

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Routes et Ouvrages

Thème

**Étude APD d'un tronçon de la liaison autoroutière entre Sidi bel
Abbes et L'A.E.O, saïda sur 10 Km du PK 60+000 au PK 70+000
avec un échangeur sur CW 02**

Présenté par :

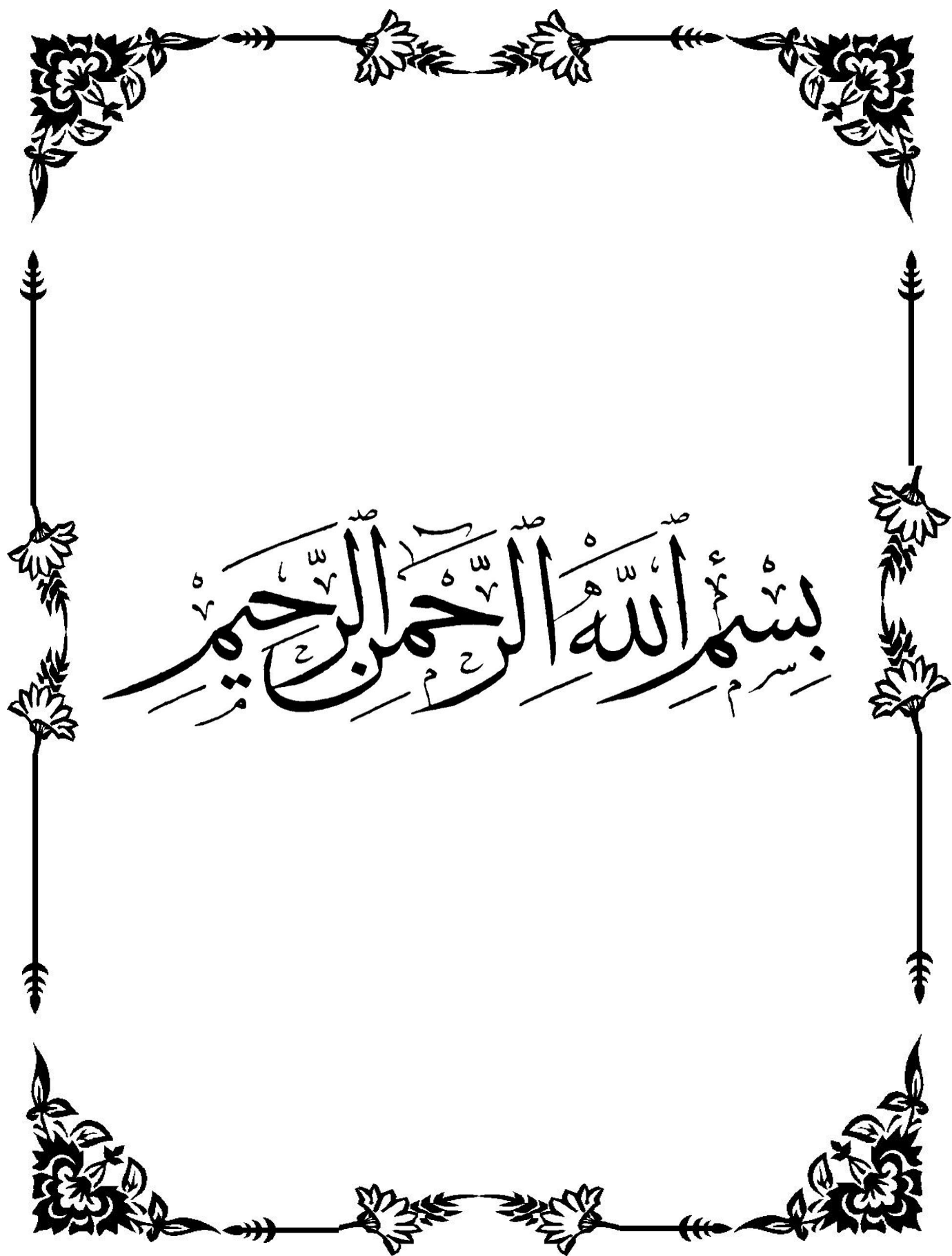
BELHOUADJEB Djaballah

LOUNIS Yaaqoub

Encadré par :

Mr. BENBOUZID Mohamed Lakhdar

Promotion 2024 / 2025



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Dieu merci de nous avoir donné la santé et la volonté nécessaires pour réaliser ce mémoire.

*Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur **BENBOUZID Mohamed Lakhdar**. Nous le remercions vivement pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité tout au long de la préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du **BET LECTACT** pour leur aide pratique, leur soutien moral et leurs encouragements. Nous pensons particulièrement à Monsieur **FACI Ali**.*

*Nous remercions vivement nos familles, **LOUNIS** et **BELHOUADJEB**, pour leur aide matérielle et morale durant toute la période de préparation.*

*Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude envers l'ensemble des enseignants de l'**ENSTP**, qui ont contribué à notre formation et à l'élaboration de ce travail.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et pour l'avoir enrichi par leurs remarques et propositions.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce travail accompagné d'un Profond amour :

A celle qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, qui m'a guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, la lune de ma vie,

Ma chère mère : houria.

A celle qui a passé sa vie pour mon confort et mes études, qui a fait de moi un homme fort, à mon ami proche, mon refuge après Allah, ma joie et mon bonheur,

Mon cher Père : slimane.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve envers vous.

Puisse ce travail être une légère récompense de vos soutiens moraux et tous vos sacrifices pour assurer mon bien être et mon éducation.

Que dieu vous garde et protège pour nous et vous accorde la santé et le bonheur.

Merci du fond du cœur.

À mes frères, Yacine et Mohamed, ainsi qu'à mes sœurs, Meryam, Zainab, Zohra et Amel, pour leur affection, leur soutien et leurs encouragements tout au long de mon parcours, ainsi qu'à tous leurs enfants et à toute la famille Lounis.

A tous mes amis et camarades de classe, que Dieu vous accorde le succès.

A tous ceux qui m'ont conseillé, guidé et contribué à la réalisation de cette travaille

Sans oublier tous mes enseignants de l'ENSTP sans exception.

LOUNIS YAAQOUB.

Dédicace

Avant tout, je tiens tout d'abord de remercier ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience à la réalisation de ce modeste travail que je dédie :

À celle qui a été à mes côtés et m'a soutenu durant toute ma vie, À toi, chère Maman, pour ta présence, ton éducation, ton soutien et ton amour inconditionnel. J'espère toujours être à la hauteur de tes attentes;

Mon cher PAPA Aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve pour toi;

Puisse ce travail être une légère récompense pour vos soutiens moraux et tous vos sacrifices pour assurer mon avenir professionnel;

À l'Âme pure de mon grand-père Hadj Slimane qui m'a entouré d'amour, de tendresse et de soins durant mon enfance avec un esprit de bienveillance;

À mes frères et sœurs : Mohamed, Iyad, Loudjine et Hanine;

À mes grands-parents;

A toute la famille BELHOUADJEB et BENDERRAH ;

A mes amis proches : Haythem, Akrem, Nacer, Ilyas, Yaakoub, Oussama, Mohammed, Allaa ,Hakim,Ayoub et Abdelbasset;

À tous mes amis et collègues;

À tous les enseignants qui ont été parmi les formateurs de ce à quoi je suis arrivé actuellement;

Vous avez toujours été présents pour les bons conseils.

Votre soutien m'a été d'un grand intérêt au long de mon parcours universitaire.

Veillez trouver dans ce travail ma reconnaissance pour tous vos efforts :

je vous dis merci !

BELHOUADJEB Djaballah.

Résumé

Ce travail consiste à étudier un projet routier, sous-titre " étude APD d'un tronçon de la liaison autoroutière entre Sidi bel Abbes et A.E.O, saïda sur 10 Km du PK 60+000 au PK 70+000 avec un échangeur ".

Dans ce résumé, nous allons présenter un aperçu succinct des chapitres qui composent notre projet de fin d'études.

Afin de réaliser ce petit effort, nous avons suivi un plan de travail établi par l'encadreur. Cette approche commence par une introduction générale, une étude de trafic et son extrapolation.

Ensuite, nous avons dimensionné la structure du corps de chaussée. Ensuite, nous avons tracé géométriquement l'axe en plan à l'aide du logiciel Civil 3D en respectant les normes du tracé. Enfin, nous avons élaboré le profil en long et le profil en travers.

Suite à ces étapes précédentes, nous avons réalisé un rapport géotechnique afin de déterminer toutes les caractéristiques de notre sol de base, ainsi qu'une étude d'assainissement de notre route. nous avons effectué une étude de l'échangeur et prévu la signalisation. Un calcul de cubature.

Enfin, on a terminé par l'étude d'impact sur l'environnement et le devis estimatif et quantitatif.

ملخص

هذا العمل يتضمن دراسة عملية للمشروع الذي يحمل عنوان دراسة ربط الطريق السريع الذي يربط سيدي بلعباس-الطريق السريع شرق-غرب، سعيدة على طول 10 كم من النقطة الكيلومترية 60+000 الى النقطة الكيلومترية 70+000 مع محول.

في هذا الملخص، سنعرض الفصول التي تطرقنا إليها في هذه الدراسة. لقد اتبعنا مخطط العمل المقدم من طرف المشرف والذي يبدأ بمقدمة عامة تليها دراسة حركة المرور بعد ذلك قمنا بتصميم محور الطريق بالاستعانة برنامج سيفيل 3د مع احترام معايير التصميم. واتبعنا هذا المسار بمقطعه الطولي والعرضي.

بعد هذه المراحل انتقلنا الى انجاز تقرير جيوتقني بهدف معرفة خصائص التربة المخصصة للمشروع، اضافة الى دراسة الصرف الصحي للطريق ثم قمنا بدراسة المحول مع تحديد اشارات المرور وحساب كميات التربة.

في الاخير أنهينا عن طريق دراسة تأثير المشروع على البيئة واستخراج التقدير الكمي للمشروع.

Summary

This work consists of studying a road project entitled "APD study of a section of the highway connection between Sidi Bel Abbès and the East-West Highway, Saïda, over 10 km from PK 60+000 to PK 70+000, including an interchange."

In this summary, we present a brief overview that covers all the chapters of our final year project. To carry out this work, we followed a work plan established by our supervisor. This approach begins with a general introduction, followed by a traffic study and its extrapolation.

Next, we dimensioned the pavement structure and geometrically designed the road alignment using Civil 3D software, in accordance with roadway design standards. We then developed the longitudinal and cross profiles.

Following these steps, we prepared a geotechnical report to determine all the characteristics of the subgrade soil, along with a drainage study of the road. We also carried out a study of the interchange, planned the road signage, and performed earthwork volume calculations.

Finally, we concluded with an environmental impact study and the quantitative and cost estimation of the project.

SOMMAIRE

INTRODCUTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET	2
I.1. INTRODUCTION	2
I.2. PRESENTATION DES WILAYAS	2
I.2.1. Wilaya de Sidi Bel Abbés	2
I.2.2. Wilaya de Saida	3
I.3. RELIEF	5
I.3.1. Wilaya de Sidi Bel Abbés	5
I.3.2. Wilaya de Saida	5
I.4. CLIMATOLOGIE DES WILAYAS	5
I.4.1. Wilaya de Sidi Bel Abbés	5
I.4.2. Wilaya de Saida	5
I.5. DESCRIPTIONS DU PROJET	5
I.6. OBJECTIFS DU PROJET	6
I.7. PRESENTATION DU TRONÇON A ETUDIER.....	6
CHAPITRE II : DONNEES DE BASE	7
II.1. INTRODUCTION	7
II.2. OBJET DE L'ICTAAL ET DOMAINE D'APPLICATION	7
II.3. CONCEPTION GENERALE.....	8
II.4. CHOIX DE CATEGORIE.....	8
II.5. LA VITESSE DE BASE	8
II.6. PARAMETRES GEOMETRIQUES.....	8
CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFIC.....	10
III.1. INTRODUCTION.....	10
III.2. ANALYSE DE TRAFIC.....	10
III.3. CALCUL DE LA CAPACITE.....	10
III.3.1. Définition de la capacité.....	10
III.4. CALCUL DE TJMA A L'ANNEE HORIZON	11
III.5. CALCUL DU TRAFIC EFFECTIF	11
III.6. DEBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL	12
III.7. DEBIT HORAIRE ADMISSIBLE	12
III.8. CALCUL DU NOMBRE DES VOIES.....	13
III.8.1. CAS d'une chaussée bidirectionnelle.....	13
III.8.2. Cas d'une chaussée unidirectionnelle.....	13

III.9. APPLICATION AU PROJET	14
III.9.1. Les données de trafic	14
III.9.2. Le trafic journalier moyen annuel à l'année de mise en service	14
III.9.3. Le trafic journalier moyen annuel à la fin de vie du projet	14
III.9.4. Le trafic effectif	14
III.9.5. Le débit de pointe horaire normale.....	15
III.9.6. Le débit admissible.....	15
III.9.7. Le nombre des voies.....	15
III.9.8. Calcul de l'année de saturation	15
III.10. CONCLUSION	15
CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE	16
IV.1. TRACE EN PLAN.....	16
IV.1.1. Introduction	16
IV.1.2. Recommandations pour le tracé en plan	16
IV.1.3. Les éléments du tracé en plan	16
IV.1.3.1. Alignements	17
IV.1.3.2. Arcs de cercle.....	17
IV.1.3.3. Valeurs des rayons	17
IV.1.3.4. Les raccordements progressifs	17
IV.1.4. Contraintes rencontrées lors de l'élaboration de notre tracé.....	18
IV.1.5. Enchaînement des éléments du tracé en plan.....	18
IV.2. PROFIL EN LONG	19
IV.2.1. Introduction	19
IV.2.2. Règles à respecter dans le tracé du profil en long.....	19
IV.2.3. Déclivité	19
IV.2.3.1. Déclivité minimum	19
IV.2.3.2. Déclivité maximum.....	20
IV.2.4. Raccordements en profil en long.....	20
IV.2.4.1. Raccordement convexes (angle saillant).....	20
IV.2.4.2. Raccordement en angle concave (rentrant).....	20
IV.2.5. Valeurs limites	20
IV.2.6. Coordination du tracé en plan et du profil en long	21
IV.3. PROFIL EN TRAVERS	21
IV.3.1. Introduction	21
IV.3.2. Les différents types de profils en Travers	22

IV.3.3. Les éléments du profil en travers	22
IV.3.3.1. Chaussée.....	22
IV.3.3.2. Terre-Plein Central (T.P.C).....	22
IV.3.3.3. Accotement	23
IV.3.4. Pentes transversales.....	24
IV.3.4.1. En alignement et en courbe non déversée	24
IV.3.4.2. En courbe déversée	24
IV.3.5. Profil en travers type du notre projet	24
CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE	25
V.1. INTRODUCTION.....	25
V.2. LES MOYENS DE RECONNAISSANCES	25
V.2.1. L'étude des archives et documents existants.....	25
V.2.2. Les essais in situ	25
V.2.3. Les essais au laboratoire.....	26
V.3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES	28
V.3.1. Résultats des reconnaissances in situ	28
V.3.1.1. Puits de reconnaissance	28
V.3.1.2. Sondages carottés	28
V.3.2. Résultats des essais au laboratoire.....	29
V.3.2.1. Résultats de puits De reconnaissance	29
V.3.2.2. Résultats des sondages:	29
V.4. CLASSIFICATION DES SOLS (CLASSIFICATION GTR) :	30
V.4.1. Résultats de classification GTR.....	31
V.5. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI	31
V.6. STABILITE DES TALUS	32
V.6.1. Introduction	32
V.6.2. Méthode de calcul	33
V.6.3. Coefficient de sécurité.....	33
V.6.4. Coefficient sismique.....	33
V.7. CALCUL LA STABILITE	34
V.7.1. Cas déblai	34
V.7.2. Cas remblai.....	36
CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE	39
VI.1. INTRODUCTION	39
VI.2. L'OBJECTIVE DE DIMENSIONNEMENT	39

VI.3. LES METHODES DE DIMENSIONNEMENT	40
VI.4. LA METHODE DU CATALOGUE ALGERIEN DE DIMENSIONNEMENT	40
VI.4.1. Les données climatiques	40
VI.4.1.1. Classification de la zone d'étude.....	40
VI.4.1.2. Température équivalente.....	41
VI.4.2. Détermination du type du réseau principal	41
VI.4.3. Détermination de la classe de trafic (TPLi)	41
VI.4.4. Le trafic cumule de poids lourds (TCi)	42
VI.4.5. Trafic cumulé équivalent (TCEi)	42
VI.4.6. Le risque de calcul	43
VI.4.7. Détermination de la portance du sol support	43
VI.4.8. Choix de dimensionnement du corps de chaussée	44
VI.4.9. Calcul de la déformation admissible.....	45
VI.4.9.1. Calcul de la déformation admissible (ϵ_z , adm) du sol support	45
VI.4.9.2. Calcul de la déformation admissible de traction (ϵ_t , adm) :	45
VI.4.10. Vérification de la fatigue des structures et de la déformation du sol support	47
CHAPITRE VII : CALCUL DES CUBATURES	48
VII.1. INTRODUCTION	48
VII.2. METHODE DE CALCUL DES CUBATURES	48
VII.3. DESCRIPTION DE LA METHODE	48
VII.4. EXEMPLE D'APPLICATION	49
VII.5. CALCUL DES CUBATURES DE PROJET	50
CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT	51
VIII.1. INTRODUCTION.....	51
VIII.2. OBJECTIF DE L'ASSAINISSEMENT.....	51
VIII.3. ETUDE HYDROLOGIQUE.....	52
VIII.3.1. Identification des bassins versants naturels.....	52
VIII.3.2. Caractéristiques physiques des bassins versants	53
VIII.4. ESTIMATION DES DEBITS CRUES :.....	53
VIII.4.1. Temps de concentration.....	54
VIII.4.2. Coefficient de ruissellement.....	54
VIII.4.3. L'intensité de pluie I.....	55
VIII.4.4. Calcul du débit d'apports	56
VIII.4.5. Résultats de calcul de débit de notre projet.....	57
VIII.5. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE.....	57

VIII.5.1. Dimensionnement des dalots :	58
VIII.5.2. Dimensionnement des buses	63
VIII.5.3. Dimensionnement des fossés.....	69
VIII.5.4. Disposition d'un système d'assainissement au niveau d'un changement de dévers :	72
VIII.6. Conclusion.....	73
CHAPITRE IX : ETUDE DE L'ECHANGEUR	74
IX.1. INTRODUCTION	74
IX.2. ROLE DE L'ECHANGEUR	74
IX.3. LES ELEMENTS D'UN ECHANGEUR.....	74
IX.4. LES DIFFERENTS TYPES D'ECHANGEURS	75
IX.4.1. Echangeur majeur.....	75
IX.4.2. Echangeur mineur	75
IX.5. ETAPE A SUIVRE POUR LE CHOIX D'UN ECHANGEUR.....	75
IX.6. CHOIX DU TYPE DE L'ECHANGEUR	76
IX.7. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES BRETelles.....	77
IX.7.1. Tracé en plan d'une bretelle.....	77
IX.7.2. Enchaînement des éléments du tracé en plan.....	77
IX.7.3. Raccordement progressif.....	77
IX.7.4. Profil en long d'une bretelle.....	78
IX.7.5. Profil en travers d'une bretelle.....	78
IX.7.6. Pente transversale d'une bretelle.....	78
IX.8. RACCORDEMENT AVEC L'AUTOROUTE:	79
IX.8.1. La zone de décélération.....	79
IX.8.2. La zone d'accélération	79
IX.9. Carrefours giratoires.....	80
IX.9.1. Principes d'aménagement	80
IX.9.2. Configuration géométrique générale.....	81
CHAPITRE X : OUVRAGE D'ART.....	87
X.1. INTRODUCTION.....	87
X.2. PRESENTATION DES OUVRAGES	87
X.2.1. Les ouvrages d'art de notre projet.....	87
X.2.2. Description des ouvrages.....	87
X.3. GABARIT A RESERVER	88
X.4. CHOIX DU TYPE DE L'OUVRAGE	88

X.5. VARIANTES PROPOSEES	88
X.5.1. Variant 1: « Pont a poutre en Béton précontrainte »	88
X.5.1.1. Les avantages	88
X.5.1.2. Les inconvénients	88
X.5.2. Variant 2: « Pont mixte Bipoutre »	89
X.5.2.1. Les avantages	89
X.5.2.2. Les inconvénients	89
X.5.3. Variant 3: « pont dalle en béton armé »	89
X.5.3.1. Les avantages	89
X.5.3.2. Les inconvénients	89
X.6. LES VARIANTES RETENUES	90
CHAPITRE XI : SIGNALISATION	91
XI.1. INTRODUCTION	91
XI.2. OBJECTIF DE LA SIGNALISATION	91
XI.3. REGLES A RESPECTER POUR LA SIGNALISATION	91
XI.4. LES CATEGORIES DE SIGNALISATION	91
XI.5. LES TYPES DE SIGNALISATION	91
XI.6. SIGNALISATION HORIZONTALE	91
XI.6.1. Caractéristiques générales des marques de chaussée	92
XI.6.1.1. Couleur des marques de chaussée	92
XI.6.1.2. Largeur des lignes des marquages	92
XI.6.2. Catégories de marques de chaussée	92
XI.6.2.1. Les lignes longitudinales	92
XI.6.2.2. Les lignes transversales	94
XI.6.2.3. Flèche de rabattement	95
XI.6.2.4. Flèches directionnelles	95
XI.7. SIGNALISATION VERTICALE	96
CHAPITRE XII : IMPACT SUR L'ENVIRENNEMENT	99
XII.1. INTRODUCTION	99
XII.2. CADRE JURIDIQUE	99
XII.3. OBJECTIFS D'UNE ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	99
XII.4. IMPACT DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT	100
XII.4.1. Impacts pendant la phase de travaux	100
XII.4.1.1. Impacts positifs	100
XII.4.1.2. Impacts négatifs	100

XII.4.2. Impacts Pendant la phase d'exploitation.....	101
XII.4.2.1. Impacts positifs	101
XII.4.2.2. Impacts négatifs	101
XII.5. MESURES PRISES POUR MINIMISER LES IMPACTS	102
XII.5.1. Mesures en phase travaux	102
XII.5.2. Mesures en phase exploitation.....	102
XII.6. CONCLUSION.....	103
CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF	104
CONCLUSION GENERALE	107
BIBLIOGRAPHIE	108
ANNEXES	109

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Localisation Du Projet.....	2
Figure I.2: réseau routier de la wilaya de sidi bel abbés	3
Figure I.3: réseau routier de la wilaya de Saida	4
Figure I.4: Situation géographique de la wilaya de sidi bel Abbés et la wilaya de saida	4
Figure I.5: Le tracé du tronçon à étudier.	6
Figure IV.1: les éléments du tracé en plan	16
Figure IV.2: Différents types de profil en travers	22
Figure IV.3: Les éléments du profil en travers.....	23
Figure V.1: Abaque de la classification GTR	30
Figure V.2: Résultats de stabilité du déblai à long terme (côté droit).....	34
Figure V.3: Résultats de stabilité du déblai à long terme (coté gauche).....	35
Figure V.4: Résultats de stabilité du déblai sous la sollicitation sismique (coté droit).....	35
Figure V.5: Résultats de stabilité du déblai sous la sollicitation sismique (coté gauche).....	35
Figure V.6: Résultats de stabilité du remblai à long terme (coté droit)	36
Figure V.7: Résultats de stabilité du remblai à long terme (coté gauche).....	37
Figure V.8: Résultats de stabilité du remblai sous la sollicitation sismique (coté droit)	37
Figure V.9: Résultats de stabilité du remblai sous la sollicitation sismique (coté gauche)	37
Figure VI.1: Différentes couches de la structure de la chaussée.....	39
Figure VI.2: Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie (fascicule 1).....	40
Figure VI.3: Choix de dimensionnement de corps de chaussée (Fascicule3).....	44
Figure VII.1: Les sections des profils en travers d'un tracé donné.....	49
Figure VII.2: Les positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné	49
Figure VIII.1: Délimitation des bassins versants sur la carte d'état-major	52
Figure VIII.2: caractéristique de buse.	63
Figure VIII.3: Caractéristiques d'un fossé.	69
Figure VIII.4: Exemple de caniveau à fente.....	73
Figure IX.1: Les types de bretelle	74
Figure IX.2: Les différents types d'échangeur	75
Figure IX.3: dispositif de sortie de l'autoroute.	79
Figure IX.4: Dispositif d'entrée sur l'autoroute.....	80
Figure IX.5: Les différents composants d'un carrefour giratoire.....	80
Figure IX.6: Disposition des branches	81
Figure IX.7: Alignement radial des branches.....	81

Figure IX.8: Déflexion des trajectoires	82
Figure IX.9: Construction des ilots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon (R_g) > 15m.....	85
Figure XI.1: Les lignes de délimitation d'une autoroute	93
Figure XI.2: Les caractéristiques de modulation des lignes discontinues.....	94
Figure XI.3: Lignes transversales.....	94
Figure XI.4: Flèche de rabattement.....	95
Figure XI.5: Flèches directionnelles	95
Figure XI.6: Schéma de marquage avec hachures	96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1: Paramètres géométriques de l'autoroute	9
Tableau III-1: coefficient d'équivalence [P]	11
Tableau III-2: valeurs de K1	12
Tableau III-3: valeurs de K2	12
Tableau III-4: valeurs de capacité théorique Cth	13
Tableau IV-1: Valeurs minimales des rayons du tracé en plan (source ICTAAL2015)	17
Tableau IV-2: Valeurs limites des paramètres du profil en long	20
Tableau IV-3: Profil en travers type du notre projet	24
Tableau V-1: Aperçu sur les normes des investigations in situ	25
Tableau V-2: Aperçu sur les normes des investigations au laboratoire	26
Tableau V-3: résultats des puits de reconnaissance	28
Tableau V-4: Résultats des sondages carottés.....	28
Tableau V-5: Résultats des essais du sondage 01	29
Tableau V-6: Résultats des essais du sondage 02	29
Tableau V-7: Résultats des essais du sondage 03	29
Tableau V-8: Résultats des essais du sondage 04	30
Tableau V-9: classification GTR.....	31
Tableau V-10: Résultats de classification GTR	31
Tableau V-11: Conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....	32
Tableau V-12: Coefficient d'accélération A	33
Tableau V-13: Pentés des talus et bermes	34
Tableau V-14: La charge sur chaussée :.....	34
Tableau V-15: les paramètres de calcul de la stabilité du déblai	34
Tableau V-16: résultat d'analyse pour la section de déblai	36
Tableau V-17: les paramètres de calcul de la stabilité du remblai	36
Tableau V-18: Résultat d'analyse pour la section de remblai	38
Tableau VI-1: Choix des températures équivalentes (fascicule 2).....	41
Tableau VI-2: Choix de type de réseau principal (fascicule 1).....	41
Tableau VI-3: Classe TPLi pour Rp1 (fascicule 1).....	42
Tableau VI-4: Coefficient d'agressivité A (fascicule 2)	42
Tableau VI-5: Risque adopté pour le réseau RP1 (fascicule 2)	43
Tableau VI-6: Classes de portance des sols Si (fascicule 1)	43
Tableau VI-7: Valeurs de $t=f(r\%)$	46

Tableau VI-8: Performances mécaniques des matériaux bitumineux (Fascicule 2)	46
Tableau VIII-1: Caractéristiques physiques des bassins versants	53
Tableau VIII-2: Coefficient C1	54
Tableau VIII-3: Coefficient C2	55
Tableau VIII-4: Coefficient C3	55
Tableau VIII-5: les données de station.....	55
Tableau VIII-6: Paramètres de Montana.	56
Tableau VIII-7: Les résultats de calcul des débits	57
Tableau VIII-8: Résultats récapitulatifs de dimensionnement des dalots et des buses	69
Tableau VIII-9: Les surfaces des sous-bassins versants	70
Tableau VIII-10: Coefficient de ruissellement (C)	70
Tableau VIII-11: Débit des eaux drainées dans la plate-forme et les talus.....	71
Tableau IX-1: Valeurs limites des rayons du tracé en plan.....	77
Tableau IX-2: Les valeurs limites des paramètres du profil en long.....	78
Tableau IX-3: Pente transversale d'une bretelle	78
Tableau IX-4: Récapitulatif des différents paramètres de construction de giratoire.....	84
Tableau IX-5: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs..	85
Tableau IX-6: différents paramètres de construction de giratoire.....	86
Tableau IX-7: différents paramètres de construction des îlots séparateurs.....	86
Tableau X-1: Les ouvrages au niveau du tracé	87
Tableau X-2: Les variantes retenues	90
Tableau XI-1: Les caractéristiques des lignes longitudinales	93
Tableau XI-2: Les caractéristiques de modulation des lignes discontinues.....	94

LISTE DES ABREVIATION

- APD** : Avant-Projet Détaillé
- BAU** : Bande d'Arrêt d'Urgence
- BB** : Béton Bitumineux
- BDD** : Bande Dérasée droite
- BDG** : Bande Dérasée Gauche
- BM** : Bande Médiane
- BV** : Bassin Versant
- CBR** : California Bearing Ratio
- Cr** : Coefficient de Ruissellement
- GB** : Grave Bitume
- GNT** : Grave Non Traité
- GTR** : Guide du terrassement routier.
- IL** : Indice de liquidité
- IP** : Indice de Plasticité
- PK** : Point kilométrique
- PL** : Poids Lourd
- Pm** : Périmètre mouillée
- Rm** : Rayon Minimal
- RN** : Route nationale.
- Rnd** : Rayon Minimal Non Déversé
- RP** : Réseau Principal
- SC** : Sondage carotté.
- Sm** : Surface mouillée
- TCE** : Trafic Cumulé en Norme en Essieux équivalent de 13 tonnes
- TJMA** : Trafic Journalier moyen annuel
- TPC** : Terre-Plein Central
- TPL** : Trafic de poids lourds.
- Uvp** : Unités des Véhicules Particuliers
- VB** : Vitesse de Base
- OA** : ouvrage d'art

INTRODUCTION GENERALE

INTRODCUTION GENERALE

L'infrastructure routière joue un rôle essentiel dans le développement économique et social d'un pays. Elle facilite la mobilité des personnes, le transport des marchandises, et contribue ainsi à l'essor du commerce, à l'industrialisation et à l'amélioration de la qualité de vie des citoyens. Un réseau routier performant participe à l'aménagement du territoire, à la réduction des disparités régionales et à une meilleure intégration des différentes zones géographiques.

En Algérie, l'infrastructure autoroutière occupe une place stratégique dans le développement national. L'autoroute Est-Ouest, projet majeur du pays, relie les principales villes du nord et facilite les échanges économiques et humains. Toutefois, certaines régions restent encore insuffisamment connectées, ce qui rend nécessaire la réalisation de nouvelles liaisons pour améliorer l'accessibilité, renforcer la sécurité routière et encourager le développement régional.

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude qui représente la dernière phase de notre cycle de formation au sein de L'Ecole National Supérieur Des Travaux Publics « ENSTP », nous avons choisi de nous intéresser à l'étude de la liaison autoroutière reliant sidi bel abbés-l'autoroute Est-Ouest, Saida sur 120 km, tronçon du PK60+000 au PK70+000 avec un échangeur sur CW 02. Ce projet vise à améliorer l'accessibilité de de la région, à fluidifier le trafic et à favoriser les échanges entre l'intérieur du pays et les grands axes autoroutiers.

CHAPITRE I :

PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE I : PRESENTATION DE PROJET

I.1. INTRODUCTION

Dans le cadre du schéma directeur routier et autoroutier 2005-2025, l'Algérie poursuit une politique ambitieuse de développement de ses infrastructures de transport, avec pour objectif principal un maillage homogène et fonctionnel du territoire national. Parmi les projets majeurs inscrits dans cette stratégie figure la liaison autoroutière entre Sidi Bel Abbés et Saïda, qui vise à relier ces deux wilayas stratégiques à l'autoroute Est-Ouest ainsi qu'à la Rocade des Hauts Plateaux, sur un linéaire total d'environ 120 km.



Figure I.1: Localisation Du Projet

I.2. PRESENTATION DES WILAYAS

I.2.1. Wilaya de Sidi Bel Abbés

La wilaya de Sidi bel Abbas, située dans le Nord-Ouest de l'Algérie, couvre une superficie totale de 9150.63 Km². Elle est composée de 15 daïras et de 52 communes.

Elle est délimitée comme suit :

- Au nord : par la wilaya d'Oran,
- Au nord-ouest : la wilaya d'Aïn Témouchent,
- Au nord-est : la wilaya de Mascara,
- À l'ouest : la wilaya de Tlemcen,
- À l'est : les wilayas de Mascara et Saïda,
- Au sud : les wilayas de Naâma et El Bayadh,
- Au sud-est : la wilaya de Saïda.

Elle dispose d'importantes infrastructures de base notamment :

Un réseau routier de 589 Km de routes nationales, 687 km de chemins de wilaya et 443 Km de chemins communaux.

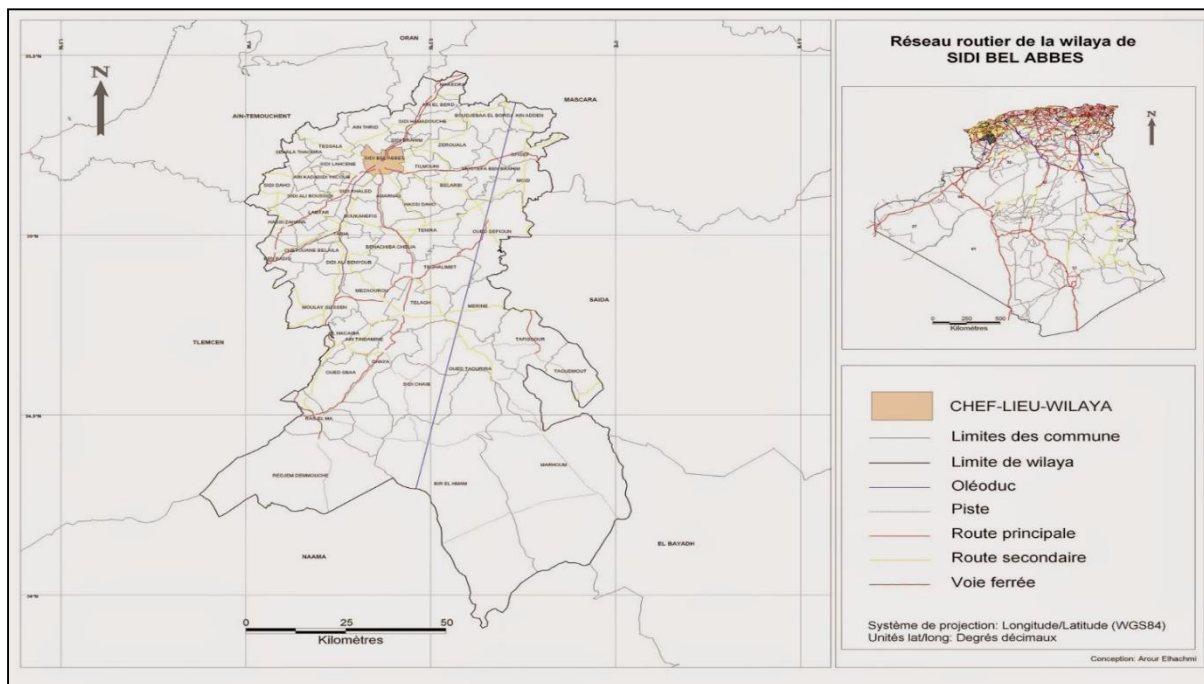


Figure I.2: réseau routier de la wilaya de sidi bel abbés

I.2.2. Wilaya de Saïda

La wilaya de Saïda, située dans le Nord-Ouest de l'Algérie, couvre une superficie totale de 6 765 km². Elle est composée de 6 daïras et de 16 communes.

Elle est délimitée comme suit :

- Au nord : par la wilaya de Mascara,
- Au sud : par la wilaya d'El Bayadh,
- À l'est : par la wilaya de Tiaret,
- À l'ouest : par la wilaya de Sidi Bel Abbès.

