, sa rusticité, son faible coût et sa rapidité.

IV.3.3.2. Les essais mécaniques

a) Essai Proctor

L'essai Proctor est un essai de compactage, il s'effectue à l'aide d'un moule normale ou un moule modifiée [10].



Fig. IV. 3: Essai PROCTOR

1) Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer le poids volumique sec d'un sol disposé en trois couches dans un moule dit moule Proctor de volume connu, dans chaque couche étant compacte avec la dame Proctor, l'essai est répété plusieurs fois et on varie à chaque fois la teneur en eau de l'échantillon et on fixe l'énergie de compactage pour obtenir la meilleure teneur en eau que rend la meilleur portance de sol.

Les grains passants par le tamis de 5 mm sont compactés dans le moule Proctor.

2) But de l'essai

L'essai Proctor consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage (la réduction de son volume par réduction des vides d'air) et la teneur en eau, c'est-à-dire la détermination de la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale, pour avoir un terrain bien compacté et une portance acceptable.

3) Domaine d'utilisation

Cet essai est utilisé pour les études de remblai en terre, en particulier pour les sols de fondations (route, piste d'aérodromes...).

b) Essai C.B.R (California Bearing Ratio)

On réalise en général trois type d'essais :

« CBR standard », « CBR immédiat », « CBR imbibé ».

On s'intéresse actuellement au « CBR imbibé » [10].



Fig. IV. 4: Essai C.B.R (California Bearing Ratio)

1) Principe de l'essai

On compacte avec une dame standard dans un moule standard, l'échantillon de sol recueilli sur le site, selon un processus bien déterminé, à la teneur en eau optimum (Proctor modifié)

avec trois (3) énergies de compactage 25 c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre (4) jours. Les passants sur le tamis inférieur à 20 mm dans le moule CBR.

2) But de l'essai

L'essai a pour but de déterminer pour un compactage d'intensité donnée la teneur en eau optimum correspondant, elle permet d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement.

3) Domaine d'utilisation

Cet essai est utilisé pour le dimensionnement des structures des chaussées et orientation des travaux de terrassements.

c) Essai Los Angeles

L'essai **LA** est un essai très fiable est de très courte durée, il nous permet d'évaluer la qualité du matériau [10].



Fig. IV. 5: Essai Los Angeles

1) Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles.

2) But de l'essai

L'essai a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats.

3) Domaine d'application

L'essai s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de roulement).

b) Essai Micro Deval

1) Domaine d'application

Choix des matériaux utilisés dans les structures de chaussée.

IV.3.3.3. Les essais chimiques

✓ Analyses chimiques sommaires

Le but des essais chimiques est de déterminer les différents pourcentages des : insolubles, gypse, calcaire, chlorures des matériaux du sol support [10].

IV.4. Les données géotechniques du projet

Dans le cadre de notre mémoire, le Laboratoire des Travaux Publics du Sud (Laghouat) a mis à notre disposition un rapport géotechnique comportant une synthèse des résultats des différents essais réalisés.

La reconnaissance géotechnique sur le tronçon objet de notre présent mémoire consisté à [13]:

- Réalisation de **08 puits** pour analyse du sol support de la chaussée, à proximité des accotements (côté gauche et côté droit) ;
- Prospection des gites de matériaux qui seront utilisés dans le corps de chaussée (couche de remblai et couche de forme) ;
- Ouverture des **carrières** des matériaux et prélèvement d'échantillons pour les analyses de laboratoire ;
- Réalisation des essais de laboratoires : analyses géotechniques sur les différents matériaux prélevés.

La profondeur des puits du sol support est variable selon la nature du sol et son degré d'homogénéité.

Les puits d'axes ont été réalisés sur une emprise d'environ 100m et parfois plus afin de bien cerner l'itinéraire de la route et d'avoir une approche plus précise de l'assise. Sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau .IV. 1: description géotechnique de sol support.

Numéro du puits	PK	Nature du sol support	Profondeur du puits (cm)
N° 01	346+000	Sol sable graveleux	70 – 80
N° 02	347+000	sable graveleux	60 – 90
N° 03	348+000	Sol sableux	40 – 70
N° 04	349+000	Sol fin	80 – 110
N° 05	350+000	Sol graveleux	60 – 130
N° 06 Oued M'Seka	351+000	Sol graveleux sableux	70 – 100
N° 07	352+000	Sol grave sableux	50 – 90
N° 08	353+000	Sol graveleux	60 – 70

IV.4.1. Les essais d'identification**Tableau .IV. 2: Les résultats des essais d'identification.**

Puits	WL : Limite de liquidité ; WP : Limite de plasticité IP : Indice de plasticité ; ES : Equivalent de sable										
	Analyse granulométrique (%)							Limites d'Atterberg			ES (%)
	<31.5 mm	< 10 mm	< 02 Mm	< 01 Mm	< 0.4 mm	< 0.2 mm	< 0.08 mm	WL (%)	WP (%)	IP (%)	
N°01	94	55	30	24	20	14	12	48.21	25.16	23.03	30.23
N°02	89	56	35	27	22	17	14	39.26	28.16	11.10	29.58
N°03	74	44	44	22	18	14	13	42.84	25.37	17.47	20.25
N°04	85	45	36	32	24	20	15	38.63	22.54	16.09	23.43
N°05	82	74	60	53	48	36	33	46.33	22.74	23.59	16.45
N°06	78	66	55	51	67	50	29	33.27	19.42	13.84	17.43
N°07	86	78	65	56	44	32	26	48.35	25.11	23.24	17.52
N°08	100	98	93	87	81	65	58	45.13	22.43	22.70	12.90

IV.4.1.1. Analyse granulométrique

Tous les échantillons prélevés des zones d'emprunt ont été soumis à l'analyse granulométrique.

Les résultats enregistrés nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le pourcentage des fines (**< 0.080mm**) **varie de 12 à 58 %** ;
- Le coefficient d'uniformité ($CU = D_{60}/D_{10}$) **est largement > 02**.

Il s'agit donc de courbes granulométriques étalées ou continues, ainsi le matériau se prête bien au compactage.

IV.4.1.2. Limites d'Atterberg

Cet essai a pour but de déterminer les limites de liquidité et de plasticité, ainsi que l'indice de plasticité des matériaux.

- Les valeurs des limites de liquidité **WL** des différents échantillons varient entre **33.27% et 48.35%**.
- Les valeurs des limites de plasticité **WP** des différents échantillons varient entre **19.42% et 28.16%**.
- Les valeurs des indices de plasticité **IP** des différents échantillons varient entre **11.10% et 23.59%**.

Ce qui nous révèle que le matériau du sol support est de sensibilité variable à l'eau.

IV.4.1.3. Equivalent de sable

Les résultats enregistrés se situent dans la fourchette **12.90% et 30.23%**.

IV.4.2. Les Essais mécaniques

Une chaussée est essentiellement destinées à supporter les actions mécaniques des véhicules et à les transmettre sur le sol support, sans que se produisent des déformations ni dans le terrain, ni encore moins au niveau du corps de chaussée et le revêtement (couche de roulement).

Les essais mécaniques ont été effectués afin de cerner le problème de portance et de résistance de matériau.

Tableau .IV. 3: Les résultats des essais mécaniques.

Puits	Les essais mécaniques des puits d'axe				
	Caractéristiques Proctor		Indice CBR Imbibé (4Jours)	Classe de portance	Classification selon NFP 11- 300
	Teneur en eau optimale (%)	Densité sèche maximale (t/m ³)			
N°01	08.50	2.09	08.10	S3	B6
N°02	08.94	2.01	10.56	S2	B6
N°03	08.60	2.04	04.56	S4	B6
N°04	07.77	1.96	11.82	S2	B6
N°05	12.90	1.93	12.02	S2	A2
N°06	11.69	1.88	15.63	S2	B6
N°07	07.40	1.95	12.36	S2	B6
N°08	07.79	1.98	15.09	S2	A2

► **Présentation des classes de portance des sols**

Le tableau ci-dessous regroupe les classes de portance des sols par ordre croissant de **S₄** à **S₀**. Cette classification sera également utilisée pour les sols supports de chaussée [6] :

Tableau .IV. 4: classe de portance de sol selon CTPP.

Portance (S)	0	1	2	3	4
CBR	>40	25 à 40	10 à 25	5 à 10	<5

IV.4.2.1. Proctor modifié

L'essai Proctor modifié consiste à compacter le matériau dans un moule standard, avec une dame normalisée, selon un mode opératoire bien déterminé, dans le but de déterminer la teneur en eau optimale correspondant à la densité sèche maximale.

Les teneurs en eau varient entre **07.40% et 08.94 %**.

Les densités sèches maximales obtenues oscillent entre **1.88 et 2.09 t/m³**.

IV.4.2.2. Indice CBR

L'essai CBR consiste à poinçonner des échantillons de sol préalablement compactés dans un moule standard, la valeur de l'indice CBR moyenne va nous servir de valeur de base de calcul du dimensionnement de notre ouvrage routier, les valeurs de l'indice CBR oscillent entre **(04.56 et 15.63)** avec une valeur moyenne de **10.09**

D'après les résultats sur le CBR imbibé à 04 jours, le sol support est de portance moyenne (CBR moyen est de **10**).

Les analyses d'identification sur le matériau montrent que le sol support est classé d'après le RTR :

Tableau .IV. 5: classification de sol support selon RTR.

Puits	Caractéristiques granulométriques	Caractéristiques physiques	Classification
P08 – P05	D<50mm Tamisât à 80µm>35%	12 <I _p <25 ou 2.5 <VBS <6	A2- Sables fins argileux, limons,
P01 – P02 – P03 P04 – P06– P07	D<50mm 12<Tamisât à 80µm<35%	I_p >12 ou VBS >1.5	B6- Sables et graves argileux

IV.4.2.3. Analyses chimiques

L'analyse chimique sommaire effectuée sur des échantillons prélevés et tamisés a donné les valeurs suivantes :

Tableau .IV. 6: Les résultats des essais chimiques.

Echantillon	Caractéristiques		
	Insolubles (%) NP15- 461	Sulfates (%) BS1377	Carbonates (%) NFP15- 461
N°01	45.3	NEANT	50
N°02	51.2	NEANT	46
N°03	40.5	1.44	50
N°04	61.4	NEANT	36
N°05	42.4	0.88	53
N°06	52.5	NEANT	45
N°07	57.1	NEANT	39
N°08	48.0	NEANT	48

- ◆ Les insolubles varient de **40.5% à 61.4%** ;
- ◆ Les sulfates (exprimées sous forme de gypse) ont été détectée au niveau du puis P3 au PK 348+000 (**1.44%**) et le puits P5 au PK 350+000 (**0.88%**). Donc la majorité du sol support de ce tronçon est dépourvue des sulfates ;
- ◆ Les carbonates varient de **36% à 53%**.

IV.4.3. Etude des emprunts (carrières)

Le LTPS a effectué des prélèvements directement des gites suscités afin de les soumettre aux essais de laboratoire.

Une série d'analyse géotechnique pour vérifier les caractéristiques intrinsèques a été effectuée sur les échantillons à savoir : **Voir l'annexe (2)**

Tableau .IV. 7: Situations et coordonnées des gites de matériaux.

Carrière	PK	Situation
1	345+500	Côté gauche Aflou vers Laghouat à 600m
2	345+500	Côté gauche Aflou vers Laghouat à 1500m
3	345+500	Côté droit Aflou vers Laghouat à 300m

IV.5. Conclusion

Le sol support le long de la route du PK 346+000 au PK 353+000 est de portance moyenne (CBR est de 10), cette valeur nous servira pour le dimensionnement du corps de chaussée.

Vues les caractéristiques géotechniques requises du matériau des zones de déblai, ce dernier peut être utilisé en remblai.

