



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTÉ DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par : Ziregue Safouane et Hadj Hacene Fathi

DOMAINE : Sciences et technologies

FILIERE : Travaux Publics

OPTION : Voies et Ouvrages d'Art

Thème

**ETUDE DU CONTOURNEMENT DE LA LOCALITE
D'EL-FASFSA(SP6) SUR LA RN23 ENTRE
LE PK376 ET LE PK382**

Jury de soutenance :

Mme Merghoub Messaouda	MAA	Président
Mr Djaballah Ahmed	MAA	Examineur1
Mr Bederina Madani	Pr	Rapporteur
Mme Kuidri Zahra	MAA	Co-rapporteur

Promotion : juin 2019

Remercîment

Tout d'abord, nous remercions le bon dieu miséricordieux de nous avoir donné la force et la volonté d'être arrivé au bout de ce parcours.

Nous voudrions, à l'occasion de ce travail, remercier chaleureusement notre encadreur Mr. Bederina que nous avons eu le grand plaisir de travailler avec lui, et nous tenons absolument à exprimer à ce grand professeur notre gratitude et notre reconnaissance pour son accueil, son aide, sa patience, ses encouragements et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce mémoire. Nous n'oublierons pas de remercier notre co-promotrice Mme Kuidri Zohra pour son aide et le temps qu'elle nous a consacré pour l'élaboration de ce travail. Nous tenons à remercier vivement les membres du jury, Mme Merghoub Messouda et Mr. Djaballah Ahmed d'avoir accepté d'examiner notre travail et que souhaitons que nous profiterons de leur perçues critiques et remarques.

Nous remercions monsieur Mellal Rachid de nous avoir donné un grand coup de main dans l'élaboration de ce travail. Il a toujours répondu à notre appel. Nous remercions également tous les enseignants du département de génie civil de l'université de Laghouat pour tout ce qu'ils ont fait pour notre formation durant tout le cursus Licence et Master et tout le personnel administratif du département, ainsi que le bureau de topographie de Mr. Bouakkaz Tarek et le bureau d'étude SET SETIF, en particulier Mr. Attafi Abdelhak, pour leur aide en informations et en documentations, qui nous ont été très bénéfiques pour le bon déroulement de notre projet.

Nos remerciements vont aussi aux membres du bureau d'impression : Mrs Cherifi Ben Aissa, Houdaci Mounir et Khelloufi Nouredine.

Comme nous remercions nos chers parents de leur soutiens et assistance, sans oublier nos frères et nos familles.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

S.Ziregue et F.Hadj hacene.

Dédicace

في مثل هذه اللحظات يتوقفه اليراع ليفكر قبل أن يخط الحروف ليجمعها في كلمات... تتبعثر الأحرف
وعبثاً أن يحاول تجميعها في سطور

سطوراً كثيرة تمر في الخيال ولا يبقى لنا في نهاية المطاف إلا قليلاً من الذكريات وصور تجمعنا برفاق
كانوا إلى جانبنا

فواجب علينا شكرهم ودعائهم ونحن نخطو خطواتنا الأولى في غمار الحياة
ونخص بالجزيل الشكر والعرفان إلى كل من أشعل شمعة في دروب عملنا و

من وقف على المنابر وأعطى من حصيلة فكره لينير دربنا

إلى الروح التي سكنت روعي سيدي و أبتى الحاج محمود

إلى من كلفه الله بالهبة والوقار إلى من علمني العطاء بدون انتظار إلى من أحمل أسمه بكل افتخار
أرجو من الله أن يرحمك برحمته الواسعة. لقد أن الأوان لقطعة ثمار بعد طول انتظار وستبقى كلماتك
نجوم أهدني بها اليوم وفي الأمل إلى الأبد

إلى شلة الذكاء والنور إلى من أربت التناول بعينه والسعادة في ضحكته

إلى ملائكي في الحياة إلى معنى الحب وإلى معنى العنان والتفاني إلى بسمة الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى العبايب

..إلى من بها أكبر وعليه أعتمد .. إلى شمعة متقدة تنير ظلمة حياتي

إلى من عرفته معاً معنى الحياة إلى أمي و سدي ..إلى من بوجودها أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها
في الحياة

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أبي حفظه الله و رعاه و سدد بالخير خطاه نحن فخرنا هذه الحياة و

أنت قدوتي لطريق النجاح مرشدي وعونني لاطلما كنت قدوة و مرجع

إلى اخوتي فخري وعزتي بلقاسم، فاطمة الزهراء، خليل لا طعم للحياة من دونكم

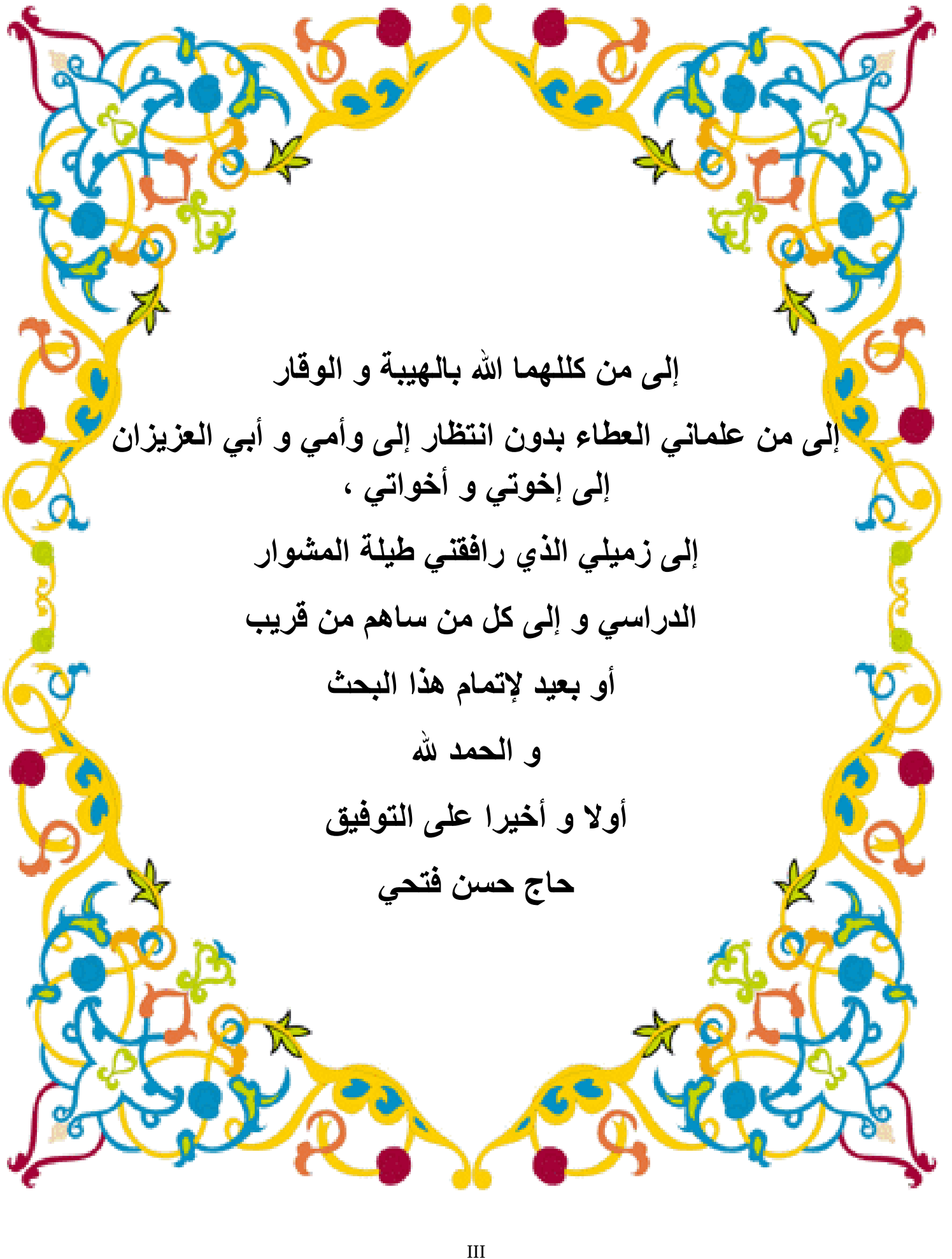
إلى العائلة الكريمة زيرق، رحمانى إلى ابن خالتي يوسف الذي كان السند و التودد

أهدي أيضاً مشروع تخرجي إلى رفقاني في الدرب لعل محمد الحاج علي النابيل عبد الرحمان لمين
أيوب

إلى أحبتي مروان صراوي مريد و الجميع

إلى أبناء الحي وبالأخص عطاء الله و عبدالحق

إلى كل من يحبني ويتمنى لي الخير أهدىكم من كل قلبي هذا التخرج



إلى من كللها الله بالهيبة و الوقار

إلى من علماني العطاء بدون انتظار إلى وأمي و أبي العزيزان
إلى إخوتي و أخواتي ،

إلى زميلي الذي رافقني طيلة المشوار
الدراسي و إلى كل من ساهم من قريب
أو بعيد لإتمام هذا البحث

و الحمد لله

أولا و أخيرا على التوفيق
حاج حسن فتحي



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : Travaux Publics

Option : Voies et Ouvrages d'art

Thème : étude du contournement de la localité d'EL FASFSA (sp6) sur la RN23 entre pk376 et pk382.

Présenté par : Ziregue Safouane et Hadj Hacene Mohamed Fathi

Encadré par: Bederina Madani

Résumé : La route est un élément efficace reliant les différentes régions du pays et contribuant à son développement à travers les différentes activités économiques et les échanges commerciaux.

Notre projet de fin d'étude rentre dans le domaine des infrastructures de transport, et en particulier les routes. En effet, ce projet de fin d'étude essayera de résoudre les problèmes de circulation se trouvant au niveau de la route nationale RN23, exactement sur le tronçon entre pk376 et pk382 passant par El-FASFSA.

Pour surmonter ces problèmes, nous avons décidé de faire un évitement avec dédoublement de la voie, c.-à-d., le contournement du village El-FASFSA.

Après avoir présenté le projet et évalué son trafic, on a étudié quatre variantes possibles, afin d'aboutir au tracé économiquement et techniquement convenable. Puis, l'étude s'est basée sur ce dernier pour établir les différentes conceptions géométriques du projet étudié, et ceci en déterminant le Tracé en plan, le Profil en long et les Profils en travers). Enfin, on a étudié les différents éléments en relation avec le tronçon de la route étudié, comme les croisements routiers, les ouvrages d'art et l'assainissement.

Mots clés : route, profil en plan, profil en travers, ouvrages d'art, assainissement.

ملخص مذكرة الماستر

الميدان: العلوم و التكنولوجيا

الشعبة: اشغال العمومية

التخصص: طرق و منشآت فنية

عنوان المذكرة: دراسة الطريق الاجتنابية لمنطقة الفصيصة عبر الطريق الوطني رقم 23

تقديم الطالب: زيرق صفوان و حاج حسن محمد فتحي

الأستاذ المؤطر: بدرينة مداني

ملخص المذكرة : يعتبر الطريق عنصرا فعالا للربط بين مختلف مناطق الوطن ويساهم في تنميتها من خلال مختلف الأنشطة الاقتصادية والمبادلات التجارية. تندرج هذه الدراسة في اطار البنى التحتية للنقل وبالخصوص مجال الطرقات. في هذه المذكرة ندرس إشكالية مطروحة على مستوى الطريق الوطني رقم 23 ، وبالأخص المقطع المار بمنطقة الفصيصة .

من اجل تدارك هذه الوضعية ، تم التفكير في إنشاء طريق اجتنابي مزدوج. بعد التطرق لوصف عام للمشروع، بالإضافة الى حساب حجم الطريق، قمنا بدراسة اقتصادية لأربع مخططات احتمالية قصد الحصول على المخطط النهائي الأصلح تقنيا وإقتصاديا. ثم تم التركيز على هذا الأخير لتحديد التصميمات الهندسية النهائية للطريق المدروس وذلك بدراسة مخطط السطح و المقطع الطولي و كذا المقاطع العرضية. و في الأخير، تطرقنا لدراسة عناصر أخرى لها علاقة مباشرة بمقطع الطريق المدروس، مثل

التقاطعات و المنشآت الفنية , والتطهير .

الكلمات المفتاحية: طريق ، المقطع الطولي ، المقطع العرضي ، المنشآت الفنية , التطهير.

Liste des figures

figures	Titre	page
Chapitre I		
Fig I.1	Situation de la ville de Laghouat.....	5
Fig I.2	Température, précipitations et humidité de la région.....	6
Fig I.3	Réseaux routiers de ma wilaya Laghouat.....	7
Fig I.4	Réseaux routiers de ma wilaya Laghouat.....	8
Fig I.5	Plan d'aménagement du territoire.....	9
Fig I.6	Localisation de la zone.....	11
Fig I.7	Les différentes variantes envisagées.....	17
Fig I.8	Chaussée existante (Première variante.....	18
Fig I.9	Localisation de la deuxième variante.....	19
Fig I.10	Localisation de la troisième variante.....	20
Fig I.11	Localisation de la quatrième variante.....	21
Fig I.12	Contraintes naturelles du site.....	22
Fig I.13	La dénivelée cumulée moyenne h/L.....	24
Fig I.14	sinuosité.....	25
Chapitre II		
Fig II.1	Les principaux éléments du tracé en plan.....	37
Fig II.2	Stabilité en Courbe.....	39
Fig II.3	zone de dérasement (Cas d'une route unidirectionnelle).....	41
Fig II.4	l'élément de la clothoïde.....	43
Fig II.5	Courbe en S.....	45
Fig II.6	Courbe à sommet.....	45
Fig II.7	Courbe en C.....	46
Fig II.8	Courbe en ovale.....	46
Fig II.9	La courbe du profil en long.....	59
Fig II.10	Les Eléments Du Profil En Travers.....	63
Fig II.11	Profil en travers type.....	64
Fig II.12	profil en travers en alignement droit.....	65
Fig II.13	Profil adopté pour tracé en long.....	68
Fig II.14	structure de chaussée.....	76
Chapitre III		
Fig III.1	Trèfle Complet.....	79
Fig III.2	Echangeur demi-trèfle.....	80
Fig III.3	Echangeur en Trompette.....	81
Fig III.4	Echangeur de FASFSA.....	84
Fig III.5	Carrefour en « T ».....	88
Fig III.6	Carrefour en « Y ».....	89
Fig III.7	Carrefour en « X ».....	89
Fig III.8	Vue de dessus d'un dalot.....	92
Fig III.9	Section transversale d'un ouvrage d'assainissement représente Sm et Pm	101
Fig III.10	Fossé.....	103
Fig III.11	Résultat de dimensionnement du fossé en béton.....	105

Liste des tableaux

tableau	Titre	page
Chapitre I		
tableau I.1	Répartition des précipitations moyennes au cours de l'année.....	10
tableau I.2	Variation de la température au cours de l'année.....	10
tableau I.3	évaluations des variantes.....	23
Tableau I.4	Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne.....	24
tableau I.5	Classification de la sinuosité moyenne.....	25
Tableau I.6	Environnement en fonction du relief et de la sinuosité.....	26
tableau I.7	coefficient d'équivalence.....	31
tableau I.8	Valeur de K_1	31
tableau I.9	Valeur de K_2	32
tableau I.10	valeur de la capacité théorique.....	32
tableau I.11	synthèse de résultats.....	35
chapitre II		
tableau II.1	rayons du tracé en plan.....	40
tableau II.2	Paramètres fondamentaux.....	49
tableau II.3	coordonnées des sommets et le rayon utilisé.....	50
tableau II.4	Valeur de $I_{\max}$ selon le B40.....	56
tableau II.5	Valeurs des différents rayons calculées et selon B40 en profil en long.....	61
tableau II.6	coefficient d'équivalence.....	72
tableau II.7	les réseaux principaux (RP1).....	73
tableau II.8	les réseaux principaux (RP2).....	73
tableau II.9	classe du sol.....	75
chapitre III		
tableau III.1	Variable de Gauss.....	98
tableau III.2	Coefficient de ruissellement« C ».....	99
tableau III.3	Coefficient de rugosité K_{st}	101
tableau III.4	Intensité-Durée-Fréquence.....	102

Sommaire

Remercement.....	I
Dedicace.....	II
Resume.....	IV
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VII
Introduction.....	1

Chapitre I Présentation du projet

I. 1 Generalites sur la wilaya de laghouat.....	5
I. 2 Situation geographique de la ville de laghouat.....	5
I. 3 Climat de la ville de laghouat.....	5
I. 4 Situation hydraulique de la ville de laghouat.....	6
I. 5 Reseaux routiers de laghouat.....	7
I. 6 Situation geographique du projet.....	8
I. 7 Aperçu sur la topographie de la zone du projet.....	8
I. 8 Situation geologique de la zone du projet.....	9
I. 9 Situation climatique de la zone du projet.....	9
I.9.1 Le vent.....	10
I.9.2 Température.....	10
I.10 Situation administrative de la zone du projet.....	10
I.11 Etude du sol.....	11
I.11.1 Objectif de l'étude géotechnique.....	11
I.11.2 Réglementation géotechnique algérienne.....	12
I.11.3 L'étude des archives et documents existants.....	12
I.11.4 Visite sur site et essais « In Situ ».....	12
I.11.5 Les forages.....	12
I.11.6 Reconnaissance du sol support.....	13
I.11.7 Analyse des matériaux du sol support.....	13
I.12 Etude des variantes.....	16
I.12.1 Première variante (Var. 1) (La chaussée existante).....	17
I.12.2 Deuxième variante (Var. 2).....	18
I.12.3 Troisième variante (Var. 3).....	19
I.12.4 Quatrième variante (Var. 4).....	20
I.12.5 Evaluation des variantes.....	21
I.12.6 Conclusion.....	23
I.13 Environnement de la route.....	24
I.13.1 La Dénivelée Cumulée Moyenne h/L	24
I.13.2 La sinuosité moyenne $\sigma=L_s/L$	25
I.13.3 Application au projet.....	26
I.14 Etude de trafic.....	27
I.14.1 Introduction.....	27
I.14.2 Analyse du trafic.....	27
I.14.3 Différents types de trafics.....	28
I.14.3.1 Trafic normal.....	28

I.14.3.2 Trafic dévié.....	28
I.14.3.3 Trafic induit.....	28
I.14.3.4 Trafics total.....	28
I.14.4 Modèles de présentation de trafic.....	28
I.14.5 Calcul de la capacité.....	29
I.14.6 Application au projet.....	32
I.14.6.1 Données du trafic.....	32
I.14.6.2 Application sur la liaison pénétrante.....	32
I.14.7 Conclusion.....	34

Chapitre II: Avant projet détaillé

II.1 Trace en plan.....	36
II.1.1 Définition.....	36
II.1.2 Règles à respecter dans le tracé en plan.....	36
II.1.3 Les éléments du tracé en plan.....	36
II.1.3.1 Les alignements.....	37
II.1.3.2 Arcs de cercle.....	38
II.1.3.2.2 Inscription des véhicules longs.....	40
II.1.3.2.3 Visibilité masquée dans une sinuosité.....	41
II.1.4 Les courbes de raccordement.....	41
II.1.4.1 Rôle et nécessité des courbes de raccordement.....	42
II.1.4.2 Types de courbe de raccordement.....	42
II.1.5 Conditions de raccordement.....	43
II.1.6 Notion de devers.....	46
II.1.7 La Vitesse de référence.....	48
II.1.7.1 Choix de la vitesse de référence.....	48
II.1.7.2 Vitesse de projet.....	48
II.1.8 Calcul d'axe.....	49
II.1.9 Exemple de calcul d'axe manuellement.....	50
II.2 Profil en long.....	54
II.2.1 Définition.....	54
II.2.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long.....	54
II.2.3 Les Eléments de composition du profil en long.....	55
II.2.4 Coordination du tracé en plan et profil en long.....	55
II.2.5 Déclivité.....	55
II.2.5.1 Déclivité minimum.....	55
II.2.5.2 Déclivité maximum.....	56
II.2.6 Raccordement en profil en long.....	56
II.2.6.1 Raccordement Convexes (Angle Saillant).....	56
II.2.6.2 Raccordement concave (angle rentrant).....	57
II.2.7 Détermination pratique du profil en long.....	59
II.2.8. Application au projet.....	60
II.2.8.1 Caractéristiques des rayons en long.....	60
II.3 Profil en travers.....	61
II.3.1 Les Eléments du profil en travers	61
II.3.1.1 Chaussée.....	61
II.3.1.2 Accotements.....	62
II.3.1.3 Plate-Forme.....	62

II.3.1.4 Assiette.....	62
II.3.1.5 Emprise.....	62
II.3.1.6 Talus.....	62
II.3.1.7 Fossé.....	62
II.3.1.8 Terre-plein central T.P.C.....	62
II.3.1.9 Largeur roulable.....	63
II.3.2 Profil en travers type.....	63
II.3.3 Les Différentes formes de la chaussée en alignement.....	64
II.3.3.1 En alignement droit.....	64
II.3.3.2 En courbe.....	64
II.3.3.3 Largeur de la chaussée.....	65
II.3.3.4 Pente transversale.....	65
II.3.3.5 Point de rotation des dévers.....	65
II.4 Cubature.....	66
II.4.1. Cubatures des terrassements.....	66
II.4.2 Méthode utilisée.....	66
Description de la méthode.....	66
II.4.3 Méthode classique.....	68
II.5 Dimensionnement du corps de chaussée.....	69
II.5.1 Introduction.....	69
II.5.2 Principe de la constitution des chaussées.....	69
II.5.3 Les Principales méthodes de dimensionnement.....	70
II.5.3.1 Méthode de C.B.R.....	70
II.5.3.2 Méthode du catalogue de la chaussée neuve.....	71
II.5.4 Application au projet.....	72
II.5.4.1 Méthode de C.B.R.....	73
II.5.4.2 Méthode de catalogue de dimensionnement de la chaussée neuve.....	73
II.5.4.3 Choix du Corps de Chaussée Optimum.....	74
II.6 Conclusion.....	75

Chapitre III: Croissement routier, ouvrage d'art et assainissement routier

III.1 Conception et choix d'échangeurs.....	77
III.1.1 Introduction.....	77
III.1.2 Définition d'un échangeur.....	77
III.1.3 Rôle d'un échangeur.....	77
III.1.4 Critères de base.....	77
III.1.5 Conditions à respecter.....	78
III.1.6 Types d'échangeurs.....	78
III.1.6.1 Echangeurs majeurs.....	78
III.1.6.2 Echangeur mineur.....	79
III.1.7 Conception d'un échangeur.....	81
III.1.8 Eléments de conception d'un échangeur.....	82
III.1.9 Caractéristiques géométriques des échangeurs.....	82
III.1.10 Avantage de l'échangeur.....	83
III.1.11 Inconvénients de l'échangeur.....	83
III.1.12 Choix de l'échangeur.....	83
III.1.13 Conclusion.....	85

III.2 Etude du carrefour a niveau.....	86
III.2.1 Introduction.....	86
III.2.2 Données à prendre pour l'aménagement d'un carrefour.....	86
III.2.3 Principes généraux d'aménagement d'un carrefour.....	86
III.2.4 Visibilité.....	87
III.2.5 Triangle de visibilité.....	87
III.2.6 Données de base.....	87
III.2.7 Les ilots.....	87
III.2.8 Les Type Des Carrefours	88
III.2.8.1 Carrefours dénivelés (échangeurs).....	88
III.2.8.2 Carrefours Plans.....	88
III.2.8.3 Carrefours Plans Ordinaires.....	88
III.2.8.3.1 Carrefours en (T).....	88
III.2.8.3.2 Carrefour en (Y).....	88
III.2.8.3.3 Carrefour en croix (X).....	89
III.2.8.3.4 Carrefours giratoires.....	90
III.2.9 Application au projet.....	90
III.2.10 Conclusion.....	91
III.3 Dalots.....	92
III.3.1 Introduction.....	92
III.3.2 Généralités.....	92
III.3.3 Types de dalots.....	93
III.3.4 Présentation de l'ouvrage.....	93
III.3.5 Profil en long.....	93
III.3.6 Description de l'ouvrage.....	93
III.3.7 Conclusion.....	93
III.4 L'Assainissement.....	94
III.4.1 Introduction.....	94
III.4.2 Objectif de l'assainissement.....	94
III.4.3 Type des dégradations.....	94
III.4.4 Assainissement de la chaussée.....	95
III.4.5 Type des canalisations.....	96
III.4.6 Choix des ouvrages d'excavation.....	96
III.4.7 Drainage des eaux souterraines.....	96
III.4.8 Dimensionnement des ouvrages d'excavation.....	97
III.4.9 Dimensionnement des buses.....	101
III.4.10 Dimensionnement des fossés.....	102
III.4.11 Application au projet.....	104
III.4.12 Conclusion.....	105
Conclusion generale.....	107
References bibliographiques.....	109

Introduction

La route est une voie de communication terrestre qui permet le développement des transports qui à leur tour favorisent la réduction des distances entre les lieux, entre les producteurs et les consommateurs. C'est un facteur déterminant de développement socioéconomique et un outil que l'Etat a entre les mains pour maintenir un certain niveau d'équité entre les populations.

L'Algérie a mobilisé des ressources financières considérables, pour disposer d'un réseau routier viable et efficace et n'a cessé de placer l'infrastructure routière parmi les grandes priorités du pays.

Notre politique routière vise à permettre au pays de préserver son important patrimoine routier, et de répondre, par des investissements ciblés, aux exigences du développement économique, liées au développement de la route.

Les transports routiers n'ont connu une grande expansion que dans les pays d'économie marchande. Ceux-ci possèdent la plus grande longueur de routes à forte densité de circulation (autoroutes, voies rapides, etc.) et ont le meilleur parc routier ; alors que dans les pays pauvres, les réseaux sont moins denses. La route continue toujours à jouer un rôle important dans le transport de marchandises (surtout à de courtes distances) et de personnes.