La wilaya dispose d'importantes infrastructures de base notamment :

Un réseau routier de 372 Km de routes nationales, 646 km de chemins de wilaya et 201 Km de chemins communaux.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE PROJET

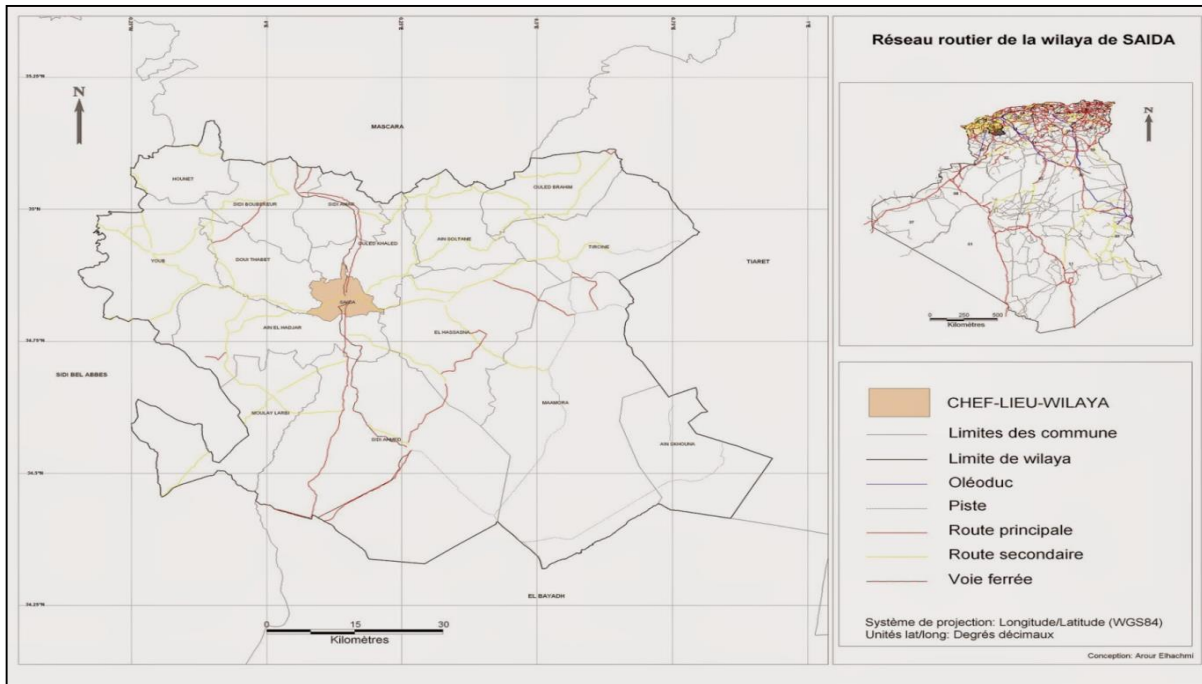


Figure I.3: réseau routier de la wilaya de Saida

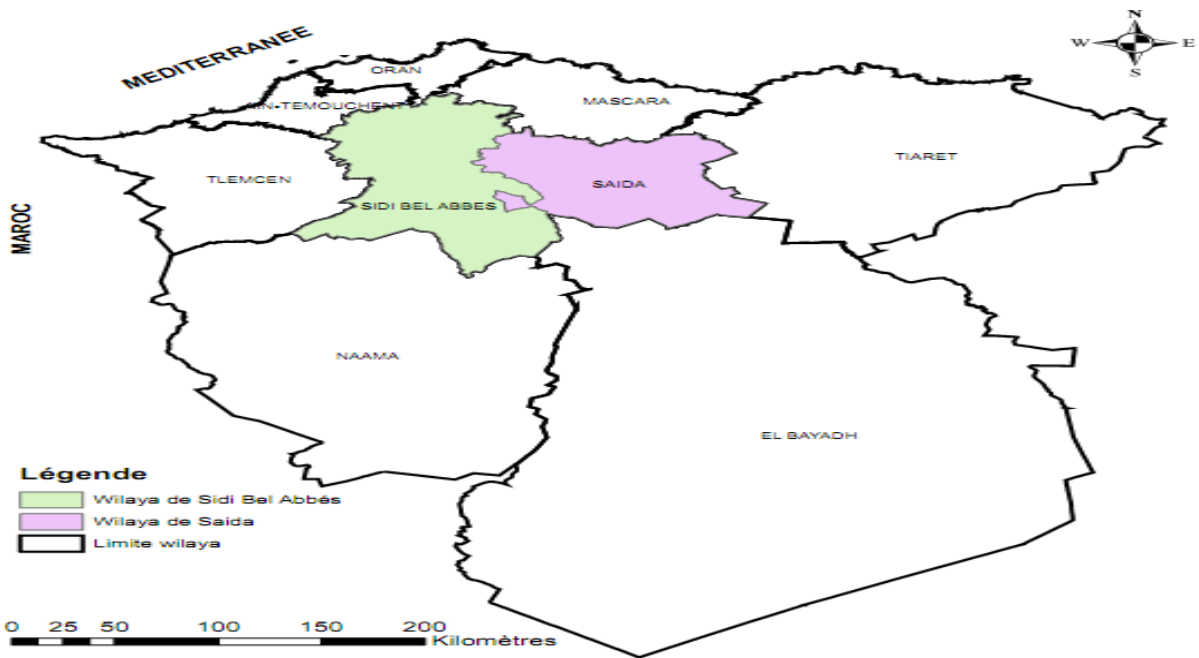


Figure I.4: Situation géographique de la wilaya de sidi bel Abbés et la wilaya de saida

CHAPITRE I : PRESENTATION DE PROJET

I.3. RELIEF

I.3.1. Wilaya de Sidi Bel Abbés

Le relief de la wilaya de Sidi Bel Abbés est diversifié, alternant entre plaines fertiles au centre, les monts du Tessala au nord et les hauteurs semi-arides des monts de Daya au sud. Ces zones offrent un contraste marqué entre agriculture, forêts et paysages arides. L'altitude varie généralement entre 400 et 1 000 mètres.

I.3.2. Wilaya de Saïda

Le relief de la wilaya de Saïda est dominé par les Hauts Plateaux, avec un paysage alternant plaines ondulées, collines et massifs montagneux. Elle est traversée par les monts de Saïda, qui lui confèrent un relief accidenté, notamment au sud et à l'ouest. L'altitude moyenne varie entre 800 et 1 200 mètres.

I.4. CLIMATOLOGIE DES WILAYAS

I.4.1. Wilaya de Sidi Bel Abbés

La majeure partie de la wilaya se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride continental, caractérisé par des étés très chauds et des hivers assez froids. L'isohyète des précipitations varie entre 400 et 500 mm par an, tandis que la température moyenne annuelle se situe entre 3 °C et 31 °C.

I.4.2. Wilaya de Saïda

Le climat dominant dans la wilaya est de type continental, avec des étés secs et chauds et des hivers froids. Les précipitations annuelles varient entre 200 et 600 mm, tandis que la température moyenne annuelle oscille entre 0 °C et 35 °C.

I.5. DESCRIPTIONS DU PROJET

Le projet porte sur la réalisation d'une liaison autoroutière de 120 km entre Sidi Bel Abbès et Saïda, visant à relier ces deux wilayas stratégiques à l'autoroute Est-Ouest et à la Rocade des Hauts Plateaux.

La réalisation de cette pénétrante autoroutière permettra de désengorger les RN 94, RN 92 et RN 104, qui assurent la liaison entre la wilaya de Sidi Bel Abbès et celle de Saïda, en offrant un nouvel axe de développement pour les deux wilayas.

Le projet commence au niveau de l'échangeur Sidi Ali Boussidi de l'autoroute Est-Ouest et traverse cinq oueds importants, à savoir : oued Mouzzene, oued Mekerra, oued Louza, oued Sefioun et oued Falitte, nécessitant la réalisation d'ouvrages d'art.

Les grandes localités desservies par ce projet sont : Sidi Ali Boussidi, Sidi Yacoub, Lamtar, Boukhanefis, Tabia, Tenzara, Chelia, Ténira, Bouyettas, Youb, Berbour, Aïn El Hadjar, Bourached, Moulay El Arbi et Sidi Lakhdar.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE PROJET

I.6. OBJECTIFS DU PROJET

- La liaison autoroutière a pour objectif principal d'assurer un accès rapide à l'autoroute Est-Ouest et de créer un lien entre les wilayas du projet (Sidi bel Abbès et Saida).
- Les liaisons Nord-Sud, dont fait partie le présent axe, favoriseront d'une part un maillage permettant la régulation du trafic, et d'autre part, l'implantation d'activités productives sur les Hauts Plateaux, avec la garantie de parts importantes sur le marché des consommateurs du nord du pays.
- Le présent projet a également pour objectif de faciliter l'accessibilité aux principales villes des wilayas des Hauts-Plateaux et d'inciter à emprunter la future rocade des Hauts Plateaux pour les déplacements Est-Ouest de longue distance.
- Permettra de désengorger les RN 94, RN 92 et RN 104.
- Offre un nouvel axe de développement pour les deux wilayas.
- Contribuer à un aménagement équilibré et rationnel du territoire.

I.7. PRESENTATION DU TRONÇON A ETUDIER

Le tracé à étudier s'étend sur une longueur de 10 km, du PK 60+000 au PK 70+000, À côté de la ville de Youb. Il traverse la CW02 (chemine de willaya 02), où un échangeur pour assurer la liaison avec cette route. Le tronçon est marqué par la présence de zones rocheuses entre le PK 61+000 et PK 70+000, nécessitant des traitements géotechniques adaptés. Ce tracé vise à améliorer la connectivité régionale tout en tenant compte des contraintes techniques, environnementales et socio-économiques.

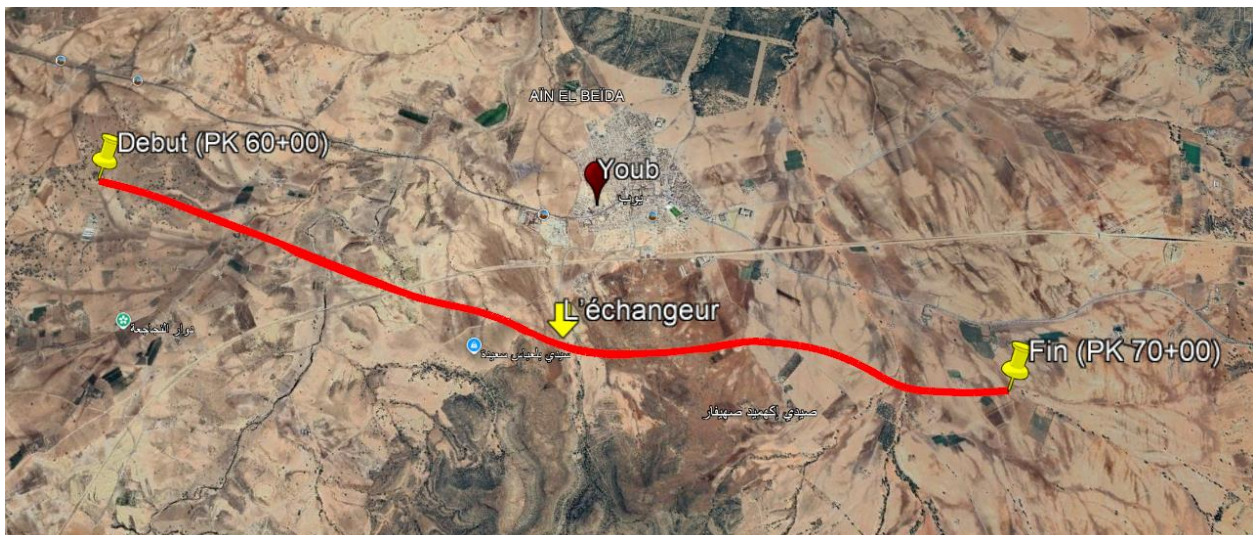


Figure I.5: Le tracé du tronçon à étudier.

CHAPITRE II :

DONNEES DE BASE

II.1. INTRODUCTION

Le but de ce chapitre est de présenter les normes géométriques qui ont servi de base à l'approfondissement de l'APD. Ces normes ont fait l'objet de discussions détaillées dans le cadre de notre projet.

Pour la conception géométrique, nous avons utilisé les normes de l'ICTAAL 2015 (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison).

II.2. OBJET DE L'ICTAAL ET DOMAINE D'APPLICATION

L'ICTAAL traite de la conception des autoroutes interurbaines, qu'il s'agisse de la réalisation d'infrastructures nouvelles ou de l'aménagement du réseau existant. Dans cette instruction, le terme autoroute désigne une route à chaussées séparées comportant chacune au moins deux voies en section courante, isolée de son environnement, et dont les carrefours sont dénivelés.

L'ICTAAL contient les principes généraux et les règles techniques fondamentales concernant ces routes, généralement dotées du statut d'autoroute ou de route express. Les études préalables, les règles et recommandations techniques de détail sont traitées dans des documents spécialisés.

L'ICTAAL ne s'applique pas :

Aux autres types de routes principales – les routes express à une chaussée, les artères interurbaines et les "routes" – qui font l'objet du guide d'Aménagement des Routes Principales (A.R.P.).

Aux routes à chaussées séparées comportant chacune une seule voie de circulation et des créneaux de dépassement, qui feront l'objet d'une instruction ultérieure.

Aux autoroutes situées en milieu urbain, considérées comme des voies rapides urbaines et relevant de l'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (I.C.T.A.V.R.U.), y compris lorsqu'elles assurent la continuité ou l'aboutissement d'une autoroute interurbaine.

Il est toutefois recommandé, en milieu périurbain, lorsque le caractère urbain actuel ou futur de la voie est faible, d'appliquer les règles de l'ICTAAL.

II.3. CONCEPTION GENERALE

La première étape de la conception est le choix des caractéristiques générales :

- Le type de route qui détermine l'instruction à appliquer.
- La catégorie de route qui conditionne les principales caractéristiques géométriques du tracé.
- Le nombre de voies.
- Le synoptique des échangeurs et des aires.
- La progressivité de l'aménagement.
- Prenant en compte les contraintes environnementales, les aspects socio-économiques et les sujétions financières.

II.4. CHOIX DE CATEGORIE

Les autoroutes ou sections d'autoroute sont classées en deux catégories se distinguant par le Niveau de leurs caractéristiques de tracé en plan et de profil en long. Le choix de la catégorie Résulte de l'environnement (relief, occupation du sol...) dans lequel s'inscrit l'autoroute et doit être Cohérent avec la perception qu'en aura l'utilisateur. On distingue :

- **la catégorie L1**, appropriée en région de plaine ou vallonnée où les contraintes de relief sont modérées ;
- **la catégorie L2** mieux adaptée aux sites de relief plus difficile, compte tenu des impacts économiques et environnementaux qu'il implique.

Donc notre projet est de **catégorie L1**.

II.5. LA VITESSE DE BASE

Selon l'ICTAAL, notre projet se trouve dans la catégorie L1, ce qui signifie que la vitesse Maximale de base est de **130 km/h**.

II.6. PARAMETRES GEOMETRIQUES

Les paramètres géométriques adoptés, selon l'ICTAAL 2015, sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Dans notre cas, la vitesse de référence est de 130 km/h.

Tableau II-1: Paramètres géométriques de l'autoroute

Désignations des paramètres	Symbole Unité	Catégorie	
		L1	L2
Vitesse maximale	V (km/h)	130	110
Tracé en plan			
Rayon minimum absolu	Rm (m)	600	400
Rayon minimum non déversée	Rnd (m)	1000	650
Longueur minimum de clothoïde	LS (m)	Max ($14 \Delta\delta $; R/9)	Max ($14 \Delta\delta $; R/9)
Rayon minimum sans courbe de transition	R (m)	1500	975
Profil en long			
Déclivité maximum	P (%)	5	6
Déclivité minimum	P (%)	0.5	0.5
Rayon minimal de raccordement convexe	RV (m)	12500	6000
Rayon minimal de raccordement concave	RV (m)	4200	3000
Profil en travers			
Nombre de voies de chaque chaussée	N	2 à 4	2 à 4
Largeur de voie	L(m)	3.5	3.5
Dévers minimum	d (%)	2.5	2.5
Dévers maximum	d (%)	7	7

CHAPITRE III :

ETUDE DE TRAFIC

III.1. INTRODUCTION

L'étude du trafic constitue une étape fondamentale en amont de tout projet d'infrastructure routière. Elle permet de quantifier l'intensité du trafic, d'analyser sa composition notamment la proportion de poids lourds et d'évaluer son agressivité sur la chaussée. Ces éléments sont indispensables pour le dimensionnement du profil en travers, en particulier le nombre de voies et l'épaisseur du corps de chaussée.

L'analyse repose principalement sur le trafic journalier moyen annuel (TJMA) ainsi que sur la répartition des différentes catégories de véhicules. Elle oriente les choix techniques, optimise la conception de l'infrastructure, et permet de prévoir une capacité adaptée aux besoins actuels et futurs. Ainsi, elle contribue à garantir la durabilité et la performance du projet routier.

III.2. ANALYSE DE TRAFIC

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise en place d'un projet routier. Elle consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route (volume, composition, conditions de circulation, saturation, origine et destination). Cette étude inclut :

- **Comptages automatiques** : réalisés à l'aide de compteurs, pour ajuster les échantillons de trafic durant la période de recensement.
- **Comptages manuels** : effectués par des agents pour déterminer la composition du trafic par type de véhicule.
- **Enquêtes origine-destination** : permettant d'identifier les itinéraires empruntés par les usagers et les zones les plus sollicitées sur le réseau.

III.3. CALCUL DE LA CAPACITE

III.3.1. Définition de la capacité

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

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 trafic journalier moyen annuel à l'année horizon « n ».

III.4. CALCUL DE TJMA A L'ANNEE HORIZON

Du fait de la croissance annuelle du trafic, le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est donné par la formule suivant:

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

- **TJMA_n**: Le trafic à l'année horizon.
- **TJMA₀**: Le trafic à l'année de référence.
- **n**: nombre d'années.
- **τ**: taux d'accroissement (%).

III.5. CALCUL DU TRAFIC EFFECTIF

C'est le trafic traduit en unité de véhicule particulier (U.V.P), en fonction de type de route et de l'environnement (vallonnée, en plaine, montagneux). Pour cela on utilise des coefficients à d'équivalence pour convertir les PL en (U.V.P).

Le trafic effectif est donné la relation suivante :

$$T_{eff} = TJMA_n[(1 - Z) + PZ]$$

- **T_{eff}**: trafic effectif à l'année horizon en (uvp/jour).
- **P**: coefficient d'équivalence pour le poids lourds, dépend de la nature de la route.
- **Z**: pourcentage de PL (poids lourds) en (%).

Tableau III-1: coefficient d'équivalence [P]

Environnement	E1	E2	E3
Route à bonne caractéristique.	2-3	4-6	8-12
Routes étroites ou à visibilité réduite.	3-6	6-12	16-24

III.6. DEBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL

Le débit de pointe horaire normale est une fraction du trafic effectif à l'horizon, il est exprimé en unité de véhicule particulier (uvp) et donné par la formule suivante :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \times T_{eff}$$

- n : nombre d'heure (généralement 8 heures).
- Q : débit de pointe horaire exprimé en (UVP/h).

III.7. DEBIT HORAIRE ADMISSIBLE

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

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$$

- K_1 : coefficient lié à l'environnement.
- K_2 : coefficient de réduction de capacité.
- C_{th} : capacité effective par voie, qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

Tableau III-2: valeurs de K1

Environnement	E1	E2	E3
K_1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Tableau III-3: valeurs de K2

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

Tableau III-4: valeurs de capacité théorique C_{th}

Type	Capacité théorique C _{th} (uvp /h)
Route à 2 voies de 3 ,5m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3 ,5m	2400 à 3200
Route à 2 chaussées séparées	1500 à 1800

III.8. CALCUL DU NOMBRE DES VOIES**III.8.1. CAS d'une chaussée bidirectionnelle**

On compare Q à Q_{adm} et on adopte le profil qui correspondant à la valeur de Q_{adm} la plus proche de Q.

III.8.2. Cas d'une chaussée unidirectionnelle

Le nombre de voies à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$N = \frac{S \times Q}{Q_{adm}}$$

D'où :

- N : nombre de voies de la chaussée, on prend le nombre entier le plus proche du rapport.
- S : coefficient de dissymétrie en général égale à $\frac{2}{3}$.
- Q_{adm} : débit admissible par voie.

III.9. APPLICATION AU PROJET

III.9.1. Les données de traffic

- Le trafic journalier moyen annuel {l'année 2022, $TJMA_{2022} = 12750$ v/j}.
- Année de mise en service : 2030.
- L'environnement : E2, catégorie C1.
- Le pourcentage des poids lourds : $Z = 27.4\%$.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic: $\tau = 3.5\%$.
- La durée de vie : 20 ans.
- $P = 4$ car l'environnement est E2 et route à bonne caractéristique (d'après le tableau de coefficient d'équivalence).
- $K1$: coefficient égal à 0.85 pour E2.
- Coefficient égal à 0.99 pour E2 et C1.
- C_{th} : capacité théorique (Route à 2 chaussées séparées) égal à 1800 uvp/ h.

III.9.2. Le trafic journalier moyen annuel à l'année de mise en service

$$TJMA_{2030} = TJMA_{2022}(1 + \tau)^8$$
$$TJMA_{2030} = 12750 \times (1 + 0.035)^8$$
$$TJMA_{2030} = 16790 \text{ v/j}$$

III.9.3. Le trafic journalier moyen annuel à la fin de vie du projet

$$TJMA_{2050} = TJMA_{2030}(1 + \tau)^{20}$$
$$TJMA_{2050} = 16790 \times (1 + 0.035)^{20}$$
$$TJMA_{2050} = 33409 \text{ v/j}$$

III.9.4. Le trafic effectif

$$T_{eff} = TJMA_n[(1 - Z) + PZ]$$

Avec $P=4$ et $Z= 27.4\%$.

$$T_{eff2030} = 16790 \times [(1 - 0.274) + 4 \times 0.274] = 30592 \text{ (uvp/j)}.$$

$$T_{eff2050} = 33409 \times [(1 - 0.274) + 4 \times 0.274] = 60872 \text{ (uvp/j)}.$$

Donc :

$$T_{eff2030} = 30592 \text{ (uvp/j)}. \quad \text{et} \quad T_{eff2050} = 60872 \text{ (uvp/j)}.$$

III.9.5. Le débit de pointe horaire normale

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \times T_{eff}$$

$$Q = 0.12 \times T_{eff}$$

$$Q_{2030} = 0.12 \times T_{eff2030} = 0.12 \times 30592 = 3671 \text{ (uvp/h)}.$$

$$Q_{2050} = 0.12 \times T_{eff2050} = 0.12 \times 60872 = 7305 \text{ (uvp/h)}.$$

$$\mathbf{Q_{2030} = 3671(uvp/h)} \quad \text{et} \quad \mathbf{Q_{2050} = 7305(uvp/h)}$$

III.9.6. Le débit admissible

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th} = 0.85 \times 0.99 \times 1800$$

$$\mathbf{Q_{adm} = 1515 \text{ (uvp/h)}}$$

III.9.7. Le nombre des voies

$$N = \frac{S \times Q}{Q_{adm}} = \frac{2}{3} \times \frac{7305}{1515} = 3.21$$

$$\mathbf{N = 3 \text{ voies / sens .}}$$

Donc : Une autoroute de **2 × 3 voies**.

III.9.8. Calcul de l'année de saturation

$$Q_{saturation} = 6 \times Q_{adm}.$$

$$Q_{saturation} = 6 \times 1515$$

$$\mathbf{Q_{saturation} = 9090 \text{ uvp/h}}$$

$$Q_{saturation} = (1 + \tau)^n \times Q_{2030} \rightarrow (1 + \tau)^n = \frac{Q_{saturation}}{Q_{2030}} \rightarrow (1 + \tau)^n = \frac{9090}{3671} = 2.48$$

$$n = \frac{\ln(2.48)}{\ln(1 + 0.035)} = 26.4 \text{ ans}$$

$$\mathbf{n = 27 \text{ ans}}$$

Donc l'année de saturation sera égale à $2030+27 = \mathbf{2057}$.

III.10. CONCLUSION

D'après l'étude du trafic de notre autoroute, on conclut que son profil en travers est de 2×3 voies, avec une saturation après 27 ans de l'année de mise en service, donc son année de saturation est estimée en 2057.

CHAPITRE IV :
ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1. TRACE EN PLAN

IV.1.1. Introduction

Lors de l'élaboration de tout projet routier, l'ingénieur doit commencer par la recherche du couloir de la route dans le site concerné.

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes, d'alignements droits et de courbes de raccordement progressif. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort, tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

IV.1.2. Recommandations pour le tracé en plan

Pour une bonne conception de tracé en plan, il est recommandé de :

- Adapter au maximum le terrain naturel.
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles et surtout les arboricoles.
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter la construction des ouvrages d'art sinon on essaie de les franchir perpendiculairement pour minimiser les coûts.
- Respecter les points de départ et d'arrivée.
- Eviter la démolition du bâti (maisons, constructions et habitats).
- Eviter le terrassement excessif et inutile, de préférence suivre les courbes de niveau.
- Se raccorder sur les réseaux existants.

IV.1.3. Les éléments du tracé en plan

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments :

- Des droites (alignements).
- Des arcs de cercle.
- Des courbes de raccordement progressives.

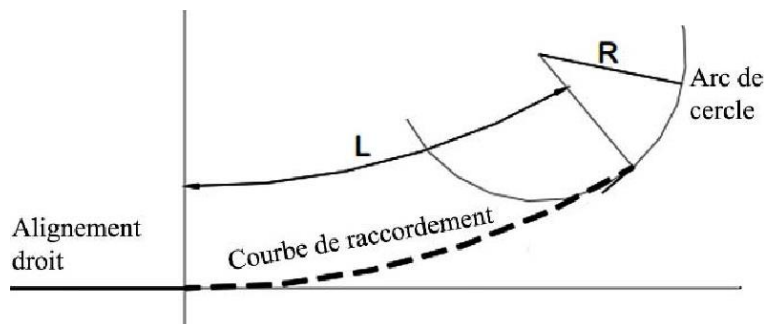


Figure IV.1: les éléments du tracé en plan

CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1.3.1. Alignements

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple et le plus utiliser, son emploi dans le tracé des routes est restreint à cause de la mauvaise adaptation de la route au paysage et la monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents.

IV.1.3.2. Arcs de cercle

La limitation des valeurs des rayons dépend de la stabilité des véhicules, l'inscription de véhicules longs dans les courbes et de la visibilité en courbe.

IV.1.3.3. Valeurs des rayons

D'après L'ICTAAL Les rayons en plan doivent respecter les valeurs minimales résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV-1: Valeurs minimales des rayons du tracé en plan (source ICTAAL2015)

Catégorie L1 (Vitesse de référence = 130(km/h))	
Rayon minimal (R_{min})	600 m
Rayon minimal non déversé (R_{nd})	1000 m
Rayon minimum sans courbe de transition	1500 m

IV.1.3.4. Les raccordements progressifs

Les courbes de rayon inférieur à $1,5 R_{nd}$ sont introduites par des raccordements progressifs (Clothoïdes).

Pour assurer les trois conditions suivantes :

- La condition optique.
- La condition de gauchissement.
- La condition de confort dynamique.

D'après l'ICTAAL 2015 La longueur de clothoïde soit au moins égale à la plus grande de ces deux valeurs :

$$\{ 14|\Delta\delta| \text{ et } \frac{R}{9} \} ; [\text{ICTAAL2015}].$$

- R (m) : le rayon de courbure.
- $|\Delta\delta|$ (%) : la différence des pentes transversales des éléments du tracé raccordés.

CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

Exemple de calcul de la longueur de la clothoïde :

Pour R=900

$$L_{\text{clothoïde}} = \max \left\{ 14|\Delta\delta| \text{ et } \frac{R}{9} \right\} \rightarrow L_{\text{clothoïde}} = \max \left\{ 14|5.8| \text{ et } \frac{900}{9} \right\} = \max \{ 81.2 \text{ et } 100 \} = 100 \text{ m}$$

Pour R=1000

$$L_{\text{clothoïde}} = \max \left\{ 14|\Delta\delta| \text{ et } \frac{R}{9} \right\} \rightarrow L_{\text{clothoïde}} = \max \left\{ 14|5| \text{ et } \frac{1000}{9} \right\} = \max \{ 70 \text{ et } 111.11 \} = 111.11 \text{ m}$$

IV.1.4. Contraintes rencontrées lors de l'élaboration de notre tracé

- Chemine communal du PK 61+525.
- Oued sefioune du PK 62+600.
- Chemine ferre du PK 63+475.
- Des lignes électrique HT du PK 64+625 au PK 64+ 975 et du PK 66 +875 au PK67+250 et du PK 68+050 au PK 68+425.
- Des piste du PK 62+220 et PK 67+610 et PK 67+725.
- Chemine wilaya (CW02) du PK 65+370.

IV.1.5. Enchaînement des éléments du tracé en plan

Des courbes circulaires de rayon modéré ($<1,5 R_{nd}$) ne peuvent être utilisées qu'en respectant les règles d'enchaînement du tracé en plan ci-après :

- introduire de telles courbes sur une longueur de 500 à 1 000 m à l'aide de courbes de plus grand rayon. En ce cas, deux courbes successives doivent satisfaire à la condition : $R_1 < 1,5R_2$, où R_1 est le rayon de la première courbe rencontrée et R_2 ($<1,5R_{nd}$) celui de la seconde. Cette recommandation est impérative dans une section à risque, comme après une longue descente, à l'approche d'un échangeur, d'une aire ou dans une zone à verglas fréquent.
- séparer deux courbes successives par un alignement droit d'au moins 200 m, sauf pour deux courbes de sens contraire introduites par des raccordements progressifs.

Remarque

Le tracé de l'axe en plan est réalisé à l'aide du logiciel CIVIL 3D, les paramètres du tracé en plan sont donnés dans l'annexe.

IV.2. PROFIL EN LONG

IV.2.1. Introduction

Le profil en long est constitué d'un graphique sur lequel on reporte les points du terrain naturel et ceux de l'axe du projet de voirie. Le profil en long est composé d'éléments rectilignes (pentes ou rampes) caractérisés par leur déclivité et de raccordements circulaires caractérisés par leur rayon.

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

Parmi les règles qu'il faut les tenir en compte on peut citer :

- De s'adapter au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement qui peuvent être coûteux.
- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- D'éviter les angles rentrants en déblai, pour 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.
- Recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Utilisation des grands rayons verticaux.
- Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des dévers nul dans une pente du profil en long.
- Respecter la valeur maximale et minimale de déclivité.
- Gabarits exigés à l'intersection avec des routes et des oueds
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

IV.2.3. Déclivité

La déclivité d'une route est la tangente de l'angle que fait la ligne rouge du profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et de rampe pour les montées.

IV.2.3.1. Déclivité minimum

Les tronçons de route absolument horizontaux, dits « en palier » sont si possible à éviter, pour la raison de l'écoulement des eaux pluviales. la pente transversale seule de la chaussée ne suffit pas, il faut encore que l'eau accumulée latéralement s'évacue longitudinalement avec facilité par des fossés ou des canalisations ayant une pente suffisante. Il est conseillé d'éviter les pentes inférieures à 1% et surtout celle inférieure à 0.5 %, pour éviter la stagnation des eaux.

IV.2.3.2. Déclivité maximum

Du point de vue technique, la déclivité maximale dépend de l'adhérence entre pneus et chaussée (ce phénomène concerne tous les véhicules), ainsi de la réduction des vitesses qu'elle provoque ou les camions (poids lourds) sont déterminants car la plupart des véhicules légers ont une grande puissance.

IV.2.4. Raccordements en profil en long

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long. Ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort. On distingue deux types de raccordements :

IV.2.4.1. Raccordement convexes (angle saillant)

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angles saillants, sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain, des obstacles et des distances d'arrêt et de visibilité. Leur conception doit satisfaire à la condition :

- Condition de confort.
- Condition de visibilité

IV.2.4.2. Raccordement en angle concave (rentrant)

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité diurne 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.

IV.2.5. Valeurs limites

En fonction de la catégorie retenue (catégorie L1), le guide ICTAAL donne la déclivité maximale ainsi que la valeur minimale des rayons en angle saillant et en angle rentrant.

Les paramètres de notre profil en long doivent respecter les valeurs limites données dans le tableau suivant :

Tableau IV-2: Valeurs limites des paramètres du profil en long

Catégorie	L1
Déclivité maximale	5 %
Rayon minimal en angle saillant	12 500 m
Rayon minimal en angle rentrant	4 200 m

IV.2.6. Coordination du tracé en plan et du profil en long

La coordination du tracé en plan et du profil en long doit faire l'objet d'une étude d'ensemble, afin d'assurer une bonne insertion dans le site, le respect des règles de visibilité et, autant que possible, un certain confort visuel ; ces objectifs incitent à :

- associer un profil en long concave, même légèrement, à un rayon en plan impliquant un dégagement latéral important ;
- faire coïncider les courbes horizontales et verticales, puis respecter la condition :
 $R_{\text{vertical}} > 6 R_{\text{horizontal}}$, pour éviter un défaut d'inflexion ;
- supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de surcoût sensible ; lorsqu'elles ne peuvent être évitées, on fait réapparaître la chaussée à une distance de 500 m au moins, créant une perte de tracé suffisamment franche pour prévenir les perceptions trompeuses.

Remarque :

Le profil en long a été fait avec le logiciel CIVIL 3D et Les calculs complets de l'axe du profil en long sont joints dans les annexes.

IV.3. PROFIL EN TRAVERS

IV.3.1. Introduction

Le profil en travers d'une route c'est la coupe transversale de la chaussée et de ses Dépendances.

Un projet routier comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d'abord un profil unique appelé « profil en travers type » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, ...etc.).

Les profils en travers permettent de calculer les paramètres suivants :

- La position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements.
- L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel.
- Les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

IV.3.2. Les différents types de profils en Travers

Il existe trois types de profils en travers : Les profils en remblai, en déblai ou bien les profils mixtes.

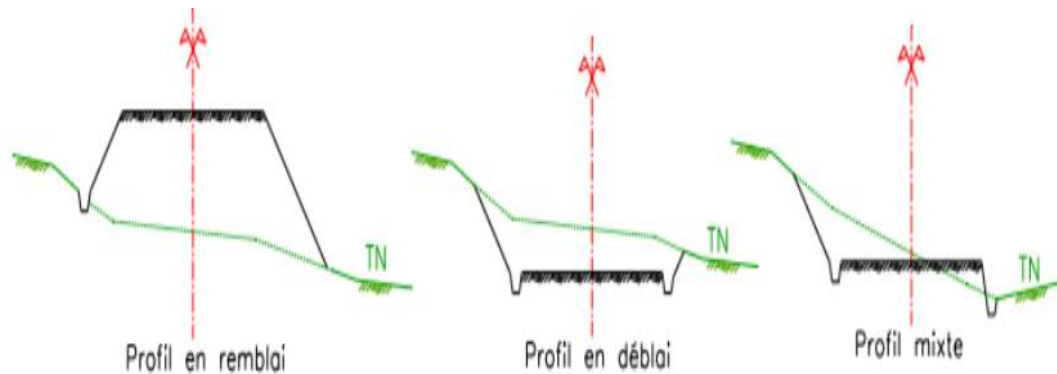


Figure IV.2: Différents types de profil en travers

IV.3.3. Les éléments du profil en travers

IV.3.3.1. Chaussée

D'après L'ICTAAL Chaque chaussée comporte de 2 à 4 voies de circulation larges de 3,50m.

Dans notre projet on a une chaussée de 3 voies avec 3,5m pour chaque voie.

IV.3.3.2. Terre-Plein Central (T.P.C)

Le T.P.C. assure la séparation matérielle des deux sens de circulation. Sa largeur résulte 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 permettre de légers écarts de trajectoire et à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité. Elle contribue dans les courbes à gauche au respect des règles de visibilité.

