République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude de la liaison autoroutière reliant Sidi Bel Abbès - A.E.O [Autoroute Est-Ouest] sur 120 km tronçon du PK90 +000 au PK100+000 avec échangeur au PK96+500

Présenté par :

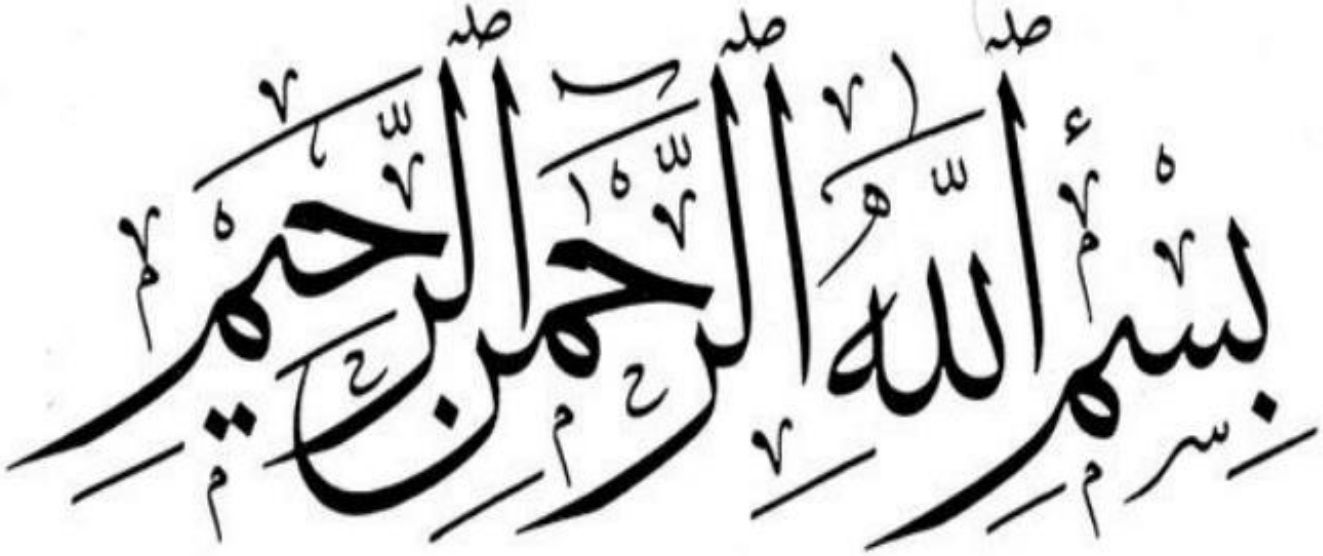
BENMEDDAH Abdelkader

Encadré par :

Mr. HAITRI AMER

Promotion 2024/2025

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Nous commençons par exprimer notre gratitude à notre Dieu Tout-Puissant, qui nous a accordé la force et le courage pour réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance à notre encadrant, M. Amer HAITRI

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers l'ensemble des enseignants et du personnel administratif du département DIB de l'ESNTP, dont les efforts ont contribué à notre formation et à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers Dieu Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, le courage et la volonté tout au long de mes études, ainsi que pour la réalisation de ce travail.

Je dédie ce modeste travail

À la personne la plus chère à mon cœur, celle qui m'a soutenu et encouragé à donner le meilleur de moi-même, qui n'a jamais cessé d'être présente à mes côtés, et qui a éclairé mon chemin par la lumière de ses prières et de ses précieux conseils : Ma mère.

À mon père, Malgré les lourdes responsabilités que vous portez seul en tant que père de famille, vous avez toujours été présent pour nous : à l'écoute, attentionné, encourageant et d'un soutien constant. Ce travail est dédié à vous, avec l'espoir qu'il puisse alléger un peu vos peines et vous apporter fierté et bonheur.

À mes frères et sœurs, pour leur soutien et leur présence.

À ma famille.

À A. Hadjouty et A. Boualouache, vous avez été là dans les bons comme dans les mauvais moments, et pour cela, je vous serai toujours reconnaissant.

À A. Gwasmiya, S. Boudouda et À mes autres amis et camarades de route, vous avez chacun marqué ce parcours d'une manière unique. Merci pour les sourires, les encouragements, les conseils, et tous ces instants partagés qui rendent cette aventure inoubliable.

A tous ceux qui ont eu et qui ont confiance en nous.

RÉSUMÉ

Les projets routiers représentent des investissements économiques considérables. Par conséquent, chaque projet routier doit être étudié sous divers aspects afin de garantir son utilité et sa rentabilité.

Pour notre mémoire de fin d'études, nous avons réalisé une étude d'avant-projet détaillé d'un tronçon autoroutier reliant la ville de Sidi Bel Abbès au réseau national, allant du PK 90+000 au PK 100+000, incluant la conception d'un échangeur au PK 96+500 à l'intersection de cette liaison autoroutière et des axes régionaux.

Le tracé de l'autoroute a été conçu initialement en configuration 2x3 voies, afin de répondre aux prévisions de trafic à long terme.

Nous avons débuté par l'étude du trafic routier et son extrapolation sur une période de 20 ans, pour le dimensionnement de la structure de la chaussée.

Ensuite, nous avons réalisé le tracé géométrique de l'axe en plan à l'aide du logiciel Civil 3d, en respectant les normes en vigueur, suivi de l'élaboration du profil en long et du profil en travers.

Nous avons ensuite effectué un rapport géotechnique pour déterminer les caractéristiques du sol support, suivi d'une étude d'assainissement et de drainage de la route. Par la suite, nous avons choisi le type d'échangeur et planifié la signalisation.

Enfin, nous avons conclu par une étude d'impact sur l'environnement, ainsi que par l'établissement du devis estimatif et quantitatif.

Summary

Road projects represent considerable economic investment. Therefore, each road project must be studied in various aspects to ensure its usefulness and profitability.

As part of our final-year thesis, we conducted a Detailed Design of a highway section linking the city of Sidi Bel Abbès to the national motorway network. This section extends from PK 90+000 to PK 100+000 and includes the design of an interchange at PK 96+500, where this route intersects with regional roads.

The highway was initially designed in a 2×3 lane configuration to meet long-term traffic projections.

We started with the study of road traffic and its extrapolation over a period of 20 years, for the dimensioning of the pavement structure.

Then, we realized the geometric alignment of the axis in plan using the software Civil 3d, respecting the standards in force, followed by the development of the long profile and the cross profile.

We then conducted a geotechnical report to determine the characteristics of the supporting soil, followed by a road drainage and remediation study. Subsequently, we chose the type of exchanger and planned the signage.

Finally, we concluded with an environmental impact study, as well as the establishment of the estimate and quantitative estimate.

ملخص

تمثل مشاريع الطرق استثمارات اقتصادية هامة للغاية. لذا، يجب دراسة كل مشروع من جوانب متعددة لضمان طابعه الوظيفي وربحيته.

في إطار مشروع تخرجي، قمت بإعداد دراسة تفصيلية لمقطع من الطريق السيار يربط مدينة سيدي بلعباس بالشبكة الوطنية للطريق السيار، يمتد من النقطة الكيلومترية PK 90+000 إلى PK 100+000، بما في ذلك تصميم بدال عند النقطة الكيلومترية PK 96+500 عند التقاطع مع الطريق الولائي

تم تصميم هذا المقطع في تكوين أولي يضم 3 مسارات لكل اتجاه (2×3)، استجابةً للتوقعات المرورية على المدى الطويل.

بدأت الدراسة بتحليل حركة المرور وتوقع تطورها على مدى 20 سنة، وذلك بغرض تحديد أبعاد البنية التحتية للطريق. ثم تم إنجاز التصميم الهندسي للمسار الأفقي باستعمال برنامج Civil 3D وفقًا للمعايير التقنية المعمول بها، متبوعًا بإعداد الملف الطولي والملفات العرضية.

بعد هذه المراحل، أجرينا تقريراً جيوتكنيكياً لمعرفة خصائص التربة الداعمة، وكذلك دراسة الصرف للطريق.

ثم انتقلت إلى اختيار نوع البدال والتخطيط للإشارات.

أخيراً، اختتمت بدراسة التأثير البيئي وتقدير التكلفة الكمية.

LISTE DES ABREVIATIONS

APD : Avant-projet détaillé.

BBME : béton bitumineux à module élevé.

EME : enrobé à module élevé.

RAHP : Rocade Autoroutière des Hauts Plateaux.

RN : route nationale.

PK : point kilométrique.

ICTAAL : Instruction sur les Condition Techniques d'Aménagement Des Autoroutes de Liaisons.

TJMA : trafic journalière moyen annuelle.

U.V.P : unités de véhicules particuliers.

PL : poids lourds.

CTTP : Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics.

TPC : terre pleine centrale.

BDG : bande dérasé gauche.

BM : bande médiane.

BAU : bande d'arrêt d'urgence

BDD : bande dérasé droite.

GTR : guide de terrassement routier.

SETRA : service d'études techniques des routes et autoroutes.

LCPC : laboratoire centrale des ponts et chaussées.

SPT: Essais de pénétration standard.

CBR : California - Bearing – Ratio.

BB : béton bitumineux.

GB : grave bitumineux.

GNT : grave non traitées .

AN : application numérique.

BV : bassin versant.

DBA : double séparateur en béton adhérent.

GS : glissière de sécurité.

LISTE DES ABREVIATIONS

FMO : fourniture et mise en œuvre.

THT : total hors taxes.

TTC : toutes taxes compris.

TVA : taxe sur la valeur ajoutée.

LISTE DES FIGURES

Tableau 0I-1: Coefficient d'équivalence P (source B40)....8
Tableau 0I-2: Coefficient k1....8
Tableau 0I-3: Coefficient k2....8
Tableau 0I-4: Coefficient Cth (source B40)....9
Tableau III.1: Valeurs extrêmes des alignements droits.... 14
Tableau III.2: Valeurs minimales des rayons du tracé en plan.... 15
Tableau IV.1 : Les limites des paramètres de profil en long.... 21
Tableau IV.2 : Les données du PL a calculé.... 24
Tableau V.1: Les caractéristique géométrique de Profil en travers type en section.... 30
Tableau V.2: Les caractéristique géométrique de Profil en travers -Ouvrage....28
Tableau VI.1: Cubatures déblais remblais.... 32
Tableau VII.1 : les Investigations In situ.... 34
Tableau VII.2 : Les investigations au laboratoire.... 35
Tableau VII.3 : Aperçu sur les résultats des analyses de laboratoire des échantillons des puits de reconnaissance.... 35
Tableau VII.4 : Classification des sols fins sur le diagramme de Casa grande.... 35
Tableau VII.5: Classification de chaque puits selon LCPC.... 36
Tableau VII.6 : Aperçu sur les résultats des analyses de laboratoire des échantillons des puits de reconnaissance.... 36
Tableau VII.7 : Classification des Matériaux selon le GTR.... 37
Tableau VIII.1 : Choix de température équivalente.... 39
Tableau VIII.2: Classe de portance des sols.... 40
Tableau VIII.3: Sur-classement avec couche de forme en matériaux non traité.... 40
Tableau VIII.4 : Fiche structure pour RP1.... 41
Tableau VIII.5 : Fiche structure GB/GB.... 41
Tableau VIII.6 : Duré de vie adoptées.... 42
Tableau VIII.7 : Valeurs de coefficient d'agressivité.... 42
Tableau VIII.8: Performance mécanique des matériaux bitumineux.... 44
Tableau VIII.9: Performance mécanique des matériaux bitumineux.... 44
Tableau VIII.10 : Synthèses des hypothèses sur les conditions de collage.... 45
Tableau VIII.11 : Résultats de la modélisation de la structure.... 45
Tableau VIII.12: Risque adoptés pour le réseau RP1.... 47
Tableau VIII.13 **:** valeurs de $t = f(r\%)$.... 47
Tableau VIII.14 : Tableau des valeurs calculée et admissible des sollicitations.... 48
Tableau VIII.15 : Coefficient d'équivalence des matériaux.... 49
Tableau IX.1 : Coefficients de Montana (a et b) pour différentes périodes de retour.... 52
Tableau IX.2 : Valeurs du Coefficients $C1$.... 53
Tableau IX.3 **:** Valeurs du Coefficients $C2$.... 53
Tableau IX.4 **:** Valeurs du Coefficients $C3$.... 53
Tableau IX.6 : Les valeurs des intensités des pluies et temps de concentration.... 56
Tableau IX.7 : Les valeurs des débits max.... 56
Tableau *IX*.8 : Vérification des conditions d'auto curage pour les ouvrages hydrauliques circulaires (Buse).... 60
Tableau IX.9 : Dimensionnement des dalots.... 62
Tableau *IX*.10 : Vérification des conditions d'auto curage.... 62
Tableau IX.11: Valeurs des coefficients de ruissellement.... 63
Tableau IX.12: Les caractéristiques des sous bassins versants.... 63
Tableau IX.13 : Calcul des debits.... 64

LISTE DES FIGURES

Tableau X.1: Valeurs limites des rayons ……68
Tableau X.2: Les valeurs limites des paramètres du profil en long (ICTAAL)……71
Tableau X.3: Les largeurs des composantes du profil en travers ……71
Tableau XI.1 : Ouvrages existants 75

Figure I.1: Localisation Du Projet……03
Figure III.1: Schéma des éléments du Tracé en Plan..... 13
Figure III.2: Les éléments de la Clothoïde 16
Figure III.3: Schématisation d'un tracé en plan avec Raccordement..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure IV.1: Schéma illustratif de raccordements convexes 22
Figure IV.2 : Schéma illustratif de raccordements convexes 23
Figure IV.3 : Schéma illustratif d'un rayon concave..... 24
Figure V.1 : Types de profils en travers..... 26
Figure V.2 : Éléments constitutifs du profil en travers en section courante..... 27
Figure VI.1 : Les positions des sections dans un profil en long 31
Figure X.1: Types d'échangeurs ……66
Figure X.2: les type des bretelles……68
Figure X.3: La zone de décélération ……70
Figure X.4: La zone de d'accélération……71
Figure XII.1: Les lignes longitudinales ……78
Figure XII.2: Les lignes transversale ……78
Figure XII.3 : transversale Les lignes de délimitation de voies dans le tracé 80
Figure XII.6 : même nombre de voies 81
Figure XII.7: Nombre de voies inférieur..... 82
Figure XII.8 : Flèches directionnelles..... 82
Figure XII.9 : Flèches de rabattement..... 83
Figure XII.10 : Schémas de marquage avec hachures..... 83
Figure XII.11 : Panneau de signalisation d'indication 85
Figure XII.12 : Panneau de signalisation de direction..... 85
Figure XII.13 : Signalisation de direction..... 85

Table des matières

Introduction générale 1
Chapitre I : Présentation de projet 3
I. 1 Introduction 3
I. 2 Description de Projet et ses Objectifs 3
I. 2. 1 Description du Projet 3
I. 3 GEOMORPHOLOGIE ET TOPOGRAPHIE GENERALE : 5
I. 3. 1 HYDROLOGIE GENERALE : 5
I. 3. 2 CARACTERISTIQUES DE NOTRE PROJET : 6
Chapitre II : Étude de Trafic 7
II. 1 INTRODUCTION 7
II. 2 ANALYSE DE TRAFIC 7
II. 3 La procédure de détermination du nombre de voies 7
II. 3. 1 Calcul du (TJMA) : 7
II. 3. 2 Calcul des trafics effectifs : 7
II. 3. 3 Débit de point horaire normale : 8
II. 3. 4 Débit horaire admissible : 8
II. 4 Application au projet 9
II. 4. 1 Nombre de voies : 9
II. 5 Conclusion 11
Chapitre III : Tracé en plan 12
III. 1 Introduction 12
III. 2 Choix de la Catégorie 12
III. 3 Règles et Principes de Conception du Tracé En Plan 12
III. 4 Les éléments du Tracé En Plan 13
III. 4. 1 Les Alignements Droits 13
III. 4. 2 Arcs De Cercle: 15
III. 4. 3 Les Courbes de Raccordement (CR) 16
III. 5 Enchaînement des éléments du tracé en plan 17
Chapitre IV : profil en long 21
IV. 1 Introduction 21
IV. 2 Règles à suivre pour le tracé du profil en long : 21
IV. 3 Les caractéristiques de notre profil en long 21
IV. 3. 1 Valeurs limites 21
IV. 3. 2 Déclivité minimale : 22

IV. 3. 3 Déclivité maximale 22
IV. 4 Types de Raccordement en profil en long 22
IV. 4. 1 Raccordements convexes (angle saillant) 22
IV. 4. 2 Raccordements concave (angles rentrant) : 23
IV. 5 Coordination du tracé en plan et du profil en long 23
IV. 6 Exemple de calcul du profil en long (cas de raccordement d'un rayon concave) 24
Chapitre V : Profil en travers 26
V. 1 Introduction 26
V. 2 Types de profils en travers dans la conception routière : 26
V. 2. 1 Le profil en travers type : 26
V. 2. 2 Profil en Travers Courant 26
V. 3 Les éléments constitutifs du profil en travers : 27
V. 4 Pente transversale : 28
V. 4. 1 En alignement et en courbe non déversée : 28
V. 4. 2 En courbe déversée : 28
V. 5 Changement de dévers 29
V. 6 Profil en travers type du notre projet 30
V. 6. 1 Profil en travers en section courante 30
V. 6. 2 Profil en travers au niveau des ouvrages d'art 30
Chapitre VI : Cubature 31
VI. 1 Introduction 31
VI. 2 Méthodes de Calcul des Cubatures 31
VI. 2. 1 Méthode de la moyenne des aires 31
VI. 3 Calcul des cubatures de terrassement : 32
Chapitre VII : Étude géotechnique 33
VII. 1 Introduction 33
VII. 2 Les objectifs de l'étude géotechnique 33
VII. 3 Méthodologie 33
VII. 3. 1 Investigations In situ 33
VII. 3. 2 Investigations au laboratoire 34
VII. 4 Identification des Matériaux 35
VII. 5 Caractéristiques mécaniques 36
VII. 6 Classification des sols selon la norme NF P 11-300 ou GTR 36
VII. 7 Définition des pentes des talus : 37
VII. 8 Conclusion et Recommandation 37

Chapitre VIII : Dimensionnement du corps de chaussée 38
VIII. 1 Introduction 38
VIII. 2 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves 38
VIII. 3 Les Données climatiques 38
VIII. 4 Trafic 39
VIII. 4. 1 Détermination du type de réseau principal RP : 39
VIII. 4. 2 Détermination du type de la classe de trafic TPLi : 39
VIII. 4. 1 Classe de portance de sol support 40
VIII. 4. 2 Sur classement de sol support 40
VIII. 4. 3 Choix de la structure de chaussée 41
VIII. 5 Dimensionnement de la chaussée 41
VIII. 5. 1 Détermination des épaisseurs de la structure 41
VIII. 5. 2 Calcul de **TEC** sur la durée de vie 42
VIII. 6 Modélisation de la structure 43
VIII. 6. 1 Le mode de fonctionnement de la structure MTB (GB/GB) 43
VIII. 6. 2 Performance mécanique des matériaux bitumineux (MTB) 44
VIII. 6. 3 Performance mécanique des matériaux bitumineux (MNT) 44
VIII. 6. 4 Les conditions de collage entre les différentes couches de la structure 45
VIII. 6. 5 Modélisation et détermination de $\boldsymbol{\varepsilon t}$ et $\boldsymbol{\varepsilon z - sol}$ pour notre structure 45
VIII. 7 Dimensionnement par la méthode CBR 48
VIII. 8 Conclusion 49
Chapitre IX : Assainissement 50
IX. 1 Introduction 50
IX. 2 Objectifs de l'assainissement routier 50
IX. 3 Étapes d'un Projet d'Assainissement Routier 50
IX. 4 Etude Hydrologique: 51
IX. 4. 1 Choix des stations météorologiques 51
IX. 4. 2 Période de retour pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques 51
IX. 4. 3 Détermination de l'intensité $\mathbf{I(t)}$ 51
IX. 4. 4 Estimation du débit de crue 52
IX. 4. 5 Délimitation Des Bassins Versants: 54
IX. 4. 6 Caractéristiques Physiques Des Bassins Versants: 54
IX. 4. 7 Application au projet 55
IX. 5 Étude hydraulique 57
IX. 5. 1 Calcul des ouvrages hydrauliques 57

IX. 5. 2 Estimation des débits de saturation des ouvrages 57
IX. 5. 3 Système de drainage transversal 57
IX. 5. 4 Système de drainage longitudinal 62
Chapitre X : Échangeur 65
X. 1 Introduction 65
X. 2 Le rôle d'un échangeur 65
X. 3 Avantages et Inconvénients de l'échangeur 65
X. 4 Les différents types d'échangeurs 66
X. 4. 1 Échangeurs majeurs 66
X. 4. 2 Échangeurs mineurs 67
X. 5 Conception d'un échangeur 68
X. 5. 1 Éléments de conception d'un échangeur 68
X. 5. 2 Conditions à respecter 69
X. 6 Les composants d'un échangeur 69
X. 6. 1 Ouvrage d'art 70
X. 6. 2 Carrefour plan 70
X. 6. 3 Bretelles : 70
X. 6. 4 Profil en long d'une bretelle 73
X. 6. 5 Profil en travers d'une bretelle 73
X. 7 Application au projet 73
X. 7. 1 Choix du type de l'échangeur 73
Chapitre XI : Ouvrages D'art 75
XI. 1 Introduction 75
XI. 2 Sélection du Type d'Ouvrage 75
XI. 3 Gabarit Réservé 75
XI. 4 Les ouvrages existants 75
Chapitre XII : Signalisations 76
XII. 1 Introduction 76
XII. 2 Objectifs de la signalisation 76
XII. 3 Règles à respecter pour la signalisation 76
XII. 4 Types de signalisation 76
XII. 4. 1 Signalisation horizontale 77
XII. 4. 2 Signalisation verticale 77
XII. 5 Caractéristiques générales des marques 79
XII. 6 Dispositifs de retenue 79

XII. 7 Application au projet 80
XII. 7. 1 Signalisation horizontale 80
XII. 7. 2 Signalisation verticale 84
Chapitre XIII : Impact sur l'environnement 86
XIII. 1 Introduction 86
XIII. 2 Objectifs De L'Etude 86
XIII. 3 Impact Négatifs Du Projet : 86
XIII. 4 Conclusion 87
Devis quantitatif et estimatif 88
Conclusion générale 90
Bibliographie 91
ANNEXE 1: Axe en plan 92
ANNEXE 2 : profil en long 94
ANNEXE 3: Cubatures (Rapport sur les volumes) 95

Introduction générale

L'infrastructure de transport, en particulier les voies autoroutières, joue un rôle essentiel dans le développement économique et social d'un pays. Reconnaissant cette importance, l'Algérie a engagé une politique ambitieuse d'amélioration et d'expansion de son réseau autoroutier, notamment à travers la réalisation de projets de liaison stratégique entre les grandes agglomérations et les axes majeurs comme l'Autoroute Est-Ouest (AEO). Le projet de liaison entre Sidi Bel Abbès et l'AEO s'inscrit pleinement dans cette dynamique, en visant à renforcer l'accessibilité régionale, fluidifier le trafic, et favoriser le désenclavement de l'ouest algérien.

Notre étude se concentre sur un segment clé de cette liaison autoroutière, compris entre le PK90+000 et le PK100+000, avec l'objectif d'aménager un échangeur performant au niveau du PK96+500. Ce tronçon revêt un caractère stratégique pour connecter Sidi Bel Abbès au réseau national autoroutier, facilitant ainsi les échanges économiques et les déplacements interurbains. L'étude est menée dans le cadre de l'Avant-Projet Détaillé (APD), en mobilisant des outils modernes de conception et de modélisation.

Notre approche intègre une analyse complète englobant les aspects géotechniques, le trafic, l'assainissement, et la signalisation, avec pour finalité de proposer une infrastructure durable, efficace, et adaptée aux besoins futurs. Par cette initiative, nous contribuons au renforcement du maillage autoroutier algérien, en apportant une solution d'ingénierie moderne, sécurisée et respectueuse de l'environnement, en cohérence avec les objectifs de développement national.

Chapitre I : Présentation de projet

I. 1 Introduction

La liaison autoroutière reliant Sidi Bel Abbès à Saïda s'inscrit dans l'une des orientations prioritaires du Plan National d'Aménagement du Territoire (PNAT) pour le sud du pays, qui met l'accent sur le développement des Hauts Plateaux. Ce projet vise à créer une infrastructure moderne répondant aux nouvelles exigences en matière de transport, tout en renforçant l'intégration territoriale et économique de cette zone stratégique. En facilitant les échanges entre Sidi Bel Abbès et Saïda, cette liaison contribue également à améliorer la connectivité entre les régions des Hauts Plateaux et celles desservies par l'Autoroute Est-Ouest, participant ainsi à un maillage plus équilibré et fonctionnel du réseau autoroutier national.



Figure I.1: Localisation Du Projet

I. 2 Description de Projet et ses Objectifs

I. 2. 1 Description du Projet

Le projet de liaison autoroutière reliant Sidi Bel Abbès à Saïda s'inscrit dans le cadre du développement des Hauts Plateaux et de l'intégration régionale au réseau autoroutier national. Conçu selon les standards modernes en matière de sécurité et de performance, ce corridor autoroutier vise à assurer une fluidité optimale du trafic entre ces deux wilayas stratégiques. Le tronçon objet de cette étude s'étend du PK90+000 au PK100+000, soit une longueur de 10 km.