Les communications, qu'elles soient matérielles ou immatérielles sont inégalement réparties à travers le monde. Aujourd'hui avec leur développement spectaculaire, les hommes et les informations circulent plus vite comme dans un village.

Un effort exceptionnel a été consenti par l'Etat, durant la dernière décennie (Plans 2005/2009 et 2010/2014), en matière de réalisation de grands projets d'infrastructures et d'équipements publics, notamment dans le domaine routier [17].

Le Ministère des Transports et des Travaux Publics était l'administration algérienne chargée du domaine des transports entre 1966 et 2016, qui comprend l'ensemble des activités destinées à assurer le transport des personnes et des biens par voie terrestre, routier ou ferroviaire, par voie maritime et par voie aérienne. Il exerçait également ses attributions dans le domaine de la météorologie et des activités qui lui sont directement liées [18].

Depuis le remaniement ministériel du 11 juin 2016, un ministère des travaux publics et des transports regroupant les deux secteurs a été créé [18].

Ces projets s'inscrivaient dans le cadre d'une politique dynamique d'aménagement et de développement du territoire. Ils visaient à rompre l'isolement de certaines régions insuffisamment desservies par les transports, d'assurer aux citoyens l'accès massif à des moyens de transport modernes et à moindre coût, tout en permettant au secteur de

jouer son rôle naturel de moteur de la croissance, grâce à l'intégration des différents modes de transport, routier, ferroviaire, aérien et maritime.

La RN23 Relie, sur une distance de 398 km, la wilaya de Mostaganem à celle de Laghouat, via celles de Relizane et Tiaret. Elle revêt une grande importance économique pour la région, avec une densité moyenne de circulation de 5760 véhicules/jour [19].

Aujourd'hui, le dédoublement de cette route est devenu indispensable. Il est à noter que notre travail consiste à étudier un tronçon de la RN23 se trouvant au niveau de la wilaya de Laghouat. C'est un contournement situé entre la ville de Laghouat et la ville d'Aflou.

Le projet de doublement de la RN23, sur le tronçon traversant le territoire de la wilaya de Laghouat, vient d'être inscrit après validation du projet par le ministère des Travaux publics et des Transports.

L'inscription de la route entre Laghouat et Aflou, est effectuée au titre de la loi de finances pour 2018 ; on a même signalé que la finalisation de l'étude technique de ce projet long de 155 km, prévu en huit tranches, a une incidence financière de 20 milliards de dinars [19].

Pour mener à bien la réalisation de ce projet, les autorités avaient instruit les responsables du secteur des travaux publics de procéder à la préparation de toutes les procédures techniques liées à ce projet pour les transmettre au ministère de tutelle.

Le présent travail consiste, en fait, à étudier le contournement de la localité de FASFSA sur la RN23, précisément entre le PK376 et le PK382. C'est un tronçon de route d'environ 6 km de longueur, qui est justifié par l'évitement des centres urbains qui posent beaucoup de problèmes de circulation. En effet, la route existante pose plusieurs problèmes en passant au milieu de la zone urbaine ; ceci entraîne souvent une limitation de vitesse, et par conséquent une réduction du débit de circulation, ce qui est inacceptable, notamment pour une route nationale comme la RN23. En outre, le fait que la route existante est composée d'une seule voie (chaussée bidirectionnelle), ceci constitue également un autre problème.

Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est de chercher, à travers différentes variantes, un nouveau tracé de route pour le contournement et l'évitement du village de FASFSA au

niveau de la RN23. La réalisation de ce projet pourrait être capable d'attirer des volumes de trafic plus importants et d'assurer une bonne sécurité.

Il s'agit donc, de trouver une solution technique afin d'éviter le passage par le centre urbain de FASFSA, de déterminer les paramètres géométriques du nouveau tracé et d'aménager les deux embranchements relatifs à ce contournement.

Pour atteindre ces objectifs, il faut également :

- définir les fonctions et les enjeux socio-économiques du territoire afin d'analyser les conditions de circulation ;
- apprécier les conditions de sécurité actuelles, quantifier les trafics, définir des hypothèses de trafic à long terme ;
- analyser la faisabilité environnementale et technique d'un contournement de FASFSA dans une logique de liaison RN23.
- D'autres études préalables sont nécessaires : une étude géotechnique, l'aspect patrimoine, l'urbanisme, l'agriculture, le paysage, etc.

Problématique

D'une longueur de 165 km, depuis la ville de Laghouat aux limites territoriales avec la wilaya de Tiaret, via la ville d'Aflou, cet axe routier, dont une vingtaine de kilomètres seulement est dédoublée, a été, depuis le début de cette année, le théâtre d'une cinquantaine d'accidents ayant entraîné la mort d'une personne et fait 58 blessés, sans compter le lourd bilan du dernier accident ayant causé 32 morts et 22 blessés, selon la protection civile.

La réalisation d'un projet de dédoublement de la RN-23 a constitué, depuis, l'essentiel des préoccupations de la population locale, soulevée à plusieurs niveaux, dont à l'Assemblée populaire de la wilaya et aux ministres du secteur lors de leurs visites de travail dans la région.

Cette préoccupation est devenue, depuis les tragiques accidents de septembre 2014 et juin 2016, une revendication des différentes parties, responsables locaux, élus et représentants de la société civile [20].

La route doit être construite avec beaucoup de soin et de rigueur, de façon à équilibrer entre la Bonne conception, la sécurité et le confort des usagers d'une part et les aspects économiques d'autre part.

C'est pour cela, on a choisi notre projet qui s'intitule «l'étude d'un tronçon de 6km pour l'évitement de FASFSA sur RN23 ».

Après une introduction générale, le travail est structuré en trois principaux chapitres comme suit :

- Un premier chapitre consacré à la présentation générale du projet, à la détermination du trafic équivalent et à l'étude des variantes proposées.
- Un deuxième chapitre destiné à l'étude de l'avant-projet détaillé du tracé choisi.
- Un troisième chapitre consacré à l'étude des éléments complémentaires, tels que : les croisements routiers, les ouvrages d'art et l'assainissement.

Enfin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale.



Fig. 1 : L'un des plus graves accidents ayant eu lieu dans cette zone [20].

I. 1 Généralités sur la wilaya de Laghouat

La wilaya de Laghouat se situe au centre du pays à 400 km au sud de la capitale Alger (Fig. I-1). La wilaya s'étend sur une superficie de 25 000 km², avec une population qui avoisine 520 188 Habitants (2010), soit une densité de 20 habitants par km². Région pastorale de l'Algérie, elle possède également le plus grand gisement de gaz naturel d'Afrique avec une réserve estimée à plusieurs milliards de mètres cubes. Sur le plan administratif, la wilaya comporte 10 daïras et 24 communes, elle est limitée par la Wilaya de Djelfa et Tiaret au Nord, par la wilaya d'El Bayadh à l'Ouest, par la wilaya de Ghardaïa au Sud et la wilaya de Djelfa en Est.

Laghouat est une ville où la réunion des monts de l'Atlas saharien, le désert, les arêtes rocheuses et la palmeraie forment un paysage d'une beauté sublime. Elle porte fièrement le surnom de la « porte du désert ».

I. 2 Situation géographique de la ville de Laghouat

Laghouat est située dans le Nord du Sahara, au pied de l'Atlas saharien. Elle se trouve à 329 km au sud d'Alger et à 750 m d'altitude. La distance par route entre ces deux villes est estimée à 403 km [1].



Fig. I.1 : Situation de la ville de Laghouat [1].

I. 3 Climat de la ville de Laghouat

Il est très difficile, voire impossible, de prévoir le temps qu'il fera à un certain moment et à un endroit bien précis. Pourtant, tous les voyageurs aimeraient connaître à l'avance les conditions climatiques pour organiser leur prochain voyage.

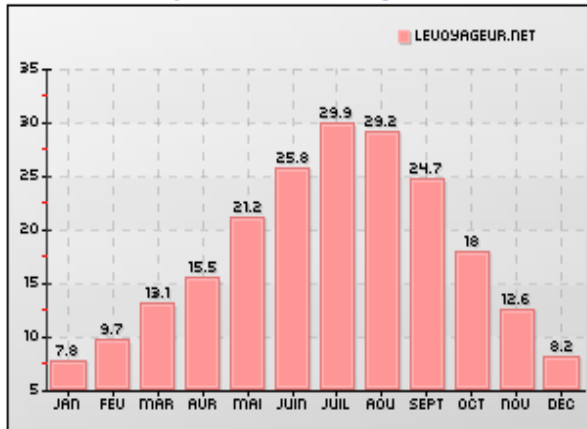
Des moyennes de températures ou de précipitations peuvent nous aider, quand même, et nous donner une bonne idée sur ce sujet.

Les températures mentionnées ci-après sont exprimées en degrés Celsius et représentent les moyennes mensuelles observées sur un grand nombre d'années.

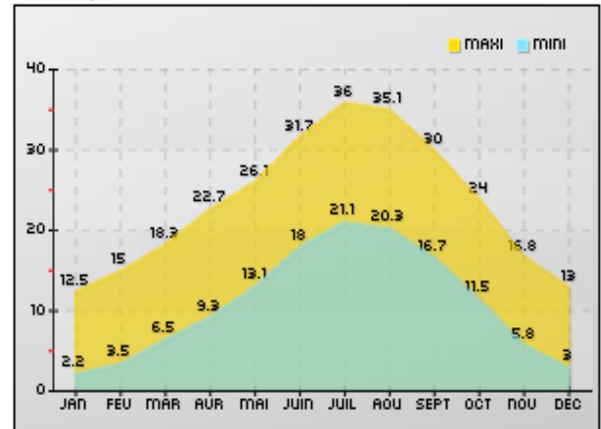
Le graphique des précipitations pourra également être utile afin de déterminer la meilleure période pour réaliser un voyage [2].

Les températures, les précipitations et l'humidité moyennes dans la région sont présentées par la figure I-2.

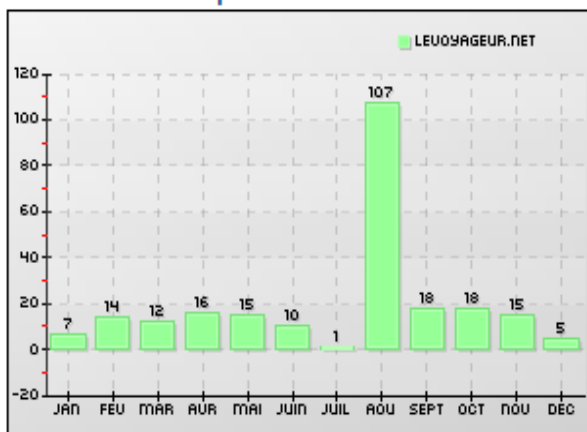
Températures moyennes



Températures minimum et maximum



Précipitations en mm



Humidité

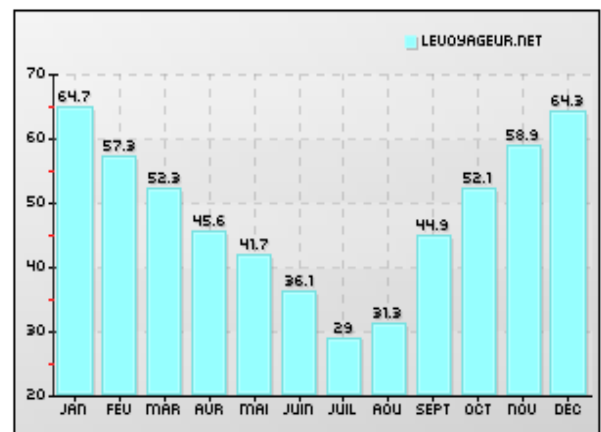


Fig. I.2 : Température, précipitations et humidité de la région [2].

I. 4 Situation hydraulique de la ville de Laghouat

Les précipitations dans cette région sont irrégulières (180 mm) chaque année et une sécheresse sévère dans certaines années. L'État considère que ses besoins en eau potable sont un échec majeur des eaux souterraines disponibles dans la région, notamment avec le plus grand barrage d'eau souterraine d'Afrique situé dans la région de Tadjmout, près de la capitale de la wilaya de Laghouat, qui est un héritage colonial.

I. 5 Réseaux routiers de Laghouat

Le réseau routier de Laghouat est l'un des états les plus importants en termes de localisation. Il est également connu comme la porte du Sahara. Parmi ces caractéristiques, il s'est avéré important, à savoir le réseau routier, c'est une liaison entre le nord et le sud via la RN1 et l'ouest avec le sud via la RN23.

Infrastructures Routières : La wilaya de Laghouat contient un réseau routier plus ou moins important comme le montre la figure I-3. Actuellement, on enregistre :

RN: 403 km; CW: 394 km; CC 513 km.

Nombre d'ouvrages d'art sur RN : 47 ; Nombre d'ouvrages d'art sur CW : 10 ; Nombre d'ouvrages d'art sur CC : 05

Avec : RN : Routes nationales ; CW : Chemin de Wilaya ; CC : Chemins communaux. [1].

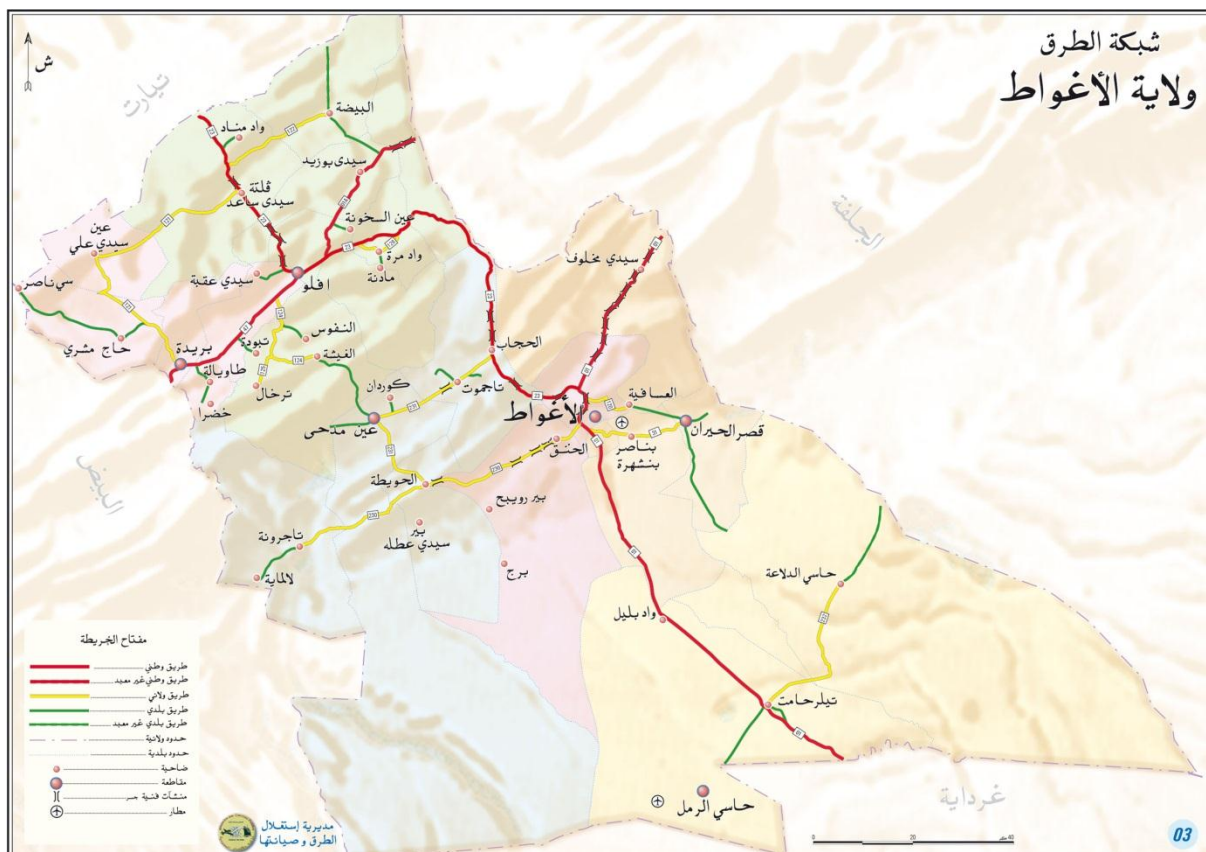


Fig. I.3 : Réseaux routiers de ma wilaya Laghouat [1].

I. 6 Situation géographique du projet

Il est situé à environ 78 km de la commune de Sidi Makhlouf, du côté ouest de la municipalité et est accessible par la route nationale n ° 23 (Fig. I-4 et I-5). Il existe certains obstacles, tels que Wad Bin Jibban, qui s'étend du nord-est au nord, et il existe un certain nombre d'habitations et d'installations de type individuel. Les installations de la SONATRACH sont également situées de part et d'autre, comme l'indique le plan d'aménagement du territoire.



Fig. I.4 : Situation géographique du projet.

I. 7 Aperçu sur la Topographie de la Zone du Projet

Le relief de la zone d'El-FASFSA se présente sous deux profils topographiques distincts, l'un de l'autre. Au nord, la commune conserve une topographie générale caractérisée par le pied de contre fort du « Djebel el milok », (altitude de 1400 à 800m avec une pente de 12.5 à 25 %) ; ce sont en générale de hautes terres du genre steppique d'occupation pâturage, habillées d'une couverture végétale essentiellement

constituée de plantes d'alfa et de pâturage [3].

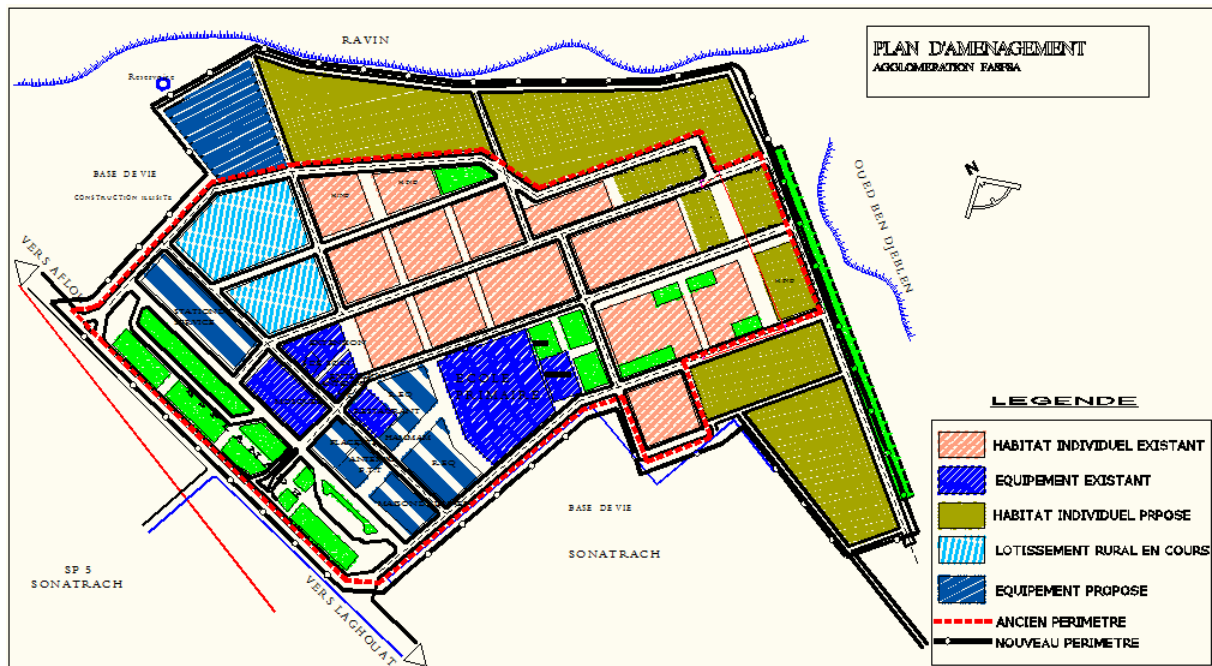


Fig. I.5 : Plan d'aménagement du territoire [3].

I. 8 Situation Géologique de la Zone du Projet

La morphologie est la principale zone des structures temporelles du Jurassique et du Crétacé sur les deuxième et troisième dépôts sédimentaires ; surtout le problème quaternaire de la soi-disant : marno-calcaire, roches gréseuses.

Pour les couches, c'est très fléchissant, synclinaux perchés, anticlinaux. Les plateaux sont composés d'une succession de sédiments à couches de calcaro-gréseux Et d'acier marin [3].

I. 9 Situation climatique de la zone du projet

Le climat de la région de Sidi Makhoulouf varie entre le climat semi-aride de la région nord et le climat sec de la région sud de la municipalité.

En raison de l'absence d'une station de météorologique couvrant l'ensemble du territoire de la municipalité, nous avons fait recours à deux stations de surveillance:

- station de météorologique d'Admet (wilaya de Djelfa) pour la zone nord de la municipalité ;
- station de météorologique du papillon (wilaya de Laghouat) pour la région sud.

Selon ces deux stations, la répartition annuelle des précipitations moyennes peut être présentée comme montré dans le tableau I-1.

Tableau I-1 : Répartition des précipitations moyennes au cours de l'année [3].

Somme	Répartition des précipitations (en mm)												
	Jan.	Fév.	mar	Av.	mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Station de surveillance
167	12	12	16	12	19	12	5	7	23	17	18	14	Laghoutat
251	16	16	21	23.5	33	20	07	13	36	28.5	13	24	T'Admeet
100,00	7,19	7,19	9,58	7,19	11,38	7,19	2,99	4,19	13,77	10,18	10,78	8,38	(%)

I.9.1 Le vent

Le vent de sable souffle presque toute l'année et les vents dominants de mai à septembre provoquent même des pertes matérielles. Les vents du Serico atteignent leur apogée de juin à juillet. En termes de direction du vent, les vents orientés ouest et ouest sont caractérisés par l'hiver, tandis que les vents dominants est et sud-est sont les vents d'été. La vitesse annuelle moyenne du vent est de 4-5 m / s, ce qui contribue au facteur d'érosion [3].

I.9.2 Température

Le tableau I-2 montre que les mois les plus froids sont décembre, janvier et février, alors que la saison chaude est particulièrement longue dans la région méridionale [3].

Tableau I-2 : Variation de la température au cours de l'année [3].

Moyenn e annuelle	Température												
	Jan.	Fév.	mars	Av.	mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Station de surveillance
°13,10	4.3	3.5	8.3	10.5	16	20.4	24	24	19	14	8.3	05	Laghoutat
°17,25	7.4	9.35	12.4	16.1	19.7	24.9	28.6	27.8	23.4	17.8	11	8.1	T'Admeet

Il est bien connu que la température monte régulièrement de Janvier à Avril, puis monte rapidement jusqu'à le mois de juillet, où elle atteint son apogée, puis se replie jusqu'à le mois de septembre, au plus vite en décembre.

I.10 Situation administrative de la zone du projet

C'est une zone urbaine appartenant à la municipalité de Sidi Makhoulouf Situé à l'ouest de la ville de Laghouat, à la limite de la municipalité de Tajmout et de la municipalité de Sidi Makhoulouf, il est situé à Tadjmout, à 20 km de la route nationale 23 et à 50 km de Sidi Makhoulouf sur la route nationale 01 (Fig. I-6).

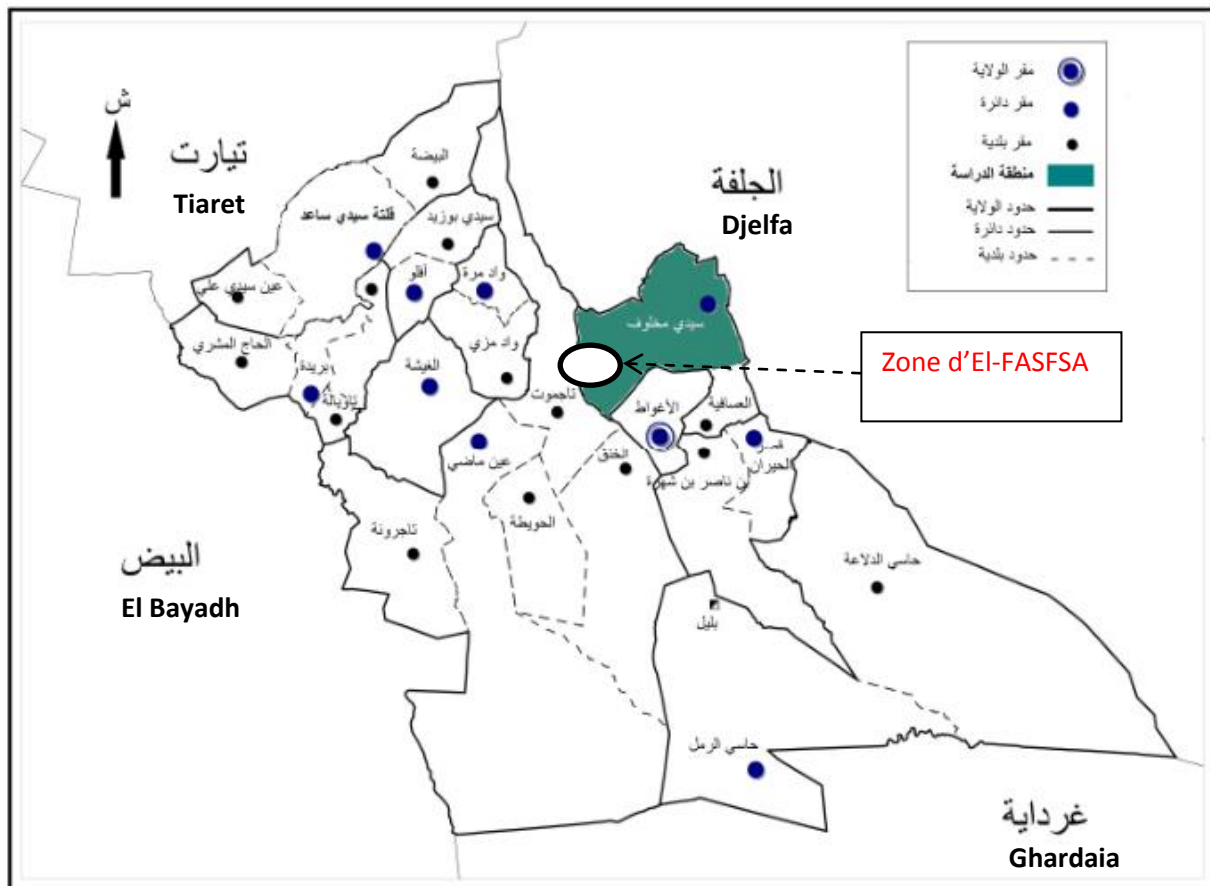


Fig. I.6 : Localisation de la zone [2].