Tous les emprunts étudiés possèdent des caractéristiques géotechniques requises, et par conséquent ils peuvent être utilisés dans la réalisation des remblais et de la couche de forme.

Dans l'ensemble la portance est bonne, et les travaux de terrassement n'exigent pas des moyens extra ordinaires.

Chapitre V



Dimensionnement de corps de chaussée

V.1. Introduction

La qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. En effet une fois réalisée, la route devra résister aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation « action des essieux des véhicules et notamment les poids lourds ».

Et aussi des gradients thermiques, pluie, neige, verglas *etc.....* Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie.

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 des paramètres fondamentaux suivants [14] :

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

V.2. Définition de la chaussée

- ✚ Au sens Géométrique c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- ✚ Au sens Structurel c'est l'ensemble des couches des matériaux superposées qui permettent la reprise des charges.

Une chaussée peut être définie comme une structure plane, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes conditions de visibilité, de sécurité et de confort pour les usagers et assurer une fonction pour une période de service minimale fixée au stade de l'élaboration du projet [9].

V.3. Durée de vie d'une chaussée

La durée de vie d'une chaussée varie selon qu'il s'agisse d'une autoroute ou voie express et d'une route nationale ou d'un chemin de wilaya [15].

- ❖ Les autoroutes et voies express ont une durée de vie initiale de 30ans.
- ❖ Les Routes nationales ou chemins de wilaya sont dimensionnés pour une durée de vie de 15 à 20 ans.

Cette distinction a été adoptée pour limiter les interventions d'entretien structurel sur les routes à fort trafic, réduire la gêne de l'utilisateur et limiter les contraintes liées à l'exploitation de la route.

Tableau. V. 1: exigences de la chaussée.

Structurelles	▶ Durabilité ▶ Résistance aux agressions : trafic, climatiques
Fonctionnelles	▶ Uni ▶ Adhérence ▶ Bruit de roulement
Économiques	▶ Coût global ▶ Entretien réduit
Esthétiques	▶ Intégration au bâti environnant ▶ Couleur et luminosité
Environnementales	▶ Préservation des ressources naturelles : prélèvement initial, réutilisation en fin de vie ▶ Limitation des nuisances lors de la mise en œuvre

V.4. Les différents types de chaussée

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, et suivant le mode de transmission des charges on peut les classer en trois grandes catégories [15] :

- ✓ Les chaussées souples « elles constituent l'immense majorité des routes actuelles » ;
- ✓ Les chaussées semi-rigides ;
- ✓ Les chaussées rigides.

V.4.1. Chaussée souple

Les chaussées souples constituées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction, capables de se déformer de façon plus ou moins importante au passage des charges roulantes.

Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformable que les couches inférieures (Fig.V.1).

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée, ayant chacune un rôle aussi bien défini.

En principe une chaussée peut avoir en ordre les couches suivantes [15] :

V.4.1.1. Couche de roulement (surface)

La couche de surface constituant la chape (couche de surface) de protection de la couche de base par sa dureté et son imperméabilité et devant assurer en même temps la rugosité, la sécurité et le confort des usagers.

La couche de roulement est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle encaisse les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.

La couche de liaison joue un rôle transitoire avec les couches inférieures les plus rigides.

L'épaisseur de la couche de roulement en général varie entre « 6 et 8 cm » [14].

V.4.1.2. Couche de base

La couche de base joue un rôle essentiel, elle existe dans toutes les chaussées, elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet de trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

L'épaisseur de la couche de base varie entre « 10 et 25 cm » [14].

V.4.1.3. Couche de fondation

Complètement en matériaux non traités (**en Algérie**), elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic. Assurer un bon uni et bonne portance de la chaussée finie, et aussi, elle a le même rôle que celui de la couche de base [14].

V.4.1.4. Couche de forme

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe qui sert à adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou de terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques et thermiques requises pour optimiser les couches de chaussée, l'épaisseur de la couche de forme est en général entre « 40 et 70 cm » [14].

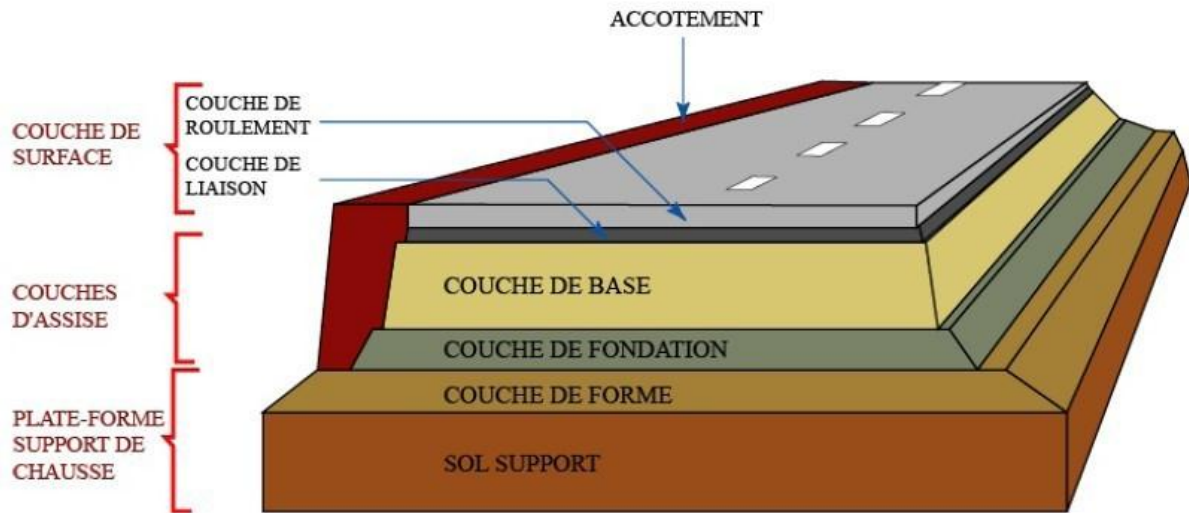


Fig. V. 1: Constitution d'une structure de chaussée souple

V.4.2. Chaussée semi-rigide

Ce type comporte une couche de base (quelques fois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, granulat,...).

La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelque fois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé strictement minimale doit être de quelque mm.

Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie [16].

Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

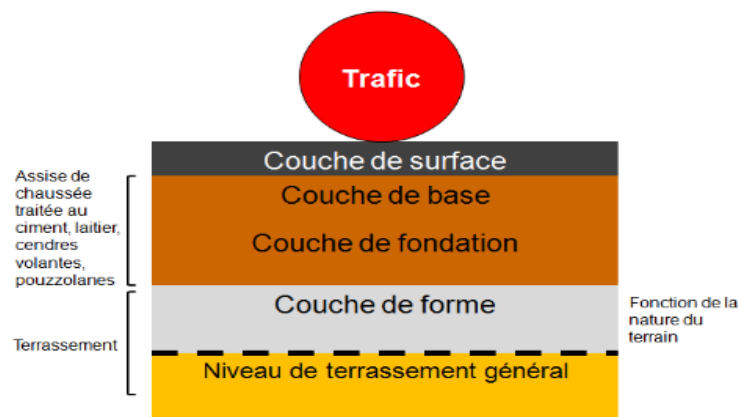


Fig. V. 2: Constitution d'une structure de chaussée semi-rigide

V.4.3. Chaussée rigide

Comportant des dalles en béton (correspondant à la couche de surface de la chaussée souple) qui, en fléchissant élastiquement sous les charges, transmettent les efforts à distance et les répartissent ainsi sur une couche de fondation qui peut être une grave stabilisé mécaniquement : elle peut être traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques [16].

Ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie (sauf pour les chaussées aéronautiques).

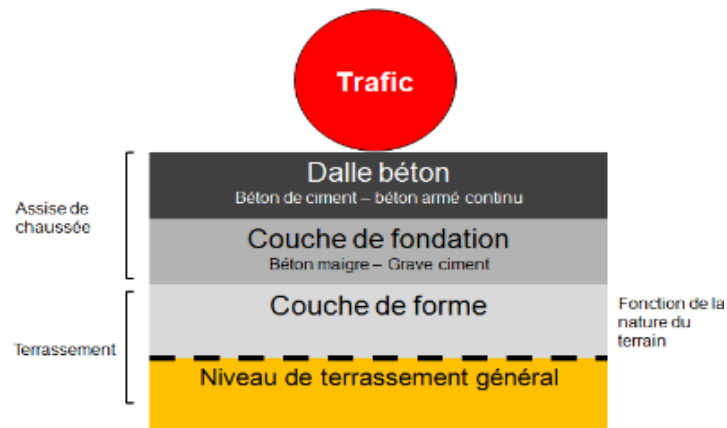


Fig. V. 3: Constitution d'une structure de chaussée rigide

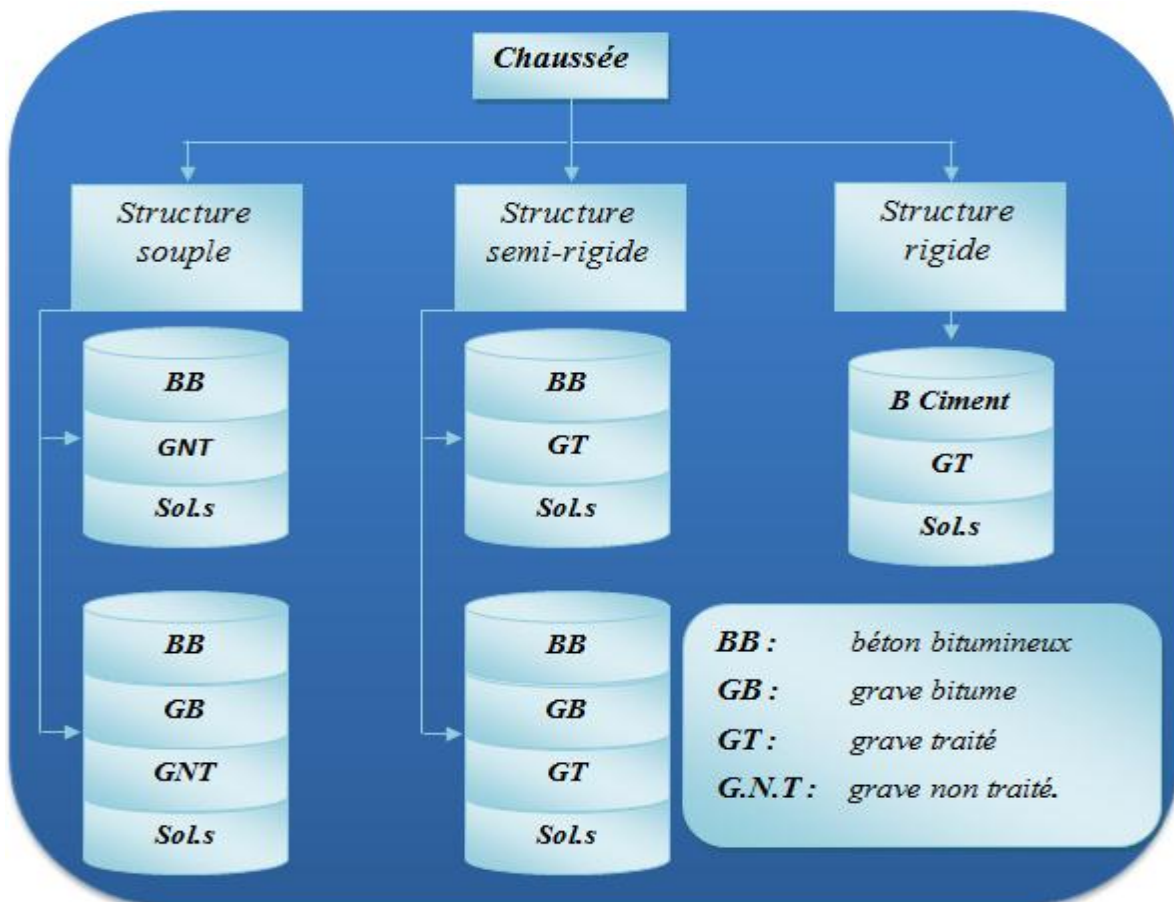


Fig. V. 4: schéma récapitulatif des matériaux constituant de chaussée

V.5. Les différents facteurs pour les études de dimensionnement

Le nombre des couches, leurs épaisseurs et les matériaux utilisés, sont conditionnées par plusieurs facteurs parmi les plus importants sont :

V.5.1. Trafic

Le trafic de dimensionnement est essentiellement le poids lourds (véhicules supérieur à 3.5 tonnes) .il intervient comme paramètre d'entrée dans le dimensionnement des structures de chaussées et le choix des caractéristiques intrinsèques des matériaux à utiliser dans la construction du corps de chaussée.