I.2.2 Objectifs Principaux

L'objectif principal du projet est d'assurer une liaison autoroutière efficace entre les wilayas de **Sidi Bel Abbès** et de **Saïda**, s'inscrivant pleinement dans la politique nationale de désenclavement et de développement des Hauts Plateaux. Cette infrastructure structurante vise à répondre à plusieurs enjeux économiques, sociaux, logistiques et environnementaux.

1. Amélioration de la connectivité et de la mobilité

Le projet vise à établir une connexion rapide et fluide entre Sidi Bel Abbès et Saïda, tout en assurant une jonction efficace avec l'Autoroute Est-Ouest. Il permettra ainsi de :

- Réduire les temps de trajet pour les usagers.
- Désengorger les routes nationales existantes (RN94, RN92, RN104).
- Améliorer la circulation des biens et des personnes dans la région des Hauts Plateaux.

2. Désenclavement territorial et aménagement équilibré

En reliant deux wilayas stratégiques, le projet participe activement à :

- L'intégration des zones enclavées dans le réseau de transport national.
- Un aménagement du territoire plus rationnel et équitable.
- La création d'un axe structurant au service du développement régional.

3. Soutien au développement économique local

Cette nouvelle infrastructure constituera un levier économique puissant en :

- Facilitant l'accès aux pôles industriels, commerciaux et agricoles.
- Créant un espace socio-économique attractif pour l'investissement, notamment dans les secteurs du commerce, de l'industrie et du tourisme.
- Encourageant le développement de nouvelles zones d'activités le long du tracé.

4. Sécurité et confort des usagers

Le tracé est conçu selon des normes techniques modernes permettant :

- Une amélioration significative de la sécurité routière.
- Une réduction du nombre d'accidents dus aux anciennes infrastructures saturées ou vétustes.
- Un meilleur confort de conduite pour les usagers, y compris les véhicules lourds.

5. Optimisation des coûts de transport et gains de productivité

Grâce à un itinéraire plus direct et à une meilleure fluidité du trafic, le projet :

- Réduit les coûts logistiques pour les entreprises.
- Favorise la compétitivité régionale.
- Accroît l'efficacité des échanges économiques inter-wilayas.

6. Création d'emplois et impact social

Le chantier générera une dynamique économique immédiate à travers :

- La création d'emplois directs durant la phase de construction.
- L'essor des activités économiques induites dans les zones traversées.

7. Intégration environnementale et développement durable

Dans le respect des principes du développement durable, le projet prévoit :

- Une limitation de son impact sur l'environnement par des mesures techniques (études d'impact, aménagements spécifiques).
- Une réduction des nuisances (bruit, pollution) pour les riverains.
- Une préservation du cadre naturel et de la biodiversité des zones traversées.

I. 3 GEOMORPHOLOGIE ET TOPOGRAPHIE GENERALE :

La géomorphologie et la topographie du tronçon étudié, compris entre le PK90 et le PK100, se caractérisent par la présence de massifs rocheux tels que le grès et le calcaire. Le relief est peu accentué dans la première partie du tracé, puis devient progressivement plus vallonné à l'approche de la fin du segment. Les sols en place sont essentiellement composés de tufs, d'alluvions, de limons, d'argiles et de sable.

I. 3. 1 HYDROLOGIE GENERALE :

Le tracé traverse une région de réseau hydrographique très dense.

I.3. 1. 1 Climatologie Des Wilayas :

I.3.1.1.1 **Wilaya de Sidi Bel Abbés :**

La majeure partie de la wilaya appartient à l'étage bioclimatique semi-aride continental, caractérisé par des étés très chauds et des hivers relativement froids.

I.3.1.1.2 Wilaya de Saida :

Le climat prédominant dans la wilaya est de type continental, caractérisé par des étés chauds et secs, et des hivers froids.

I.3. 1. 2 Pluviométrie et températures des Wilayas

I.3.1.2.1 Wilaya de Sidi Bel Abbès :

La pluviométrie annuelle se situe entre 400 et 500 mm, selon les isohyètes. La température moyenne annuelle varie de 3 °C à 31 °C.

I.3.1.2.2 Wilaya de Saïda :

La répartition annuelle des précipitations oscille entre 200 et 600 mm. Les températures moyennes annuelles s'étendent de 0 °C à 35 °C.

I. 3. 2 CARACTERISTIQUES DE NOTRE PROJET :

Notre projet concerne une liaison autoroutière, régie par les prescriptions de l'ICTAAL 2015 (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison).

I.3. 2. 1 Catégorie de l'autoroute :

Compte tenu des contraintes topographiques marquées ainsi que des considérations économiques et environnementales associées au tracé, l'autoroute projetée est classée dans la catégorie L2, conformément aux dispositions de l'ICTAAL 2015.

I.3. 2. 2 Vitesse de référence :

Pour une autoroute de catégorie L2, la vitesse maximale de référence fixée par l'ICTAAL 2015 est de 110 km/h.

Chapitre II : Étude de Trafic

II. 1 INTRODUCTION

L'étude de trafic est cruciale pour évaluer l'impact économique et social des investissements dans les infrastructures routières et urbaines. Elle guide la planification en prévoyant les flux de circulation, ce qui aide à choisir les profils routiers, dimensionner les chaussées, estimer les coûts et orienter les stratégies d'entretien. En résumé, elle informe la conception et la gestion des réseaux routiers pour maximiser leur efficacité et durabilité.

II. 2 ANALYSE DE TRAFIC

Pour saisir le volume et la composition du trafic à un endroit précis et à un moment donné, il est crucial de réaliser un comptage qui demande une coordination logistique adaptée. Pour obtenir ces données, plusieurs méthodes sont disponibles :

- L'analyse statistique globale.
- Le comptage direct sur les routes (manuel ou automatique).
- L'investigation directe sur le terrain de la circulation.
- Une enquête de circulation.

II. 3 La procédure de détermination du nombre de voies

Pour décider du nombre de voies à mettre en place, il est crucial de comparer l'offre et la demande, c'est-à-dire le débit admissible et le trafic prévu pour l'année d'exploitation. Pour ce faire, il est essentiel d'évaluer le débit horaire pendant les heures de pointe prévues pour la vingtième année d'exploitation.

II. 3. 1 Calcul du (TJMA) :

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

$$\mathbf{TJMAh = TJMA0(1 + \tau)^n}$$

- TJMAh : le trafic à l'année horizon.
- TJMA0 : le trafic à l'année de référence.
- n : nombre d'année.
- τ : taux d'accroissement du trafic (%).

II. 3. 2 Calcul des trafics effectifs :

Le calcul des trafics effectifs consiste à convertir le trafic en unités de véhicules particuliers (U.V.P), en fonction du type de route et de l'environnement. Des coefficients d'équivalence sont utilisés pour convertir les véhicules poids lourds en U.V.P. Le trafic effectif est ensuite déterminé à partir de cette relation

$$\mathbf{Teff = [(1 - Z) + p. Z]. TJMAh}$$

- Teff : trafic effectif à l'horizon en (UVP/J).
- Z : pourcentage de poids lourds (%).

- P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds

Le tableau ci-dessous offre une méthode pour déterminer le coefficient d'équivalence "P" pour les poids lourds, en tenant compte de l'environnement et des caractéristiques spécifiques de la nature route.

Environnement	E1	E2	E3
Route à bonne caractéristique	2-3	4-6	8-16
Route étroite	3-6	6-12	16-24

Tableau III-1 : Coefficient d'équivalence P (source B40)

Pour notre projet l'environnement est E2 (terrain vallonne) et le Route à bonne caractéristique donc **P = 4**

II. 3. 3 Débit de point horaire normale :

Le débit de pointe horaire normale représente une portion du trafic effectif prévu pour l'avenir, exprimé en unités de véhicules particuliers (UVP) et donné par la formule suivante :

$$Q = (1/n).\ Teff$$

- Q : débit de pointe horaire.
- Teff : trafic effectif.
- 1/n =0.12 en général

II. 3. 4 Débit horaire admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie et donné par la formule suivante :

$$Qadm = K1.\ K2.\ Cth$$

- K1 : coefficient lié à l'environnement.
- K2 : coefficient de réduction de capacité.
- Cth : capacité théorique.

Environnement	E1	E2	E3
K1	0,75	0,85	O, 9 à 0, 95

Tableau II-2 : Coefficient k1 (source B40)

	Catégorie				
Environnement	1	2	3	4	5
E1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E2	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
E3	0,91	0,95	0,97	0,96	0,96

Tableau II-3 : Coefficient k2 (source B40)

Nombre de voie	Capacité Théorique(uvp/h)
Route à 2 voies de 3,5 m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3.5 m	2400 à 3200
Route a 2 chaussées séparées	1500 à 1800

Tableau III-4 : Coefficient Cth (source B40)

II. 4 Application au projet

Données de trafic : Conformément aux résultats des comptages et aux prévisions établis par le service spécialisé SAETI :

- Le trafic journalier moyen annuel {l'année 2022, TJMA2022= 12600v/j}
- L'année de mise en service sera en : 2028
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté : τ= 3.5%.
- Le pourcentage de poids lourds Z= 27.4%.
- La durée de vie : 20 ans.
- Environnement :E2.
- Catégorie :C_1.

II. 4. 1 Nombre de voies :

- **Le trafic journalier moyen annuel à l'année de mise en service**

$$TJMA_{2028} = TJMA_{2022}(1+\tau)^n$$

$$TJMA_{2028} = 12600(1+0.035)^6$$
$$TJMA_{2028} = 15516\ veh/j$$

- **Le trafic journalier moyen annuel à la fin de vie du projet :**

$$TJMA_{2048} = TJMA_{2028}(1+\tau)^n$$

$$TJMA_{2048} = 15516(1+0.035)^{20}$$
$$TJMA_{2048} = 31127\ veh/j$$

- **Le trafic effectif :**

D'après le tableau de coefficient d'équivalence $P = 4$

$$Teff_{2028} = [(1-Z) + PZ]TJMA_{2028}$$

$$Teff_{2028} = [(1-0.274) + 4 \times 0.274] \times 15516$$
$$Teff_{2028} = 28282\ uvp/j$$

$$Teff_{2048} = [(1-Z) + PZ]TJMA_{2048}$$

$$Teff_{2048} = [(1-0.274) + 4 \times 0.274] \times 31127$$
$$Teff_{2048} = 56721\ uvp/j$$

- **Le débit de pointe horaire normale :**

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

$\frac{1}{n}$: Coefficient de pointe prise égale à 0.12 en général.

$$Q_{2028} = 0.12 Teff_{2028}$$

$$Q_{2028} = 0.12 \times 28282$$

$$Q_{2028} = 3394 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{2048} = 0.12 Teff_{2048}$$

$$Q_{2048} = 0.12 \times 56721$$

$$Q_{2048} = 6806 \text{ uvp/h}$$

- **Débit horaire admissible:**

$$E_2 \rightarrow K_1 = 0.85; K_2 = 0.99; C_{th} = 1800 \text{ uvp/h}$$

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

$$Q_{adm} = 0.85 \times 0.99 \times 1800$$

$$Q_{adm} = 1515\, uvp/h$$

- **Le nombre de voie :**

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

  - S : coefficient traduisent la dissymétrie du trafic dans les deux sens prise égale a $\frac{2}{3}$ (en général).

$$N = \frac{2}{3} \times \frac{6806}{1515}$$

$$N = 2.994 \rightarrow \text{le nombre entier le plus proche est : } 3 \text{ voies}$$

D'où le nombre de voies est égal à 2 * 3 voies

- **Calcul de la saturation du trafic**

$Q_{sat} = 6 \times Q_{adm} = 9090$ uvp/j

$n = \frac{ln\left(\frac{Q_{sat}}{Q_{2028}}\right)}{ln(1+\tau)} = \frac{ln\left(\frac{9090}{3394}\right)}{ln(1+0.035)} \longrightarrow n = 29\, ans$ L'année de saturation = 2057

II. 5 **Conclusion**

D'après l'étude du trafic de notre autoroute, il s'agit d'une infrastructure unidirectionnelle à chaussées séparées comportant **3 voies par sens** (*configuration 2×3 voies*). L'analyse prévisionnelle indique une **saturation du trafic après 29 ans** à compter de l'année de mise en service, ce qui permet d'estimer **l'année de saturation à l'horizon 2057**.

Chapitre III : Tracé en plan

III. 1 Introduction

La planification de tout projet routier commence par la détermination de l'emplacement le plus approprié pour la route, en tenant compte des caractéristiques naturelles du terrain afin d'optimiser son intégration.

Le tracé en plan correspond à la projection horizontale de l'axe de la route sur un plan topographique, et il inclut des éléments essentiels tels que l'alignement, les courbes et les points de jonction. Les normes de conception du tracé en plan visent à garantir des conditions maximales de sécurité et de confort, en s'adaptant aux spécificités de chaque contexte environnemental. Ces critères sont définis conformément aux dispositions des ICTAAL 2015 (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison).

III. 2 Choix de la Catégorie

Cette conception est réalisée en se référant à la catégorie de base (L2) avec une vitesse maximale autorisée de 110 km/h.

III. 3 Règles et Principes de Conception du Tracé En Plan

- Respect des Points de Départ et d'Arrivée : Garantir une continuité logique et fonctionnelle de la route en tenant compte des points d'entrée et de sortie définis au préalable.

- Adaptation au Relief Naturel : Ajuster le tracé afin de limiter les modifications du terrain, ce qui permet de réduire les coûts et l'impact des travaux de terrassement.

- Intégration avec les Réseaux Existants : Assurer une connexion fluide et optimale avec les infrastructures routières déjà en place.

- Protection des Espaces Agricoles : Éviter de traverser des zones agricoles et forestières afin de préserver ces espaces essentiels et maintenir la biodiversité.

- Minimisation des Ouvrages d'Art : Réduire au maximum les traversées de cours d'eau pour limiter la construction de structures coûteuses telles que les ponts et viaducs.

- Prise en Compte des Infrastructures Sous-jacentes : Respecter les contraintes imposées par les réseaux existants, tels que les lignes électriques, les conduites de gaz et les systèmes d'assainissement et d'approvisionnement en eau.

- Normes des Alignements : Observer les limites minimales et maximales pour les sections droites de la route, garantissant ainsi une sécurité optimale et une bonne visibilité.

- Utilisation de Grands Rayons de Courbure : Favoriser les courbes à grand rayon lorsque le terrain le permet, ce qui améliore la sécurité en permettant des vitesses de circulation plus élevées et plus sûres.

III. 4 Les éléments du Tracé En Plan

Le tracé en plan d'une route se compose de plusieurs éléments fondamentaux qui définissent son alignement horizontal ainsi que son intégration harmonieuse dans le paysage environnant. Ces composantes sont essentielles pour garantir la sécurité, la fonctionnalité et l'esthétique de l'infrastructure routière.

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession de segments rectilignes reliés entre eux par des arcs de cercle, conformément au schéma illustratif suivant :

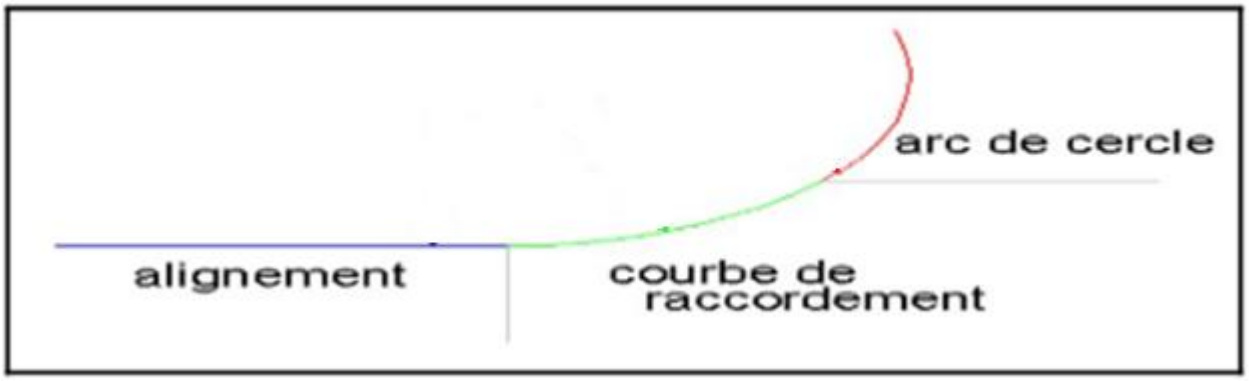


Figure IIIII.1: Schéma des éléments du Tracé en Plan

III. 4. 1 Les Alignements Droits

Les alignements droits correspondent à des sections de route rectilignes, sans courbure. Leur simplicité géométrique les rend faciles à concevoir et à exécuter, ce qui explique leur usage fréquent. Toutefois, un recours excessif à ces alignements peut entraîner plusieurs désavantages, notamment dans certaines conditions de conduite.

- **Inconvénients des Alignements Droits:**

- Éblouissement nocturne : La projection continue des phares sur de longues distances peut générer un éblouissement gênant, réduisant la visibilité.

- Monotonie et fatigue du conducteur : Le manque de variété visuelle peut entraîner une perte d'attention, augmentant le risque de somnolence et d'accidents.

- Difficulté d'appréciation des distances : Il devient plus compliqué d'estimer la distance des véhicules, en particulier ceux qui sont éloignés.

- Intégration paysagère limitée : Les lignes droites paraissent artificielles et s'intègrent mal dans des environnements naturels vallonnés ou boisés.

➢ **Utilisation Justifiée des Alignements Droits:**

- **Dans les Plaines:** Où les courbes ne sont pas nécessaires.
- **Dans des Vallées Étroites:** Où l'espace est limité.
- **À Proximité de Constructions Existantes:** Pour éviter des complications.
- **Pour Faciliter le Dépassement:** Sur des segments où le dépassement est autrement dangereux.

➢ **La longueur des Alignements :**

La détermination de la longueur d'un alignement droit repose sur plusieurs facteurs essentiels, parmi lesquels :

- **La vitesse de référence :** Plus la vitesse de circulation prévue est élevée, plus l'alignement doit être long afin de garantir la sécurité et le confort des usagers.
- **La configuration des courbes adjacentes :** La disposition et le tracé des courbes précédant ou suivant l'alignement influencent directement sa longueur optimale.
- **Le rayon des courbes voisines :** Un rayon de courbure plus réduit nécessite généralement un alignement droit plus court pour assurer une transition fluide entre les éléments du tracé.

○ **La longueur minimale :** C'est la distance parcourue par le passager à une vitesse V_B sur une période de $t = 5$ secondes.

$$\boxed{L_{min} = 5\frac{V_b}{3.6}}$$ V_b : La vitesse de base en Km/h

○ **La longueur maximale :** C'est la distance parcourue par le passager à une vitesse V_b sur une période de $t = 60$ secondes.

$$\boxed{L_{max} = 60\frac{V_b}{3.6}}$$ V_b : La vitesse de base en Km/h

Vitesse de base	$V_b(Km/h)$	110
La longueur minimale	$L_{min}(m)$	152.77
La longueur maximale	$L_{max}(m)$	1833.33

Tableau IIIII.1: *Valeurs extrêmes des alignements droits*

III. 4. 2 Arcs De Cercle:

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures:

- **La stabilité des véhicules** soumis aux forces centrifuges à grande vitesse.
- **La visibilité** réduite dans les courbes serrées.
- **La capacité d'inscription** des véhicules longs dans des courbes de petit rayon.

III.4. 2. 1 Stabilité En Courbe

Quand un véhicule passe dans un virage de rayon R, il subit une force vers l'extérieur (force centrifuge) qui peut le faire glisser. Pour éviter cela, la route est penchée vers l'intérieur du virage. Cette pente s'appelle le dévers, et elle aide à maintenir le véhicule sur la route.

Le rayon du virage et le dévers doivent être bien calculés pour que les véhicules roulant à la vitesse prévue V_b ne dérapent pas. Pour déterminer le bon rayon, on prend en compte :

- La force centrifuge F_C.
- Le poids du véhicule P.
- L'accélération de la pesanteur g.
- Le devers d.

III.4. 2. 2 Visibilité en courbe

Un virage sur une route peut être masqué par un talus de déblai situé du côté intérieur de la courbe, ou encore par une construction ou une forêt. Pour assurer une bonne visibilité au conducteur, il est nécessaire soit de reculer le talus, soit d'éliminer les obstacles en élargissant la zone dégagée à une largeur adéquate. Une autre solution possible consiste à augmenter le rayon du virage jusqu'à obtenir la visibilité requise.

III.4.2.2.1 Valeurs des Rayons En Plan

Les rayons recommandés selon les normes de l'ICTAAL 2015 sont indiqués dans le tableau suivant. Ces valeurs représentent les minimums à respecter pour les rayons en plan.

Catégorie		L_1	L_2
Rayon minimal	$R_m(m)$	600	400
Rayon minimal non déversé	$R_{nd}(m)$	1000	650

Tableau IIIII.2: Valeurs minimales des rayons du tracé en plan

Les rayons supérieurs ou égaux à $1.5R_{nd}$sont appliqués tant que cela n'induit pas de surcoûts sensibles pour améliorer la sécurité de circulation et assurer la visibilité.

III. 4. 3 Les Courbes de Raccordement (CR)

D'après **L'ICTAAL-2015** les courbes de rayon inférieur à 1,5 Rnd (600) ne peuvent être raccordées avec les alignements que progressivement par des raccordements progressifs.

Parmi les différentes courbes qui permettent une variation continue du rayon de courbure, la **Clothoïde** est celle qui a été choisie pour la conception des tracés routiers.

Selon l'ICTAAL-2015, les courbes dont le rayon est inférieur à 1,5 fois le rayon normal de la route doivent être raccordées aux alignements par des courbes de transition progressives. Parmi les diverses courbes permettant une variation continue du rayon de courbure, la clothoïde a été retenue comme référence pour la conception des tracés routiers.

➢ La Clothoïde :

La clothoïde est une spirale dont le rayon de courbure diminue progressivement, partant d'un point initial où ce rayon est infini pour tendre ensuite vers zéro. La courbure varie de manière linéaire en fonction de la distance parcourue le long de la courbe. Lorsqu'elle est parcourue à vitesse constante, la clothoïde assure une variation uniforme de l'accélération latérale, ce qui améliore le confort des usagers en rendant les transitions plus fluides.

- **Les Éléments de la Clothoïde**

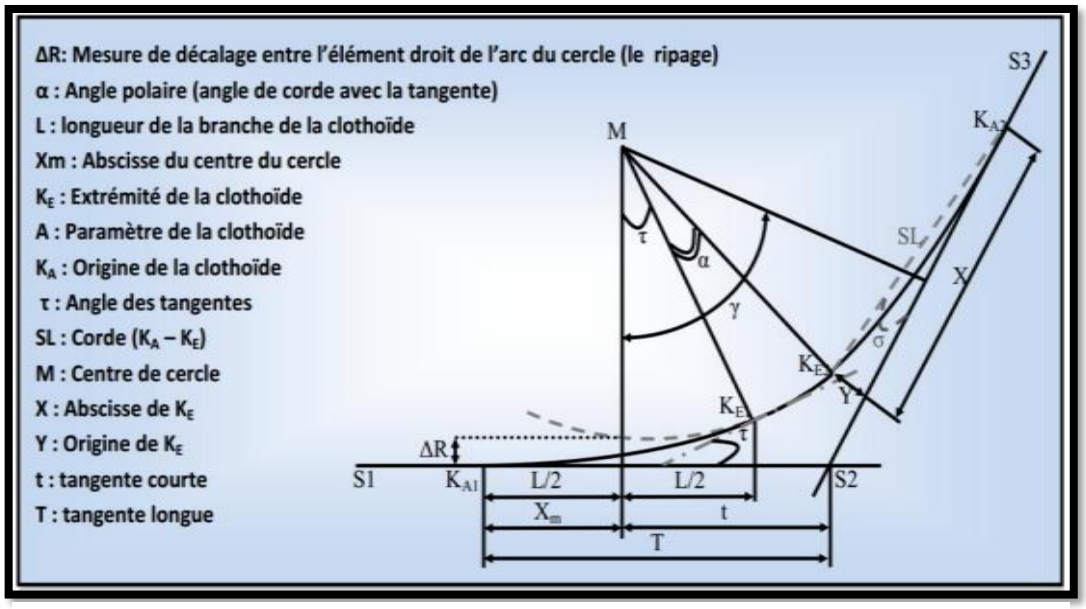


Figure IIIII.2: Les éléments de la Clothoïde

- **Expression mathématique de la clothoïde**

La courbure de la Clothoïde, est linéaire par rapport à la longueur de l'arc.

Donc $K = C.L = \frac{1}{R} \rightarrow R.L = \frac{1}{C}$

On pose $A^2 = \frac{1}{C}$

Le produit en chaque point du rayon de courbure par la longueur de l'axe (la développée), a une valeur constante égale à A^2.

L'équation Paramétrique de cette courbe est donc : $\boxed{A^2 = R.L}$

- A : Paramètre de la Clothoïde.
- R : Rayon de l'arc de cercle utilisé.
- L : longueur totale de la portion de clothoïde utilisée.