I.11 Etude du sol

I.11.1 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 :

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

I.11.2 Réglementation géotechnique algérienne

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 :

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

I.11.3 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, géologique et géotechnique, 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 géologique et géotechnique des informations existantes.

I.11.4 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. Cependant, la connaissance précise des 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 Publics du Sud** s'est basé sur un seul type d'essais.

I.11.5 Les forages

C'est le seul moyen précis pour reconnaître l'épaisseur et la nature des différentes couches des sols existants, 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 de la nappe, éventuellement et le suivi de son niveau à l'aide des piézomètres

Les forages peuvent être réalisés :

a) Manuellement

Ces puits sont 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.

I.11.6 Reconnaissance du sol support

Afin de déterminer les caractéristiques du sol support sur lequel reposera le corps de chaussée, le LTPS a effectué 29 puits le long de l'itinéraire de la route, tel qu'établi par le bureau d'étude SET Sétif. Les puits sont réalisés alternativement à l'axe, côté gauche et côté droit du tracé.

Le nouveau du tracé est globalement parallèle à l'ancien tracé, à l'exception de quelques rectifications de virage au niveau des points noirs (Voir l'annexe 1).

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 afin de bien cerner l'itinéraire de la route et d'avoir une approche plus précise de l'assise.

Le tracé existant est réalisé en TUF/BB, puis renforcé par un corps de chaussée constitué de :

- une couche de fondation en GNT 0/31.5 de 20 cm ;
- une couche de base en Grave Bitume GB 0/20 de 8 cm ;
- une couche de roulement en Béton Bitumineux BB 0/14 de 6 cm.

(Voir l'annexe 1).

I.11.7 Analyse des matériaux du sol support

Les échantillons prélevés au niveau des 29 puits réalisés ont été acheminés au laboratoire pour effectuer une série d'analyses géotechniques.

La liste des essais de laboratoire et leurs références normatives sont comme suit:

- analyse granulométrique : NFP 94-056 ;
- limites d'Atterberg : NFP 94-051 ;

- équivalent de sable : NFP18-597 ;
- essai CBR NFP 94-078 : Imbibé ;
- caractéristiques Proctor NFP 94-093 ;
- analyses chimiques :
 - insolubles NFP 15-461 ;
 - sulfates BS 137 ;
 - carbonates NFP 15-461.

La synthèse des résultats géotechniques et des analyses chimiques sur les échantillons prélevés sont, en effet, subdivisés en trois groupes :

- c) les essais d'identification ;
- d) les essais mécaniques ;
- e) l'analyse chimique.

Sachant que :

LL : limite de liquidité ;

LP: limite de plasticité ;

IP : indice de plasticité ;

ES: équivalent de sable.

(Voir l'annexe 1).

I.11.8 Synthèse des résultats

D'après les différentes analyses effectuées sur le sol support, on peut conclure ce qui suit :

A) 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 06 à 86 %** ;
- le pourcentage des éléments supérieurs à **20 mm varie de 01 à 44 %** ;
- le pourcentage des éléments supérieurs à **02 mm varie de 02 à 67 %** ;
- le coefficient d'uniformité (coefficient de Hazen $C_U = D_{60}/D_{10}$) est largement **> 02**.

Il s'agit donc de courbes granulométriques étalées et continues, et par conséquent, le matériau se prête bien au compactage.

B) 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.

1. Les valeurs des limites de liquidité **WL** des différents échantillons varient entre 10.98 et 58.19%.
2. Les valeurs des limites de plasticité **WP** des différents échantillons varient du non mesurable à 34.12%.
3. Les valeurs des indices de plasticité **IP** des différents échantillons varient du non mesurable à 24.92%.

Ces résultats nous révèlent que le matériau du sol support est de sensibilité variable à l'eau.

C) Analyses Chimiques :

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

- les insolubles varient de **41.1 à 72.6%** ;
- les sulfates (exprimées sous forme de gypse) ont été détectées au niveau du puits P134 au PK 397+000 (**0.9%**) et le puits P108 au PK 371+000 (**2.88%**) ;
Donc la majorité du sol support de ce tronçon est dépourvue des sulfates.
- les carbonates varient de **22 à 53%**.

D) Equivalent de Sable :

Les résultats enregistrés se situent dans la fourchette **04.39 et 54.82%**.

E) Essais mécaniques:

Une chaussée est essentiellement destinées à supporter les actions mécaniques des véhicules et à les transmettre au sol support, sans produire 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.

E- 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 **5.40 et 13.64 %**.

Les densités sèches maximales obtenues oscillent entre **1.76 et 2.18 t/m³**.

E -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 **10.26** et **27.04**, avec une valeur moyenne de **14** en omettant les deux valeurs extrêmes.

❖ D'après les résultats sur le CBR imbibé à 04 jours, le sol support est de portance moyenne (CBR moyen est de 14).

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

® Tous les matériaux issus des puits 1, 2, jusqu'à 10 à l'exception ont un pourcentage de tamisât à 80µm entre 15 et 34%, par conséquent le sol support des puits suscités est de classe B (sol sableux et graveleux avec fines) ;

® Si on tient compte de la plasticité des matériaux on aura un classement suivant les sous-classes : (voir l'annexe 1).

Recherche de gites de matériau : voir l'annexe 1.

I.12 Etude des variantes

Il s'agit de faire sortir la route nationale RN23 en dehors de la zone urbaine et de la station de la SONATRCH. Au niveau de l'El-FASFSA. Pour mener à bien cette étude, quatre variantes sont à envisagées comme le montre la figure I-7:

1. première variante (Var. 1): route existante ;
2. deuxième variante (Var. 2): contournement du côté droit en direction de la ville de Laghouat ;
3. troisième variante (Var. 3): contournement du côté gauche en direction de la ville de Laghouat ;
4. quatrième variante (Var. 4): un autre contournement du côté gauche en direction de la ville de Laghouat.

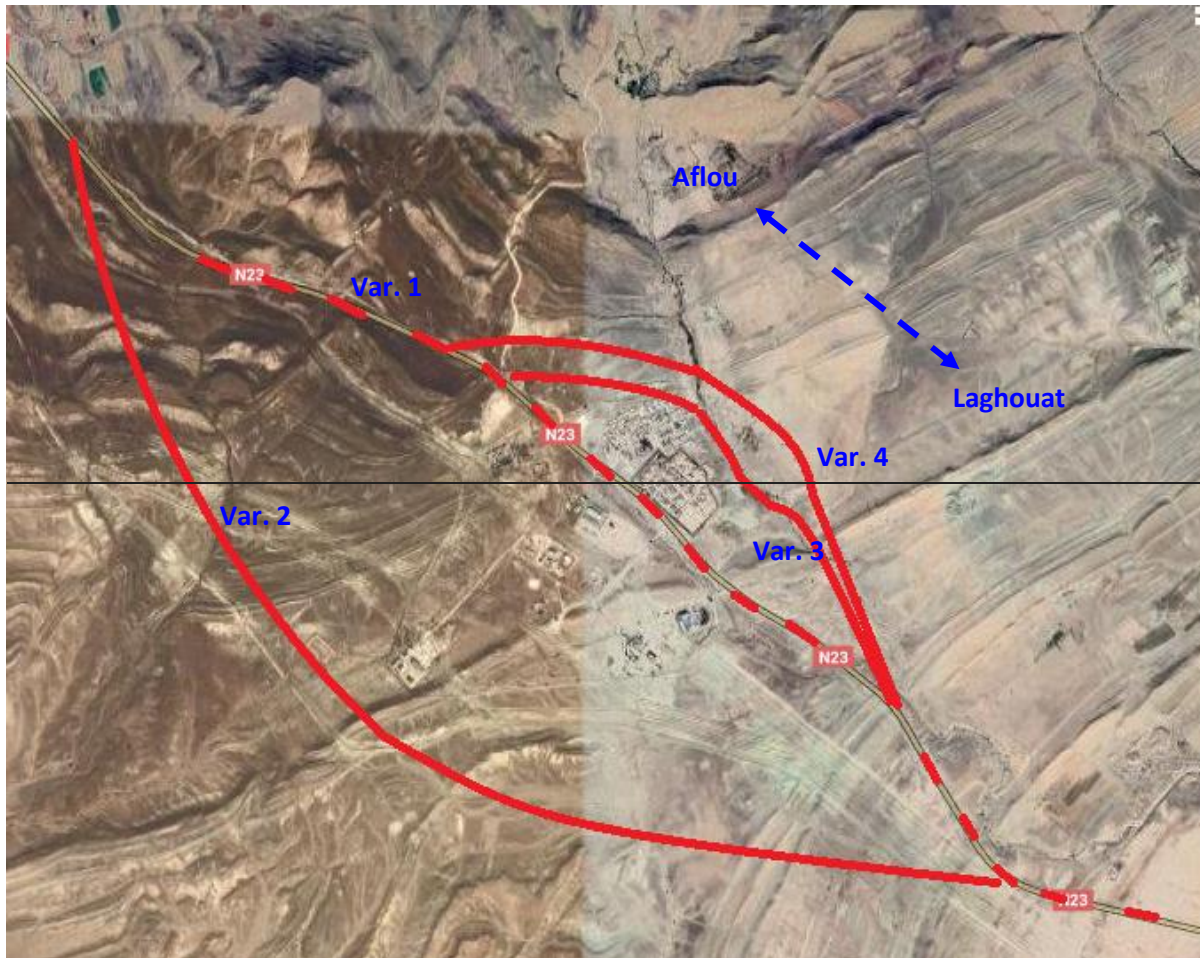


Fig. I.7 : Les différentes variantes envisagées.

I.12.1 Première variante (Var. 1) (La chaussée existante)

Cette route, actuellement utilisée sur une distance de 6 km, est située entre la zone urbaine et la station de la SONATRACH ; c'est une route étroite et à chaussée unique avec deux sens opposés (Figure I-8). Bien que le dépassement est interdit et la vitesse est limitée, ce tronçon est très connu par ses accidents fréquents qui donne lieu à deux points noirs. Parmi les inconvénients présentés par cette route, on cite :

1. la route n'est pas dédoublée ;
2. une route nationale passant par zone urbaine ;
3. la vitesse est réduite ;
4. le débit est réduit ;
5. existence de quelques problèmes de visibilité ;
6. la sécurité est insuffisante ;
7. accidents très fréquents.

En effet, ce sont ces inconvénients-là qui ont amenés les autorités et les responsables à reconsidérer l'étude du tracé de ce tronçon de route en allant vers un projet de

dédoublément et de contournement routier en évitant toute cette zone d'agglomération qui devient de plus en plus gênante pour la circulation de la RN 23.



Fig. I.8 : Chaussée existante (Première variante).

I.12.2 Deuxième variante (Var. 2)

Le deuxième itinéraire proposé, a été choisi vers le côté droit de la route en direction de la ville de Laghouat. De son côté gauche, ce choix sera bordé par la station de la SONATRACH (Figure I-9).

L'une des caractéristiques de cette zone (côté droit) est qu'elle est vide et ne contient aucune construction, ce qui va nous permettre d'éviter de rentrer dans la zone urbaine.

Les avantages que peut nous présenter ce choix sont :

1. possibilité de dédoublement de la voie (terrain vide et plus ou moins régulier);
2. augmentation du débit;
3. plus de sécurité :
4. meilleure visibilité ;
5. virages de grands rayons ;
6. éliminations des points noirs existants ;
7. autoroute sans rupture (circulation continue).

Cependant, certains inconvénients peuvent être enregistrés, tels que :

1. le circuit est plus long ;
2. on est confronté à des canalisations de gaz ;
3. le cout est plus élevé à cause de la longueur exagérée.



Fig. I.9 : Localisation de la deuxième variante.

I.12.3 Troisième variante (Var. 3)

La troisième proposition passe à gauche de la route existante (en direction de la ville de Laghouat) et spécifiquement derrière la zone urbaine. Ce côté-là est caractérisé par l'existence d'une vallée traversant toute la zone (Figure I-10). Ceci ne signifie pas que la route va traverser la vallée. Selon la géographie de la région, il existe un espace suffisant entre la vallée et la zone urbaine pour réaliser le doublement de notre route.

Les avantages que peut nous présenter ce choix sont:

1. la distance de la route est moyenne et acceptable ;
2. pas d'ouvrages d'art ;
3. disponibilité de toutes les conditions techniques nécessaires (sécurité, visibilité, confort et débit).

Cependant les inconvénients que nous allons rencontrer sont:

1. terrain plus ou moins accidenté ;
2. son positionnement au bord de l'oued ;
3. présence de quelques propriétés privées.



Fig. I.10 : Localisation de la troisième variante.

I.12.4 Quatrième variante (Var. 4)

Cette quatrième proposition passe également à gauche de la route actuellement utilisée (en direction de la ville de Laghouat) et coupe la vallée en passant par la région. Elle traverse deux fois la vallée, mais évite totalement les zones urbaines et la station de la SONATRACH (Figure I-11).

Les avantages que peut nous offrir ce choix de tracé, sont:

1. disponibilité de toutes les conditions techniques (sécurité, visibilité, confort et le débit) ;
2. évitement total des zones urbaines ;
3. pas de propriétés privées.

Par contre les inconvénients présentés peuvent se résumer en ce qui suit : Son seul point négatif est économique, puisqu'un chemin contenant des installations techniques augmente aboutit à des coûts élevés.



Fig. I.11 : Localisation de la quatrième variante.

I.12.5 Evaluation des variantes

❖ Première variante (**Var. 1**): Selon la situation de la route, des inconvénients et des problèmes qu'elle pose. Tant que la route est dédoublée et dangereuse, marcher dessus nous devons la exclure des études.

❖ Deuxième variantes (**Var. 2**): Sur le plan économique, l'itinéraire de la deuxième variante est très long car il doit éviter toute la zone de la station de la compagnie SONATRACH, ce qui va éventuellement augmenter le coût du projet.

Techniquement, si cette route est sélectionnée, on se trouve face à quelques obstacles: le sol est accidenté, ses plateaux sont irréguliers et déformés et contiennent une partie montagneuse qui s'étend sur toute la zone (Figure I-12).

Contraintes artificielle

Le terminal de la société est une station-service et il est très dangereux de répandre des pompes dans l'infrastructure. En résumé, cette propriété privée ne permet pas l'achèvement du projet, notamment sur un réseau de gaz.



Fig. I.12 : Contraintes naturelles du site.

❖ Concernant la troisième proposition (**Var. 3**):

Cette proposition peut être économiquement appropriée pour sa courte distance et l'inexistence, de ponts et d'obstacles artificiels ; elle est également exempte d'obstacles naturels, mais il peut y avoir des problèmes administratifs pour le passage de la route aux frontières de « PDAU » (**P**lan **D**irecteur d'**A**ménagement et d'**U**rbanisme).

Outre, techniquement, le projet traverse une zone étroite se situant entre la vallée et les limites de l'expansion urbaine ; les dimensions existantes ne permettent pas facilement le dédoublement de la route nationale.

❖ Concernant la quatrième proposition (**Var. 4**) :

Nous pouvons résumer les obstacles de cette route par des obstacles naturels tels que les montagnes et les vallées qui se trouvent dans cette galerie. Des installations techniques (ponts) pour traverser la vallée sont nécessaires ainsi qu'un terrassement relativement difficile à réaliser sur des sols rocheux (existence d'une montagne). Cet inconvénient économique qui peut coûter cher peut être évité en suivant des terrains plats ne posant pas de problèmes de terrassements. Avec ça, on contourne les zones urbaines et on évite les propriétés privées.

I.12.6 Conclusion

Économiquement, la troisième proposition paraît meilleure et mieux adaptée avec l'absence d'installations techniques, ainsi qu'avec une longueur de parcours minimum ; elle passe pratiquement en dehors des propriétés privées. Compte tenu du terrain, la troisième proposition facilite la réalisation d'une route sans aucun obstacle technique (ponts) et naturel (remblai et déblai) ; mais, par contre, il y a un grand obstacle aux limites de l'expansion urbaine (vallée), qu'on doit éviter. Cet inconvénient nous oblige à passer à la quatrième proposition, bien qu'elle comprenne quelques installations techniques (ponts) pour le surpassement de la vallée. Le tableau I-3 récapitule les principales différences qui existent entre les différentes propositions envisagées.

Tableau I.3 : Evaluations des variantes

Les variantes Les contraintes	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4
Contraintes Artificielles	-	Existence de la station pompage	Aucune contrainte	Aucune contrainte
Contraintes Naturelles	-	Les hauts plateaux	Mieux que les autres variantes	Moins que la troisième variante
Propriétés privées	-	Société SONATRACH	Existence des terrains agricoles	Aucune
Milieu naturel	-	Terrain accidenté	Terrain plat	Terrain plat
La longueur	-	Plus élever	Mieux que les autres variantes	Moins que la deuxième variante
Virage (%)	-	24%	24%	38%

I.13 Environnement de la route

L'environnement est par définition l'état actuel de relief, et il y a trois classes d'environnement (E1, E2, E3) ont été proposées et sont caractérisées par deux indicateurs:

- ❖ La dénivelée cumulée moyenne h/L
- ❖ La sinuosité moyenne L_s/L [4].

I.13.1 La Dénivelée Cumulée Moyenne h/L

La somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées le long de l'itinéraire, et la dénivelée cumulé totale.

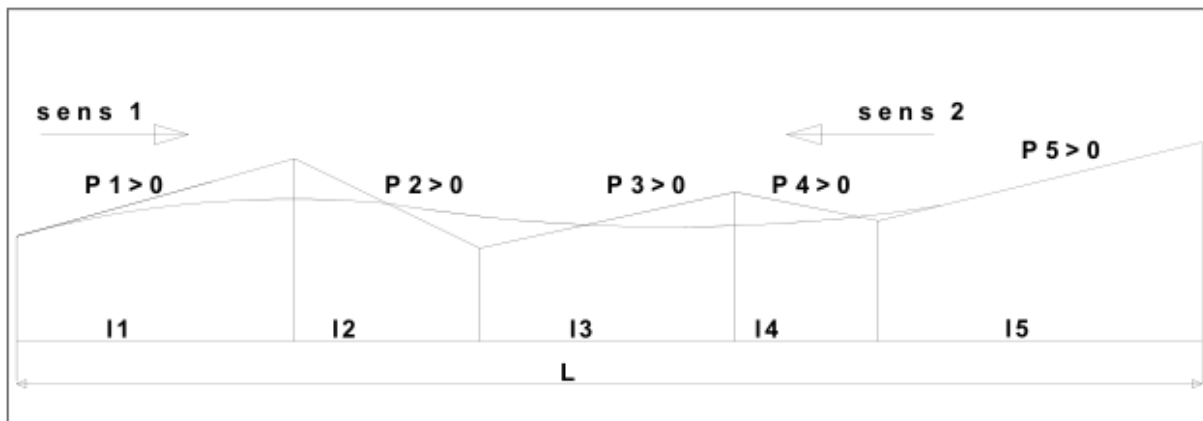


Figure. I.13 : La dénivelée cumulée moyenne h/L .

$$h_1 = \text{dénivelée cumulée sens 1} : h_1 = \sum P_i \cdot l_i \quad P_i > 0 \quad \dots \quad \text{(I.1)}$$

$$h_2 = \text{dénivelée cumulée sens 2} : h_2 = -\sum p_i \cdot l_i \quad P_i < 0 \quad \dots \quad \text{(I.2)}$$

$$\text{Et : } h = h_1 + h_2 \quad \dots \quad \text{(I.3)}$$

Le rapport de la dénivelée cumulée totale h à la longueur de l'itinéraire permet de mesurer la variation longitudinale du relief. Tableau I.4

Tableau I.4 : Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne [4].

N° de code	Classification	La dénivelée cumulée moyenne h/L
1	Terrain plat	$h/L \leq 1,5\%$
2	Terrain vallonné	$1.5\% < h/L \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$4\% < h/L$

I.13.2 La sinuosité moyenne $\sigma = L_s / L$

La sinuosité d'un itinéraire est égale au rapport entre la longueur sinueuse L_s est la longueur totale de l'itinéraire, la longueur sinueuse L_s est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200 m [4].

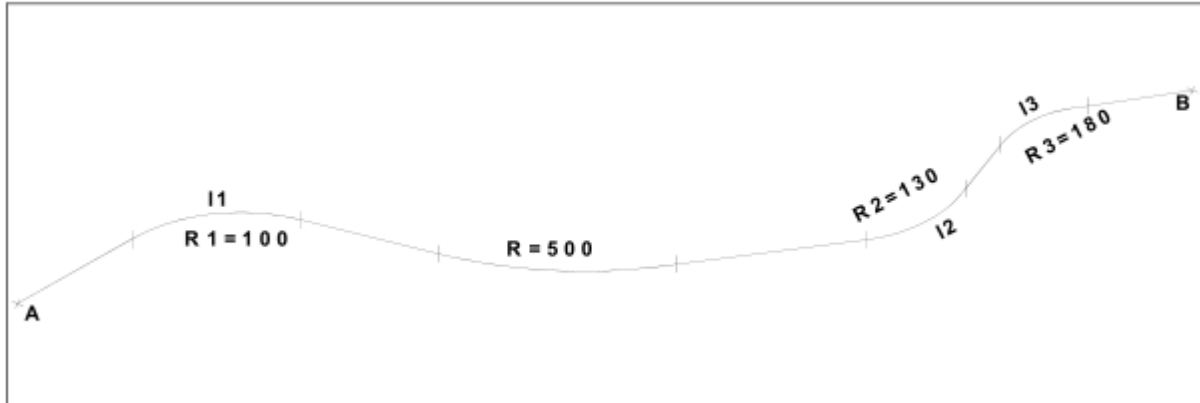


Fig. I.14 : Sinuosité.

$$\sigma = \frac{L_s}{L_{AB}} \quad \text{Avec : } L_s = \sum LR \leq 200 \dots \dots \dots \text{(I.4)}$$

L_s : la longueur sinueuse.

L_R : longueur de rayon ≤ 200 .

L_{AB} : L (longueurs totales de l'itinéraire).

Tableau I.5 : Classification de la sinuosité moyenne [4].

N° de code	Classification	Sinuosité moyenne
1	Sinuosité faible	$\sigma \leq 0.1$
2	Sinuosité moyenne	$0.1 < \sigma \leq 0.3$
3	Sinuosité fort	$0.3 < \sigma$

L'association de deux paramètres précédents (sinuosité moyenne et dénivelée cumulée moyenne), nous donne les trois types d'environnement et ceci selon le tableau ci – dessous :

Tableau I.6 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité [4].

Relief \ Sinuosité	Faible	Moyenne	Fort
Plat	E1	E2	
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux		E3	E3

I.13.3 Application au projet

Catégorie : Catégorie (01), puisque notre projet est une route nationale dédoublée.

La Dénivelée cumulée moyenne :

$$h_1 = \sum_{P_i > 0} P_i L_i \quad \text{et} \quad h_2 = -\sum_{P_i < 0} P_i L_i$$

$$h = h_1 + h_2 \rightarrow h = 0 + 39.337$$

$$h = 39.337 \text{ m}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{39.337}{3122.98} = 38 \% = 0.382$$

Donc selon B40 $\rightarrow$ **Terrain est plat.**

Sinuosité :

Tous les alignements sont raccordés par des courbes de rayon supérieur à 200m.

$$\sigma = \frac{L_s}{L_T} = \frac{0}{3122.98} = 0 < 0.1 \Rightarrow \text{La Sinuosité faible.}$$

Type d'environnement :

Puisqu' on a trouvé que le terrain est vallonné et la sinuosité faible, ce qui donne d'après le tableau I.6, le type d'environnement E1.

..

I.14 Etude de trafic

I.14.1 Introduction

Les déplacements sont un reflet de l'organisation de l'espace et des liens entre les activités et les hommes, aussi en amont de toute réflexion relative à un projet d'aménagement ; est-il nécessaire d'entreprendre une démarche systématique visant la connaissance des trafics.

En effet, l'étude du trafic constitue une étape fondamentale qui convient à lui donner depuis le nombre de voie à l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée.

L'étude du trafic 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, sur une partie « stratégie - planification », sur la prévision des trafics sur les réseaux routiers, qui est nécessaire pour ;

- apprécier la valeur économique des projets ;
- estimer les coûts d'entretiens ;
- définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.

I.14.2 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. Ce dernier nécessite une logistique et une organisation appropriée.

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, la détermination des dimensions à donner aux routes et l'appréciation d'utilité des travaux projetés.

Les éléments de ces analyses sont multiples :

- statistiques générales ;
- comptages sur routes (manuels, automatique) ;
- enquêtes de circulation (origine, destination, etc.).

I.14.3 Différents types de trafics

I.14.3.1 Trafic normal

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en compte le nouveau projet.

I.14.3.2 Trafic dévié

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.

I.14.3.3 Trafic induit

C'est le trafic qui résulte de :

- ❖ des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui, en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier, ne s'effectuent pas antérieurement ou s'effectuent vers d'autres destinations ;
- ❖ une augmentation de production et de vente grâce à l'abaissement des coûts de production et de vente due à une facilité apportée par le nouvel aménagement routier.