Il est apparu nécessaire de caractériser le trafic à partir de deux paramètres :

De trafic poids lourds « T » à la mise en service, résultat d'une étude de trafic et de comptages sur les voies existantes [15].

« L'essieu de référence en vigueur en Algérie est l'essieu de 13 Tonnes ».

De trafic cumulé sur la période considérée qui est donnée par :

$$N=T.A.C \quad (V.1)$$

N : trafic cumulé ;

A : facteur d'agressivité globale du trafic ;

C : facteur de cumul.

$$C= [(1+\tau)^p -1] / \tau \quad (V.2)$$

τ : Taux de croissance du trafic ;

p : nombre d'années de service (durée de vie) de la chaussée.

V.5.2. Le climat et Environnement

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations.

L'amplitude des variations de température et la température maximum interviennent dans le choix du liant hydrocarboné.

Les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support et donc sa portance ainsi que les possibilités de réemploi des matériaux de déblai en remblai [15].

V.5.3. Le sol support

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate-forme support de chaussée » constitue du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme [15].

Les plates-formes sont définies à partir :

- De la nature et de l'état du sol ;
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

V.5.4. Les matériaux

Les matériaux utilisés doivent être conformes aux exigences en fonction de la couche de chaussée concernée et du trafic **PL**.

V.6. Différents méthodes de dimensionnement

On distingue deux familles des méthodes [16]:

- ➡ Celle qui utilise la structure de la chaussée à travers un modèle mécanique pour la détermination des contraintes et déformations, cette méthode est dite « **rationnelle** » ;
- ➡ L'autre qui consiste à observer le comportement sous trafic des chaussées (réelles ou expérimentales) et d'en déduire les règles pratiques du dimensionnement, et c'est la méthode « **empirique** ».

Cette dernière contient elle-même les méthodes suivantes :

- La méthode de **C.B.R** (California -Bearing - Ratio) ;
- Méthode **A.A.S.H.O** (American association of state highway officials) ;
- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (**CTTP**).

V.6.1. La méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio)

C'est une méthode (semi-empirique), elle se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol-support. Les abaques qui donnent l'épaisseur «**e**» des chaussées en fonction des pneus et du nombre de répétitions des charges, tout en tenant compte de l'influence du trafic [16].

L'épaisseur de la chaussée est calculée par les formules suivantes :

Pour un trafic routier léger (**10⁵** tonne par mètre de largeur et par ans).

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (V.3)$$

L'influence du trafic ne doit pas être négligée dans le dimensionnement du corps de chaussée, Nous en tiendrons donc compte dans la formule améliorée par (Peltier) :

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \left[75 + 50 \log \left(\frac{N}{10} \right) \right]}{I_{CBR} + 5} \quad (V.4)$$

e : épaisseur (cm).

I_{CBR} : indice CBR (sol support).

N : nombre de véhicule par jour.

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

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e_{\text{équivalente}} = C_1 \times e_1 + C_2 \times e_2 + C_3 \times e_3 \quad (V.5)$$

Où :

C_1, C_2, C_3 : coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

► Coefficient d'équivalence

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

Tableau. V. 2: Coefficient d'équivalence en fonction de matériaux utilisés.

MATERIAUX UTILISEES	COEFFICIENT D'EQUIVALENCE
Béton bitumineux – enrobé dense	2.00
Grave bitume	1.20 à 1.70
Grave ciment	1.5
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse – T.V.O	0.75
Sable	0.50
Tuf	0.60

V.6.2. Méthode 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 [16] :

- ✓ 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.

V.6.3. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)

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 la zone climatique ».

Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction de cela on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée [16].

La Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode basée sur deux approches :

- ✚ Approche théorique ;
- ✚ Approche empirique.

V.6.3.1. Détermination de la classe de trafic :

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

Pour le calcul du dimensionnement proprement dit, il faudra calculer le trafic cumulé en essieux équivalent de 13 tonnes (TCE_i), ce qui fait intervenir la notion d'agressivité des poids lourds [14].

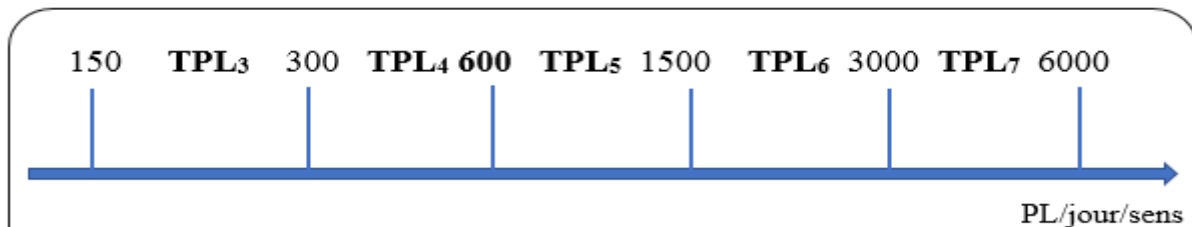


Fig. V. 5: présentation de classe TPL_i pour RP1

- Pour le réseau principal (RP2)

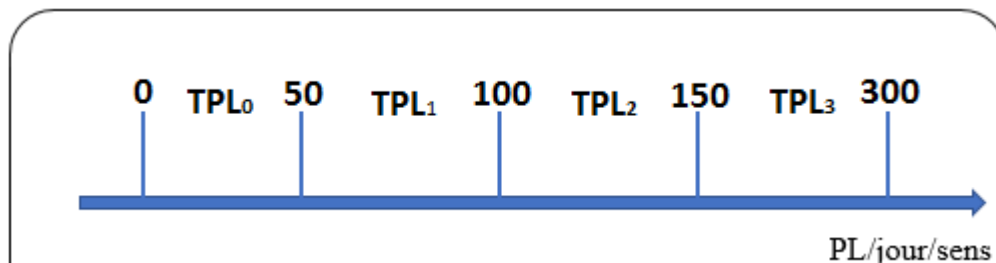
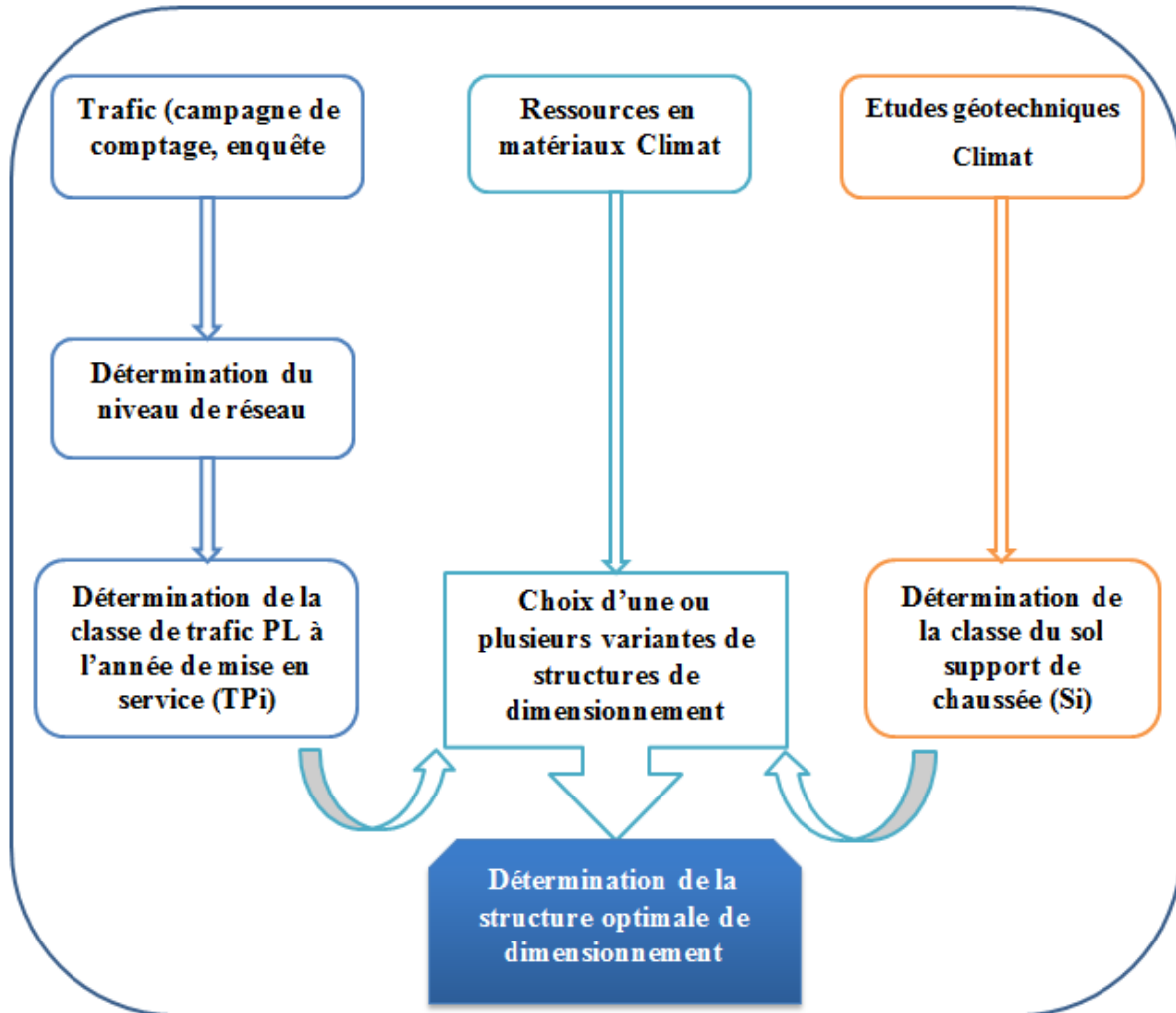


Fig. V. 6: présentation de Classe TPL_i pour RP2

V.6.3.2. Détermination des classes de portance de sols

Le tableau (Tableau.IV.4) dans le chapitre précédent « étude géotechnique routier » regroupe les classes des sols par ordre croissant de S0 à S4.

Schema represente Les dimarche de catalogue



V.7. Application au projet

Afin d'optimiser le dimensionnement du corps de chaussée nous allons procéder conjointement à deux méthodes à savoir :

- Méthode **CBR** (California Bearing Ratio).
- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (**CTTP**).

La chaussée de notre route est de type « chaussée souple » caractérisée par les matériaux de concassage pour les différentes couches en (GNT / GB / BB).