- **Longueur de Raccordement progressif (clothoïde)**

Selon l'ICTAAL-2015, les courbes dont le rayon est inférieur à $1.5R_{nd}$ doivent être introduites par des raccordements progressifs, généralement sous forme de clothoïdes. La longueur de ces raccordements progressifs doit être au minimum égale à la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$\boxed{L = max\{\ 14|\Delta\delta|\ ;\ R/9\ \}}$$

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

$$\boxed{|\Delta\delta| = |\delta_1 - \delta_{20}|}$$

- δ_0 : le divers de la courbe.
- δ_1 : la pente transversale initiale.

III. 5 Enchaînement des éléments du tracé en plan

➢ Utilisation de Courbes Circulaires:

D'après **LICTAAL-2015** les courbes circulaires avec un rayon inférieur à $1.5R_{nd}$ doivent être suivre des règles spécifiques d'enchaînement pour garantir la sécurité et la fluidité de la circulation.

➢ Introduction des Courbes:

- ✓ Il est conseillé d'introduire ces courbes modérées sur une distance comprise entre 500 et 1000 mètres, en débutant par des courbes de grand rayon afin de faciliter la transition.
- ✓ En cas de succession de deux courbes, la première courbe rencontrée (R1) doit avoir un rayon inférieur ou égal à 1,5 fois celui de la seconde courbe (R2), avec R2 étant inférieur à 1,5 fois le rayon normal de conception (Rnd). Cette règle a pour objectif de garantir une transition progressive entre les courbes et de limiter les risques d'accident.

➢ Séparation entre Courbes Successives:

- ✓ Deux courbes successives devraient être séparées par un tronçon droit d'au moins 200 mètres. Cette distance est nécessaire pour donner aux conducteurs suffisamment de temps pour ajuster leur conduite entre deux changements de direction.

- ✓ Une exception est faite pour deux courbes de sens opposé qui peuvent être introduites sans cet alignement droit si elles sont raccordées par des raccordement progressifs.

➢ Sections à Risque:

- ✓ Dans les zones particulièrement risquées, comme après une longue descente, près d'un échangeur, d'une aire de repos, ou dans des zones où le verglas est fréquent, suivre ces recommandations est essentiel pour prévenir les accidents et garantir la sécurité des usagers.

.

III. 6 Exemple de calcul manuel pour un axe en plan :

Afin d'illustrer notre méthode de calcul de l'axe, nous avons réalisé un exemple détaillé portant sur une section précise de notre tracé. À cette fin, nous avons choisi une liaison située à l'extrémité de notre itinéraire.

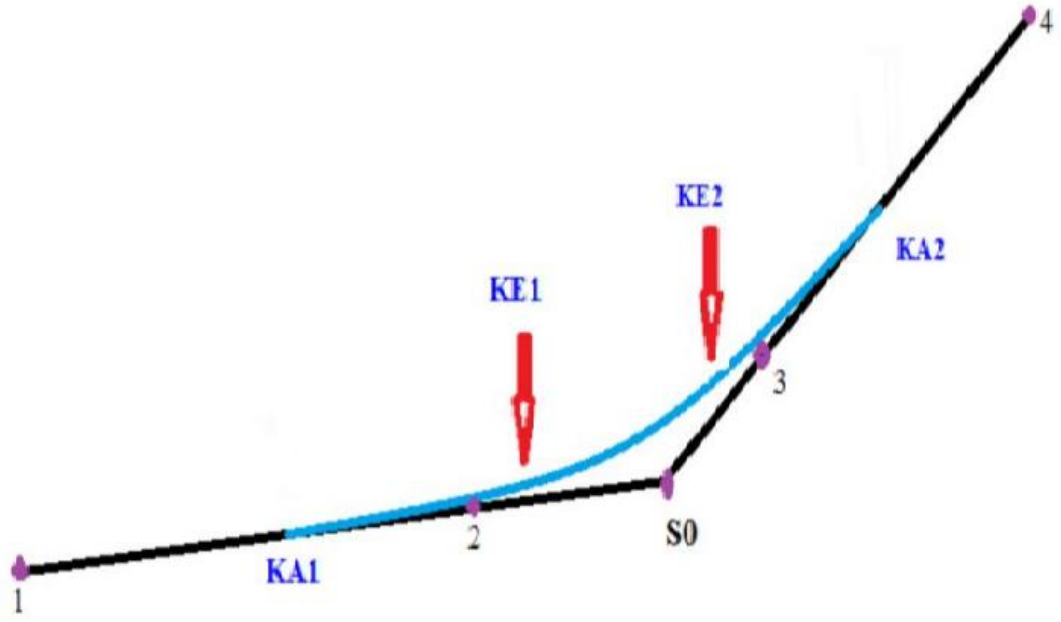


Figure III.3: Schématisation d'un tracé en plan avec Raccordement

Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

Points	X	Y
1	230897.3438	3850815.1973
2	231733.9836	3850720.0207
3	231886.4008	3850682.3777
4	232471.1045	3850510.6694

Le Rayon $\mathrm{R} = 900\ \mathrm{m} < 1.5\mathrm{R}_{\mathrm{nd}} = 975\ \mathrm{m}$ $\longrightarrow$ Un raccordement progressif (clothoïde) avec un paramètre $\mathrm{A} = 300$.

- **Calcul des gisements**

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

- $\mathbf{G_1^2}$
  - $\Delta_{X_1}^{\ 2} = X_2 - X_1 = 231733.9836 - 230897.3438 = 836.6398$ m
  - $\Delta_{Y_1}^{\ 2} = Y_2 - Y_1 = 3850720.0207 - 3850815.1973 = -95.1766$ m

  $G_1^2 = \text{arctg}\left(\frac{|\Delta_X|}{|\Delta_Y|}\right) = \text{arctg}\left(\frac{836.6398}{-95.1766}\right) \longrightarrow G_1^2 = 92.77$ gr

- $\mathbf{G_1^4}$
  - $\Delta_{X_1}^{\ 4} = X_4 - X_1 = 232471.1045 - 230897.3438 = 1573.7607$ m
  - $\Delta_{Y_1}^{\ 4} = Y_4 - Y_1 = 3850510.6694 - 3850815.1973 = -304.5279$ m

  $G_1^4 = \text{arctg}\left(\frac{|\Delta_X|}{|\Delta_Y|}\right) = \text{arctg}\left(\frac{1573.7607}{-304.5279}\right) \longrightarrow G_1^4 = 87.88$ g

- $\mathbf{G_3^4}$
  - $\Delta_{X_3}^{\ 4} = X_4 - X_3 = 232471.1045 - 231886.4008 = 584.7037$ m
  - $\Delta_{Y_3}^{\ 4} = Y_4 - Y_3 = 3850510.6694 - 3850682.3777 = -171.7083$ m

$G_3^4 = 200 - \text{arctg}\left(\frac{|\Delta_X|}{|\Delta_Y|}\right) = 200 - \text{arctg}\left(\frac{584.7037}{-171.7083}\right) \longrightarrow G_3^4 = 81.51$ gr

- **Calcul des angles au sommets de triangle $\mathbf{1S_04}$**
  - Angle $\hat{1} = |G_1^2 - G_1^4| = 4.89$gr
  - Angle $\hat{2} = |G_1^4 - G_3^4| = 6.37$ gr
  - Angle $\hat{S_0} = 200 - \text{Angle } \hat{1} - \text{Angle } \hat{2} = 188.74$ gr

- **Calcul des distances $\overline{\mathbf{1-4}}$ et $\overline{\mathbf{1-S_0}}$**
  - $\overline{1-4} = \sqrt{(X_4 - X_1)^2 + (Y_4 - Y_1)^2} = 1603.12$ m
  - $\overline{1-S_0} = \frac{\overline{1-4} \times \sin \hat{4}}{\sin S_0} = 1169.96m$
- **Calcul des cordonnées**
- **Sommet $\mathbf{S_0}$**
  - $X_{s_0} = X_1 + \overline{1-S_0} \times \sin G_1^{S_0} = 232045.11$m
  - $Y_{s_0} = Y_1 + \overline{1-S_0} \times \sin G_1^{S_0} = \mathbf{3851962.97m}$
- **Point de tangence $\mathbf{KA_1}$**
  - $L = \frac{A^2}{R} = 100$ m
  - $\Delta R = \frac{L^2}{24R} = 0.463$ m
  - $X_M = \frac{L}{2} = 50$
  - $\gamma = |G_1^2 - G_3^4| = \mathbf{11.26gr}$
  - $T = X_M + (R + \Delta R) \times \tan\frac{\gamma}{2} = 136.39$m
  - $G_{s_0}^{KA_1} = G_1^{S_0} + 200 = 287.88$ gr

- $X_{KA_1} = X_{S_0} + T \times \sin G_{S_0}^{KA_1} = 231911.25\text{m}$
- $Y_{KA_1} = Y_{S_0} + T \times \cos G_{S_0}^{KA_1} = 3851936.65m$

❖ **Point de tangence $\mathbf{KE_1}$**

- **Angle polaire**

$\sigma = \text{arctg}\left(\frac{L^2}{6A^2}\right) \longrightarrow \sigma = 1.179 \text{ gr}$

- **La corde**

$S_L = L - \frac{L^5}{90A^4} \longrightarrow S_L = 99.9863 \text{ m}$

- **Gisement de la corde $\mathbf{K_{A1}K_{E1}}$**

$GK_{A1}K_{E1} = \mathbf{92.77 - 1.179} = 91.591\text{gr}$

$X_{KE1} = X_{KA1} + S_L \times \sin G_{K_{A1}}^{K_{E1}} = 231978.94m$

$Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L \times \cos G_{K_{A1}}^{K_{E1}} = 3851903.94m$

❖ **Points $\mathbf{K_{E2}}$ et $\mathbf{K_{A2}}$**

- $G_{S_0}^{K_{A2}} = G_3^4 = 81.51\text{gr}$
- $G_{K_{A2}}^{K_{E2}} = 81.51 + 200 + 1.178 = 282.688 \text{ gr}$

$X_{KA_2} = X_{S_0} + T \times \sin G_{S_0}^{KA_2} = 231646.49$

$Y_{KA_2} = Y_{S_0} + T \times \cos G_{S_0}^{KA_2} = 3851925.52$

$X_{KE2} = X_{KA2} + S_L \times \sin G_{K_{A2}}^{K_{E2}} = 231546.75$

$Y_{KE2} = Y_{KA2} + S_L \times \cos G_{K_{A2}}^{K_{E2}} = 3851918.54$

➢ **Longueur et paramètre de raccordement progressif**

- **La longueur**

$L_s \geq \text{Max}(L_1; L_2) = \text{Max}\left(14|\delta_1 - \delta_0|; \frac{R}{9}\right)$

- δ_0 : La pente transversale initial 2.5%
- δ_1 : Le le dévers de la courbe -2.5%

$L_s = \text{Max}\left(14|-2.5 - 2.5|; \frac{1000}{9}\right) = 100 \text{ m}$

- **Le paramètre :**

$A = \sqrt{L_s \times R} = 300$

- **Vérification de la condition $\frac{R}{9} \leq A \leq R$**

$\frac{R}{9} = 100 < \mathbf{A} < 900 \longrightarrow$ Vérifié

Chapitre IV : profil en long

IV. 1 Introduction

Le profil en long est une représentation graphique de la coupe verticale effectuée le long de l'axe d'une route, illustrant les variations d'altitude du terrain naturel et de la chaussée projetée. Il fournit des informations détaillées sur les pentes, rampes et déclivités des différents tronçons, permettant d'anticiper la topographie et de planifier les aménagements nécessaires. Outil essentiel pour garantir une conduite sûre et confortable, le profil en long aide le conducteur à anticiper les variations de tracé. Il joue également un rôle clé dans l'optimisation de la construction routière, en facilitant les travaux de terrassement, la gestion des eaux, et l'intégration harmonieuse de la route dans son environnement.

IV. 2 Règles à suivre pour le tracé du profil en long :

- Respecter les normes géométriques définies par la réglementation en vigueur.
- Éviter les angles rentrants dans les zones en déblai afin de prévenir la stagnation des eaux et de garantir un écoulement optimal.
- Privilégier un profil en léger remblai plutôt qu'en léger déblai pour favoriser l'évacuation des eaux et une meilleure intégration de la route dans son environnement.
- Rechercher un équilibre entre les volumes de déblais et de remblais afin de limiter l'impact environnemental et d'optimiser les coûts.
- Veiller à un drainage efficace en assurant une pente minimale de 0,5 % dans les zones à dévers nul sur le profil en long.
- Remplacer deux courbes successives de même sens par une seule courbe continue, afin de simplifier la géométrie et de réduire les coûts.
- Garantir une coordination cohérente entre le tracé en plan et le profil en long.

IV. 3 Les caractéristiques de notre profil en long

IV. 3. 1 Valeurs limites

Tous les paramètres de notre profil en long doivent respecter les valeurs limite donnée par le tableau suivant :

Catégorie	L2
Déclivité maximale (%)	6%
Rayon en angle saillant(m)	6000
Rayon en angle rentrant(m)	3000

Tableau IIV.1 : Les limites des paramètres de profil en long.

IV. 3. 2 Déclivité minimale :

Il est déconseillé d'aménager des sections de route parfaitement horizontales (paliers), car elles présentent des difficultés en matière de drainage des eaux pluviales. La seule pente transversale de la chaussée ne suffit pas à assurer un écoulement efficace. Il est donc indispensable que l'eau puisse également s'évacuer longitudinalement, à travers des fossés ou des dispositifs de canalisation conçus avec une inclinaison appropriée. À cet effet, une déclivité minimale de $i_{min} = 0.5\%$ est recommandée, sauf dans des cas exceptionnel

IV. 3. 3 Déclivité maximale

La déclivité maximale dépend de :

- Condition d'adhérence entre pneus et chaussée.
- Vitesse minimum de PL.
- Condition économique.

Toute fois dans les sinuosités (dans une courbe en plan), il est nécessaire de réduire la déclivité maximum.

Déclivité maximale : $i_{max} = 6\%$.

IV. 4 Types de Raccordement en profil en long

Le profil en long est constitué de plusieurs sections qu'il convient de relier harmonieusement afin de garantir à la fois confort et sécurité. Parmi les types de raccordements employés dans le profil en long, on trouve :

IV. 4. 1 Raccordements convexes (angle saillant)

Les raccordements convexes requièrent des courbes paraboliques avec des rayons minimaux, déterminés en fonction de plusieurs paramètres tels que la position de l'œil du conducteur, la présence d'obstacles, ainsi que les distances nécessaires pour l'arrêt et la visibilité. Leur conception doit respecter

- **La condition de confort :** qui vise à minimiser l'accélération verticale ressentie par le véhicule lors du passage sur une courbe convexe.
- **La condition de visibilité :** un critère fondamental pour assurer une visibilité adéquate dans la définition du profil en long.

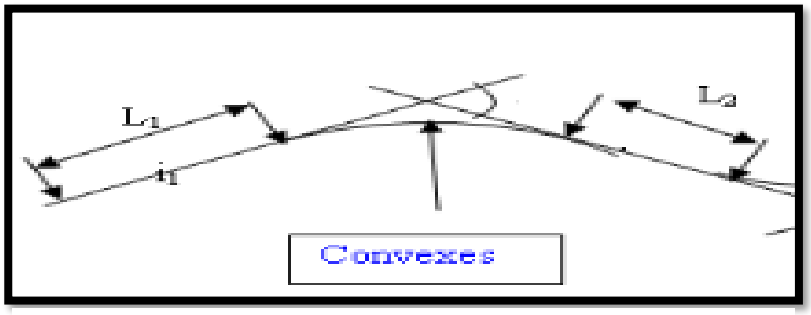


Figure IV.1: Schéma illustratif de raccordements convexes

Rayon minimal en angle saillant : 6000 m.

IV. 4. 2 Raccordements concave (angles rentrant) :

Dans les raccordements concaves, au point le plus bas, la visibilité diurne n'est généralement pas un problème, car la lumière naturelle éclaire efficacement la route. En revanche, la nuit, la situation évolue, puisque les phares des véhicules deviennent la principale source d'éclairage. Il est donc essentiel, dans ces zones concaves ou points bas, de garantir que les phares puissent projeter une lumière suffisante pour éclairer une distance adéquate devant le véhicule.

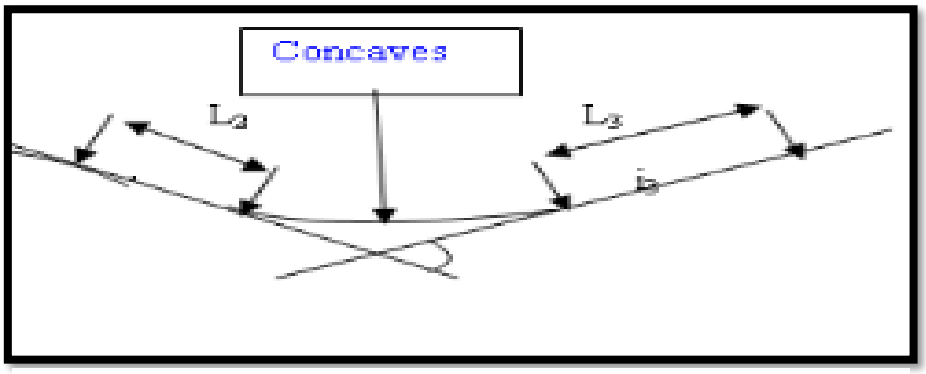


Figure IV.2 : Schéma illustratif de raccordements convexes

Rayon minimal en angle saillant : 6000 m.

IV. 5 Coordination du tracé en plan et du profil en long

➢ Objectifs de la Coordination

- **Bonne Insertion dans le Site :** La route doit bien s'intégrer dans le paysage environnant, en respectant les conditions naturelles et construites du site.
- **Respect des Règles de Visibilité :** La route doit être conçue pour offrir une bonne visibilité tout au long, permettant aux conducteurs de voir clairement la route et de prévoir ses changements.
- **Confort Visuel :** La route doit offrir une expérience visuelle agréable, sans éléments perturbateurs ou déroutants pour les conducteurs.

Selon **ICTAAL-2015** ces objectifs incitent à:

- **Associer un Profil en Long Concave à un Grand Rayon en Plan :** Un profil en long concave devrait être combiné avec un grand rayon en plan. Cela permet un dégagement latéral important, offrant plus de sécurité et de visibilité.
- **Faire Coïncider les Courbes Horizontales et Verticales :** Les changements de direction sur la route (courbes horizontales) doivent être synchronisés avec les montées et les descentes (courbes verticales). Il est recommandé que $R_{vertical} > 6R_{horizontal}$ Pour éviter un défaut d'inflexion, où la route pourrait sembler visuellement et physiquement inconfortable.
- **Gérer les Pertes de Tracé :** Les sections de la route où la route semble disparaître ou où la visibilité est réduite doivent être minimisées. Si ces sections ne peuvent pas être éliminées sans engendrer de coûts excessifs, elles doivent être conçues

pour réapparaître clairement à une distance d'au moins 500 mètres. Cela aide à prévenir la confusion ou les perceptions erronées chez les conducteurs, rendant la route plus prévisible et donc plus sûre.

IV. 6 **Exemple de calcul du profil en long (cas de raccordement d'un rayon concave)**

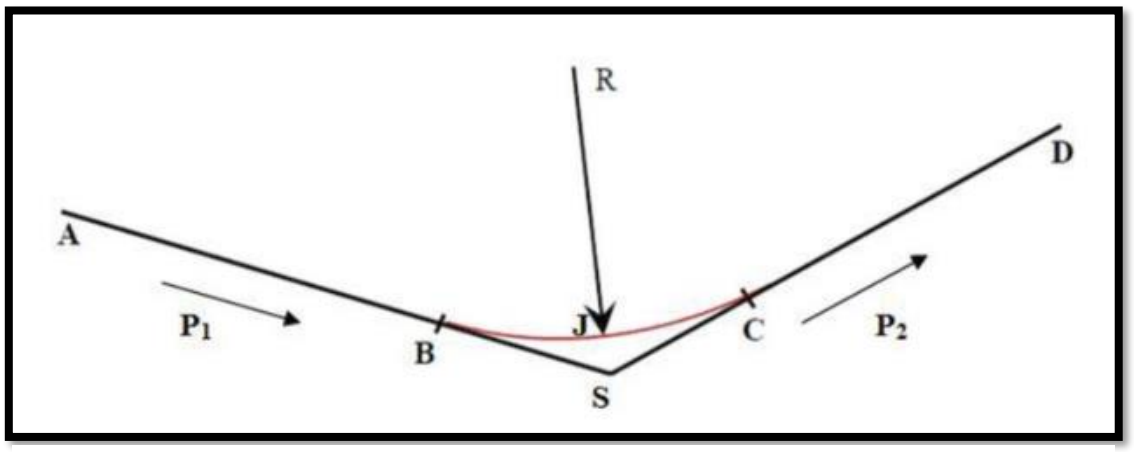


Figure IIV.3 : Schéma illustratif d'un rayon concave

- **Les points de notre Profil en long**

Points	Abscisse (m)	Z(m)	R(m)
A	2272.14	855.473	3000
S	2467.58	851.686	
D	3813.33	873.522	

Tableau IV.2 : Les données du PL a calculé

- **Calcul des pentes**
  - $P_1 = \frac{\Delta Z_{AS}}{\Delta X_{AS}} = \frac{Z_S - Z_A}{X_S - X_A} = \frac{851.686 - 855.473}{2467.58 - 2272.14} = -1.93\%$
  - $P_2 = \frac{\Delta Z_{SD}}{\Delta X_{SD}} = \frac{Z_S - Z_D}{X_S - X_D} = \frac{851.686 - 873.522}{2467.58 - 3813.33} = 1.62\%$

- **Calcul des tangentes**
  - $T = \frac{R}{2} \times |P_1 + P_2| = \frac{3000}{2} \times |-1.93\% + 1.62\%| = 4.65\ m$

- **Calcul des coordonnées des points de tangence**
  - **Point B**

    $X_B = X_S - T = 2467.58 - 4.65 = 2462.93\ m$

    $Z_B = Z_S - (T \times P_1) = 851.686 - (4.65 \times -1.93\%) = 851.77\ m$

- **Point C**

  $X_C = X_S + T = 2467.58 + 4.65 = 2472.23m$

  $Z_B = Z_S + (T \times P_2) = 851.686 + (4.65 \times 1.62\%) = 851.761m$

➢ **Calcul de la longueur de raccordement**

- $L = 2 \times T = 9.3\ m$

➢ **Calcul des cordonnées de point J**

- $X_{J/A} = R \times P_1 = \ 57.9m$
- $Z_{J/A} = X_{J/A} \times P_1 - \frac{X_{\frac{J}{A}}^{\ 2}}{2R} = \ 0.558535\ m$

$X_J = X_B + X_{\frac{J}{A}} = 2462.93\ m + 57.9 = 2520.83$ m

$Z_J = Z_B - Z_{\frac{J}{A}} = 851.77 - 0.558535\ = 851.21\ m$

Les résultats des calculs manuels sont presque identiques à ceux obtenus avec le logiciel. Les résultats calculés automatiquement par le logiciel sont joints en annexe.

Chapitre V : Profil en travers

V. 1 Introduction

Le profil en travers correspond à une coupe perpendiculaire à l'axe de la route, représentée dans un plan vertical. Un projet routier nécessite la réalisation de plusieurs profils en travers afin de couvrir les différentes sections de l'infrastructure. Pour faciliter cette démarche, on établit d'abord un profil en travers type, qui sert de modèle de référence. Ce profil standard comprend l'ensemble des dimensions et détails techniques requis, notamment les largeurs des voies et de la chaussée, les inclinaisons des surfaces et des talus, les épaisseurs des couches de la superstructure, ainsi que les dispositifs de drainage.

V. 2 Types de profils en travers dans la conception routière :

Pour la planification d'un projet routier, l'ingénieur est tenu de concevoir deux types principaux de profils en travers :

V. 2. 1 Le profil en travers type :

Le profil en travers type joue un rôle fondamental dans la construction de nouvelles routes ou dans l'aménagement de routes existantes. Il intègre l'ensemble des spécifications techniques nécessaires à l'édification de la route en fonction des différentes configurations du terrain, notamment les zones en remblai ou en déblai. En superposant ce profil standard au relief naturel et en respectant les altitudes prévues par le projet, il devient possible d'estimer avec exactitude les volumes de terrassement à réaliser.

V. 2. 2 Profil en Travers Courant

Le profil en travers courant constitue un élément standard fréquemment utilisé dans les projets routiers. Il est implanté à intervalles réguliers (généralement tous les 10, 15, 20 ou 25 mètres) et permet d'évaluer les volumes de terrassement nécessaires. En fonction de la topographie du site, on distingue trois types de profils en travers : le profil en déblai, le profil en remblai et le profil mixte.