I.14.3.4 Trafics total

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

I.14.4 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 :

- prolongation de l'évolution passée ;
- corrélation entre le trafic et des paramètres économiques ;
- modèle gravitaire ;
- modèle de facteur de croissance.

a) 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 :

$$T_n = T_0 (1 + \tau)^n \dots\dots\dots (I.5)$$

Ou : T_0 : est le trafic à l'arrivée pour origine.

τ : est le taux de croissance annuel = 4%.

n : n° de l'année avenir.

b) Corrélation entre le trafic et les 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 national brut (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, ce qui sort du cadre de notre étude.

c) Modèle gravitaire

Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, mais il se prête mal à la projection.

d) 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 leur utilisation ;
- le nombre d'emploi ;
- la population de la zone.

Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie sur la zone à étudier.

➤ Remarque :

Pour notre cas, nous utilisons la première méthode, c'est à dire la méthode « prolongation de l'évolution passée », vu sa simplicité et parce qu'elle intègre l'ensemble des variables économiques de la région

I.14.5 Calcul de la capacité

a) Définition de la capacité

La capacité est le nombre de véhicules qui peuvent raisonnablement passer sur une direction de la route « ou deux directions » avec des caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propre durant une période bien déterminée. La capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire.

b) La Procédure de détermination de nombre de voies

Le choix du nombre de voies résulte de la comparaison entre l'offre et la demande, c'est à dire, le débit admissible et le trafic prévisible à l'année d'exploitation.

Pour cela, il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour la vingtième année d'exploitation.

❖ Calcul de TJMA horizon

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

$$T_n = T_0(1 + \tau)^n$$

T_0, τ, n : sont définies précédemment.

❖ Calcul des trafics effectifs

C'est le trafic traduit en unités des véhicules particuliers (U.V.P) ; il est en fonction de :

- type de la route ;
- et de son environnement.

Pour cela on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en (U.V.P).

Le trafic effectif est donné par la relation :

$$T_{\text{eff}} = [(1 - Z) + PZ] \cdot T_n \dots\dots\dots \textbf{(I.6)}$$

T_{eff} : trafic effectif à l'horizon en (U.V.P/j)

Z : pourcentage de poids lourds (%).

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds, il dépend de la nature de la route.

Tableau I.7 : Coefficients d'équivalence.

Environnement	E1	E2	E3
Route de bonnes caractéristiques	2-3	4-6	8-12
Route étroite	3-6	6-12	16-24

❖ 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 :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) T_{\text{eff}} \dots\dots\dots \textbf{(I.7)}$$

$\left(\frac{1}{n}\right)$: Coefficient de pointe pris égale à 0.12.

Q : est exprimé en UVP/h.

❖ Débit horaire admissible

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

$$Q_{\text{adm}} (\text{uvp/h}) = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\text{th}}$$

K1 : coefficient lié à l'environnement ;

K2 : coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : capacité effective par voie, qu'un profil en travers peut supporter en régime stable

Avec :

❖ Valeurs de K_1 :

Tableau I.8 : Valeur de K_1 .

Environnement	E_1	E_2	E_3
K_1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

❖ Valeurs de K_2 :

Tableau I.9 : Valeur de K_2 .

	Catégorie de la route				
Environnement	1	2	3	4	5
E_1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E_2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E_3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

❖ Valeurs de C_{th} : Capacité théorique du profil en travers en régime stable.

Tableau I.10 : Valeur de la capacité théorique.

	Capacité théorique
Route à 2 voies de 3,5 m	1500 à 2000 uvp/h
Route à 3 voies de 3,5 m	2400 à 3200 uvp/h
Route à chaussées séparées	1500 à 1800 uvp/h

➤ **Calcul du Nombre de Voies**

-Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

On compare Q à Q_{adm} et on prend le profil permettant d'avoir : $Q_{adm} \geq Q$

-Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$S \cdot Q / Q_{adm} \dots\dots\dots (I.8)$$

Avec :

S : coefficient de dissymétrie, en général il est égal à 2/3.

Q_{adm} : débit admissible par voie.

I.14.6 Application au projet

I.14.6.1 Données du trafic

- ✓ le trafic à l'année 2016 $TJMA_{2016} = 5763 \text{ v/j}$;
- ✓ le taux d'accroissement annuel du trafic $\tau = 4\%$;
- ✓ la vitesse de base sur le tracé $V_B = 120 \text{ km/h}$;
- ✓ le pourcentage de poids lourds $P_L = 25\%$;
- ✓ celle-ci est mise en service en l'année 2020 ;
- ✓ catégorie C1 ;
- ✓ l'environnement E1.

I.14.6.2 Application sur la liaison pénétrante

➤ **Calcul de TJMA horizon**

$$TJMA_n = (1 + \tau)^n \times TJMA_0$$

$$TJMA_{2020} = (1 + 0.04)^4 \times 5763$$

$$TJMA_{2020} = 6742 \text{ v/j}$$

$$TJMA_{2040} = (1 + 0.04)^{20} \times 6742$$

$$TJMA_{2040} = 14773 \text{ v/j}$$

➤ Calcul des trafics effectifs

$$T_{\text{eff}} = [(1 - Z) + PZ] T J M A_h$$

Avec :

T_{eff} : trafic effectif à l'horizon.

Z : pourcentage de poids lourds (25%)

P : coefficient d'équivalence

$$T_{\text{eff}} = [(1 - 0.25) + 6 \times 0.25] \times 14773$$

$$T_{\text{eff}} = 22159 \text{ uvp/j.}$$

➤ Débit de pointe horaire normal

Le débit de pointe normale est une fraction du trafic effectif à l'horizon h , il est exprimé en uvp/h

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

Avec :

$(1/n)$ coefficient de pointe prise égale 0.12 ($n = 8$ heure)

$$Q = (1/n) T_{\text{eff}} = 0.12 \times T_{\text{eff}}$$

$$Q = 0.12 \times 22159$$

$$Q = 2659 \text{ uvp/h}$$

Ce débit prévisible doit être inférieur au débit maximal que notre route peut offrir, c'est le débit admissible.

$$Q \leq Q_{\text{adm}}$$

$$\Rightarrow Q \leq K_1 \times K_2 \times C_{\text{th}}$$

$$\Rightarrow C_{\text{th}} \geq Q / K_1 \times K_2$$

Catégorie C_1	}	$K_1 = 0.75$ $K_2 = 1$
Environnement E_1		

$$\Rightarrow C_{\text{th}} \geq 2659 / (0.75 \times 1)$$

$$\Rightarrow C_{\text{th}} \geq 3545 \text{ uvp/h}$$

➤ Calcul du débit admissible

Il est déterminé par application de la formule suivante :

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

$$\left. \begin{array}{l} \text{Catégorie } C_1 \\ \text{Environnement } E_1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} K_1=0.75 \\ K_2=1 \end{array}$$

On trouve :

$$C_{\text{théo}} = 1800 \text{ uvp/h /sens}$$

Donc:

$$Q_{\text{adm}} = 0,75 \times 1 \times 1800$$

$$Q_{\text{adm}} = 1350 \text{ uvp/h/sens}$$

➤ **Détermination du nombre de voies**

$$Q = 2659 \text{ uvp/h/sens}$$

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

$$N = (2/3) \times 2659/1350 = 1.3$$

Donc, on prendra $n = 2$ voies par sens.

Les calculs sont représentés dans le tableau I.11.

Tableau I.11 : Synthèse des résultats.

	TJMA ₂₀₁₆ (v/j)	TJMA ₂₀₂₀ (v/j)	TJMA ₂₀₄₀ (v/j)	T _{eff} (uvp/j)	Q (uvp/h)	N
Résultats	5763	6742	14773	22159	2659	2

I.14.7 Conclusion

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

II.1 Tracé en plan

II.1.1 Définition

Le tracé en plan d'une route est obtenu par projection de tous les points de cette route sur un plan horizontal ; Il est constitué, en général, par une succession d'alignements droits et d'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 doit permettre d'assurer de bonne sécurité [4].

II.1.2 Règles à respecter dans le tracé en plan

- ✓ Appliquer les normes du B40, si possible ;
- ✓ Eviter de passer sur les terrains agricoles, si possibles ;
- ✓ Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum la construction des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques ; si on n'a pas le choix, et l'ouvrage d'art est imposé, on essaie de les franchir perpendiculairement ;
- ✓ S'adapter au maximum avec le terrain naturel ;
- ✓ Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet ;
- ✓ Respecter la cote des plus hautes eaux ;
- ✓ Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau ;
- ✓ Respecter la longueur minimale des alignements droits, si c'est possible ;
- ✓ Se raccorder sur les réseaux existants ;
- ✓ S'inscrire dans le couloir choisi ;
- ✓ Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- ✓ Il est recommandé que les alignements représentent 60% au plus de la longueur totale du trajet ;
- ✓ En présence des lignes électriques aérienne, prévoir une hauteur minimale de 10m [4].

II.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 circulaires se fait à l'aide des Clothoïdes qui assurent un raccordement progressif par nécessité de sécurité et du confort des usagers de la route (Fig. II-1).

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments:

- ✓ Des droites (alignements).
- ✓ Des arcs de cercle.
- ✓ Des courbes de raccordement progressives [4].

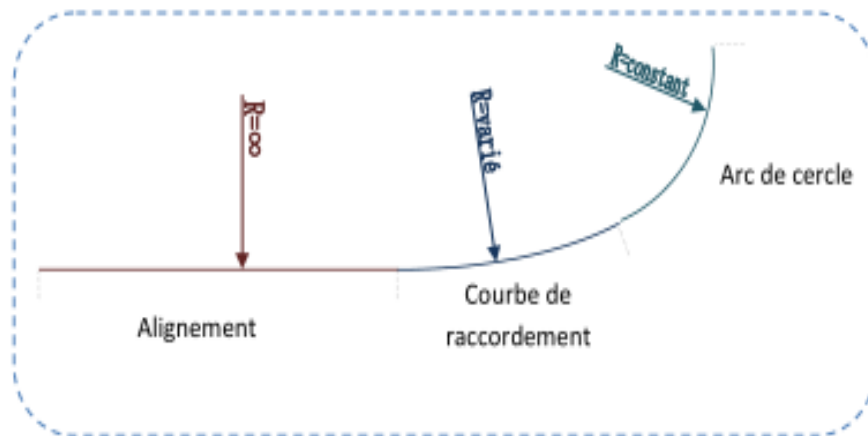


Fig. II.1 : Les principaux éléments géométriques du tracé en plan [4].

II.1.3.1 Les alignements

Bien qu'en principe la 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 :

- ❖ 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 ou, des sinuosités ne seraient absolument pas motivées ;
- ❖ dans des vallées étroites ;
- ❖ 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 suivantes l'alignement ;
- ❖ du rayon de courbure de ces sinuosités [4].

• Règles concernant la longueur des alignements

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 des deux arcs de cercle.

$$L_{\min} = 5 \times \frac{V_b}{3.6} \dots\dots\dots (II.1)$$

V_b : vitesse de base en km/h.

Une longueur maximale $L_{\max}$ est prise égale à la distance parcourue pendant soixante (60) secondes.

$$L_{\max} = 60 \times \frac{V_b}{3.6} \dots\dots\dots (II.2)$$

II.1.3.2 Arcs 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 [4].

• Stabilité en courbe

Dans un virage R un véhicule subit l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système, afin de réduire l'effet de la force centrifuge on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite devers exprimée par sa tangente (Fig. II.2).

L'équilibre des forces agissant sur le véhicule nous amène à la conclusion suivante :

$$R \geq \frac{V_r^2}{g(f_t + d)} \dots\dots\dots (II.3)$$

Avec :

V_r : vitesse de référence (m/s) ;

g : gravitation (m/s^2) ;

f_t : coefficient de frottement transversal ;

d : dévers.

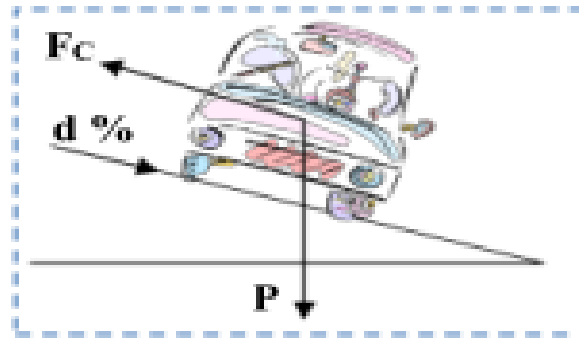


Fig. II.2 : Stabilité en Courbe [4].

a)- Rayon minimal absolu (RH_M)

C'est le rayon qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal. Ce rayon est employé généralement dans les conditions les plus difficiles (régions montagneuses).

$$RH_M = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{\max})} \dots\dots\dots (II.4)$$

f_t : coefficient de frottement transversal.

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

b)- Rayon minimal normal (RH_N)

Le rayon minimal normal doit permettre à des véhicules dépassant V_r de 20km/h de rouler en sécurité.

$$RH_N = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{\max})} \dots\dots\dots (II.5)$$

c)- Rayon au dévers minimal (RH_d)

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_r serait équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Dévers associé $d_{\min} = 2.5\%$ en catégorie 1 – 2.

$d_{\min} = 3\%$ en catégorie 3 – 4.

$$RH_d = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{\min}} \dots\dots\dots (II.6)$$

d)- Rayon minimal non déversé (RH_{nd})

C'est le rayon non déversé telle que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_r une courbe de devers égal à $d_{\min}$ vers l'extérieur reste inférieure à valeur limitée.

$$\text{Categ. 1-2} \rightarrow \text{RH}_{\text{nd}} = \frac{V_r^2}{127 \times 0.035} \dots\dots\dots (\text{II.7})$$

Pour notre projet (dédoublément de la RN 23) situé dans un environnement (E1), et classé en catégorie (C1) avec une vitesse de référence de « 120km/h », et à partir du règlement B40, on peut avoir les résultats présentés par le tableau II. 1.

Tableau II. 1: Rayons du tracé en plan [4].

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

II.1.3.2.2 Inscription des véhicules longs

- **Surlargeur:**

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.

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

S : surlargeur nécessaire pour une voie.

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

R : rayon de l'axe de la route.

II.1.3.2.3 Visibilité masquée dans une sinuosité

Un virage d'une route peut être masqué du côté intérieure de la courbe par un talus de déblai si la route est en tranchée, par une construction ou une forêt ; 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.

$$S = d / 2R \dots \dots \dots (II.8)$$

d : distance d'arrêt pour une route bidirectionnelle.

Au lieu de cela, une autre solution serait d'augmenter le rayon du virage jusqu'à ce que la visibilité soit bonne. En plan, la limite de ce dérasement sera donnée par la projection verticale de la courbe enveloppe des rayons visuels partant de l'œil du conducteur (Fig. II.3).

Le niveau de dérasement tiendra compte du niveau admis de l'œil du conducteur ou du niveau des obstacles à percevoir « objet ou voiture » ; prendre une marge pour la végétation ; la largeur de dérasement est comptée à partir de l'axe de la route, mais le calcul se fait au droit de la trajectoire des véhicules, côté intérieur du virage.

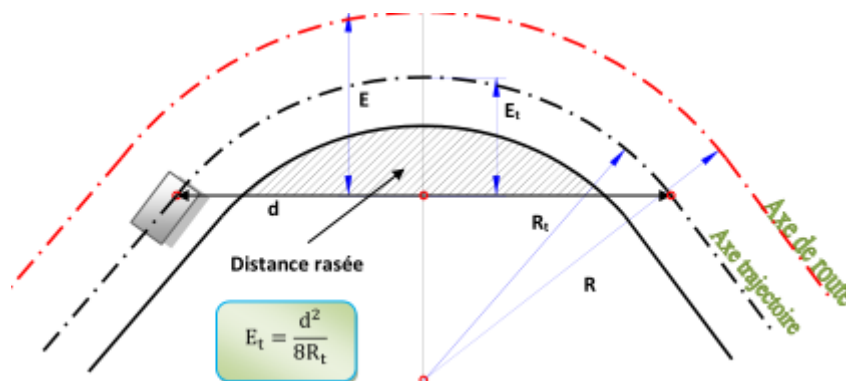


Fig. II.3 : Zone de dérasement (Cas d'une route Unidirectionnelle) [4].

II.1.4 Les courbes de raccordement

Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des Courbures progressives permettant l'introduction progressive du devers et de la force centrifuge (condition de 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.

II.1.4.1 Rôle et nécessité des courbes de raccordement

L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre conditions suivantes :

- stabilité transversale du véhicule ;
- confort des passagers du véhicule ;
- transition de la forme de la chaussée.

Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

II.1.4.2 Types de courbe de raccordement

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une Variation continue de la courbure, il a été retenu les trois courbes suivantes :

- ✓ 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).

b) Lemniscate :

Cette courbe est 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.

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 généralement linéaire par rapport à la longueur de l'arc (Fig. II.4). Parcourue à vitesse constante, la Clothoïde maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers [5].

c.1)- Expression mathématique de la Clothoïde:

Courbure K linéairement proportionnelle à la longueur curviligne :

$$K = C \cdot L \quad \text{avec} \quad K = \frac{1}{R} \rightarrow L \cdot R = \frac{1}{C} \rightarrow \frac{1}{R} = C \cdot L$$

$$\text{On pose } \frac{1}{C} = A^2 \rightarrow L \cdot R = A^2$$

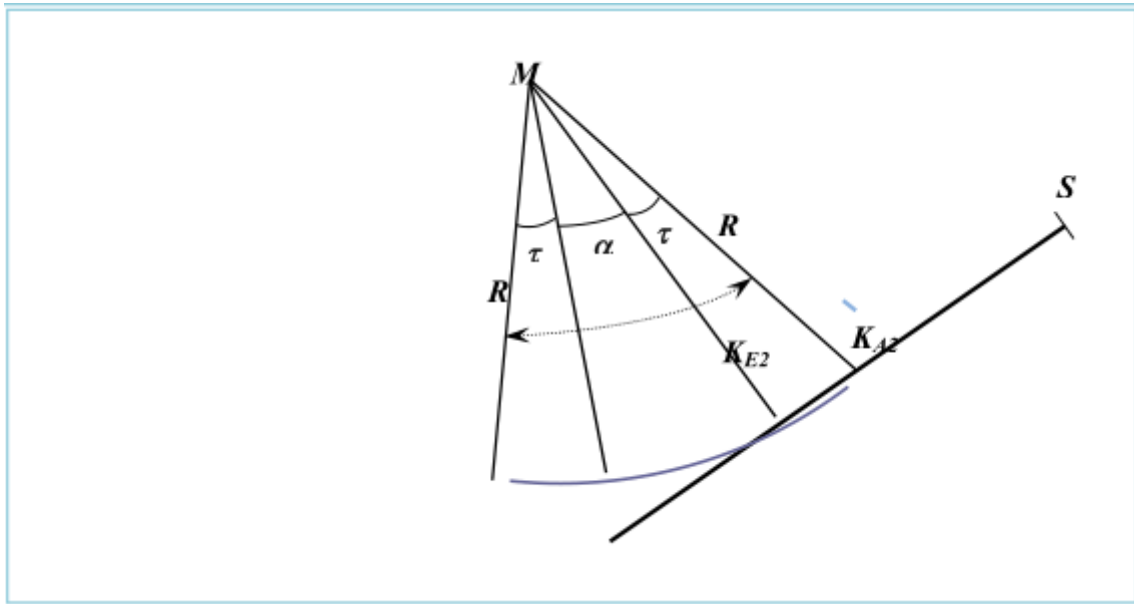


Fig. II.4 : Eléments de la clothoïde.

- ✓ A : Paramètre de la clothoïde ;
- ✓ M : Centre du cercle ;
- ✓ R : Rayon du cercle ;
- ✓ K_A : Origine de la clothoïde ;
- ✓ K_E : Extrémité de la clothoïde ;
- ✓ L : longueur de la branche de la clothoïde.
- ✓ ΔR : Mesure de décalage entre l'élément droit et de l'arc du cercle (le ripage)
- ✓ X_m : Abscisse du centre du cercle ;
- ✓ τ : Angle des tangentes ;
- ✓ X : Abscisse de KE ;
- ✓ Y : Origine de KE ;
- ✓ T_K : tangente courte ;
- ✓ TL: tangente longue ;
- ✓ SL: Corde ($K_A - K_E$) ;
- ✓ σ : Angle polaire (angle de corde avec la tangente).

II.1.5 Conditions de raccordement

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

a) - Condition de confort optique (pour routes importantes ; autoroutes):

La clothoïde doit aider à la lisibilité de la route en amorçant le virage ; la rotation de la tangente doit être $\geq 3^\circ$ pour être perceptible à l'œil.

$$R/3 < A < R \dots \dots \dots (II.9)$$

Règle générale (B40) :

- ✓ $R \leq 1500\text{m}$ $\Delta R = 1\text{m}$ (éventuellement 0.5m)
 $L = \sqrt{24R\Delta R}$
- ✓ $1500 \leq R \leq 5000\text{m}$
 $L \geq L/9$
- ✓ $R > 5000\text{m}$ $\Delta R = 2.5\text{m}$
 $L = 7.75$

b) - Condition de confort dynamique :

Cette condition Consiste à limiter pendant le temps de parcours Δt du raccordement, la variation, par unité de temps, de l'accélération transversale.

$$L = \frac{V_r^2}{18} \left(\frac{V_r^2}{127R} - \Delta d \right) \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

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

R : rayon en (m) ;

Δd : variation de dévers.

C) - Condition de gauchissement :

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones des variations de dévers. Elle s'explique par rapport à son axe.

$$L \geq l \cdot \Delta d \cdot V_R \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

L : longueur de raccordement ;

l : Largeur de la chaussée ;

Δd : variation de dévers.

Nota : 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%.

$$L \geq \frac{5 \times \Delta d \times V_r}{36} \dots\dots\dots(\text{II.12})$$

Combinaison des éléments du tracé en plan

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

a) - Courbe en S :

Une courbe constituée de deux arcs de Clothoïde, de concavités opposées tangents en leur point de courbure nulle et raccordant deux arcs de cercle (Fig. II.5).

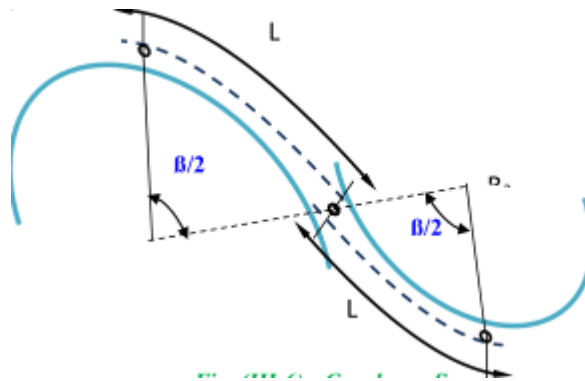


Fig. II.5 : Courbe en S.

b) - 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 (Fig. II.6).

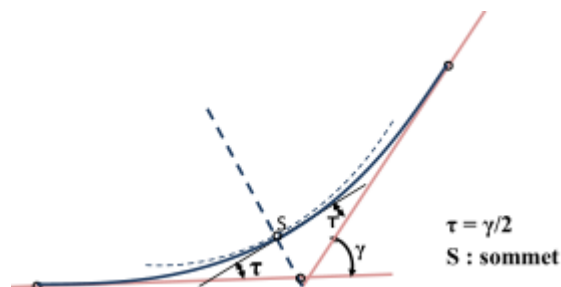


Fig. II.6 : Courbe à sommet.

c) - 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 (Fig. II.7).

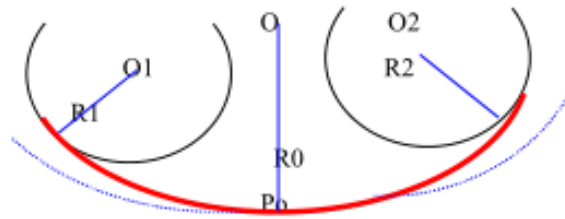


Fig. II.7 : Courbe en C.

d) Courbe en Ove:

Un arc de Clothoïde raccordant deux arcs de cercles dont l'un est intérieur à l'autre, sans lui être concentrique (Fig. II.8).

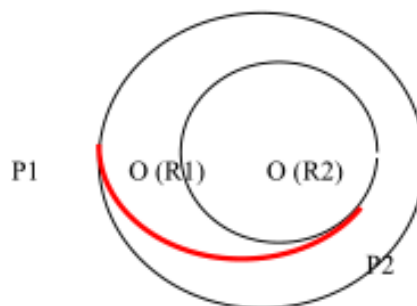


Fig. II.8 : Courbe en ovale.

II.1.6 Notion 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 de pluies.

a) 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: $d_{min}=2.5\%$.

b) Devers en courbe :

En courbe, il permet de :

- ✓ 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.

c) Rayon de courbure :

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

d) Calcul des devers :

Dans les alignements droits et dans les courbes de $R \geq R_{Hnd}$ le devers est égal à 2.5%

Et pour les courbes de rayon $R < R_{Hnd}$, un calcul de devers peut être fait par l'interpolation en « $1/R$ ».

$$R_{Hm} < R < R_{Hn} \text{ on a: } \frac{d(R) - d(R_{Hm})}{1/R - 1/R_{Hm}} = \frac{d(R_{Hm}) - d(R_{Hn})}{1/R_{Hm} - 1/R_{Hn}}$$

$$R_{Hn} < R < R_{Hd} \text{ on a: } \frac{d(R) - d(R_{Hd})}{1/R - 1/R_{Hd}} = \frac{d(R_{Hn}) - d(R_{Hd})}{1/R_{Hn} - 1/R_{Hd}}$$

Les rayons compris entre R_{Hd} et R_{Hnd} sont au devers minimal, mais des rayons supérieurs à R_{Hnd} 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%).

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 D_{min} : appelée longueur de gauchissement.

$$D_{min} = \frac{5}{36} \times V_r \Delta d ;$$

- ❖ 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 être unique et conservé.

II.1.7 La Vitesse de référence

La vitesse de référence (V_r) est une vitesse prise pour établir un projet de route, elle est l'élément principal pour la détermination des valeurs extrêmes des caractéristiques géométriques et autres intervenants dans l'élaboration du tracé d'une 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 (traversée d'une ville, modification du relief, etc....).