Elle est dégagée de tout obstacle, revêtue et se raccorde à la chaussée sans dénivellation. Sa largeur est de 1,00 m.

- **Bande médiane :**

Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, à implanter certains équipements (barrières de sécurité, supports de signalisation, ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux) et, le cas échéant, des piles d'ouvrages et des aménagements paysagers. Sa largeur dépend, pour le minimum, des éléments qui y sont implantés.

IV.3.3.3. Accotement

L'accotement comprend une bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) bordée à l'extérieur d'une berme.

- **La bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) :**

La B.A.U. facilite l'arrêt d'urgence hors chaussée d'un véhicule, la récupération d'un véhicule déviant de sa trajectoire, l'évitement d'un obstacle sur la chaussée, l'intervention des services de secours, d'entretien et d'exploitation.

Elle est constituée à partir du bord géométrique de la chaussée d'une sur largeur de chaussée qui porte le marquage en rive, puis d'une partie dégagée de tout obstacle, revêtue et apte à accueillir un véhicule lourd en stationnement. Aucune dénivellation ne doit exister entre la chaussée et la B.A.U Sa largeur est de 2,50 m, ou 3m.

- **La berme :**

Elle participe aux dégagements visuels et supporte des équipements : barrières de sécurité, signalisation verticale...

Sa largeur qui dépend surtout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place est de 1,00 m minimum ; mais elle peut être intégrée à un dispositif d'assainissement dont la pente ne dépasse pas 25%

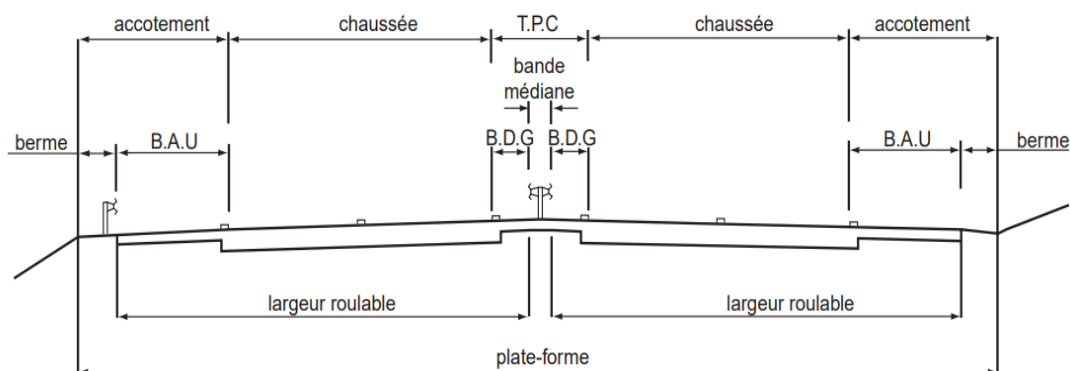


Figure IV.3: Les éléments du profil en travers

CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

IV.3.4. Pentes transversales

Les courbes de rayon inférieur à R_{nd} sont déversées vers l'intérieur de la courbe

IV.3.4.1. En alignement et en courbe non déversée

La pente transversale d'une chaussée est de 2,5% vers l'extérieur.

La pente d'une B.A.U. (ou d'une B.D.D.), est identique à celle de la chaussée adjacente, mais au-delà de la sur largeur de chaussée portant le marquage de rive, elle peut être portée à 4% pour des raisons techniques. Les pentes des B.D.G. et du versant en toit d'un T.P.C. revêtu sont identiques à celle de la chaussée adjacente. La berme extérieure présente une pente transversale de 8 % qui peut être portée jusqu'à 25% dans le cas où elle est intégrée au dispositif d'assainissement.

IV.3.4.2. En courbe déversée

La pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de $1/R$, entre 2,5 % pour R_{nd} et 7 % pour R_m .

La pente de la B.A.U. (ou la B.D.D.) intérieure à la courbe est la même que celle de la chaussée adjacente.

La pente de la B.A.U. extérieure (ou la B.D.D.) reste la même qu'en alignement droit tant que le dévers ne dépasse pas 4 % ; au-delà, elle est de sens opposé au dévers et égale à 1,5 %, hormis la sur largeur de chaussée qui conserve la même pente que la chaussée. Les dispositions relatives aux autres composantes de la plate-forme restent les mêmes.

IV.3.5. Profil en travers type du notre projet

Tableau IV-3: Profil en travers type du notre projet

Description	Largeur (m)	Nombre	Largeur totale (m)
Voie de circulation (2x3)	3.5	6	21
Terre-plein centrale (T.P.C)	5	1	5
Bande dérasée gauche (B.D.G)	1	2	2
Bande médiane (B.M)	3	1	3
Accotement	4.5	2	9
-Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U).	3	2	6
-La berme.	1.5	2	3
Totale	35 m		

CHAPITRE V :
ETUDE GEOTECHNIQUE

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

V.1. INTRODUCTION

L'étude géotechnique est une étape essentielle dans la conception des infrastructures routières. Elle a pour objectif d'identifier et de caractériser les formations géologiques traversées par le tracé, en analysant leurs propriétés mécaniques, physiques et hydrauliques. Ces investigations permettent d'évaluer la portance des sols, les risques de tassements ou d'instabilités, et de définir les structures de chaussée et les méthodes de terrassement les plus appropriées. Dans un projet routier, une bonne connaissance du sol est indispensable pour assurer la durabilité, la sécurité et l'optimisation technique et économique de l'infrastructure.

V.2. LES MOYENS DE RECONNAISSANCES

Les moyens de reconnaissances d'un tracé routier sont :

- L'étude des archives et documents existants.
- Les visites de site et les essais in situ (puits de reconnaissances, sondages carottés)
- Les essais de laboratoires.

V.2.1. L'étude des archives et documents existants

Les études antérieures effectuées au voisinage du tracé sont une source importante d'informations préliminaires sur la nature des terrains traversés. Les cartes géologiques et géotechniques de la région peuvent parfois apporter des indications précieuses pour avoir une première idée de la nature géologiques et géotechniques.

V.2.2. Les essais in situ

Les essais in situ sont réalisés directement sur le terrain afin d'évaluer les propriétés mécaniques et physiques des sols. Ils sont effectués conformément à des normes précises, garantissant ainsi la fiabilité des résultats.

Tableau V-1: Aperçu sur les normes des investigations in situ

N°	Désignations	Normes	Objectifs
1	Puits de Reconnaissance	XP P 94-011	Identification du sol en phase d'APD. Prélèvements des échantillons. Détermination de la portance du terrain. (Essais CBR).
2	Sondages Pressiométriques	NF P 94-110	Évaluer les caractéristiques de déformabilité des terrains ainsi que leur Pression limite.
3	Sondages carottés	XP P 94-202	Identification d'un sol. Distinction des types de formation. Prélèvements des échantillons.

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

V.2.3. Les essais au laboratoire

Dans le but de caractériser les sols et les roches des formations rencontrées le long du tracé, des essais de laboratoire physiques, chimiques et mécaniques ont été réalisés sur des échantillons prélevés à la fois dans les puits de reconnaissance et les sondages carottés.

Tableau V-2: Aperçu sur les normes des investigations au laboratoire

Essais	Description	Norme	Objectif
D'identification Physico-chimiques	Analyse granulométrique (Tamisage à sec) AG	NF P 94-056	Répartition pondérale des éléments granulaires d'un matériau des terrassements
	Analyse granulométrique par méthode de sédimentation	NF P 94-057	Détermination de la distribution pondérale
	Teneur en eau naturelle	NF P 94-050	Détermination de la teneur en eau d'un matériau.
	Limites d'Atterberg	NF P 94-051	Détermination de l'argilosité d'un sol
	Teneur en CaSO ₄	NF P 18-011	Détermination de la teneur en sulfate - Degré d'agressivité du sol
	Teneur en CaCO ₃	NF P 94-048	Détermination de la teneur en carbonate Méthode du calcimètre
	Valeur de bleu d'un sol	NF P 94-068	Détermination de l'argilosité d'un matériau
	Détermination de la Masse volumique des particules solides d'un sol	NF P 94-054	Détermination de la masse volumique moyenne des particules solides de sol
	Masse volumique sèche d'une roche	NF P 94-064	Détermination de la masse volumique sèche d'un élément de roche

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

Essais	Description	Norme	Objectif
Essais Routiers	Essai Proctor normal	NF P 94-093	Déterminer la masse volumique sèche d'un matériau et sa teneur en eau correspondante.
	Indice CBR après immersion	NF P 94-078	Déterminer l'indice portant d'un échantillon de sol compacté dans un moule CBR avec une énergie Proctor Normal
Essais Mécaniques des sols	Essai œdométriques	XP P 94-090-1	Étudier la compressibilité d'un échantillon de sol
	Essai de cisaillement	NF P 94-071-1	Mesure des paramètres de résistance au cisaillement rectiligne (cohésion et angle de frottement interne) d'un matériau
Essais mécaniques des roches	Essai Los Angeles (LA)	NF EN 1097-2	Mesure de la résistance d'une fraction granulaire à la fragmentation par chocs
	Essai Micro Deval humide (MDE)	NF EN 1097-1	Mesure de la résistance d'usure d'une fraction granulaire
	Essai de fragmentabilité (FG)	NF P 94-066	Mesure de la résistance de la roche sous la charge due au trafic routier
	Essai de dégradabilité (DG)	NF P 94-067	Qualifier la sensibilité du matériau rocheux aux sollicitations hydriques
	Essai de compression simple	NF P 98-301	Mesure de la résistance à la compression
	Essai de résistance à la traction	NF P 18-408	Mesure de la résistance à la traction

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

V.3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

V.3.1. Résultats des reconnaissances in situ

V.3.1.1. Puits de reconnaissance

Tableau V-3: résultats des puits de reconnaissance

N° desPuits	PK	Profondeur	La description lithologique
PU01	61+000	0.00-0.20 m	Terre végétale
		0.20-0.60 m	Encrouement calcaire
PU02	64+800	0.00-0.20 m	Terre végétale
		0.20-0.50 m	Encrouement calcaire
PU03	69+450	0.00-0.20 m	Terre végétale
		0.20-0.40 m	Encrouement calcaire

V.3.1.2. Sondages carottés

Tableau V-4: Résultats des sondages carottés.

N°sondage	PK	Profondeur	La description lithologique
SC-01	62+183	0.00-0.20 m	Terre végétale
		0.20-15.00 m	Calcaires massifs
SC-02	65+025	0.00-0.20 m	Terre végétale
		0.20-15.00 m	Calcaires massifs durs
SC-03	66+375	0.00-0.30 m	Terre végétale
		0.30-20.00 m	Grés massifs durs
SC-04	67+250	0.00-0.50 m	Terre végétale
		0.50-9.00 m	Grés massifs

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

V.3.2. Résultats des essais au laboratoire

V.3.2.1. Résultats de puits De reconnaissance

Vu la nature de la formation rencontrée au droit des trois puits (**encroûtement calcaire**), il n'a pas été possible de réaliser des essais au laboratoire (refus superficiel).

V.3.2.2. Résultats des sondages:

Tableau V-5: Résultats des essais du sondage 01

Essais	Sondage	SCD,01		
		Prof,	1,00/2,00	4,00/6,00
P H Y S I Q U E	WL (%)		43,74	N,M
	WP (%)		31,52	N,M
	IP (%)		12,22	N,M
		5 mm	50%	36%
		1 mm	28%	27%
	Passant	0,2mm	17%	7%
	A	0,1 mm	16%	5%
		20 μ	11%	
		2 μ	2%	

Tableau V-6: Résultats des essais du sondage 02

Essais	Sondage	SCD,02					
		2,00/2,50	3,50/3,90	5,50/5,90	6,60/7,10	10,20/10,90	12,20/12,60
MECANIQUE	Prof, Ech Paraff,						
	Rc , (bars)	210,68	87,49	107,49	59,2	104,38	102,37
	γd (T/m ³)	3,13	3,02	2,55	2,51	2,61	2,57

Tableau V-7: Résultats des essais du sondage 03

Essais	Sondage	SCD,04		
		3,00/3,15	4,10/4,30	15,00/15,50
MECANIQUE	Prof, Ech Paraff,			
	Rc , (bars)	295,5	157,8	345,9
	γd (T/m ³)	2,26	2,27	2,42

Tableau V-8: Résultats des essais du sondage 04

Essais	Sondage	SCR,04		
MECANIQUE	Prof, Ech Paraff,	3,00/3,20	7,20/7,60	8,00/8,50
	Rc , (bars)	262,7	350,7	277,3
	γd (T/m ³)	2,24	2,28	2,26

Remarque :

- Les valeurs obtenues de "Rc" caractérisent des matériaux de bonne consistance en général et des matériaux de nature dure et compacte.
- Les zones rocheuses sont du PK 61+000 au PK70+000.

V.4. CLASSIFICATION DES SOLS (CLASSIFICATION GTR) :

Les différents systèmes de classifications géotechniques des sols et des matériaux rocheux proposés jusqu'à présent ont été établis avec le souci de servir l'ingénieur dans l'ensemble des différents domaines du Génie Civil où ces matériaux sont concernés (ouvrages en terre, fondations, stabilité des pentes, assises de chaussée ou élaboration des granulats. . .), Ainsi, pour la réalisation des remblais et des couches de forme.

Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R ₁
			Calcaires	R ₂
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites ...	R ₃
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches ...	R ₄
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R ₅
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers ...		R ₆

Figure V.1: Abaque de la classification GTR

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

Exemple de classification :

Sondage SC-03 :

On a grès massifs durs à moyennement durs.

Tableau V-9: classification GTR

Classement selon la nature		Classement selon l'état hydrique et le comportement			
Nature pétrographique de la roche	Caractères principaux	Paramètres et valeurs seuils retenus	Sous-classe		
Roches siliceuses	R ₄ Grès poudingues	Les matériaux de cette classe peuvent être assimilés à des conglomérats de grains de sable (cas des grès) ou de galets (cas des brèches et poudingues), liés entre eux par un ciment naturel de silice ou de calcite.	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches siliceuses dures	R ₄₁
		La résistance plus ou moins grande de cette cimentation confère à ces matériaux des comportements variables (risques de réarrangements après mise en œuvre lorsqu'ils ne sont pas suffisamment compactés, en particulier). Si ces roches sont très fragmentables, leur évolution ultime s'arrête aux grains élémentaires cimentés. Certaines d'entre elles contiennent également une fraction argileuse suffisante pour leur conférer un comportement voisin des matériaux de la classe R ₃₄ .	LA >45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches siliceuses de dureté moyenne	R ₄₂
		FR > 7	Roches siliceuses fragmentables	R ₄₃	

L'identification de ces matériaux sont de classe **R₄** (selon la nature), d'après le GTR [guide technique, réalisation des remblais et des couches de forme, fascicule II, annexes techniques (Juillet 2000, 2^{ème} Edition)].

V.4.1. Résultats de classification GTR

Tableau V-10: Résultats de classification GTR

Sondage	SC-01	SC-02	SC-03	SC
Classification (GTR)	R ₂	R ₂	R ₄	R ₄

V.5. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

Sur la base de classification GTR par les résultats des sondages carottés et des puits de reconnaissance, l'analyse a été effectuée pour étudier la possibilité de réutilisation des sols à déblayer en remblais. Cette possibilité d'utilisation en remblais peut être changée selon la situation météorologique et les états hydrauliques des matériaux lors matériaux d'exécution.

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

Selon le GTR, les matériaux rencontrés, classés R2 et R4, sont des calcaires et grès exploitables à la base des remblais, à condition de procéder à la fragmentation des éléments grossiers ≥ 800 mm. Leur mise en œuvre nécessite un compactage moyen

Tableau V-11: Conditions d'utilisation des matériaux en remblai

sol	Observation générale	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai
R21 R41 R61	Matériaux rocheux sains Ces matériaux habituellement insensibles à l'eau, sont utilisables en remblais quelles que soient les conditions météorologiques	++ + = ou -	toutes conditions météorologiques	G : élimination des éléments ≥ 800 mm C : compactage moyen
R22 R42 R62	Matériaux rocheux de dureté moyenne, évoluant granulométriquement en cours de chantier vers un sol blocailleux. Cette évolution granulométrique peut être notamment accélérée en période pluvieuse sous trafic.	Les conditions dépendent de la nature et de l'état du sol obtenu en chantier. Ces matériaux se classent généralement en C2 et quelques fois en C1 ou en D3 . Dans chaque cas, le géotechnicien doit préciser le sol le plus probable auquel on aboutit en fin de mise en œuvre Cf. conditions d'utilisation de ces sols		

V.6. STABILITE DES TALUS

V.6.1. Introduction

Dans un projet routier, la création de talus en déblais ou en remblais est souvent nécessaire pour adapter le tracé à la topographie. La stabilité de ces talus est un enjeu majeur, car toute instabilité peut entraîner des glissements de terrain, des dommages à la chaussée ou des interruptions de circulation. Elle dépend de plusieurs facteurs, tels que la nature du sol, la pente du talus, la hauteur, et surtout la présence d'eau. Une étude géotechnique appropriée permet de prévenir ces risques en définissant des pentes sûres et, si nécessaire, en prévoyant des dispositifs de stabilisation.

Les paramètres géotechniques concernés et qui influent sur les analyses de stabilité des déblais et des remblais sont :

- Poids volumique γ .
- Cohésion c .
- Angle de frottement interne ϕ .

V.6.2. Méthode de calcul

Les calculs de stabilité ont été réalisés à l'aide du logiciel GEO5. La méthode de calcul choisie est la méthode de Bishop pour les surfaces de rupture circulaires, en basant sur les données géométriques des profils en travers courants et les résultats de l'investigation géotechnique.

La méthode de Bishop est une méthode d'analyse de la stabilité des talus qui est basée sur la méthode des tranches. Elle consiste à diviser le talus en plusieurs tranches verticales et à analyser l'équilibre de chaque tranche indépendamment, en prenant en compte les forces inter-tranches. La méthode de Bishop est souvent utilisée pour déterminer le coefficient de sécurité d'un talus et pour identifier la surface de rupture la plus critique.

V.6.3. Coefficient de sécurité

Le calcul de la stabilité des talus est généralement estimé à l'aide d'un coefficient appelé : coefficient de sécurité. Ce coefficient est défini comme étant le rapport du moment par rapport à un point fixe de la résultante des forces résistantes au glissement aux forces provoquant le glissement.

Pour assurer la stabilité il faut respecter les deux conditions suivantes :

- $F_s \geq 1.5$ pour la stabilité à long terme.
- $F_s \geq 1.1$ pour la stabilité sous la sollicitation sismique.

V.6.4. Coefficient sismique

La stabilité des talus est étudiée en considérant d'une façon statique la combinaison d'une charge sismique horizontale (K_h) et une charge sismique verticale (K_v). Dans ce cas, le coefficient A est un coefficient d'accélération retenue en fonction des zones sismiques et de la classification des ouvrages.

Accélération selon la zone et le type de travail :

Tableau V-12: Coefficient d'accélération A

Groupe	Zone I	Zone II a	Zone II b	Zone III
1	0.15	0.25	0.3	0.4
2	0.12	0.20	0.25	0.3
3	0.1	0.15	0.2	0.25

La zone d'étude est rangée à la Zone I et les talus correspondent au Groupe 1-B classé selon leur importance Donc Le coefficient d'accélération **A = 0.12**.

Avec :

- $K_h = 0,5 A =$ forces horizontales. $\longrightarrow K_h = 0,06$
- $K_v = 0,3 K_h =$ forces verticales. $\longrightarrow K_v = 0,018$

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE

Pentes des talus et bermes :

Tableau V-13: Pentes des talus et bermes

Zone	Pente	Critère
Déblai	1H/1V	Une risberme de 3m à tous les 8m
Remblai	3H/2V	Une risberme de 3m à tous les 8m

La charge sur chaussée :

Tableau V-14: La charge sur chaussée :

La charge Q (kpa)	Largeur chargeable (m)
15	35

V.7. CALCUL LA STABILITE

V.7.1. Cas déblai

Nous allons vérifier la stabilité du profil qui représente la hauteur du déblai la plus importante, à savoir au PK 66+400, cette hauteur est de 16.32 m.

Tableau V-15: les paramètres de calcul de la stabilité du déblai

PK	Profondeur (m)	Poids volumique γ_h (KN/m ³)	Angle de frottement ϕ (°)	Cohésion C (KN/m ²)
66+400	16.33	20	28	25

Résultats d'analyse par logiciel :

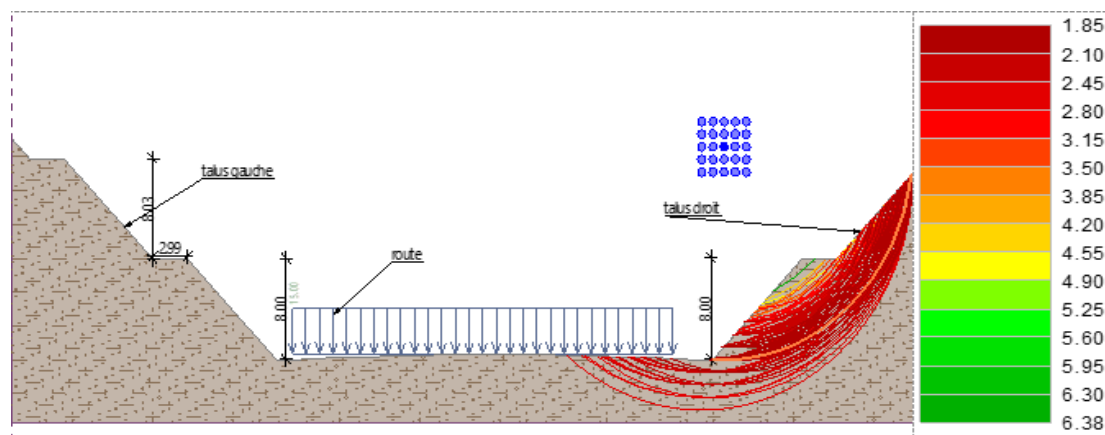


Figure V.2: Résultats de stabilité du déblai à long terme (côté droit)

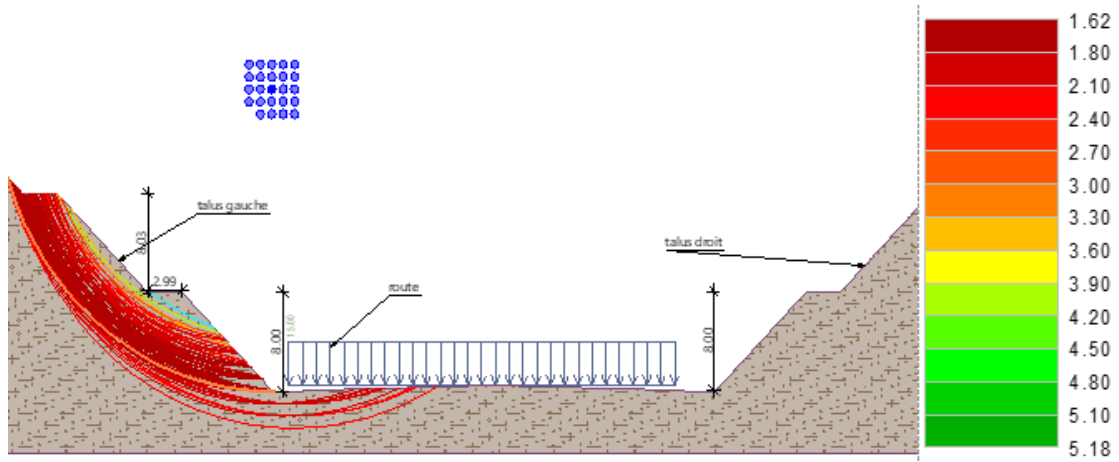


Figure V.3: Résultats de stabilité du déblai à long terme (coté gauche)

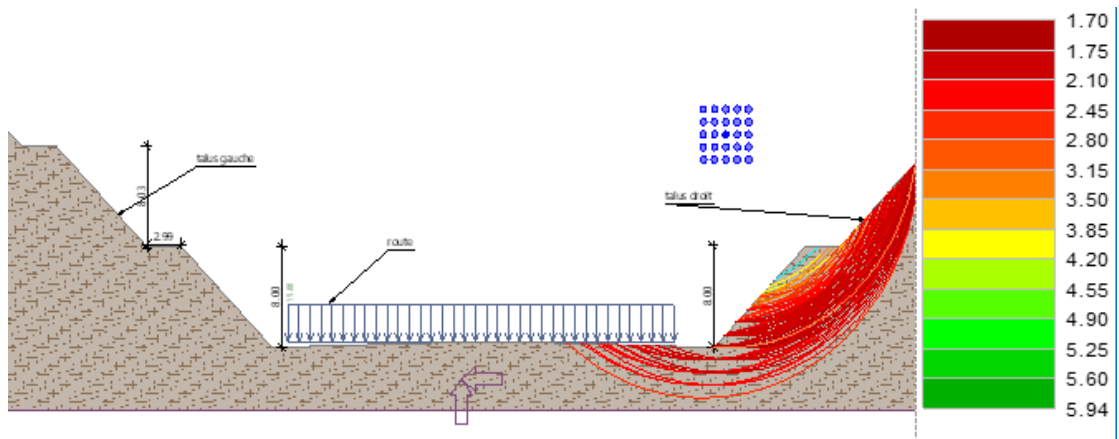


Figure V.4: Résultats de stabilité du déblai sous la sollicitation sismique (coté droit)

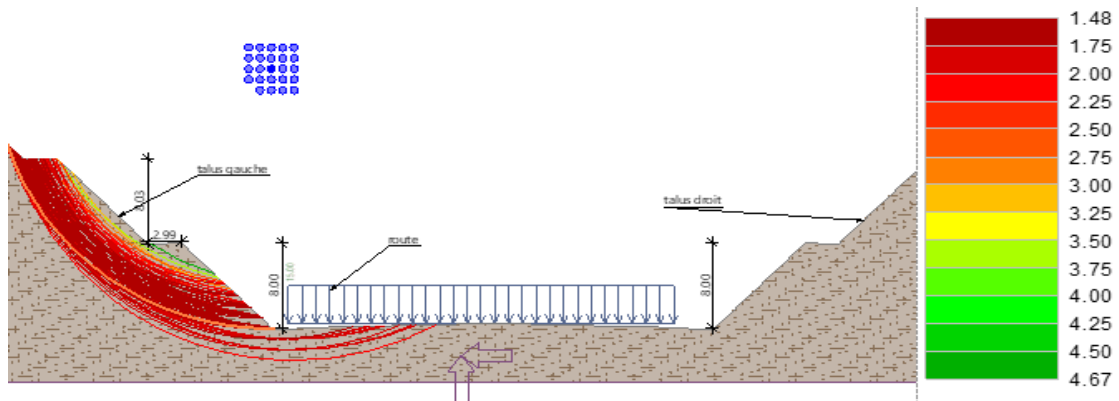


Figure V.5: Résultats de stabilité du déblai sous la sollicitation sismique (coté gauche)

Résultat d'analyse pour la section de déblai :

Tableau V-16: résultat d'analyse pour la section de déblai

Déblai	Coté	Résultat	Vérification
À long terme	Droit	FS=1.85 \geq 1.5	Stable
	Gauche	FS=1.62 \geq 1.5	Stable
Sous la sollicitation sismique	Droit	FS=1.70 \geq 1.1	Stable
	Gauche	FS=1.48 \geq 1.1	Stable

V.7.2. Cas remblai

Nous allons vérifier la stabilité du profil qui représente la hauteur du remblai la plus importante, à savoir au PK 62+550, cette hauteur est de 9.58 m.

Tableau V-17: les paramètres de calcul de la stabilité du remblai

PK	Profondeur (m)	Poids volumique γh (KN/m ³)	Angle de frottement ϕ (°)	Cohésion C (KN/m ²)
62+550	9.58	18	30	10

Les résultats de logiciel :

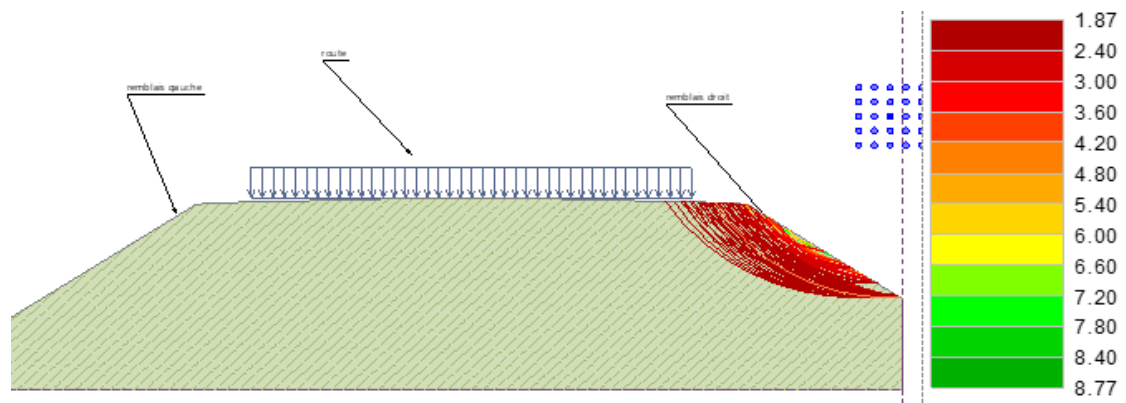


Figure V.6: Résultats de stabilité du remblai à long terme (coté droit)

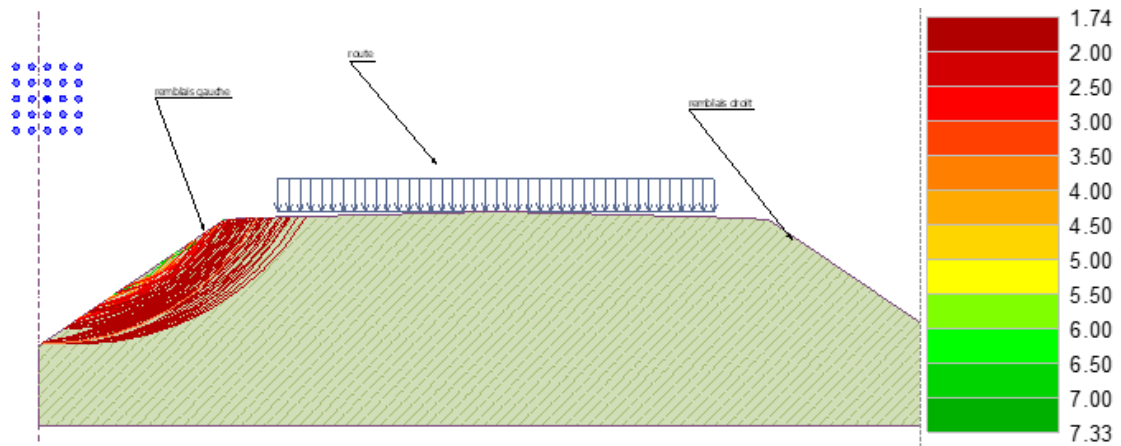


Figure V.7: Résultats de stabilité du remblai à long terme (coté gauche)

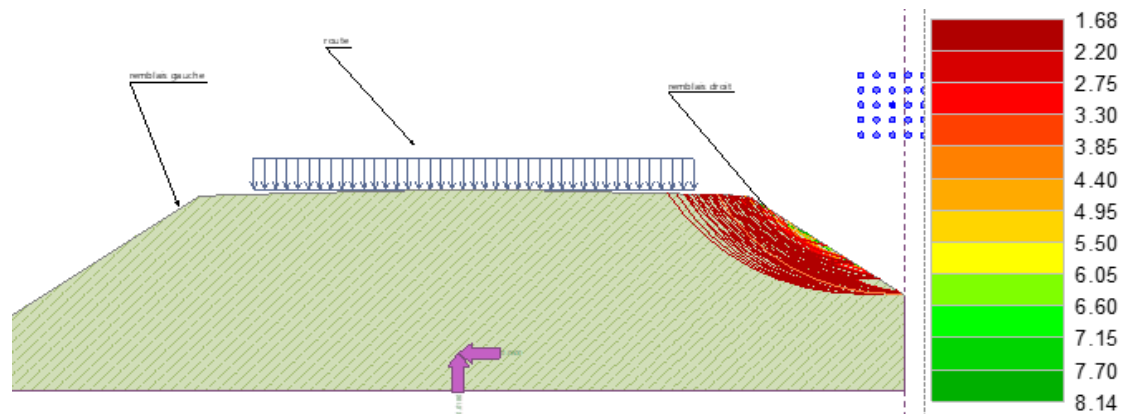


Figure V.8: Résultats de stabilité du remblai sous la sollicitation sismique (coté droit)

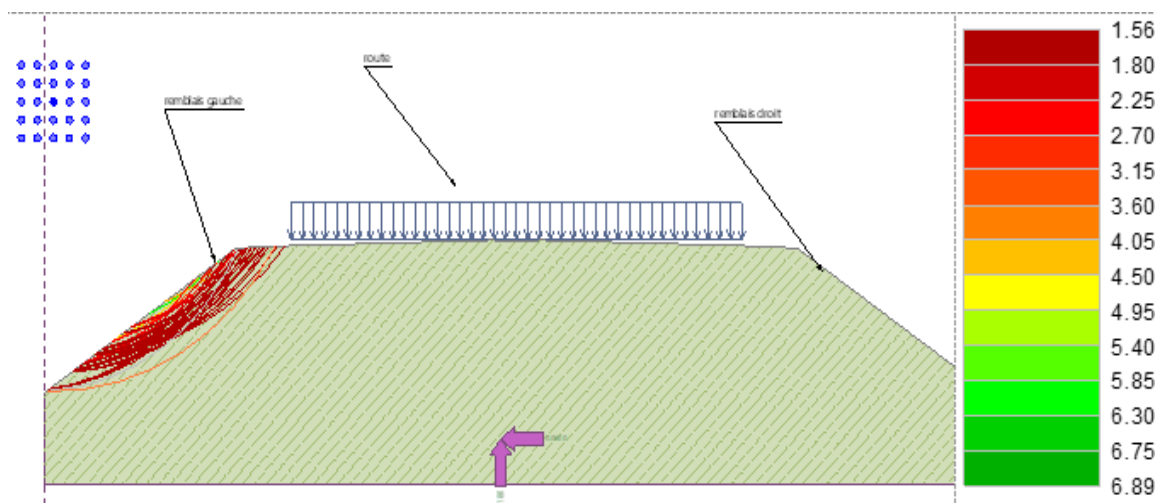


Figure V.9: Résultats de stabilité du remblai sous la sollicitation sismique (coté gauche)

Résultat d'analyse pour la section de remblai :

Tableau V-18: Résultat d'analyse pour la section de remblai

Remblai	Coté	Résultat	Vérification
À long terme	Droit	$FS=1.87 \geq 1.5$	Stable
	Gauche	$FS=1.74 \geq 1.5$	Stable
Sous la sollicitation sismique	Droit	$FS=1.68 \geq 1.1$	Stable
	Gauche	$FS=1.56 \geq 1.1$	Stable

CHAPITRE VI :
DIMENSIONNEMENT DU CORPS
DE CHAUSSEE

VI.1. INTRODUCTION

Le dimensionnement du corps de chaussée est une étape essentielle dans la conception d'une infrastructure routière durable et performante. Il vise à déterminer la nature et l'épaisseur des différentes couches constituant la chaussée, afin qu'elle puisse résister aux sollicitations mécaniques induites par le trafic, notamment les charges répétées des poids lourds, ainsi qu'aux contraintes environnementales telles que les variations de température et les précipitations.

Une conception adéquate permet de prévenir les dégradations prématurées, telles que la fatigue des matériaux ou l'orniérage excessif, assurant ainsi la pérennité de l'ouvrage et la sécurité des usagers. Ce processus nécessite une analyse approfondie des caractéristiques du sol en place, des conditions climatiques locales et des prévisions de trafic, afin de sélectionner les matériaux appropriés et de définir les épaisseurs optimales pour chaque couche de la structure routière.