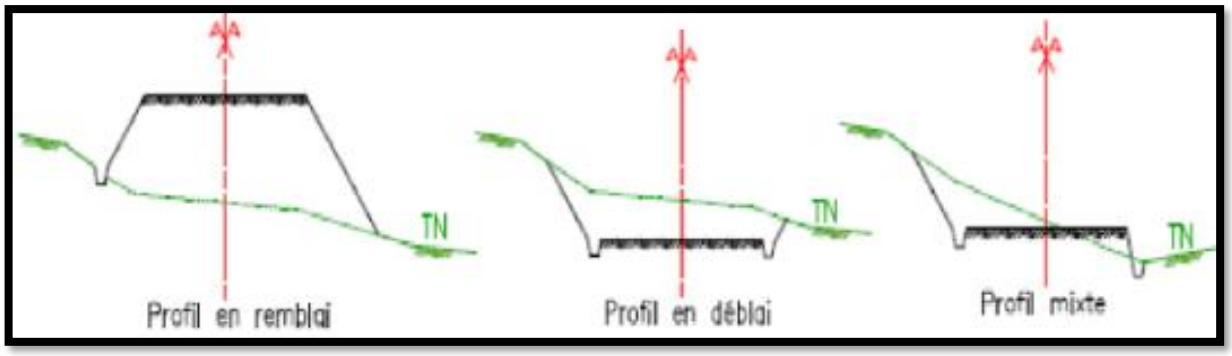


Figure V.1 : Types de profils en travers

V. 3 Les éléments constitutifs du profil en travers :

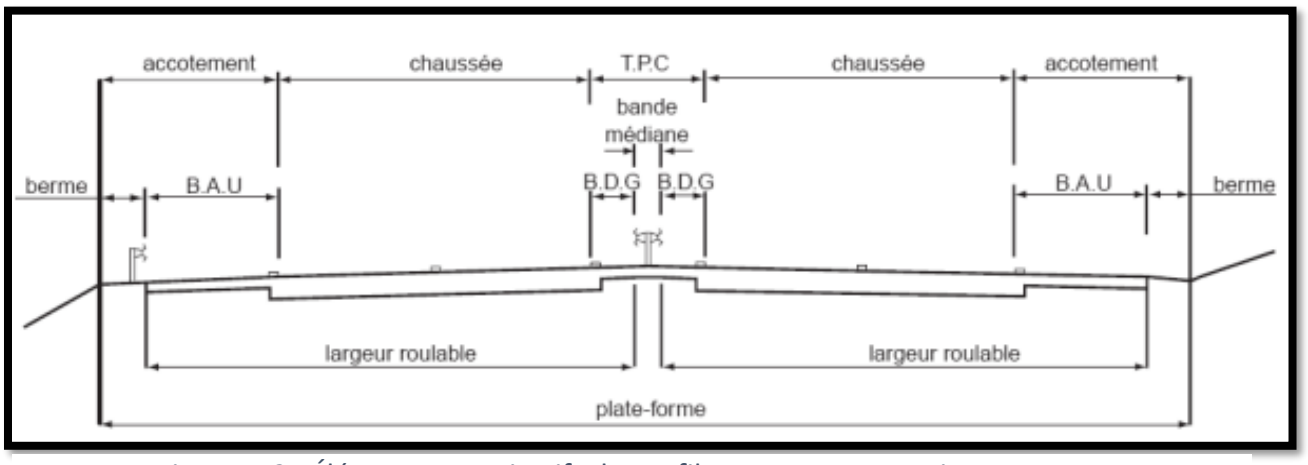


Figure V.2 : Éléments constitutifs du profil en travers en section courante

Le profil en travers se compose des éléments suivants :

- **Chaussée** : Partie de la route destinée à la circulation des véhicules. Elle comporte généralement de deux à quatre voies, chacune ayant une largeur standard de 3,5 mètres.
- **Largeur roulable :** Elle englobe l'ensemble de la surface utilisable pour la circulation, incluant la chaussée, les sur-largeurs éventuelles ainsi que la bande d'arrêt d'urgence.
- **Plateforme** : Ensemble de la structure routière comprenant une ou plusieurs chaussées, les accotements et, le cas échéant, les terre-pleins centraux.
- **Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U.) :** Portion revêtue de l'accotement, dépourvue d'obstacles, aménagée pour permettre l'arrêt des véhicules en cas d'urgence ainsi que l'intervention des services de secours ou d'entretien.
- **Bande dérasée gauche (B.D.G.) :** Située à gauche des chaussées à sens unique, cette bande revêtue est alignée avec le niveau de la chaussée. Elle permet de légers écarts de trajectoire, améliore la visibilité dans les courbes à gauche, et atténue l'effet de paroi induit par les dispositifs de sécurité. Sa largeur standard est d'environ 1 mètre.
- **Bande médiane :** Partie non circulable du terre-plein central, située entre deux bandes dérasées gauches. Elle sert à séparer physiquement les flux de circulation opposés et peut accueillir divers équipements tels que des glissières de sécurité, des dispositifs de signalisation ou d'éclairage.
- **Berme :** Zone latérale de l'accotement, non roulable, généralement engazonnée. Elle est adjacente à la B.A.U. et contribue à la visibilité, tout en supportant divers équipements tels que des glissières de sécurité ou de la signalisation verticale.

- **Terre-plein central (T.P.C) :** Bande séparatrice entre deux chaussées sur une même plateforme. Composé d'une bande médiane et de deux B.D.G, il assure la séparation physique des flux de trafic opposés**.**

V. 4 **Pente transversale :**

Selon **LICTAAL-2015** : Les courbes de rayon inférieur à R_{nd} sont déversées vers l'intérieur de la courbe.

V. 4. 1 En alignement et en courbe non déversée :

- Pente transversale de la chaussée

La chaussée présente une pente transversale standard de 2,5 %, orientée vers l'extérieur de la route. Cette inclinaison permet un drainage efficace des eaux de ruissellement vers les bords de la chaussée, réduisant ainsi les risques de stagnation d'eau.

- Pente des bandes d'arrêt d'urgence (B.A.U.) et des bandes dérasées droites (B.D.D.)

Ces bandes adoptent généralement la même pente que la chaussée adjacente. Toutefois, au-delà de la zone marquant la limite de la chaussée, cette pente peut être portée jusqu'à 4 %, notamment pour satisfaire à certaines exigences techniques telles que l'amélioration de l'évacuation des eaux pluviales.

- Pente des bandes dérasées gauches (B.D.G.) et du terre-plein central (T.P.C.)

Lorsqu'ils sont revêtus, les B.D.G. et le T.P.C. suivent la même inclinaison que la chaussée adjacente. Cette continuité garantit une homogénéité dans le profil transversal et favorise le bon écoulement des eaux.

- Pente de la berme extérieure

La berme extérieure, qui ne fait pas partie des zones circulables, est dotée d'une pente transversale plus prononcée, de l'ordre de 8 %. Cette inclinaison peut atteindre jusqu'à 25 % lorsque la berme est intégrée au dispositif d'assainissement routier. Une telle pente accentuée facilite l'écoulement rapide des eaux de pluie, évitant leur accumulation sur les voies de circulation ou leurs abords.

V. 4. 2 En courbe déversée :

- **Pente Transversale de la Chaussée :**

Dans une courbe déversée (où la chaussée est inclinée vers l'intérieur du virage) la pente transversale varie en fonction de la géométrie de la courbe. Cette pente évolue linéairement selon l'inverse du rayon de courbure (1/R). Ainsi, pour un rayon de référence (R_{nd}), la pente est de 2,5 %, et elle peut atteindre jusqu'à 7 % pour les courbes plus serrées (R_m).

- **Pente de la Bande d'Arrêt d'Urgence (B.A.U.) :**
  - **À l'intérieur de la courbe :** La B.A.U. ou la bande dérasée droite (B.D.D.) intérieure adopte la même pente que la chaussée attenante.
  - **À l'extérieur de la courbe :** Tant que le dévers reste inférieur ou égal à 4 %, la pente de la B.A.U. ou de la B.D.D. extérieure est identique à celle appliquée en alignement droit. En revanche, si le dévers dépasse 4 %, la pente de cette bande est inversée par rapport à celle de la chaussée, avec une valeur fixée à 1,5 %.

- **Autres composantes de la plate-forme :**
  Les caractéristiques géométriques des autres composantes de la plateforme telles que les accotements, les bandes dérasées gauches, les terre-pleins centraux et les bermes restent conformes aux dispositions définies pour les alignements droits et les courbes non déversées.

V. 5 Changement de dévers

Point de Rotation des Dévers

Le dévers désigne l'inclinaison transversale de la chaussée, destinée à améliorer la sécurité des usagers en courbe et à favoriser l'évacuation des eaux de ruissellement. Le point de rotation du dévers correspond au point autour duquel cette inclinaison varie lors du passage entre une section en alignement et une courbe.

- **Si le Terre-Plein Central (T.P.C.) est revêtu :** le point de rotation du dévers situé sur l'axe central de la plate-forme routière.
- **Si le T.P.C. n'est pas revêtu :** le point de rotation pour chaque chaussée se trouve généralement sur le bord gauche de chaque chaussée.

Évacuation des Eaux de Ruissellement

Le changement de dévers doit être conçu de manière à garantir un drainage efficace des eaux de ruissellement, sans compromettre la sécurité ni la durabilité de la chaussée.

- **Zone de Basculement du Dévers :** Dans la zone de transition où le dévers s'inverse, il est impératif que la chaussée conserve une pente suffisante pour permettre l'écoulement des eaux. À cette fin, une pente résultante minimale de 0,5 % doit être assurée en tout point de la surface roulable, évitant ainsi toute stagnation d'eau susceptible de nuire à l'adhérence ou à la structure de la chaussée.

- **En Courbe Déversée:** lorsqu'une route est en courbe et le dévers est utilisé pour, le T.P.C. (s'il est présent et revêtu) est conçu pour aider à évacuer les eaux de la chaussée.

V. 6 Profil en travers type du notre projet

V. 6. 1 Profil en travers en section courante

Description	Largeur (m)	Nombre	Largeur totale(m)
Voie de circulation 2x3	3.5	6	21
Terre-plein central (T.P.C)	3	1	3
Bande dérasée de gauche (B.D.G)	0.5	2	1
Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	3	2	6
La berme	1	2	2
La largeur totale de la plate-forme			33
Dévers en section droite			
Chaussée	2,5 % vers l'extérieur		
Bande dérasée de gauche (B.D.G)	Identique à celle de la chaussée.		
Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	Identique à celle de la chaussée.		
Berme extérieure	8% vers l'extérieur		
Dévers en courbe			
Chaussée	2,5 % pour Rnd et 7 % pour Rm		
Bande dérasée de gauche (B.D.G)	Identique à celle de la chaussée		
Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	Identique à celle de la chaussée		

Tableau V.1 : Les caractéristique géométrique de Profil en travers type en section

V. 6. 2 Profil en travers au niveau des ouvrages d'art

Description	Largeur (m)	Nombre	Largeur totale(m)
Voie de circulation 2x3	3.5	6	21
Bande dérasée de gauche (B.D.G)	0.5	2	1
Bande médiane (B.M)	1.5	1	1.5
Accotement	4	1	4
La largeur totale de la plate-forme			27.5
Dévers en section droite			
Chaussée	2,5 % vers l'extérieur		
Bande dérasée de gauche (B.D.G)	Identique à celle de la chaussée.		
Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	Identique à celle de la chaussée.		

Tableau V.2 : Les caractéristique géométrique de Profil en travers -Ouvrage

Chapitre VI : Cubature

VI. 1 Introduction

Le calcul des volumes de terrassement, ou *cubature*, consiste à déterminer les quantités de terre à excaver (déblais) et à ajouter (remblais). Cette opération est essentielle pour optimiser les coûts de construction et garantir une surface routière régulière et stable. Une telle préparation du terrain est indispensable à la mise en œuvre d'une chaussée assurant une circulation sécurisée des véhicules. Ces calculs reposent sur les éléments suivants :

- Les profils en long, représentant la coupe verticale le long de l'axe de la route
- Les profils en travers, illustrant la coupe horizontale de la route à intervalles réguliers.
- Les distances entre les profils successifs, qui influent sur la précision.

VI. 2 Méthodes de Calcul des Cubatures

La méthode de la moyenne des aires est couramment utilisée pour l'estimation des volumes de terrassement. Bien que cette méthode soit simple à mettre en œuvre, elle présente une certaine marge d'erreur. Afin de compenser les éventuelles imprécisions et de renforcer la sécurité du projet, il est généralement recommandé d'augmenter les volumes estimés de 10 %.

VI. 2. 1 Méthode de la moyenne des aires

Cette méthode repose sur le calcul du volume situé entre deux profils consécutifs, P_1 et P_2 , en appliquant la formule suivante :

$$V = \frac{h}{6}(S_1 + S_2 + 4S_0)$$

- h : hauteur entre deux profils.
- S_0 : surface limitée à mi- distances des profils.
- S_1 : surface de profil en travers P_1.
- S_2 : surface de profil en travers P_2.

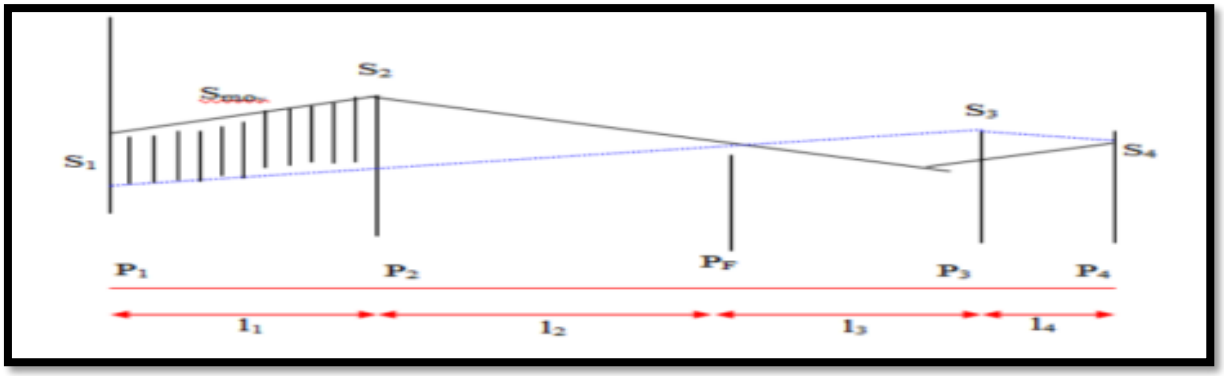


Figure VI.1 : Les positions des sections dans un profil en long

- Le volume compris entre les deux profils en travers P_1 et P_2 de section S_1 et S_2 sera égale à :

$$V = \frac{L_1}{6}(S_1 + S_2 + 4S_{moy})$$

- Par simplification en considèrent :

$$S_{moy} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

- On obtient :
  - $V_1 = \frac{L_1}{2}(S_1 + S_2)$ Entre P_1 et P_2.
  - $V_2 = \frac{L_2}{2}(S_1 + 0)$ Entre P_2 et P_f.
  - $V_3 = \frac{L_3}{2}(0 + S_3)$ Entre P_f et P_3.
  - $V_4 = \frac{L_4}{2}(S_3 + S_4)$ Entre P_3et P_4.
- Le Volume total est :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

VI. 3 **Calcul des cubatures de terrassement :**

Pour notre projet, le calcul des cubatures a été effectué à l'aide du logiciel « COVADIS » les résultats sont représenter dans le tableau suivant :

	Volume (m^3)
Déblais	498408.51
Remblais	104240.79

Tableau VI.1: Cubatures déblais remblais

Chapitre VII : Étude géotechnique

VII. 1 Introduction

La connaissance approfondie des propriétés mécaniques du sol constitue un préalable indispensable à la pérennité de l'infrastructure projetée. Elle permet également d'assurer la sécurité et le confort des usagers. Cette étape est essentielle pour éviter toute forme de dégradation prématurée de la chaussée, que ce soit à court ou à long terme, dès la mise en service de l'autoroute, ainsi que pour limiter les difficultés pouvant survenir lors des travaux de construction. Dans cette optique, une classification des matériaux utilisés en construction routière est proposée, conformément aux recommandations du guide technique « *Réalisation des remblais et des couches de forme »*

VII. 2 Les objectifs de l'étude géotechnique

Les objectifs de l'étude géotechnique comprennent :

- Évaluer les propriétés mécaniques et physiques du sol afin de garantir une assise solide et durable pour l'infrastructure.
- Assurer la stabilité des pentes et des talus pour prévenir les risques de glissements de terrain et limiter les phénomènes d'érosion.
- Orienter le dimensionnement de la chaussée en analysant la capacité portante du sol et en déterminant les exigences en matière de matériaux de construction.
- Repérer les zones à risque susceptibles de compromettre la durabilité ou la sécurité de l'ouvrage routier.
- Formuler des recommandations techniques concernant les méthodes de construction et le choix des matériaux, dans le but d'optimiser la performance et la longévité de la chaussée.

VII. 3 Méthodologie

Dans le cadre de l'étude géotechnique de la liaison autoroutière reliant Sidi Bel Abbès à l'Autoroute Est-Ouest, sur le tronçon s'étendant du PK90+000 au PK100+000 et comprenant un échangeur au PK96+500, une approche méthodologique rigoureuse a été mise en œuvre. Celle-ci combine des investigations menées in situ avec des analyses en laboratoire, dans le but de caractériser de manière précise les conditions géologiques et géotechniques du site. Ces données sont essentielles pour orienter les choix techniques relatifs à la conception et à l'exécution de l'infrastructure.

VII. 3. 1 Investigations In situ

Nous présentons les investigations exécutées selon des normes internationales afin de caractériser les aspects lithologiques et mécaniques du sol support de la zone d'étude selon le tableau suivant :

N°	**Désignation**	**Objectif**
1	**Puits de reconnaissance**	-Identification du sol en phase -Prélèvements des échantillons. -Détermination de la portance du terrain (essais CBR).

2	**Sondages pressiométriques**	-Évaluer les caractéristiques de déformabilité des terrains ainsi que leur pression limite.
3	**Sondages carottés**	-Identification d'un sol. -Prélèvements des échantillons.

Tableau VII.1 : les Investigations In situ

VII. 3. 2 Investigations au laboratoire

Essais	Description	Objectif
D'identification Physico - Chimiques	-Analyse granulométrique	**-**Répartition pondérale des éléments granulaires d'un matériau.
	-Teneur en eau naturelle.	**-**Détermination de la teneur en eau d'un matériau.
	-Limites d'Atterberg.	-Détermination de l'argilosité d'un sol.
	-Teneur en $CaSO_4$; $CaCO_3$.	-Détermination de la teneur en sulfate (Degré d'agressivité du sol) /la teneur en carbonate(Méthode du calcimètre).
	-Détermination de la valeur de bleu d'un sol.	-Détermination de l'argilosité d'un Matériau.
	-Masse volumique des particules solides d'un sol/roche.	**-**Détermination de la masse volumique moyenne des particules solides de sol/d'un élément de roche.
Essais Routiers	-Essai Proctor normal.	-Déterminer la masse volumique sèche d'un matériau et sa teneur en eau correspondante.
	-Indice CBR.	-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.	**-**Étudier la compressibilité d'un échantillon de sol.
	-Essai de cisaillement.	-Mesure des paramètres de résistance au cisaillement rectiligne (cohésion et angle de frottement interne) d'un matériau.
Essais Mécaniques Des Roches	-Essai Los Angelos (LA).	-Mesure de la résistance d'une fraction granulaire à la fragmentation par chocs.
	-Essai Micro Deval (MDE).	-Mesure de la résistance d'usure d'une fraction granulaire.
	-Essai de fragmentabilité (FG)	-Mesure de la résistance de la roche sous la charge due au trafic routier
	-Essai de dégradabilité (DG)	-Qualifier la sensibilité du matériau rocheux aux sollicitations hydriques

	-Essai de compression Simple	-Mesure de la résistance à la Compression.
	-Essai de résistance à la traction	-Mesure de la résistance à la traction.

Tableau VII.2 : Les investigations au laboratoire

VII. 4 **Identification des Matériaux**

Le tableau ci-après récapitule des résultats laboratoire obtenus à partir des essais réalisés sur les échantillons prélevés des puits.

PK	Profondeur (m)	Analyse Granulométrique			Limites d'Atterberg			VBS	Teneur en eau Wn(%)
		D_{max}	$< 2mm$ (%)	$< 0.08mm$ (%)	$W_L(\%)$	$W_P(\%)$	$I_P(\%)$		
94+675	3 m	35	45	42	28.8	18	10.8	1	10.3
99+475	3 m	45	78	74	33.4	23.9	9.5	2.26	14.5
104+375	3 m	43	79	74	35.1	23.8	11.3	1.23	17.6

Tableau VII.3 : Aperçu sur les résultats des analyses de laboratoire des échantillons des puits de reconnaissance

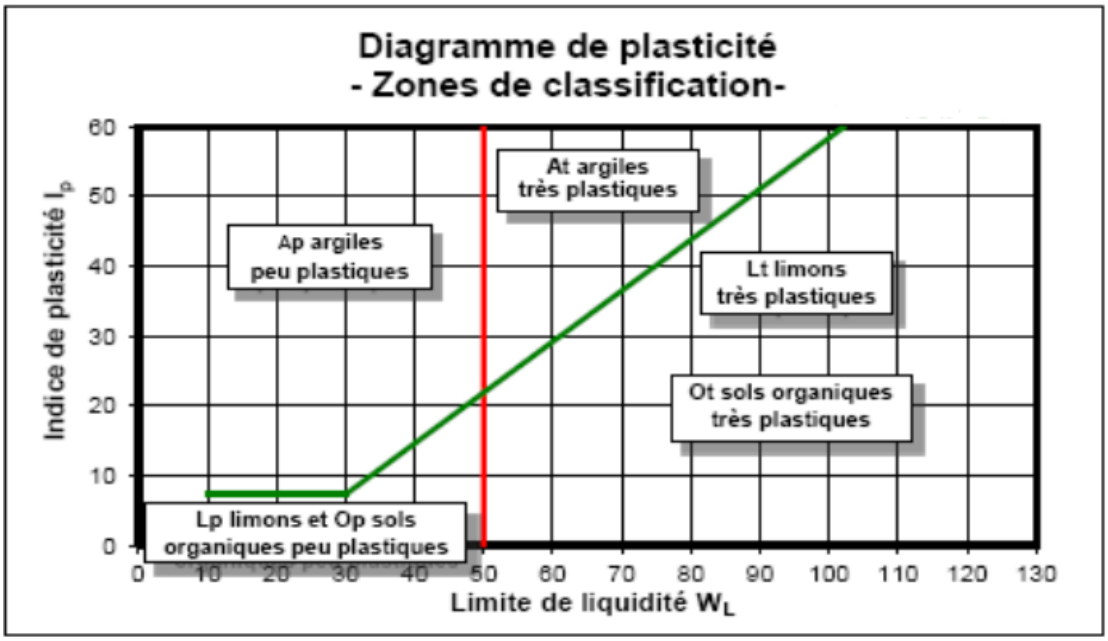


Tableau VII.4 : Classification des sols fins sur le diagramme de Casa grande

- **Classification de chaque puit selon LCPC :**
  - Exemple puit 94+675 :

$$(\mathrm{w_L}; \mathrm{I_p}) = (28.8\%; 10.8\%) : \text{à partir de diagramme de Casagrande} \rightarrow \mathrm{A_p}$$

PK	Classification selon LCPC
94+675	$\mathrm{A_p}$:Argile peu plastique
99+475	$\mathrm{A_p}$:Argile peu plastique
104+375	$\mathrm{A_p}$:Argile peu plastique

Tableau VII.5: Classification de chaque puits selon LCPC

VII. 5 **Caractéristiques mécaniques**

Le tableau ci-après récapitule des résultats laboratoire obtenus à partir des essais réalisés sur les échantillons prélevés des puits.

PK	Profondeur (m)	Proctor modifiée			Indice $CBR_{imbibé}$
		γ_{dmax} t/m^3	W_{opm} (%)	W_n (%)	
94+675	3 m	1.96	12.10	10.3	7.5
99+475	3 m	1.8	17.5	14.5	6.5
104+375	3 m	1.74	18	17.6	16.5

Tableau VII.6 : Aperçu sur les résultats des analyses de laboratoire des échantillons des puits de reconnaissance

VII. 6 **Classification des sols selon la norme NF P 11-300 ou GTR**

Classement selon la nature				**Classement selon l'état hydrique**		
PK	**Paramètres de nature premier niveau de classification**	**Classe**	**Paramètres de nature deuxième niveau de classification**	**Sous classe en fonction de la nature**	**Paramètres et valeur de seuils retenus**	**Sous - classe**
94+675	$\mathrm{D_{max}} \leq 50$ mm et 42 % passant à $80\mu m$	A	$VBS < 2.5$	$\mathrm{A_1}$	$0.7w_{op} < w_n < 0.9w_{op}$	$\mathrm{A_{1S}}$
99+475	$\mathrm{D_{max}} \leq 50$ mm et 74 %	A	$VBS < 2.5$	$\mathrm{A_1}$	$0.7w_{op} < w_n < 0.9w_{op}$	$\mathrm{A_{1S}}$

	passant à $80\mu m$					
104+375	$D_{max} \leq 50$ mm et 74 % passant à $80\mu m$	A	$VBS < 2.5$	A_1	$0.9w_{op} < w_n < 1.1w_{op}$	A_{1m}

Tableau VII.7 : Classification des Matériaux selon le GTR

VII. 7 **Définition des pentes des talus :**

La conception des pentes des talus de déblais a été établie en prenant en compte plusieurs facteurs essentiels :

- La profondeur des déblais.
- La nature lithologique et la résistance mécanique des terrains (cohésion C, angle de frottement ϕ).
- La stabilité à court et à long terme.
- L'intégration paysagère adaptée au site.
- La problématique liée à l'expropriation des terrains concernés.