1. La méthode C.B.R

Cette méthode basée sur l'essai CBR (imbibition de 04 jours pour notre cas)

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

Avec :

$I_{CBR} = 10$ KN. (Sol appartient à la classe S3)

Log : logarithme décimal

P : charge maximale par roue (6.5 tonne)

$N = TJMA = T_H \times PL\%$

T_H : trafic prévu pour une durée de 20 ans

$TJMA_{2040} = 14773$ v/j. (Avec poids lourds : 25%)

$N = (TJMA_{2040} \times PL)/2$

$N = (14773 \times 0.25)/2 = 1846.62$ PL/j/sens.

Donc :

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5} \left[75 + 50 \log \left(\frac{1846.62}{10} \right) \right]}{10 + 5}$$

On prend :

$$e = 38.67 \approx 40$$

Epaisseur équivalente :

Pour proposer le dimensionnement de la structure de notre chaussée, il nous faut résoudre l'équation suivante :

$$e_{\text{équivalente}} = (C_1 \times e_1) + (C_2 \times e_2) + (C_3 \times e_3)$$

e : Epaisseur réelle de la couche de (surface, base, fondation)

C : Coefficients d'équivalence respectivement des matériaux des couches « **e** »

Généralement les épaisseurs adoptées sont :

6 - 8 cm: couche de roulement en **B.B**

10 - 20 cm: couche de base en **G.B**

15 - 25 cm : couche de fondation en **G.N.T**

$$(C_1 \times e_1) + (C_2 \times e_2) + (C_3 \times e_3) = 40 \text{ cm}$$

Pour le calcul de l'épaisseur de la chaussée on fixe « e_1 » et « e_2 » et on calcule « e_3 »

$$6 \times 2 + 11 \times 1.2 + 15 \times 1 = 40.2 \text{ cm}$$

Couches	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
BB	6	2	12
GB	11	1.2	13.2
GNT	15	1	15
Total	32	/	40.2



Fig. V. 7: représentation des épaisseurs des différentes couches selon CBR

2. Méthode de catalogue des chaussées Neuves (CTTP)

Les paramètres utilisés dans la méthode du catalogue des chaussées sont (trafic, sol support, Environnement et zone climatique).

2.1. Détermination de la classe de trafic TPLi

Réparation transversale de trafic

Chaussée unidirectionnelle à deux voies : 25% du trafic PL sur la voie lente de droit.

$$TPL_i = (6742 / 2) \times 0.25 = 842.75$$

Donc

Trafic poids lourds : **TPL** est compris entre 600 et 1500

Donc la classe de trafic est : **TPL₅**

2.2. Détermination de la classe du sol

$$I_{CBR} = 10 \rightarrow I_{CBR} (5 - 10)$$

Donc : Le sol est classe sur la classe S 3.

2.3. Zone climatique

« La route est classée dans La zone climatique III (Laghouat) ».

Détermination de l'épaisseur :

Par conséquent d'après les fiches structures pour le **RP1** on obtient la structure suivante :

08 cm : couche de roulement en **B.B**

12 cm : couche de base en **G.B**

15 cm : couche de fondation en **G.N.T**



Fig. V. 8: représentation des épaisseurs des différentes couches selon **CTTP**

V.8. Conclusion

Les deux méthodes de dimensionnement utilisées étant empiriques ce qui explique. Ces différences et ces distorsions en matière d'épaisseur, aussi par souci de stabilité et de sauvegardé un niveau de service acceptable à long terme (pour toute la durée de service).

Méthode	C.B.R	Catalogue des structures
Corps de chaussée	6BB+11GB+15GNT	8BB+12GB+15GNT

On adopte une couche de forme (**TUF**) pour les sols de faible portance de classe « **S3 et S4** ».

Nous optons pour le dimensionnement obtenu par la méthode de **CBR**, et cela pour des raisons d'exécutions et économiques.

Chapitre VI

Ouvrage d'art

VI.1. Introduction

Un ouvrage d'art permet le franchissement d'un oued ou un site très accidenté il permet aussi la réalisation des passages supérieurs ou inférieurs sur autoroute pour le rétablissement des voies des communications [17].

Un ouvrage d'art est constitué d'un tablier reposant sur deux culées avec ou sans appuis intermédiaires (les piles).

Dans notre cas Le pont représente un élément principal qui doit être pré dimensionné de telle façon à assurer :

- ❖ l'écoulement de la circulation ;
- ❖ l'écoulement de l'eau ;
- ❖ le passage à faune.

VI.2. L'exigence fonctionnelle

Ouvrage 1

L'ouvrage à construire est un pont qui sera implanté au côté droit et parallèle au pont existant, ce dernier est un pont mixte à trois poutres avec des entretoises pièces de pont. En fait, il existe un pont qui est en cours de réparation suite à une détérioration causée par la crue d'Oued M' Seka, et d'après le chef de projet de l'entreprise SERO-EST, les travaux de réparation en cours ont pour objet de rétablir la circulation d'une façon provisoire.



Fig. VI. 1: l'emplacement de l'ouvrage neuf

► Profil en long

Le pont est constitué par une travée de longueur de 30 m, cette dernière repose sur deux culées.

► Description de l'ouvrage

L'ouvrage en question est un pont situé dans le tronçon routier de la route nationale RN23 (Oued M'Seka), il se trouve au PK 352+200 il comporte les caractéristiques suivantes :

- ✓ Gabarit : en Algérie il est réglementé que le passage sur une voie expresse doit respecter un gabarit de 5.25 m ;
- ✓ Largeur roulable : $L_R = 7\text{ m}$;
- ✓ Nombre de voies : 2 voies ;
- ✓ Largeur total du pont entre garde-corps est : 10 m ;
- ✓ Longueur total (portée) : $L = 30\text{ m}$ (une portée).

✚ Ouvrage 2

Réalisation d'un passage supérieur au niveau de la station de compression 2 situé au PK 352+400 avec la réalisation des voies de dessertes et bretelles d'entrée et de sortie du dédoublement.



Fig. VI. 2: intersection « station de compression 2 »

VI.3. Choix du type de l'ouvrage

Notre objectif est de déterminer le type d'ouvrage qui apparaît à première vue comme le meilleur et qui fait ensuite l'objet d'étude plus approfondie. C'est une opération de synthèse dans laquelle interviennent de nombreux paramètres.

Plusieurs types sont envisagés, alors on procédera par élimination des ouvrages qui ne répondent pas aux conditions imposées.

VI.3.1. Les ponts en béton armé

On distingue deux catégories de ponts en B.A

VI.3.1.1. Pont à poutres en B.A

Ce type d'ouvrage a été largement employé au début des programmes travaux autoroutiers. Le tablier est constitué de poutres longitudinales, espacées de 3 à 4m, qui sont solidarités entre elles par des entretoises sur appuis en travées, et par un hourdis formant la couche de roulement [17].

a) Les Avantages

- Economique du point de vue de consommation des matériaux ;
- Portée allant de 10 à 20 m ;
- Nécessite un entretien réduit par rapport aux ponts métalliques et mixtes.

b) Les Inconvénients

- Complication des coffrages le rend relativement coûteux en main d'ouvres ;
- Les structures continues sont très rigides et sensibles aux tassements différentiels.

VI.3.1.2. Ponts dalles en B.A

La dalle en B.A est la plus intéressante pour les portées déterminantes allant jusqu'à 15 m, elle peut rester compétitive jusqu'à 18m de portée voir 20 m avec une section transversale en encorbellement latéraux (ce qui permet d'alléger le poids propre) [17].

a) Les Avantages

- Permet le réemploi des coffrages ;
- Coffrage simple ;
- Ne nécessite pas une main d'œuvre hautement qualifiée ;
- Moins épais que les ponts à poutres en B.A ;
- S'adapte mieux pour les ponts biais.

b) Les Inconvénients

- Consomme plus de béton et d'acier par rapport à un pont à poutres en B.A ;
- Portée limité 20m ;
- Echafaudage important ;
- Déconseillé pour les travées continues.

VI.3.2. Les ponts en béton précontraint

La précontrainte est un traitement mécanique qui consiste à produire dans un matériau, avant sa mise en service, des contraintes à celles produites par les charges qui le solliciteront. En béton précontraint, le traitement consiste à pré comprimé certaines zones du béton pour rendre capable de résister à charges extérieures (à la traction).

On distingue deux types de pont en B.P.

VI.3.2.1. Ponts à poutres en B.P

Les poutres sont précontraintes par câbles ou par fils adhérents (post tension ou prétention respectivement). Leur fabrication à terre permet d'économiser souvent onéreuse d'un cintre. Les ponts à poutres en B.P sont de 25 m leur portées les plus économiques se situent entre 30 et 35 m [17].

a) Les Avantages

- Une meilleure utilisation de la manière puisqu'il n'y a pas béton inutile, le béton situé autour des armatures de précontraintes est toujours comprimée, on limite ainsi le risque de corrosion des aciers ;
- L'effort de précontrainte agissant en sens inverse des charges extérieures limitées les déformées ;
- La possibilité d'assembler des éléments préfabriqués sans échafaudages ;
- La possibilité de franchir de plus grandes portées qu'avec des ouvrages en B.A.

b) Les Inconvénients

- La nécessité de fabriquer du béton plus résistant principalement à 28J ;
- La nécessité de disposer d'une personnel de qualité pour la vérification de la pose des gaines et câbles et pour la mise en tension des câbles ;
- L'obligation est d'attendre que la mise en tension soit faite pour pouvoir décintrer ou décoffrer.

VI.3.2.2. Ponts dalle en B.P

La dalle précontrainte est réservée essentiellement pour les passages supérieurs et inférieurs autoroutiers, elle prend le relevé de la dalle dans la gamme de portées de 15 à 23 m environ qui est la portée économique [17].

VI.3.3. Les ponts mixtes

La dalle de découverture participe à la résistance générale, la liaison acier béton est assurée par les connecteurs. Le tablier mixte présente les avantages et les inconvénients [17].

a) Les Avantage

- Légèreté rapportée aux tabliers en béton ;
- La rapidité et simplicité de mise en œuvre, la pose des poutres est généralement plus simple ;
- La simplicité d'usinage des poutres à âmes pleines ;
- La possibilité de franchir de grandes portées.

b) Les Inconvénients

- Matériaux très chers ;
- Surveillance avec visite périodique ;
- Risque de déversement des poutres métalliques ;
- Entretien difficile.

VI.4. Conclusion

Après avoir examiné tous les types d'ouvrages possibles nous avons choisis les variantes suivantes :

- ➡ **Ouvrage 1** (Oued M'Seka) : Ponts à poutres en béton précontraint.
- ➡ **Ouvrage 2** (intersection) : Ponts dalle en précontraint.

Pour tous les avantages économiques, facilitée de constructions et d'entretiens.