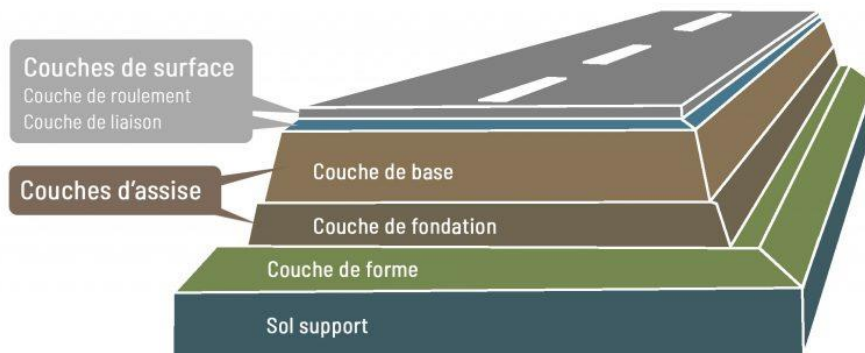


Figure VI.1: Différentes couches de la structure de la chaussée

VI.2. L'OBJECTIVE DE DIMENSIONNEMENT

Selon les paramètres mentionnés précédemment, il sera nécessaire de calculer les épaisseurs des différentes couches qui composent la structure, qui sont :

- La couche surface.
- La couche de base.
- La couche fondation.

C'est là le but principal des méthodes de dimensionnement des structures de chaussées

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

VI.3. LES METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Les méthodes du dimensionnement de corps de chaussée les plus utilisées sont :

- La Méthode du catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP).
- La méthode CBR.

VI.4. LA METHODE DU CATALOGUE ALGERIEN DE DIMENSIONNEMENT

Les données de base pour le dimensionnement de la chaussée sont :

- Le trafic.
- La durée de vie.
- Les données climatiques.
- Le sol support de chaussée.
- Le risque de calcul considéré.
- Les caractéristiques des matériaux

VI.4.1. Les données climatiques

VI.4.1.1. Classification de la zone d'étude

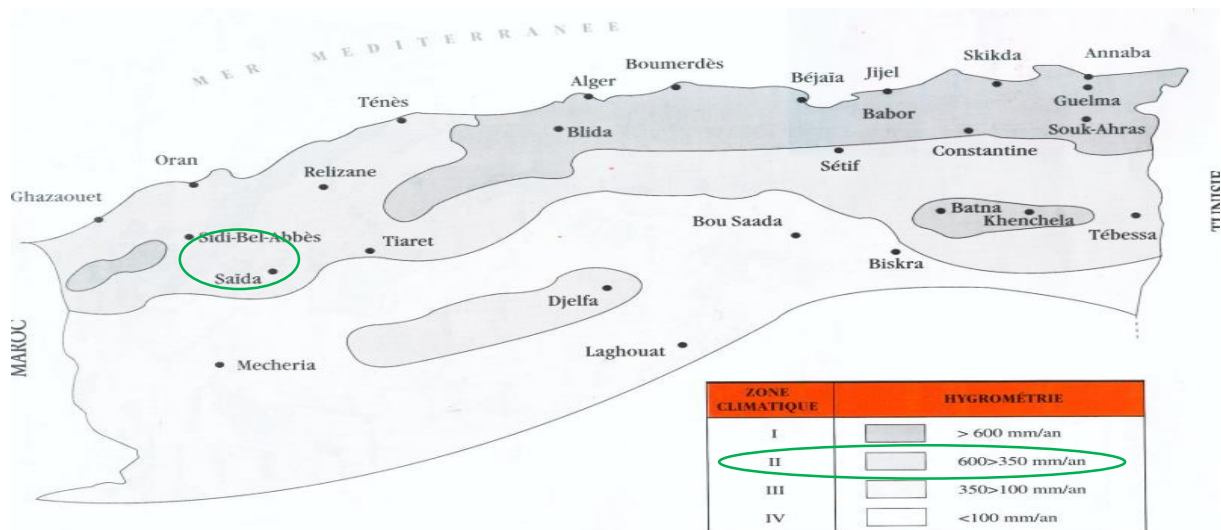


Figure VI.2: Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie (fascicule 1)

Notre projet de zone II

VI.4.1.2. Température équivalente

Tableau VI-1: Choix des températures équivalentes (fascicule 2)

Zone climatique	I et II	III	IV
Température équivalente θ_{eq}	20°C	25°C	30°C

Donc on prend une température équivalente égale à **20°C**.

VI.4.2. Détermination du type du réseau principal

D'après le catalogue on a la classification suivante :

Tableau VI-2: Choix de type de réseau principal (fascicule 1)

Trafic (V/J)	Réseau principale
>1500 v/j	Rp1
<1500 v/j	Rp2

TJMA₂₀₃₀ = 16790 (v/j) > 1500 v/j

Donc : le réseau principal est **RP1**.

VI.4.3. Détermination de la classe de trafic (TPLi)

Les caractéristiques de trafic sont les suivant :

- Pourcentage de poids lourds 27.4%.
- La durée vie est de 20 ans.
- Taux d'accroissement $\tau = 3.5\%$.
- TJMA₂₀₃₀ = 16790 v/j.
- TPL₂₀₃₀ = TJMA₂₀₃₀ × Z = 16790 × (2/3) × 0.274 = 3067 PL/j/sens

On a : répartition transversale sur la voie la plus chargée : on a 80% du trafic PL sur la voie lente de droite (chaussées unidirectionnelles à 3 voies).

$$TPL_{2030} = 3067 \times 0.8 = 2454 \text{ PL/j/sens.}$$

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

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

Tableau VI-3: Classe TPLi pour Rp1 (fascicule 1)

TPLi	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
PL/j/sens	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

D'après la classification du catalogue de dimensionnement nous sommes dans un réseau principal de classe **TPL6** pour un TPL=2454 PL/j/sens entre (1500 et 3000).

VI.4.4. Le trafic cumule de poids lourds (TCi)

Le TCi est le trafic de PL sur la période considérée pour le dimensionnement (durée de vie) il est donnée par la formule suivante :

$$TCi = TPLi \times 365 \times \frac{(1+\tau)^n - 1}{\tau}$$

Application numérique :

$$TCi = 2454 \times 365 \times \frac{(1+0.035)^{20} - 1}{0.035}$$

$$TCi = 25.3 \times 10^6 \text{ PL/j/sens}$$

VI.4.5. Trafic cumulé équivalent (TCEi)

Le TCEi est le trafic à prendre en compte dans le calcul du dimensionnement, il correspond au Nombre cumulé d'essieu équivalent de 13 tonnes sur la durée de vie considérée

$$TCEi = TCi \times A$$

A : coefficient d'agressivité de poids lourd par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes.

En fonction du réseau principal Rpi.

Tableau VI-4: Coefficient d'agressivité A (fascicule 2)

Niveau de réseau principal (Rpi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP1	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GC, GB/Tuf, GB/SG	0.6
	Chaussées à matériaux traités aux liants hydrauliques : GL/GL, BCg / GC	1

Pour notre projet on a RP1 et Chaussée à matériaux traités au bitume donc **A=0.6**

$$TCEi = 0.6 \times TCi = 15.2 \times 10^6 \text{ essieux équivalent de 13t}$$

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

VI.4.6. Le risque de calcul

D'après le catalogue de dimensionnement algérien :

Tableau VI-5: Risque adopté pour le réseau RP1 (fascicule 2)

RISQUE (R%)	Classe de trafic	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
	GB/GB, GB/GNT	20	15	10	5	2

Nous avons un risque de $r=5\%$

VI.4.7. Détermination de la portance du sol support

Le tableau suivant regroupe les classes de portance des sols par ordre de S4 à S0. Cette classification sera également utilisée pour les sols-supports de chaussée.

Tableau VI-6: Classes de portance des sols Si (fascicule 1)

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

Dans le cadre de notre projet, et selon les données géotechniques relevées tout au long du tracé, le terrain est rocheux (Calcaires massifs et Grés massifs). Conformément au Guide des Terrassements Routiers (GTR) – Fascicule I, nous avons identifié PST n°6, avec une arase de terrassement AR3 et une plate-forme PF3 avec $E = 120$ MPA, correspondant à un CBR = 24. Alors la classe S2. On prend une couche de réglage de 20cm de GNT.

Remarque :

Vérifier la plateforme avant la mise en place de la couche de fondation, en s'assurant que la portance de la plateforme supérieure atteint 120 MPa, conformément aux résultats de l'essai à la plaque.

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

VI.4.8. Choix de dimensionnement du corps de chaussée

Nous sommes dans le réseau principal (RP1), la zone climatique II, durée de vie de 20 ans, la classe de trafic TPL7 et un taux d'accroissement moyen (3.5%).

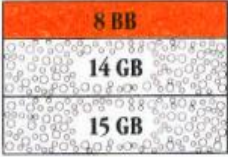
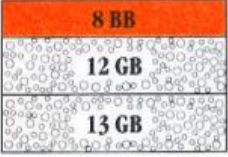
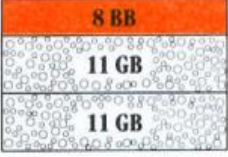
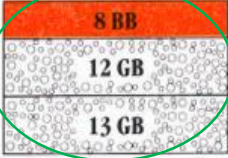
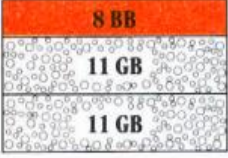
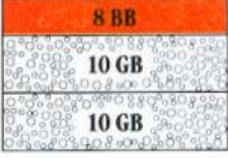
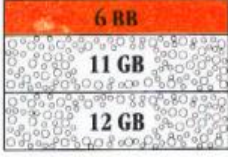

TPLi PL/j/sens	Si	S2	S1	S0
		50 MPa	125 MPa	200 MPa
6000 TPL7				
3000 TPL6				
1500 TPL5				
600				

Figure VI.3: Choix de dimensionnement de corps de chaussée (Fascicule3)

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

- Couche de roulement : BB = 8 cm.
- Couche de base : GB = 12 cm.
- Couche de fondation : GB = 13 cm.

Proposition de la structure :

- Couche de roulement : BB = 8 cm.
- Couche de base : GB = 10 cm.
- Couche de fondation : GB = 12 cm.

VI.4.9. Calcul de la déformation admissible

VI.4.9.1. Calcul de la déformation admissible (ϵ_z , adm) du sol support

La valeur admissible est donnée par la relation empirique déduite à partir d'une étude statique de comportement des chaussées algériennes.

$$\epsilon_z \text{ adm} = 22.10^{-3} \times TCEi^{-0.235}$$

Application numérique:

$$\epsilon_z \text{ adm} = 22.10^{-3} \times (15.2 \times 10^6)^{-0.235}$$

$$\epsilon_z \text{ adm} = 451 \times 10^{-6}$$

VI.4.9.2. Calcul de la déformation admissible de traction (ϵ_t , adm) :

Les déformations admissibles de traction à la base des couches bitumineuses est donnée par la Relation suivante :

$$\epsilon_t \text{ adm} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times K_{ne} \times K_\theta \times K_r \times K_c$$

- $\epsilon_6 (10^\circ\text{c}, 25\text{Hz})$: déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).
- K_{ne} : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.
- K_r : facteur lié au risque et aux dispersions.
- K_θ : facteur lie à la température.
- K_c : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement absorbé sur la chaussée

Avec :

$$K_r = 10^{-t b \delta} \quad K_{ne} = \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \quad K_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{c})}{E(\theta_{eq})}}$$

D'où :

$$\epsilon_t \text{ adm} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{c})}{E(\theta_{eq})}} \times 10^{-tb\delta} \times K_c$$

Avec :

- b : pente de la droite de fatigue ($b < 0$).
- $E(10^\circ\text{c})$: module complexe du matériau bitumineux à 10°C .
- $E(\theta_{eq})$: module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

- δ : La dispersion
$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} sh\right)^2}$$

Avec :

- SN : dispersion sur la loi de fatigue.
- Sh : dispersion sur les épaisseurs.
- c : coefficient égal à 0.02
- t : fractile de la loi normale qui est en fonction du risque adopté (r %).

Tableau VI-7: Valeurs de t=f(r%)

r%	2	3	5	7	10	12	15
t	- 2.054	-1.881	-1.654	-1.520	-1.282	-1.175	1.036
r%	20	23	25	30	35	40	50
t	-0.824	-0.739	-0.674	-0.524	-0.385	-0,253	0

Donc **t = -1.654**

Performances mécaniques des matériaux bitumineux :

Les performances mécaniques relatives aux différents types de matériaux sont données dans le tableau suivant :

Tableau VI-8: Performances mécaniques des matériaux bitumineux (Fascicule 2)

MTB	E Mpa (30 °,10Hz)	E Mpa (25 °,10Hz)	E Mpa (20 °,10Hz)	E Mpa (10 °,10Hz)	ϵ_6 (10 °,25Hz) 10^{-6}	-1/b	SN	Sh (cm)	v	Kc calage
BB	2500	3500	4000	-	-	-	-	-	0.35	-
GB	3500	5500	7000	12500	100	6.84	0.45	3	0.35	1.3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0.86	2.5	0.45	1.3

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

Application numérique :

$$\delta = \sqrt{0.45^2 + \left(\left(\frac{0.02}{-0.146}\right) 3\right)^2} = 0.609 \text{ avec } b = -0.146$$

$$\epsilon_{t,adm} = 100 \times 10^{-6} (15.2 \times 10^6 / 10^6)^{-0.146} \times \sqrt{\frac{12500}{7000}} \times 10^{-(-1.654 \times 0.609 \times -0.146)} \times 1.3$$

$$\epsilon_{t,adm} = 83.2 \times 10^{-6}$$

VI.4.10. Vérification de la fatigue des structures et de la déformation du sol support

Pour la vérification il faut vérifier que les déformations ϵ_t et ϵ_z de la structure calculée à l'aide d'Alizé, sont inférieures aux valeurs admissibles (ϵ_t, adm et ϵ_z, adm) calculées par la méthode du Catalogue.

$$\epsilon_z < \epsilon_{z,adm} \quad \text{et} \quad \epsilon_t < \epsilon_{t,adm}$$

ALISÉ-LCPC :

Logiciel ALISÉ-LCPC est le programme de référence utilisé pour les calculs de dimensionnement des charges en France, il permet de réaliser les calculs des déformations de structures chaussées.

Les résultats de calcul qui obtient par Alizé-LCPC :

Alizé-Lcpc - Résultats (Structure : données écran, Charge de référence)

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μdef)	SigmaZ (MPa)
0,080	4000,0 collé	0,350	0,000	35,9	0,298	25,9	0,658
			0,080	11,6	0,239	71,6	0,564
0,100	7000,0 collé	0,350	0,080	11,6	0,388	33,9	0,564
			0,180	-19,2	-0,084	38,4	0,229
0,120	7000,0 collé	0,350	0,180	-19,2	-0,084	38,4	0,229
			0,300	-76,1	-0,722	69,4	0,031
infini	120,0	0,350	0,300	-76,1	0,004	227,2	0,031

$$\epsilon_z = 227.1 \times 10^{-6} < \epsilon_{z,adm} = 451 \times 10^{-6} \text{ vérifier}$$

$$\epsilon_t = 76.1 \times 10^{-6} < \epsilon_{t,adm} = 83.2 \times 10^{-6} \text{ vérifier}$$

Choi final de la structure chaussée :

$$\mathbf{8BB + 10GB + 12GB.}$$

CHAPITRE VII :

CALCUL DES CUBATURES

VII.1. INTRODUCTION

La cubature des terrassements est une opération visant à calculer les volumes de terre déplacés (déblais et remblais) dans le cadre d'un projet. En d'autres termes, il s'agit de déterminer la quantité de terre à enlever pour les déblais ou à ajouter pour les remblais dans un projet routier.

Les éléments clés permettant de réaliser ces calculs sont :

- Les profils en long
- Les profils en travers
- Les distances entre les profils

VII.2. METHODE DE CALCUL DES CUBATURES

Il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes remblai-déblai, parmi lesquelles nous citerons:

- La méthode de la longueur applicable.
- La méthode de l'aire moyenne : (méthode par défaut).
- La méthode approchée.
- La méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).

Parmi les méthodes de calcul des cubatures de terrassement existantes, nous avons choisi la méthode de la moyenne des aires car elle est la plus simple. Cependant elle présente un inconvénient : les résultats sont obtenus avec une marge d'erreur. Ainsi pour remédier à ce problème on doit les majorer par un coefficient de 10% pour des raisons de sécurité.

VII.3. DESCRIPTION DE LA METHODE

Le principe de la méthode de la moyenne des aires est de calculer le volume compris entre deux profils successifs par la formule suivante :

$$V = \frac{H_m}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S)$$

- H_m : hauteur entre deux profils.
- S_1, S_2 : les surfaces verticales des profils en travers P_1 et P_2 .
- S : surface limitée à mi-distances des profils.

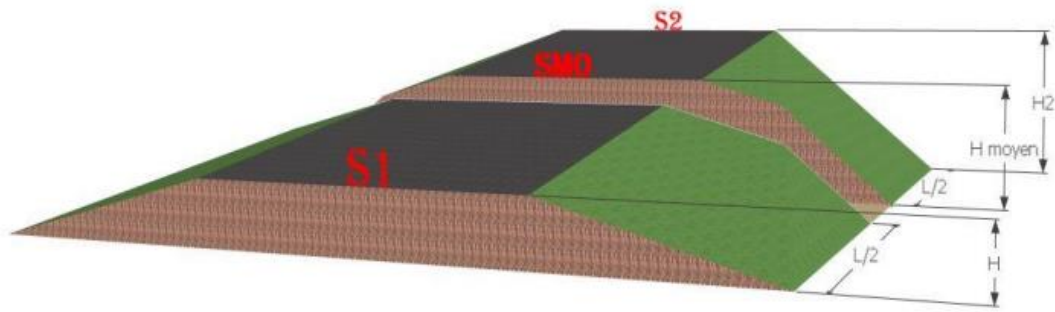


Figure VII.1: Les sections des profils en travers d'un tracé donné

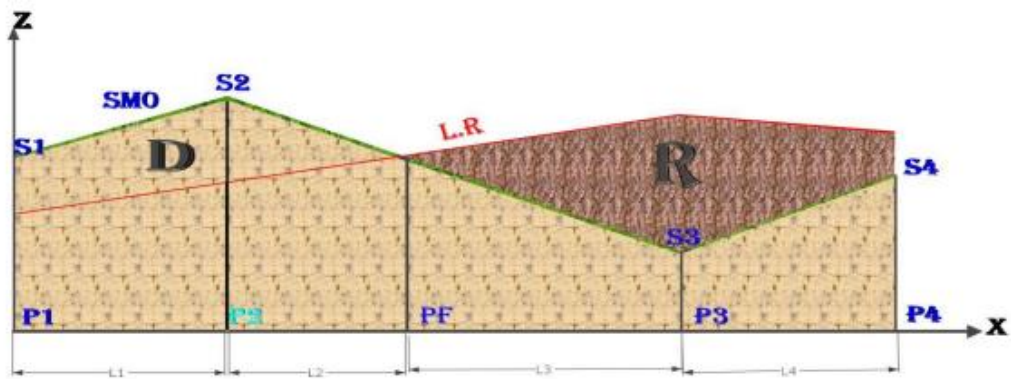


Figure VII.2: Les positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné

VII.4. EXEMPLE D'APPLICATION

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

$$V = \frac{L_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_m)$$

Pour un calcul plus simple, on considère que :

$$S_m = \frac{(S_1 + S_2)}{2}$$

CHAPITRE VII : CALCUL DES CUBATURES

Donc :

- Entre P_1 et P_2 : $V_1 = \frac{L_1}{2} (S_1 + S_2)$.
- Entre P_2 et P_F : $V_2 = \frac{L_2}{2} (S_2 + 0)$.
- Entre P_F et P_3 : $V_3 = \frac{L_3}{2} (0 + S_3)$.
- Entre P_3 et P_4 : $V_4 = \frac{L_4}{2} (S_4 + S_3)$.

Le volume total : $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$.

$$V = \frac{L_1}{2} S_1 + \frac{L_1+L_2}{2} S_2 + \frac{L_2+L_3}{2} \times 0 + \frac{L_3+L_4}{2} S_3 + \frac{L_4}{2} S_4.$$

On voit l'utilité de placer les profils PF puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

VII.5. CALCUL DES CUBATURES DE PROJET

Pour notre projet, le calcul des cubatures a été effectué à l'aide de logiciel AutoCAD Civil 3d, et les résultats complets de calcul sont joints en annexe.

Les valeurs obtenues à partir de civil 3D

- **Pour l'autoroute :**

La valeur de Déblai total : 962583.04 m³

La valeur de Remblai total : 756093.55 m³

Remarque :

A cause des ouvrages qui on a introduits, la valeur de remblai a été diminuée.

Donc La valeur finale de remblai : 696111.05 m³

- **Pour l'échangeur :**

La valeur de Déblai total : 75581 m³

La valeur de Remblai total : 9380 m³

- **Pour les rétablissements :**

La valeur de Déblai total : 25294 m³

La valeur de Remblai total : 74977 m³

Donc, **les volumes totaux du projet :**

Volume de déblais : **1063458.04 m³**.

Volume de Remblai : **780468.05 m³**.

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

VIII.1. INTRODUCTION

L'assainissement routier constitue une composante essentielle dans la conception, la construction et l'entretien des infrastructures routières. Selon l'adage : « Une autoroute vaut ce que vaut son assainissement », soulignant ainsi l'importance de la maîtrise des écoulements d'eau. En effet, les eaux météoriques et les phénomènes de ruissellement sont à l'origine de nombreuses dégradations telles que l'érosion, l'affaissement de la chaussée, le décollement des enrobés, les nids-de-poule, l'instabilité des talus, voire des glissements de terrain.

Pour faire face à ces risques, l'assainissement routier repose sur deux volets complémentaires :

- Le drainage de la plateforme autoroutière, visant à collecter et à évacuer efficacement les eaux pluviales afin de préserver l'intégrité de la chaussée et d'assurer la sécurité des usagers.
- Le rétablissement des écoulements naturels, garantissant la continuité hydraulique des bassins versants interceptés par l'infrastructure à travers des ouvrages de franchissement dimensionnés de manière adéquate.

La mise en œuvre de ces dispositifs est essentielle pour éloigner l'eau de la route, limiter les dégradations et prolonger la durée de vie de l'ouvrage. L'évaluation préalable des débits d'eaux pluviales, basée sur l'étude hydrologique du site, ainsi que la conception d'un réseau d'assainissement adapté, sont donc des étapes incontournables dans tout projet routier.

VIII.2. OBJECTIF DE L'ASSAINISSEMENT

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning).
- Réduire les coûts d'entretien et prévenir l'érosion des talus et du corps de chaussée.
- Évacuer les eaux d'infiltration pour garantir la stabilité du terrain et des structures, notamment face aux effets du gel.
- Garantir la stabilité des ouvrages pour toutes leurs durées de vie sous les différents régimes hydrauliques pouvant les déstabiliser.
- Evacuation des eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme.

VIII.3. ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique implique la détermination des débits de crue pour chaque écoulement traversant le tracé de la route. Par conséquent, il est nécessaire de restaurer tous les oueds à l'aide d'ouvrages hydrauliques appropriés. (Ponts, dalots et buses, ...)

VIII.3.1. Identification des bassins versants naturels

L'identification des bassins versants naturels interceptés par l'infrastructure linéaire a été effectuée par une délimitation approximative des limites des bassins versants sur la carte d'état-major.

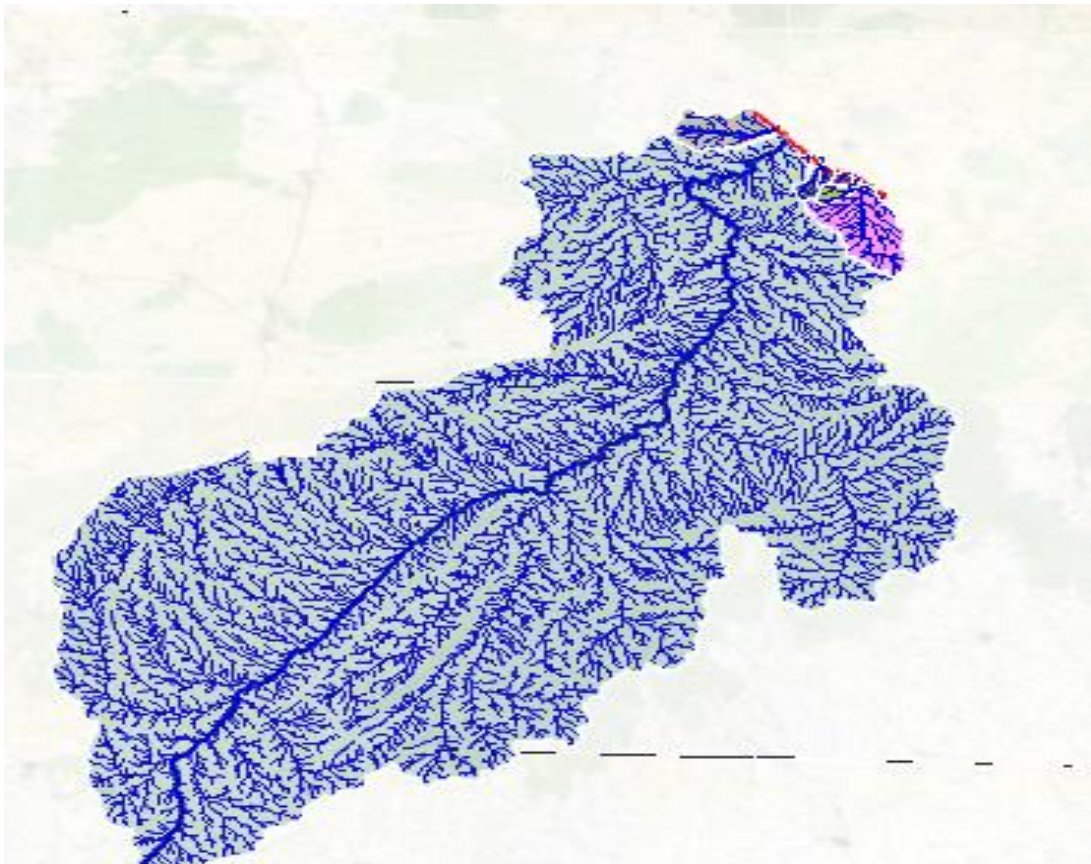


Figure VIII.1: Délimitation des bassins versants sur la carte d'état-major

VIII.3.2. Caractéristiques physiques des bassins versants

Tableau VIII-1: Caractéristiques physiques des bassins versants

N° du Bassin versant	PK	Surface du B.V (Km ²)	Longueur du thalweg (Km)	H max (m)	H min (m)	H moy (m)	Pente moyenne (m/m)
01	61+688	13,48	6,720	780	656	718,00	0,018
02	62+687	1537,35	91,200	1229	628	928,50	0,007
03	63+716	0,10	0,300	675	665	670,00	0,033
04	64+191	0,11	0,880	680	663	671,50	0,019
05	64+501	0,25	1,292	770	696	733,00	0,057
06	65+513	2,40	4,019	963	690	826,50	0,068
07	65+698	1,17	1,993	750	690	720,00	0,030
08	67+293	0,95	1,538	725	663	694,00	0,040
09	67+954	0,33	0,911	725	672	698,50	0,058
10	68+551	0,20	0,517	689	665	677,00	0,046
11	68+811	2,43	3,167	910	663	786,50	0,078
12	68+954	21,98	8,522	903	660	781,50	0,029
13	69+814	0,18	0,400	700	674	687,00	0,065

VIII.4. ESTIMATION DES DEBITS CRUES :

Pour le rétablissement des écoulements naturels, le débit de projet est calculé pour un période de retour de retour de 100 ans, conformément à la recommandation pour l'assainissement routier.

Formule rationnelle :

En utilisant la méthode rationnelle, le débit est donné par la formule :

$$Q_a = 0.278 \times C \times I \times A$$

- **Q_a** : débit d'apport en m³/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 (Km²).

VIII.4.1. Temps de concentration

Le temps de concentration est un paramètre du bassin versant. Il traduit le temps mis par une goutte d'eau pour parcourir la distance entre un point éloigné et l'exutoire de ce dernier. Ce paramètre peut être interprété comme le temps de réponse d'un bassin pour atteindre le débit de pointe sous l'action d'une pluie constante. Il est évalué à l'aide de formules usuelles :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} \Rightarrow \text{Si } A < 5 \text{ km}^2, \text{ selon (Ventura).}$$

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}} \Rightarrow \text{Si } 5 \text{ km}^2 < A < 25 \text{ km}^2 \text{ selon (Passini).}$$

$$T_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}} \Rightarrow \text{Si } 25 \text{ km}^2 < A < 200 \text{ km}^2 \text{ selon (Giandotti).}$$

Avec :

- **T_c** : temps de concentration (heures).
- **A** : surface du bassin versant (Km²).
- **L** : longueur de bassin versant (Km)
- **P** : pente moyenne de bassin versant (m/m).
- **H_{moy}** : altitude moyenne (m) = $\frac{H_{\text{max}} + H_{\text{min}}}{2}$

VIII.4.2. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est défini comme le rapport de la hauteur d'eau ruisselée à la hauteur d'eau précipitée.

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

- C1 : dépendant de la pente du bassin versant.
- C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).
- C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant

Tableau VIII-2: Coefficient C1

Pente	C1		
≤ 3.5 %	0.01	0.03	0.05
Entre 3.5 et 11 %	0.06	0.08	0.10
Entre 11 et 35 %	0.12	0.16	0.20
> à 35 %	0.22	0.26	0.30

Tableau VIII-3: Coefficient C2

Nature du sol	C2		
Imperméable	0.22	0.26	0.30
Peu perméable	0.10	0.15	0.20
Perméable	0.06	0.08	0.10
Très perméable	0.03	0.04	0.05

Tableau VIII-4: Coefficient C3

Couverture végétale	C3		
Rocheux	0.22	0.26	0.30
Prairie	0.17	0.21	0.25
Labours champs	0.07	0.11	0.15
Forêt et territoire sableux	0.03	0.04	0.05

VIII.4.3. L'intensité de pluie I

$$I(t, T) = a(t) \times Tc^{-b}$$

- **I** : intensité de pluie exprimée en mm/h.
- **T** : période de retour exprimé en ans (elle dépend de l'ouvrage à réaliser)
- **tc** : temps de concentration en heures.
- **a** et **b** : paramètres de Montana.

NB : Les paramètres « a » et « b » de la formule de MONTANA proviennent des données qui nous ont été remises par l'ANRH (Agence National des Ressources Hydrauliques).

Les données et les résultats sont donnés par la station Daoud Youb (à SAIDA).

Tableau VIII-5: les donnes de station

Nom de Station	Daoud Youb
Code	110802
X (Lambert)	234.50
Y (Lambert)	185.00
Altitude (m)	660.00

Tableau VIII-6: Paramètres de Montana.

$\bar{b} = 0.70$						
T (ans)	2	5	10	20	50	100
a (T)	13.40	19.90	24.10	28.20	33.50	37.40

VIII.4.4. Calcul du débit d'apports

POUR LE BASSIN VERSANT (BV1) :

On a une surface de $A = 13.48 \text{ Km}^2$

- **Temps De Concentration :**

$$5 \text{ Km}^2 < A < 25 \text{ Km}^2$$



$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}}$$

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{13.48 \times 6.72}}{\sqrt{0.018}}$$

$$T_c = 3.571 \text{ h}$$

- **Coefficient De Ruissellement :**

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0.05 + 0.2 + 0.15 = 0.40$$

- **Intensité De Pluie I(t) :**

$$a = 37.40$$

$$b = 0.7$$

$$I(t, T) = a(t) \times T_c^{-b}$$

$$I(t, 100) = 37.4 \times 3.571^{-0.7} = 15.34 \text{ mm/h}$$

- **Débits d'apports :**

$$Q_a(T) = 0.278 \times C \times I \times A$$

$$Q_a(100) = 0.278 \times 0.4 \times 15.34 \times 13.48 = 22.98 \text{ m}^3/\text{s}$$

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

VIII.4.5. Résultats de calcul de débit de notre projet

Le tableau suivant résume les résultats de calcul de débit des bassins versant qui franchissent notre autoroute :

Tableau VIII-7: Les résultats de calcul des débits

N° du Bassin versant	PK	Surface du B.V (Km ²)	Cr	Temps de concentration (Heures)	I (100) (mm/h)	Débit de crue (m ³ /s)
01	61+688	13,48	0,40	3,571	15,34	22,98
02	62+687	1537,35	0,40	21,174	4,41	Surface sup à 200 km ²
03	63+716	0,10	0,40	0,220	107,95	1,20
04	64+119	0,11	0,40	0,303	86,26	1,05
05	64+501	0,25	0,45	0,265	94,67	2,96
06	65+513	2,40	0,45	0,755	45,54	13,66
07	65+698	1,17	0,40	0,792	44,04	5,73
08	67+293	0,95	0,45	0,617	52,47	6,23
09	67+954	0,33	0,45	0,302	86,38	3,56
10	68+551	0,20	0,45	0,264	95,10	2,38
11	68+811	2,43	0,45	0,709	47,58	14,45
12	68+954	21,98	0,40	3,659	15,08	36,84
13	69+814	0,18	0,45	0,211	111,02	2,50

VIII.5. DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

L'écoulement est graduellement varié donc pour le dimensionnement de l'ouvrage selon SETRA Assainissement routier Il faut tenir compte de :

- L'ouvrage doit pouvoir évacuer la crue correspondant au débit de projet avec une hauteur d'eau amont de l'ouvrage (Ham).
- La vérification pour un débit exceptionnel doit être examinée.
- Il est nécessaire de déterminer le régime d'écoulement.
- Le calage de l'ouvrage ne doit pas engendrer un ressaut hydraulique.
- Le calcul est mené de l'aval vers l'amont.
- La vitesse d'écoulement ne doit pas excéder 4m/s.

VIII.5.1. Dimensionnement des dalots :

POUR BV1 :

$$Q_a = 22.98 \text{ m}^3/\text{s} \quad J = 0.018 \text{ m/m}$$

Régime de l'écoulement a l'aval de l'ouvrage hydraulique :

- Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$
$$N = \frac{22.98}{25 \times 0.018^{\frac{1}{2}} \times 4^{\frac{8}{3}}} = 0.17$$

Avec :

- $Q_a = 22.98 \text{ m}^3/\text{s}$.
- $K = 25$ (rugosité du lit du ruisseau).
- $P = 0,018 \text{ m/m}$ (pente du ruisseau en aval du franchissement).
- $l = 4 \text{ m}$ (largeur du fond de fossé).
- $m = \cotg 45^\circ = 1$ (pente des parois).

En utilisant l'abaque1 page 70 (SETRA assainissement routier), on lit : $X = 2.9$

La hauteur normale s'élève à :

$$h_n = \frac{l}{X} = \frac{4}{2.9} = 1.38 \text{ m}$$

- Détermination de la hauteur critique h_c :

$$N = \frac{Q_a^2}{g \times l^5}$$
$$N = \frac{22.98^2}{10 \times 4^5} = 0.052$$

g : accélération de la pesanteur = 10 m/s^2

En utilisant l'abaque2 page 71 (SETRA assainissement routier), on lit : $X = 3.0$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$h_c = \frac{l}{X} = \frac{4}{3} = 1.33 \text{ m}$$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale h_n et critique h_c :

$h_n = 1,38 > h_c = 1.33$ donc le régime d'écoulement est fluvial.

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

- **Choix de l'ouvrage hydraulique :**

À partir de ces données, il faut vérifier si les conditions d'écoulement sont satisfaisantes (régime fluvial, vitesse, proportions entre la hauteur d'eau normale y_n et la hauteur d'eau critique y_c , hauteur d'eau amont Ham).

Si l'ouvrage choisi ne donne pas satisfaction, il faut reprendre le processus de calcul avec des caractéristiques d'ouvrage différentes.

Remarque : l'ouvrage hydraulique choisi en première approche est un dalot béton.

On pose **B=6 m** et **K=70**.