II.1.7.1 Choix de la vitesse de référence

Le choix de la vitesse de référence dépend de:

- ❖ type de route ;
- ❖ importance et genre du trafic ;
- ❖ topographie du terrain ;
- ❖ conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

II.1.7.2 Vitesse de projet

La vitesse de projet V_r 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 normale.

Paramètre fondamentaux :

D'après le règlement des normes algériennes B40, pour un environnement E1 et une catégorie C1, avec une vitesse de base de 120km/h, on définit les paramètres suivants (Tableau II.2):

Tableau II.2: Paramètres fondamentaux [4].

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse (km/h)	V	120
Longueur minimale (m)	$L_{\min}$	111
Longueur maximale (m)	$L_{\max}$	1333
Devers minimal (%)	$D_{\min}$	2.5
Devers maximal (%)	$D_{\max}$	7
Temps de perception réaction (s)	t1	1.8
Frottement longitudinal	fL	0.33
Frottement transversal	ft	0.10
Distance de freinage (m)	d0	175
Distance d'arrêt (m)	d1	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)	dmd	425

II.1.8 Calcul d'axe

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de Clotholde, 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 lequel 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 τ entre alignements.
- calcul de la tangente T ;
- calcul de la corde SL ;
- calcul de l'angle polaire σ ;
- vérification de non chevauchement ;
- calcul de l'arc de cercle ;
- calcul des coordonnées des points singuliers ;
- calcul de kilométrage des points particuliers.

II.1.9 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.

Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit (Tableau II.3) :

Tableau II.3 : coordonnées des sommets et le rayon utilisé.

$V_r=120 \text{ km/h}$	X(m)	Y(m)	R (m)
S0(P1)	786841.1569	3990783.4192	700 m
S2(P2)	786329.8165	3990305.3700	
S1(P3)	786334.3879	3991005.3551	

Caractéristiques de la Courbe de Raccordement

a)- Calcul du paramètre A :

On sait que : $A^2 = L \times R$

Détermination de L :

b)- Condition de confort dynamique et de gauchissement :

$$L \geq \frac{5}{36} \Delta d V_r$$

$$\triangleright RH_d \leq R \leq RH_{nd}$$

$$\Delta d = ?$$

$$d = d_{\min} = 2.5\%$$

$$\Delta d = 2.5 - (-2.5) = 5\%$$

$$L \geq \frac{5}{36} \times 5 \times 120 = 83.33 \text{ m}$$

c)- Condition de confort optique :

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \quad \text{D'ou } 234 \leq A \leq 700$$

❖ Calcul du paramètre A :

On sait que : $A^2 = L.R$

$$A = \sqrt{L \cdot R} = 233.66 \text{ m donc on prend : } A = 234 \text{ m}$$

$$L = A^2/R = 53.82 \text{ m on prend : } L = 79 \text{ m}$$

La condition $R/3 \leq A_{\min} \leq R$ elle est vérifiée, ($700/3 \leq A_{\min} \leq 700$)

❖ calcul de ΔR :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} = \frac{79^2}{24 \times 700} \Rightarrow \Delta R = 0.371 \text{ m}$$

d)- 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.

$$P1P2 \left\{ \begin{array}{l} |\Delta X_1| = |XP_2 - XP_1| = 511.340 \\ |\Delta Y_1| = |YP_2 - YP_1| = 478.0492 \end{array} \right.$$

$$P2P3 \left\{ \begin{array}{l} |\Delta X_2| = |XP_3 - XP_2| = 4.571 \\ |\Delta Y_2| = |YP_3 - YP_2| = 699.985 \end{array} \right.$$

$$G_{\frac{P2}{P1}} = 100 + \text{ARCTG} \left| \frac{\Delta Y_1}{\Delta X_1} \right| = 143.072 \text{ grad.}$$

$$G_{\frac{P2}{P3}} = 100 + \text{ARCTG} \left| \frac{\Delta Y_2}{\Delta X_2} \right| = 189.625 \text{ grad.}$$

Calcul de l'angle γ :

$$\gamma = G_{\frac{P3}{P2}} - G_{\frac{P2}{P1}} = 46.553 \text{ grad.}$$

$$\gamma/2 = 23.27 \text{ grad.}$$

Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi} = 3.54 \text{ grade.}$$

Vérification de la condition de non chevauchement :

$$\tau < \gamma/2 \implies \text{condition vérifiée.}$$

Calcul des distances :

$$P_1P_2 = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2} = 699.9997 \text{ m.}$$

$$P_2P_3 = \sqrt{\Delta X_2^2 + \Delta Y_2^2} = 699.999992 \text{ m.}$$

$$X_m = L/2 = 39 \text{ m.}$$

Calcul de l'abscisse KE :

$$X = L. \left(1 - \frac{L^2}{40R^2}\right) = 77.97 \text{ m.}$$

Calcul de l'origine KE :

$$Y = \frac{L^2}{6R} = 1.448 \text{ m.}$$

Calcul de la tangente :

$$T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg} \gamma/2 = 340.19 \text{ m}$$

Calcul de SL :

$$SL = \sqrt{X^2 + Y^2} = 77.98 \text{ m.}$$

Calcul de l'angle σ :

$$\sigma = \operatorname{arctg} (y/x) = 1.0639 \text{ grad}$$

Calcul de l'arc

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 39.473 \text{ grad}$$

Longueur de l'axe :

$$K_{E1} - K_{E2} = \frac{R \cdot \alpha \cdot \pi}{200} = 433.808 \text{ m.}$$

Calcul des coordonnées des points singuliers :

$$K_{A1} \left\{ \begin{array}{l} X_{KA1} = X_{P1} - (p1p2-T) \times \sin (G_{P1}^{P2}-200) \\ Y_{KA1} = Y_{P1} - (p1p2-T) \times \cos (G_{P1}^{P2}-200) \end{array} \right.$$

$$K_{E1} \left\{ \begin{array}{l} X_{KE1} = X_{P1} + SL \times \sin (G_{P1}^{P2}-\sigma) \\ Y_{KE1} = Y_{P1} + SL \times \cos (G_{P1}^{P2}-\sigma) \end{array} \right.$$

$$K_{A2} \left\{ \begin{array}{l} X_{KA2} = X_{S1} + T \times \sin (200 - G_{P2}^{P3}) \\ Y_{KA2} = Y_{S1} - T \times \cos (200 - G_{P2}^{P3}) \end{array} \right.$$

$$K_{E2} \left\{ \begin{array}{l} X_{KE2} = X_{KA2} - SL \times \sin (G_{P2}^{P3} + \sigma) \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} - SL \times \cos (G_{P2}^{P3} + \sigma) \end{array} \right.$$

Note :

Les conditions de raccordement progressives du tracé en plan sont vérifiées manuellement en se basant sur le calcul à l'aide du logiciel COVADIS.

II.2 Profil en long

II.2.1 Définition

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

C'est, en général, une succession d'alignements droits (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires.

Pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- ❖ l'altitude du terrain naturelle ;
- ❖ l'altitude du projet ;
- ❖ la déclivité du projet ;
- ❖ etc.

II.2.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur ;
- 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, notamment, à des certaines règles ;
- 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 ;
- Limiter la déclivité pour une catégorie donnée ($i \leq i_{\max}$) [4].

II.2.3 Les Eléments de composition du 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....

II.2.4 Coordination du tracé en plan et 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:

- 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 résultants d'une mauvaise coordination entre le tracé en plan et profil en long, les règles suivantes sont à suivre:
 - ✚ augmenter le ripage du raccordement en introduisant une courbe en plan si le profil en long est convexe ;
 - ✚ amorcer la courbe en plan avant un point haut, lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe ;
 - ✚ faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celles du profil en long (porter le rayon de raccordement vertical à 6 fois au moins le rayon en plan).

II.2.5 Déclivité

On appelle « déclivité d'une route » la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de « pente » pour les descentes et « rampe » pour montées.

II.2.5.1 Déclivité minimum

Dans un terrain plat on n'emploie normalement jamais de pente nulle de façon à ce que l'écoulement des eaux pluviales s'effectue facilement au long de la route au bord de la chaussée. On adopte, en général, les pentes longitudinales minimales suivantes :

Au moins 0,5% et de préférences 1 %, si possible.

$I_{\min} = 0,5 \%$ dans les longues sections en déblai : pour que l'ouvrage d'évacuation des eaux ne soit pas trop profond.

$I_{\min} = 0,5 \%$ dans les sections en remblai prévues avec des descentes d'eau [4].

II.2.5.2 Déclivité maximum

La déclivité maximale est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures à 1500m, à cause de :

- ❖ la réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (cas de rampe Max) ;
- ❖ l'effort de freinage des poids lourds est très important provoquant ainsi l'usure de la pneumatique (cas de pente max.).

Donc, la déclivité maximale dépend de :

- ❖ condition d'adhérence ;
- ❖ vitesse minimum de PL ;
- ❖ condition économique.

Tableau II.4 : Valeur d' $I_{\max}$ selon le B40.

VR Km/h	40	60	80	100	120	140
I max %	8	7	6	5	4	4

II.2.6 Raccordement en profil en long

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long ; ce changement doit être adouci par l'introduction d'un raccordement circulaire qui doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort. On distingue deux types raccords :

II.2.6.1 Raccordement Convexes (Angle Saillant)

Les rayons minimums admissibles des raccords paraboliques en angles saillants 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 de visibilité d'autre part.

- **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.

Limitation de l'accélération verticale :

$g/40$: pour C 1 -2 et $g/30$: pour C 3- 4- 5

$$V_R^2/R_V < g/40 \quad RV_{\min} = \begin{cases} 0.3 VR^2 & \text{pour } c \text{ 1} - 2 \\ 0.23 VR^2 & \text{pour } c \text{ 3} - 4 - 5 \end{cases}$$

Pour $g=10$ m/s.

Dans notre cas $RV_{\min} = 0.3 V_R^2$

Avec :

R_V : rayon vertical (m).

V_R : vitesse référence (km/h)

- **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.

Le rayon de raccordement est donné par l'expression :

$$RV = \frac{d_0^2}{2} (h_0 + h_1 + 2\sqrt{h_0 \times h_1}) \dots \dots \dots (II.13)$$

Avec :

d_0 : distance d'arrêt (m) ;

h_0 : hauteur de l'œil du conducteur (m) ;

h_1 : hauteur de l'obstacle (m).

II.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 par un rayon satisfaisant la relation :

$$R'V = \frac{d_0^2}{(1.5 + 0.035 \times d_0)} \dots \dots \dots (II.14)$$

Avec : d_0 : distance d'arrêt (m) [4].

a) Le Confort dynamique :

En angle rentrant, le problème de visibilité ne se pose pas, mais il y a apparition d'une accélération importante (accélération centrifuge) qui peut avoir une influence sur le confort des véhicules [4].

On distingue deux types de rayon verticaux :

- ❖ RV_m : rayon minimal absolu calculé pour une vitesse V_R
- ❖ RV_n : rayon minimal normal calculé pour une vitesse V_R+20

Pour assurer le confort dynamique des véhicules, on admet qu'une telle accélération est supportable si elle ne dépasse pas :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{g}{40} \quad (g: \text{la pesanteur}) \quad \text{pour les catégories 1,2} \\ \frac{g}{30} \quad \text{Pour les catégories 3,4 et 5} \\ V_c \leq \frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30} \leftrightarrow \frac{V^2}{RV} \leq \frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30} \end{array} \right.$$

Si on prend $g=10 \text{ m/s}^2$ et V_r en (km/h)

$R'V > 0.3 V^2$ Pour les catégories 1 et 2 ;

$R'V > 0.25 V^2$ Pour les catégories 3,4 et 5.

b)- La Visibilité nocturne :

Dans un raccordement concave, les conditions de visibilité du jour ne sont pas déterminantes, lorsque la route n'est pas éclairée la visibilité de nuit doit par contre être prise en compte.

Cette condition s'exprime par la relation :

$$R'_v = \frac{d_1^2}{(1.5 + 0.035 d_1)} \dots \dots \dots (II.15)$$

Avec :

R_v' : rayon minimum du cercle de raccordement.

d_1 : distance d'arrêt.

c)- 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).

$$RV_{\min} = 100 \times \frac{50}{\Delta d(\%)} \dots \dots \dots (II.16)$$

Avec :

Δd : changement de dévers ;

$RV_{\min}$: rayon vertical minimal.

II.2.7 Détermination pratique du profil en long

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle à l'équation de la parabole suivante :

$$X^2 + Y^2 - 2RY = 0$$

$$X^2 - 2RY = 0 \rightarrow Y = \frac{X^2}{2R} \dots \dots \dots (II.17)$$

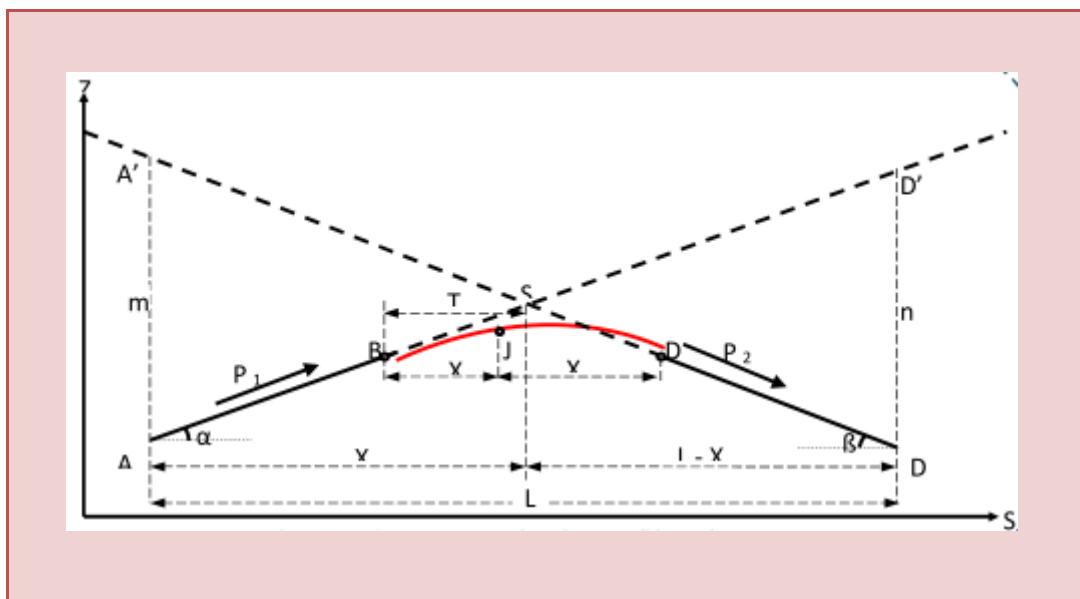


Fig. II.9 : La courbe du profil en long.

a)- Détermination de la position du point d'encontre (s) :

On a :

$$Z_{A'} = Z_D + L.P2, \quad m = Z_{A'} - Z_A$$

$$Z_{D'} = Z_A + L.P1, \quad n = Z_{D'} - Z_D$$

Les deux triangles (A'SA) et (SDD') sont semblables donc :

$$\frac{m}{n} = \frac{X}{(L-X)} \Rightarrow X = \frac{mL}{n+m}$$

$$S_S = S_A + X$$

b)- Calcul des points de tangente :

$$T = \frac{R}{2} (|P_1| \pm |P_2|)$$

On prend (+) lorsque les deux pentes sont de sens contraires,

La tangente (T) permet de position les pentes de tangente B et C.

$$\begin{array}{l} S_B = \\ B \\ Z_B = \end{array} \left\{ \begin{array}{l} S_S - T S_C = S_S + T \\ Z_S - T.P_1 Z_C = Z_S - T.P_2 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} C \\ \left\{ \begin{array}{l} S_C = S_S + T \\ Z_C = Z_S - T.P_2 \end{array} \right. \end{array}$$

c)- Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (J) :

Le point j correspond au point le plus haut de la tangente horizontale.

$$X_1 = R \times P_1$$

$$X_2 = R \times P_2 \quad \left\{ \begin{array}{l} S_J = S_B - X_1 \\ Z_J = Z_B + X_1 \times P_1 - X_1^2 / (2R) \end{array} \right.$$

Dans le cas des pentes de mêmes sens le point j est en dehors de la ligne de projet et ne présente aucun intérêt, par contre, dans le cas des pentes des sens contraires, la connaissance du point (j) est intéressante, en particulier pour l'assainissement en

Zone de déblai ; le partage des eaux de ruissellement se fait à partir du point (j), c'est-à-dire les pentes des fossés descendants dans les sens j(A) et j(D).

II.2.8. Application au projet

II.2.8.1 Caractéristiques des rayons en long

Pour notre projet on a les paramètres géométriques concernant le tracé de la ligne rouge qui sont donnés sur le tableau suivant (selon le B40) :

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

Catégorie		C1
Environnement		E1
Vitesse (km/h)		120 km/h
Rayon en angle saillant (Concave) RV	Route bidirectionnelle (2x2voies)	
	Rvm2 (minimal absolu) en m	1200
	RVN2 (minimal normal) en m	1800
Rayon en angle rentrant (Convexe) RV	Route bidirectionnelle (2x2 voies)	
	Rvm2 (minimal absolu) en m	4200
	RVN2 (minimal normal) en m	6000
Déclivité maximale I _{max} (%)		

II.3 Profil en Travers

Le profil en travers est défini comme étant la coupe transversale suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe du projet.

La détermination du profil en travers veut dire la définition de la largeur de la chaussée et de ses annexes. On distingue trois types de profils en travers :

- profil en travers en déblai ;
- profil en travers en remblai ;
- profil en travers mixte (remblai et déblai).

II.3.1 Les Eléments du profil en travers [9]

II.3.1.1 Chaussée

C'est la partie renforcée et affectée à la circulation des véhicules. Pour subir directement les actions des véhicules et les facteurs naturels. Sa largeur dépend essentiellement des considérations de débit. Elle est divisée en voies de circulations.

II.3.1.2 Accotements

Les accotements se trouvent aux cotés de la chaussée, ils étaient utilisés auparavant soit pour le dépôt des matériaux soit pour les piétons, maintenant, ils sont utilisés pour le stationnement.

Sur les routes importantes, la largeur des accotements est de 2 à 2.5m utilisés comme bande d'arrêt, mais dans notre cas sa largeur est de 1.5m.

II.3.1.3 Plate-Forme

C'est l'ensemble de terrain qui reçoit la chaussée et les accotements ainsi que le terrain situé entre les fossés ou les crêtes des talus de remblais.

II.3.1.4 Assiette

C'est la surface de la route délimitée par les terrassements.

II.3.1.5 Emprise

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances (Talus, exutoires, etc....) limitée par le domaine public.

II.3.1.6 Talus

Le talus a une inclinaison qui dépend de la cohésion des sols qui le constituent, cette inclinaison est désignée par une fraction (A/B) tel que :

A : la base du talus.

B : hauteur du talus.

II.3.1.7 Fossé

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

II.3.1.8 Terre-plein central T.P.C

Il assure la séparation matérielle des deux sens de circulation, sa largeur est de celle de ses constituants : les deux bandes dérasées de gauche et la bande médiane.

- bande dérasée de gauche (B.D.G): Elle est destinée à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité. Elle est dégagée de tous obstacles, revêtue et se raccorde à la chaussée ;
- bande médiane : Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, et à implanter certains équipements (barrière, support de signalisation,.. etc.) ; sa largeur dépend, pour le minimum, des éléments qui sont implantés.

II.3.1.9 Largeur roulable

Elle comprend les surlargeurs de la chaussée, la chaussée et la bande d'arrêt.

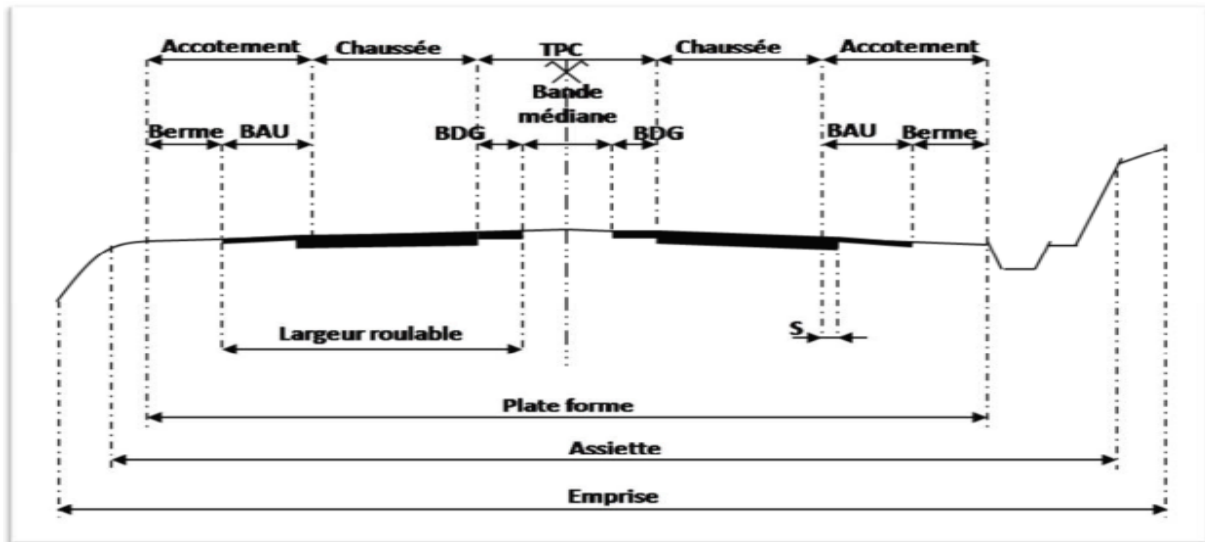


Fig. II.10 : Eléments du profil en travers [6].

II.3.2 Profil en travers type

Chaque projet de route comporte un grand nombre de dessins de profils en travers, que chacun d'eux comporte les mêmes dimensions générales, et des détails constructifs communs ; pour éviter, alors, cette répétition sur chaque dessin on établit tout d'abord un profil unique appelé profil en travers type contenant tous les détails [6].

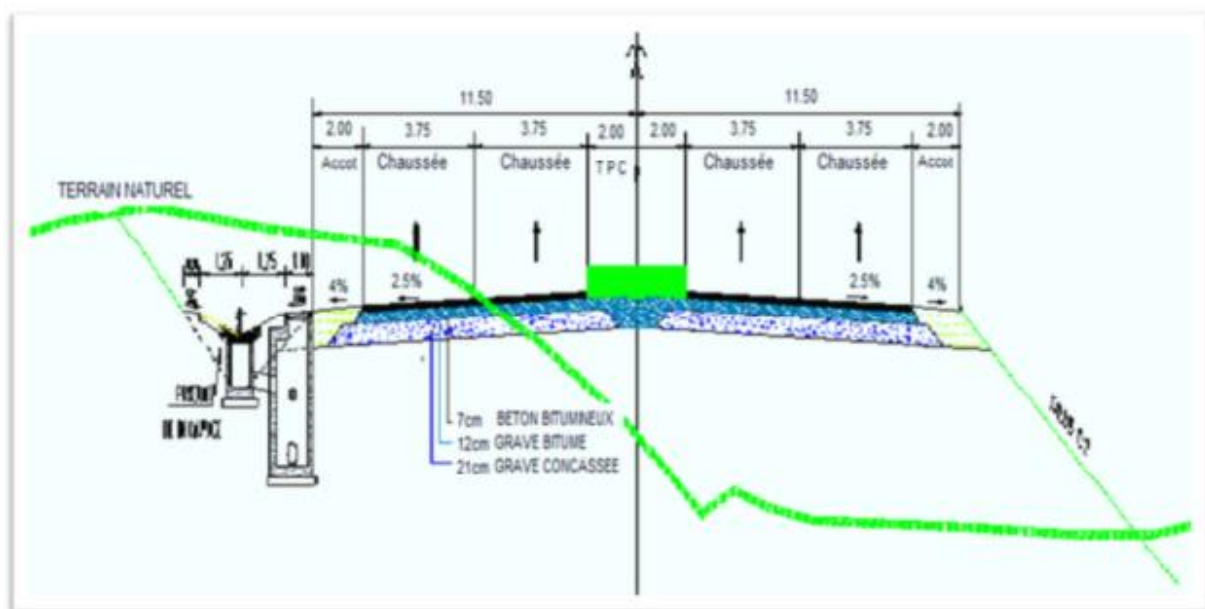


Fig. II.11 : Profil en travers type [6].

II.3.3 Les Différentes formes de la chaussée en alignement

II.3.3.1 En alignement droit

En alignement droit, le profil en travers de la chaussée a une forme généralement en toit afin d'assurer l'évacuation des eaux. Pour cette raison, il est constitué par deux versants plans symétriques, inclinés suivant la nature du revêtement et de la catégorie.

Le profil en travers tient toujours en compte le devers, dans le cas échéant on pourra avoir les problèmes suivants :

- effet de miroir ;
- phénomène de l'aquaplanage ;
- formation de verglas en hivers.

Il faut permettre l'évacuation rapide de l'eau vers les côtés. On adopte les pentes transversales suivantes :

- chaussée en béton de ciment : 2% ;
- chaussée en enduit superficiel ou enrobé : 2,5 à 3% ;
- chaussée non revêtue : 4% [6].

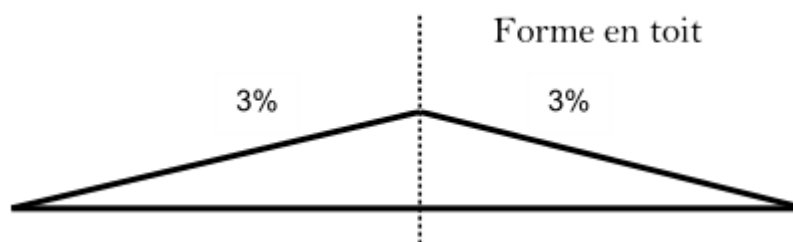


Fig. II.12: Profil en travers en alignement droit.