De manière générale, les déblais ont été conçus avec des talus uniformes sur toute leur hauteur, interrompus par des bermes tous les 6 mètres de dénivelé. Il est également recommandé d'adoucir les derniers mètres des talus afin d'éviter la formation d'arêtes vives

VII. 8 **Conclusion et Recommandation**

- ✓ D'après les résultats de l'essai CBR, nous pouvons classer le sol support selon le catalogue de dimensionnement des chaussées neufs (tableau 2-fasicule 1) dans la classe S3 ($CBR = 6.5 < 10$), donc en prévoir une couche de forme.

- ✓ La pente de talus adoptée sera de 3H/2V avec des banquettes chaque 6 m de hauteur pour assurer la stabilité et ce qui permettra d'atténuer le problème de l'érosion superficielle et de ravinement des talus.

- ✓ Matériaux A1s et A1m : Ces matériaux font partie des sols bien classés, souvent constitués de graviers ou sables avec peu de fines, et présentent une excellente capacité portante.
- ✓ **Recommandation** : Utilisez ces matériaux pour les couches de base et de fondation, en particulier dans les zones nécessitant une bonne portance et un bon drainage. A1s est à privilégier dans les zones sensibles à l'humidité ou sujettes au gel, tandis que A1m convient mieux lorsque des contrôles de compactage et d'humidité peuvent être assurés sur chantier.

Chapitre VIII : Dimensionnement du corps de chaussée

VIII. 1 Introduction

Le dimensionnement d'une chaussée a pour objectif de déterminer les épaisseurs optimales des différentes couches de matériaux qui la composent, de manière à garantir sa résistance aux sollicitations mécaniques induites par le trafic tout au long de sa durée de vie. Ces sollicitations se traduisent principalement par :

- Une détérioration progressive menant à la rupture par fatigue,
- Une accumulation de déformations permanentes à l'origine d'un orniérage excessif.

Une fois réalisée l'autoroute doit être en mesure de supporter non seulement les effets des conditions climatiques telles que les variations de température, la pluie, la neige ou le gel mais également les charges dynamiques imposées par le trafic, notamment celles générées par les poids lourds.

La qualité de la construction des chaussées est donc un facteur déterminant. Elle repose avant tout sur une connaissance approfondie du sol support et sur un choix rigoureux des matériaux de mise en œuvre.

VIII. 2 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves

Les données de bases pour le dimensionnement de chaussée sont :

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

VIII. 3 Les Données climatiques

Pour dimensionner la chaussée de manière adéquate, on utilise une température de référence, nommée température équivalente θ_{eq}. Cette approche prend en considération les variations annuelles de température.

Selon le « catalogue de dimensionnement des chaussées neuves », qui classe les sites selon leur climat, le lieu du projet est identifié comme appartenant à la zone II.

Donc on prend $\theta_{eq} = 20°C$ Comme montré par le Tableau suivant :

	Zone climatique		
Température équivalente θeq (°C)	I et II	III	IV
	20	25	30

Tableau VIII.1 : Choix de température équivalente

VIII. 4 Trafic

VIII. 4. 1 Détermination du type de réseau principal RP :

- Tant tenu du trafic dont on dispose qui est égal à 12600 v/j donc > à 1500 v/j
- Notre projet relie la wilaya de sidi belabes à Celle de saida donc c'est une liaison de deux chefs-lieux de wilaya
- Ce présent projet est d'une importance économique et socioéconomique importante et l'opportunité de ce projet

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

VIII. 4. 2 Détermination du type de la classe de trafic TPLi :

Données du projet :

- Le trafic journalier moyen annuel {l'année 2022, TJMA2022= 12600v/j}.
- Année de mise en service : 2028.
- L'environnement : E2, catégorie C1.
- Le pourcentage des poids lourds : Z = 27.4%.
- Taux de croissance annuelle de trafic : τ = 3.5%.
- La durée de vie : 20ans.

On doit calculer le trafic de poids lourd (TPL) sur la voie la plus charger (vpc) a l'année de mise en service (2028) :

- **Calcul de TPL:**

$$\mathrm{TPL}_{2028} = \mathrm{Z} \times \mathrm{TJMA}_{2028}$$

$$\mathrm{TPL}_{2028} = 0.274 \times 15489 \times \frac{2}{3}$$

$$\mathrm{TPL}_{2028} = 2843.4 \ \mathrm{PL/j/sens}$$

- **Répartition transversal sur la VPC:**

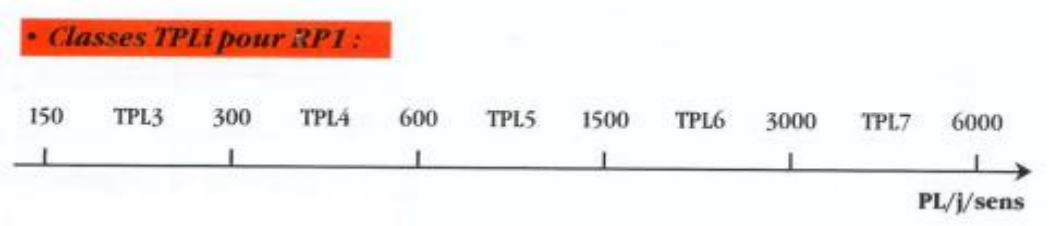
-Chaussée unidirectionnelle a 3 voies : 80% du trafic PL sur la voie lente de droite.

Donc : $\mathrm{TPL}_{2028}(\mathrm{vpc}) = 0.8 \times \mathrm{TPL}_{2028}$

$\mathrm{TPL}_{2028}(\mathrm{vpc}) = 0.8 \times 2843.4$

$$TPL_{2028}(vpc) = 2274.77 \text{ PL / j/sens}$$

D'après le fasicule-1 page 10 :



Type de la classe de trafic est : **TPL6.**

VIII. 4. 1 Classe de portance de sol support

D'après le fasicule-1 tableau-2 :

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

Tableau VIII.2: Classe de portance des sols

Pour notre cas, on a un CBR=6.5 alors E=32.5MPA, donc on dispose d'un sol de portance S3

VIII. 4. 2 Sur classement de sol support

D'après le fasicule-1 tableau-5 :

Classe de portance de sol terrassé (Si)	Matériau de couche de forme	Epaisseur de matériau de couche de forme	Classe de portance de sol-support visée (Sj)
< S4	Matériaux non traités (*)	50 cm (en 2 couches)	S3
S4	//	35 cm	S3
S4	//	60 cm (en 2 couches)	S2
S3	//	40 cm (en 2 couches)	S2
S3	//	70 cm (en 2 couches)	S1

Tableau VIII.3: Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité

Afin de renforcer la structure de la chaussée, une couche de forme de 40 cm d'épaisseur composée de matériaux sélectionnés à bonne portance (de type GNT) est mise en place. Cette couche est réalisée en deux passes successives de 20 cm, chacune étant soigneusement compactée conformément aux résultats du Proctor modifié.

Cette amélioration rendra la classe de portance du sol adéquate pour la construction d'une infrastructure sur le réseau RP1.

VIII. 4. 3 Choix de la structure de chaussée

D'après le fasicule-2 tableau-1 :

Types de Matériaux	Fiche structure n°	Type structure	Zones climatiques (*)
1 - MTB (Matériaux traités au bitume)	1	GB/GB	I , II
	2	GB/GNT	I , II
	3	GB/GNT	III
	4	GB/SG1	IV
	5	GB/TUF1	III
2 - MTLH (matériaux traités liants hydrauliques)	6	GL/GL	I , II
	7	BCg/GC	I , II

GB : Grave Bitume, GNT : Grave non traitée, SG1 : Sable gypseux de classe 1, GL : grave-laitier, GC : grave ciment, BCg : béton de ciment gonjonné, TUF 1 : Tuf de classe 1.

Tableau VIII.4 : Fiche structure pour RP1

Pour le réseau principal RP1 et la Zone climatique 2 les structures possibles sont :

$$\{MTB: GB/GB\ ;\ GB/GNT\}$$

$$\{MTLH: GL/GL\ ;\ Bcg/GC\}$$

VIII. 5 Dimensionnement de la chaussée

VIII. 5. 1 Détermination des épaisseurs de la structure

D'après le fasicule-3 page-11 :

TPLi / Si	S2	S1	S0
PL/j/sens	50 MPa	125 MPa	200 MPa
6000 TPL7 3000	8 BB 14 GB 15 GB	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB
3000 TPL6 1500	8 BB 12 GB 13 GB	8 BB 11 GB 11 GB	8 BB 10 GB 10 GB

Tableau VIII.5 : Fiche structure GB/GB

Pour un trafic de poids lourd **TPL6** avec une classe de sol support **S2** il est recommander d'utiliser la structure suivante : **8BB+12GB+13GB.**

VIII. 5. 2 Calcul de TEC sur la durée de vie

- **La durée de vie temps**

D'après le fasicule-2 tableau-4 :

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures types	Durée de vie (années)
RP1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF,GB/SG	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL	20
		BCg	25
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

*GB : grave bitume, GL : grave laitier, **BCg** : béton de ciment goujonné, **SB** : sable bitume, **GNT** : grave non traitée, **SG** : sable gypseux, **AG** : arène granitique, **Tuf** : encroûtement calcaire.*

Tableau VIII.6 : Duré de vie adoptées

Pour un réseau RP1 avec une structure GB/GB la durée de vie adoptée est : **20 ans**.

- **Valeur de A (GB/GB) coefficient d'agressivité**

D'après le fasicule-2 tableau-11 :

Niveau de réseau principal (RPi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP1	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GB , GB/Tuf , GB/SG...	0 ,6
	Chaussées à matériaux traités aux liants hydrauliques : GL/GL , BCg/GC	1
RP2	Chaussées à matériaux non traités : GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	0,6
	Chaussées à matériaux traités au bitume : SB/SG	0,4
RP1 et RP2	Sol support (Calcul de $\varepsilon_{z,ad}$)	0,6

Tableau VIII.7 : Valeurs de coefficient d'agressivité

Pour un niveau de réseau RP1 avec une structure GB/GB le coefficient d'agressivité est : **0.6**

- **Calcul de TEC**

$$\mathrm{TEC} = 365 \times \mathrm{TPL_i} \times \mathrm{A} \times \frac{(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}} - 1}{\mathrm{i}}$$

  - TEC : Le Traffic équivalent cumulé sur une durée de vie temps
  - A : Coefficient d'agressivité
  - i : Taux d'accroissement géométrique
  - n : Durée de vie temps

$$\mathrm{TEC} = 365 \times 2275 \times 0.6 \times \frac{(1+0.035)^{20} - 1}{0.035}$$

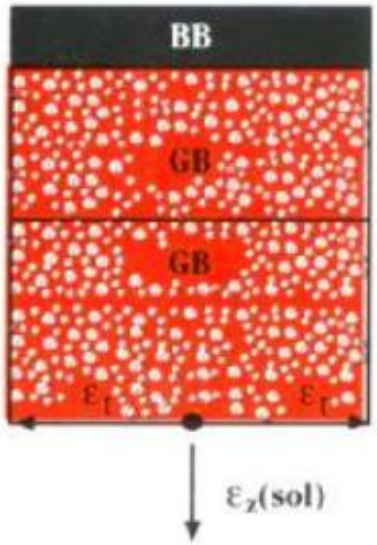
$$\mathrm{TEC} = 14.1 \times 10^6 \ \ \mathrm{ess} - 13\mathrm{t}$$

VIII. 6 **Modélisation de la structure**

VIII. 6. 1 Le mode de fonctionnement de la structure MTB (GB/GB)

D'après le fasicule-2 page-12 :

Le schéma suivant donne un aperçu sur le type de modélisation de la structure MTB (GB/GB) ainsi leur mode de fonctionnement :



- ε_t **:** La déformation de traction par flexion a la base des matériaux traités au bitume.
- $\varepsilon_z(\mathrm{sol})$ **:** La déformation vertical sur le sol support**.**

VIII. 6. 2 Performance mécanique des matériaux bitumineux (MTB)

D'après le fasicule-2 page-12 :

Matériau (MTB)	E (30°C,10Hz) (Mpa)	E(25°, 10Hz) (Mpa)	E(20°, 10Hz) (Mpa)	E(10°,10Hz) (Mpa)	ε_6(10°, 25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	υ	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	0,68	2,5	0,45	1,3

BB : béton bitumineux, GB : grave bitume, SB : sable bitume

Tableau VIII.8: Performance mécanique des matériaux bitumineux

Pour le matériau GB :

- $\mathrm{E}(10°, 10\mathrm{Hz}) = 12500$ MPa
- $\mathrm{E}(20°, 10\mathrm{Hz}) = 7000$ MPa
- $\mathrm{SN} = 6.84$
- $\mathrm{Sh} = 3$ cm
- $\vartheta = 0.35$

VIII. 6. 3 Performance mécanique des matériaux bitumineux (MNT)

D'après le fasicule-2 tableau-15 :

Niveau de la couche	Modules des MNT (MPa)	Valeurs de k	υ
Base* (15 ≤ h ≤ 20cm)	GNT = 500	2,5	0,25
	TUF 1 = 500	2	0,25
	TUF 2 = 300	2	0,25
	SG 1 = 700	2	0,25
	SG2 = 300	2	0,25
	AG = 300	2	0,25
Fondation (en sous couches de 25 cm)	E_{MNT} (sous couche 1) = k $E_{sol\ support}$ E_{MNT} (sous couche i) = k E_{MNT} (sous couche i -1) avec E_{MNT} borné à E_{MNT} couche de base		
Fondation MNT sous GB et SB (GB/MNT,)	E_{MNT} (sous couche 1) = k $E_{sol\ support}$ (avec k idem ci-dessus) E_{MNT} (sous couche i) = k E_{MNT} (sous couche i -1) avec E_{MNT} borné à 350 MPa		

(*) Pour la couche de base, les modules et coefficients de Poisson sont ceux obtenus en laboratoire au Tri axial à chargements répétés (Annexes 7 et 8 du Fascicule 1).

Tableau VIII.9: Performance mécanique des matériaux bitumineux

Le calcul des modules des 2 couches de matériau non traité (GNT) utilisée dans la CDF :

- Sous couche-1 :

$$E_{GNT-1} = K \times E_{sol-support} \;/\quad E_{sol-support} = 5 \times CBR = 32.5\ MPa$$
$$E_{GNT-1} = 2 \times 32.5 = 65\ MPa$$

- Sous-couche-2 :

$$E_{GNT-2} = K \times E_{GNT-1}$$
$$E_{GNT-2} = 2 \times 65 = 130\ MPa$$

VIII. 6. 4 Les conditions de collage entre les différentes couches de la structure

D'après le fasicule-2 tableau-3 :

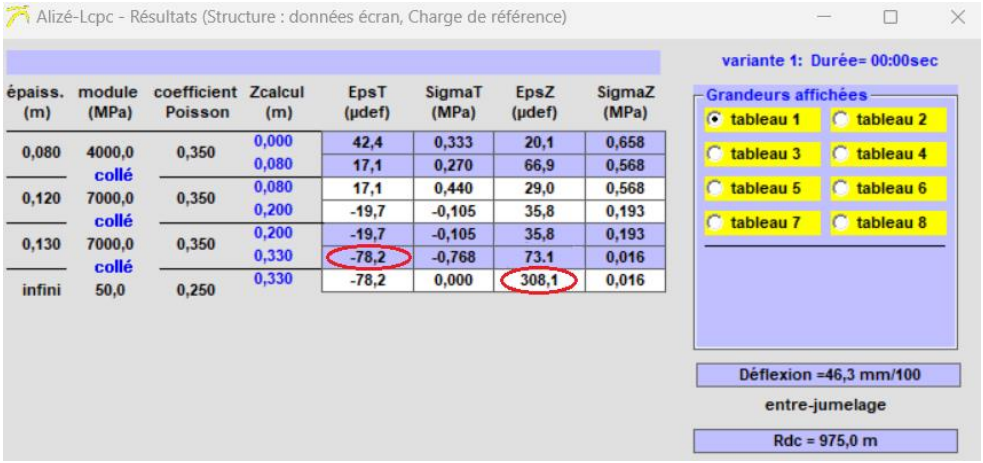
Structures types	Hypothèses sur le type d'interface
MTB : 1- BB/GB/GB/sol support	Toutes les interfaces sont collées
2- BB/GB/GNT ou TUF ou SG/sol	Toutes les interfaces sont collées
3- SB/SG/sol support	Toutes les interfaces sont collées
MTLH : 1- BB/GL/GL/sol support	Toutes les interfaces sont collées
2- BCg/GC/sol support	interface BCg/GC décollée interface GC/sol collée
MNT : 1- GNT/GNT/sol support 2- TUF/TUF/sol support 3- SG/SG/sol support 4- AG/AG/sol support	Toutes les interfaces sont collées

Tableau VIII.10 : Synthèses des hypothèses sur les conditions de collage

Pour la structure BB/GB/GB/sol support toute les interface sont collées

VIII. 6. 5 Modélisation et détermination de ε_t et ε_{z-sol} pour notre structure

La modélisation de notre structure **8BB+12GB+13GB** sur logiciel Alizé donne les résultats suivants :



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,080	4000,0	0,350	0,000	42,4	0,333	20,1	0,658
	collé		0,080	17,1	0,270	66,9	0,568
0,120	7000,0	0,350	0,080	17,1	0,440	29,0	0,568
	collé		0,200	-19,7	-0,105	35,8	0,193
0,130	7000,0	0,350	0,200	-19,7	-0,105	35,8	0,193
	collé		0,330	-78,2	-0,768	73.1	0,016
infini	50,0	0,250	0,330	-78,2	0,000	308,1	0,016

Tableau VIII.11 : Résultats de la modélisation de la structure

- $\varepsilon_t = -78.2\ \mu def$.
- $\varepsilon_z(Sol) = 308.1\ \mu def$.

VIII.6. 5. 1 Calcul des sollicitations admissibles

- **Les caractéristiques de fatigue de matériau GB**

D'après le fasicule-2 tableau-13 :

- $\varepsilon_6(10°, 25\text{Hz}) = 100\ \mu\text{def}$
- $-\frac{1}{\text{b}} = 6.84 \rightarrow \text{b} = -0.1461$
- $\text{SN} = 0.45$
- $\text{Sh} = 3\ \text{cm}$

- **Calcul de $\boldsymbol{\varepsilon_{t-adm}}$**

$$\varepsilon_{\text{t-adm}} = \varepsilon_6(10℃, 25\text{Hz}).\text{K}_{\text{ne}}.\text{K}_\theta.\text{K}_\text{r}.\text{K}_\text{c}$$

- $\varepsilon_6(10℃, 25\text{Hz})$: déformation limite qui correspond à cycles. (Essai de fatigue à 10°C et 25Hz).
- K_{ne} : facteur lié au nombre cumule d'essieux équivalents supporte par la chaussée.
- K_θ : facteur lié à la température.
- K_r : facteur lié au risque et aux dispersions
- K_c : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur la chaussée.

- **Calcul de K_{ne}**

$$\text{K}_{\text{ne}} = \left(\frac{10^6}{\text{TEC}}\right)^{\text{b}} \longrightarrow \text{K}_{\text{ne}} = \left(\frac{10^6}{10.67 \times 10^6}\right)^{0.1461} \longrightarrow \text{K}_{\text{ne}} = 0.7076$$

  - b: pente de la droite de fatigue.

- **Calcul de K_θ**

$$\text{K}_\theta = \sqrt{\frac{\text{E}(10℃)}{\text{E}(\theta_{\text{eq}})}} \longrightarrow \text{K}_\theta = \sqrt{\frac{12500}{7000}} \longrightarrow \text{K}_\theta = 1.3363$$

  - $\text{E}(10℃)$: module complexe de matériau bitumineux à 10°C.
  - $\text{E}(\theta_{\text{eq}})$: module de complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.

- **Calcul de K_r**

$$\text{K}_\text{r} = 10^{-\text{tb}\delta}$$

  - δ : La dispersion $\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{C}{b}.Sh\right)^2}$
  - 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%).

- D'après le fasicule-2 tableau-5 :

	Classe de trafic (TPLi) (PL/J/sens)	TPL5	TPL6	TPL5	TPL6	TPL7
Risque (%)	GB/GB, GB/GNT...	20	15	10	5	2
	GL/GL	15	10	5	2	2
	BCg/GC	12	10	5	2	2

Tableau VIII.12: Risque adoptés pour le réseau RP1

Pour une classe de trafic TPL6 avec une structure GB/GB le risque est : 5%

- D'après le fasicule-2 tableau-16 :

r%	2	3	5	7	10	12	15
t	-2,054	-1,881	-1,645	-1,520	-1,282	-1,175	-1,036
r%	20	23	25	30	35	40	50
t	-0,842	-0,739	-0,674	-0,524	-0,385	-0,253	0

Tableau VIII.13 : valeurs de $t = f(r\%)$

La valeur de t est : -1.645

- $\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{C}{b}.Sh\right)^2} \longrightarrow \delta = \sqrt{0.45^2 + \left(\frac{0.02}{0.1461}.3\right)^2} \longrightarrow \delta = 0.6092$

- $K_r = 10^{-tb\delta} \longrightarrow K_r = 10^{-(-1.645).(-0.1461).(0.6092)} \longrightarrow K_r = 0.7138$

- **Calcul de K_c**

  D'après le fasicule-2 page-12 :

  Tableau 8 : Performance mécanique des matériaux bitumineux $\longrightarrow K_c = 1.3$

$$\varepsilon_{t-adm} = \varepsilon_6(10°C, 25Hz).K_{ne}.K_\theta.K_r.K_c$$
$$\varepsilon_{t-adm} = 100 \times 0.7076 \times 1.3363 \times 0.7138 \times 1.3$$
$$\varepsilon_{t-adm} = 87.75\ \mu def$$

- **Calcul de ε_{z-adm}**

$$\varepsilon_{z-adm} = 22 \times 10^{-3} \times (TEC)^{-0.235} \longrightarrow \varepsilon_{z-adm} = 22 \times 10^{-3} \times (14.1 \times 10^6)^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{z-adm} = 459.70 \mu def$$

VIII.6. 5. 2 Interprétation des résultats

	Valeurs calculées (µdef)	Valeurs admissibles (µdef)
ε_t	78.2	87.75
ε_z	308.1	459.70

Tableau VIII.14 : Tableau des valeurs calculée et admissible des sollicitations

D'après les résultats obtenus, les déformations ε_t et ε_z restent en dessous des seuils admissibles ($\varepsilon_t < \varepsilon_{t-adm}\ et\ \varepsilon_z < \varepsilon_{z-adm}$), indiquant que la structure proposée répond aux critères de dimensionnement.

Par conséquent, la structure de chaussée adoptée par la méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves comprend : **8BB+12GB+13GB+40GNT (*)**

(*) : La couche de forme sera réalisée en 2 couches.

VIII. 7 **Dimensionnement par la méthode CBR**

- La détermination de l'épaisseur du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par la relation suivante :

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

  - E_{tot} : épaisseur équivalente.
  - I_{CBR} : indice CBR (sol support).
  - N : trafic poids lourd par jour sur la voie la plus chargée à l'année horizon.
  - P : Charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t).

Pour notre cas :

- $I_{CBR} = 6.5$
- $N = TPL_{2048} = 6818\ PL/j\ sur\ VPC$.

$$E_{tot} = \frac{100 + \sqrt{6.5}\left(75 + 50\log\left(\frac{6818}{10}\right)\right)}{6.5 + 5} = 56.74 \longrightarrow E_{tot} = 57\ cm$$

- L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$E_{équiv} = \sum a_i \times e_i$$

  - a_i : coefficients d'équivalences.
  - e_i : épaisseurs réelles des couches.

On fixe deux épaisseurs et on calcule la 3éme moyennant des coefficients d'équivalences du tableau suivant :

Nature matériau	a_i
Béton Bitumineux BB	2
Grave Bitume GB	1.5
Grave Ciment	1.5
Sable Ciment	1-1.2
Sable Bitumineux	1-1.2
Grave Concassée GC	1
Grave roulée TVO	0.75
Sable	0.5

Tableau VIII.15 : Coefficient d'équivalence des matériaux

- On adopte les épaisseurs des matériaux les plus courants :

BB :5-8 cm GB :10-20 cm GC :15-30 cm TVO:30cm et plus

Si on prend : $\mathrm{e}_1(\mathrm{BB}) = 8\ \mathrm{cm}$ et $\mathrm{e}_2(\mathrm{GB}) = 12\ \mathrm{cm}$

$e_3 = \frac{E_{tot}-(a_1e_1+a_2e_2)}{a_3} \longrightarrow e_3 = \frac{57-(2\times8+1.5\times12)}{0.75} \longrightarrow e_3 = 30.67\ cm$ Soit 32 cm de GNT en couche de fondation.

La structure de chaussée adoptée par la méthode CBR comprend : **8BB+12GB+32GNT**

VIII. 8 **Conclusion**

À l'issue de notre étude sur l'épaisseur requise pour la structure de chaussée, et après avoir comparé plusieurs résultats, nous avons opté pour l'épaisseur préconisée par la méthode du catalogue algérien, et ce, pour les raisons suivantes :

- Elle prend en considération les performances mécaniques des matériaux utilisés
- Elle tient compte des déformations admissibles de ces matériaux
- Elle intègre le phénomène de fatigue des matériaux dans l'analyse

Il s'agit d'une méthode nationale, élaborée par le Centre Technique des Travaux Publics (CTTP) et validée par le Ministère des Travaux Publics.