Fig. VI. 3 : Vue en plan de l'intersection

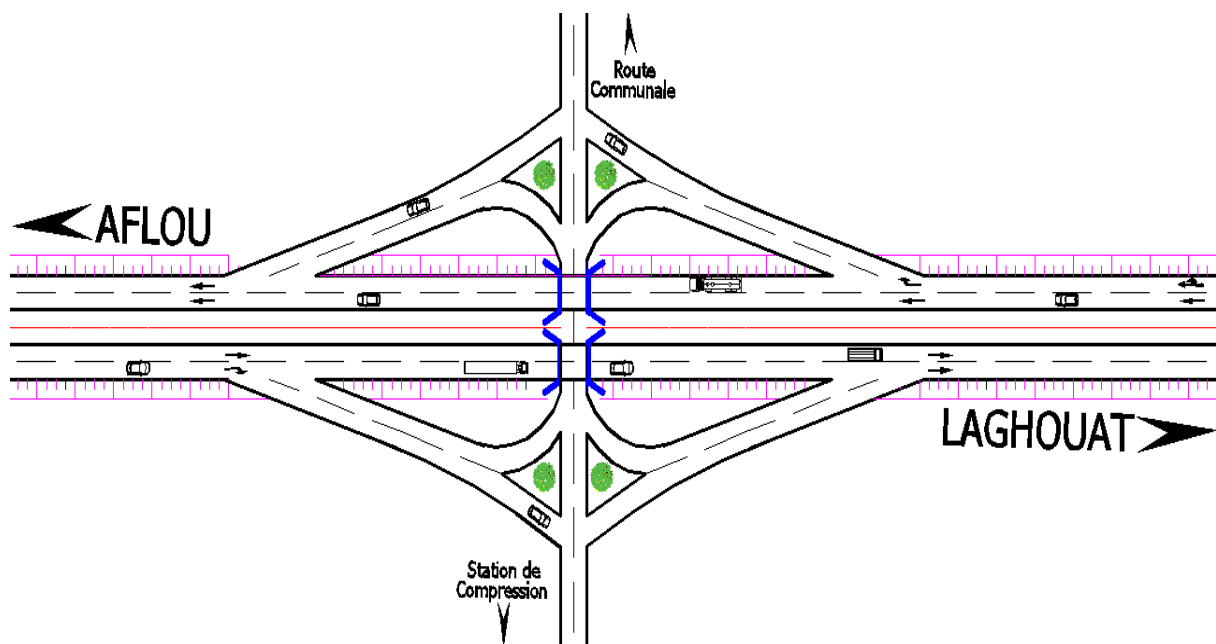


Fig. VI. 4: schéma représentative de l'aménagement routier proposé

Chapitre VII

Assainissement

VII.1. Introduction

L'assainissement routier est une composante essentielle de la conception, de la réalisation et de l'exploitation des infrastructures linéaires.

L'eau est le premier ennemi de la route car elle pose des grands problèmes multiples et complexes sur la chaussée, Ce qui met en jeu l'insécurité de l'usager (glissance, inondation diminution des conditions de visibilité, projection des gravillons par dés enrobage des couches de surface, etc.) et influe sur la pérennité de la chaussée en diminuant la portance des sols de fondation.

Les ruissellements des eaux en surfaces de la route engendre de grave dégât a cause de mauvais drainage et entretien.

Ces dégradations se présentent sous forme de [18]:

a) Pour les chaussées

- ❖ Affaissement (présence d'eau dans le corps de chaussées) ;
- ❖ Dés enrobage ;
- ❖ Nid de poule (dégel, forte proportion d'eau dans la chaussée avec un trafic important) ;
- ❖ Décollement des bords (affouillement des flancs).

b) Pour les talus

- Glissement ;
- Erosion ;
- Affouillements du pied de talus.

VII.2. Objectif d'assainissement

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants [14] :

- ✚ Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning) ;
- ✚ Le maintien de bonne condition de viabilité ;
- ✚ Réduction du coût d'entretien ;
- ✚ Eviter les problèmes d'érosion ;
- ✚ Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers le corps de la chaussée, (danger de ramollissement du terrain sous-jacent et effet de gel).
- ✚ Evacuation des eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme (danger de diminution de l'importance de celle-ci et l'effet de gel).

VII.3. Assainissement de la chaussée

Les ouvrages d'assainissement doivent être conçus afin d'évacuer la chaussée dans des meilleures conditions possibles et avec un moindre coût.

Les ouvrages sous chaussée les plus courants utilisés pour l'évacuation des petits débits sont les dalots et les ouvrages busés.

Parmi les ouvrages destinés à l'écoulement des eaux, on peut citer ces deux catégories [18]:

- ✓ Les réseaux de canalisation longitudinaux (fossés, cuvettes, caniveaux) ;
- ✓ Ouvrages transversaux et ouvrages de raccordement (regards, descente d'eau, tête de collecteur et dalot).

VII.3.1. Fosse de pied du talus de déblai

Ces fossés sont prévus au pied du talus de déblai afin de drainer la plate-forme et les talus vers les exutoires.

Ces fossés sont en terre et de section trapézoïdale .ils seront bétonnés lorsque la pente en profil en long dépasse les 3 % [19].

VII.3.2. Fosse de crête de déblai

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penché vers l'emprise de la chaussée, afin de protéger les talus de déblais des érosions dues au ruissellement des eaux pluviales et d'empêcher ces eaux d'atteindre la plate-forme [19].

VII.3.3. Fosse de pied du talus de remblai

Le fossé est en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement).ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plate-forme et aussi de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée, en remblai, par l'intermédiaire des descentes d'eau [19].

VII.3.4. Drain

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainant longeant de route.

Ce drain est constitué par un matériau graveleux comportant en son centre un tuyau circulaire en plastique perforé à sa génératrice supérieure à 150 mm de diamètre. Ce drain est positionné sous le fossé trapézoïdal et à la limite des accotements.

Les eaux collectées par le drain sont rejetées dans des regards de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet [19].

VII.3.5. Descentes d'eau

Dans les sections route en remblai, lorsque la hauteur de ces remblais dépasse les 2,50 m, les eaux de ruissellement de la chaussée sont évacuées par des descentes d'eau. Elles sont espacées généralement tous les 50 m lorsque la pente en profil en long est supérieure à 1%, lorsque la pente est inférieure à 1 %, leur espacement varie entre 30 m et 40 m (Fig. VII.1) [19].

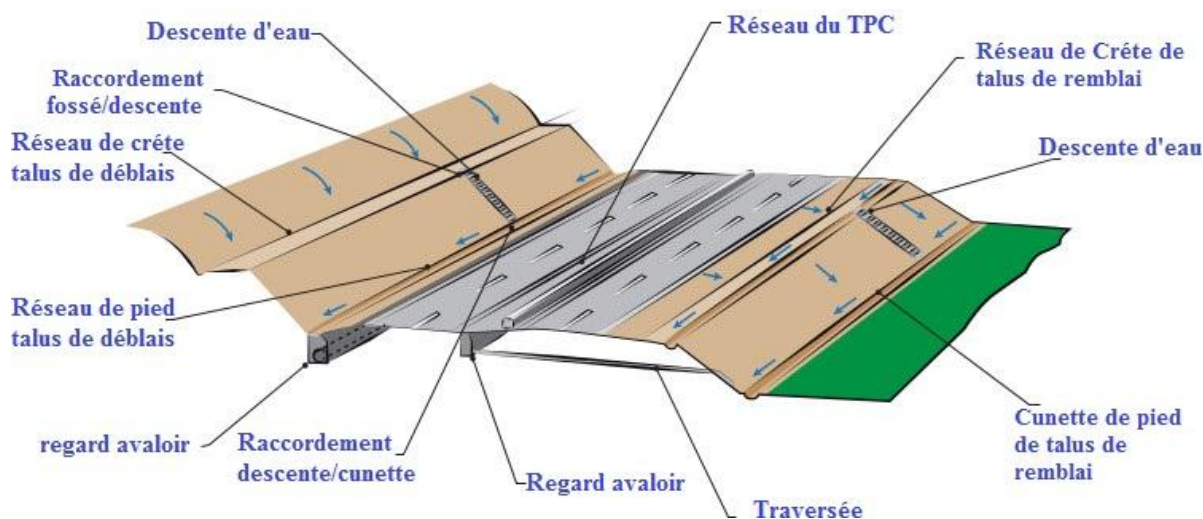


Fig. VII. 1: Situation des réseaux d'assainissement d'une route

VII.4. Définition des termes hydrauliques

a) Collecteur principal (canalisation)

C'est la Conduite principale récoltant les eaux des autres conduites (dites collecteurs secondaires), recueillant directement les eaux superficielles ou souterraines.

b) Chambre de visite (cheminée)

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre leur contrôle et le nettoyage.

Les chambres de visites sont à prévoir aux changements de calibre, de direction ou de pente longitudinale de la canalisation, aussi qu'aux endroits où deux collecteurs se rejoignent.

Pour faciliter l'entretien des canalisations, la distance entre deux chambres consécutives ne devrait pas dépasser 80 à 100m [17].

c) Sacs

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre l'introduction des eaux superficielles. Les sacs sont fréquemment équipés d'un dépotoir, destiné à retenir des déchets solides qui peuvent être entraînés, par les eaux superficielles [17].

d) Fossés de crêtes

C'est un outil construit à fin de prévenir l'érosion du terrain au cours des pluies.

e) Descente d'eau

Elle draine l'eau collectée sur les fossés de crêtes.

f) Bassin versant

C'est un secteur géographique qui est limité par les lignes de crêtes ou lignes de rencontre des versants vers le haut, où la surface totale de la zone susceptible d'alimenter en eau pluviale, d'une façon naturelle, une canalisation en un point considéré (Fig. VII.2) [17].

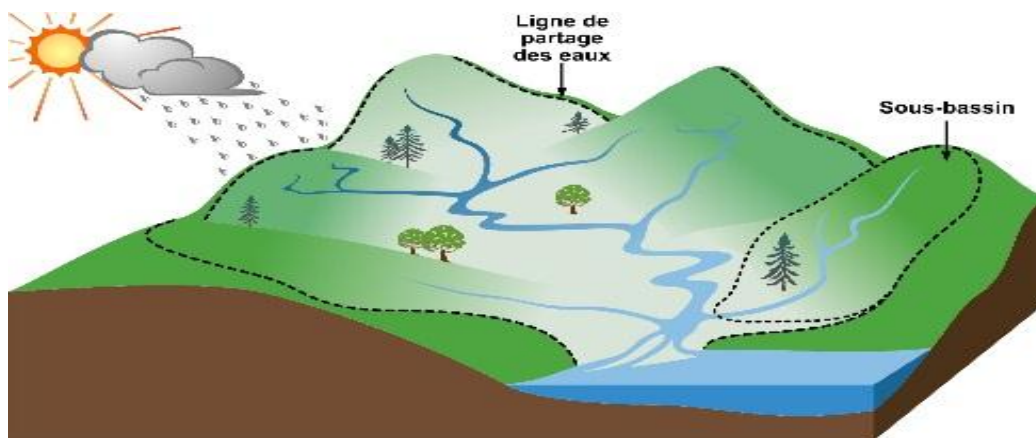


Fig. VII. 2: schéma bassin versant

VII.5. Choix des ouvrages d'assainissement

Le choix des ouvrages d'évacuation des eaux superficielles doit s'appuyer sur les deux principes de base suivante [18]:

- L'utilisation d'ouvrage superficiel dont les coûts d'investissement et d'entretiens est plus faible que ceux des ouvrages enterrés ;
- Rejeter les eaux hors de la plate-forme chaque fois que cela est possible, afin de diminuer les déblais de transit.

En général les ouvrages d'évacuations des eaux superficielles ou sous chaussée sont nombreux, parmi lesquels ceux qui ont traversé notre route sont les suivantes :

- ↗ les fossés ;
- ↗ les buses ;
- ↗ les dalots.

VII.5.1. Les dalots

Les dalots ont le même rôle que les buses, ils servent à évacuer les eaux sous chaussée, leurs dimensions aussi varient suivant l'importance de la profondeur du bassin versant, généralement ils sont rectangulaires ou carrés (Fig. VII.3).

VII.5.2. Les buses

Sont des conduites de forme cylindrique ou ovale, généralement faite de béton, de métal ou de PVC laissant circuler l'eau sous une route, une voie ferrée ou toute autre structure. Dans cette application voir (Fig. VII.4).

VII.5.3. Les Fossés

Ces sont des tranchées creusées en longueur dans le sol et servent à délimiter les terrains ou à l'écoulement de l'eau de ruissellement ils sont proposés de forme trapézoïdale (Fig. VII.5).