Deux solutions peuvent être prévues pour l'écoulement des eaux sur la chaussée :

- ✓ soit en toit (double pentes) ;
- ✓ soit avec une pente unique rectiligne sur toute la largeur de la chaussée.

II.3.3.2 En courbe

Le passage d'une situation (alignement droit) à une autre (courbe) nécessite une zone de transition, cette zone doit être très soigneusement étudiée pour éviter les accumulations des eaux, génératrice (d'aquaplanage). La pente ne doit pas être très grande, cela pourrait être dangereux pour les véhicules longs [9].

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant (relevée de l'extérieur vers l'intérieur), dont la pente est le devers évoqué dans le chapitre précédent (trace en

plan). Elle contribue également à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%).

II.3.3.3 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 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.

II.3.3.4 Pente transversale

La pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface de la chaussée, en alignement droit le profil en travers de la chaussée est caractérisé par une pente transversal qui varie de 2% à 5% vers l'extérieur.

En courbe, la pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de $1/R$; cette variation de la pente transversale s'appelle : « le dévers ».

Les dévers doivent rester constants tout au long de la partie circulaire des virages car $1/R$ est constant.

II.3.3.5 Point de rotation des dévers

Le choix du point de rotation des dévers dépend essentiellement de la disposition des lieux. Lorsque le T.P.C est revêtu, le point de rotation des dévers se situe habituellement sur l'axe de la plateforme, sinon le point de rotation des dévers de chaque chaussée se situe sur le bord de la chaussée.

Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe.

II.4 Cubature

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais/remblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet [7].

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 joignant ces points se rapprochent le plus possible de la ligne du terrain qu'il représente.

II.4.1. Cubatures des terrassements

On entend par cubature le calcul des volumes déblais / remblais à déplacer pour respecter les profils en long et travers fixés auparavant et d'établir ainsi le métré des travaux.

Comme notre remblai est réutilisable, on cherche un équilibre entre les volumes déblais / remblais.

Le calcul exact est pratiquement impossible vu l'irrégularité des surfaces du terrain naturel.

II.4.2 Méthode utilisée

Pour calculer un volume, il y a plusieurs méthodes parmi lesquelles il y a celle de la moyenne des aires que nous avons utilisé et qui est une méthode très simple, mais elle présente un inconvénient : c'est de donner des résultats avec une certaine marge d'erreur ; donc pour être proche des résultats exacts on doit majorer les résultats trouvés par le coefficient de 10 % et ceci dans le but d'être en sécurité [7].

Description de la méthode

En utilisant la formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs :

$$V = \frac{h}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_0) \dots \dots \dots (II.18)$$

Où h, S1, S2 et S0 désignant respectivement :

- hauteur entre deux profils ;
- surface du profil 1 ;
- surface du profil 2 ;
- surface limitée à mi-distances entre profils 1 et 2.

Sur la figure ci-dessous (Fig. II-13) on adopte un profil en long d'un tracé donné.

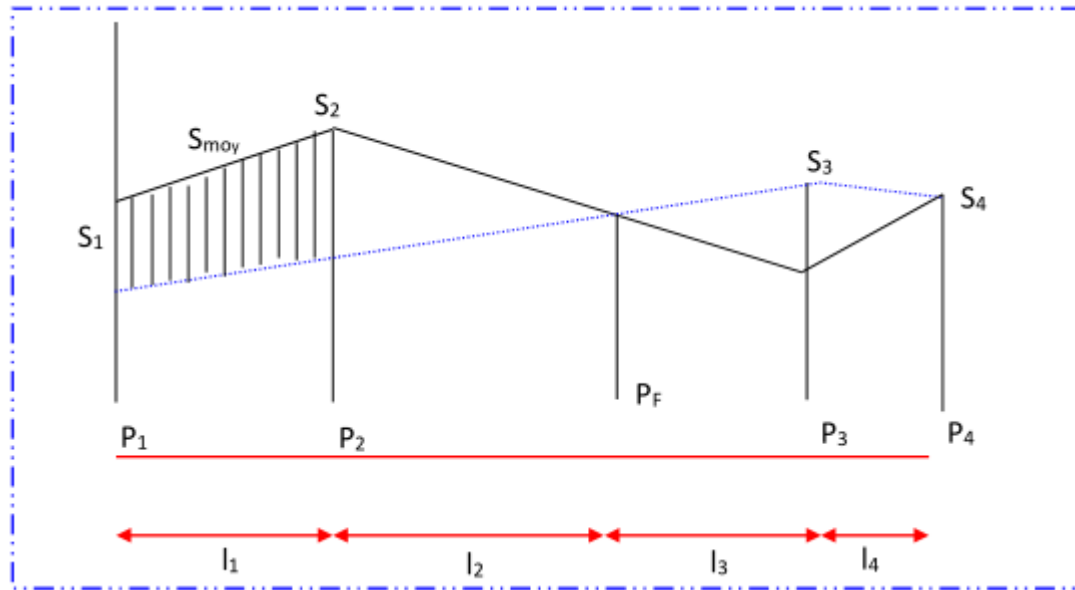


Fig. II.13 : Profil adopté pour profil en long.

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

$$V = \frac{l_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_{\text{moy}})$$

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions : $S_{\text{moy}} = \frac{S_1 + S_2}{2}$.

Ceci donne: $V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$

Donc les volumes seront :

Entre P1 et P2 $V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$ (II. 19)

Entre P2 et PF $V_2 = \frac{l_2}{2} \times (S_2 + 0)$

Entre P_F et P_3 $V_3 = V_2 = \frac{I_3}{2} \times (0 + S_3)$

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

$$V = \frac{I_1}{2} S_1 + \frac{I_1+I_2}{2} S_2 + \frac{I_2+I_3}{2} \times 0 + \frac{I_3+I_4}{2} S_3 + \frac{I_4}{2} S_4 \dots\dots\dots (II. 20)$$

On doit préciser l'utilité de prendre en compte les profils P_F , puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

II.4.3 Méthode classique

Dans cette méthode, on distingue deux façons de calcul différentes : la première est celle dite de « GULDEN » où les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application au droit de leur centre de gravité, prenant en compte la courbure au droit de profil.

Et dans l'autre méthode classique les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application à l'axe (indépendant de la courbure).

Pour notre calcul automatique des courbures par le logiciel COVADIS, nous avons utilisé la méthode de GULDEN et les résultats obtenus sont en annexe mais ici (ci – dessous) nous donnons les résultats finaux du volume de remblais et déblais.

- ❖ Le volume de déblais est de: $VD = 86378 \text{ m}^3$.
- ❖ Le volume de remblai est de: $VR = 135214 \text{ m}^3$.

II.5 Dimensionnement du corps de chaussée

II.5.1 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 légers et des poids lourds.

En effet, la route est soumise à 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 qui lui permettent 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 utiliser.

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 très fondamentaux suivants :

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

II.5.2 Principe de la constitution des chaussées

La chaussée est essentiellement un ouvrage de répartition des charges roulantes sur le terrain de fondation. Pour que le roulage s'effectue rapidement, sûrement et sans usure exagérée du matériel, il faut que la surface de roulement ne se déforme pas sous l'effet :

- de la charge des véhicules ;
- des chocs ;
- des intempéries ;
- et des efforts tangentiels dus à l'accélération, au freinage et au dérapage.

II.5.3 Les Principales méthodes de dimensionnement

On distingue deux familles de méthodes :

- les méthodes empiriques dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées, comme : La méthode de C.B.R, la méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, etc.
- les méthodes dites « rationnelles » basées sur l'étude théorique du comportement des chaussées, comme : Méthode du catalogue des structures, La méthode L.C.P.C, etc.

II.5.3.1 Méthode de C.B.R

C'est une méthode semi-empirique qui se base sur un essai de poinçonnement réalisé sur un échantillon du sol support.

Pour que la chaussée tienne, il faut que la contrainte verticale répartie suivant la théorie de BOUSSINESQ, soit inférieure à une contrainte limite qui est proportionnelle à l'indice C.B.R. [9].

- L'épaisseur est donnée par la formule suivante :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{p}}{I_{CBR} + 5} \dots\dots\dots (II.21)$$

I_{CBR} : indice CBR

- En tenant compte de l'influence du trafic, on prendra la formule suivante :

$$e = \frac{100 + (\sqrt{p}) (75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5} \dots\dots\dots (II.22)$$

N : désigne le nombre moyen de camions de plus 1500 kg à vide ;

P : charge par roue $P = 6.5 \text{ t}$ (essieu : 13 t) ;

Log : logarithme décimal.

➤ Coefficient d'équivalence :

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

Tableau II.6 : Coefficients d'équivalence.

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concasse ou gravier	1.00
TUF	0.6
Sable	0.50
Grave bitume	1.60 à 1.70

L'épaisseur totale à donner à la chaussée est :

$$e = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

$a_1 \times e_1$: épaisseur de la couche de roulement ;

$a_2 \times e_2$: épaisseur de la couche de base ;

$a_3 \times e_3$: épaisseur de la couche de fondation ;

e_i : épaisseur réelle de la couche « i » ;

a_i : coefficient d'équivalence du matériaux « i ».

II.5.3.2 Méthode du catalogue de la chaussée neuve

Cette méthode se base essentiellement sur quatre paramètres :

- 1/ le trafic ;
- 2/ la portance de sol support de la chaussée ;
- 3/ la zone climatique ;
- 4/ matériaux [10].

➤ Détermination de la classe du trafic TPL_1 :

Les classes sont données pour chaque niveau de réseau principal (RP1. RP2) en nombre de PL par jour et par sens à l'année de mise en service.

- Pour les réseaux principaux (RP1)

Tableau II.7 : Les Réseaux principaux (RP1).

Classe de trafic	Trafic poids lourds
TPL3	$150 < \text{TPL} < 300$
TPL4	$300 < \text{TPL} < 600$
TPL5	$600 < \text{TPL} < 1500$
TPL6	$1500 < \text{TPL} < 3000$
TPL7	$\text{TPL} > 3000$

- Pour les réseaux principaux (RP2)

Tableau II.8 : Les Réseaux principaux (RP2).

Classe de trafic	Trafic poids lourds
TPL0	$0 < \text{TPL} < 50$
TPL1	$50 < \text{TPL} < 100$
TPL2	$100 < \text{TPL} < 150$
TPL3	$150 < \text{TPL} < 300$

➤ Détermination de la classe du sol :

Le sol doit être classé selon la valeur du CBR et de la densité Proctor modifiée maximale ; les différentes catégories sont données par le tableau II.8.

II.5.4 Application au projet

Nous utilisons donc, pour le calcul, les deux méthodes explicitées plus haut pour les comparer afin d'obtenir le corps de chaussée le plus adéquat.

On a : $\text{PL} = 25\%$ $\tau = 4\%$ $\text{CBR} = 14$

$\text{TJMA}_{2020} = 6742v/j / 2 \text{ sens}$ (année de mise de service)

$N_{\text{PL } 2020} = 6742 \times 30 \% = 2022 \text{ PL}/j$

$N_{\text{PL } 2040} = 2022 \times (1 + 0.04)^{20}/2 = 2215 \text{ PL}/j./\text{Sens.}$

II.5.4.1 Méthode de C.B.R

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

$$e = \frac{100 + (\sqrt{6.5})(75 + 50 \log \frac{2215}{10})}{14 + 5} \approx 31 \text{ cm}$$

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

$$e = \sum_{i=1}^n a_i \cdot e_i \quad \dots\dots\dots (II.23)$$

Pour chaque, on a proposé les matériaux suivants :

- couche de roulement : béton bitumineux - $a_1 = 2$;
- couche de base : grave bitume - $a_2 = 1$;
- couche de fondation : en tuf - $a_3 = 0,6$.

Pour le calcul des épaisseurs, on fixe deux épaisseurs et on déduit la troisième :

$$e = 6 \times 2 + 1 \times 10 + 0.6 \times e_3 = 31 \text{ cm}$$

Donc : $e_3 = 21.66 \text{ cm}$ de tuf en prend $e_3 = 25 \text{ cm}$

Alors :

Épaisseur réelle est de $6 \text{ (BB)} + 10 \text{ (GB)} + 25 \text{ (TUF)} = \mathbf{41 \text{ cm}}$.

II.5.4.2 Méthode de catalogue de dimensionnement de la chaussée neuve

$$T = 8576 P_v / j > 1500 v / j \Rightarrow \text{réseaux principale de niveau 1 (RPA1)}$$

➤ **Détermination de la classe de trafic :**

$$T_{PL_i} = 8576 \times 0.3 = 2572 \text{ PL/2 sens} \Rightarrow 1286 \text{ PL/sens}$$

Le trafic correspond à la classe T_{PL_6} c'est le T_{PL6}

➤ **Détermination de la Classe du Sol :**

$$I_{CBR} = 14 \qquad 10 < I_{CBR} < 25$$

Le sol set de classe S_2 : et la zone climatique 2

Tableau. II.9 : Classe du sol.

Classe du sol	Indice C.B.R
S_1	25 – 40
S_2	10 – 25
S_3	5 – 10
S_4	< 5

➤ **Détermination de L'épaisseur :**

D'après le catalogue de dimensionnement, on trouve la structure suivante :

08 cm : couche de roulement en B.B

11 cm : couche de base en G.B

12 cm : couche de fondation en G.B

II.5.4.3 Choix du Corps de Chaussée Optimum

Les deux méthodes de dimensionnement utilisées sont empiriques, ce qui explique les différences trouvées en matière d'épaisseur. Aussi par souci de stabilité et de sauvegarde d'un niveau de service acceptable à long terme (pour toute la durée de service), nous optons pour le dimensionnement obtenu par la méthode de CBR. Et cela pour des raisons d'exécutions et économiques.

6BB+10GB+25TUF

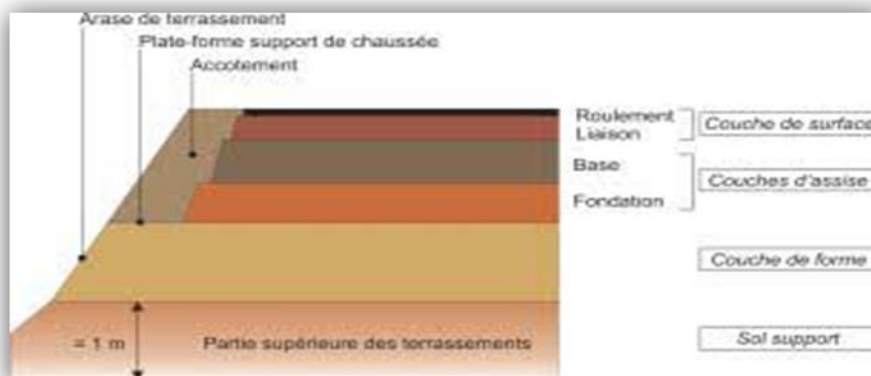


Fig.II.14 : Structure de chaussée

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre portant sur l'étude de l'avant-projet détaillé nous avons entrepris l'étude du tracé en plan de la voie de contournement de la localité d'El-FASFSA. Dans le choix du tracé en plan nous avons respecté tous les critères de choix du tracé en plan et l'exigence de la norme B40 relative au tracé en plan. Dans un deuxième temps nous avons étudié les alignements et les type de raccordement permettant d'avoir un bon confort et une bonne visibilité pour les usagé. Les calculs nous permis d'avoir une vitesse de référence de 120 km/h.

Une fois cette vitesse déterminée les calculs de stabilité, de la visibilité, de la déclivité ainsi que tous les paramètres du tracé en plan. Dans un troisième temps nous avons établi le profil en travers avec une largeur de la double voie de 3m.

La catégorie de la chaussée est de catégorie 1. Les calculs relatifs au dimensionnement de la chaussé nous ont permis d'avoir une épaisseur de 41cm.

III.1 Conception et choix d'échangeurs

III.1.1 Introduction

Les échangeurs sont des ouvrages permettant d'accéder à l'autoroute ou d'en sortir ; leur disposition doivent être étudiée en fonction de l'importance des divers courants de circulation et selon le mode d'exploitation (comportent ou non la perception du péage), ajoutons qu'il faut éviter de les placer dans les sections en forte pente ou avec des divers importants.

III.1.2 Définition d'un échangeur

Un échangeur autoroutier est un ensemble de bretelles routières permettant de s'engager sur une autoroute ou de la quitter, soit pour prendre une autre autoroute soit pour emprunter le réseau routier ordinaire.

Les échangeurs se trouvent donc aux intersections entre autoroutes, ou entre une autoroute et un autre type de route. Ils permettent d'éviter tout croisement à niveau et également tout ralentissement sur les chaussées principales de l'autoroute [11].

III.1.3 Rôle d'un échangeur

L'échangeur a pour rôle d'assurer la continuité des réseaux autoroutiers et de desservir plusieurs directions en même temps en distribuant les flux dans les différentes directions selon l'ordre d'importance et dans des bonnes conditions de confort et de sécurité, tout en évitant les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents, et les points d'arrêt provoquant des pertes de temps.

Comme souvent lorsqu'il est question d'aménagement des voies de circulation, la principale utilité des échangeurs d'autoroutes réside dans leur capacité à limiter les ralentissements aux intersections entre **plusieurs flux de circulation**. De plus, le fait qu'ils prennent de manière systématique la forme d'un point, ils permettent que chaque réseau routier en enjambe un autre, ce qui évite les croisements dangereux dont les conséquences directes se terminent souvent en collision entre plusieurs véhicules. Ainsi, les mouvements des usagers, qui circulent sur les différentes autoroutes, sont souvent plus sécurisés que sur les autres types de voies disposant d'un rond-point ou d'un carrefour à feu [12].

III.1.4 Critères de base

Le type d'échangeur à adopter est fonction de :

- l'intensité de trafic ;
- l'importance des différents courants tournant avec leurs volumes de trafic ;
- les contraintes qui peuvent se poser lors de l'étude et au cours de la réalisation (terrain d'implantation).

III.1.5 Conditions à respecter

Les principales conditions à vérifier sont en général :

- éviter les sites en courbe de faibles rayons ;
- éviter les sites en point haut de profil en long ;
- éviter le passage au voisinage ou sur des habitations et édifices publics ;
- éviter les sections à fortes déclivités.

III.1.6 Types d'échangeurs[11]

La conception d'échangeur est toujours influencée par plusieurs facteurs comme la Catégorie de l'autoroute, caractères et composition du trafic, la vitesse à désigner et le degré de maîtrise d'accès. Ces contrôles demandent plus d'exigences, économie des terrains et de droit de passage ; ils requièrent une grande importance lors de la conception à adapter à la Capacité du trafic offrant sécurité. On connaît un grand nombre de formes d'échangeurs cependant, les types de base ne sont pas nombreux, chaque type peut varier de forme et de dimension aussi, il y a de nombreuses combinaisons de ces types qui donnent des formes plus complexes. Un important élément de conception d'échangeur, est l'assemblage d'un ou de plusieurs types de bretelles de base, mais c'est l'aspect coût et conditions du site qui désigne la forme de bretelle à considérer, selon, bien sûr, l'importance des routes à raccorder. On distingue deux grandes classes d'échangeurs :

-  échangeur majeur : raccordement autoroute- autoroute ;
-  échangeur mineur : raccordement autoroute - route.

III.1.6.1 Echangeurs majeurs

L'échangeur majeur raccorde une autoroute avec une autre autoroute, sans qu'il y ait cisaillement dans les deux autoroutes à raccorder:

- ❖ trèfle complet quand il y a quatre branches à raccorder ;
- ❖ bifurcation « Y » quand il y a trois branches à raccorder.

1. Type trèfle complet

Il est utilisé pour raccordement à quatre branches, il comporte quatre boucles et quatre diagonales ; ce type permet toutes les liaisons sans cisaillement moyennant un seul ouvrage d'art et quatre bretelles directes à droite et quatre bretelles en boucle. La nécessité d'y incorporer des voies collectives et distributrices pour permettre les entrées sans croisement le rend finalement très coûteux ; il est présenté dans la figure (III.1) [11].



Fig. III.1 :Trèfle Complet.

2. Type bifurcation « Y »

Pour le raccordement à trois branches, on utilise le type « Y » tel que la branche qui présente le plus faible trafic doit se détacher par la droite du tronc principal ou rejoignant par la droite le même tronc principal.

Ce type comporte un ouvrage en biais qui fournit une excellente liaison avec des caractéristiques autoroutières continues [13].

N.A:

Pour le raccordement contenant plus que quatre branches on a recours soit :

- ❖ au giratoire qui comporte ou moins un ouvrage d'art ;
- ❖ au directionnel qui comporte beaucoup d'ouvrage d'art.

III.1.6.2 Echangeur mineur

Il est utilisé pour les raccordements d'une autoroute « route principale » avec une route ordinaire « route secondaire », les schémas concernés par ce raccordement sont :

- losange ;
- demi-trèfle.

1. Type Losange

Il est composé de quatre diagonales unidirectionnelles ;c'est un carrefour à niveau sur la route secondaire, les quatre diagonales sont symétriques entre elles par rapport à

l'axe de l'autoroute. Il est principalement adapté pour une distribution symétrique des trafics d'échange.

2. Type demi-trèfle

Il comporte deux boucles et deux diagonales et un carrefour à niveau sur la route secondaire. Il est envisagé de préférence au schéma de type losange dans le cas, en particulier, d'une distribution nettement dissymétrique des trafics d'échange dans la mesure du possible l'utilisation des boucles en voies d'entrée, ce qui améliore les conditions de visibilité et de sécurité. Il est présenté dans la figure (III.2).

Généralement on a deux types de demi-trèfle :

- Demi-trèfle symétrique ;
- Demi-trèfle asymétrique « quadrant opposé ».

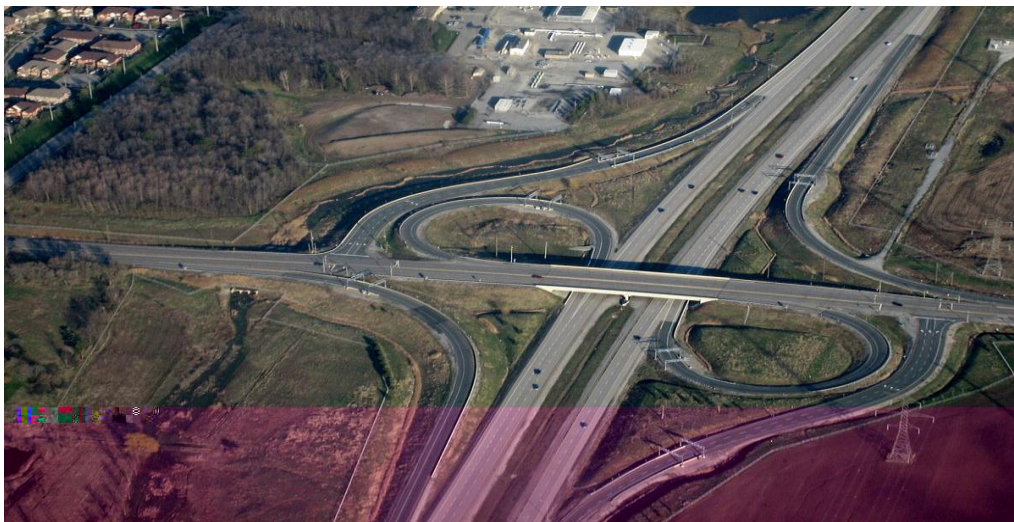


Fig. III.2 : Echangeur demi-trèfle [14].

3. Les Echangeurs en trompette[12]

Les échangeurs à trois voies sont aussi appelés “**échangeurs en trompette**” (la figure (III.2)) ; ils sont utilisés pour faire la jonction entre une autoroute qui se termine et une nouvelle autoroute. Ce type d'aménagement routier est implanté pour accéder aux voies de sortie. Dans ce cas, on parle de jonction en trompette, d'échangeur simple ou en T.



Fig.III.

3 :Echangeur en Trompette [12].

Définition de quelques termes au niveau des échangeurs

- **diffuseur** : croisement dénivelé entre une autoroute et une route ordinaire ;
- **nœud** : sont des points d'échanges dénivelés, qui assurent les échanges entre deux voies rapides sans cisaillement sur les chaussées principales de ces deux voies, ni sur les bretelles ;
- **bifurcation** : échangeur entre autoroutes de forme "Y" ou de "T" ;
- **croix (ou croisement)** : échangeur entre autoroutes de forme "X", similaire au Croisement en trèfle ;
- **bretelle** : voie qui raccorde un échangeur à une autoroute ou à une route [14].

III.1.7 Conception d'un échangeur

La première étape de la conception est le choix des caractéristiques générales : **le type de la route** qui détermine l'instruction à appliquer ; la catégorie de la route qui conditionne les principales caractéristiques géométriques du trafic ; le nombre de voies. Dans notre projet, les instructions à utiliser sont celles des autoroutes.

Avant la réalisation d'un échangeur, plusieurs enquêtes sont effectuées pour connaître les impacts qu'aura sa **construction** sur le trafic existant, sur les riverains, et sur l'économie de la région concernée ou du pays en général.

Généralement, plusieurs propositions de construction de l'échangeur sont émises et retiendra, enfin, celle qui sera le plus en accord avec ce que le maître d'ouvrage souhaite et ce qui est en phase avec les routes existantes, avec le moins d'impact sur l'environnement et celle qui concorde le plus avec la géographie du milieu [14].

III.1.8 Eléments de conception d'un échangeur

Le principal objectif d'un échangeur est de servir aux intérêts des usagers. Donc lors de sa conception, on tient compte des paramètres tels que :

- la sécurité ;
- la classification des routes qui se croisent;
- l'utilisation du sol ;
- la vitesse de base ;
- le débit et la composition du trafic ;
- le nombre de branches et d'échangeur ;
- les dispositifs de régulation de la circulation ;
- le relief;
- les besoins d'emprise et de terrain ;
- la desserte des quartiers riverains ;
- les aspects reliés aux réseaux et la cohérence de l'aménagement ;
- l'environnement ;
- les aspects économiques.