En conséquence, la structure de chaussée retenue est la suivante : 8BB + 12GB + 13GB + 40 GNT.

- Couche de roulement : 08 cm de BB
- Couche de base : 12 cm de GB
- Couche de fondation : 13 cm de GB

Couche de forme : 40 cm GNT, (en 2 couches).

Chapitre IX : Assainissement

IX. 1 Introduction

L'assainissement des voies de circulation regroupe l'ensemble des dispositifs destinés à collecter et à évacuer les eaux de surface ainsi que les eaux souterraines. Il Cela inclut :

- **L'assèchement de la chaussée**, assuré par des pentes transversales et longitudinales, et complété par des ouvrages tels que fossés, caniveaux, cunettes et rigoles.
- **Les systèmes de drainage**, enterrés, qui permettent la collecte et l'évacuation des eaux souterraines, par le biais de tranchées drainantes, tuyaux perforés ou autres canalisations spécifiques.
- **Les réseaux de canalisations**, nécessaires à l'évacuation des eaux de surface, incluant conduites, regards de visite et ouvrages annexes.

Une étude d'assainissement rigoureuse est indispensable pour garantir la durabilité de l'infrastructure routière et limiter les coûts d'entretien à long terme. Ce chapitre s'articule donc autour de trois volets fondamentaux : l'étude hydrologique, l'étude hydraulique et l'étude d'assainissement proprement dite.

IX. 2 Objectifs de l'assainissement routier

L'assainissement routier poursuit plusieurs objectifs essentiels :

- **Assurer une évacuation rapide des eaux**, afin d'éviter les accumulations sur la chaussée, limiter les risques d'aquaplaning et renforcer la sécurité des usagers.
- **Maintenir la viabilité de la route**, en garantissant des conditions de circulation sûres et efficaces quelles que soient les conditions climatiques.
- **Réduire les coûts d'entretien**, grâce à une protection efficace contre les dégradations liées à l'eau, ce qui limite les interventions de réparation.
- **Prévenir l'érosion**, en protégeant les structures routières et les terrains environnants contre les effets destructeurs des écoulements non maîtrisés.

IX. 3 Étapes d'un Projet d'Assainissement Routier

Un projet d'assainissement routier se divise généralement en trois principales composantes

1. **Pluviométrie :** Analyse des précipitations de la région pour estimer les volumes d'eau à gérer.
2. **Bassin Versant :** Identification de la zone à drainer incluant la détermination des surfaces affectées et les coefficients de ruissellement qui influencent le volume et la vitesse du ruissellement.

3. **Conception et Dimensionnement des Ouvrages d'Assainissement** : Sélection et dimensionnement des infrastructures nécessaires avec la vérification d'auto curage.

IX. 4 Etude Hydrologique:

L'étude hydrologique a pour objectif principal de déterminer les débits de crue correspondant à chaque point de franchissement du tracé. Ces valeurs sont indispensables pour dimensionner de manière adéquate les ouvertures des ouvrages hydrauliques situés sous l'autoroute, qu'il s'agisse de ponts, de ponceaux, de buses ou de dalots.

Bien que cette étude vise avant tout à estimer les crues de projet nécessaires au dimensionnement des dispositifs de drainage, elle doit également prendre en compte l'ensemble des paramètres hydrologiques. Cela inclut l'analyse des précipitations ainsi que des facteurs influençant la relation entre la pluie et le débit.

Lorsque des données de débit sont disponibles, notamment pour les oueds, la priorité doit être donnée à une analyse statique des crues, permettant une estimation plus fiable des débits de dimensionnement des ouvrages.

IX. 4. 1 Choix des stations météorologiques

La station météorologique la plus représentative du tracé et qui disposent de données

D'observations sur une période assez longue est :

- Station de STATION DE SIDI BEL ABBES

IX. 4. 2 Période de retour pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques

- Les buses et les fossés seront dimensionnée pour une période de retour 10 ans.
- Les dalots seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans.
- Les ponts seront dimensionnés pour une période de retour 100 ans.

IX. 4. 3 Détermination de l'intensité $\mathbf{I_{(t)}}$

- **La formule de Montana :** Cette formule permet de modéliser la relation entre l'intensité, la durée et la fréquence des précipitations, et s'exprime de la manière suivante :

$$I_{(t)} = \frac{a_{(T)}}{t^b}$$

  - $I_{(t)}$: intensité de pluie (mm/h).
  - T : période de retour (ans)
  - t : temps de l'averse égal au temps de concentration (h).
  - a et b : paramètres de Montana.

Station	Paramètres de Montana	Période de retour (ans)				
		2 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
SIDI BEL ABBES	a	**12.10**	**17.60**	**21.20**	**24.70**	**29.20**
	b	**0.60**	**0.60**	**0.60**	**0.60**	**0.60**

Tableau IX.1 : Coefficients de Montana (a et b) pour différentes périodes de retour

- **Le temps de concentration :** Le temps de concentration correspond à la période requise pour que les eaux de ruissellement, non absorbées par le sol ni évaporées, atteignent l'exutoire depuis le point le plus élevé d'un bassin versant. Il existe des méthodes simplifiées permettant d'estimer ce temps selon les caractéristiques des différents bassins versants :
  - ✓ **Méthode VENTURA**

    Si $(A < 5\ Km^2)$ → $$T_c = 0.127\sqrt{\frac{A}{p}}$$
    - T_C : Temps de concentration exprimé en heure (h).
    - A : Surface du bassin versant (km²).
    - P : Pente moyenne du bassin versant (m/m).

  - ✓ **Méthode PASSINI**

    Si $(5Km^2 < A < 25Km^2)$ → $$T_c = 0.108\frac{(AL)^{\frac{1}{3}}}{P^{\frac{1}{2}}}$$
    - T_C : Temps de concentration exprimé en heure (h).
    - A : Surface du bassin versant (km²).
    - P : Pente moyenne du bassin versant (m/m).
    - L : Longueur du cours d'eau principal en km.

  - ✓ **Méthode GIANDOTTI**

    Si $(25Km^2 < A < 200Km^2)$ → $$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{h}}$$
    - T_C : Temps de concentration exprimé en heure (h).
    - A : Surface du bassin versant (km²).
    - P : Pente moyenne du bassin versant (m/m).
    - L : Longueur du cours d'eau principal en km.
    - h : La différence entre la côte moyenne et la côte minimale (m).

IX. 4. 4 Estimation du débit de crue

- **Formule Rationnelle :** L'estimation du débit maximal associé à une fréquence donnée, à partir de l'intensité moyenne des précipitations 'I' et d'une durée 't_c', repose sur une formule dérivée de la méthode rationnelle. Cette formule, conçue pour fournir une estimation majorant du débit, s'applique principalement aux bassins versants d'une superficie inférieure à 250 ha.

$$Q_a = K.C.I.A$$

- Q_a : Le débit maximum de crue en [m3/s].
- C : Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de la pluie exprimée en [mm/h].
- A : Aire de la surface drainée en $[km^2]$.
- K : Coefficient de conversation des unités égale a $[0.278]$.

➢ **Coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement, désigné par « C », exprime la fraction des précipitations qui s'écoule en surface sur un sol déjà saturé, par rapport au volume total de la pluie. Selon la méthode de Kenessey (Hongrie), ce coefficient est déterminé en additionnant trois coefficients partiels :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

- $\mathbf{C_1}$: Dépend de la pente P du thalweg principal estimée comme étant égal au rapport de la dénivelée du thalweg (falaises exclues) par sa longueur développée. Ces informations sont obtenues généralement à partir des cartes topographiques disponibles.

Pente %	$\mathbf{C_1}$
$P \leq 3.5$	0.01-0.05
$3.5 \leq P \leq 11$	0.06-0.10
$11 \leq P \leq 35$	0.12-0.2
$P \geq 35$	0.22-0.3

Tableau IX.2 : Valeurs du Coefficients C_1

- $\mathbf{C_2}$: Dépend de la perméabilité du sol, déterminée à partir des informations concernant la nature de sol et ces caractéristiques.

État de Perméabilité du sol	$\mathbf{C_2}$
Imperméable	0.22-0.30
Peu Perméable	0.10-0.20
Perméable	0.06-0.10
Très Perméable	0.06-0.5

Tableau IXIX.3 **:** Valeurs du Coefficients C_2

- $\mathbf{C_3}$: Dépend de la couverture végétale du bassin versant. Ces informations seront obtenues à partir d'une inspection visuelle des bassins versants.

Couverture végétale	$\mathbf{C_3}$
Rocheux	0.22-0.30
Prairie	0.15-0.25
Labours-champs	0.07-0.15
Forets et Terrains Sableux	0.03-0.05

Tableau IX.4 **:** Valeurs du Coefficients C_3

IX. 4. 5 Délimitation Des Bassins Versants:

Le bassin versant est une zone géographique délimitée par des lignes de crête, appelées lignes de partage des eaux. Il s'agit de la surface totale sur laquelle les eaux de pluie s'écoulent naturellement vers un point bas unique appelé exutoire, où elles doivent être collectées et évacuées.

Dans le cas d'un oued, le bassin de drainage agit comme un collecteur naturel. Il capte les précipitations et les transforme en écoulement dirigé vers l'exutoire. Cette transformation dépend à la fois des conditions climatiques et des caractéristiques physiques du bassin, telles que la pente, la géologie, la couverture végétale ou encore la perméabilité des sols.

La délimitation de la superficie du bassin versant contribuant à un site spécifique constitue une étape essentielle pour déterminer les dimensions hydrauliques minimales requises pour une infrastructure. Les propriétés physiques du bassin versant, telles que la configuration des talwegs (le tracé de l'écoulement principal) et des lignes de crête, doivent également être prises en considération. Ces propriétés incluent notamment :

- A : La superficie du bassin, délimitée par la ligne de crête.
- L : La longueur du cours d'eau principal.
- H_{max} : L'altitude maximale.
- H_{min} : L'altitude minimale.
- H_{moy}: L'altitude moyenne.
- I_{moy}: La pente moyenne de cour d'eau / $I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$

IX. 4. 6 Caractéristiques Physiques Des Bassins Versants:

Les caractéristiques physiques des bassins versants traversé par notre tracé sont résumées dans le tableau suivant :

N° BV	PK	Surface (Km^2)	Pente moyenne (mm/mm)	L (m)	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	I_{moy} m/m
BV-1	90+212	1,81	0,057	2,876	921	797	859	0.0431
BV-2	90+496	95,83	0,094	17,476	1234	795	1014.5	0.0251
BV-3	93+706	0,25	0,087	0,318	915	874	894.5	0.1289
BV-4	95+449	0,28	0,045	0,283	990	943	966.5	0.1661
BV-5	95+907	1,53	0,066	2,027	1155	951	1053	0.1006
BV-6	98+064	0,11	0,105	0,315	1103	1049	1076	0.1714
BV-7	98+319	0,01	0,106	0,183	1092	1076	1084	0.0874
BV-8	98+547	0,05	0,104	0,211	1110	1079	1094.5	0.1469
BV-9	98+753	0,07	0,107	0,240	1110	1075	1092.5	0.1458
BV-10	99+075	0,10	0,144	0,248	1115	1097	1106	0.0726
BV-11	99+194	0,08	0,192	0,472	1145	1102	1123.5	0.0911
BV-12	99+592	0,05	0,228	0,472	1145	1104	1124.5	0.0869
BV-13	99+728	0,11	0,230	0,351	1234	1105	1169.5	0.3675
BV-14	100+000	0,07	0,227	0,285	1234	1111	1172.5	0.4316

Tableau IX.5 : Les caractéristiques physiques des bassins

IX. 4. 7 Application au projet

Exemple de calcul de Bassin versant numéro-1 (BV1) :

1) La pente moyenne de cour d'eau :

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \longrightarrow I_{moy} = \frac{921 - 797}{2876} \longrightarrow I_{moy} = 0.0431$$

2) Le Coefficient de ruissellement :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

- $C_1 = 0.04$
- $C_2 = 0.18$ $\qquad C = 0.4$
- $C_3 = 0.18$

3) Estimation du temps de concentration :

$$A < 5Km^2 \longrightarrow T_c = 0.127\sqrt{\frac{A}{P}} \longrightarrow T_c = 0.127\sqrt{\frac{1.81}{0.057}}$$

$$T_C = 0.7157\ h$$

4) Détermination de l'intensité (I) pour les périodes de retour 10 ; 50 ; 100 ans :

$$I_{(t)} = \frac{a_{(T)}}{t^b}$$

- $I_{(t,10ans)} = \frac{17.60}{0.7157^{0.60}} \longrightarrow I_{(t,10ans)} = 21.51\ mm/h$
- $I_{(t,50ans)} = \frac{24.70}{0.7157^{0.60}} \longrightarrow I_{(t,50ans)} = 30.19\ mm/h$
- $I_{(t,100ans)} = \frac{29.20}{0.7157^{0.60}} \longrightarrow I_{(t,100ans)} = 35.69\ mm/h$

5) Calcul de débit :

$$Q_a = K.C.I.A$$

- $Q_a(10ans) = 0.278 \times 0.4 \times 21.51 \times 1.81 \longrightarrow Q_a(10ans) = 4{,}329\ m^3/s$
- $Q_a(50ans) = 0.278 \times 0.4 \times 30.19 \times 1.81 \longrightarrow Q_a(50ans) = 6{,}076\ m^3/s$
- $Q_a(100ans) = 0.278 \times 0.4 \times 35.69 \times 1.81 \rightarrow Q_a(100ans) = 7{,}183 m^3/s$

IX.4. 7. 1 Résultats de calcul

Le tableau suivant récapitule les valeurs des intensités de pluie pour des périodes de retour de 100, 50 et 10 ans pour chaque bassin versant de la zone d'étude :

N° BV	$T_c(h)$	$I_{(t,10ans)}(mm/h)$	$I_{(t,50ans)}(mm/h)$	$I_{(t,100ans)}(mm/h)$
BV-1	0.7157	21,51	30,19	35,69
BV-2	4.18	7,46	10,47	12,38
BV-3	0.2153	13,43	18,84	22,28
BV-4	0.3168	44,23	62,07	73,38
BV-5	0.6115	35,08	49,23	58,2
BV-6	0.13	23,64	33,18	39,22
BV-7	0.039	23,93	33,59	39,71
BV-8	0.0881	59,86	84,01	99,32
BV-9	0.1027	123,27	173	204,52
BV-10	0.1058	75,6	106,1	125,43
BV-11	0.082	68,96	96,77	114,4
BV-12	0.0595	67,74	95,06	112,38
BV-13	0.0878	78,93	110,77	130,95
BV-14	0.0705	95,68	134,27	158,73

Tableau IX.5 : Les valeurs des intensités des pluies et temps de concentration

Le tableau suivant récapitule les valeurs des débits maximums pour des périodes de retour de 100, 50 et 10 ans, ainsi que les ouvrages hydrauliques nécessaires pour chaque bassin versant.

N° BV	PK	$Q_a(10ans)(m^3/s)$	$Q_a(50ans)(m^3/s)$	$Q_a(100ans)(m^3/s)$	Proposition
BV-1	90+212	4,329	6,076	7,183	Dalot
BV-2	90+496	101,357	142,254	168,204	OA
BV-3	93+706	1,322	1,855	2,193	Buse
BV-4	95+449	1,12	1,571	1,857	Buse
BV-5	95+907	4,324	6,068	7,173	Dalot
BV-6	98+064	0,86	1,207	1,427	Buse
BV-7	98+319	0,161	0,226	0,267	Buse
BV-8	98+547	0,494	0,693	0,819	Buse
BV-9	98+753	0,631	0,885	1,046	Buse
BV-10	99+075	0,885	1,242	1,468	Buse
BV-11	99+194	0,895	1,256	1,485	Buse
BV-12	99+592	0,678	0,952	1,125	Buse
BV-13	99+728	1,182	1,658	1,96	Buse
BV-14	100+000	0,8577	1,204	1,423	Buse

Tableau IX.6 : Les valeurs des débits max

IX. 5 Étude hydraulique

IX. 5. 1 Calcul des ouvrages hydrauliques

Cette section est consacrée au dimensionnement des ouvrages de franchissement des cours d'eau, en se fondant sur les résultats de l'analyse hydrologique. Les principaux types d'ouvrages à prendre en compte sont les suivants :

- **Buses** : Il s'agit d'ouvrages circulaires installés sous la chaussée, aux points les plus bas du terrain naturel. Leur diamètre varie généralement entre 1000 mm et 2000 mm.
- **Dalots** : Ce sont des structures à section rectangulaire ou carrée, également placées sous la route. Elles sont définies par leur largeur (B) et leur hauteur (H).
- **Ponts et viaducs** : Ces ouvrages transversaux d'assainissement sont conçus pour évacuer les débits de crue centennale. Leurs dimensions sont calculées de manière à respecter la condition suivante :

$$Q_{100} < Q_s$$

Où :

- Q_{100} désigne le débit de crue centennale, exprimé en m³/s ;
- Q_s représente le débit de saturation de l'ouvrage, également en m³/s.

IX. 5. 2 Estimation des débits de saturation des ouvrages

Le débit de saturation ou le débit capable est calculé par le biais de la formule de Manning Strickler sur un écoulement en régime uniforme.

$$Q_s = S.K.R^{\frac{2}{3}}.J^{\frac{1}{2}}$$

- S : section mouillée.
- K : coefficient de STRIKLER.
- R : rayon hydraulique(m).
- J : pente longitudinale.

IX. 5. 3 Système de drainage transversal

IX.5. 3. 1 Dimensionnement des buses

Une solution basée sur l'utilisation de buses circulaires a été retenue pour l'évacuation des eaux pluviales provenant des bassins versants dont le débit d'apport Q_a est inférieur à 4 m³/s. Ces ouvrages ont pour fonction d'acheminer les eaux collectées dans les fossés vers les cours d'eau avoisinants.

Pour garantir la facilité d'entretien et d'inspection, le diamètre de chaque buse doit être supérieur à 1000 mm.

Deux principaux types de buses sont généralement employés :

- **Buses en béton**
- **Buses métalliques**

Le dimensionnement des buses s'effectue en comparant le débit d'apport (Q_a), obtenu à partir de l'étude hydrologique, au débit de saturation (Q_s) de la buse, lequel est déterminé à l'aide de la formule de Manning-Strickler.

:

$$Q_s = S.K_{st}.R_h^{\frac{2}{3}}.J^{\frac{1}{2}}$$

Avec :

$$\circ \quad S = S_m = \frac{\pi D^2}{4} \; ; \; P_m = \pi \times D \quad \longrightarrow \quad R_h = \frac{S_m}{P_m} \longrightarrow \quad R_h = \frac{D}{4}$$

$$Q_a = Q_s \longrightarrow D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q_a}{\pi \times K_{st} \times J^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Une fois le diamètre est calculé. On choisit un diamètre normalisé commercial existant dans le marché : Φ500, Φ800, Φ1000, Φ1200, Φ1500 ...etc.

Et on doit vérifier les conditions d'auto curage suivantes :

- ✓ $V > 0.6\,m/s$ pour $Q = 0.1Q_{ps}$.
- ✓ $V > 0.3\ m/s$ pour $Q = 0.01Q_{ps}$.
  - Q_{ps} : Débit pleine section.

Si l'une des conditions n'est pas vérifiée on doit choisir une autre valeur de D.

IX.5.3.1.1 Application au projet

Exemple BV-4 :

- **Calcul de diamètre**

$$D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q_a(100)}{\pi \times K_{st} \times J^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}} \longrightarrow D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times 1.592}{\pi \times 80 \times 0.01^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}} \longrightarrow \quad D = 953\ \text{mm}$$

On prend $D = 1000$ mm.

- **Vérification des conditions d'auto curage**
  - $Q_{ps} = \frac{\pi \times K_{st} \times J^{\frac{1}{2}} \times D^{\frac{8}{3}}}{4^{\frac{5}{3}}} \longrightarrow Q_{ps} = \frac{\pi \times 80 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times 1^{\frac{8}{3}}}{4^{\frac{5}{3}}} \longrightarrow \quad Q_{ps} = 2{,}493\ \text{m}^3/\text{s}$
  - $V_{ps} = \frac{K_{st} \times J^{\frac{1}{2}} \times D^{\frac{2}{3}}}{4^{\frac{2}{3}}} \longrightarrow V_{ps} = \frac{80 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times 1^{\frac{2}{3}}}{4^{\frac{2}{3}}} \longrightarrow \quad V_{ps} = 3{,}175\ \text{m}^3/\text{s}$

✓ **Condition d'auto curage-1 :**

Pour $R_q = \frac{Q}{Q_{ps}} = 0.1$ par interpolation linéaire $R_v = \frac{V}{V_{ps}} = 0.6386$

$V = 0.6386 \times V_{ps} \longrightarrow V = 2{,}02\ \text{m/s}$

$V = 2.02 > 0.6\ \text{m/s}$ ⟶ Condition d'auto curage-1 est vérifiée.

✓ **Condition d'auto curage-2 :**

Pour $R_q = \frac{Q}{Q_{ps}} = 0.01$ par interpolation linéaire $R_v = \frac{V}{V_{ps}} = 0.319$

$V = 0.319 \times V_{ps} \longrightarrow V = 1{,}013\ \text{m/s}$

$V = 1.01 > 0.3\ \text{m/s}$ ⟶ Condition d'auto curage-2 est vérifié.

Rq	Rv	Rh
0,0096	0,315	0,069
0,0107	0,327	0,073

Rq	Rv	Rh
0,0997	0,638	0,213
0,1007	0,640	0,214

Figure IX.1 : Abaque Rq ; Rh et Rv conduite circulaire

- **Résultats**

N° BV	$Q_a(10ans)$ (m^3/s)	D calculée (mm)	D choisie (mm)	Q_{ps} (m^3/s)	V_{ps} (m/s)	V (m/s)	$V > 0.6$ (m/s)	V (m/s)	$V > 0.3$ (m/s)
BV-3	1.592	0,953	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-4	1.348	0,895	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-6	1.036	0,811	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-7	0.194	0,433	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-8	0.595	0,659	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-9	0.76	0,722	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-10	1.066	0,82	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-11	1.078	0,823	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-12	0.817	0,742	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-13	1.423	0,914	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié
BV-14	1.0331	0,810	1000	2,493	3,175	2,028	Vérifié	1,013	Vérifié

Tableau *IX*.7 : Vérification des conditions d'auto curage pour les ouvrages hydrauliques circulaires (Buse).

IX.5. 3. 2 Dimensionnement des dalots

On utilise la formule de Manning Strickler, tel que la section et le périmètre mouillés sont calculés pour une hauteur de remplissage égale à 80 % :

$$Q_s = S.K.R^{\frac{2}{3}}.J^{\frac{1}{2}}$$

- La surface mouillée : $S_m = 0.8HB$
- Le périmètre mouillé : $P_m = 1.6H + B$
- Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{0.8HB}{1.6H+B}$

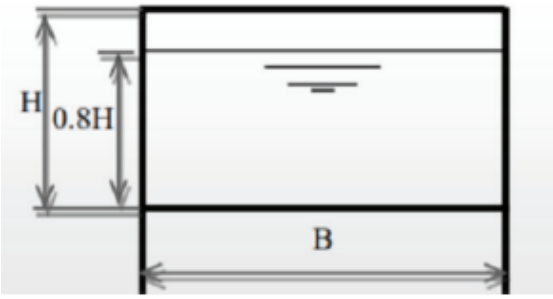


Figure IX.2 : Dalot

Pour : $Q_a = Q_s \longrightarrow Q_a = S_m . K_{st} . R_h^{\frac{2}{3}} . J^{\frac{1}{2}} \longrightarrow H = \frac{1}{0.8B} . \left(\frac{Q_a}{K_{st} . J^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} . (1.6H + B)^{\frac{2}{5}}$

On fixe la valeur de B et on calcul la valeur de H par itération :

$$H_{n+1} = \frac{1}{0.8B} . \left(\frac{Q_a}{K_{st} . J^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} . (1.6H_n + B)^{\frac{2}{5}}$$

IX.5.3.2.1 Application au projet

- **Exemple BV-5:**

$$H_{n+1} = \frac{1}{0.8B} . \left(\frac{Q_a}{K_{st} . J^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} . (1.6H_n + B)^{\frac{2}{5}}$$

  - $K_{st} = 70$
  - $Q_a(50) = 7.173\ m^3/s$
  - $J = 1\%$

On fixe B=2 m :

$$H_{n+1} = 0.6342 \times (1.6H_n + 2)^{\frac{2}{5}}$$

On pose $H_0 = 1m$:

$$H_1 = 0.6342 \times (1.6H_0 + 2)^{\frac{2}{5}} \longrightarrow H_1 = 0.6342 \times (1.6 \times 1 + 2)^{\frac{2}{5}} \longrightarrow H_1 = 1.058$$

$$H_2 = 0.6342 \times (1.6H_1 + 2)^{\frac{2}{5}} \longrightarrow H_2 = 0.6342 \times (1.6 \times 1.058 + 2)^{\frac{2}{5}}$$

$$\longrightarrow H_2 = 1.069$$

$$H_3 = 0.6342 \times (1.6H_2 + 2)^{\frac{2}{5}} \longrightarrow H_3 = 0.6342 \times (1.6 \times 1.069 + 2)^{\frac{2}{5}}$$

$$\longrightarrow H_3 = 1.071$$

$$H_4 = 0.6342 \times (1.6H_3 + 2)^{\frac{2}{5}} \longrightarrow H_4 = 0.6342 \times (1.6 \times 1.071 + 2)^{\frac{2}{5}}$$

$$\longrightarrow H_4 = 1.071$$

Après itération on obtient H=1.071 m et pour raison de sécurité on prend H=1.5m donc on choisie un Dalot de 2m×1.5m

- **Vérification des conditions d'auto curage**
  - ✓ Vérification de la vitesse

    $V = \frac{7.173}{S} = \frac{7.173}{2 \times 1.5} = 2.391\ m/s \longrightarrow V = 2.391 < 4\ m/s$ Condition Vérifié
  - ✓ Vérification de la hauteur critique

    $h_c = \sqrt[3]{\frac{{Q_a}^2}{g \times B}} = \sqrt[3]{\frac{3.86^2}{10 \times 1.5}} = 1.37\ m \longrightarrow h_c = 1.37 < 1.5\ m$ Condition Vérifié
  - ✓ Vérification du régime d'écoulement

Nbre de Froud$= \frac{V}{\sqrt{g \times H}} = \frac{1.71}{\sqrt{10 \times 1.5}} = 0.617 < 1$ régime fluvial

IX.5.3.2.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les dimensions des différents dalots de notre tracé.