Fig. VII. 3: dalot type portique



Fig. VII. 4: buse en béton



Fig. VII. 5: fossé coulé sur place

Note :

- ❖ Les buses seront dimensionnées pour une période de retour 10 ans ;
- ❖ Les ponceaux (dalots) seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans ;
- ❖ Les ponts seront dimensionnés pour une période de retour 100 ans.

VII.6. Critère de choix

Le choix d'un ouvrage d'assainissement doit principalement reposer sur 4 critères [18] :

- + Sa capacité hydraulique ;
- + Son insertion dans le profil en long et le profil en travers du projet routier, donc sa géométrie prend en compte l'aspect sécurité de l'utilisateur ;
- + Sa facilité d'entretien et d'exploitation des ouvrages.

VII.7. Protection Contre La Nappe Phréatique

La construction d'une chaussée modifie la teneur en eau du sol sous-jacent, car le revêtement diminue l'infiltration et l'évaporation.

Si le niveau de la nappe phréatique est proche de la surface, la teneur en eau du sol tend vers un état d'équilibre dont la portance finale dépend [19].

Lorsque cette dernière est faible, on pourra :

- ❖ soit dimensionner la chaussée en conséquence ;
- ❖ soit augmenter les caractéristiques de portance du sol en abaissant le niveau de la nappe phréatique ou en mettant la chaussée en remblai.

Le choix de l'une ou l'autre de ces trois solutions dépend :

- ✓ des possibilités de drainage du sol (coefficient de perméabilité) ;
- ✓ de l'importance des problèmes de gel ;
- ✓ de leurs coûts respectifs.

Il n'est pas nécessaire, en général, d'assurer le drainage profond d'une grande surface car un bon nivellement et un réseau de drainage superficiel convenablement conçu suffisent à garantir un comportement acceptable des accotements.

VII.8. Dimensionnement des ouvrages d'évacuations

La méthode de dimensionnement consiste à choisir un ouvrage, sa pente puis à vérifier sa capacité à évacuer le débit d'apport, et pour cela on utilise la formule :

$$Q_a = Q_s \quad (\text{VII.1})$$

Q_a : débit d'apport en provenance du bassin (m³/s).

Q_s : débit d'écoulement au point de saturation (m³/s).

VII.8.1. Le débit d'apport

Le débit d'apport est évalué à l'aide de la formule rationnelle suivante :

$$Q_a = K \times C \times I_t \times A \quad (\text{VII.2})$$

Avec:

Q_a : débit d'apport en provenance du bassin versant (m³/s) ;

K : coefficients de rugosité K= 0.277 ;

C : coefficient de ruissellement sans dimension ;

I_t : l'intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h) ;

A : l'aire du bassin versant (ha ou Km²).

Note :

D'après SETRA : la formule **Q_a = K×C×I_t×A** est empirique, elle a été faite pour les unités suivantes :

↳ **Q_a** en (m³/s) valable pour : **I_t** en (mm/h) ; **A** en (km²) ; **K= 0.2778**

↳ **Q_a** en (L/s) valable pour : **I_t** en (mm/h) ; **A** en (ha) ; **K= 2.778**

a) Coefficient de ruissellement « C » :

Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisées par rapport à la surface drainée, Il peut être choisi suivant le tableau ci-après :

Tableau. VII. 1: Coefficient de ruissellement« C ».

Type de chaussée	Coefficient « C »	Valeurs prise
Chaussée revêtue en enrobé	0.8 à 0.95	0.95
Accotement (sol légèrement perméable)	0.15 à 0.40	0.35
Talus, sol perméable	0.10 à 0.30	0.25
Terrain naturel	0.05 à 0.20	0.20

b) L'intensité de la pluie I_t :

$$I_t = I \times \left(\frac{tc}{24}\right)^{-0.64} \quad (\text{VII.3})$$

Avec :

I : intensité horaire (mm/h)

$$I = \left(\frac{Pj(\%)}{t}\right) \quad (\text{VII.4})$$

t = 24h

Pj : Pluie journalière maximal annuelle

$$P_j (\%) = \frac{P_{j_{moy}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \cdot e^{u\sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \quad (\text{VII.5})$$

Avec:

Pj_{moy}: pluie moyenne maximum journalière ;

Cv : coefficient de variation climatique.

U : variation de Gauss, donnée par le tableau suivant:

Tableau. VII. 2: Variation de Gauss « u ».

Fréquence au dépassement (%)	50	20	10	5	2	1
Période de retour (années)	2	5	10	20	50	100
Variable de GAUSS (U)	0	0.841	1.282	1.645	2.057	2.327

tc : temps de concentration (heure)

Dépendant des caractéristiques du bassin drainé, le temps de concentration est estimé respectivement comme suit :

► lorsque $A < 5 \text{ km}^2$: $\Rightarrow \quad tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{p}}$

► lorsque $5 \text{ km}^2 \leq A < 25 \text{ km}^2$: $\Rightarrow \quad tc = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{p}}$

► lorsque $25 \text{ km}^2 \leq A < 200 \text{ km}^2$: $\Rightarrow \quad tc = \frac{4 \times \sqrt{A}}{0.8} + \frac{1.5L}{\sqrt{H}}$

Avec:

A: aire du bassin versant (km^2) ;

P : Pente moyenne du bassin versant (m/m) ;

L : Longueur de bassin versant (km) ;

H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

c) Surface des bassins versants (A) :

Les bassins des différents écoulements présentent des surfaces peu importantes. Les principales caractéristiques des bassins peuvent être déterminées :

- Les surfaces A sont mesurées en planimétrie en **Km²**.

- Les longueurs de talweg principal L sont mesurées au curvimètre en **Km**
- La pente P est calculée en faisant le rapport de la dénivelée du talweg par longueur Len **m/m**.

VII.8.2. Débit de saturation

Le débit de saturation est donné par la formule de Manning- Strickler :

$$Q_S = S_M \times K_{ST} \times R_H^{2/3} \times J^{1/2} \quad (\text{VII.6})$$

Avec:

S : section mouillée ;

KST : coefficient de STRICKLER ;

KST = 70 pour les dalots ;

KST = 80 pour les buses ;

RH: rayon hydraulique (m) $R = S/p$;

J: la pente moyenne de l'ouvrage.

VII.9. Application au projet

Vu l'absence des données pluviométrique (la pluie journalière moyenne, le coefficient de variation et l'exposant climatique de la région), on propos pour le nouveau projet garder le même mode d'ouvrage notamment au niveau de la zone traverse par des « Chaabas », et des « Gueltas ».

Les ouvrages d'assainissement existant dans l'ancienne voie sont :

Ouvrage N°	Endroit des ouvrages (PK)	Type de l'ouvrage	Dimension
1	Pk 352+700	Ouvrage busé	Ø 800 mm
2	Pk 351+900	Ouvrage busé	Ø 800 mm
3	PK 351+200	Ouvrage d'art M'Seka	30 m de portée
4	PK 350+900	Ouvrage busé	Ø 1000 mm
5	PK 349+500	Ouvrage dalot	2× (2×1.5) m
6	PK 348+700	Ouvrage busé	2×Ø 800 mm
7	PK 346+600	Ouvrage busé	Ø 800 mm
8	PK 346+500	Ouvrage busé	Ø 800 mm

Pour l'assainissement transversal de la nouvelle structure (deux voies séparée) nous avons projeté :

- ➡ Prolonger les ouvrages existants sous le terre-plein central (TPC) et sous la nouvelle voie sur **30 m** de longueur total;

Pour l'assainissement longitudinal de la nouvelle double voie nous avons projeté :

- ➡ Des fossés trapézoïdaux en terre et en béton légèrement armé on propos la dimension la plus courant de **0.5m** de large (b) **et** **0.5m** de profondeur (h) et la pente du talus (B) à **(1/n =1/1.5)** dirigé vers les collecteurs situent sur les accotements pour assurer l'écoulement des eaux vers les ouvrages d'assainissement.

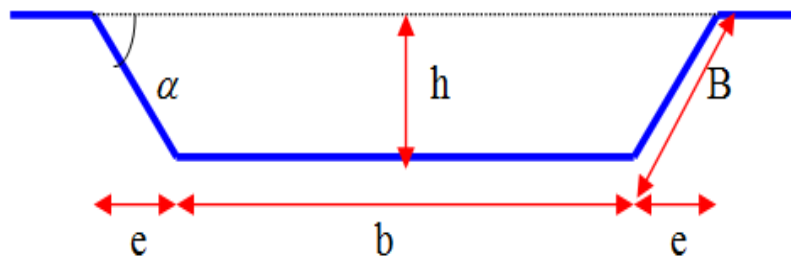


Fig. VII. 6: les dimensions de fossé

CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Pour assurer la sécurité, le confort et le bon service des usagers, la construction des routes suit un ensemble de normes et de réglementations qui mène à une bonne réalisation. En fait, La route nationale n°23 qui relie entre Laghouat et Aflou a subi plusieurs opérations de réparation de corps de la chaussée vu l'âge de la route, de plus, elle n'est pas construite suivant aux normes prescrites bien qu'elle contienne des virages dangereux et de chaussée d'une largeur insuffisante qui sont les causes principales des accidents dont leur nombre s'augmente jour après jour, ce qui implique qu'il y a absolument une nécessité de réaliser le dédoublement de la route. A cette raison, et vu l'importance du projet, on a choisi d'étudier un tronçon de dédoublement de Pk 346 à 353 pour trouver des solutions aux problèmes rencontrés à partir des données préalables de l'ancienne route.

Le but de notre travail a consisté d'améliorer les conditions de sécurité et de confort afin de limiter le nombre d'accidents d'une part, et d'augmenter la capacité de la circulation d'une autre part, tout en suivant dans l'étude les étapes d'élaboration d'un projet routier.

On a débuté, pour déterminer la géométrie de la route, par l'étude de trafic qui permet de calculer la capacité et le nombre de voie de la route en question. Par la suite, on a étudié le tracé en plan, profil en long et les profils en travers, ces derniers, nous fournis les cubatures des terres. Ensuite, on a dimensionné le corps de la chaussée qui va supporter le trafic. Et vu l'existence d'une intersection de la route principale avec une route qui mène à la station de compression 2, on a proposé une solution pour le passage supérieur de la RN23. Et dans le même contexte, nous avons recommandé à des rectifications dans les virages au niveau de la route existante, et de déraser les obstacles naturels.

Dans notre démarche d'étude nous avons essayé de respecter toutes les contraintes et les normes existantes que nous ne pouvons pas négliger.

Il était pour nous une part l'occasion de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet de domaines de travaux publics.

En outre, ce travail de fin d'études nous a permis d'appliquer nos connaissances théoriques requise pendant le cycle de formation et de mieux maîtriser les logiciels tels que «AUTOCAD» et «COVADIS».



BIBLIOGRAPHIE



Bibliographie

- [1] : **Direction de Travaux Public.** (2015). *Rapport d'étude technique de l'Avant-Projet Sommaire de la RN23*, Laghouat.
- [2] : MOUADENE, M et OULAD, S. (juin 2016). *Etude d'un tronçon de dédoublement de la RN 01 entre le commun Bouzbayar et le cheffe lieu de Laghouat (du PK 516 au PK 522)*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de master, Université kasdi merbah, Ouargla.
- [3] : SETRA. (Mai 1992). *Guide des études de trafic interurbain*, Bagneux, France.
- [4] : MEKADDEM, A et GOURARI, A. (juin 2014). *Réhabilitation de la route nationale N97 entre Sidi Bel Abbes et Mascara*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de master, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.
- [5] : **Direction de Travaux Public.** (2015). *Rapport préliminaire d'étude du trafic de la RN23*, Laghouat.
- [6] : Direction des études générales et de la réglementation technique. (Octobre 1977). *B40, Normes technique d'aménagement des routes*, Hydra : Alger.
- [7] : BANNOUR, A. (2014). *Cours des constructions routières*.
- [8] : SETRA. (Aout 1994). *Guide Technique d'aménagement des routes principale*, paris/France.
- [9] : LCPC; SETRA. (juillet 2000). *Guide technique. Réalisation des remblais et des couches de forme fascicule 1et2, 2éme édition*, Paris : Bagneux.
- [10] : LCPC; SETRA. (juin 1986). *Conception et réalisation des terrassements fascicule 3 : méthodes d'essais*, Paris : Bagneux.
- [11] : Guide pour l'usage des projeteurs. *Les études de géotechnique routière relatif aux plates-formes et aux chaussées*, volume 1.
- [12] : SETRA ; ICTAAL. (2000). *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison*, Paris : Bagneux.
- 



[13] : Laboratoire des Travaux Publics du Sud. (2015). *Rapport d'étude géotechnique de la RN23*, Laghouat.