Ces éléments favorisent la **compréhension des concepteurs** et celle des conducteurs lorsqu'ils empruntent les autoroutes. Pour s'assurer du bon fonctionnement de la route lors de la conception, il faut donc considérer l'autoroute et les échangeurs comme un seul système. La construction d'un échangeur est une solution intéressante à de nombreux problèmes reliés aux carrefours plans. Les lignes directrices à prendre en considération lors de la justification et de la décision du choix d'aménagement d'un échangeur sont :

-  **circulation** : le débit de circulation par rapport à la capacité de la route existante est le critère principal le plus concret pour justifier l'aménagement d'un échangeur ;
-  **sécurité** : certains carrefours plans présentent un taux de collision élevée et il est impossible de modifier la configuration. Si la mise en place de dispositifs de régulation de la circulation ne peut être envisagée, il peut être approprié de prévoir l'aménagement d'un échangeur comme mesure de sécurité ;
-  **relief** : les échangeurs peuvent être prévus à l'endroit où un carrefour plan ne peut être envisagé à cause du relief [14].

III.1.9 Caractéristiques géométriques des échangeurs

Tout échangeur, quelle que soit son importance, sa classe ou sa forme, est constitué d'un assemblage de trois éléments qui sont :

- ❖ pont;
- ❖ carrefour (s) plans (s);
- ❖ bretelles.

Pont : Le fait qu'on parle d'échangeur « qui n'est rien d'autre qu'un carrefour dénivelé » implique impérativement une dénivellation de courant qui est assurée par le passage supérieur ; ce passage supérieur est un ouvrage d'art qui désigne pont. Le nombre d'ouvrage d'art « pont » dans un échangeur est en étroite relation avec :

- ✓ le type d'échangeur choisi ;
- ✓ la condition de coordination « profil en long - tracé en plan » ;
- ✓ les contraintes du terrain d'implantation ;
- ✓ les instructions et réglementation de conception.

Carrefour Plan : les carrefours plans peuvent avoir lieu, seulement, sur les raccordements « autoroute - route ordinaire », leur aménagement doit tenir compte des facteurs de sécurité, de commodité et de débit ; un compromis entre ces conditions doit éventuellement, être recherché.

Bretelles : Ce sont des voies qui se détachent et se raccordent de/et vers l'autoroute « route ordinaire », du côté droit de la chaussée considérée ; elles se terminent à une de ses extrémités par une voie de décélération, et à l'autre, par une voie d'accélération, dont les caractéristiques découlent principalement de la vitesse d'insertion des véhicules sur l'autoroute ou de décrochage de celle-ci.

III.1.10 Avantage de l'échangeur

Les avantages de l'échangeur sont :

- faciliter le déplacement des usagers dans de bonne condition de confort et de sécurité ;
- éviter les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents ;
- éviter les points d'arrêt qui provoque des pertes de temps considérable ;
- éviter les contraintes d'arrêt et de reprise ;
- assurer la continuité du réseau autoroutier.

III.1.11 Inconvénients de l'échangeur

L'inconvénient majeur de l'échangeur est qu'un investissement financier volumineux est toujours imposé, c'est pour quoi son utilisation, comme solution aux problèmes d'un carrefour, doit être toujours justifiée.

III.1.12 Choix de l'échangeur

La connaissance des différents types d'échangeurs existants, leurs propriétés (avantages, inconvénient, etc.) et les limites de leur utilisation, permettent de choisir la configuration la plus adoptée au cas qui se présente.

Alors, le choix du type de l'échangeur se fait automatique après la détermination de certains paramètres bien spécifiques au site d'implantation et aux objectifs à atteindre.

Dans notre projet le choix de l'échangeur se fait selon le type de la route.

Il s'agit, en fait, d'une intersection entre une autoroute et une route principale (bidirectionnelle)

Les choix possibles sont :

1. trèfle complet ;
2. trompette ;
3. demi- trèfle.

Pour le choix d'un « Trèfle complet », on ne peut pas opter pour ce choix, Car ce type convient beaucoup plus pour une intersection de deux routes importante (04 branches) comportant toutes les directions.

Le choix de l'échangeur de trompette convient mieux (cas de 03 branches),élimine tous les problèmes de conflit, mais le coût est important.

Alors, nous avons opté pour le choix d'un échangeur demi-trèfle.

Notre conception est basée sur l'état du terrain, ainsi que l'étude du trafic. Elle consiste à :

- relier la route existante avec la route de contournement (El-FASFSA) ;
- assurer la bonne fluidité du trafic ;
- permettre de prendre toutes les directions.

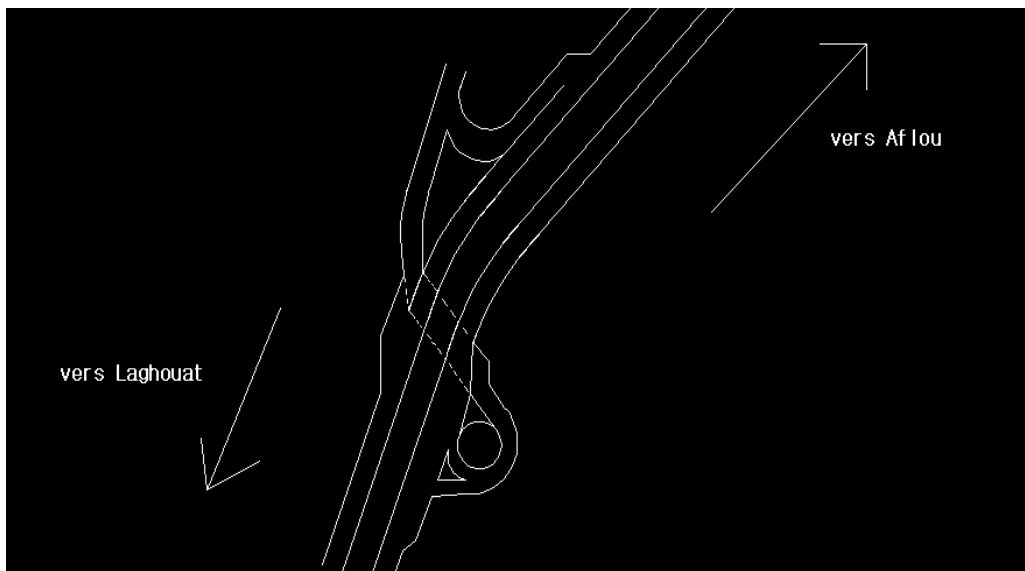


Fig. III.4:Echangeur d'El-FASFSA.

III.1.13 Conclusion

Le choix d'échangeur adopté est bien un échangeur « demi-trèfle » comme le montre la figure (III.4). Ce choix s'avère le mieux adapté pour cet aménagement, puisqu'il assure la fluidité convenable du trafic avec un service de qualité, confort et sécurité ; de même l'aménagement de ce type d'échangeur occupe, relativement, le minimum d'emprise de terrain.

III.2 Etude du carrefour à niveau

III.2.1 Introduction

Tout carrefour est une partie importante d'une route. L'efficacité, la vitesse, la sécurité, le coût d'exploitation et la capacité sont les principaux paramètres recherchés dans un tel ouvrage. Le carrefour à niveau, est le lieu de l'intersection de deux ou plusieurs routes au même niveau.

On classe les carrefours en quatre types :

- les carrefours à trois branches ;
- les carrefours à branches multiples ;
- les carrefours giratoires ;
- les carrefours à quatre branches.

Pour notre projet, l'étude du tronçon routier « contournement d'EL-FASFSA » comporte un croisement à niveau où on a opté pour d'un carrefour giratoire.

Ce carrefour a été créé par l'intersection du nouveau tracé de l'évitement avec l'ancienne route (l'entrée d'EL-FASFSA, côté nord).

III.2.2 Données à prendre pour l'aménagement d'un carrefour

Les choix d'un aménagement de carrefour doivent s'appuyer sur un certain nombre de données essentielles concernant :

- la valeur de débit de circulation sur les différentes branches et l'intensité des mouvements tournant leur évolution prévisible dans le futur ;
- les types et les causes des accidents constatés dans les cas de l'aménagement d'un carrefour existant ;
- les vitesses d'approche à vide pratique ;
- des caractéristiques sections adjacents et des carrefours voisins ;
- respect de l'homogénéité de tracé ;
- la surface neutralisée par l'aménagement ;
- conditions topographiques.

III.2.3 Principes généraux d'aménagement d'un carrefour

- Les cisaillements doivent se produire sous un angle de $90 \pm 20^\circ$ afin d'obtenir de meilleures conditions de visibilité et la prédication des Vitesses sur l'axe Transversal ; on obtiendra aussi une largeur de traversée minimale.
- Ralentir à l'aide des caractéristiques géométriques, les courants non Prioritaire.
- Regrouper les points d'accès à la route principale.
- Assurer une bonne visibilité de carrefour.
- Soigner tout particulièrement les signalisations horizontales et verticales.
- Eviter si possible les carrefours à feux bicolores [13].

III.2.4 Visibilité

Dans l'aménagement d'un carrefour il faut lui assurer les meilleures conditions de visibilité possibles ; à cet effet, on se rapproche aux vitesses d'approche à vide.

En cas la visibilité insuffisante, il faut prévoir :

- ✚ une signalisation appropriée dont le but est, soit d'imposer une réduction de vitesse, soit de changer les régimes de priorité ;
- ✚ renforcer par des dispositions géométriques convenables (inflexion des tracés en plan, îlot séparateur ou débouché des voies non prioritaires.

III.2.5 Triangle de visibilité

Un triangle de visibilité peut être associé à un conflit entre deux courants. Il existe pour sommets :

- ✚ le point de conflit ;
- ✚ les points limitent, à partir desquels, les conducteurs doivent apercevoir un véhicule adverse.

III.2.6 Données de base

Les données de base sont :

- ✚ la nature du trafic qui emprunte les itinéraires ;
- ✚ les vitesses d'approche pratiquée ;
- ✚ les conditions topographiques.

III.2.7 Les ilots

Un ilot est un terre-plein entre deux voies de circulation qui a pour objectif de séparer les points de conflits, protéger et stocker les véhicules.

On distingue deux types d'ilots :

- ❖ ilots séparateurs : ils séparent deux courants de véhicules qui circulent en sens inverses ;
- ❖ ilots directionnels : ils ont une forme triangulaire et séparent deux courants de circulation assurant, soit une manœuvre de convergence, soit une manœuvre de divergence.

III.2.8 Les Type des carrefours [13]

III.2.8.1 Carrefours dénivelés (échangeurs)

Ils étaient déjà définis dans la première partie.

III.2.8.2 Carrefours Plans

Les échanges dans ce type de carrefours sont regroupés dans un même plan. A son tour, ce type de carrefour se divise en deux catégories.

III.2.8.3 Carrefours Plans Ordinaires

Ce sont des carrefours simples, offrant un niveau de sécurité en moyenne peu élevé par rapport à d'autres types de carrefours (Dénivelé, giratoire). Les types fréquemment utilisés sont :

III.2.8.3.1 Carrefours en (T)

C'est un espace où se réunissent trois branches en formant la lettre (T). Dans ce type de carrefours le courant direct domine ; les autres courants peuvent être aussi importants, comme c'est présenté dans la figure (III.6) :

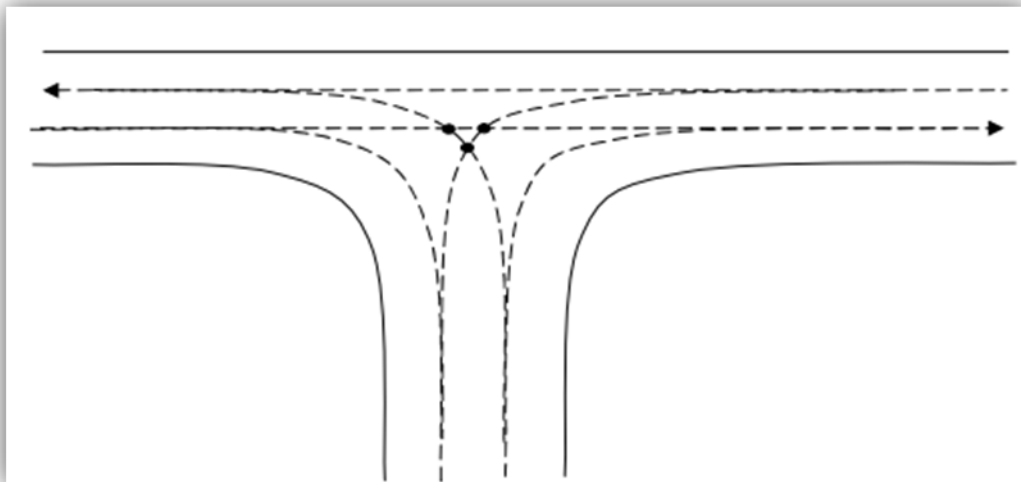


Fig.III.5 : Carrefour en « T ». [13]

III.2.8.3.2 Carrefour en (Y)

C'est un carrefour qui assure la rencontre de trois qui forment l'allure de la lettre Y. Dans ce cas, le trafic virant dans un angle aigu est nul ou insignifiant. La figure (III.7) montre un exemple des conflits existants, généralement, sur un carrefour en Y.

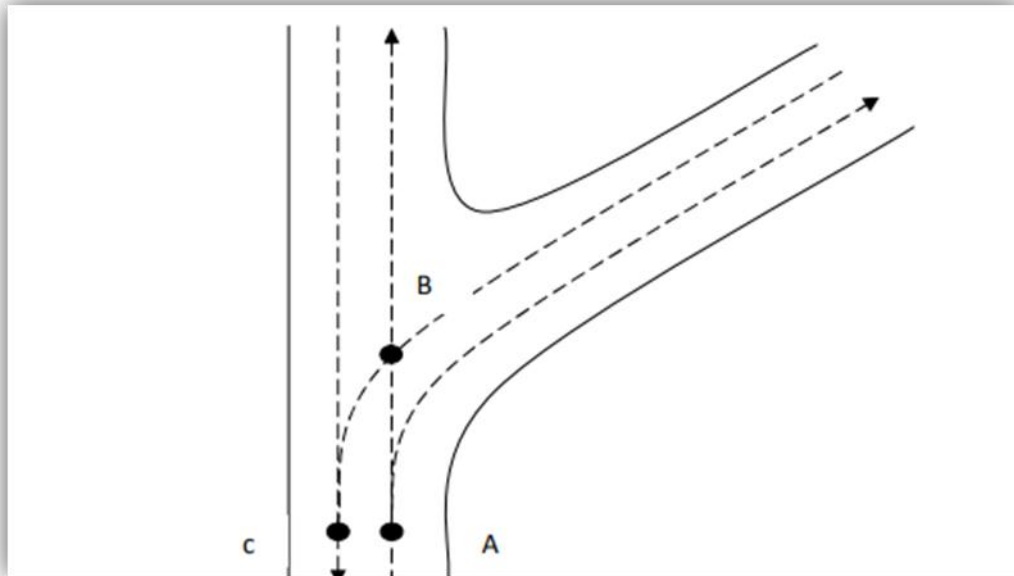


Fig. III.6 : Carrefour en (y) [13].

Avec :

- A. un conflit de divergence ;
- B. un conflit de croisement dangereux ;
- C. un conflit de convergence.

III.2.8.3.3 Carrefour en croix (X)

Le carrefour en croix relie quatre branches qui se croisent en sous une forme « X ». La figure (III.8) présente l'aspect général de ce type de carrefour.

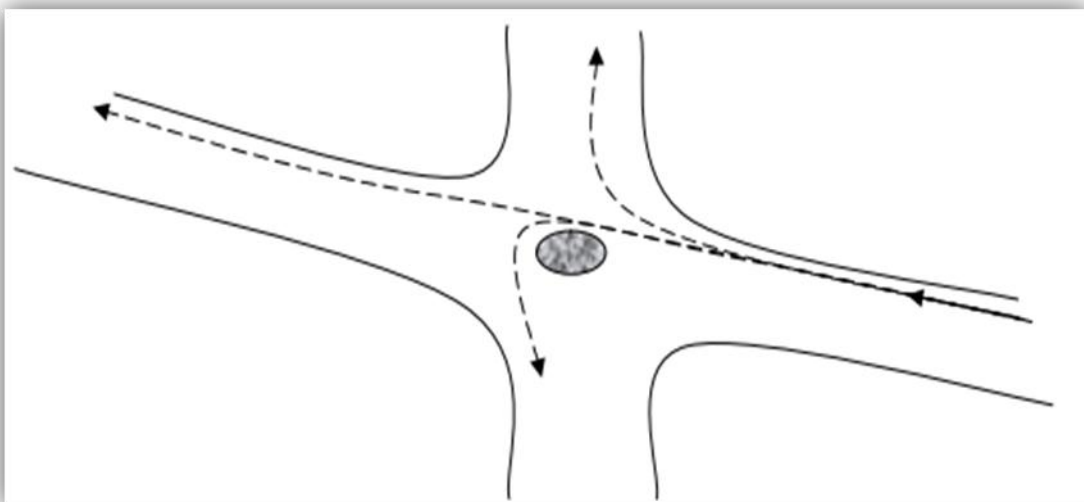


Fig. III.7 : Carrefour en « X » [13].

III.2.8.3.4 Carrefours giratoires

Un giratoire est un carrefour dans lequel certains courants empruntent une chaussée annulaire continue ; ils ordonnent une circulation à sens unique, autour d'un îlot central (sens contraire des aiguilles d'une montre). L'îlot central a un rayon souvent supérieure à douze mètre. Pour la sortie des véhicules, le rayon doit être plus grand que celui de la rentrée et ça c'est pour faciliter la manœuvre pour le conducteur qui va quitter le carrefour et gêner, un petit peu, les véhicules entrants.

On doit définir la géométrie d'ensemble du carrefour en les ramenant à des tracés simples et connus, avant de dimensionner les divers éléments [13].

Pour un tracé général, on prend en considération les principes généraux déjà énoncées (condition de visibilité, bonne compréhension, l'aménagement clair, cisaillement sous un angle de $90 \pm 20^\circ$).

III.2.9 Application au projet

Pour notre cas, on a choisi un carrefour giratoire, pour les raisons suivantes :

-  le trafic sur la route secondaire est peu important ;
-  le carrefour sera implanté dans une zone rurale ;
-  avantage de sécurité.

1. Caractéristiques Géométriques

Dimension de l'Îlot Central

La forme :

Il est recommandé de donner à l'îlot central une forme circulaire (la sécurité étant meilleure sur les girations circulaires).

Dimensions :

En milieu rurale, une valeur de 15 à 30 m est, en général, suffisante pour notre cas, on a pris un rayon de 15m.

Chaussée Annulaire

Largeur :

En milieu interurbain ou périurbain, une chaussée annulaire de 8 m de largeur, constituée de deux vois matérialisées de 4 m est suffisante.

Il faut éviter les vois supplémentaire de tourné à droite, direction qui pose des problèmes de priorité.

Dévers :

On a choisi un dévers uniforme de 2,5 % vers l'extérieur.

2. Géométrie de l'entrée

Les valeurs pour le dimensionnement du couloir d'entrée sont les suivantes :

- ✓ rayon d'entrée de 15 à 20 m ;
- ✓ largeur de 4m.

Pour notre cas on prendra un rayon de 20m avec une largeur d'entrée de 4m.

3. Géométrie de sortie

Les valeurs pour le dimensionnement du couloir de sortie sont les suivantes :

- un rayon de sortie de 15 à 40 m ;
- une largeur de sortie de 5 m.

III.2.10 Conclusion

Le choix de type de carrefour est en fonction du classement des routes (la route nationale RN23 est toujours considérée comme route prioritaire et l'autre voie comme axe secondaire), du trafic et des conditions de sécurité. De sa bonne réalisation (visibilité et lisibilité) dépend la perception du carrefour par l'utilisateur.

III.3 Dalots

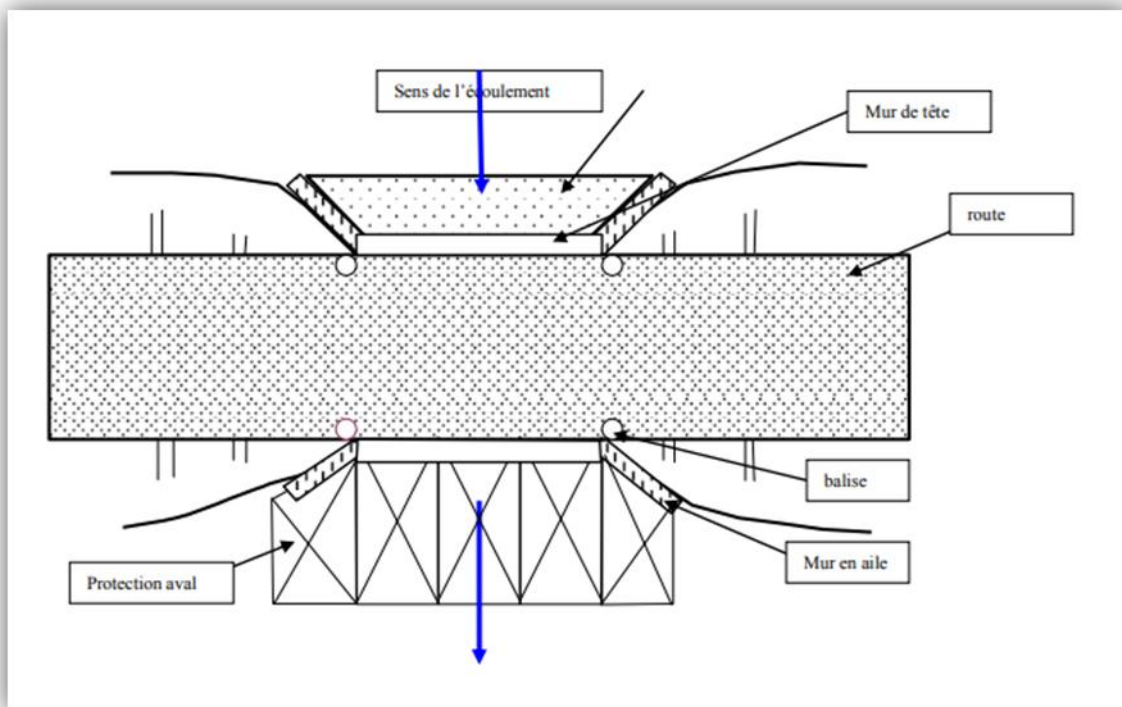
III.3.1 Introduction

Le pont, en tant qu'élément principal de l'échangeur, doit être redimensionné de telle façon à assurer l'écoulement de la circulation dans tous les sens avec le maximum de rapidité et de sécurité.

III.3.2 Généralités

Le dalot est un ouvrage de franchissement placé sous la chaussée. Il est, généralement en béton armé et présente une section rectangulaire ou carrée. Le dalot est constitué par les éléments principaux suivants, (voir figure (III.5)) ci-dessous:

- un radier ou une semelle en béton armé ;
- des piédroits ;
- une dalle ou des dallettes en béton;
- deux murs de tête ;
- quatre murs en aile en amont et en aval ;
- l'enrochement de protection amont et aval ;
- les remblais d'accès [15].



ig. III.8 : Vue de dessus d'un dalot [15].

F

III.3.3 Types de dalots

Trois types de dalots peuvent être utilisés :

- les dalots ordinaires constitués de piédroits verticaux, fondés sur une semelle ou un radier général, sur lesquels repose une dalle ou les dalles en béton armé ;
- les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé ;
- les dalots portiques semblables aux dalots cadres, mais sans radier (les piédroits sont fondés sur des semelles).

On adopte les dalots pour des débits élevés, supérieurs à $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

III.3.4 Présentation de l'ouvrage

Notre ouvrage d'art est constitué par des ponts « dalots » qui traversent l'oued sur deux endroits différents.

III.3.5 Profil en long

Le pont est constitué par une travée de longueur de 3 m. Ce dernier reposant sur deux cadres.

III.3.6 Description de l'ouvrage

Nous proposons que les dalots comportent les caractéristiques suivant :

- Hauteur de gabarit: 2.50m ;
- Largeur roulable : $L_r = 9\text{m}$;
- Nombre de voies : 2×2 voies ;
- Trottoirs : 0.75m ;
- Largeur totale de pont entre garde-corps est : 20 m ;
- Longueur totale : 25m.

III.3.7 Conclusion

Après avoir examiné tous les types d'ouvrages possibles nous avons choisi de prendre la variante qui est « pont dalot », pour leurs avantages économiques et la facilité de leurs constructions et d'entretiens.

III.4 l'assainissement

III.4.1 Introduction

L'évacuation des eaux pluviales est l'une des préoccupations fondamentales dans le domaine des routes, car la présence d'eau provoque plusieurs inconvénients, tel que, les problèmes d'inondation, glissement des terrains ainsi que les problèmes d'érosion, stabilité des talus, et la dégradation des chaussées par défaut de portance du sol.

Donc une solution à ces problèmes fut adaptée, c'est de prévoir des dispositions adéquates pour évacuer l'eau loin de la route ; l'ensemble de ces travaux porte le nom « Assainissement ».

L'assainissement de la plate-forme est assuré par des fossés bétonnés trapézoïdaux selon les pentes des profils en long.

La présente étude d'assainissement consiste principalement à :

- assurer l'assainissement existant au niveau de la route (ouvrage busés, ouvrage en maçonnerie, fossés en terre ou fossés bétonnés) ;
- calcul des débits d'apport (naturels) et dimensionnement des ouvrages de franchissement ;
- assainissement de la plate-forme de la route ;
- solutions retenues.

III.4.2 Objectif de l'assainissement

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants [16] :

- 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 ;
- éviter les problèmes d'érosions ;
- assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers de corps de la chaussée (danger de ramollissement du terrain sous-jacent et effet de gel) ;
- évacuation 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).