N° BV	$\mathbf{Q_a(50ans)(m^3/s)}$	$\mathbf{B(m)}$	$\mathbf{H(m)}$
BV-1	7.177	2	1.5
BV-5	7.173	2	1.5

Tableau IX.8 : Dimensionnement des dalots

Le tableau ci-dessous montre les vérifications des conditions d'auto curage des différents dalots.

N° BV	$\mathbf{Q_a}$ $(\mathbf{m^3/s})$	V m/s	V < 4 m/s	H (m)	h_c (m)	$h_c < H$	Nbre de Froud	Régime d'écoulement
BV-1	7.177	2.392	Vérifié	1.5	1.37	Vérifié	0.617	Vérifié
BV-5	7.173	2.391	Vérifié	1.5	1.37	Vérifié	0.617	Vérifié

Tableau *IX*.9 : Vérification des conditions d'auto curage

IX. 5. 4 Système de drainage longitudinal

IX.5. 4. 1 Dimensionnement des fossés :

- En prenant en compte les quatre éléments (chaussée, berme, talus), nous calculons le débit apporté par chaque élément de la route ainsi que le débit total par la méthode rationnelle.

$$Q_a = Q_c + Q_b + Q_t$$

- $Q_c = K.C_C.I.A_c$: Débit rapporté par la chaussée.
- $Q_b = K.C_{b.}I.A_b$: Débit rapporté par la berme.
- $Q_t = K.C_{t.}I.A_t$: Débit rapporté par le talus.

Avec :

- A_c : Surface de la chaussée.
- A_b : Surface de la berme.
- A_t : Surface du talus.
- C_C : Coefficient de ruissellement de la chaussée.
- C_b : Coefficient de ruissellement de berme.
- C_t : Coefficient de ruissellement du talus.

Coefficient de ruissellement (C)

Type de chaussée	Valeur de C	Valeur prises
Chaussée revêtement en enrobes	0.80 à 0.95	0.95
Accotement	0.10 à 0.40	0.40

Talus	0.10 à 0.30	0.30
Terrain naturel	0.00 à 0.20	0.20

Tableau IX.10: Valeurs des coefficients de ruissellement

- Le débit de saturation pour un fossé en béton avec une forme trapézoïdale :

$$Q_s = S.K.R^{\frac{2}{3}}.J^{\frac{1}{2}}$$

  - $S_m = h(b + mh)$
  - $P_m = b + 2h\sqrt{h^2 + m^2}$
  - $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h(b+mh)}{b+2h\sqrt{h^2+m^2}}$

- Pour $Q_a = Q_s = 0.278.J^{\frac{1}{2}}.\left(\frac{h+(b+mh)}{b+2h\sqrt{h^2+m^2}}\right)^{\frac{2}{3}}.h(b + mh)$

On pose une valeur de b et on calcul h par itération :

Pour une angle de 45° m=1

$$h_{n+1} = \left(\frac{Q_a}{K_{st}.b.J^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{5}}.\frac{\left(1 + 2\frac{h_n}{b}\sqrt{2}\right)^{\frac{2}{5}}}{1 + \frac{h_n}{b}}$$

IX.5.4.1.1 Application au projet

Le dimensionnement se fait dans le cas le plus défavorable, ou il y a une hauteur importante du déblai qui s'étend sur une longueur importante dans notre cas le déblai de PK94+150 au PK94+975 de H=6 m est le plus défavorable.

- **Les caractéristiques des sous bassins versants concernées :**

SBV	Largeur(m)	Longueur (m)	Pente%	Surface(m^2)
Chaussé+BDG	11	825	2.5	9075
BAU	3	825	8	2475
Berme	1	825	4	825
Talus	-	825	66.67	8926.5
Total	-	-	-	21301.5

Tableau IX.11: Les caractéristiques des sous bassins versants

Exemple de calcul SBV-Talus

- **Le temps de concentration**

$A = 8.9265 \times 10^{-3}\text{Km}^2 < 5\ \text{Km}^2$ On applique la formule de VENTURA

$$T_c = 0.127\sqrt{\frac{A}{P}} \longrightarrow T_c = 0.127\sqrt{\frac{8.9265 \times 10^{-3}}{0.6667}} \longrightarrow T_c = 0.014\ \text{h}$$

- **L'intensité de l'averse**

$$I_{(t)} = \frac{a_{(T)}}{t^b}$$

Pour une période de retour de 10 ans :

$$I_{(t,10ans)} = \frac{17.6}{0.014^{0.6}} \longrightarrow I_{(t,10ans)} = 227.94\,\text{mm/h}$$

- **Calcul de débit d'apport**

On utilise la méthode Rationnelle

$$Q_t = K.C.I.A \longrightarrow Q_t = 0.278 \times 0.3 \times 227.94 \times 8.9265 \times 10^{-3}$$
$$Q_t = 0.169\ m^3/s$$

SBV	$A(Km^2) \times 10^{-6}$	C	P(%)	$T_c(h)$	$I_t(mm/h)$	$Q_a(m^3/s)$
Chaussée+ BDG	9075	0.95	2.5	0.076	82.6	0.197
BAU	2475	0.95	8	0.022	173.8	0.113
Berme	825	0.4	4	0.018	196.1	0.017
Talus	8926.5	0.3	66.7	0.014	227.9	0.169
Le débit total						0.496

Tableau IX.12 : Calcul des debits

On pose b=0.5 m et on calcul h par itération :

$$h_{n+1} = 0.309 \times \frac{\left(\left(1 + 2\sqrt{2}\frac{h_n}{0.5}\right)\right)^{\frac{2}{5}}}{1 + \frac{h_n}{0.5}}$$

Après itération on a trouvé $h = h_{10} = 0.28m$ et pour raison de sécurité on prend h=0.5m

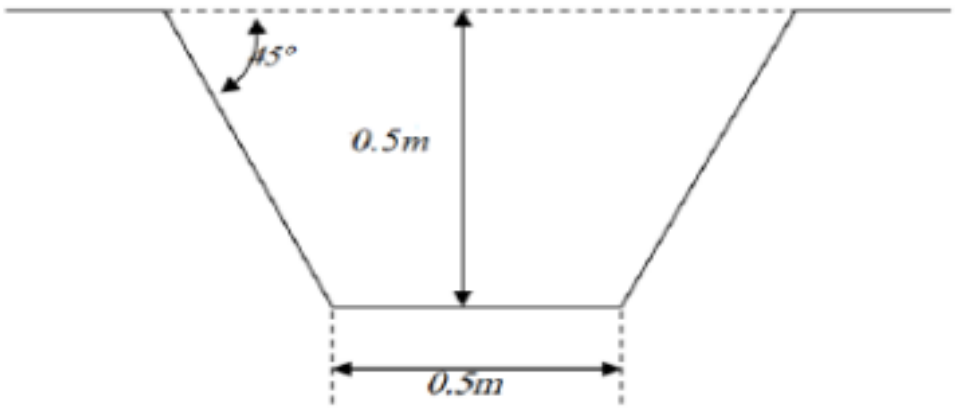


Figure IX.3: conception d'un Fossé

Chapitre X : Échangeur

X. 1 Introduction

Un échangeur autoroutier est un aménagement routier destiné à assurer la transition entre différents axes de circulation, notamment entre autoroutes ou entre une autoroute et le réseau routier secondaire. Il s'agit généralement de structures en boucle ou en bretelle, souvent surélevées, permettant aux véhicules de changer de direction rapidement et en toute sécurité, sans interrompre le flux de circulation. Ces dispositifs contribuent non seulement à améliorer la fluidité du trafic, mais aussi à renforcer la sécurité des usagers en réduisant les conflits de circulation et les manœuvres risquées

On distingue généralement trois types d'échangeurs :

- **Les nœuds**, qui assurent la connexion entre deux voies rapides (autoroutes ou routes express).
- **Les diffuseurs**, qui relient une voie rapide au réseau routier urbain ou local.
- **Les échangeurs mixtes**, qui combinent les deux fonctions précédentes et permettent en plus la liaison entre deux autoroutes.

Notre projet vise à concevoir un échangeur autoroutier sur la liaison reliant Sidi Bel Abbès à l'Autoroute Est-Ouest, situé au niveau du PK96+500

X. 2 Le rôle d'un échangeur

Les échangeurs autoroutiers jouent un rôle essentiel dans la régulation du trafic en éliminant les ralentissements aux intersections des grandes voies. Ils permettent aux conducteurs de changer d'autoroute ou de direction sans interruption majeure de la circulation, contrairement aux intersections classiques, qui provoqueraient des embouteillages importants à ces vitesses. En effet, la configuration des échangeurs est spécifiquement adaptée aux vitesses élevées sur autoroute, où les croisements directs comme en milieu urbain sont inenvisageables. Ce dispositif constitue ainsi la solution la plus efficace et la plus sécurisée pour gérer les jonctions autoroutières. En assurant des transitions fluides et rapides, les échangeurs améliorent non seulement la sécurité routière, mais optimisent aussi le temps de trajet.

X. 3 Avantages et Inconvénients de l'échangeur

Les échangeurs offrent de nombreux bénéfices, tant pour les automobilistes que pour l'ensemble du réseau routier :

- Ils facilitent les déplacements dans des conditions optimales de confort et de sécurité.
- Ils suppriment les points de conflit où les véhicules pourraient se croiser, réduisant ainsi considérablement le risque d'accidents graves.
- Ils évitent les arrêts fréquents, permettant un gain de temps notable.
- Ils éliminent les contraintes liées aux arrêts et redémarrages répétitifs.
- Ils assurent la continuité et la cohérence du réseau autoroutier.

Cependant, ces infrastructures présentent également certaines limites :

- Leur emprise au sol est importante, ce qui peut avoir un impact environnemental significatif.
- Leur conception et leur réalisation sont complexes et longues, nécessitant une planification minutieuse et des travaux étalés sur plusieurs mois, voire années, contrairement à des solutions plus simples comme les carrefours ou ronds-points.

X. 4 Les différents types d'échangeurs

Bien que les conceptions d'échangeurs autoroutiers puissent varier considérablement, il n'existe qu'un nombre limité de types fondamentaux. Chacun peut différer en forme, taille et configuration, et il est courant de combiner plusieurs types pour adapter l'échangeur aux contraintes spécifiques du site. L'élément clé dans la conception d'un échangeur réside dans le choix et l'agencement des bretelles, dont la forme dépend principalement du coût, de l'espace disponible et des caractéristiques du terrain.

En fonction de l'importance des voies à connecter, on distingue deux grandes catégories d'échangeurs :

- **Les échangeurs majeurs**, qui relient deux autoroutes.
- **Les échangeurs mineurs**, qui relient une autoroute à une route secondaire.

X. 4. 1 Échangeurs majeurs

Ces échangeurs assurent la liaison entre deux autoroutes. Deux configurations principales sont couramment utilisées :

X.4. 1. 1 Type trèfle complet

Ce type d'échangeur, souvent implanté dans des zones à fort trafic, permet de raccorder quatre branches autoroutières. Il se compose de quatre bretelles en boucle (rampes circulaires) et de quatre bretelles diagonales.
L'objectif est d'éviter tout croisement direct entre les véhicules en circulation. Cependant, pour y parvenir, il faut intégrer des voies supplémentaires, notamment pour l'insertion et la sortie, ce qui en fait une structure coûteuse et gourmande en espace.

X.4. 1. 2 Type bifurcation en « Y »

Utilisé lorsqu'il y a seulement trois branches à connecter, l'échangeur en Y permet à une branche secondaire (généralement celle à moindre trafic) de se détacher de l'axe principal, puis d'y revenir latéralement. Il comprend un ouvrage biais facilitant une transition continue et fluide, tout en conservant les caractéristiques d'une infrastructure autoroutière.

X. 4. 2 Échangeurs mineurs

Ces échangeurs servent à relier une autoroute à une route secondaire. On y retrouve principalement trois configurations standards :

X.4. 2. 1 Type losange

C'est la forme la plus simple et la plus répandue d'échangeur mineur. Il comprend quatre bretelles directes reliant l'autoroute à la route secondaire, avec un carrefour à niveau sur cette dernière.
Cette disposition assure une répartition symétrique des flux de circulation et minimise les distances de parcours.

X.4. 2. 2 Type demi-trèfle

Composé de deux boucles et de deux bretelles diagonales, ce type d'échangeur comprend également un carrefour à niveau sur la route secondaire.
Contrairement au type losange, la répartition du trafic y est asymétrique : les boucles sont essentiellement utilisées pour les entrées, ce qui améliore la visibilité et la sécurité.
On distingue deux variantes :

- **Le demi-trèfle symétrique**
- **Le demi-trèfle asymétrique**, également appelé *cadran opposé*.

X.4. 2. 3 Type trompette

C'est l'un des types les plus fréquemment utilisés pour relier une autoroute à une route transversale. Adapté aux configurations à trois branches, l'échangeur trompette comprend :

- Une bretelle commune en alignement droit.
- Une boucle pour l'entrée ou la sortie.
- Deux bretelles diagonales assurant respectivement l'entrée et la sortie.

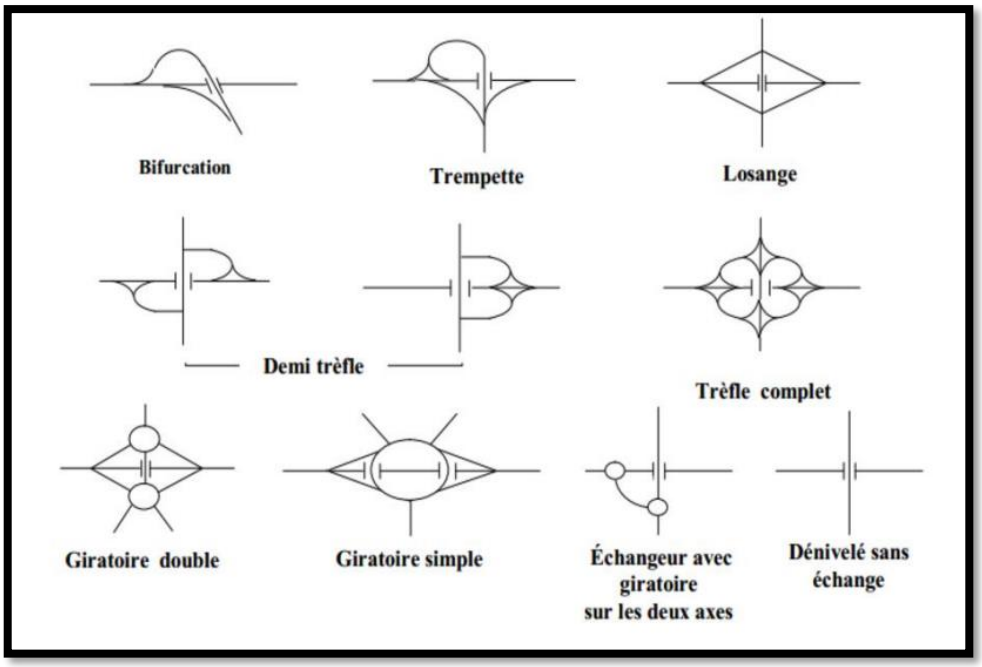


Figure 1 : *Types d'échangeurs*

X. 5 **Conception d'un échangeur**

La conception d'un échangeur commence par la définition de ses caractéristiques générales. Cela inclut le type de route concernée, qui détermine les normes de conception à respecter, ainsi que la catégorie de cette route, influençant les paramètres géométriques et les flux de circulation. Dans le cadre de notre projet, les standards appliqués sont ceux relatifs aux autoroutes.

Avant toute mise en œuvre, plusieurs études préalables sont réalisées pour analyser les impacts potentiels sur le trafic existant, la population locale, l'environnement ainsi que l'économie régionale ou nationale.
Ensuite, différentes variantes de conception sont proposées. Le choix final repose sur plusieurs critères : la conformité aux attentes du maître d'ouvrage, la compatibilité avec les infrastructures existantes, la minimisation de l'impact environnemental et l'adaptation au contexte géographique.

X. 5. 1 Éléments de conception d'un échangeur

L'échangeur doit être conçu pour répondre efficacement aux besoins des usagers. Cela implique de prendre en compte un ensemble de facteurs, notamment :

- La sécurité routière
- La classification des voies à connecter
- L'affectation du sol
- La vitesse de circulation de référence
- Le volume et la nature du trafic
- Le nombre de branches à relier

- Les dispositifs de gestion du trafic
- Le relief du terrain
- L'espace disponible et les contraintes foncières
- L'accessibilité aux zones urbaines voisines
- L'intégration dans le réseau routier global
- L'impact environnemental
- Les contraintes économiques

Ces éléments permettent de concevoir un échangeur en cohérence avec les attentes fonctionnelles, techniques et environnementales. Pour garantir un fonctionnement fluide du réseau, il est essentiel d'envisager dès le départ l'autoroute et ses échangeurs comme un système intégré, assurant ainsi une continuité et une efficacité optimale du trafic.

La réalisation d'un échangeur constitue une solution efficace aux limites des carrefours à niveau. Elle se justifie généralement selon trois grands axes :

- **Trafic :**
  Lorsque le volume de circulation dépasse la capacité du réseau existant, un échangeur devient une nécessité.
- **Sécurité :**
  Si un carrefour plan présente un risque d'accidents élevé et que les mesures de régulation classiques ne suffisent pas, la construction d'un échangeur s'impose pour améliorer la sécurité.
- **Relief :**
  Dans les zones où les contraintes topographiques rendent les carrefours plans irréalisables, un échangeur permet de surmonter les difficultés liées au terrain.

X. 5. 2 Conditions à respecter

Lors du choix de l'implantation et de la conception d'un échangeur, certaines précautions doivent être observées :

- Éviter les emplacements présentant des courbes de faible rayon.
- Écarter les zones à fortes déclivités ou à profil en long contraignant.
- Limiter la proximité avec les zones d'habitation dense et les bâtiments sensibles (écoles, hôpitaux, etc.).
- Réduire au maximum les tronçons présentant des pentes raides.
- Minimiser les travaux de terrassement de grande ampleur.
- Réduire l'emprise sur les terres agricoles et préserver les espaces naturels.

X. 6 Les composants d'un échangeur

Quel que soit son niveau d'importance, sa catégorie ou sa configuration, un échangeur se compose généralement de trois éléments fondamentaux :

X. 6. 1 Ouvrage d'art

Les ouvrages d'art, tels que les ponts ou les passages inférieurs/supérieurs, permettent le franchissement entre routes à différents niveaux.
Le nombre et le type de ces structures dépendent de plusieurs facteurs :

- Le type d'échangeur à réaliser
- Les contraintes géotechniques et topographiques du site
- Les exigences en matière de tracé et de profil en long
- Les normes techniques et réglementaires en vigueur

X. 6. 2 Carrefour plan

Les carrefours à niveau sont présents uniquement entre routes ordinaires, c'est-à-dire en dehors des autoroutes. Leur conception doit accorder une attention particulière à la sécurité des usagers ainsi qu'au confort de circulation.

X. 6. 3 Bretelles :

Les bretelles sont des voies de liaison qui assurent la connexion entre les différentes branches d'un échangeur. Elles permettent le passage d'une direction à une autre sans croisement direct des flux.

On distingue trois formes principales de bretelles :

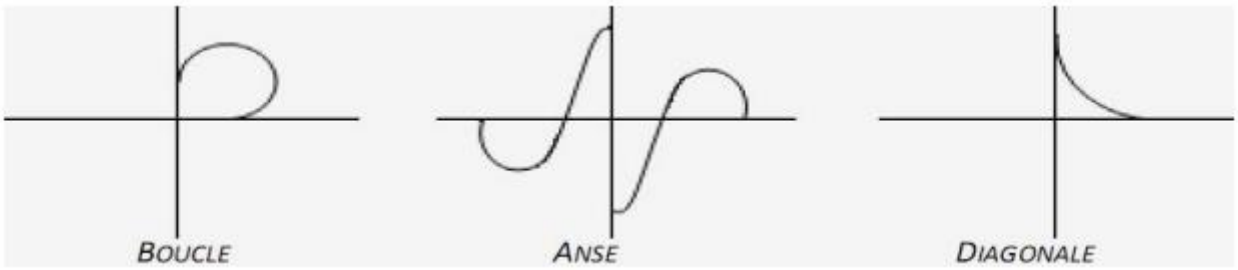


Figure 2 : *les type des bretelles*

X.6. 3. 1 Caractéristiques géométriques des bretelles

Les caractéristiques géométriques des bretelles concernent leur conception et leur forme sur le terrain. Selon les normes ICTAAL, plus spécifiquement les normes pour les échangeurs (complément d'ICTAAL 2000), une branche à une voie issue d'une sortie en déboîtement (c'est-à-dire une voie qui se sépare de la route principale) est conçue géométriquement comme une bretelle de diffuseur (qui sont des types d'échangeurs reliant une autoroute à une route secondaire ou urbaine).

X.6. 3. 2 Tracé en plan d'une bretelle

X.6.3.2.1 Valeurs limites des rayons

Les rayons	1 voie sortie	1 voie boucle
Rayon minimal (Rm)	40 (7%) et 100 (premier rayon rencontré)	40
Rayon non déversé (Rnd)	300	-
Dévers entre Rnd et Rm	d = (675/R) +0.25 entre 300 et 100	-

Tableau 1 : Valeurs limites des rayons

X.6.3.2.2 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≤ 2R2, où R1 et R2 notent les rayons de la première et du second courbe rencontré.
- Deux courbes successives de même sens doivent être séparées par un alignement droit de longueur correspondant à 3s à la vitesse autorisée hors clothoïdes.

X.6.3.2.3 Raccordement progressif

- **Rayons des courbes :** Pour des rayons de courbure jusqu'à $1.5\ \mathrm{R_{nd}}$ 450 m, les courbes circulaires doivent être encadrées par des arcs de clothoïde**.**

  Si ces conditions sont trop contraignantes (difficiles à respecter), elles peuvent être limitées aux courbes avec un rayon inférieur ou égal à $\mathrm{R_{nd}}$ (300 m).
- **Calcul de la longueur des arcs de clothoïde :** Utiliser la plus grande valeur entre $6\mathrm{R}^{0.4}$ Et $7 \times \Delta\mathrm{d}$ où R note le rayon de courbure (en m), et $\Delta\mathrm{d}$ la différence des pentes transversales(en %) des éléments du tracé raccordés.

X.6.3.2.4 Zones de décélération et d'accélération

Le raccordement d'une bretelle à l'autoroute se fait par une voie d'accélération pour l'entrée et par une voie de décélération pour la sortie.

- **La zone de décélération**

  Le dispositif de sortie d'une bretelle d'autoroute est conçu pour permettre aux véhicules de quitter l'autoroute en toute sécurité et de manière fluide. Les différentes sections de ce dispositif sont :
  - **Section de Manœuvre :** Cette section est une partie de la bretelle qui est directement adjacente à l'autoroute. Elle est appelée "biseau" en raison de sa forme effilée qui s'élargit progressivement et mesure 150 mètres de long. Elle commence à l'endroit où les véhicules commencent à diverger de l'autoroute. La largeur de cette section augmente progressivement jusqu'à atteindre 1 mètre à l'extrémité.
  - **Section de Décélération :** Après la section de manœuvre, la section de décélération permet aux véhicules de réduire leur vitesse de manière contrôlée.

    La longueur de cette section dépend de la vitesse initiale et du rayon de la première courbe rencontrée sur la bretelle (Un rayon supérieur à 120 mètres est fortement recommandé).

    La vitesse conventionnelle pour les véhicules quittant l'autoroute est de 70 km/h. Cette vitesse est considérée comme une référence pour le début de la décélération. À la fin de la section de manœuvre, les véhicules doivent ralentir à une vitesse adaptée au rayon de la première courbe de la bretelle.

La décélération dans cette section est calculée avec une valeur de 1.5 m/s². Cela signifie que les véhicules ralentissent à cette cadence.