- **Détermination de la hauteur critique y_c :**

$$N = \frac{Qa^2}{g \times l^5}$$

$$N = \frac{22.98^2}{10 \times 6^5} = 0.0068 \longrightarrow X=5.7$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$y_c = \frac{l}{X} = \frac{6}{5.7} = 1.05 \text{ m} .$$

- **Détermination de la hauteur d'eau normale y_n :**

$$y_n = 1.2 \times y_c$$

$$y_n = 1.2 \times 1.05 = 1.26 \text{ m}$$

Le régime d'écoulement dans l'ouvrage se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale y_n et critique y_c : **$y_n = 1,26 \text{ m} > y_c = 1.05 \text{ m}$** .

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial.

- **Calcul de pente :**

$$y_n = \frac{l}{X} = 1.26 \text{ m} \longrightarrow X = \frac{l}{y_n} = \frac{6}{1.26} = 4.76 \text{ m}$$

En utilisant l'abaque2 page 71 (SETRA assainissement routier), on lit : $N = 0.063$

Comme :

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

On peut obtenir la valeur de la pente :

$$P = \left(\frac{Q_a}{K \times N \times l^{\frac{8}{3}}} \right)^2$$

$$P = \left(\frac{22.98}{70 \times 0.063 \times 6^{\frac{8}{3}}} \right)^2 = 0.002 \text{ m/m}$$

- **Calcul de la section mouillée et de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique :**

La largeur du dalot : $l = 6 \text{ m}$, on peut donc calculer la section mouillée (S_m) dans l'ouvrage

$$S_m = h_n \times l = 1,38 \times 6 = 8.28 \text{ m}^2$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q_a}{S_m} = \frac{22.98}{8.28} = 2.78 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s} \quad \text{Verifié}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (Ham) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont (**Ham**) est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$Ham = h_n + (1 + ke) \times \frac{V^2}{2 \times g} = 1.38 + (1 + 0.5) \times \frac{2.78^2}{2 \times 9.81} = 1.97 \text{ m}$$

Ke: Le coefficient de perte de charge à l'entonnement est pris égal à 0,5 (utilisation d'une tête d'ouvrage classique avec murs en aile).

- **Calcul de y_t :**

$$y_t = \frac{h_n + Ham}{2} = \frac{1.38 + 1.97}{2} = 1.68 \text{ m}$$

$$\text{Le taux de remplissage : } \frac{y_t}{H} < 0.75 \quad H \geq \frac{1.68}{0.75} = 2.23 \text{ m}$$

La hauteur d'ouvrage : **H=2.5m.**

Vérification dans le cas $Q_{exp} = 1.5Q_a$:

- **Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :**

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

$$N = \frac{34.47^2}{25 \times 0.018^{\frac{1}{2}} \times 4^{\frac{8}{3}}} = 0.25$$

Avec :

- $Q = Q_{exp} = 34.47 \text{ m}^3/\text{s}$.
- $K = 25$ (rugosité du lit du ruisseau).
- $P = 0,018 \text{ m/m}$ (pente du ruisseau en aval du franchissement).
- $l = 4 \text{ m}$ (largeur du fond de fossé).
- $m = \cotg 45^\circ = 1$ (pente des parois).

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

En utilisant l'abaque, on lit : $X = 2.38$.

La hauteur normale s'élève à :

$$h_n = \frac{1}{X} = \frac{4}{2.38} = 1.68 \text{ m}$$

- **Détermination de la hauteur critique h_c :**

$$N = \frac{Qa^2}{g \times l^5}$$

$$N = \frac{34.47^2}{10 \times 4^5} = 0.12$$

On lit : $X = 2.42$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$h_c = \frac{1}{X} = \frac{4}{2.42} = 1.65 \text{ m}$$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale h_n et critique h_c :

$h_n = 1,68 > h_c = 1.65$ donc le régime d'écoulement est **fluvial.**

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Détermination de la hauteur critique y_c :**

On pose $B = 6 \text{ m}$.

$$N = \frac{Qa^2}{g \times l^5}$$

$$N = \frac{34.47^2}{10 \times 6^5} = 0.015 \quad \longrightarrow \quad X = 4.1$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$y_c = \frac{1}{X} = \frac{6}{4.1} = 1.46 \text{ m}$$

- **Détermination de la hauteur normale y_n :**

$$y_n = 1.2 \times y_c$$

$$y_n = 1.2 \times 1.46 = 1.76 \text{ m}$$

$y_n = 1,76 \text{ m} > y_c = 1.46 \text{ m}$.

L'ouvrage est calé en régime fluviale.

- **La pente de l'ouvrage :**

$$y_n = \frac{1}{X} = 1.76 \text{ m} \longrightarrow X = \frac{1}{y_n} = \frac{6}{1.76} = 3.41 \text{ m}$$

Par utilisation de l'abaque, on lit : $N = 0.1$

Comme :

$$N = \frac{Q_a^2}{K \times P^2 \times l^{\frac{8}{3}}}$$

On peut obtenir la valeur de la pente :

$$P = \left(\frac{Q_a}{K \times N \times l^{\frac{8}{3}}} \right)^2$$
$$P = \left(\frac{34.47}{70 \times 0.1 \times 6^{\frac{8}{3}}} \right)^2 = 0.0018 \text{ m/m}$$

- **Calcul de la section mouillée et de la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage hydraulique :**

On peut donc calculer la section mouillée (S_m) dans l'ouvrage :

$$S_m = h_n \times l = 1.68 \times 6 = 10.08 \text{ m}^2$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q_a}{S_m} = \frac{34.47}{10.08} = 3.42 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s} \quad \text{Verifié}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (Ham) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont (H_{am}) est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$H_{am} = h_n + (1 + k_e) \times \frac{V^2}{2 \times g} = 1.68 + (1 + 0.5) \times \frac{3.42^2}{2 \times 9.81} = 2.57 \text{ m}$$

- **Calcul de y_t :**

$$y_t = \frac{h_n + H_{am}}{2} = \frac{1.68 + 2.57}{2} = 2.13 \text{ m}$$

Le taux de remplissage : $\frac{y_t}{H} < 0.75$ $H \geq \frac{2.13}{0.75} = 2.84 \text{ m}$

La hauteur d'ouvrage : **H = 3 m.**

VIII.5.2. Dimensionnement des buses

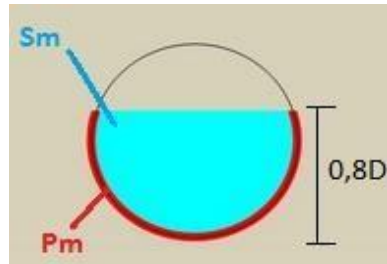


Figure VIII.2: caractéristique de buse.

Dans le cas d'un remplissage à 80% d'une buse :

- S_m : Section mouillée, est calculée par la formule $S_m = \frac{4}{5} \pi R^2$
- P_m : Périmètre mouillé, est calculé par la formule $P_m = \frac{4}{3} \pi R$
- R_h : Rayon hydraulique, est déterminé par la formule $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{3}{5} R$

POUR BV3 :

$$Q_s = K_{st} \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \times S_m$$

$$Q_s = 80 \times \left(\frac{3}{5} R\right)^{2/3} \times J^{1/2} \times \frac{4}{5} \pi R^2$$

$$R = \left(\frac{Q_a}{80 \times \frac{4}{5} \pi \times \left(\frac{3}{5}\right)^{2/3} \times J^{1/2}} \right)^{3/8}$$

$Q_a = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ $J = 0.033 \text{ m/m}$

$$R = \left(\frac{1.2}{80 \times \frac{4}{5} \pi \times \left(\frac{3}{5}\right)^{2/3} \times 0.033^{1/2}} \right)^{3/8} = 0.25 \text{ m}$$

Donc on trouve **D = 500 mm**.

Et une fois le diamètre est calculé, on adoptera un diamètre normalisé commercial tel $\Phi 400$, $\Phi 500$, $\Phi 800$, $\Phi 1000$, $\Phi 1200$, $\Phi 1500$...ect.

Pour que la buse vérifie les conditions on prend une buse de **$\Phi 1500 \text{ mm}$** .

Vérification de régime de l'écoulement à l'aval de l'ouvrage hydraulique :

- Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{8}{3}}}$$
$$N = \frac{1.2}{25 \times 0.033^{\frac{1}{2}} \times 0.75^{\frac{8}{3}}} = 0.57$$

Avec :

- $Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{s}$.
- $K = 25$ (rugosité du lit du ruisseau).
- $p = 0,033 \text{ m/m}$ (pente du ruisseau en aval du franchissement).
- $R = 0.75 \text{ m}$ (largeur du fond de fossé).
- $\lambda = 1$ (pente des parois).

En utilisant l'abaque 5 page 59 du guide SETRA (assainissement routier), on lit :

$$\tau_n = 0.38$$

La hauteur normale s'élève à :

$$h_n = \tau_n \times F = 0.38 \times 1.5 = 0.57 \text{ m}$$

- Détermination de la hauteur critique h_c :

$$N = \frac{Q_a}{\sqrt{g} \times R^{5/2}}$$
$$N = \frac{1.2}{\sqrt{10} \times 0.75^{5/2}} = 0.77$$

g : accélération de la pesanteur = 10 m/s^2

En utilisant l'abaque 3 page 59 du guide SETRA (assainissement routier) on lit :

$$\tau_c = 0.36$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$h_c = \tau_c \times F = 0.36 \times 1.5 = 0.54 \text{ m} .$$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale h_n et critique h_c :

$h_n = 0.57 > h_c = 0.54$ donc le régime d'écoulement est **fluvial**.

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Détermination de la hauteur critique y_c :**

On a une buse de $\Phi 1500$.

$$N = \frac{Q_a}{\sqrt{g} \times R^{5/2}}$$
$$N = \frac{1.2}{\sqrt{10} \times 0.75^{5/2}} = 0.77$$

Donc :

$$\tau_c = 0.36$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$y_c = \tau_n \times F = 0.36 \times 1.5 = 0.54 \text{ m .}$$

- **Détermination de la hauteur normale y_n :**

$$y_n = 1.2 \times y_c$$
$$y_n = 1.2 \times 0.54 = 0.65 \text{ m}$$

$$y_n = 0.65 \text{ m} > y_c = 0.54 \text{ m}$$

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime **fluvial**.

- **Calcul de la pente de l'ouvrage :**

$$y_n = \tau_n \times F = 0.65 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad \tau_n = \frac{y_n}{F} = \frac{0.65}{1.5} = 0.43$$

Par utilisation de l'abaque 5, on lit : $N = 0.72$

Comme :

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{8}{3}}}$$

On peut obtenir la valeur de la pente :

$$P = \left(\frac{Q_a}{K \times N \times R^{\frac{8}{3}}} \right)^2 = \left(\frac{1.2}{80 \times 0.72 \times 0.75^{\frac{8}{3}}} \right)^2 = 0.002 \text{ m/m}$$

- **Calcul de la surface mouillée de l'ouvrage :**

$$\tau_n = \frac{y_n}{F} = \frac{0.65}{1.5} = 0.43$$
$$\frac{S}{R^2} = 1.27 \quad \longrightarrow \quad S = 0.714 \text{ m}^2$$

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q_a}{S_m} = \frac{1.2}{0.714} = 1.68 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (Ham) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont (**H am**) est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$H_{am} = y_n + (1 + k_e) \times \frac{V^2}{2 \times g} = 0.65 + (1 + 0.5) \times \frac{1.68^2}{2 \times 9.81} = 0.86 \text{ m}$$

Ke : Le coefficient de perte de charge à l'entonnement est pris égal à 0,5 (utilisation d'une tête d'ouvrage classique avec murs en aile).

- **Vérification du tirant d'air (TA) :**

Le tirant est mesuré au-dessus de la hauteur d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage. La hauteur d'eau est calculée en considérant cette hauteur égale à :

$$y_t = \frac{y_n + H_{am}}{2} = \frac{0.65 + 0.86}{2} = 0.76 \text{ m}$$

Le taux de remplissage : $\frac{y_t}{F} = \frac{0.76}{1.5} = 0.51 < 0.75$ Verifié

Vérification dans le cas $Q_{exp} = 1.5Q_a$:

- **Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :**

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{8}{3}}}$$
$$N = \frac{1.8}{25 \times 0.033^{\frac{1}{2}} \times 0.75^{\frac{8}{3}}} = 0.85$$

Avec :

- $Q = Q_{exp} = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$.
- $K = 25$ (rugosité du lit du ruisseau).
- $P = 0,033 \text{ m/m}$ (pente du ruisseau en aval du franchissement).
- $R = 0.75 \text{ m}$ (largeur du fond de fossé).
- $\lambda = 1$ (pente des parois).

En utilisant l'abaque, on lit : $\tau_n = 0.46$

La hauteur normale s'élève à :

$$h_n = \tau_n \times F = 0.46 \times 1.5 = 0.69 \text{ m}$$

- **Détermination de la hauteur critique h_c :**

$$N = \frac{Q_a}{\sqrt{g} \times R^{5/2}}$$
$$N = \frac{1.8}{\sqrt{10} \times 0.75^{5/2}} = 1.17$$

g accélération de la pesanteur = 10 m/s².

Donc : $\tau_c = 0.43$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$h_c = \tau_c \times F = 0.43 \times 1.5 = 0.64 \text{ m}$$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale h_n et critique h_c :

$h_n = 0.69 > h_c = 0.64$ donc le régime d'écoulement est **fluvial**.

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Détermination de la hauteur critique y_c :**

On a une buse de $\Phi 1500$.

$$N = \frac{Q_a}{\sqrt{g} \times R^{5/2}}$$
$$N = \frac{1.8}{\sqrt{10} \times 0.75^{5/2}} = 1.17 \longrightarrow \tau_c = 0.43$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$y_c = \tau_c \times F = 0.43 \times 1.5 = 0.64 \text{ m}$$

- **Détermination de la hauteur normale y_n :**

$$y_n = 1.2 \times y_c$$
$$y_n = 1.2 \times 0.64 = 0.77 \text{ m}$$

Le régime d'écoulement dans l'ouvrage se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale y_n et critique y_c : **$y_n = 0.77\text{m} > y_c = 0.64 \text{ m}$** .

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime **fluvial**.

- **Calcul de pente :**

$$y_n = \tau_n \times F = 0.77 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad \tau_n = \frac{y_n}{F} = \frac{0.77}{1.5} = 0.51$$

Par utilisation de l'abaque, on lit : $N = 1$

Comme :

$$N = \frac{Q_a^2}{K \times P^2 \times R^{\frac{8}{3}}}$$

On peut obtenir la valeur de la pente :

$$P = \left(\frac{Q_a}{K \times N \times R^{\frac{8}{3}}} \right)^2 = \left(\frac{1.8}{80 \times 1 \times 0.75^{\frac{8}{3}}} \right)^2 = 0.0023 \text{ m/m}$$

- **La surface mouillée de l'ouvrage :**

$$\tau_n = \frac{y_n}{F} = \frac{0.77}{1.5} = 0.51$$

$$\frac{S}{R^2} = 1.60 \quad S = 0.9 \text{ m}^2$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q_a}{Sm} = \frac{1.8}{0.9} = 2 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (Ham) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont (Ham) est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$\text{Ham} = y_n + (1 + k_e) \times \frac{V^2}{2 \times g} = 0.77 + (1 + 0.5) \times \frac{2^2}{2 \times 9.81} = 1.07 \text{ m}$$

- **Vérification du tirant d'air (TA) :**

$$y_t = \frac{y_n + \text{Ham}}{2} = \frac{0.77 + 1.07}{2} = 0.92 \text{ m}$$

Le taux de remplissage : $\frac{y_t}{F} = \frac{0.92}{1.5} = 0.61 < 0.75$ Vérifié

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

Tableau VIII-8: Résultats récapitulatifs de dimensionnement des dalots et des buses

N° du Bassin versant	PK	TYPE D'OUVRAGE	PENTE D'OUVREGE	V(m/s)< 4	B(m)	H(m)	D(mm)	Dimension
01	61+688	DALOT	0.003	2.78	6	3	--	2 x (3 x 3)
02	62+687	PONT	--	--	--	--	--	---
03	63+716	BUSE	0.002	1.68	--	--	1500	Ø 1500
04	64+119	BUSE	0.002	1.69	--	--	1200	Ø 1200
05	64+501	BUSE	0.002	2.33	--	--	1200	Ø 1200
06	65+513	DALOT	0.003	2.04	6	2.5	--	2 x (3 x 2.5)
07	65+698	DALOT	0.004	2.20	2	1.5	--	(2 x 1.5)
08	67+293	DALOT	0.002	2.54	2.5	2.5	--	(2.5 x 2.5)
09	67+954	DALOT	0.002	1.92	1.5	1.5	--	(1.5 x 1.5)
10	68+551	DALOT	0.003	2.26	1.5	1.5	--	(1.5 x 1.5)
11	68+811	DALOT	0.004	3.20	5	2.5	--	2 x (2.5 x 2.5)
12	68+954	DALOT	0.002	3.00	12	4	--	3 x (4 x 4)
13	69+814	DALOT	0.003	2.45	1.5	1.5	--	(1.5 x 1.5)

VIII.5.3. Dimensionnement des fossés

Un fossé hydraulique est un élément de drainage en forme trapézoïdale, utilisé pour gérer les eaux de ruissellement provenant de la chaussée, des accotements et des talus. Pour sa conception :

- Le dimensionnement est basé sur une période de retour de 10 ans.
- Il est généralement adapté aux bassins versants de petites superficies, c'est-à-dire inférieurs à 5 km².
- La forme trapézoïdale est la plus couramment utilisée en Algérie.

Dans notre projet, nous avons pris pour les besoins de dimensionnement du fossé la zone de faible pente situé entre le PK60+110 et PK61+610 sur une longueur de 1500m. Le dimensionnement concerne uniquement les zones de déblais.

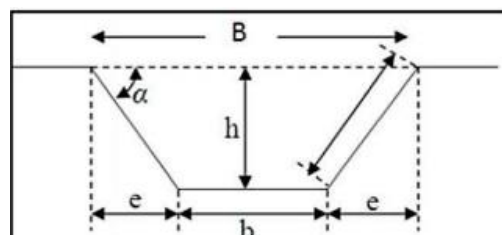


Figure VIII.3: Caractéristiques d'un fossé.

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

- **Les surfaces des sous-bassins versants**

Tableau VIII-9: Les surfaces des sous-bassins versants

SBV	Largeur(m)	Surface (m ²)	Pente (%)
Chaussée + BAU + BDG	14.5	21750	2.5
Berme	1.5	2250	8
Talus de déblai	Variable	9000	100

- **Le débit d'apport :**

$$Q_a = 0.278 \times C \times It \times A$$

Avec :

$$Q_a = Q_c + Q_B + Q_T$$

Q_c : débit d'apport de (chaussée + BAU+BDG).

Q_B : débit d'apport de Berme.

Q_T : débit d'apport de Talus.

- **Temps de concentration T_c :**

La surface inférieure à inférieure a 5 km² :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} \text{ (ventura).}$$

- **Intensité (T=10 ans) :**

$$I(t, T) = a(t) \times T_c^{-b}$$

Avec : $a=24.10$; $b=0.7$.

- **Coefficient de ruissellement (C) :**

Tableau VIII-10: Coefficient de ruissellement (C)

Type de chaussée	Chaussée	Accotement	Talus
Valeur de C	01	0.70	0.50

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

Calcul le débit d'apport :

- Pour la chaussée : P=2.5 %

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.021750}{0.025}} \Rightarrow T_c = 0.118 \text{ h}$$

$$I(t, T) = a(t) \times T_c^{-b} = 24.10 \times 0.118^{-0.7} = 107.57 \text{ mm/h}$$

$$Q_c = 0.278 \times C \times I_t \times A = 0.278 \times 1 \times 107.57 \times 0.021750 = 0.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Pour la berme : P= 8 %

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.002250}{0.08}} \Rightarrow T_c = 0.021 \text{ h}$$

$$I(t, T) = a(t) \times T_c^{-b} = 24.10 \times 0.021^{-0.7} = 360.13 \text{ mm/h}$$

$$Q_b = 0.278 \times C \times I_t \times A = 0.278 \times 0.7 \times 360.13 \times 0.002250 = 0.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Pour le talus : P = 100%

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.009000}{01}} \Rightarrow T_c = 0.012 \text{ h}$$

$$I(t, T) = a(t) \times T_c^{-b} = 24.10 \times 0.012^{-0.7} = 532.83 \text{ mm/h}$$

$$Q_t = 0.278 \times C \times I_t \times A = 0.278 \times 0.5 \times 532.83 \times 0.009000 = 0.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Donc : } Q_a = Q_c + Q_b + Q_t = 0.65 + 0.16 + 0.67$$

$$Q_a = 1.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau VIII-11: Débit des eaux drainées dans la plate-forme et les talus

Surface	S (Km ²)	C	P %	T _c (h)	I(mm/h)	Q(m ³ /s)	Q _a (m ³ /s)
La chaussée	0.021750	01	2.5	0.118	107.57	0.65	1.48
La berme	0.002250	0.70	08	0.021	360.13	0.16	
Le Talus	0.009000	0.50	100	0.012	532.83	0.67	

- **Calcul de débit de saturation :**

$$Q_s = K_{st} \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \times S_m$$

Avec :

- **Q_s** : Débit capable en (m³/s).
- **R_h** : Rayon hydraulique en (m). Avec : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$
- **S_m** : Section mouillée en (m²). **S_m = h × (b+h)**
- **P_m** : Périmètre mouillé en (m). **P_m = b + 2h × (2)^{0.5}**
- **J** : Pente longitudinal du fosse = 01%.
- **K_{st}** : Coefficient de rugosité de Manning. (Au béton coule sur place **K_{st} = 70**)

On prend : b= 0.5m, h= 0.5m

$$Q_s = K_{st} \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \times S_m$$
$$Q_s = 70 \times \left(\frac{h \times (b + h)}{b + 2h \times 2^{0.5}} \right)^{2/3} \times J^{1/2} \times (h \times (b + h))$$
$$Q_s = 70 \times \left(\frac{0.5 \times (0.5 + 0.5)}{0.5 + 2 \times 0.5 \times 2^{0.5}} \right)^{2/3} \times 0.01^{1/2} \times (0.5 \times (0.5 + 0.5))$$
$$Q_s = 2.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Avec h =0.5m, on trouve **Q_s > Q_a**, Donc le débit d'apport est nettement inférieur à celui de saturation, ce qui signifie que les dimensions du fossé proposées sont largement suffisantes pour faire passer les apports du bassin versant

VIII.5.4. Disposition d'un système d'assainissement au niveau d'un changement de dévers :

Dans les zones de changement progressif du dévers sur autoroute, des conditions hydrauliques particulières apparaissent. En effet, l'eau de ruissellement, habituellement évacuée vers les accotements extérieurs, tend à se concentrer temporairement au niveau du terre-plein central, notamment lorsque la pente transversale devient nulle, puis s'inverse.

Pour éviter tout risque de stagnation, de formation de flaques ou d'aquaplaning, une solution judicieuse consiste à adopter un dispositif de drainage linéaire, basé sur les éléments suivants :

- Un caniveau longitudinal à fente, implanté dans la bande dérasée de gauche (BDG), est aménagé le long du terre-plein central, depuis la zone où le dévers devient nul puis s'inverse, jusqu'à la section où la pente transversale redevient nulle. Ce caniveau assure une collecte continue et efficace des eaux de ruissellement provenant de la chaussée.
- À l'aval de cette section, l'eau est dirigée vers :
 - Un regard de collecte.
 - Puis vers une traversée sous chaussée, à l'aide d'un tuyau (souvent en PEHD ou béton).

CHAPITRE VIII : ASSAINISSEMENT

- Cette traversée permet de rejeter l'eau du côté opposé de l'autoroute, généralement vers un fossé longitudinal ou un dalot existant

Les zones de transition de dévers, correspondant aux sections à dévers variable concernées par le projet, sont les suivantes :

- Du PK 67+198 au PK 67+540.
- Du PK 68+711 au PK 69+220.



Figure VIII.4: Exemple de caniveau à fente

VIII.6. CONCLUSION

Pour conclure, les ouvrages hydrauliques peuvent être utilisés pour créer des passages souterrains pour les cours d'eau sous les routes et assurer le drainage adéquat des eaux de pluie afin maintenir la sécurité routière en réduisant les risques de dégradation de la chaussée.

CHAPITRE IX :

ETUDE DE L'ECHANGEUR

CHAPITRE IX : ETUDE DE L'ÉCHANGEUR

IX.1. INTRODUCTION

Un échangeur est un carrefour dénivelé entre deux routes avec raccordement de circulation entre les voies.

En termes techniques, un échangeur est un moyen de connecter plusieurs voies de communication.

Il est important de prendre en compte l'importance des différents courants de circulation, le site d'implantation et le type de topographie du site pour étudier sa disposition. Il est également important de ne pas le placer dans les sections en forte pente ou avec des dévers importants.

On désigne les échangeurs avec :

- **Nœuds** : qui assurent les liaisons entre voies de type « autoroute ».
- **Diffuseur** : qui relie l'autoroute à la voirie ordinaire.
- **Mixte** : quand il assure en plans des échanges avec voirie locale.

Notre échangeur s'agit d'un diffuseur reliant l'autoroute avec CW 02

IX.2. ROLE DE L'ÉCHANGEUR

Le rôle de l'échangeur est de garantir la continuité des réseaux autoroutiers et de desservir simultanément plusieurs directions en distribuant les flux dans les différentes directions en fonction de leur importance et en termes de confort et de sécurité, tout en évitant les points de conflit qui peuvent entraîner des accidents graves et les points d'arrêt qui entraînent des pertes de temps.

IX.3. LES ELEMENTS D'UN ECHANGEUR

Chaque échangeur constitué a trois éléments principaux quelle que soit sa portance :

- **Les carrefours plans** : On trouve les carrefours plans seulement sur les raccordements Autoroute-route.
- **Ouvrage d'art (pont)** : De type passage supérieur ou inférieur.
- **Les bretelles (rampes d'entrées et rampes sorties)** : Sont des voies qui assurent et raccorder les deux routes à la jonction. Il y a trois types de bretelles, comme indiquer sur la figure si dessous :

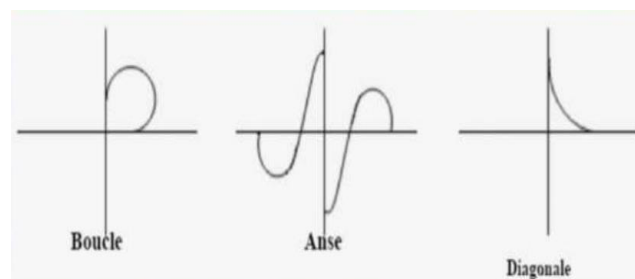


Figure IX.1: Les types de bretelle

IX.4. LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉCHANGEURS

IX.4.1. Echangeur majeur

Raccordement Autoroute- Autoroute

- Echangeur en trèfle complet.
- Echangeur bifurcation <Y>.

IX.4.2. Echangeur mineur

Raccordement Autoroute –Route

- Echangeur en demi-trèfle.
- Echangeur en trompette.
- Echangeur en losange.

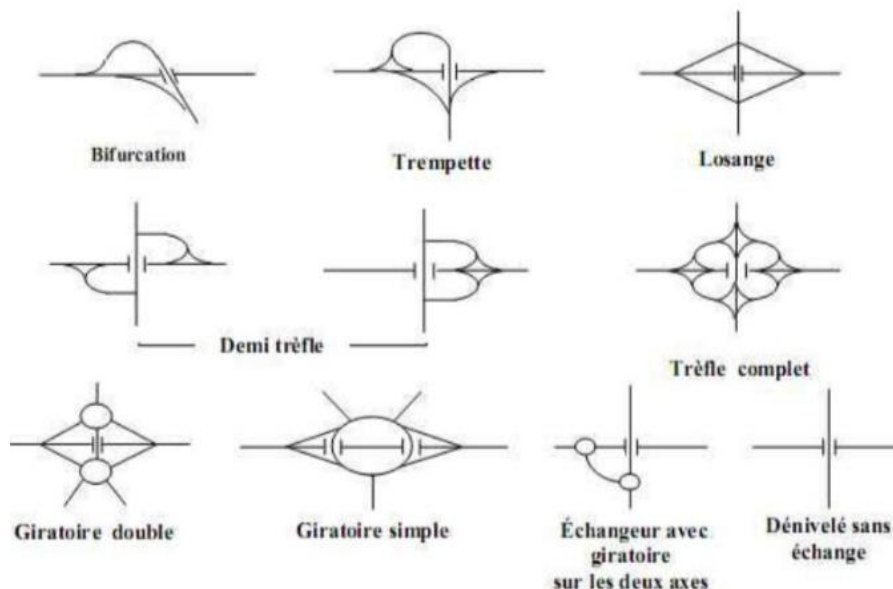


Figure IX.2: Les différents types d'échangeur

IX.5. ETAPE A SUIVRE POUR LE CHOIX D'UN ECHANGEUR

La sélection d'un échangeur se déroule en trois étapes :

- **Etape1** : détermination du tracé en se basant sur :
 - Présentation du site d'installation.
 - Type de route et nombre de branches à relier
 - Répartition du trafic selon les différentes directions de circulation.
 - La vitesse d'approche pratique est utilisée pour évaluer les caractéristiques de la bretelle.

- **Étape 2** : Le choix de l'échangeur doit également garantir un niveau élevé de sécurité et de service, ce qui est réalisé en respectant les normes de conception établies, qui se résument ainsi :
 - Tracé qui respecte les limites de conception telles que les valeurs des rayons et des alignements.
 - Longueurs des voies « insertions, décélérations » règlementaires.
- **Étape 3** : analyse.
C'est cette étape finale qui confirme la décision de choix du fait que le futur échangeur doit garantir les conditions de visibilité, de confort et de sécurité les plus optimales.

IX.6. CHOIX DU TYPE DE L'ÉCHANGEUR

Pour choisir l'échangeur qui convient le mieux, il faut tenir compte en premier lieu de la classification des routes qui se croisent.

Pour notre projet l'échangeur va raccorder l'autoroute (2×3 voies). Avec la CW 02 (2×1 voies). Donc l'échangeur sera du type diffuseur.

Afin d'assurer la connexion entre les axes concernés, nous avons opté pour un échangeur de type demi-trèfle pour les raisons suivantes :

- La non-disponibilité de l'espace (Présence de carrière au bord de la route).
- Offrir une bonne sécurité et une bonne visibilité aux usagers.
- Le gain de temps (car cet échangeur favorise toutes les directions). Et enfin son côté esthétique.

Vitesse sur les bretelles :

- La vitesse maximale sur l'autoroute est de 130 km/h.
- La vitesse sur la RN 8 et RN46 est de 80 km/h.
- La vitesse sur l'échangeur est :

Sur la boucle 40km/h

Sur la bretelle 60km/h

IX.7. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES BRETELLES

IX.7.1. Tracé en plan d'une bretelle

Selon l'ECTAAL 2015 les Valeurs limites des rayons :

Tableau IX-1: Valeurs limites des rayons du tracé en plan

	Rayon minimal au divers normal Rdn	Rayon minimal divers (7%)
Branche à deux voies circulaire 110 km/h	650 m	400 m
Branche/bretelle à deux voies ou une voie circulaire à 90 km/h	370 m	240 m
Branche/bretelle à une voie circulaire à 70 km/h	300 m	125 m
Bretelle à une voie circulaire à 70 km/h ou moins	300 m	40 m (avec 100 m minimum pour 1 rencontré hors sortie en boucle)

IX.7.2. Enchaînement des éléments du tracé en plan

Une boucle comporte un arc circulaire unique encadré par des arcs de clothoïdes.

Deux courbes successives de sens contraire doivent satisfaire à la condition : $R1 \leq 2R2$, où R1 et R2 notent les rayons de la première et de la seconde courbe rencontrées dans le sens de circulation sauf si $R2 > 1.5Rdn$.

IX.7.3. Raccordement progressif

Une courbe circulaire est encadrée par deux arcs de clothoïde de longueur égale à la plus grande des deux valeurs : $6R^{0.4}$ et $7|\Delta\delta|$;

Avec :

- R le rayon de courbure (m) ;
- $\Delta\delta$ la différence des pentes transversales (en %) des éléments du tracé raccordés.

Il s'agit de longueurs minimales, mais il n'est pas recommandé de recourir à des valeurs supérieures qui peuvent rendre l'appréciation de la courbure finale plus difficile pour l'utilisateur.

Remarque : le tracé de l'axe en plan est réalisé à l'aide du logiciel CIVIL 3D.

CHAPITRE IX : ETUDE DE L'ECHANGEUR

IX.7.4. Profil en long d'une bretelle

Les valeurs limites des paramètres du profil en long selon L'ICTAAL sont les suivantes :

Tableau IX-2: Les valeurs limites des paramètres du profil en long.

Déclivité maximale	6%
Rayon minimal en angle saillant	1500 m
Rayon minimal en angle rentrant	800 m

Remarque : le profil en long a été fait avec le logiciel CIVIL 3D.

IX.7.5. Profil en travers d'une bretelle

La chaussée est bordée de part et d'autre par une bande dérasée de même structure qu'elle, et par une berme qui peut être intégrée au dispositif d'assainissement. Les largeurs des composantes du profil en travers selon L'ICTAAL sont les suivantes :

- Une voie de 3,5m (Dans une courbe de rayon inférieur à 100 m, une sur largeur de $50/R$ par voie est à introduire).
- Une bande dérasée de gauche BDG de 0,5m.
- Une bande dérasée de droite BDD de 1m.
- Berme de 1.5 m.

IX.7.6. Pente transversale d'une bretelle

Le profil d'une chaussée bidirectionnelle est constitué de deux versants plans raccordés sur l'axe, celui d'une chaussée unidirectionnelle d'un seul versant. Les bandes dérasées ont la même pente transversale que la voie adjacente.

Tableau IX-3: Pente transversale d'une bretelle

Élément	Rayons (m)	Valeur du dévers
Alignement ou rayon $\geq R_{nd}$	$300 < R < \infty$	2.5 %
Rayon déversé $R < R_{nd}$	$100 < R < 300$	Variation en $1/R$ entre 2.5 % (R300) et 7 % (R100)
	$R < 100$ m	7 %

IX.8. RACCORDEMENT AVEC L'AUTOROUTE:

Le raccordement d'une bretelle à une autoroute, on utilise généralement une voie d'accélération en entrée et une voie de décélération en sortie. Cela offre aux conducteurs la possibilité de réguler leur vitesse afin de rejoindre en toute sécurité le flux de circulation de l'autoroute à l'entrée et de se préparer à quitter l'autoroute en diminuant progressivement leur vitesse à la sortie.

IX.8.1. La zone de décélération

Doit permettre à l'utilisateur de passer de la vitesse conventionnelle de 70 km/h au niveau du point S.1,00 m, à la vitesse associée au rayon de la première courbe rencontrée, selon une décélération en palier de 1,5 m/s². Elle est constituée des éléments géométriques compris entre le point S.1,00 m et le début de la partie circulaire de la courbe. Sa longueur minimale est donnée par la formule :

$$L_d = \frac{(V_s^2 - V_R^2)}{2(1,5 + 10p)}$$

Avec :

- p la déclivité en valeur algébrique (exemple pour une pente de 5 %, p = - 0,05) ;
- Vs (en m/s) la vitesse conventionnelle au point S.1,00 m ;
- VR (en m/s) la vitesse cible dépendant du rayon de la première courbe aval

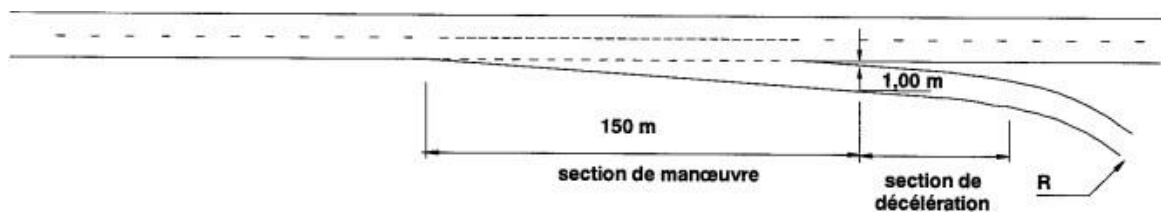


Figure IX.3: dispositif de sortie de l'autoroute.