III.4.3 Type des dégradations

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

Ces dégradations présentent sous forme de :

- ✓ pour les chaussées :

- affaissement (présence d'eau dans le corps de chaussées) ;
 - décollement des bords (affouillement des flancs) ;
 - désenrobage ;
 - nid de poule (dégel, forte proportion d'eau dans la chaussée avec un important trafic).
- ✓ pour le talus :
- glissement ;
 - érosion ;
 - affouillements du pied de talus.

III.4.4 Assainissement de la chaussée

L'emprise de la voie express doit être assainie et ce conformément aux normes du B40 du Ministère de l'Équipement.

Des ouvrages d'assainissement ont été projetés dans le but d'assainir la chaussée et l'emprise de l'autoroute dans les meilleures conditions possibles et avec un moindre coût [11].

1. Fossé 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 %.

2. Fossé de crête de déblai

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

3. Fossé de pied de talus de remblai

Le fossé est, soit 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.

4. Drain

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainant longeant l'autoroute. Ce drain est constitué par un matériau graveleux comportant, en son centre, un tuyau circulaire en plastique perforé à sa génératrice supérieure à 150mm 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.

5. Descentes d'eau

Dans les sections d'autoroute 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 est varié entre 30 m et 40 m.

III.4.5 Type des canalisations

L'évacuation des eaux hors ouvrage s'effectue par le biais de dispositifs adéquats appelés «canalisations », son réseau est partagé en deux catégories :

- ✚ les réseaux de canalisation longitudinaux (fossés, cunettes, caniveaux) ;
- ✚ ouvrages transversaux et ouvrages de raccordement (regards, décente d'eau, tête de collecteur).

III.4.6 Choix des ouvrages d'excavation

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

- ✚ 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, à chaque fois que cela est possible, afin de diminuer les déblais de transit.

III.4.7 Drainage des eaux souterraines

Nécessité du drainage des eaux souterraines :

Les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de la nappe phréatique et d'autre part, les eaux d'infiltrations. Leurs effets sont nocifs si ces eaux détrempent la plate-forme, ce qui peut entraîner une baisse considérable de la portance du sol.

Il faut donc veiller à éviter :

- la stagnation sur le fond de forme des eaux d'infiltration à travers la chaussée ;
- la remontée des eaux de la nappe phréatique ou de sa frange capillaire jusqu'au niveau de la fondation.

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 la portance du sol 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 solutions dépend :

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

En général, il n'est pas nécessaire 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.

III.4.8 Dimensionnement des ouvrages d'excavation

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

$$Q_a = Q_s \dots \dots \dots (III. 1)$$

Q_a : Débit d'apport en provenance du bassin (m^3/s).

Q_s : Débit d'écoulement au point de saturation (m^3/s).

$$Q_a = K.C.I.A \dots \dots \dots (III. 2)$$

- Q_a en (m^3/s) valable pour : I en (mm/h) ; A en (km^2) ; $K = 0.2778$.
- Q_a en (L/s) valable pour : I en (mm/h) ; A en (ha) ; $K = 2.778$.

Avec :

- K : coefficient qui permet la conversion des unités (les mm/h en l/s) ;
- I : intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h) ;
- C : coefficient de ruissellement ;
- A : aire du bassin versant (m^2).

Détermination de l'Intensité

Calcul de la Précipitation

D'après GALTON, le calcul de la pluie journalière maximale annuelle de fréquence donnée s'effectue par la formule suivante :

$$PJ(\%) = \frac{PJ}{\sqrt{C_V^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(C_V^2 + 1)}} \dots \dots \dots (III.3)$$

Avec :

- P_J : pluie moyenne journalière.
- C_V : coefficient de variation climatique.
- U : variation de Gauss, donnée par le tableau suivant :

Tableau.III.1 : Variable de Gauss [11].

Fréquence (%)	50	20	10	2	1
Période de retour (ans)	2	5	10	50	100
Variable de Gauss (U)	0.00	0.84	1.28	2.05	2.372

- 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 dimensionnés pour une période de retour 100 ans.

Coefficient de ruissellement « C » :

Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisées par rapport à la surface drainée. Sa valeur est obtenue en tenant compte des paramètres suivants : La pente et la couverture végétale du bassin versant, l'intensité de pluie et la perméabilité du terrain.

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau reçu. Il peut être choisi suivant le tableau ci-après [11].

Tableau III.2 : Coefficient de ruissellement « C » [11].

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

L'Intensité de la Pluie I_t : Elle est donnée par la formule suivante

$$I_t = i \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^\beta \dots\dots\dots(III.4)$$

Avec:

- $\beta = b - 1$ avec: $b = 0.36$;
- i : intensité horaire (mm/h) ;
- t_c : temps de concentration (heure).

L'Intensité horaire i

$$i = \left(\frac{PI(\%)}{t}\right) \dots\dots\dots(III.5)$$

Temps de concentration t_c :

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

- Si $A < 5 \text{ km}^2$:

$$t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} \dots\dots(III.6)$$

- Si $5 \text{ km}^2 < A < 25 \text{ km}^2$:

$$t_c = 0.0108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}} \dots\dots(III.7)$$

➤ Si $25 \text{ km}^2 < A < 200 \text{ km}^2$:

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{A}}{0.8} + \frac{1.5L}{\sqrt{H}} \dots\dots(III.8)$$

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).

La pluie de fréquence pour le calcul du dimensionnement des ouvrages hydrauliques correspond à une durée de pluie 15minute = 0.25 heures ($t_c = 0.25 \text{ h}$).

Le Débit de Saturation

Le débit de saturation où le débit capable est calculé par le biais de la formule de MANNING STRICKLER sur un écoulement en régime uniforme.

$$Q_s = S_m \times K_{st} \times R_h^{2/3} \times \sqrt{J} \dots\dots\dots(III.9)$$

Avec:

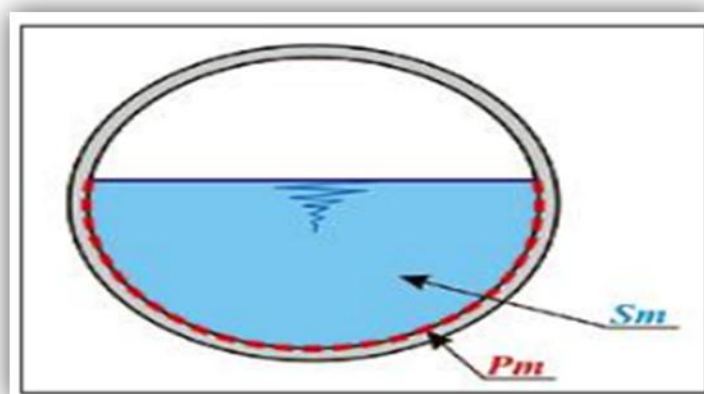
- Q_s : Le débit de saturation ;
- S_m : Surface mouillée (m^2) ;
- J : pente moyenne de l'ouvrage ;
- R_h : Rayon hydraulique (m) $R_h = \frac{S_m}{P_m}$;
- K_{st} : coefficient de rugosité ;
- s_t : Section totale de l'ouvrage.

Avec :

$$S_m = \frac{\pi R^2}{2}, \quad P_m = \pi \cdot R \quad \Rightarrow \quad R_h = \frac{R}{2}$$

Tableau.III.3: Coefficient de rugosité K_{st} [11].

Matériaux constituant la buse	Coefficient de rugosité K_{st}
En terre	30
En metal	40
En maçonnerie	50
En béton ordinaire (dalots)	70
En béton préfabriqué (buses)	80

Fig.III.9: Section transversale d'un ouvrage d'assainissement représente S_m et P_m .

III.4.9 Dimensionnement des buses

Le dimensionnement d'une buse résulte de la comparaison entre le débit d'apport et le débit de saturation de cette buse, c'est-à-dire il faut que $Q_a = Q_s$.

Donc le principe consiste à chercher le rayon de la buse qui vérifie cette condition [16].

$$Q_s = S_m \times K_{st} \times R_h^{2/3} \times \sqrt{J} ; Q_a = K.C.I.A \dots \dots \dots (III.10)$$

Avec:

$K_{st} = 80$ (béton préfabriqué) ;

J: la pente de pose (2.5%).

$$Q_s = \frac{\pi R^2}{2} \times K_{st} \times \left(\frac{R}{2}\right)^{2/3}$$

$$Q_s = Q_a \quad \Rightarrow \quad R = \left[\frac{Q_a \times 2\sqrt{2}}{\pi \times K_{st} \times \sqrt{J}} \right]^{\frac{3}{8}} \dots \dots \dots (II.11).$$

Une fois le rayon R est déterminé, on prend le diamètre de la buse $\varnothing = 2R$. Pour le dimensionnement des buses on prend un temps de concentration égale à 15min. Alors $t_c = 0.25h$, et une période de retour de 10 ans.

Tableau.III.4 : Intensité-Durée-Fréquence [16].

Période	15min	30min	1H	2h	3H	6H	12H	24H
5ans	38.29	27.2	19.33	13.73	11.24	7.986	5.674	4.031
10ans	54.81	31.83	22.62	16.07	13.16	9.346	6.64	4.717
50ans	61.06	36.28	25.77	18..31	14.99	10.65	7.566	5.375
100ans	75.22	46.33	32.92	23.39	19.15	13.6	9.664	9.866

D'après les données précédentes et le tableau « Intensité-Durée-Fréquence », on a obtenu une intensité $I_t = 54.81 \text{ mm/h}$.

III.4.10 Dimensionnement des fossés

Les fossés sont des ouvrages longitudinaux destinés à collecter les eaux superficielles qui ruissellent sur la chaussée, sur les accotements, les talus et sur les terrains avoisinants.

Le débit à évacuer est celui du secteur du bassin versant drainé par le fossé.

Nous prévoyons des fossés en forme de V de 50 cm d'ouverture et 50 cm de profondeur.

Les fossés doivent être en béton légèrement armé en treillis soudé afin d'éviter d'éventuels érosions. Le profil en travers hypothétique du fossé est donné dans la figure (Fig. III.10) ci-dessous.

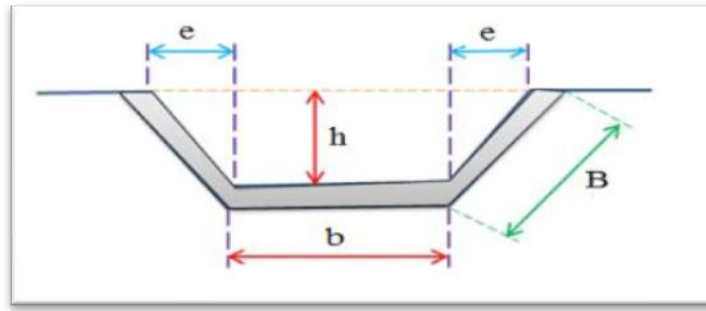


Fig. III.10 : Fossé.

Calcul de la Surface Mouillée

$$S_m = (b \times h) + \left(\frac{e \times h}{2} \right) \dots \dots \dots \text{III.12}$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \text{ D'où : } e = n \times h$$

$$S_m = (b \times h) + (n \times h^2) = h \times [b + (n \times h)]$$

$$S_m = h \times [b + (n \times h)]$$

Calcul du Périmètre Mouillé

$$P_m = b + 2B$$

Avec :

$$B = \sqrt{h^2 + (h^2 \times n^2)} + h \times \sqrt{1 + n^2}$$

$$P_m = b + 2 h \times \sqrt{1 + n^2}$$

Calcul du rayon hydraulique

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2 h \times \sqrt{1 + n^2}} \dots \dots \dots \text{(III.13)}$$

Pour le dimensionnement, le calcul se fera par itération, on fixe le paramètre n et on fait varier b et h . On calcul, à chaque fois, le débit de saturation qui doit être supérieur ou égal au débit d'apport :

$$Q_s \geq Q_a$$

$$Q_s \geq Q_a \Rightarrow K_{ST} \times S_m \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \geq K \times C \times I_t \times A$$

$$Q_s = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2} \dots \dots \dots (III.14)$$

III.4.11 Application au projet

Calcul hydraulique

Calcul de la pluie journalière maximale annuelle P_j :

$$PJ(\%) = \frac{PJ}{\sqrt{C_V^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(C_V^2 + 1)}}$$

Calcul de la surface du bassin versant

$$A_T = (4 \times 0.004) = 0.016 \text{ km}^2 \text{ (surface de talus)}$$

$$A_C = (4 \times 0.012) = 0.048 \text{ km}^2 \text{ (surface de chaussée)}$$

$$A_A = (4 \times 0.006) = 0.024 \text{ km}^2 \text{ (surface d'accotement)}$$

$$A_{Tot} = 0.088 \text{ km}^2$$

Le Débit apporté par le talus

$$C = 0.3, p = 100\%, I_t = 54.81 \text{ mm/h}, A_T = 0.016 \text{ km}^2.$$

$$I_t = 54.81 \text{ mm/h}$$

$$Q_{a(\text{talus})} = 0.2778 \times 0.3 \times 0.016 \times 518.07 = 0.690 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le Débit Apporté par la chaussée

$$C = 0.95, P = 3.0 \%, I_t = 54.81 \text{ mm/h}, A_C = 0.048 \text{ km}^2.$$

$$I_t = 54.81 \text{ mm/h}$$

$$Q_{a(\text{chaussée})} = 0.2778 \times 0.95 \times 0.048 \times 54.81 = 1.726 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit apporté par l'accotement

$$C = 0.4, P = 5 \%, I_t = 54.81 \text{ mm/h}, A_a = 0.024$$

$$Q_{a(\text{accotement})} = 0.2778 \times 0.4 \times 0.024 \times 54.81 = 0.514 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimensionnement des fossés

Fossé en béton

A partir des résultats obtenus précédemment:

$$Q_s = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

$$J = 2.5 \text{ ‰}, K_{st} = 70, b = 0.4 \text{ m}$$

$$2.93 = 70 \times h \times [0.4 + (1.5 \times h)] \times \left[\frac{h \times [0.4 + (1.5 \times h)]}{0.4 + 2h \times \sqrt{1 + 1.5^2}} \right]^{2/3} \times 0.025^{1/2}$$

D'Après le calcul itératif on trouve $h=0.15\text{m}$.

Donc les dimensions retenues du fossé sont : $b=40\text{cm}$ $h=15\text{cm}$.

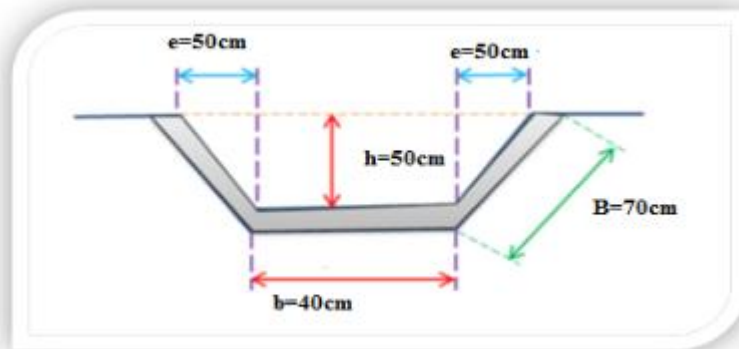


Fig.III.11 : Résultat de dimensionnement du fossé en béton.

III.4.12 Conclusion

Pour notre projet, l'assainissement peut donc être assuré par des fossés car, la pente du projet est régulière, et en plus il y a la présence de l'oued qui va faciliter cet assainissement.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude était de proposer et de concevoir un projet de contournement de la commune d'EL-FASFSA qui rentre dans le cadre du grand projet de dédoublement de la route nationale RN23 reliant Laghouat à Aflou. La voie existante passant à proximité de la localité d'EL-FASFSA a connu ces dernières années un grand nombre d'accidents causés, en général par la topographie de la zone considérée ainsi que le tracé en plan de cette voie. C'est pour cela que les autorités ont projeté le contournement de cette localité. Sa réalisation donnera un nouveau souffle au développement durable de la région et permettra d'assurer un confort meilleur et d'améliorer la sécurité des usagers au niveau de ce tronçon de route.

Comme tout ouvrage digne de ce nom, une grande route moderne doit être conçue et réalisée de façon à donner à l'utilisateur et au voisin une impression d'harmonie, d'équilibre et de beauté.

On peut dire que pour une étude de route, trois points sont à prendre en compte (la conception, l'économie, l'esthétique).

La méthodologie que nous avons entreprise pour réaliser ce projet de contournement repose sur la proposition de quatre variantes dont l'une est la route existante passant à proximité de la commune. La deuxième variante contournera la station de pompage de la Sonatrach du côté ouest. Les deux autres variantes contourneront la localité du côté Est.

Après une étude réalisée sur les quatre variantes et après avoir établi les avantages et les inconvénients ainsi que les contraintes relatives à chaque variante, nous avons opté pour la troisième variante. Une fois la variante choisie, nous avons entamé une étude de l'APD pour la proposition retenue. Lors de cette étude, nous avons eu l'occasion de cerner tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter dans un projet routier. Elle nous a permis, en fait, d'avoir une idée générale sur le déroulement d'un projet de travaux publics, en général, et un projet routier en particulier. Nous avons essayé de respecter toutes les contraintes et les normes existantes que nous ne pouvons pas négliger et qui doivent être obligatoirement prises en considération. Lors de cette étude nous avons respecté toutes les prescriptions et les normes établies dans le domaine routier.

L'étude que nous avons menée sur la variante choisie a englobé:

- le tracé en plan détaillé de la voie;
- les profils en travers;
- le calcul de la Cubature;
- le dimensionnement de la chaussée;
- un pré-dimensionnement de l'ouvrage d'art proposé pour le croisement à niveau différent;
- le pré-dimensionnement du carrefour à niveau (giratoire);
- le pré-dimensionnement de deux dalots.

Et enfin, une étude sur l'assainissement du projet a été menée pour l'évacuation et le rejet des eaux pluviales loin de l'ouvrage. Nous pouvons dire que ce mémoire de fin d'étude nous a permis, d'une part, de rentrer en contact avec les professionnels du domaine des routes en l'occurrence, les cadres de la direction des travaux publics de Laghouat, les ingénieurs du laboratoire LTPS, ainsi que les ingénieurs du bureau d'étude SET Setif, qui tous ont été pour nous d'un très grand apport, notamment en ce qui concerne les thèmes liés directement à la conception d'un meilleur tracé routier et d'approches méthodiques des phases d'étude. Et d'autre part de mettre en application les connaissances théoriques acquises pendant le cycle de notre formation en utilisant l'outil informatique ; ça nous a appris la maîtrise des logiciels couramment utilisés dans le domaine de Travaux Publics, tels que « AUTOCAD » et « COVADIS ».

Enfin, nous espérons que la variante choisie et proposée comme solution à cette étude de cas, sera à la hauteur des attentes des responsables de ce projet et contribuera à la résolution des problèmes posés par le tracé actuel.

Références bibliographiques

- [1] : PDAU Laghouat
- [2] : <http://www.levoyageur.net/climat-ville-LAGHOUAT.html> .
- [3] : PDAU sidi makhlouf
- [4] : Etudes générales technique et économique des aménagements routiers.
(B40 normes techniques d'aménagements des routes).PEF 2013
- [5] : LCPC ; SETRA. Guide technique ; Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Paris : Bagneux, décembre 1994.p250.
- [6] : LCPC ; SETRA. Guide technique ; Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Paris : Bagneux, décembre 1994.p250.
- [7] : HABITA.D, GUEDIRI.A, *Etude d'aménagement d'un échangeur sur la RN04 a boumedfaa (w.ain defla) en APS et APD avec 8 km de l'autoroute est-ouest*. Mémoire d'ingénieur. Alger Kouba: juillet 2005.pp5.p134.
- [8] : Djelti,A et Hattou,M. *Etude de la réhabilitation du chemin de wilaya CW54*.mémoire d'ingénieur. Tlemcen : juillet 2009.pp 12-80 p86.
- [9] : G, Joeffroy ; R, Sauterey. *Dimensionnement des chaussées*. Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ,1991. p244.
- [10] : LCPC ; SETRA. Directive pour la réalisation des assises de chaussées en sables traités aux liants hydrauliques. Paris : Bagneux, 1985.
- [11] : LASRI, Y et HAMOUDI, A. (septembre 2012). *Etude de la bretelle a de l'échangeur de la RN02 sur 4 km avec un pont cadre*. Mémoire d fin d'étude pour l'obtention de Master, Université Aboubekr Belkaid,Tlemcen.
- [12] : <https://www.ornikar.com/code/cours/route/autoroute/echangeurs> .
- [13] : thèse de fin d'études ENSTP-2006-
- [14] : <https://www.ornikar.com/code/cours/route/autoroute/echangeurs> .
- [15] : Founémé A. MILLOGO Ingénieur en Hydraulique. (Août 2009).
- [16] : MEKADDEM,A et GOURARI A, (10 juin 2014). Réhabilitation de la RN97 entre sidi bel abbes et mascara sur 19 km. Mémoire d fin d'étude pour l'obtention de Master Université Aboubekr Belkaid,Tlemcen.
- [17] : https://www.huffpostmaghreb.com/khier-saidani/securite-routiere/quelles_b_17495104.html .
- [18] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Minist%C3%A8re_des_Transports_\(Alg%C3%A9rie\)?fbclid=IwAR0Vzg0iqF7gffFlyIGaJi7bXlI9TxntxI6BXi1HYTCG5O25KbxZ7L7UNEs](https://fr.wikipedia.org/wiki/Minist%C3%A8re_des_Transports_(Alg%C3%A9rie)?fbclid=IwAR0Vzg0iqF7gffFlyIGaJi7bXlI9TxntxI6BXi1HYTCG5O25KbxZ7L7UNEs) .

[19] : https://www.elwatan.com/edition/actualite/laghouat-inscription-de-la-premiere-tranche-du-doublment-de-la-rn23-sur-le-territoire-de-la-wilaya-18-05-2018?fbclid=IwAR0eID2ZHcZks3XRBdHcLjJsVmRXVywW-lGnXvqXAayH99pX0TMJu_f9Fig .

[20] : <http://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20160613/80463.html> .

0 عنوان المذكرة : دراسة الطريق الاجتنبية لمنطقة الفصيفة عبر الطريق الوطني رقم 23.

المؤطر: بدرينة مداني

الإسم: صفوان , محمد فتحي

اللقب: زيرق , الحاج حسن

ملخص: يعتبر الطريق عنصرا فعالا للربط بين مختلف مناطق الوطن ويساهم في تنميتها من خلال مختلف الأنشطة الاقتصادية والمبادلات التجارية. تندرج هذه الدراسة في اطار البنى التحتية للنقل وبالصيغ مجال الطرقات. في هذه المذكرة ندرس إشكالية مطروحة على مستوى الطريق الوطني رقم 23 ، وبالأخص المقطع المار بمنطقة الفصيفة .

من اجل تدارك هذه الوضعية ، تم التفكير في إنشاء طريق اجتنبى مزدوج. بعد التطرق لوصف عام للمشروع، بالإضافة الى حساب حجم الطريق، قمنا بدراسة اقتصادية لأربع مخططات احتمالية قصد الحصول على المخطط النهائي الأصح تقنيا وإقتصاديا. ثم تم التركيز على هذا الأخير لتحديد التصميمات الهندسية النهائية للطريق المدروس وذلك بدراسة مخطط السطح و المقطع الطولي و كذا المقاطع العرضية. و في الأخير، تطرقنا لدراسة عناصر أخرى لها علاقة مباشرة بمقطع الطريق المدروس، مثل التقاطعات و المنشآت الفنية، والتطهير .

كلمات مفتاحية: طريق ، المقطع الطولي ، المقطع العرضي ، المنشآت الفنية ، التطهير.

Memory title : Study of the circumvention of the locality of EL FASFSA (sp6) on the RN23 between pk376 and pk382.

Name : Ziregue , Hadj hacene

First name : Safouane , Mohamed fathi

Directed by : Bederina Madani

Abstract : The road is an effective element connecting the different regions of the country and contributing to its development through the various economic and trade activities.

This study project enters in the field of transport infrastructure, and in particular roads. Indeed, this study tries to solve the traffic problems located at the level of the RN23, exactly on the section between pk376 and pk382 passing through EL FASFSA. To overcome these problems, we decided to make an avoidance with duplication of the way, in, the EL FASFSA village bypass.

After presenting the project and evaluating its traffic, four possible variants were studied in order to achieve an economically and technically suitable route. Then, the study was based on this last one to establish the different geometrical conceptions of the studied road, and this by determining the Plan drawing, the Longitudinal profile and the Cross profiles). Finally, we studied the different elements related to the section of the studied road, such as road crossings, structures and sanitation.

Key words: road Cross profiles, Longitudinal profile, sanitation

Titre du mémoire : Etude du contournement de la localité d'EL FASFSA (sp6) sur la RN23 entre pk376 et pk382.

Nom: Ziregue , hadj hacene

Prénom: Safouane , Mohamed Fathi

Encadreur: Bederina Madani

Résumé : La route est un élément efficace reliant les différentes régions du pays et contribuant à son développement à travers les différentes activités économiques et les échanges commerciaux.

Notre projet rentre dans le domaine des infrastructures de transport, et en particulier les routes. En effet, ce projet essayera de résoudre les problèmes de circulation se trouvant au niveau de la route nationale RN23, exactement sur le tronçon entre pk376 et pk382 passant par EL FASFSA.

Pour surmonter ces problèmes, nous avons décidé de faire un évitement avec dédoublement de la voie, c.-à-d., le contournement du village EL FASFSA.

Après avoir présenté le projet et évalué son trafic, on a étudié quatre variantes possibles, afin d'aboutir au tracé économiquement et techniquement convenable. Puis, l'étude s'est basée sur ce dernier pour établir les différentes conceptions géométriques du projet étudié, et ceci en déterminant le Tracé en plan, le Profil en long et les Profils en travers). Enfin, on a étudié les différents éléments en relation avec le tronçon de la route étudié, comme les croisements routiers, les ouvrages d'art et l'assainissement.

Mots clés : route, profil en plan, profil en travers, ouvrages d'art, assainissement.