[14] : KRIM, M. (juin 2014). *Étude du dédoublement routier de la RN47 sur 08km entre la ville d'ELBAYADH et centre universitaire*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de master, Université kasdi merbah, Ouargla.

[15] : LCPC ; SETRA. (1998). *catalogue des structures type des chaussées neuves*, ministres de l'équipement des transports et du logement, Paris : Bagneux.

[16] : BABILOTTE, C et SOULIE, C. (2009). *Guide Technique de dimensionnement des structures de chaussées neuves et élargissements des voies Fascicule 2*, Lyon : France.

[17] : BOUKHARI, Z et BENGUIZA, M. (2007). *étude du dédoublement de la RN01 de la wilaya de Djelfa sur 25 km*, mémoire de fin d'étude pour l'obtention Ingénieur d'état en Travaux Publics, E.N.T.P– GARIDI (01), Kouba : Alger.

[18] : LCPC ; SETRA. (2006). *Guide Technique de l'Assainissement Routier*, France.

[19] : SETRA. (Février 1993). *Aide aux choix solutions d'assainissement et de drainage sur les routes existantes*, Paris : Bagneux.



ANNEXES

ANNEXE 1

RECAPITULATIF DES CUBATURES « DEBLAI-REMBLAI » PAR PROFIL – ROUTE 1

Méthode : Linéaire

Prf.n°	Abs	Longueur d'application	Déblai			Remblais		
			Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)
P1	16,14	19,89	0,02	0,67	0,67	2,56	50,87	50,87
P2	55,91	43,98	0,88	35,21	35,87	6,58	289,34	340,20
P3	104,10	45,04	5,79	235,48	271,35	10,57	476,24	816,45
P4	145,99	40,65	8,29	327,97	599,33	13,30	540,55	1357,00
P5	185,41	40,89	9,51	356,49	955,81	15,23	622,90	1979,90
P6	227,78	40,88	8,86	325,31	1281,12	18,05	737,91	2717,80
P7	267,16	41,45	9,37	360,03	1641,15	14,41	597,48	3315,29
P8	310,68	42,71	5,80	225,29	1866,43	10,67	455,64	3770,93
P9	352,57	41,37	3,39	124,52	1990,96	7,29	301,41	4072,34
P10	393,43	40,19	1,52	37,53	2028,49	1,20	48,20	4120,54
P11	432,96	39,83	1,21	32,35	2060,84	0,56	22,36	4142,90
P12	473,09	40,64	0,59	25,35	2086,19	0,09	3,69	4146,59
P13	514,25	39,57	0,41	17,39	2103,58	0,09	3,52	4150,12
P14	552,23	37,48	1,14	44,69	2148,27	0,09	3,27	4153,38
P15	589,22	36,71	0,07	2,86	2151,13	0,09	3,27	4156,65
P16	625,65	38,41	0,08	3,93	2155,06	0,10	3,68	4160,34
P17	666,04	38,84	1,81	92,33	2247,39	0,09	3,51	4163,85
P18	703,34	36,72	8,49	361,09	2608,48	0,20	7,27	4171,12
P19	739,48	24,61	18,01	743,30	3351,78	0,60	14,89	4186,01
P20	752,56	26,66	28,36	1077,35	4429,13	3,99	106,43	4292,45
P21	792,79	42,73	39,39	1515,24	5944,36	1,16	49,43	4341,87
P22	838,03	42,40	53,19	2193,51	8137,87	0,52	22,23	4364,10
P23	877,59	39,29	67,57	2987,95	11125,82	0,35	13,70	4377,80
P24	916,60	39,10	83,26	3468,45	14594,27	0,85	33,24	4411,04
P25	955,78	49,92	94,93	3487,10	18081,37	1,34	66,97	4478,01
P26	1016,43	50,93	105,35	3987,41	22068,77	0,26	13,45	4491,46
P27	1057,63	42,51	112,31	4394,70	26463,47	0,09	3,80	4495,26
P28	1101,46	41,28	110,68	4487,95	30951,42	0,09	3,52	4498,78
P29	1140,18	37,99	102,03	4118,61	35070,02	0,09	3,32	4502,09
P30	1177,44	38,47	88,35	3287,63	38357,66	0,09	3,33	4505,42
P31	1217,12	41,24	72,45	2600,70	40958,36	0,09	3,57	4508,99
P32	1259,91	44,22	48,05	1597,15	42555,51	0,09	3,81	4512,80
P33	1305,56	41,66	47,02	1418,29	43973,80	0,09	3,58	4516,38
P34	1343,23	36,73	44,15	1501,25	45475,05	0,08	3,12	4519,50
P35	1379,03	37,85	11,76	437,53	45912,59	0,09	3,36	4522,86
P36	1418,92	39,13	0,00	0,00	45912,59	0,09	3,48	4526,34
P37	1457,29	40,55	0,00	0,00	45912,59	0,09	3,79	4530,14
P38	1500,02	40,37	0,00	0,00	45912,59	0,09	3,57	4533,71
P39	1538,02	37,21	0,00	0,00	45912,59	0,08	3,05	4536,76
P40	1574,44	35,90	0,00	0,00	45912,59	0,09	3,36	4540,11
P41	1609,82	33,24	0,00	0,00	45912,59	0,09	3,15	4543,26
P42	1640,92	30,16	0,00	0,00	45912,59	0,10	2,87	4546,12
P43	1670,14	34,00	0,00	0,00	45912,59	0,09	3,23	4549,35
P44	1708,93	37,21	0,00	0,00	45912,59	0,10	3,55	4552,90
P45	1744,55	34,97	0,00	0,00	45912,59	1,27	44,30	4597,20
P46	1778,86	32,83	0,00	0,00	45912,59	12,89	423,28	5020,49
P47	1810,20	35,03	0,00	0,00	45912,59	25,99	910,39	5930,88
P48	1848,93	36,71	0,00	0,00	45912,59	45,93	1685,89	7616,77

ANNEXE 1

P49	1883,61	36,32	0,00	0,00	45912,59	65,41	2375,86	9992,62
P50	1921,57	34,88	0,00	0,00	45912,59	79,81	2783,33	12775,96
P51	1953,37	31,57	0,00	0,00	45912,59	87,55	2764,35	15540,31
P52	1984,72	34,49	0,00	0,00	45912,59	129,20	4455,78	19996,09
P53	2022,34	36,48	0,00	0,00	45912,59	184,00	6711,55	26707,64
P54	2057,68	31,46	0,00	0,00	45912,59	200,09	6295,58	33003,22
P55	2085,27	30,57	0,00	0,00	45912,59	210,54	6437,16	39440,38
P56	2118,83	32,08	0,00	0,00	45912,59	211,33	6778,94	46219,32
P57	2149,43	29,91	0,00	0,00	45912,59	273,64	8184,87	54404,19
P58	2178,65	24,36	0,00	0,00	45912,59	279,75	6813,80	61217,99
P59	2198,14	28,22	0,00	0,00	45912,59	228,85	6458,55	67676,55
P60	2235,09	35,78	0,00	0,00	45912,59	237,61	8501,82	76178,37
P61	2269,70	35,03	0,00	0,00	45912,59	236,35	8279,74	84458,11
P62	2305,16	36,62	0,00	0,00	45912,59	239,76	8780,11	93238,22
P63	2342,94	36,74	0,00	0,00	45912,59	243,00	8926,69	102164,91
P64	2378,63	39,09	0,00	0,00	45912,59	240,81	9412,34	111577,26
P65	2421,11	39,88	0,00	0,00	45912,59	224,53	8954,11	120531,36
P66	2458,39	37,75	0,00	0,00	45912,59	199,86	7545,43	128076,79
P67	2496,62	41,52	0,00	0,00	45912,59	189,49	7866,78	135943,57
P68	2541,42	43,24	0,00	0,00	45912,59	160,58	6942,87	142886,44
P69	2583,09	39,88	0,00	0,00	45912,59	149,60	5966,56	148853,01
P70	2621,19	38,88	0,00	0,00	45912,59	133,52	5191,89	154044,90
P71	2660,86	39,07	0,00	0,00	45912,59	121,09	4730,34	158775,25
P72	2699,32	39,08	0,00	0,00	45912,59	113,79	4447,26	163222,51
P73	2739,02	34,28	0,00	0,00	45912,59	104,13	3569,99	166792,50
P74	2767,89	28,91	0,00	0,00	45912,59	99,81	2885,17	169677,67
P75	2796,84	35,02	0,00	0,00	45912,59	97,36	3409,14	173086,81
P76	2837,92	38,55	0,00	0,00	45912,59	94,71	3651,24	176738,04
P77	2873,94	34,34	0,00	0,00	45912,59	86,62	2974,17	179712,21
P78	2906,59	31,67	0,00	0,00	45912,59	64,28	2035,88	181748,09
P79	2937,28	39,67	0,00	0,00	45912,59	73,67	2922,47	184670,55
P80	2985,93	38,96	0,00	0,00	45912,59	73,31	2856,09	187526,64
P81	3015,20	36,15	0,00	0,00	45912,59	73,20	2646,41	190173,05
P82	3058,23	42,30	0,00	0,00	45912,59	70,32	2974,82	193147,87
P83	3099,80	40,06	0,38	13,01	45925,60	65,54	2625,82	195773,68
P84	3138,36	38,16	2,38	86,03	46011,64	63,65	2428,82	198202,50
P85	3176,12	37,25	2,04	85,82	46097,46	61,18	2278,71	200481,22
P86	3212,85	38,82	1,00	42,21	46139,67	53,29	2068,90	202550,12
P87	3253,76	39,41	0,00	0,00	46139,67	43,41	1710,83	204260,95
P88	3291,68	38,79	0,00	0,00	46139,67	33,84	1312,65	205573,60
P89	3331,35	39,39	0,00	0,00	46139,67	26,38	1038,94	206612,54
P90	3370,45	40,12	0,00	0,00	46139,67	17,45	700,06	207312,60
P91	3411,59	35,92	0,00	0,00	46139,67	9,40	337,59	207650,19
P92	3442,29	33,82	0,00	0,00	46139,67	2,63	88,87	207739,06
P93	3479,24	36,18	0,00	0,00	46139,67	0,99	35,71	207774,77
P94	3514,65	41,97	0,00	0,00	46139,67	1,50	63,13	207837,91
P95	3563,19	42,02	0,00	0,00	46139,67	2,15	90,56	207928,47
P96	3598,69	38,55	0,00	0,00	46139,67	3,83	147,74	208076,20
P97	3640,29	39,80	0,00	0,00	46139,67	15,23	606,31	208682,52
P98	3678,30	40,13	0,00	0,00	46139,67	28,74	1153,49	209836,01
P99	3720,56	41,24	0,00	0,00	46139,67	44,91	1852,39	211688,40
P100	3760,79	41,18	0,00	0,00	46139,67	59,36	2444,40	214132,80
P101	3802,91	38,04	0,00	0,00	46139,67	66,74	2538,63	216671,42
P102	3836,86	31,95	0,00	0,00	46139,67	70,28	2245,24	218916,66
P103	3866,81	36,02	0,00	0,00	46139,67	74,11	2669,55	221586,21