IX.8.2. La zone d'accélération

Doit permettre à l'utilisateur de passer de la vitesse associée au rayon de la dernière courbe parcourue, à une vitesse conventionnelle de 55 km/h au niveau du point E.1,00 m, selon une accélération de 1m/s². Elle est constituée des éléments compris entre la fin de la partie circulaire de la dernière courbe et le point E.1,00 m. Sa longueur minimale est donnée par la formule :

$$L_a = \frac{(V_E^2 - V_R^2)}{2(1 - 10p)}$$

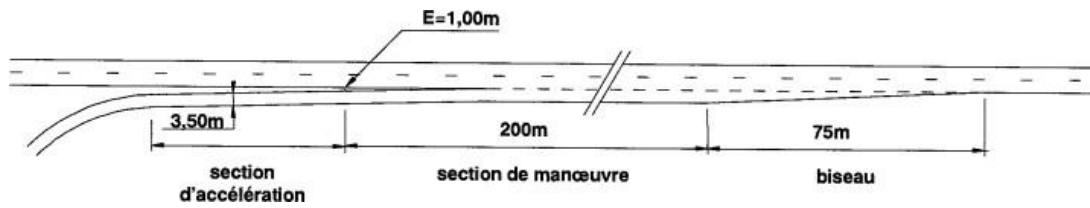


Figure IX.4: Dispositif d'entrée sur l'autoroute.

IX.9. CARREFOURES GIRATOIRES

Le carrefour giratoire est le carrefour plan qui offre le meilleur niveau de sécurité. Toutefois, cette performance peut être dégradée si certaines précautions ne sont pas prises tant au niveau de la conception générale (le choix de la dimension et de la position du giratoire, le soin apporté aux conditions de lisibilité et de visibilité, le tracé des différentes branches, le dessin des différents éléments qui constituent l'aménagement, etc.), que de la réalisation de détail (l'aménagement de l'îlot central, le choix et le positionnement de la signalisation, etc.)

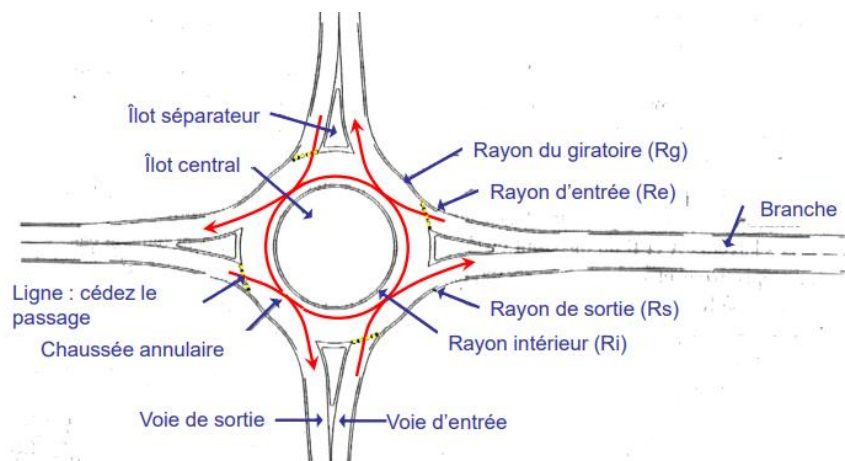


Figure IX.5: Les différents composants d'un carrefour giratoire

IX.9.1. Principes d'aménagement

L'aménagement d'un giratoire appelle les recommandations particulières suivantes :

- Préférer un aménagement simple.
- Exclure tout obstacle agressif.
- Donner à l'utilisateur une bonne perception d'approche.
- Introduire une certaine contrainte de trajectoire.
- Vérifier que la capacité de l'aménagement est suffisante.
- Éviter de surdimensionner les composants de l'aménagement

IX.9.2. Configuration géométrique générale

- **Disposition des branches :**

Il est toujours préférable que l'axe des voies secondaires passe par le centre de l'îlot central ; sinon, on peut admettre un décalage seulement si l'axe de la chaussée « passe » à gauche du centre de l'anneau.

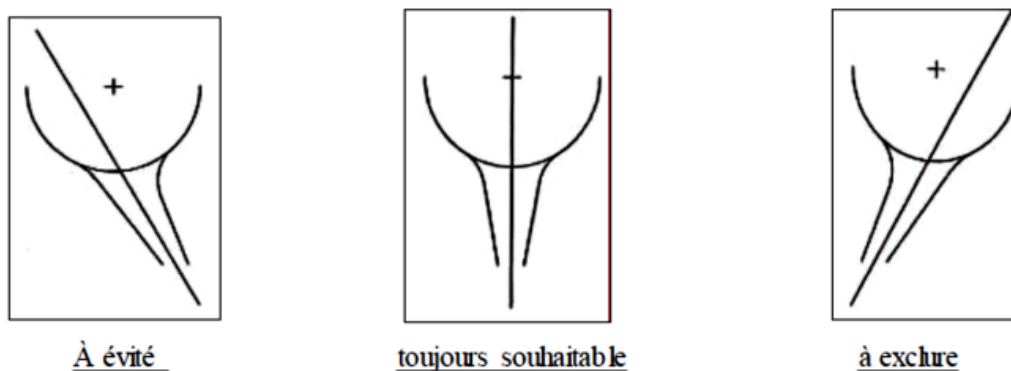


Figure IX.6: Disposition des branches

Pour une infrastructure nouvelle, on doit rechercher un alignement radial sur une longueur de 250 m environ (350 m dans le cas d'une entrée à 2 x 2 voies). Pour l'aménagement d'une intersection existante en giratoire, cette longueur peut être ramenée à 150 m (250 m dans le cas d'une entrée à 2 x 2 voies).

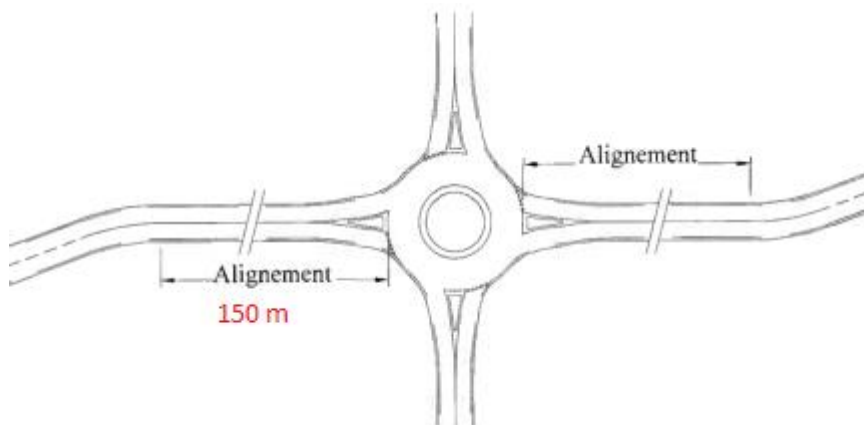


Figure IX.7: Alignement radial des branches

- **Déflexion :**

La déflexion des trajectoires à travers un carrefour giratoire (trajectoire intéressant deux branches opposées ou adjacentes du giratoire) est un facteur important pour la sécurité de l'aménagement. En effet, les caractéristiques géométriques ne doivent pas permettre que les trajectoires les plus tendues puissent être confortablement négociées à des vitesses nettement supérieures à 50 km/h. La déflexion d'une trajectoire est le rayon de l'arc de cercle qui passe à 1,50 m de la bordure de l'îlot central et à 2,00 m des bordures des voies d'entrée et de sortie. Ce rayon doit être inférieur à 100 m.

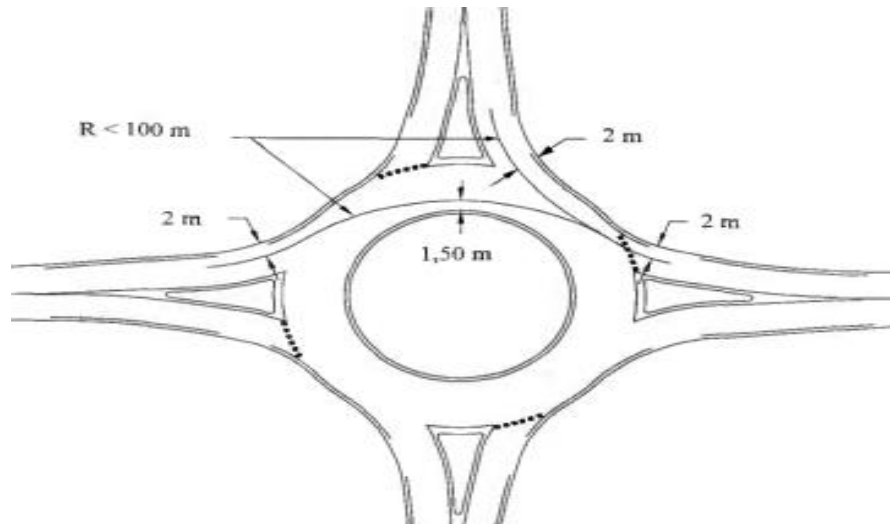


Figure IX.8: Déflexion des trajectoires

- **Pente :**

L'implantation d'un carrefour à sens giratoire sur une route présentant une déclivité inférieure à 3% ne pose aucun problème.

Pour les pentes supérieures à 6 %, on considère généralement que ce type d'aménagement de ce type carrefour doit être exclu.

Entre 3% et 6%, certaines dispositions peuvent s'avérer défavorables à la sécurité (visibilité)

Bien qu'il s'agisse d'une conjoncture qui doit être évitée, le positionnement d'un giratoire en point haut du profil en long de l'une des routes concernées par le carrefour n'est pas compatible avec le choix d'un aménagement de petite dimension.

- **Chaussée annulaire :**

La chaussée annulaire ne doit pas être considérée comme une chaussée unidirectionnelle à 2 ou 3 voies séparées par un marquage qui en assurerait l'affectation, mais comme une voie unique, assez large pour permettre la giration aisée des poids lourds notamment.

La largeur de l'anneau dépend du rayon R_g , de la largeur et du nombre des voies de l'entrée la plus large.

Une largeur de 5m à 6m convient pour une voie. Une largeur de 8m paraît optimale pour les chaussées annulaires comportant voies. Pour celles de trois voies, une largeur de 11 à 12m est suffisante.

La chaussée annulaire doit présenter un dévers uniforme de 1,5 à 2%. Sa pente est dirigée vers l'extérieur du carrefour pour trois raisons principales ; améliorer la perception de la chaussée annulaire, éviter la rupture de pentes sur les voies d'entrée et de sortie (facteur d'inconfort, voire d'instabilité pour certains véhicules), faciliter la gestion de l'écoulement des eaux de surface.

- **Entrées :**

Sur chaque branche, la voie d'entrée doit être séparé matériellement de la voie de sortie par un îlot séparateur construit en saillie par rapport à la chaussée. Un simple marquage ne suffit pas (sauf éventuellement pour délimiter les voies des branches très secondaires).

Les entrées sont normalement à une seule voie, sauf lorsque la capacité calculé pour la mise en service rend nécessaire la création d'entrées à deux voies.

Si l'étude de la capacité calculée rend nécessaire la création plus de deux voies sur une entrée, on peut remettre en cause le choix du giratoire.

- **Sorties :**

La largeur des sorties est de 4,00 à 5 m par voie ; elle est ramenée rapidement à la largeur de la demi-chaussée en section courante (3,5 m le plus souvent).

Le rayon de sortie (R_s) doit être supérieur au rayon intérieur du giratoire (R_i), avec un minimum de 15m et un maximum de 30 m. Des situations particulières peuvent justifier un dépassement de ces limites.

Récapitulatif des différents paramètres de construction des voies d'entrée et de sortie :

Tableau IX-4: Récapitulatif des différents paramètres de construction de giratoire.

	Notations	Paramétrage	Valeurs courantes (m)			
Rayon du giratoire	R_g	$12 \text{ m} \leq R_g \leq 25 \text{ m}$	12	15	20	25
Largeur de l'anneau	L_a	$6 \text{ m} \leq L_a \leq 9 \text{ m}$	7	7	7	8
Surlargeur franchissable	SL_f	$1,5 \text{ m si } R_g \leq 15 \text{ m}$	1,5	1,5	/	/
Rayon intérieur	R_i	$R_g - L_a - SL_f$	3,5	6,5	13	17
Rayon d'entrée	R_e	$10 \text{ m} \leq R_e \leq 15 \text{ m et } \leq R_g$	12	15	15	15
Largeur de la voie entrante	L_e	$L_e = 4 \text{ m}$	4	4	4	4
Rayon de sortie	R_s	$15 \text{ m} \leq R_s \leq 30 \text{ m et } > R_i$	15	20	20	20
Largeur de la voie sortante	L_s	$4 \text{ m} \leq L_s \leq 5 \text{ m}$	4	4	4,5	5
Rayon de raccordement	R_r	$R_r = 4 R_g$	48	60	80	100

• **L'îlot central :**

Il est recommandé de donner à l'îlot central une forme circulaire (la sécurité étant meilleur sur les girations circulaires) En milieu interurbain, une valeur de 15 à 30 m en général suffisante.

• **L'îlot séparateur :**

L'îlot séparateur a généralement la forme d'un triangle (son dessin est réalisé à partir d'un triangle dit de «construction»).les îlots séparateurs remplissent divers fonctions principales comme :

- En situation d'approche, ils favorisent la perception du carrefour.
- Ils offrent une surface séparant les mouvements entrants et sortants, ils permettent d'éviter des collisions entre les deux sens de circulation.
- Ils permettent l'implantation de la signalisation de direction.
- Enfin, ils évitent les « prises à contre sens » de l'anneau.

Le tableau ci-après récapitule les différents paramètres de construction des îlots séparateurs pour un rayon R_g :

CHAPITRE IX : ETUDE DE L'ÉCHANGEUR

Le tableau ci-après récapitule les différents paramètres de construction des îlots séparateurs pour un rayon R_g :

Tableau IX-5: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs.

	Notation	Paramétrage	Valeurs courantes (m)			
Rayon giratoire	R_g		< 15	15	20	25
Hauteur du triangle de construction	H	$H = R_g$	12 à 15	15	20	25
Base du triangle de construction	B	$B = \frac{R_g}{4}$	3 à 3,75	3,75	5	6,25
Départ de l'îlot sur l'axe	d	$d = (0,5 + \frac{R_g}{50}) / 2$ Ou 0	0	0,4	0,45	0,5
Rayon de raccordement des bordures	r	$r = \frac{R_g}{50}$	0,25	0,30	0,40	0,5

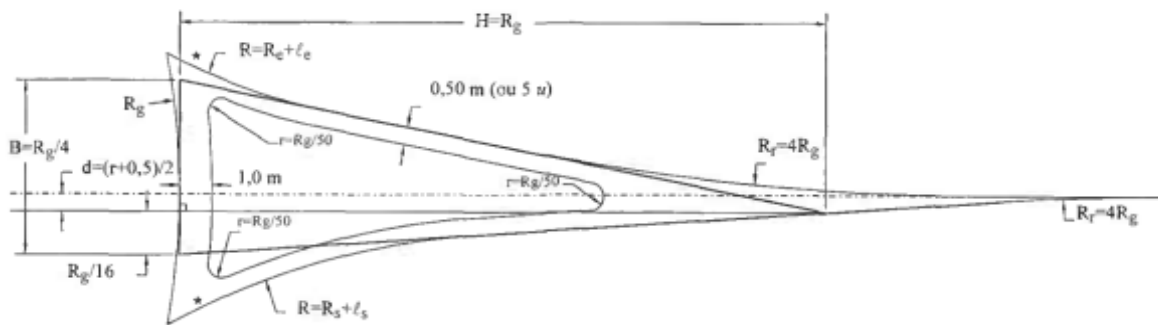


Figure IX.9: Construction des îlots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon (R_g) > 15m

CHAPITRE IX : ETUDE DE L'ECHANGEUR

APPLICATION AU PROJET :

Concernant notre deux giratoires on résume tous ces caractères dans le tableau suivant :

Pour le giratoire :

Tableau IX-6: différents paramètres de construction de giratoire

Rg	Rayon du giratoire	25 m
La	Largeur de l'anneau	8 m
Ri	Rayon intérieur	17 m
Re	Rayon d'entrée	15 m
Le	Largeur de la voie entrante	4 m
Rs	Rayon de sortie	20 m
Ls	Largeur de la voie sortante	5 m
Rr	Rayon de raccordement	100 m

- **Pour Les ilots séparateurs :**

Tableau IX-7: différents paramètres de construction des ilots séparateurs

Rg	Rayon giratoire	25 m
H	Hauteur du triangle de construction	25 m
B	Base du triangle de construction	6.25 m
d	Départ de l'îlot sur l'axe	0,50 m
r	Rayon de raccordement des bordures	0,50 m

Remarque : le profil en long et le tracé en plan a été fait avec le logiciel CIVIL 3D.

CHAPITRE X : OUVRAGE D'ART

X.1. INTRODUCTION

Dans la réalisation des infrastructures routières, divers obstacles naturels ou artificiels peuvent se présenter, tels que les oueds, les rivières, les reliefs montagneux, ou encore les voies ferrées et les routes existantes. Pour les franchir, on a recours à la construction d'ouvrages d'art. Ces structures occupent une place essentielle dans les réseaux de transport modernes, en assurant la continuité, la sécurité et la fluidité du trafic. Leur conception et leur exécution exigent une expertise pointue, alliant connaissances théoriques en génie civil et savoir-faire technique, faisant de l'ingénierie des ouvrages d'art un pilier fondamental du développement des infrastructures.

Ce chapitre présentera les ouvrages, leur PK, ainsi que le type d'ouvrage à concevoir pour franchir les obstacles existants.

X.2. PRESENTATION DES OUVRAGES

X.2.1. Les ouvrages d'art de notre projet

- Un passage supérieur de chemin communal.
- Un ouvrage d'art qui franchit Oued sefioune.
- Un passage inférieure de chemin de fer.
- Un ouvrage d'art pour l'échangeur.
- Un passage inférieure de voie agricole.

X.2.2. Description des ouvrages

Tableau X-1: Les ouvrages au niveau du tracé

Ouvrage n°	PK	Longueur de L'OA(m)	Largeur de L'OA (m)
OA_1 (Passage supérieur)	61+525	40	10
OA_2 (qui franchit Oued)	62+600	134	35
OA_3 (passage inférieure)	63+475	60	35
OA_4 (Echangeur)	65+370	40	10
OA_5 (Passage inférieure)	67+600	40	7

CHAPITRE X : OUVRAGE D'ART

X.3. GABARIT A RESERVER

Le gabarit désigne l'espace libre nécessaire au passage des véhicules et des usagers sous le pont.

En Algérie, il est règlement que le passage sur :

- Les autoroutes et les routes expresses doivent respecter un gabarit de 5.25m.
- Les routes ordinaires doivent respecter un gabarit de 4.50 à 4.80 m.
- Pour le chemin de fer on doit respecter un gabarit de 8 m.

X.4. CHOIX DU TYPE DE L'OUVRAGE

Notre but est de déterminer du point de vue technique et économique, le type d'ouvrage le plus adéquat et de satisfaire le mieux possible toutes les conditions (économique et technique).

Les principaux facteurs qui influent sur le type d'ouvrage sont :

- Le gabarit à respecter.
- La nature du sol.
- Le profil en long de la chaussée.
- La portée de l'ouvrage.
- Position possible des appuis.

X.5. VARIANTES PROPOSEES

X.5.1. Variant 1: « Pont a poutre en Béton précontrainte »

X.5.1.1. Les avantages

- Possibilité d`avoir des portes plus importantes, et par conséquent une réduction des nombres d'appuis souvent très coûteux.
- Un des avantages de ce type de ponts est qu'ils peuvent être construits sur presque tous les types de terrain, grâce à leur mode constructif.
- Utilisation des éléments préfabriqués.
- Simplicité et rapidité d'exécution, ce qui réduit les délais et le coût.
- Suppression des joints entre les travées, ce qui représente un confort pour les usagés.

X.5.1.2. Les inconvénients

- La nécessité de fabriquer un béton plus résistant principalement avant 28 jours.
- La main d'œuvre doit être qualifiée.
- L'obligation d'attendre la fin de mise en tension pour pouvoir couler ou décoffrer.
- Poids très important.

X.5.2. Variant 2: « Pont mixte Bipoutre »

X.5.2.1. Les avantages

- Structures légères facilitant la mise en place du tablier et permettant des économies sur les appuis et les fondations.
- Structures simples entièrement soudées.
- La possibilité de franchir les grandes portées.
- La rapidité d'exécution globale.
- La précision dimensionnelle des structures.

X.5.2.2. Les inconvénients

- Les poutres en I sont sensibles au déversement pour les ensembles des pièces.
- Stabilité des membrures de poutres qui ont tendance à flamber latéralement
- Surveillance exigée avec des visites périodiques.
- La main d'œuvre doit être qualifiée surtout (les soudeurs).
- Le risque de flambement des pièces comprimées, et le risque du renversement ou le voilement lors du montage ainsi qu'en service.

X.5.3. Variant 3: « pont dalle en béton armé »

X.5.3.1. Les avantages

- Simplicité de conception et d'exécution.
- Faible hauteur de construction.
- Entretien réduit.
- Adapté aux petites portées.

X.5.3.2. Les inconvénients

- Portée limitée.
- Poids propre élevé.
- Quantité de béton importante.
- Temps de décoffrage relativement long

CHAPITRE X : OUVRAGE D'ART

X.6. LES VARIANTES RETENUES

En considérant les avantages et les inconvénients de chaque type d'ouvrage, ainsi que les contraintes techniques spécifiques du site, nous avons résumé notre choix d'ouvrages dans le tableau suivant :

Tableau X-2: Les variantes retenues

Ouvrage n°	PK	Solution recommandé	Gabarit (m)
OA_1 (Passage supérieur)	61+525	Pont a poutre en Béton précontrainte	5.25
OA_2 (qui franchit Oued)	62+600	Pont a poutre en Béton précontrainte	/
OA_3 (passage inferieure)	63+475	Pont mixte bipoutre	8
OA_4 (Echangeur)	65+370	Pont a poutre en Béton précontrainte	5.25
OA_5 (Passage inferieure)	67+600	pont dalle en béton armé	4

CHAPITRE XI :

SIGNALISATION

CHAPITRE XI : SIGNALISATION

XI.1. INTRODUCTION

La signalisation routière joue un rôle essentiel dans la sécurité et la fluidité du trafic. Elle permet d'informer, de guider, d'avertir et de réglementer les usagers tout au long de leur parcours. Une signalisation efficace contribue à réduire les risques d'accidents, à améliorer la lisibilité de l'itinéraire et à assurer un usage optimal de l'infrastructure routière. La conception et la mise en place d'une signalisation adaptée doivent répondre aux normes en vigueur et tenir compte des spécificités de la voie, du trafic attendu ainsi que des contraintes environnementales.

XI.2. OBJECTIF DE LA SIGNALISATION

- Assurer la sécurité de tous les usagers de la route.
- Réguler le flux de trafic.
- Informer les usagers de la route.
- Promouvoir le respect des lois routières.
- Améliorer l'accessibilité et la navigation

XI.3. REGLES A RESPECTER POUR LA SIGNALISATION

- Conformité aux normes.
- Visibilité et lisibilité.
- Emplacement stratégique.
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale.

XI.4. LES CATEGORIES DE SIGNALISATION

- La Signalisation par panneaux.
- La Signalisation par marquage des chaussées.
- La Signalisation par balisage.
- La Signalisation par feux.
- La Signalisation par bornage.

XI.5. LES TYPES DE SIGNALISATION

- Signalisation verticale.
- Signalisation horizontale.

XI.6. SIGNALISATION HORIZONTALE

La signalisation horizontale se réfère aux marques, lignes et symboles peints ou apposés directement sur la surface de la chaussée pour fournir des informations, des avertissements, ou des directives aux usagers de la route.

XI.6.1. Caractéristiques générales des marques de chaussée

XI.6.1.1. Couleur des marques de chaussée

Pour les couleurs des marquages sur chaussée on utilise la couleur blanc pour BAU et séparation de chaussée, et pour les autres marquages.

XI.6.1.2. Largeur des lignes des marquages

Les largeurs de ligne sont définies par rapport à une unité U, Les valeurs de U sont :

- U = 7,5 cm Sur l'Autoroute et les bretelles des diffuseurs, des nœuds autoroutiers et D'entrée/sortie Sur aires.
- U = 6 cm Sur les bretelles de sortie de l'Autoroute après les péages, sur les bretelles d'entrée de l'Autoroute avant les péages et sur les RN.
- U = 5 cm Sur toutes les autres routes qui ne sont pas nationales.

Pour notre projet U=7.5 cm

XI.6.2. Catégories de marques de chaussée

XI.6.2.1. Les lignes longitudinales

Elles sont utilisées pour marquer les voies de circulation et incluent :

- **Les lignes continues :**

Ces lignes servent à signaler les zones de route où le dépassement est interdit, en particulier en raison de la mauvaise visibilité

- **Les lignes discontinues :**

Il est possible de franchir ces lignes pour effectuer un dépassement ou un changement de direction.

Tableau XI-1: Les caractéristiques des lignes longitudinales

Modulation	Désignation des marques	Largeur
Contenue	Délimitation de TPC	3u
T1	Ligne axiale ou de délimitation de voie	2u
T2	Ligne de délimitation des voies de décélération, d'insertion ou d'entrecroisement	5u
T3	Ligne d'annonce d'une ligne continue	2u
T'3	Ligne de rive aux approches de certains carrefours et dans les bretelles de raccordement	3u
T4	Ligne délimitant une bande d'arrêt d'urgence, en section courante sur autoroutes et routes à chaussées séparées et à carrefours dénivelés	3u

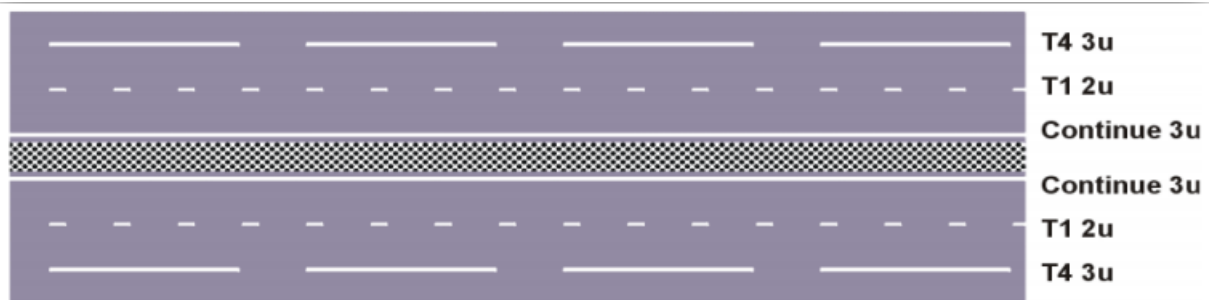


Figure XI.1: Les lignes de délimitation d'une autoroute

CHAPITRE XI : SIGNALISATION

Modulation des lignes discontinues :

Modulations des lignes discontinues sont recapitalisées dans le tableau suivant :

Tableau XI-2: Les caractéristiques de modulation des lignes discontinues

Type de modalisation	Longueur de trait (m)	Distance entre trait successives(m)
T1	3.00	10
T'1	1.5	5
T2	3.00	3.5
T3	3.00	1.33
T'3	20	6
T4	39	13

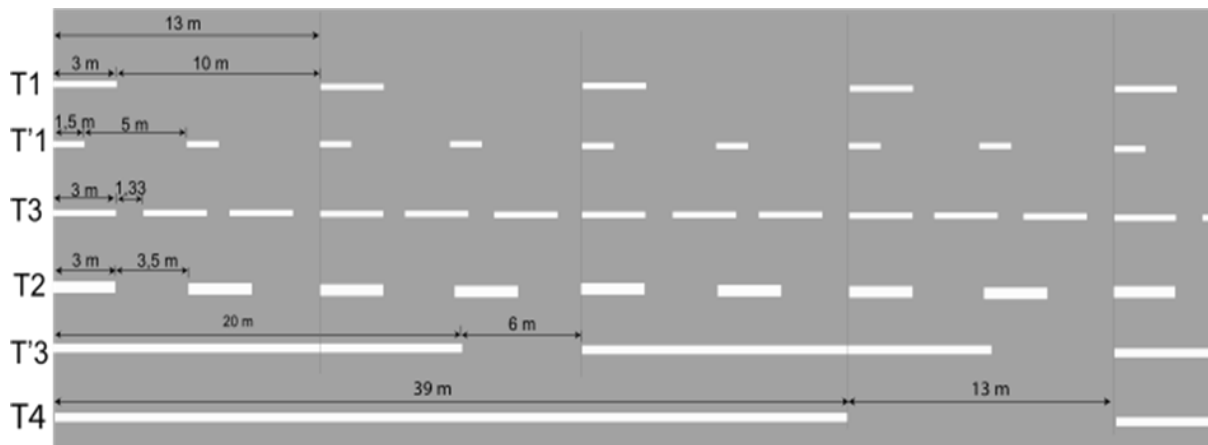


Figure XI.2: Les caractéristiques de modulation des lignes discontinues

XI.6.2.2. Les lignes transversales

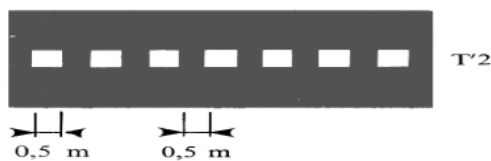


Figure XI.3: Lignes transversales

- **Autres marques**

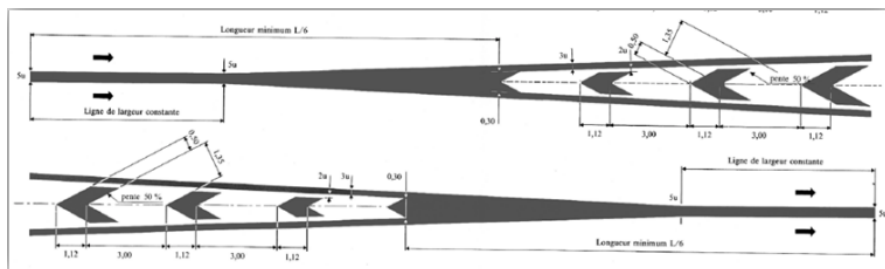


Figure XI.6: Schéma de marquage avec hachures

XI.7. SIGNALISATION VERTICALE

Le rôle de signalisation verticale est d'informer les conducteurs par des informations et des indications sur la route à partir d'installation des panneaux de signalisation

Types de panneaux :

- **Panneau de signalisation d'interdiction ou de restriction : type C.**



- **Panneau de signalisation d'avertissement de danger : type A.**



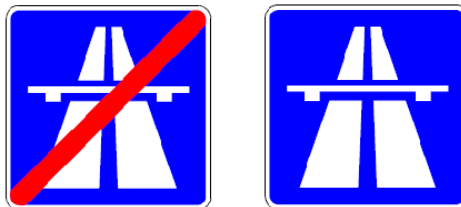
- **Panneau de signalisation d'intersection : type A**



- **Panneau de Signalisation de giratoire : type A et D**



- **Signaux d'indication entrée/sortie de l'autoroute (E14/E15):**



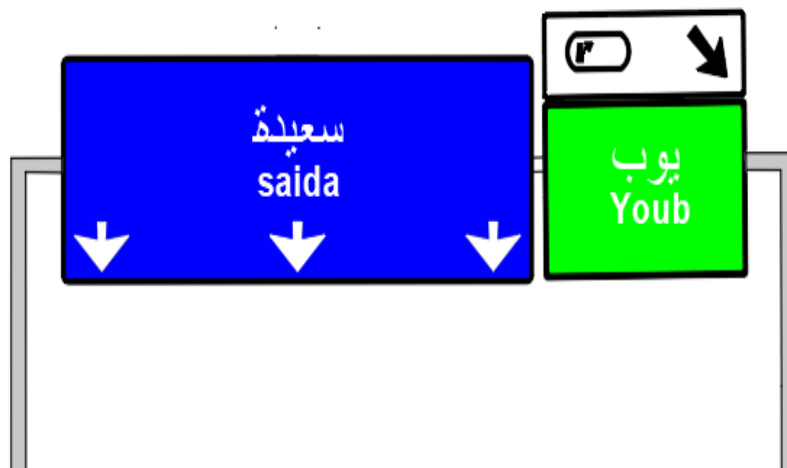
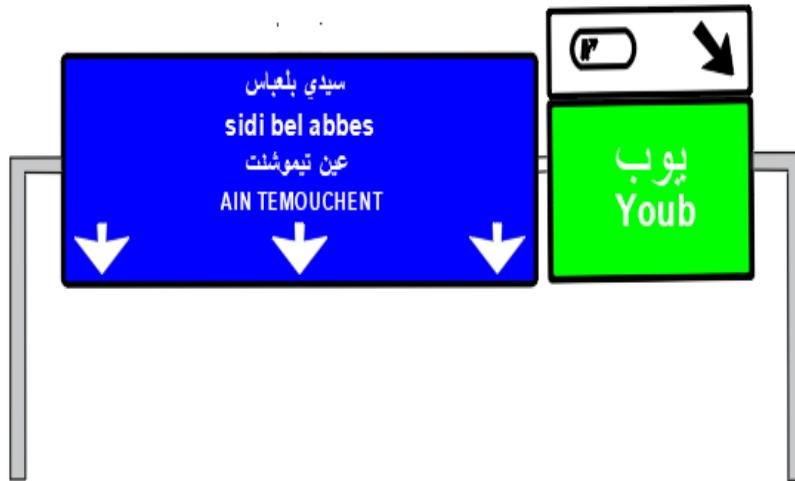
- **Balise de musoir (j14a) :**



- Balisage de virages : J4



- Panneau de signalisation de direction :



CHAPITRE XII : IMPACT SUR L'ENVIRENNEMENT

XII.1. INTRODUCTION

La construction d'infrastructures routières, bien qu'essentielle pour le développement économique et l'amélioration de la mobilité, peut générer des impacts importants sur l'environnement naturel et humain. Ainsi, toute étude de projet doit intégrer une évaluation rigoureuse des effets potentiels afin d'en limiter les conséquences négatives. L'étude d'impact sur l'environnement vise à anticiper ces effets, à proposer des mesures de réduction adaptées et à favoriser une insertion harmonieuse de l'ouvrage dans son milieu. Dans ce cadre, l'analyse porte aussi bien sur les phases de travaux que sur la phase d'exploitation, en tenant compte des aspects liés à la faune, la flore, l'air, l'eau, les sols, ainsi que sur la qualité de vie des populations riveraines.

XII.2. CADRE JURIDIQUE

L'étude d'impact d'un projet d'infrastructure en Algérie, se fait conformément au décret n° 90-78 du/17 février 1990, cette étude doit comprendre :

- Une explication approfondie du projet.
- Une étude de la situation initiale du site ainsi que de son environnement naturel et humain.
- Les actions prises pour éliminer, diminuer et compenser les préjudices causés à l'environnement.
- Estimer les dépenses liées à la protection de l'environnement.

XII.3. OBJECTIFS D'UNE ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

L'étude d'impact sur l'environnement permet d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme d'un projet et d'essayer de proposer des compensations et remèdes pour limiter au maximum les effets négatifs de ce projet, cette étude

vise à :

- Repérer et mesurer l'impact du projet sur l'environnement physique, biologique, humain, ainsi que sur le climat sonore et le paysage.
- Proposer des mesures qui visent à réduire les impacts négatifs du projet.
- Maintenir la qualité de vie des générations à venir.
- Préserver les espèces végétales et animales.

XII.4. IMPACT DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.4.1. Impacts pendant la phase de travaux

La phase de réalisation des travaux constitue la période au cours de laquelle se concrétise bon nombre de risques d'impact sur l'environnement. Ce chapitre analyse les impacts spécifiquement liés aux travaux et présentes les mesures envisagées pour les supprimer, les réduire voire les compenser.

XII.4.1.1. Impacts positifs

Le principal impact positif attendu dans la phase des travaux est la création d'emplois temporaires.

XII.4.1.2. Impacts négatifs

Les principaux impacts négatifs peuvent être énumérés comme suit :

- **Impact dû à la pollution de l'air :**

La pollution de l'air pendant la période de chantier sera caractérisée par une abondance de la poussière due essentiellement aux travaux de terrassements et des mouvements des engins de chantier.

Ces poussières vont affecter la qualité de l'air ambiant et il s'ensuivra :

- Une diminution de la visibilité.
- Une élévation du taux de brouillard.
- Une retombée des poussières sur les zones proches des sites.

- **Impacts sur la faune et la flore :**

La réalisation de projets routiers peut provoquer des effets significatifs sur la faune et la flore locales. La destruction des habitats naturels, la fragmentation des écosystèmes et l'isolement des populations animales figurent parmi les principaux impacts observés. De nombreuses espèces peuvent voir leur territoire réduit ou devenir inaccessible, ce qui perturbe leurs cycles de vie et réduit leur diversité. De plus, la pollution, le bruit et l'éclairage artificiel liés à la route affectent également le comportement et la survie de certaines espèces sensibles.

- **Impact sur l'agriculture :**

La construction de projets routiers peut entraîner la perte de terres agricoles, soit par leur expropriation directe pour l'implantation de l'infrastructure, soit par la dégradation des sols environnants. L'interruption des réseaux d'irrigation, l'érosion des sols, ainsi que l'augmentation de la pollution (air, eau, sol) peuvent également affecter négativement la productivité agricole. Par ailleurs, l'accès difficile aux exploitations en raison des travaux ou des modifications du réseau rural peut perturber les activités agricoles et compromettre les revenus des agriculteurs.

- **Impact dû à l'accroissement du bruit et vibrations :**

Les travaux de construction de la future autoroute sont générateurs d'émissions sonores et de vibrations dues aux machines et équipements lourds et légers nécessaires à la construction.

Aussi, l'augmentation du trafic routier entraînera un niveau accru de bruit.

XII.4.2. Impacts Pendant la phase d'exploitation

XII.4.2.1. Impacts positifs

Cet investissement présente une excellente rentabilité économique et constitue un véritable levier pour la relance du développement agricole, industriel et touristique. De nombreux indicateurs confirment l'importance économique de cet axe, qui desservira une large part de la population. Il contribuera au maintien et à la création d'emplois dans les régions traversées, tout en stimulant leur développement économique grâce à une meilleure accessibilité aux zones d'activités et aux sites touristiques.

XII.4.2.2. Impacts négatifs

- **Émissions sonores :**

La mise en service de l'autoroute entraînera une augmentation permanente des niveaux de bruit ambiant dans la zone d'étude, affectant la qualité de vie des riverains et perturbant l'équilibre de la faune locale.

- **Impact sur la qualité de l'air :**

Lors de l'exploitation de l'autoroute, l'augmentation du trafic routier entraînera des émissions atmosphériques polluantes, affectant la qualité de l'air pour les résidents situés à proximité.

- **Impacts sur l'agriculture :**

L'autoroute peut engendrer plusieurs impacts négatifs sur l'agriculture. L'occupation des terres pour les infrastructures réduit les surfaces cultivables, entraînant une perte de production agricole. De plus, la pollution des cultures représente un risque important : les émissions de gaz, les poussières et les produits polluants issus du trafic peuvent altérer la qualité des sols et affecter les récoltes avoisinantes.

XII.5. MESURES PRISES POUR MINIMISER LES IMPACTS

Il est important de définir les mesures qui peuvent être prises pour prévenir ou limiter les effets négatifs du projet sur l'environnement.

XII.5.1. Mesures en phase travaux

- Arrosage régulier des chantiers pour limiter la dispersion de la poussière.
- Entretien régulier des engins de chantier pour réduire les émissions polluantes.
- Le choix judicieux de l'emplacement des zones d'installation de chantier et des routes d'accès qui doit porter sur des zones le plus loin possible des secteurs sensibles et d'habitations
- Utilisation d'équipements à faibles émissions sonores et limitation des travaux durant les heures nocturnes.
- Il est nécessaire de réserver et d'aménager des espaces spécifiques pour l'entretien, le ravitaillement et le nettoyage des véhicules utilisés, afin de réduire les risques de contamination et de détérioration de la condition des eaux.
- Limitation du nombre d'engins fonctionnant simultanément.
- Planification des périodes de construction pour éviter les saisons de reproduction des animaux.
- L'indemnisation des propriétaires fonciers, de bâtiments détruits au titre des expropriations pour cause d'utilité publique.
- L'optimisation autant que possible des dérangements des autres services.
- La mise en place d'une signalisation claire des chantiers et pistes d'accès. Plusieurs passages très sensibles (hauts risques d'accidents) méritent une signalisation appropriée.
- Mise en place d'un système de suivi environnemental régulier durant la phase de travaux.
- Réalisation de rapports d'impact environnemental pour s'assurer du respect des normes et des engagements.

XII.5.2. Mesures en phase exploitation

- Mettre en place des limitations de vitesse pour réduire le bruit généré par le trafic.
- créer des passages agricoles.
- Créer des pistes parallèles.
- Contrôler et entretenir les dispositifs d'évacuation des eaux pluviales pour éviter la pollution des sols et des nappes phréatiques.
- Assurer l'entretien des revêtements pour limiter la production de poussières et d'émissions polluantes.
- Créer des passages inférieurs pour les animaux, et aussi pour drainage d'eau (les dalots ont joué les deux rôles).
- Favoriser l'utilisation de véhicules propres (électriques,...).
- Prévoir des actions de nettoyage régulières le long de la route.
- Entretien des plantations (terre-plein central, talus, etc.)
- Construction des passages inférieurs ou supérieurs pour les habitants comme les ponts pour les véhicules et les passerelles pour les piétons.

- une signalisation claire et visible pour éviter les accidents et limiter les dégradations.

XII.6. CONCLUSION

La réalisation de l'autoroute représente un projet structurant qui contribuera au développement économique, social et touristique des régions traversées. Toutefois, elle engendre également des impacts environnementaux qu'il est essentiel d'identifier, d'évaluer et de maîtriser. Grâce aux mesures prévues pour prévenir, réduire et compenser les effets négatifs, aussi bien en phase de travaux qu'en phase d'exploitation, il est possible de limiter ces impacts et d'assurer une meilleure intégration de l'infrastructure dans son environnement naturel et humain. Le suivi environnemental continu permettra d'adapter les actions si nécessaire pour garantir un développement durable et harmonieux.

CHAPITRE XIII :
DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	U	Prix Unitaire (H.T)	Quantité	Montant
1	INSTALLATIONS ET LOGISTIQUES DU CHANTIER				
1.1	Installation et rempliment du chantier.	F	770 000 000,00	1 (7%(2+3+4+5+6+7))	770 000 000,00
1.2	Etude d'exécution et dossier de récolement.	F	330 000 000,00	1 (3%(2+3+4+5+6+7))	330 000 000,00
TOTAL					1 100 000 000,00
2	TRAVAUX PREPARATION				
2.1	Scarification de la chaussée existante y compris toutes sujétions de bonne exécution.	M ²	300,00	11 000,00	3 300 000,00
2.2	Abattage des arbres.	U	7 000,00	20,00	140 000,00
2.3	Déplacement de poteaux électrique MT .	U	4 000 000,00	7,00	28 000 000,00
TOTAL					31 440 000,00
3	TERRASSEMENT				
3.1	Décapage de terre végétale ép=20 cm .	M ²	120,00	340 556,58	40 866 789,60
3.2	Déblai en terrain rocheux.	M ³	4 000,00	957 112,24	3 828 448 960,00
3.3	Déblai en terrain meuble.	M ³	800,00	106 345,81	85 076 648,00
3.4	Déblai mis en remblais.	M ³	600,00	834 957,10	500 974 260,00
TOTAL					4 455 366 657,60
4	CONSTRUCTION DU CORPS DE CHAUSSEE				
4.1	Couche de forme en grave non traitée (GNT 0/31,5)	M ³	3 000,00	76 117,00	228 351 000,00
4.2	Fourniture et mise en œuvre couche de grave bitume de classe 03(GB 0/20).	T	8 500,00	178 029,00	1 513 246 500,00
4.4	Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux (BB) de classe 0/14.	T	9 000,00	62 539,00	562 851 000,00
4.5	Couche d'imprégnation.	M ²	250,00	320 646,00	80 161 500,00
4.6	Couche d'accrochage.	M ²	200,00	625 723,00	125 144 600,00
4.7	Rechargement des bermes et TPC en TUF.	M ³	1 200,00	29 446,00	35 335 200,00
4.8	Réalisation d'une piste ép =30cm en TUF pour les riverains et les agricultures ,y compris les passages submersibles au niveau des ouvrages hydrauliques.	ML	4 000,00	6 000,00	24 000 000,00
TOTAL					2 569 089 800,00

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

5	ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE				
5.1	Construction de fossé trapézoïdal (b=50cm, h=50cm, m150cm), y compris terrassement, talutage, réglage et toutes sujétions.	ML	5 000,00	33 600,00	168 000 000,00
5.2	F/P de descentes d'eau en béton, y compris l'enrochement à l'exutoire ,terrassement, fixation, raccordement et toutes sujétions.	ML	4 000,00	6 000,00	24 000 000,00
5.3	F/P de semi-buse Φ 400.	ML	3 000,00	3 000,00	9 000 000,00
5.4	F/P de caniveau à fente en béton.	ML	12 000,00	825,00	9 900 000,00
5.5	F/P de buses Φ 1200 série 135 A en BA, y compris fouille, lit de pose, pose, remblai latéral et toutes sujétions de pose.	ML	40 000,00	135,00	5 400 000,00
5.6	F/P de buses Φ 1500 série 135 A en BA, y compris fouille, lit de pose, pose, remblai latéral et toutes sujétions de pose.	ML	50 000,00	48,00	2 400 000,00
5.7	F/P têtes simples de buse Φ 1200.	U	200 000,00	8,00	1 600 000,00
5.8	F/P têtes simples de buse Φ 1500.	U	280 000,00	2,00	560 000,00
5.9	F/P de dalots en BA (RN27), y compris terrassement, calage, remblaiement et toutes sujétions de mise en œuvre.	M ³	60 000,00	1 730,75	103 845 000,00
TOTAL					324 705 000,00
6	SIGNALISATION ET EQUIPEMENT ROUTIERS				
6.1	Marquages longitudinaux continue type 3U (22,5cm).	ML	250,00	26 651,00	6 662 750,00
6.2	Marquages longitudinaux discontinue type T1_2U (15cm).	ML	160,00	9 788,00	1 566 080,00
6.3	Marquages longitudinaux discontinue type T4_3U(22,5cm).	ML	250,00	15 025,00	3 756 250,00
6.4	Marquages longitudinaux discontinue type T'3_3U(22,5cm).	ML	250,00	1 987,00	496 750,00
6.5	Marquages longitudinaux discontinue type T2_5U(37,5cm).	ML	300,00	393,00	117 900,00
6.6	Fleche de rabattement.	U	4 000,00	4,00	16 000,00
6.7	Panneau triangulaire de très grande gamme (côté nominal 1500mm)	U	25 000,00	36,00	900 000,00
6.8	Panneau circulaire de très grande gamme (diamètre de 1250mm)	U	20 000,00	25,00	500 000,00
6.9	Panneau carré de très grande gamme (côté nominal 1050mm)	U	12 000,00	10,00	120 000,00
6.10	Panneau triangulaire de normale gamme (côté nominal 1000mm)	U	20 000,00	22,00	440 000,00
6.11	Panneau circulaire de normale gamme (diamètre de 850mm)	U	17 000,00	12,00	204 000,00
6.12	Panneau carré de normale gamme (côté nominal 700mm)	U	10 000,00	4,00	40 000,00
6.13	Panneaux de types D (Portique)	U	2 000 000,00	2,00	4 000 000,00

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

6.14	Balise de type J4	U	8 000,00	8,00	64 000,00
6.15	Balise de type J5	U	20 000,00	6,00	120 000,00
6.16	Balise de musoir de type J14a.	U	22 000,00	2,00	44 000,00
6.17	Bordures préfabriquées type T2.	ML	1 200,00	450,00	540 000,00
6.18	Glissière de sécurité en béton (DBA).	ML	15 000,00	270,00	4 050 000,00
6.19	Glissière de sécurité en béton (GBA).	ML	12 000,00	48 880,00	586 560 000,00
6.20	Cloture	ML	5 000,00	20 000,00	100 000 000,00
TOTAL					660 197 730,00
7	OUVRAGE D'ART				
7.1	Passage supérieur (en precontrainte).	M ²	350 000,00	680,00	238 000 000,00
7.2	Passage inférieur (pont mixte).	M ²	400 000,00	2 100,00	840 000 000,00
7.3	Passage inférieur (pont cadre en BA)	M ²	250 000,00	280,00	70 000 000,00
7.4	Viaduc (en precontrainte),	M ²	350 000,00	4 690,00	1 641 500 000,00
TOTAL					2 789 500 000,00
TOTAL H T	11 930 300 188,00				
TVA (19%)	2 266 757 036,00				
TOTAL TTC	14 197 057 224,00				

Le montant total est estimé à : Quatorze milliards cent quatre-vingt-dix-sept millions cinquante-sept mille deux cent vingt-quatre dinars.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) nous a permis de cerner tous les problèmes techniques susceptibles de se présenter dans un projet routier. Elle a été l'occasion de tirer profit de l'expérience de personnes du domaine et d'apprendre une méthodologie rationnelle pour élaborer un projet de travaux publics en général, et un projet routier en particulier.

Il était pour nous d'une part, l'occasion d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet de travaux publics. De plus, ce fut une opportunité pour approfondir nos connaissances et mieux maîtriser l'outil informatique, en l'occurrence les logiciels Civil 3D, AUTOCAD, et GLOBAL MAPPER, ALIZÉ LCPC et GEO5.

Enfin, l'élaboration de ce travail nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer les connaissances acquises durant nos 3 années de formation, mais aussi de mieux appréhender notre avenir professionnel. Nous serons ainsi prêts à contribuer au développement de notre pays en édifiant des infrastructures de qualité.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ICTAAL : INSTRUCTION SUR LES CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES AUTOROUTES DE LIAISON 2015.
- ICTAAL Guide Échangeur, SETRA 2015.
- AMÉNAGEMENT DES CARREFOURS INTERURBAINS SUR LES ROUTES PRINCIPALES-CARREFOURS PLANS SETRA-DECEMBRE 1998.
- B 40.
- Catalogue Algérien de dimensionnement des chaussées neuves. Ministère des Travaux Publics / « CTPP ». 2001.
- Guide des terrassements routiers GTR. SETRA – 1994.
- Guide technique Assainissement routier SETRA-2006
- Cours Enstp 1^{ère} et 2^{ème} année de route de Mr Mahrez.
- Cours Enstp 2^{ème} année de géotechnique routière Mr HAMADI KAMEL.
- Cours Enstp 2^{ème} année d'hydraulique de Mr LEFKIR.
- Thèses de route des années passées.
- Signalisation routière.
- Rapprot géotechnique de projet.
- Rapport hydraulique de projet.
- Site web : wikipedia.com.

Logiciels utilisés :

- CIVIL 3D 2023.
- GEO5.
- AUTOCAD 2023.
- ALIZE LCPC.
- GLOBAL MAPPER.
- Google Earth pro.
- Microsoft Office (word, excel).

ANNEXES

ANNEXE 1: AXE EN PLAN

Axe en plan: Axe SBA60-70

Description: Projet PFE Axe SBA60-70

Plage d'abscisse: Début: 60000.00, Fin: 70016.37

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abcisse	X	Y
			60000.00	201530.1747	3871600.2814
DR1	ANG=144.3238 (g)	165.134			
			60165.13	201656.8754	3871494.3752
ARC2	XC=197808.8635				
	YC=3866890.8109				
	R=6000.000	703.531			
			60868.66	202169.0085	3871012.5988
DR3	ANG=151.7885 (g)	913.452			
			61782.12	202796.5177	3870348.8016
ARC4	XC=196982.9910				
	YC=3864853.0845				
	R=8000.000	178.131			
			61960.25	202917.4362	3870218.0039
DR5	ANG=153.2061 (g)	1588.526			
			63548.77	203982.7255	3869039.6261
ARC6	XC=206208.1425				
	YC=3871051.4709				
	R=3000.000	489.072			
			64037.85	204338.7609	3868705.1094
DR7	ANG=142.8276 (g)	304.508			
			64342.35	204576.9229	3868515.3621

ANNEXE 1: AXE EN PLAN

ARC8	XC=203330.6685				
	YC=3866951.1211				
	R=2000.000	536.644			
			64879.00	204947.0304	3868128.9896
DR9	ANG=159.9095 (g)	224.499			
			65103.50	205079.2456	3867947.5538
ARC10	XC=206372.3351				
	YC=3868889.8486				
	R=1600.000	756.657			
			65860.15	205650.3624	3867461.9986
DR11	ANG=129.8031 (g)	285.302			
			66145.46	205904.9679	3867333.2609
ARC12	XC=207258.6667				
	YC=3870010.4795				
	R=3000.000	576.297			
			66721.75	206441.0018	3867124.0588
DR13	ANG=117.5737 (g)	440.402			
			67162.16	206864.7306	3867004.0250
CLO14	A=333.332				
	R=1000.000	111.110			
			67273.27	206971.0404	3866971.7715
ARC15	XC=206645.4817				
	YC=3866026.2497				
	R=1000.000	177.869			
			67451.13	207133.1972	3866899.2523

ANNEXE 1: AXE EN PLAN

CLO16	A=333.332				
	R=1000.000	111.110			
			67562.24	207228.1104	3866841.5155
DR17	ANG=135.9707 (g)	271.866			
			67834.11	207457.7213	3866695.9484
ARC18	XC=206601.0208				
	YC=3865344.6289				
	R=1600.000	724.085			
			68558.19	207962.3625	3866185.3124
DR19	ANG=164.7811 (g)	120.182			
			68678.38	208025.5094	3866083.0569
CLO20	A=300.000				
	R=900.000	100.000			
			68778.38	208079.6112	3865998.9721
ARC21	XC=208817.9267				
	YC=3866513.6470				
	R=900.000	357.776			
			69136.15	208336.4366	3865753.2739
CLO22	A=300.000				
	R=900.000	100.000			
			69236.15	208422.8337	3865702.9470
DR23	ANG=132.4001 (g)	206.076			
			69442.23	208602.7917	3865602.5364
ARC24	XC=210064.5451				
	YC=3868222.3221				

ANNEXE 1: AXE EN PLAN

	R=3000.000	392.614			
			69834.84	208957.1687	3865434.1834
DR25	ANG=124.0685 (g)	181.529			
			70016.37	209125.8783	3865367.1763

ANNEXE 2 : PROFIL EN LONG

Profil en long : LR AXE SBA60-70

Description: Projet PFE LR AXE SBA60-70

Plage d'abscisse : Début: 60000.00, Fin: 70016.37

LONGUEUR DE L'AXE : 10016.370m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			60000.00	690.884
D1	PENTE= -2.26%	98.551		
			60098.55	688.657
PAR1	S= 60186.62 Z=686.666			
	R= 12000.000	176.141		
			60274.69	685.968
D2	PENTE= -0.79%	75.924		
			60350.62	685.367
PAR2	S= 60836.20 Z=681.520			
	R= 50000.000	971.165		
			61321.78	668.242
D3	PENTE= -2.73%	57.678		
			61379.46	666.665
PAR3	S= 61575.00 Z=661.318			
	R= 30000.000	391.082		
			61770.54	658.520
D4	PENTE= -1.43%	164.063		
			61934.60	656.172
PAR4	S= 62121.59 Z=653.496			
	R= 15000.000	373.966		
			62308.57	646.159

ANNEXE 2 : PROFIL EN LONG

D5	PENTE= -3.92%	81.010		
			62389.58	642.980
PAR5	S= 62666.04 Z=632.132			
	R= 7000.000	552.919		
			62942.50	643.121
D6	PENTE= 3.97%	330.114		
			63272.61	656.242
PAR6	S= 63474.89 Z=664.282			
	R= 13000.000	404.546		
			63677.16	666.028
D7	PENTE= 0.86%	522.496		
			64199.66	670.536
PAR7	S= 64350.00 Z=671.834			
	R= 20000.000	300.689		
			64500.34	675.391
D8	PENTE= 2.37%	1229.139		
			65729.48	704.477
PAR8	S= 66201.02 Z=715.636			
	R= 13000.000	943.064		
			66672.55	692.587
D9	PENTE= -4.89%	292.557		
			66965.11	678.287
PAR9	S= 67136.74 Z=669.898			
	R= 6000.000	343.261		
			67308.37	671.328

ANNEXE 2 : PROFIL EN LONG

D10	PENTE= 0.83%	414.268		
			67722.63	674.779
PAR10	S= 67857.07 Z=675.898			
	R= 20000.000	268.869		
			67991.50	675.211
D11	PENTE= -0.51%	294.243		
			68285.75	673.707
PAR11	S= 68422.41 Z=673.008			
	R= 20000.000	273.318		
			68559.06	670.442
D12	PENTE= -1.88%	83.091		
			68642.16	668.881
PAR12	S= 68807.92 Z=665.768			
	R= 8000.000	331.522		
			68973.68	669.525
D13	PENTE= 2.27%	369.978		
			69343.66	677.909
PAR13	S= 69551.17 Z=682.611			
	R= 15000.000	415.022		
			69758.68	681.572
D14	PENTE= -0.50%	257.694		
			70016.37	680.282

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

Axe Axe SBA60-70:

Groupe de tabulations: GTB Axe 01

Abscisse curviligne	Surface de déblai (m ²)	Volume de déblai (m ³)	Volume réutilisable (m ³)	Surface de remblai (m ²)	Volume de remblai (m ³)	Vol. déblai cum. (m ³)	Vol. réutilisable cum. (m ³)	Vol. remblai cum. (m ³)	Vol. net cum. (m ³)
60000.00	0.00	0.00	0.00	50.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60025.00	0.27	3.38	3.38	43.60	1,172.17	3.38	1,172.17	1,172.17	-1,168.79
60050.00	1.35	20.20	20.20	29.30	911.22	23.58	2,083.39	2,083.39	-2,059.81
60075.00	5.68	87.81	87.81	12.13	517.88	111.39	2,601.27	2,601.27	-2,489.87
60100.00	23.80	368.55	368.55	0.40	156.59	479.94	2,757.85	2,757.85	-2,277.91
60125.00	60.73	1,056.67	1,056.67	0.00	4.96	1,536.61	2,762.82	2,762.82	-1,226.20
60150.00	113.40	2,176.60	2,176.60	0.00	0.00	3,713.21	2,762.82	2,762.82	950.39
60175.00	167.36	3,509.52	3,509.52	0.00	0.00	7,222.73	2,762.82	2,762.82	4,459.91
60200.00	193.78	4,514.23	4,514.23	0.00	0.00	11,736.96	2,762.82	2,762.82	8,974.15
60225.00	202.59	4,954.58	4,954.58	0.00	0.00	16,691.54	2,762.82	2,762.82	13,928.72
60250.00	202.29	5,060.96	5,060.96	0.00	0.00	21,752.50	2,762.82	2,762.82	18,989.68
60275.00	212.20	5,181.11	5,181.11	0.00	0.00	26,933.61	2,762.82	2,762.82	24,170.79
60300.00	238.49	5,633.70	5,633.70	0.00	0.00	32,567.31	2,762.82	2,762.82	29,804.49
60325.00	277.10	6,444.93	6,444.93	0.00	0.00	39,012.24	2,762.82	2,762.82	36,249.42
60350.00	288.58	7,071.02	7,071.02	0.00	0.00	46,083.25	2,762.82	2,762.82	43,320.43
60375.00	292.32	7,261.23	7,261.23	0.00	0.00	53,344.49	2,762.82	2,762.82	50,581.67
60400.00	263.73	6,950.60	6,950.60	0.00	0.00	60,295.09	2,762.82	2,762.82	57,532.27
60425.00	218.32	6,025.63	6,025.63	0.00	0.00	66,320.72	2,762.82	2,762.82	63,557.90
60450.00	200.68	5,237.51	5,237.51	0.00	0.00	71,558.23	2,762.82	2,762.82	68,795.41
60475.00	176.13	4,710.12	4,710.12	0.00	0.00	76,268.35	2,762.82	2,762.82	73,505.53
60500.00	164.24	4,254.59	4,254.59	0.00	0.00	80,522.94	2,762.82	2,762.82	77,760.12

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

60525.00	129.89	3,676.61	3,676.61	0.00	0.00	84,199.55	2,762.82	2,762.82	81,436.73
60550.00	113.11	3,037.53	3,037.53	0.00	0.00	87,237.07	2,762.82	2,762.82	84,474.26
60575.00	164.13	3,465.47	3,465.47	0.00	0.00	90,702.54	2,762.82	2,762.82	87,939.73
60600.00	163.16	4,091.08	4,091.08	0.00	0.00	94,793.62	2,762.82	2,762.82	92,030.80
60625.00	76.76	2,998.93	2,998.93	0.00	0.00	97,792.55	2,762.82	2,762.82	95,029.74
60650.00	70.57	1,841.52	1,841.52	0.00	0.00	99,634.08	2,762.82	2,762.82	96,871.26
60675.00	70.87	1,767.95	1,767.95	0.00	0.00	101,402.03	2,762.82	2,762.82	98,639.21
60700.00	80.68	1,894.37	1,894.37	0.00	0.00	103,296.40	2,762.82	2,762.82	100,533.58
60725.00	98.63	2,241.37	2,241.37	0.00	0.00	105,537.77	2,762.82	2,762.82	102,774.95
60750.00	111.73	2,629.45	2,629.45	0.00	0.00	108,167.22	2,762.82	2,762.82	105,404.41
60775.00	130.68	3,030.10	3,030.10	0.00	0.00	111,197.32	2,762.82	2,762.82	108,434.50
60800.00	142.87	3,419.45	3,419.45	0.00	0.00	114,616.77	2,762.82	2,762.82	111,853.95
60825.00	136.03	3,486.26	3,486.26	0.00	0.00	118,103.02	2,762.82	2,762.82	115,340.20
60850.00	125.55	3,269.65	3,269.65	0.00	0.00	121,372.67	2,762.82	2,762.82	118,609.85
60875.00	128.08	3,170.31	3,170.31	0.00	0.00	124,542.98	2,762.82	2,762.82	121,780.16
60900.00	105.95	2,925.40	2,925.40	0.00	0.00	127,468.38	2,762.82	2,762.82	124,705.56
60925.00	80.10	2,325.62	2,325.62	0.00	0.00	129,794.00	2,762.82	2,762.82	127,031.18
60950.00	56.75	1,710.61	1,710.61	0.00	0.00	131,504.61	2,762.82	2,762.82	128,741.79
60975.00	36.75	1,168.81	1,168.81	0.00	0.00	132,673.42	2,762.82	2,762.82	129,910.60
61000.00	14.61	642.02	642.02	0.07	0.91	133,315.44	2,763.72	2,763.72	130,551.72
61025.00	1.11	196.50	196.50	4.80	60.86	133,511.94	2,824.58	2,824.58	130,687.36
61050.00	0.00	13.88	13.88	19.90	308.67	133,525.82	3,133.25	3,133.25	130,392.57
61075.00	0.00	0.00	0.00	35.50	692.46	133,525.82	3,825.70	3,825.70	129,700.11
61100.00	0.00	0.00	0.00	53.90	1,117.44	133,525.82	4,943.14	4,943.14	128,582.67
61125.00	0.00	0.00	0.00	62.80	1,458.74	133,525.82	6,401.88	6,401.88	127,123.93

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

61150.00	0.00	0.00	0.00	69.90	1,658.81	133,525.82	8,060.69	8,060.69	125,465.13
61175.00	0.00	0.00	0.00	67.88	1,722.26	133,525.82	9,782.95	9,782.95	123,742.87
61200.00	0.00	0.00	0.00	57.13	1,562.61	133,525.82	11,345.56	11,345.56	122,180.26
61225.00	0.21	2.59	2.59	50.21	1,341.68	133,528.41	12,687.24	12,687.24	120,841.16
61250.00	2.42	32.79	32.79	45.50	1,196.35	133,561.20	13,883.59	13,883.59	119,677.61
61275.00	10.70	163.95	163.95	21.64	839.32	133,725.15	14,722.91	14,722.91	119,002.24
61300.00	31.16	523.20	523.20	0.68	279.07	134,248.34	15,001.98	15,001.98	119,246.37
61325.00	86.25	1,467.52	1,467.52	0.00	8.53	135,715.87	15,010.51	15,010.51	120,705.36
61350.00	113.33	2,494.74	2,494.74	0.00	0.00	138,210.61	15,010.51	15,010.51	123,200.10
61375.00	139.38	3,158.95	3,158.95	0.00	0.00	141,369.56	15,010.51	15,010.51	126,359.05
61400.00	145.17	3,556.93	3,556.93	0.00	0.00	144,926.49	15,010.51	15,010.51	129,915.98
61425.00	153.86	3,737.92	3,737.92	0.00	0.00	148,664.41	15,010.51	15,010.51	133,653.90
61450.00	142.48	3,704.29	3,704.29	0.00	0.00	152,368.70	15,010.51	15,010.51	137,358.19
61475.00	140.04	3,531.50	3,531.50	0.00	0.00	155,900.20	15,010.51	15,010.51	140,889.69
61500.00	129.57	3,370.06	3,370.06	0.00	0.00	159,270.26	15,010.51	15,010.51	144,259.76
61525.00	80.48	2,625.59	2,625.59	0.00	0.00	161,895.85	15,010.51	15,010.51	146,885.34
61550.00	45.03	1,568.87	1,568.87	0.00	0.00	163,464.72	15,010.51	15,010.51	148,454.22
61575.00	2.53	594.48	594.48	2.71	33.86	164,059.20	15,044.37	15,044.37	149,014.83
61600.00	0.00	31.61	31.61	41.52	552.92	164,090.81	15,597.29	15,597.29	148,493.52
61625.00	0.00	0.00	0.00	84.27	1,572.43	164,090.81	17,169.72	17,169.72	146,921.09
61650.00	0.00	0.00	0.00	137.14	2,767.66	164,090.81	19,937.38	19,937.38	144,153.43
61675.00	0.00	0.00	0.00	222.14	4,491.04	164,090.81	24,428.42	24,428.42	139,662.39
61700.00	0.00	0.00	0.00	217.16	5,491.25	164,090.81	29,919.67	29,919.67	134,171.15
61725.00	0.00	0.00	0.00	132.45	4,370.16	164,090.81	34,289.83	34,289.83	129,800.98
61750.00	0.00	0.00	0.00	104.98	2,967.91	164,090.81	37,257.74	37,257.74	126,833.07

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

61775.00	0.00	0.00	0.00	97.36	2,529.30	164,090.81	39,787.04	39,787.04	124,303.77
61800.00	0.00	0.00	0.00	90.42	2,347.36	164,090.81	42,134.40	42,134.40	121,956.41
61825.00	0.00	0.00	0.00	80.47	2,136.22	164,090.81	44,270.63	44,270.63	119,820.19
61850.00	0.44	5.50	5.50	33.62	1,426.11	164,096.32	45,696.74	45,696.74	118,399.58
61875.00	15.21	195.68	195.68	2.57	452.32	164,292.00	46,149.05	46,149.05	118,142.94
61900.00	46.46	770.87	770.87	0.00	32.13	165,062.87	46,181.18	46,181.18	118,881.69
61925.00	67.98	1,430.41	1,430.41	0.00	0.00	166,493.28	46,181.19	46,181.19	120,312.10
61950.00	64.81	1,659.79	1,659.79	0.00	0.00	168,153.08	46,181.19	46,181.19	121,971.89
61975.00	42.21	1,337.64	1,337.64	0.00	0.00	169,490.71	46,181.19	46,181.19	123,309.53
62000.00	45.85	1,100.72	1,100.72	0.00	0.00	170,591.43	46,181.19	46,181.19	124,410.25
62025.00	140.01	2,323.29	2,323.29	0.00	0.00	172,914.72	46,181.19	46,181.19	126,733.54
62050.00	222.15	4,527.06	4,527.06	0.00	0.00	177,441.79	46,181.19	46,181.19	131,260.60
62075.00	295.83	6,474.75	6,474.75	0.00	0.00	183,916.54	46,181.19	46,181.19	137,735.35
62100.00	358.60	8,180.33	8,180.33	0.00	0.00	192,096.86	46,181.19	46,181.19	145,915.68
62125.00	400.53	9,489.15	9,489.15	0.00	0.00	201,586.01	46,181.19	46,181.19	155,404.83
62150.00	427.66	10,352.45	10,352.45	0.00	0.00	211,938.46	46,181.19	46,181.19	165,757.28
62175.00	453.44	11,013.74	11,013.74	0.00	0.00	222,952.20	46,181.19	46,181.19	176,771.01
62200.00	494.04	11,843.42	11,843.42	0.00	0.00	234,795.62	46,181.19	46,181.19	188,614.43
62225.00	503.01	12,463.13	12,463.13	0.00	0.00	247,258.74	46,181.19	46,181.19	201,077.56
62250.00	419.91	11,536.48	11,536.48	0.00	0.00	258,795.22	46,181.19	46,181.19	212,614.03
62275.00	340.87	9,509.73	9,509.73	0.00	0.00	268,304.94	46,181.19	46,181.19	222,123.76
62300.00	160.45	6,266.49	6,266.49	0.00	0.00	274,571.44	46,181.19	46,181.19	228,390.25
62325.00	34.41	2,435.77	2,435.77	14.54	181.75	277,007.21	46,362.94	46,362.94	230,644.27
62350.00	0.00	430.18	430.18	123.45	1,724.92	277,437.38	48,087.85	48,087.85	229,349.53
62375.00	0.00	0.00	0.00	264.84	4,853.66	277,437.38	52,941.51	52,941.51	224,495.87

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

62400.00	0.00	0.00	0.00	321.76	7,332.50	277,437.38	60,274.01	60,274.01	217,163.37
62425.00	0.00	0.00	0.00	340.49	8,278.14	277,437.38	68,552.15	68,552.15	208,885.23
62450.00	0.00	0.00	0.00	345.78	8,578.35	277,437.38	77,130.51	77,130.51	200,306.88
62475.00	0.00	0.00	0.00	352.82	8,732.43	277,437.38	85,862.94	85,862.94	191,574.45
62500.00	0.00	0.00	0.00	355.16	8,849.71	277,437.38	94,712.65	94,712.65	182,724.73
62525.00	0.00	0.00	0.00	385.80	9,261.99	277,437.38	103,974.64	103,974.64	173,462.74
62550.00	0.00	0.00	0.00	395.34	9,764.25	277,437.38	113,738.90	113,738.90	163,698.49
62575.00	0.00	0.00	0.00	365.43	9,509.67	277,437.38	123,248.57	123,248.57	154,188.81
62600.00	0.00	0.00	0.00	451.79	10,215.34	277,437.38	133,463.91	133,463.91	143,973.48
62625.00	0.00	0.00	0.00	503.43	11,940.24	277,437.38	145,404.15	145,404.15	132,033.24
62650.00	0.00	0.00	0.00	560.92	13,304.37	277,437.38	158,708.52	158,708.52	118,728.86
62675.00	0.00	0.00	0.00	574.33	14,190.70	277,437.38	172,899.23	172,899.23	104,538.16
62700.00	0.00	0.00	0.00	543.10	13,967.84	277,437.38	186,867.07	186,867.07	90,570.32
62725.00	0.00	0.00	0.00	472.30	12,692.39	277,437.38	199,559.46	199,559.46	77,877.93
62750.00	0.00	0.00	0.00	324.20	9,956.16	277,437.38	209,515.62	209,515.62	67,921.77
62775.00	0.00	0.00	0.00	272.17	7,454.55	277,437.38	216,970.17	216,970.17	60,467.21
62800.00	0.00	0.00	0.00	216.48	6,108.15	277,437.38	223,078.32	223,078.32	54,359.06
62825.00	0.00	0.00	0.00	171.49	4,849.69	277,437.38	227,928.01	227,928.01	49,509.37
62850.00	0.00	0.00	0.00	128.90	3,754.90	277,437.38	231,682.91	231,682.91	45,754.47
62875.00	0.00	0.00	0.00	79.96	2,610.77	277,437.38	234,293.69	234,293.69	43,143.70
62900.00	0.00	0.00	0.00	41.74	1,521.26	277,437.38	235,814.95	235,814.95	41,622.43
62925.00	5.36	66.95	66.95	2.73	555.83	277,504.34	236,370.78	236,370.78	41,133.56
62950.00	16.92	278.51	278.51	0.02	34.32	277,782.85	236,405.10	236,405.10	41,377.75
62975.00	4.79	271.38	271.38	3.25	40.89	278,054.23	236,445.99	236,445.99	41,608.24
63000.00	1.08	73.37	73.37	9.55	159.95	278,127.60	236,605.94	236,605.94	41,521.66