ANNEXE 1

P104	3908,91	40,44	0,00	0,00	46139,67	58,01	2345,82	223932,03
P105	3947,69	38,37	0,00	0,00	46139,67	57,03	2188,66	226120,69
P106	3985,66	39,05	0,00	0,00	46139,67	62,97	2458,50	228579,19
P107	4025,78	35,40	0,00	0,00	46139,67	69,10	2445,91	231025,10
P108	4056,45	29,81	0,00	0,00	46139,67	93,21	2778,69	233803,79
P109	4085,40	29,68	0,00	0,00	46139,67	134,46	3991,36	237795,15
P110	4115,81	33,35	0,00	0,00	46139,67	119,26	3977,18	241772,32
P111	4152,10	38,05	0,00	0,00	46139,67	112,03	4263,07	246035,39
P112	4191,92	40,71	0,31	12,15	46151,82	103,87	4228,98	250264,37
P113	4233,53	39,31	0,38	13,88	46165,70	83,53	3283,62	253547,99
P114	4270,54	37,98	1,07	40,49	46206,19	68,71	2609,70	256157,69
P115	4309,49	38,58	1,24	48,81	46255,00	52,30	2017,73	258175,42
P116	4347,69	39,21	1,07	41,45	46296,45	36,48	1430,53	259605,96
P117	4387,92	39,17	1,90	75,81	46372,26	23,36	915,07	260521,02
P118	4426,03	36,17	2,59	100,27	46472,53	14,81	535,57	261056,60
P119	4460,25	36,55	0,97	33,69	46506,22	8,68	317,15	261373,75
P120	4499,12	40,05	0,09	3,86	46510,07	1,39	55,83	261429,57
P121	4540,36	38,78	0,00	0,00	46510,07	0,82	31,78	261461,35
P122	4576,68	36,55	0,00	0,00	46510,07	0,85	31,08	261492,43
P123	4613,46	37,82	0,00	0,00	46510,07	0,51	19,27	261511,70
P124	4652,33	39,27	0,00	0,00	46510,07	0,64	24,99	261536,70
P125	4692,00	38,76	0,00	0,00	46510,07	0,76	29,62	261566,32
P126	4729,85	39,86	0,00	0,00	46510,07	0,67	26,79	261593,10
P127	4771,72	38,77	0,00	0,00	46510,07	0,38	14,54	261607,65
P128	4807,39	34,72	0,00	0,00	46510,07	0,34	11,91	261619,56
P129	4841,16	41,96	0,00	0,00	46510,07	1,57	65,97	261685,52
P130	4891,31	45,47	0,00	0,00	46510,07	10,12	460,02	262145,55
P131	4932,09	39,00	0,00	0,00	46510,07	12,50	487,57	262633,12
P132	4969,30	37,46	0,00	0,00	46510,07	18,28	685,02	263318,14
P133	5007,02	38,88	0,00	0,00	46510,07	41,77	1624,40	264942,54
P134	5047,07	40,97	0,00	0,00	46510,07	35,11	1438,32	266380,86
P135	5088,95	40,29	0,00	0,00	46510,07	37,78	1522,15	267903,01
P136	5127,65	39,30	0,00	0,00	46510,07	37,57	1476,64	269379,65
P137	5167,55	39,15	0,00	0,00	46510,07	43,52	1703,73	271083,38
P138	5205,95	39,27	0,00	0,00	46510,07	50,85	1996,84	273080,22
P139	5246,08	39,08	0,00	0,00	46510,07	56,51	2208,09	275288,31
P140	5284,10	39,37	0,00	0,00	46510,07	59,87	2357,19	277645,50
P141	5324,83	40,58	0,00	0,00	46510,07	59,30	2406,25	280051,76
P142	5365,25	41,07	0,00	0,00	46510,07	57,58	2364,94	282416,70
P143	5406,98	43,24	0,00	0,00	46510,07	58,78	2541,32	284958,02
P144	5451,73	40,91	0,00	0,00	46510,07	57,34	2345,98	287304,00
P145	5488,80	39,46	0,00	0,00	46510,07	56,48	2228,44	289532,44
P146	5530,64	41,77	0,00	0,00	46510,07	58,65	2449,82	291982,26
P147	5572,34	40,82	0,00	0,00	46510,07	58,01	2367,67	294349,93
P148	5612,27	40,01	0,00	0,00	46510,07	59,01	2360,86	296710,79
P149	5652,36	41,86	0,00	0,00	46510,07	57,35	2400,67	299111,45
P150	5696,00	41,86	0,00	0,00	46510,07	58,89	2464,92	301576,37
P151	5736,07	40,11	0,00	0,00	46510,07	61,89	2482,25	304058,62
P152	5776,21	39,43	0,00	0,00	46510,07	58,17	2293,38	306352,01
P153	5814,93	41,46	0,00	0,00	46510,07	59,10	2450,02	308802,03
P154	5859,13	42,69	0,00	0,00	46510,07	58,11	2480,56	311282,58
P155	5900,30	42,94	0,00	0,00	46510,07	54,44	2338,05	313620,63
P156	5945,02	41,36	0,00	0,00	46510,07	48,90	2022,33	315642,95
P157	5983,02	38,86	0,00	0,00	46510,07	44,42	1726,32	317369,27
P158	6022,74	38,80	0,00	0,00	46510,07	43,18	1675,19	319044,46

ANNEXE 1

P159	6060,62	37,25	0,00	0,00	46510,07	36,49	1359,08	320403,54
P160	6097,24	36,51	0,00	0,00	46510,07	29,87	1090,49	321494,03
P161	6133,63	38,35	0,00	0,00	46510,07	26,47	1015,20	322509,23
P162	6173,94	39,39	0,00	0,00	46510,07	21,43	844,39	323353,61
P163	6212,42	39,08	3,97	125,09	46635,16	18,02	704,17	324057,79
P164	6252,10	38,90	9,00	335,83	46970,99	15,67	609,57	324667,36
P165	6290,23	37,44	20,53	724,91	47695,89	12,14	454,63	325121,99
P166	6326,99	37,34	33,59	1128,63	48824,52	12,54	468,31	325590,30
P167	6364,91	37,16	53,77	1897,95	50722,47	11,43	424,59	326014,90
P168	6401,30	36,06	68,34	2702,74	53425,21	9,89	356,50	326371,40
P169	6437,03	37,66	88,94	3386,51	56811,72	5,47	206,04	326577,43
P170	6476,62	29,24	104,89	2816,26	59627,98	3,78	110,63	326688,06
P171	6495,50	23,20	94,68	2988,79	62616,77	1,42	33,04	326721,11
P172	6523,03	31,49	118,66	4825,23	67441,99	0,13	4,15	326725,26
P173	6558,49	37,33	158,08	8904,57	76346,56	0,10	3,89	326729,15
P174	6597,69	35,31	213,87	10660,86	87007,42	0,09	3,25	326732,40
P175	6629,11	33,60	203,90	5585,58	92593,00	0,08	2,79	326735,19
P176	6664,89	35,30	275,49	10882,94	103475,93	0,08	2,93	326738,12
P177	6699,71	39,55	283,29	12797,92	116273,85	0,09	3,43	326741,55
P178	6744,00	38,07	276,26	10539,41	126813,26	0,09	3,39	326744,93
P179	6775,86	26,85	330,43	11707,77	138521,03	0,08	2,19	326747,12
P180	6797,70	31,57	331,61	11191,65	149712,67	0,10	3,17	326750,29
P181	6838,99	40,66	348,13	12141,22	161853,89	0,08	3,39	326753,68
P182	6879,02	56,33	367,37	13494,94	175348,83	0,09	4,99	326758,67
P183	6951,65	49,85	403,13	14198,01	189546,84	0,09	4,51	326763,18
P184	6978,72	21,39	449,05	13608,84	203155,68	0,09	2,52	326765,70
P185	7000,11	34,50	430,67	17608,45	220764,13	0,09	3,47	326769,18

ANNEXE 2

RECAPITULATIF DES RESULTATS D'ANALYSE GEOTECHNIQUE DES EMPRUNTS

Essais	Diamètre	CARRIERE N°01			
		P1C21	P2C21	P3C21	P4C21
Analyse granulométrique par tamisage	< à 31,5 mm	86	80	72	73
	< à 10 mm	78	64	43	67
	< à 02 mm	68	47	24	60
	< à 01 mm	65	41	20	57
	< à 0,4 mm	60	36	17	52
	< à 0,2 mm	55	29	15	44
	< à 0.08 mm	53	26	14	42
Limites d'Atterberg (%)	Limite- liquidité	45.13	48.73	48.14	48.81
	Limite-plasticité	22.75	24.63	25.24	25.51
	Indice-plasticité	22.38	24.10	22.90	23.30
Caractéristiques Proctor	W _{OPM} (%)	11.9	07.8	10.3	10.6
	D _{max} (t/m³)	02.0	2.02	2.03	2.02
Analyses chimiques	Insolubles(%)	59	70	56	63
	Carbonates(%)	35	54	40	34
	Sulfates(%)	Néant	Néant	Néant	Néant
Classification LCPC		A2	C2A2	C2A2	C2A2

Essais	Diamètre	CARRIERE N°02			
		P1C22	P2C22	P3C22	P4C22
Analyse granulométrique par tamisage	< à 31,5 mm	94	93	100	77
	< à 10 mm	80	86	94	66
	< à 02 mm	57	62	90	58
	< à 01 mm	46	58	88	56
	< à 0,4 mm	42	55	86	54
	< à 0,2 mm	34	49	80	52
	< à 0.08 mm	32	47	76	50
Limites d'Atterberg (%)	Limite- liquidité	45.81	48.77	47.88	48.00
	Limite-plasticité	25.09	25.00	24.75	25.38
	Indice-plasticité	20.72	23.77	23.13	22.62
Caractéristiques Proctor	W _{OPM} (%)	12.0	09.2	11.8	12.2
	D _{max} (t/m³)	1.81	1.96	1.90	1.94
Analyses chimiques	Insolubles(%)	75	72	66	65
	Carbonates(%)	30	25	31	30
	Sulfates(%)	Néant	Néant	Néant	Néant
Classification LCPC		B6	A2	A2	A2

ANNEXE 2

Essais	Diamètre	CARRIERE N°03			
		P1C23	P2C23	P3C23	P4C23
Analyse granulométrique par tamisage	< à 31,5 mm	65	67	62	62
	< à 10 mm	47	51	46	46
	< à 02 mm	37	39	33	34
	< à 01 mm	28	25	30	30
	< à 0,4 mm	25	23	27	27
	< à 0,2 mm	17	15	18	18
	< à 0.08 mm	11	10	12	12
Limites d'Atterberg (%)	Limite- liquidité	51.43	47.26	48.80	44.63
	Limite-plasticité	26.89	22.17	24.36	23.10
	Indice-plasticité	24.54	25.09	24.44	21.53
Caractéristiques Proctor	W _{OPM} (%)	10.06	10.6	09.98	10.11
	D _{max} (t/m ³)	2.04	2.04	2.02	2.04
Analyses chimiques	Insolubles(%)	56	59	64	55
	Carbonates(%)	40	36	30	40
	Sulfates(%)	Néant	Néant	Néant	Néant
Classification LCPC		C2A2	C2A2	C2A2	C2A2

ESTIMATION DES RESERVES DE MATERIAUX

Carrière	Réserves Estimatives (m ³)
C21	180 000
C22	220 000
C23	120 000
Total	520 000