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

63025.00	0.36	18.07	18.07	24.66	427.55	278,145.67	237,033.50	237,033.50	41,112.18
63050.00	0.08	5.53	5.53	29.78	680.49	278,151.20	237,713.98	237,713.98	40,437.22
63075.00	0.00	1.01	1.01	34.46	802.98	278,152.21	238,516.96	238,516.96	39,635.25
63100.00	0.00	0.00	0.00	42.93	967.37	278,152.21	239,484.33	239,484.33	38,667.88
63125.00	0.00	0.00	0.00	57.07	1,250.01	278,152.21	240,734.34	240,734.34	37,417.87
63150.00	0.00	0.00	0.00	65.64	1,533.87	278,152.21	242,268.22	242,268.22	35,883.99
63175.00	0.00	0.00	0.00	59.37	1,562.61	278,152.21	243,830.83	243,830.83	34,321.38
63200.00	0.00	0.00	0.00	73.16	1,656.61	278,152.21	245,487.44	245,487.44	32,664.77
63225.00	0.00	0.00	0.00	72.87	1,825.36	278,152.21	247,312.80	247,312.80	30,839.41
63250.00	0.00	0.00	0.00	87.95	2,010.27	278,152.21	249,323.07	249,323.07	28,829.14
63275.00	0.00	0.00	0.00	96.98	2,311.63	278,152.21	251,634.70	251,634.70	26,517.51
63300.00	0.00	0.00	0.00	99.94	2,461.50	278,152.21	254,096.20	254,096.20	24,056.01
63325.00	0.00	0.00	0.00	101.84	2,522.31	278,152.21	256,618.51	256,618.51	21,533.70
63350.00	0.00	0.00	0.00	97.72	2,494.54	278,152.21	259,113.05	259,113.05	19,039.16
63375.00	0.00	0.00	0.00	99.41	2,464.08	278,152.21	261,577.13	261,577.13	16,575.08
63400.00	0.00	0.00	0.00	117.27	2,708.39	278,152.21	264,285.52	264,285.52	13,866.69
63425.00	0.00	0.00	0.00	224.01	4,265.98	278,152.21	268,551.49	268,551.49	9,600.72
63450.00	0.00	0.00	0.00	232.96	5,712.19	278,152.21	274,263.68	274,263.68	3,888.53
63475.00	0.00	0.00	0.00	249.50	6,030.79	278,152.21	280,294.47	280,294.47	-2,142.26
63500.00	0.00	0.00	0.00	308.89	6,979.88	278,152.21	287,274.35	287,274.35	-9,122.14
63525.00	0.00	0.00	0.00	341.71	8,132.55	278,152.21	295,406.89	295,406.89	-17,254.68
63550.00	0.00	0.00	0.00	356.91	8,732.80	278,152.21	304,139.69	304,139.69	-25,987.48
63575.00	0.00	0.00	0.00	326.01	8,536.48	278,152.21	312,676.17	312,676.17	-34,523.96
63600.00	0.00	0.00	0.00	401.37	9,092.21	278,152.21	321,768.38	321,768.38	-43,616.17
63625.00	0.00	0.00	0.00	229.75	7,889.01	278,152.21	329,657.39	329,657.39	-51,505.18

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

63650.00	0.00	0.00	0.00	221.81	5,644.52	278,152.21	335,301.91	335,301.91	-57,149.70
63675.00	0.00	0.00	0.00	266.59	6,104.93	278,152.21	341,406.83	341,406.83	-63,254.63
63700.00	0.00	0.00	0.00	169.35	5,449.17	278,152.21	346,856.00	346,856.00	-68,703.80
63725.00	0.00	0.00	0.00	184.10	4,418.04	278,152.21	351,274.05	351,274.05	-73,121.84
63750.00	0.00	0.00	0.00	165.62	4,371.50	278,152.21	355,645.55	355,645.55	-77,493.34
63775.00	0.00	0.00	0.00	151.61	3,965.44	278,152.21	359,610.99	359,610.99	-81,458.78
63800.00	0.00	0.00	0.00	129.87	3,518.53	278,152.21	363,129.52	363,129.52	-84,977.31
63825.00	0.00	0.00	0.00	94.84	2,808.89	278,152.21	365,938.41	365,938.41	-87,786.20
63850.00	0.00	0.00	0.00	58.27	1,913.90	278,152.21	367,852.30	367,852.30	-89,700.10
63875.00	3.27	40.86	40.86	25.54	1,047.68	278,193.07	368,899.99	368,899.99	-90,706.92
63900.00	18.56	272.85	272.85	6.26	397.52	278,465.92	369,297.51	369,297.51	-90,831.59
63925.00	62.36	1,011.54	1,011.54	0.00	78.24	279,477.46	369,375.75	369,375.75	-89,898.29
63950.00	51.72	1,426.05	1,426.05	0.35	4.34	280,903.51	369,380.09	369,380.09	-88,476.58
63975.00	37.59	1,116.36	1,116.36	0.18	6.62	282,019.87	369,386.71	369,386.71	-87,366.84
64000.00	16.47	675.77	675.77	2.52	33.76	282,695.64	369,420.46	369,420.46	-86,724.83
64025.00	5.35	272.75	272.75	17.02	244.28	282,968.38	369,664.74	369,664.74	-86,696.36
64050.00	0.01	66.95	66.95	38.38	692.50	283,035.33	370,357.24	370,357.24	-87,321.91
64075.00	0.00	0.12	0.12	90.09	1,605.84	283,035.46	371,963.08	371,963.08	-88,927.62
64100.00	0.00	0.00	0.00	140.56	2,883.19	283,035.46	374,846.26	374,846.26	-91,810.81
64125.00	0.00	0.00	0.00	126.82	3,342.24	283,035.46	378,188.50	378,188.50	-95,153.05
64150.00	0.00	0.00	0.00	106.81	2,920.30	283,035.46	381,108.80	381,108.80	-98,073.34
64175.00	0.00	0.00	0.00	111.42	2,727.91	283,035.46	383,836.71	383,836.71	-100,801.25
64200.00	0.00	0.00	0.00	110.73	2,776.94	283,035.46	386,613.65	386,613.65	-103,578.19

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

64225.00	0.00	0.00	0.00	76.40	2,339.13	283,035.46	388,952.78	388,952.78	-105,917.33
64250.00	0.00	0.00	0.00	44.19	1,507.43	283,035.46	390,460.21	390,460.21	-107,424.76
64275.00	1.84	22.96	22.96	10.04	677.95	283,058.41	391,138.16	391,138.16	-108,079.75
64300.00	19.49	266.54	266.54	0.07	126.43	283,324.95	391,264.59	391,264.59	-107,939.64
64325.00	47.16	833.02	833.02	0.00	0.90	284,157.97	391,265.50	391,265.50	-107,107.52
64350.00	52.64	1,247.49	1,247.49	0.00	0.00	285,405.46	391,265.50	391,265.50	-105,860.04
64375.00	51.64	1,303.60	1,303.60	0.00	0.00	286,709.06	391,265.50	391,265.50	-104,556.44
64400.00	25.76	967.60	967.60	0.24	3.00	287,676.66	391,268.50	391,268.50	-103,591.84
64425.00	6.17	399.23	399.23	8.34	107.28	288,075.88	391,375.77	391,375.77	-103,299.89
64450.00	0.31	81.01	81.01	32.43	509.61	288,156.89	391,885.38	391,885.38	-103,728.49
64475.00	0.16	5.78	5.78	43.19	945.24	288,162.67	392,830.62	392,830.62	-104,667.95
64500.00	0.00	1.95	1.95	106.90	1,876.12	288,164.62	394,706.74	394,706.74	-106,542.12
64525.00	0.00	0.00	0.00	142.63	3,119.13	288,164.62	397,825.87	397,825.87	-109,661.25
64550.00	0.00	0.00	0.00	111.37	3,175.03	288,164.62	401,000.90	401,000.90	-112,836.28
64575.00	0.00	0.00	0.00	110.57	2,774.19	288,164.62	403,775.09	403,775.09	-115,610.47
64600.00	0.00	0.00	0.00	130.12	3,008.64	288,164.62	406,783.73	406,783.73	-118,619.11
64625.00	0.00	0.00	0.00	128.86	3,237.34	288,164.62	410,021.07	410,021.07	-121,856.45

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

64650.00	0.00	0.00	0.00	90.61	2,743.42	288,164.62	412,764.49	412,764.49	-124,599.87
64675.00	0.00	0.00	0.00	86.15	2,209.51	288,164.62	414,974.00	414,974.00	-126,809.38
64700.00	0.00	0.00	0.00	79.27	2,067.75	288,164.62	417,041.74	417,041.74	-128,877.12
64725.00	0.00	0.00	0.00	66.51	1,822.29	288,164.62	418,864.03	418,864.03	-130,699.41
64750.00	0.00	0.00	0.00	56.79	1,541.28	288,164.62	420,405.31	420,405.31	-132,240.69
64775.00	0.00	0.00	0.00	44.55	1,266.79	288,164.62	421,672.10	421,672.10	-133,507.48
64800.00	2.10	26.30	26.30	13.34	723.67	288,190.92	422,395.77	422,395.77	-134,204.85
64825.00	17.18	241.04	241.04	0.44	172.27	288,431.96	422,568.04	422,568.04	-134,136.08
64850.00	67.73	1,061.35	1,061.35	0.00	5.53	289,493.31	422,573.57	422,573.57	-133,080.25
64875.00	77.28	1,812.59	1,812.59	0.00	0.00	291,305.90	422,573.57	422,573.57	-131,267.66
64900.00	111.98	2,365.71	2,365.71	0.00	0.00	293,671.61	422,573.57	422,573.57	-128,901.95
64925.00	159.17	3,389.41	3,389.41	0.00	0.00	297,061.02	422,573.57	422,573.57	-125,512.55
64950.00	218.06	4,715.39	4,715.39	0.00	0.00	301,776.41	422,573.57	422,573.57	-120,797.16
64975.00	299.70	6,472.01	6,472.01	0.00	0.00	308,248.42	422,573.57	422,573.57	-114,325.15
65000.00	460.36	9,500.77	9,500.77	0.00	0.00	317,749.18	422,573.57	422,573.57	-104,824.38
65025.00	518.67	12,237.80	12,237.80	0.00	0.00	329,986.98	422,573.57	422,573.57	-92,586.58
65050.00	569.15	13,597.66	13,597.66	0.00	0.00	343,584.64	422,573.57	422,573.57	-78,988.93
65075.00	393.37	12,031.41	12,031.41	0.00	0.00	355,616.05	422,573.57	422,573.57	-66,957.52

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

65100.00	304.97	8,729.26	8,729.26	0.00	0.00	364,345.30	422,573.57	422,573.57	-58,228.26
65125.00	210.06	6,437.87	6,437.87	0.00	0.00	370,783.17	422,573.57	422,573.57	-51,790.40
65150.00	160.78	4,635.48	4,635.48	0.00	0.00	375,418.65	422,573.57	422,573.57	-47,154.92
65175.00	108.59	3,367.16	3,367.16	0.00	0.00	378,785.81	422,573.57	422,573.57	-43,787.76
65200.00	60.46	2,113.16	2,113.16	0.00	0.00	380,898.97	422,573.57	422,573.57	-41,674.59
65225.00	59.17	1,495.36	1,495.36	0.00	0.00	382,394.33	422,573.57	422,573.57	-40,179.23
65250.00	66.16	1,566.55	1,566.55	0.00	0.00	383,960.88	422,573.57	422,573.57	-38,612.69
65275.00	70.17	1,704.07	1,704.07	0.00	0.00	385,664.96	422,573.57	422,573.57	-36,908.61
65300.00	71.84	1,775.12	1,775.12	0.00	0.00	387,440.08	422,573.57	422,573.57	-35,133.49
65325.00	71.91	1,796.86	1,796.86	0.00	0.00	389,236.94	422,573.57	422,573.57	-33,336.63
65350.00	68.43	1,754.19	1,754.19	0.00	0.00	390,991.13	422,573.57	422,573.57	-31,582.43
65375.00	78.14	1,832.16	1,832.16	0.00	0.00	392,823.29	422,573.57	422,573.57	-29,750.27
65400.00	79.55	1,971.20	1,971.20	0.00	0.00	394,794.49	422,573.57	422,573.57	-27,779.08
65425.00	60.13	1,746.07	1,746.07	0.00	0.00	396,540.56	422,573.57	422,573.57	-26,033.01
65450.00	33.83	1,174.57	1,174.57	0.05	0.61	397,715.12	422,574.17	422,574.17	-24,859.05
65475.00	0.00	422.89	422.89	53.75	672.51	398,138.02	423,246.68	423,246.68	-25,108.66
65500.00	0.00	0.00	0.00	205.70	3,243.09	398,138.02	426,489.77	426,489.77	-28,351.75
65525.00	0.00	0.00	0.00	223.30	5,362.47	398,138.02	431,852.24	431,852.24	-33,714.22
65550.00	0.00	0.00	0.00	174.76	4,975.79	398,138.02	436,828.03	436,828.03	-38,690.01
65575.00	0.00	0.00	0.00	179.56	4,428.99	398,138.02	441,257.02	441,257.02	-43,119.01
65600.00	0.00	0.00	0.00	187.80	4,591.96	398,138.02	445,848.98	445,848.98	-47,710.96
65625.00	0.00	0.00	0.00	208.48	4,953.51	398,138.02	450,802.49	450,802.49	-52,664.47
65650.00	0.00	0.00	0.00	257.91	5,829.85	398,138.02	456,632.34	456,632.34	-58,494.32
65675.00	0.00	0.00	0.00	316.45	7,179.40	398,138.02	463,811.74	463,811.74	-65,673.73
65700.00	0.00	0.00	0.00	333.78	8,127.87	398,138.02	471,939.61	471,939.61	-73,801.59

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

65725.00	0.00	0.00	0.00	384.84	8,982.73	398,138.02	480,922.35	480,922.35	-82,784.33
65750.00	0.00	0.00	0.00	272.43	8,215.81	398,138.02	489,138.15	489,138.15	-91,000.14
65775.00	0.00	0.00	0.00	225.47	6,223.72	398,138.02	495,361.88	495,361.88	-97,223.86
65800.00	0.51	6.39	6.39	141.51	4,587.27	398,144.41	499,949.15	499,949.15	-101,804.74
65825.00	24.51	312.74	312.74	51.45	2,412.05	398,457.14	502,361.19	502,361.19	-103,904.05
65850.00	65.52	1,125.34	1,125.34	4.75	702.56	399,582.48	503,063.76	503,063.76	-103,481.28
65875.00	119.46	2,312.30	2,312.30	0.00	59.43	401,894.78	503,123.18	503,123.18	-101,228.40
65900.00	142.28	3,271.79	3,271.79	0.00	0.00	405,166.57	503,123.18	503,123.18	-97,956.61
65925.00	156.86	3,739.25	3,739.25	0.00	0.00	408,905.82	503,123.18	503,123.18	-94,217.36
65950.00	168.93	4,072.39	4,072.39	0.00	0.00	412,978.21	503,123.18	503,123.18	-90,144.97
65975.00	233.25	5,027.20	5,027.20	0.00	0.00	418,005.41	503,123.18	503,123.18	-85,117.77
66000.00	325.11	6,979.45	6,979.45	0.00	0.00	424,984.86	503,123.18	503,123.18	-78,138.32
66025.00	442.79	9,598.72	9,598.72	0.00	0.00	434,583.59	503,123.18	503,123.18	-68,539.59
66050.00	572.38	12,689.61	12,689.61	0.00	0.00	447,273.20	503,123.18	503,123.18	-55,849.98
66075.00	674.72	15,588.70	15,588.70	0.00	0.00	462,861.90	503,123.18	503,123.18	-40,261.28
66100.00	761.52	17,952.89	17,952.89	0.00	0.00	480,814.79	503,123.18	503,123.18	-22,308.39
66125.00	761.65	19,039.59	19,039.59	0.00	0.00	499,854.38	503,123.18	503,123.18	-3,268.80
66150.00	678.16	17,997.68	17,997.68	0.00	0.00	517,852.06	503,123.18	503,123.18	14,728.88
66175.00	621.82	16,249.73	16,249.73	0.00	0.00	534,101.79	503,123.18	503,123.18	30,978.61
66200.00	617.85	15,495.84	15,495.84	0.00	0.00	549,597.64	503,123.18	503,123.18	46,474.45
66225.00	615.79	15,420.50	15,420.50	0.00	0.00	565,018.14	503,123.18	503,123.18	61,894.96
66250.00	620.81	15,457.46	15,457.46	0.00	0.00	580,475.60	503,123.18	503,123.18	77,352.42
66275.00	647.04	15,848.11	15,848.11	0.00	0.00	596,323.71	503,123.18	503,123.18	93,200.53

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

66300.00	708.62	16,945.72	16,945.72	0.00	0.00	613,269.43	503,123.18	503,123.18	110,146.25
66325.00	763.64	18,403.15	18,403.15	0.00	0.00	631,672.59	503,123.18	503,123.18	128,549.40
66350.00	837.95	20,019.82	20,019.82	0.00	0.00	651,692.41	503,123.18	503,123.18	148,569.22
66375.00	925.08	22,037.92	22,037.92	0.00	0.00	673,730.33	503,123.18	503,123.18	170,607.14
66400.00	974.00	23,738.53	23,738.53	0.00	0.00	697,468.85	503,123.18	503,123.18	194,345.67
66425.00	982.95	24,461.87	24,461.87	0.00	0.00	721,930.72	503,123.18	503,123.18	218,807.54
66450.00	966.03	24,362.30	24,362.30	0.00	0.00	746,293.02	503,123.18	503,123.18	243,169.84
66475.00	933.86	23,748.63	23,748.63	0.00	0.00	770,041.65	503,123.18	503,123.18	266,918.47
66500.00	835.03	22,111.08	22,111.08	0.00	0.00	792,152.73	503,123.18	503,123.18	289,029.55
66525.00	738.05	19,663.50	19,663.50	0.00	0.00	811,816.24	503,123.18	503,123.18	308,693.05
66550.00	698.85	17,961.30	17,961.30	0.00	0.00	829,777.53	503,123.18	503,123.18	326,654.35
66575.00	652.34	16,889.97	16,889.97	0.00	0.00	846,667.50	503,123.18	503,123.18	343,544.32
66600.00	567.53	15,248.37	15,248.37	0.00	0.00	861,915.87	503,123.18	503,123.18	358,792.69
66625.00	520.12	13,595.56	13,595.56	0.00	0.00	875,511.44	503,123.18	503,123.18	372,388.25
66650.00	489.78	12,623.76	12,623.76	0.00	0.00	888,135.20	503,123.18	503,123.18	385,012.02
66675.00	437.10	11,585.97	11,585.97	0.00	0.00	899,721.17	503,123.18	503,123.18	396,597.99
66700.00	384.39	10,268.54	10,268.54	0.00	0.00	909,989.71	503,123.18	503,123.18	406,866.53
66725.00	320.24	8,807.86	8,807.86	0.00	0.00	918,797.57	503,123.18	503,123.18	415,674.39
66750.00	238.65	6,986.20	6,986.20	0.00	0.00	925,783.77	503,123.18	503,123.18	422,660.59
66775.00	163.56	5,027.63	5,027.63	0.00	0.00	930,811.40	503,123.18	503,123.18	427,688.22
66800.00	116.22	3,497.22	3,497.22	0.00	0.00	934,308.63	503,123.18	503,123.18	431,185.44
66825.00	59.45	2,195.92	2,195.92	0.00	0.00	936,504.55	503,123.18	503,123.18	433,381.37
66850.00	9.91	867.06	867.06	1.98	24.76	937,371.61	503,147.94	503,147.94	434,223.67
66875.00	3.62	169.19	169.19	16.03	225.13	937,540.80	503,373.07	503,373.07	434,167.73
66900.00	0.02	45.54	45.54	29.60	570.43	937,586.34	503,943.50	503,943.50	433,642.84

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

66925.00	0.00	0.25	0.25	42.22	897.80	937,586.59	504,841.30	504,841.30	432,745.29
66950.00	0.00	0.00	0.00	54.61	1,210.37	937,586.59	506,051.67	506,051.67	431,534.93
66975.00	0.00	0.00	0.00	58.29	1,411.19	937,586.59	507,462.86	507,462.86	430,123.73
67000.00	0.00	0.00	0.00	56.16	1,430.53	937,586.59	508,893.39	508,893.39	428,693.20
67025.00	0.51	6.36	6.36	24.55	1,008.81	937,592.95	509,902.20	509,902.20	427,690.75
67050.00	0.26	9.58	9.58	19.66	552.59	937,602.53	510,454.79	510,454.79	427,147.74
67075.00	0.00	3.22	3.22	32.90	657.02	937,605.75	511,111.81	511,111.81	426,493.93
67100.00	0.00	0.00	0.00	48.71	1,020.10	937,605.75	512,131.91	512,131.91	425,473.84
67125.00	0.00	0.00	0.00	48.12	1,210.34	937,605.75	513,342.25	513,342.25	424,263.50
67150.00	0.00	0.00	0.00	62.16	1,378.56	937,605.75	514,720.80	514,720.80	422,884.94
67175.00	0.00	0.00	0.00	99.45	2,020.15	937,605.75	516,740.95	516,740.95	420,864.79
67200.00	0.00	0.00	0.00	127.67	2,838.95	937,605.75	519,579.90	519,579.90	418,025.85
67225.00	0.00	0.00	0.00	174.08	3,771.86	937,605.75	523,351.76	523,351.76	414,253.99
67250.00	0.00	0.00	0.00	238.48	5,156.96	937,605.75	528,508.72	528,508.72	409,097.03
67275.00	0.00	0.00	0.00	289.48	6,610.39	937,605.75	535,119.11	535,119.11	402,486.64
67300.00	0.00	0.00	0.00	339.79	7,881.08	937,605.75	543,000.19	543,000.19	394,605.56
67325.00	0.00	0.00	0.00	320.17	8,253.99	937,605.75	551,254.17	551,254.17	386,351.57
67350.00	0.00	0.00	0.00	167.19	6,092.90	937,605.75	557,347.07	557,347.07	380,258.68
67375.00	0.00	0.00	0.00	159.33	4,086.43	937,605.75	561,433.50	561,433.50	376,172.24
67400.00	0.00	0.00	0.00	133.19	3,662.55	937,605.75	565,096.05	565,096.05	372,509.70
67425.00	0.00	0.00	0.00	126.97	3,260.80	937,605.75	568,356.85	568,356.85	369,248.89
67450.00	0.00	0.00	0.00	124.00	3,146.18	937,605.75	571,503.04	571,503.04	366,102.71
67475.00	0.00	0.00	0.00	153.95	3,486.34	937,605.75	574,989.37	574,989.37	362,616.37
67500.00	0.00	0.00	0.00	109.72	3,295.86	937,605.75	578,285.23	578,285.23	359,320.52
67525.00	0.00	0.00	0.00	89.20	2,486.53	937,605.75	580,771.76	580,771.76	356,833.98

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

67550.00	0.00	0.00	0.00	115.14	2,554.26	937,605.75	583,326.02	583,326.02	354,279.72
67575.00	0.00	0.00	0.00	104.01	2,739.40	937,605.75	586,065.42	586,065.42	351,540.32
67600.00	0.00	0.00	0.00	98.45	2,530.80	937,605.75	588,596.23	588,596.23	349,009.52
67625.00	0.00	0.00	0.00	88.92	2,342.15	937,605.75	590,938.38	590,938.38	346,667.37
67650.00	0.00	0.00	0.00	86.46	2,192.33	937,605.75	593,130.71	593,130.71	344,475.04
67675.00	0.00	0.00	0.00	86.62	2,163.56	937,605.75	595,294.27	595,294.27	342,311.47
67700.00	0.00	0.00	0.00	86.31	2,161.65	937,605.75	597,455.92	597,455.92	340,149.83
67725.00	0.00	0.00	0.00	81.28	2,094.83	937,605.75	599,550.75	599,550.75	338,055.00
67750.00	7.78	97.27	97.27	48.34	1,620.22	937,703.01	601,170.97	601,170.97	336,532.04
67775.00	9.80	219.77	219.77	60.05	1,354.87	937,922.78	602,525.85	602,525.85	335,396.94
67800.00	0.00	122.50	122.50	81.12	1,764.64	938,045.28	604,290.49	604,290.49	333,754.79
67825.00	0.00	0.00	0.00	62.69	1,797.67	938,045.28	606,088.16	606,088.16	331,957.13
67850.00	0.00	0.00	0.00	50.07	1,409.54	938,045.28	607,497.69	607,497.69	330,547.59
67875.00	0.00	0.00	0.00	58.58	1,358.18	938,045.28	608,855.87	608,855.87	329,189.42
67900.00	0.00	0.00	0.00	62.39	1,512.14	938,045.28	610,368.00	610,368.00	327,677.28
67925.00	0.00	0.00	0.00	81.51	1,798.76	938,045.28	612,166.76	612,166.76	325,878.52
67950.00	0.00	0.00	0.00	101.48	2,287.32	938,045.28	614,454.08	614,454.08	323,591.20
67975.00	0.00	0.00	0.00	72.15	2,170.31	938,045.28	616,624.39	616,624.39	321,420.89
68000.00	0.00	0.00	0.00	45.45	1,470.04	938,045.28	618,094.43	618,094.43	319,950.85
68025.00	8.07	100.90	100.90	9.08	681.62	938,146.18	618,776.06	618,776.06	319,370.12
68050.00	42.34	630.17	630.17	0.51	119.78	938,776.36	618,895.84	618,895.84	319,880.52
68075.00	66.83	1,364.68	1,364.68	0.15	8.16	940,141.03	618,903.99	618,903.99	321,237.04
68100.00	89.40	1,952.91	1,952.91	0.00	1.83	942,093.94	618,905.82	618,905.82	323,188.11
68125.00	102.31	2,396.45	2,396.45	0.00	0.00	944,490.38	618,905.82	618,905.82	325,584.56
68150.00	111.78	2,676.13	2,676.13	0.00	0.00	947,166.51	618,905.82	618,905.82	328,260.68

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

68175.00	69.32	2,263.73	2,263.73	0.00	0.02	949,430.24	618,905.84	618,905.84	330,524.40
68200.00	28.38	1,221.25	1,221.25	2.51	31.43	950,651.49	618,937.27	618,937.27	331,714.21
68225.00	8.86	465.43	465.43	20.80	291.40	951,116.91	619,228.67	619,228.67	331,888.24
68250.00	0.54	117.49	117.49	33.46	678.22	951,234.40	619,906.89	619,906.89	331,327.51
68275.00	0.17	8.93	8.93	35.70	864.46	951,243.34	620,771.36	620,771.36	330,471.98
68300.00	0.00	2.17	2.17	31.55	840.56	951,245.51	621,611.92	621,611.92	329,633.59
68325.00	0.97	12.12	12.12	13.09	558.01	951,257.62	622,169.92	622,169.92	329,087.70
68350.00	6.09	88.21	88.21	0.53	170.24	951,345.84	622,340.17	622,340.17	329,005.67
68375.00	28.93	437.71	437.71	0.00	6.57	951,783.54	622,346.74	622,346.74	329,436.81
68400.00	0.81	371.73	371.73	14.06	175.69	952,155.27	622,522.43	622,522.43	329,632.84
68425.00	47.53	604.20	604.20	0.26	178.89	952,759.48	622,701.32	622,701.32	330,058.15
68450.00	0.00	594.09	594.09	16.81	213.37	953,353.56	622,914.69	622,914.69	330,438.87
68475.00	0.00	0.00	0.00	85.51	1,279.06	953,353.56	624,193.75	624,193.75	329,159.82
68500.00	0.00	0.00	0.00	138.72	2,802.92	953,353.56	626,996.67	626,996.67	326,356.90
68525.00	0.00	0.00	0.00	163.63	3,779.40	953,353.56	630,776.07	630,776.07	322,577.49
68550.00	0.00	0.00	0.00	192.78	4,455.13	953,353.56	635,231.20	635,231.20	318,122.36
68575.00	0.00	0.00	0.00	113.43	3,827.58	953,353.56	639,058.79	639,058.79	314,294.78
68600.00	0.00	0.00	0.00	62.26	2,196.12	953,353.56	641,254.90	641,254.90	312,098.66
68625.00	0.00	0.00	0.00	64.59	1,585.66	953,353.56	642,840.56	642,840.56	310,513.00
68650.00	0.00	0.00	0.00	88.64	1,915.37	953,353.56	644,755.93	644,755.93	308,597.63
68675.00	0.00	0.00	0.00	83.98	2,157.77	953,353.56	646,913.70	646,913.70	306,439.86
68700.00	0.00	0.00	0.00	78.31	2,028.63	953,353.56	648,942.33	648,942.33	304,411.24
68725.00	0.00	0.00	0.00	69.74	1,850.58	953,353.56	650,792.91	650,792.91	302,560.65
68750.00	0.00	0.00	0.00	59.75	1,618.61	953,353.56	652,411.53	652,411.53	300,942.04
68775.00	0.00	0.00	0.00	49.38	1,364.08	953,353.56	653,775.61	653,775.61	299,577.96

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

68800.00	0.00	0.00	0.00	186.99	2,949.10	953,353.56	656,724.71	656,724.71	296,628.86
68825.00	0.00	0.00	0.00	80.52	3,339.34	953,353.56	660,064.05	660,064.05	293,289.51
68850.00	0.00	0.00	0.00	66.18	1,836.15	953,353.56	661,900.20	661,900.20	291,453.36
68875.00	0.00	0.00	0.00	76.27	1,781.78	953,353.56	663,681.98	663,681.98	289,671.58
68900.00	0.00	0.00	0.00	105.54	2,272.61	953,353.56	665,954.59	665,954.59	287,398.97
68925.00	0.00	0.00	0.00	143.81	3,115.84	953,353.56	669,070.44	669,070.44	284,283.13
68950.00	0.00	0.00	0.00	186.08	4,115.51	953,353.56	673,185.95	673,185.95	280,167.62
68975.00	0.00	0.00	0.00	420.39	7,596.27	953,353.56	680,782.21	680,782.21	272,571.35
69000.00	0.00	0.00	0.00	202.01	7,804.09	953,353.56	688,586.31	688,586.31	264,767.26
69025.00	0.00	0.00	0.00	227.95	5,378.12	953,353.56	693,964.42	693,964.42	259,389.14
69050.00	0.00	0.00	0.00	228.10	5,705.25	953,353.56	699,669.67	699,669.67	253,683.90
69075.00	0.00	0.00	0.00	225.66	5,676.25	953,353.56	705,345.92	705,345.92	248,007.64
69100.00	0.00	0.00	0.00	199.30	5,318.35	953,353.56	710,664.27	710,664.27	242,689.29
69125.00	0.00	0.00	0.00	156.38	4,454.30	953,353.56	715,118.57	715,118.57	238,234.99
69150.00	0.00	0.00	0.00	108.80	3,320.01	953,353.56	718,438.59	718,438.59	234,914.98
69175.00	0.00	0.00	0.00	75.64	2,307.54	953,353.56	720,746.13	720,746.13	232,607.43
69200.00	0.00	0.00	0.00	57.69	1,666.62	953,353.56	722,412.76	722,412.76	230,940.81
69225.00	0.00	0.00	0.00	59.94	1,470.36	953,353.56	723,883.12	723,883.12	229,470.44
69250.00	0.00	0.00	0.00	63.75	1,546.15	953,353.56	725,429.27	725,429.27	227,924.29
69275.00	0.00	0.00	0.00	68.40	1,651.89	953,353.56	727,081.17	727,081.17	226,272.40
69300.00	0.00	0.00	0.00	43.07	1,393.37	953,353.56	728,474.54	728,474.54	224,879.03
69325.00	0.00	0.00	0.00	23.47	831.73	953,353.56	729,306.27	729,306.27	224,047.29
69350.00	0.71	8.82	8.82	12.90	454.70	953,362.38	729,760.97	729,760.97	223,601.41
69375.00	1.88	32.33	32.33	10.35	290.71	953,394.71	730,051.68	730,051.68	223,343.02
69400.00	0.72	32.47	32.47	19.93	378.58	953,427.18	730,430.26	730,430.26	222,996.92

ANNEXE 3 : CALCULE DES CUBATURES

69425.00	0.00	8.96	8.96	45.78	821.38	953,436.14	731,251.64	731,251.64	222,184.50
69450.00	0.00	0.00	0.00	37.14	1,036.52	953,436.14	732,288.16	732,288.16	221,147.98
69475.00	2.11	26.38	26.38	13.52	633.26	953,462.51	732,921.42	732,921.42	220,541.09
69500.00	15.25	217.05	217.05	0.29	172.63	953,679.56	733,094.05	733,094.05	220,585.51
69525.00	31.63	586.03	586.03	0.00	3.68	954,265.59	733,097.73	733,097.73	221,167.86
69550.00	60.48	1,151.39	1,151.39	0.00	0.00	955,416.98	733,097.73	733,097.73	222,319.26
69575.00	76.27	1,709.35	1,709.35	0.00	0.00	957,126.33	733,097.73	733,097.73	224,028.60
69600.00	91.29	2,094.46	2,094.46	0.00	0.00	959,220.79	733,097.73	733,097.73	226,123.06
69625.00	67.99	1,990.96	1,990.96	0.00	0.00	961,211.75	733,097.73	733,097.73	228,114.02
69650.00	13.04	1,012.79	1,012.79	0.29	3.62	962,224.55	733,101.35	733,101.35	229,123.19
69675.00	6.10	239.17	239.17	16.07	204.50	962,463.71	733,305.86	733,305.86	229,157.86
69700.00	1.73	97.76	97.76	33.42	618.67	962,561.47	733,924.53	733,924.53	228,636.95
69725.00	0.00	21.57	21.57	59.70	1,164.02	962,583.04	735,088.55	735,088.55	227,494.49
69750.00	0.00	0.00	0.00	79.54	1,740.42	962,583.04	736,828.97	736,828.97	225,754.07
69775.00	0.00	0.00	0.00	84.38	2,048.89	962,583.04	738,877.86	738,877.86	223,705.18
69800.00	0.00	0.00	0.00	93.34	2,221.49	962,583.04	741,099.35	741,099.35	221,483.69
69825.00	0.00	0.00	0.00	92.14	2,318.55	962,583.04	743,417.90	743,417.90	219,165.14
69850.00	0.00	0.00	0.00	81.63	2,172.10	962,583.04	745,590.00	745,590.00	216,993.03
69875.00	0.00	0.00	0.00	74.29	1,949.03	962,583.04	747,539.04	747,539.04	215,044.00
69900.00	0.00	0.00	0.00	65.28	1,744.66	962,583.04	749,283.70	749,283.70	213,299.34
69925.00	0.00	0.00	0.00	49.51	1,434.90	962,583.04	750,718.60	750,718.60	211,864.44
69950.00	0.00	0.00	0.00	45.78	1,191.21	962,583.04	751,909.81	751,909.81	210,673.23
69975.00	0.00	0.00	0.00	76.74	1,531.55	962,583.04	753,441.36	753,441.36	209,141.68
70000.00	0.00	0.00	0.00	77.01	1,921.94	962,583.04	755,363.30	755,363.30	207,219.74
70009.02	0.00	0.00	0.00	84.93	730.25	962,583.04	756,093.55	756,093.55	206,489.49