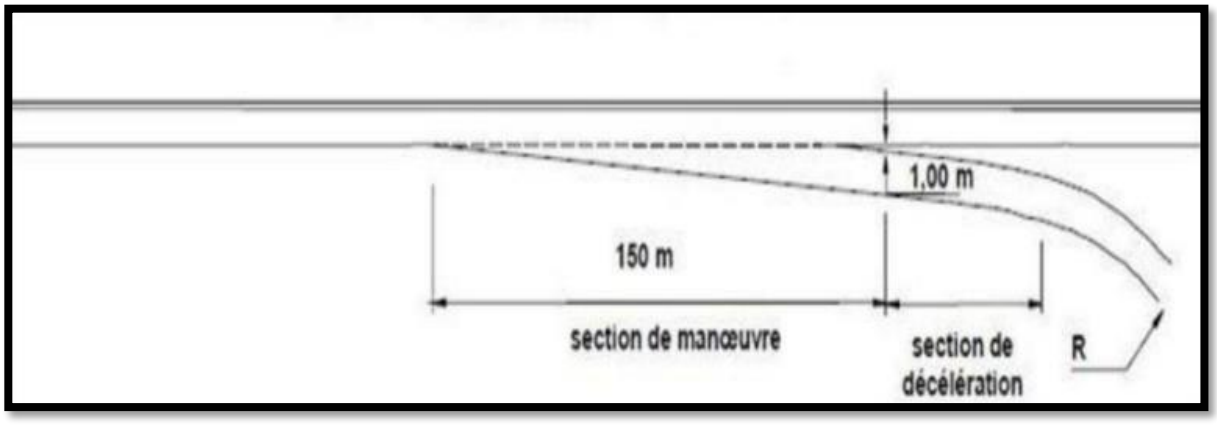


Figure 3 : La zone de décélération

- **La zone d'accélération**

  La zone d'accélération d'une bretelle est conçue pour permettre aux véhicules de rejoindre l'autoroute en toute sécurité et de manière fluide. Les différentes sections de cette zone sont :

  - **Section d'Accélération :** C'est la première section que les véhicules rencontrent en entrant sur l'autoroute depuis la bretelle. L'obliquité avec l'axe de l'autoroute est comprise entre 3 % et 5 % permet une transition progressive vers l'autoroute.
    La longueur de cette section dépend du rayon de la dernière courbe de la bretelle.
    Cette section doit permettre aux véhicules d'atteindre une vitesse conventionnelle de 55 km/h au point où l'écart (E) avec l'autoroute est de 1,00 mètre avec une accélération de 1 m/s².
  - **Section de Manœuvre :** C 'est la section qui suit immédiatement la section d'accélération. Cette section mesure 200 mètres de long avec une largeur de 3,50 mètres.
    Elle est adjacente à la chaussée principale de l'autoroute et permet aux véhicules de se préparer à entrer dans le flux de circulation principal.
  - **Biseau :** Le biseau est une section effilée qui permet aux véhicules de s'insérer progressivement dans la circulation de l'autoroute. Mesure 75 mètres de long.

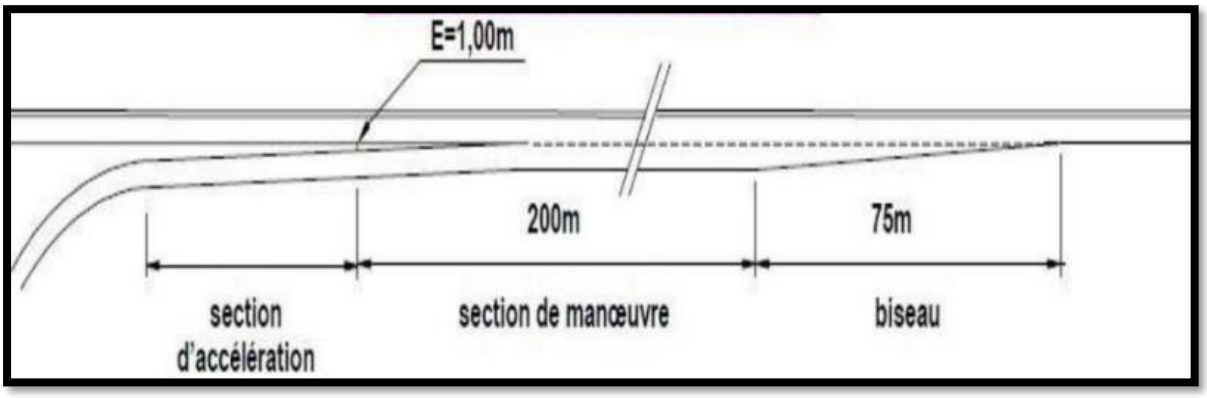


Figure 4 : La zone d'accélération.

X. 6. 4 Profil en long d'une bretelle

Les valeurs limites des paramètres du profil en long sont présentées dans le tableau suivant :

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

Tableau 2 : Les valeurs limites des paramètres du profil en long (ICTAAL)

X. 6. 5 Profil en travers d'une bretelle

Les largeurs des composantes du profil en travers sont les suivantes :

Chaussée	$3.5\ \mathrm{m} + 1/\mathrm{R}$ si $\mathrm{R} < 100$
Bande dérasée gauche BDG	$0.5\ \mathrm{m}$
Bande dérasée droite BDD	$1\ \mathrm{m}$

Tableau 3 : Les largeurs des composantes du profil en travers

X. 7 Application au projet

X. 7. 1 Choix du type de l'échangeur

- **Terrain :** Plat.
- **Type de route à raccorder :** L'échangeur à concevoir doit assurer un raccordement entre la liaison autoroutière Sidi Bel Abbès – Autoroute Est-Ouest et la route menant vers la commune de ain El Hadjar. De ce fait, notre échangeur peut être classé comme un échangeur de type **mineur**.
- **Distribution du trafic:** Le croisement est de quatre (4) branches**.**
- **Vitesse sur les bretelles :** La vitesse sur les bretelles d'une autoroute est la vitesse de base à laquelle les véhicules doivent rouler pour que les aménagements de cette partie de la route soient adaptés. En respectant cette vitesse, on assure une uniformité dans la conception de la route, ce qui contribue à garantir la sécurité et le confort des conducteurs.
    - La vitesse sur l'autoroute est : **110 km/h.**
    - La vitesse sur la CW est : **80 km/h**.
    - La vitesse sur l'échangeur est : **40 à 60 km/h.**

On prend la vitesse de base sur les bretelles **V_b=60km/h** en boucle **V_{bc}=40km/h.**

Conclusion

- Terrain plat.
- Vitesse de 40 km/h.
- Échangeur mineur.
- Quatre sens.

Selon la situation et le classement des deux axes, un échangeur de type « **demi-trèfle** » est la solution idéale pour les raisons suivantes :

- L'échangeur demi-trèfle garantit une bonne sécurité et offre une excellente visibilité aux usagers.
- Il assure une bonne fluidité du trafic.

Chapitre XI : Ouvrages D’art

XI. 1 Introduction

Les ouvrages d’art constituent des structures fondamentales destinées à surmonter divers obstacles tels que les cours d’eau, les vallées, les ravins ou encore d’autres infrastructures de transport. Ce chapitre portera principalement sur les ponts, qui assurent, selon leur conception, le franchissement sécurisé par les véhicules, les piétons, voire l’écoulement de l’eau.

XI. 2 Sélection du Type d'Ouvrage

L’objectif est de sélectionner le type d’ouvrage le plus adapté, tant sur le plan technique qu’économique, tout en satisfaisant les exigences spécifiques du projet. Les options peuvent inclure des structures en béton armé, en béton précontraint ou des solutions mixtes. Le choix du type d’ouvrage dépend de plusieurs facteurs déterminants, notamment :

- Le profil en long de la chaussée.
- La portée requise de la structure.
- La nature géotechnique du sol sur le site d’implantation.
- Les emplacements disponibles pour l’implantation des appuis.

XI. 3 Gabarit Réservé

Le gabarit réservé désigne la hauteur libre minimale devant être maintenue au-dessus d’une voie de circulation, mesurée perpendiculairement à son axe. En Algérie, les normes en vigueur définissent les exigences en matière de gabarit en fonction du type de route :

- Pour les autoroutes et les voies express, une hauteur minimale de 5,25 mètres est requise
- Pour les routes ordinaires, le gabarit admissible se situe entre 4,50 mètres et 4,80 mètres.

XI. 4 Les ouvrages existants

Notre projet inclut plusieurs types d'ouvrages, comme détaillé dans le tableau ci-dessous :

PK	Type d’ouvrage	Longueur
PK 90+250	Pont	650 m
PK 98+200	Pont	200 m

Tableau XI.1 : Ouvrages existants

Chapitre XII : Signalisations

XII. 1 Introduction

La signalisation routière constitue un élément fondamental pour garantir la sécurité et optimiser la fluidité du trafic. Véritable outil de communication entre l'infrastructure et les usagers de la route, elle transmet des informations claires, précises et adaptées aux diverses situations rencontrées, permettant ainsi une conduite appropriée. Une signalisation bien conçue et correctement implantée réduit les incertitudes, limite les erreurs de conduite et contribue à une circulation plus harmonieuse et sécurisée.

XII. 2 Objectifs de la signalisation

La signalisation routière poursuit plusieurs objectifs majeurs :

- Accroître la sécurité des usagers de la route.
- Faciliter la fluidité et l'organisation du trafic.
- Indiquer, rappeler ou renforcer l'application des règles de circulation.
- Fournir des informations utiles sur l'usage de la voie, les directions, les dangers ou les particularités du parcours.

XII. 3 Règles à respecter pour la signalisation

Pour garantir l'efficacité de la signalisation, il est indispensable de respecter les principes suivants :

- Assurer une parfaite cohérence entre la géométrie de la route et les indications signalétiques (homogénéité).
- Veiller à la concordance entre la signalisation verticale (panneaux) et horizontale (marquages au sol).
- Appliquer rigoureusement les normes d'implantation et de dimensionnement des panneaux.
- Éliminer toute publicité non réglementaire pouvant perturber l'attention des conducteurs.
- Maintenir la simplicité du système signalétique afin d'éviter la surcharge d'informations, source de confusion ou de distraction pour les usagers.

XII. 4 Types de signalisation

La signalisation se divise en deux catégories :

- Signalisation horizontale.
- Signalisation verticale.

Chapitre XII : Signalisations

XII. 4. 1 Signalisation horizontale

La signalisation horizontale regroupe l'ensemble des marquages réalisés directement sur la chaussée dans le but de réguler, organiser et sécuriser la circulation. Elle se divise principalement en deux grandes catégories : le marquage longitudinal et le marquage transversal**.**

XII.4. 1. 1 Marquage longitudinal

Il s'agit des lignes tracées dans le sens de la circulation, servant à délimiter les voies et à encadrer les comportements des conducteurs :

- **Lignes continues** :
  Ces lignes interdisent strictement tout franchissement. Elles sont parfois précédées par une ligne discontinue et accompagnées de flèches de rabattement pour avertir l'usager de l'imminence de l'interdiction.
- **Lignes discontinues** :
  Elles servent à guider les véhicules et permettent leur franchissement. Leur configuration est définie par le *module*, c'est-à-dire le rapport entre la longueur des traits et celle des intervalles les séparant. Ce paramètre influe sur la perception et l'interprétation de la signalisation par les conducteurs.

XII.4. 1. 2 Marquage transversal

Ces marquages sont tracés perpendiculairement au sens de la circulation, principalement aux intersections ou passages spécifiques :

- **Lignes transversales continues** :
  Généralement implantées à l'approche des arrêts obligatoires (stop, feux tricolores), elles indiquent aux conducteurs l'endroit précis où marquer l'arrêt.
- **Lignes transversales discontinues** :
  Elles signalent les limites où les conducteurs doivent céder le passage, notamment aux carrefours ou aux intersections non régulées par des feux.

XII. 4. 2 Signalisation verticale

La signalisation verticale repose sur l'utilisation de panneaux disposés en bordure ou au-dessus de la chaussée afin de transmettre des messages visuels aux usagers. Ces messages sont codifiés à travers la forme, la couleur, le symbole et l'emplacement du panneau. La signalisation verticale se subdivise en plusieurs catégories principales :

- **Signaux de danger**

Ces panneaux, de forme triangulaire avec un fond blanc et un liseré rouge**,** servent à avertir les usagers d'un danger potentiel sur la route.
Ils doivent être implantés, sauf contrainte particulière, à une distance d'environ 150 mètres

avant la zone dangereuse (signalisation avancée), afin de permettre une réaction appropriée du conducteur.

- **Panneaux de prescription absolue**

De forme circulaire, ces panneaux indiquent des règles impératives à respecter. Ils se divisent en trois sous-catégories :

- **Panneaux d'interdiction** (fond blanc et contour rouge) : interdisent un comportement (ex. : interdiction de dépasser, d'accéder, etc.) ;
- **Panneaux d'obligation** (fond bleu) : imposent une action (ex. : direction obligatoire, chaîne à neige obligatoire, etc.) ;
- **Panneaux de fin de prescription** : indiquent la levée d'une interdiction ou obligation précédemment imposée.

- **Panneaux d'indication**

De forme généralement rectangulaire ou carrée**,** parfois complétés par une flèche directionnelle, ils fournissent des informations utiles sur l'environnement routier ou sur le comportement à adopter. On distingue :

- **Les signaux d'indication générale** (ex. : station-service, hôpital, voie sans issue).
- **Les signaux de direction** (guidage vers des localités ou infrastructures).
- **Les signaux de localisation** (noms de lieux, bornes kilométriques).
- **Les signaux divers** (ex. : rappel de vitesse, sens giratoire).

- **Panneaux de localisation des dangers**

Implantés principalement en amont d'un danger ponctuel, ces panneaux ont une fonction de pré-signalisation spécifique, notamment en milieu extra-urbain. Leur usage en zone urbaine reste limité.

- **Autres éléments de signalisation**

- **Flèche de rabattement** : Indique aux conducteurs la nécessité de se déporter dans la direction indiquée, généralement en raison d'une réduction de voie.
- **Flèches de sélection** : Situées au sol ou en panneau suspendu, elles informent sur les directions possibles à emprunter à l'approche d'une intersection ou d'un carrefour.

Chapitre XII : Signalisations

XII. 5 **Caractéristiques générales des marques**

- ✓ Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages permanents sur la chaussée, tandis que le jaune est utilisé pour les marquages temporaires. De plus, le jaune est également utilisé pour les bordures d'arrêt d'urgence (BAU).
- ✓ Les peintures et matériaux utilisés présentent des caractéristiques spécifiques, notamment en termes de durabilité et de rétro-réflectivité.
- ✓ La largeur des lignes est déterminée en fonction d'une unité de mesure appelée "U", dont la valeur varie selon le type de route :
    - U = 7,5 cm sur les autoroutes et les voies rapides urbaines.
    - U = 6 cm sur les routes et les voies urbaines.
    - U = 5 cm sur les autres types de routes.

XII. 6 **Dispositifs de retenue**

Les dispositifs de retenue sont des équipements de sécurité destinés à empêcher les véhicules de quitter involontairement la chaussée. Ils jouent un rôle essentiel dans la protection des usagers de la route, notamment en présence d'obstacles ou de zones à risque élevé.

Les principaux types de dispositifs de retenue utilisés sont les suivants :

I.6.1 Glissières de sécurité métalliques fixes

Ces glissières simples sont installées sont installées en TPC et le côté droit de la chaussée. Elles ont pour fonction de protéger les véhicules contre les collisions avec des obstacles latéraux.

I.6.2 Glissières de sécurité métalliques amovibles

Démontables, ces glissières permettent d'interrompre temporairement le TPC pour faciliter le basculement de la circulation d'une chaussée à l'autre, notamment en cas de travaux ou d'accidents.

I.6.3 Séparateurs en béton

Les séparateurs de type "DBA" (double béton adhérent) sont constitués de murets en béton, coulés sur place ou préfabriqués. Ils offrent plusieurs avantages :

- Une stabilité renforcée grâce à l'utilisation de béton à haute résistance,
- Une meilleure répartition des charges sur le sol,
- Une durabilité accrue avec un entretien réduit.

I.6.4 Balises de signalisation

Placées dans les zones présentant des risques ou la présence d'obstacles, les balises servent à alerter visuellement les conducteurs, en particulier les usagers de véhicules à moteur, afin de renforcer la sécurité.

XII. 7 Application au projet

XII. 7. 1 Signalisation horizontale

Pour notre cas (autoroute), la largeur des lignes est définie comme suit : 7,5 cm pour les voies principales et 5 cm pour les bretelles et les voies d'accès.

XII.7. 1. 1 Le marquage du tracé

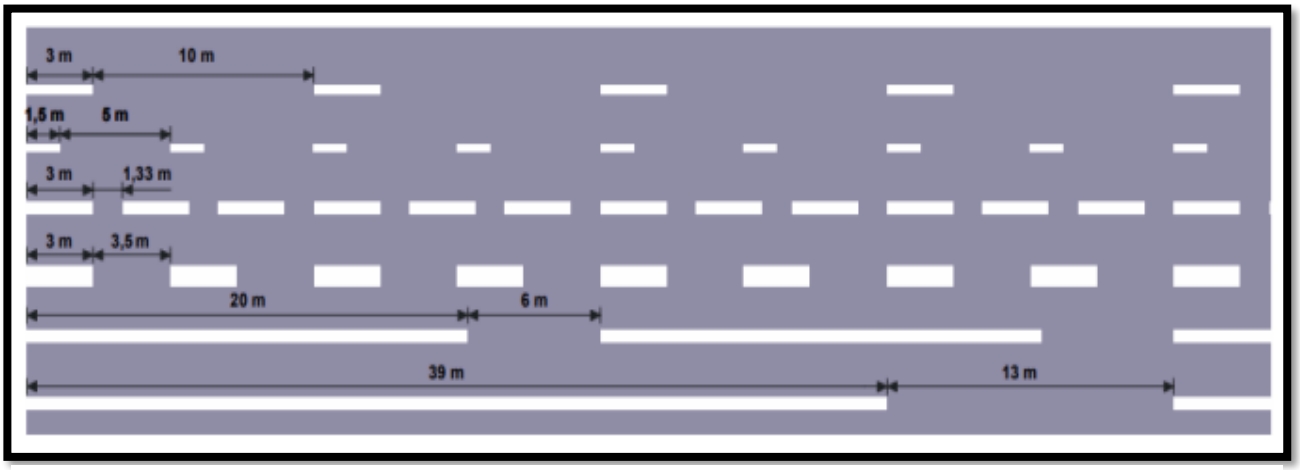


Figure XII.1 : Les lignes longitudinales



Figure XII.2 : Les lignes transversale

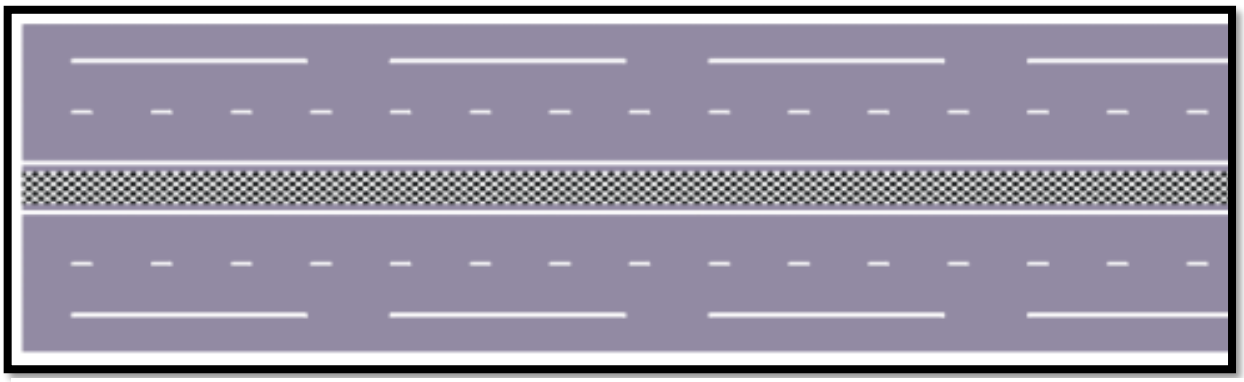


Figure XII.1 : transversale Les lignes de délimitation de voies dans le tracé

XII.7. 1. 2 Voies de décélération

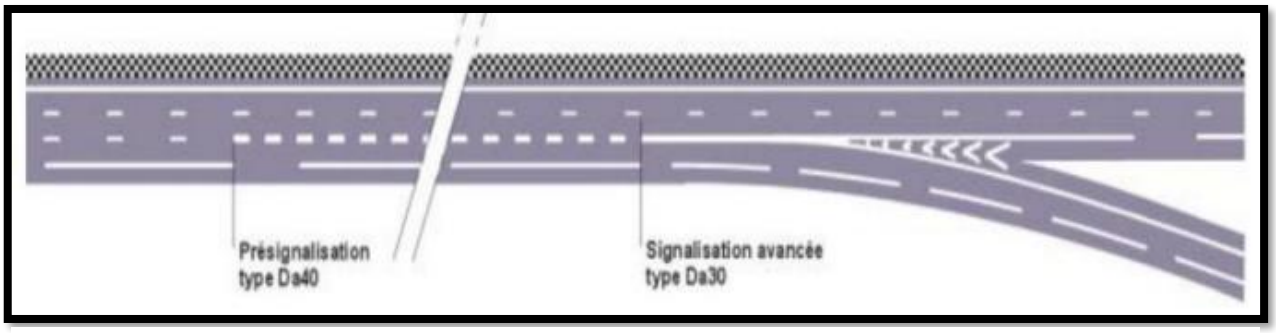


Figure XII.4 : Les lignes de délimitation de voies dans le tracé avec affectation de voies

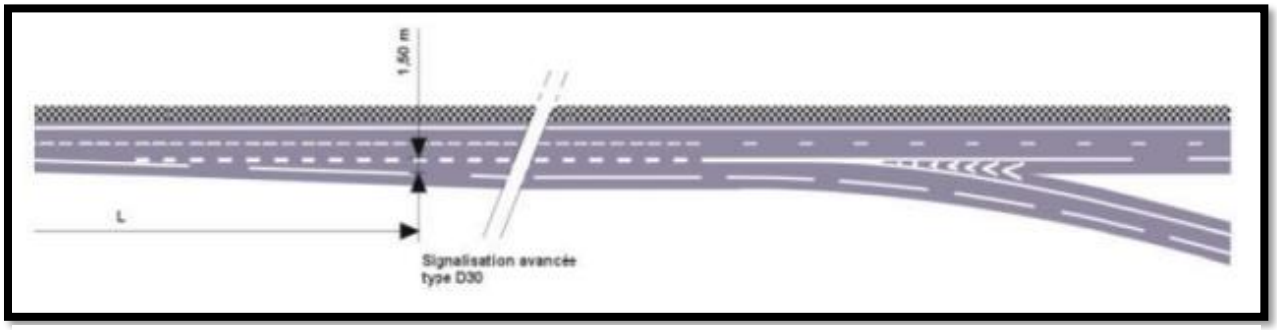


Figure XII.5: Les lignes de délimitation de voies dans le tracé sans affectation de voies

XII.7. 1. 3 Voies d'accélération

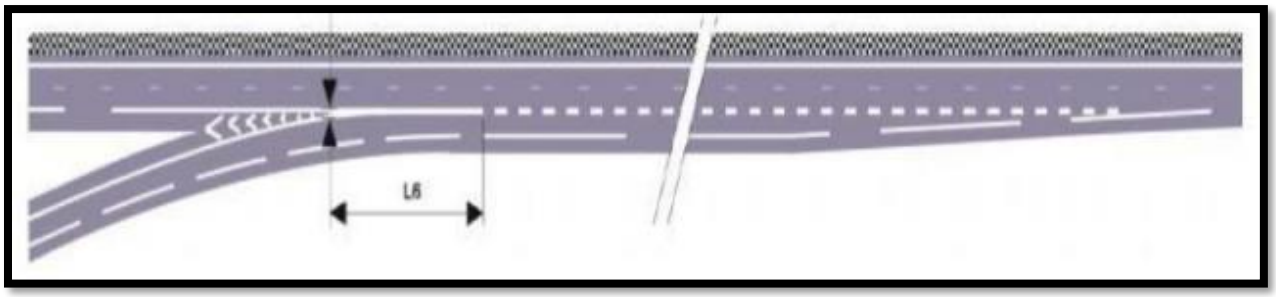


Figure XII.2 : même nombre de voies

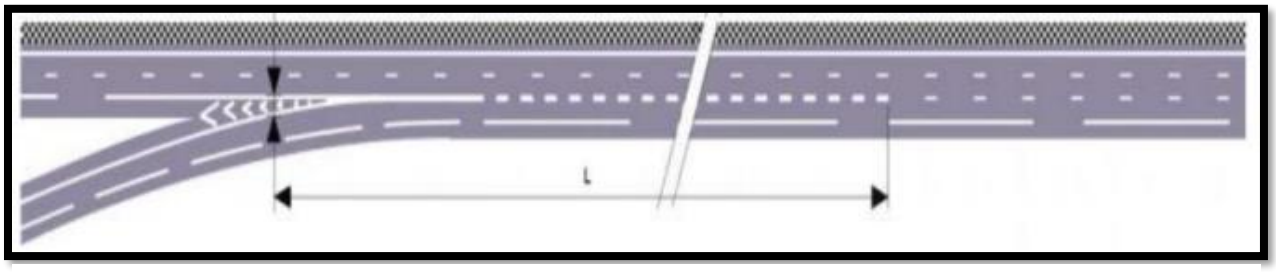


Figure XII.3: Nombre de voies inférieur

XII.7. 1. 4 Flèches directionnelles

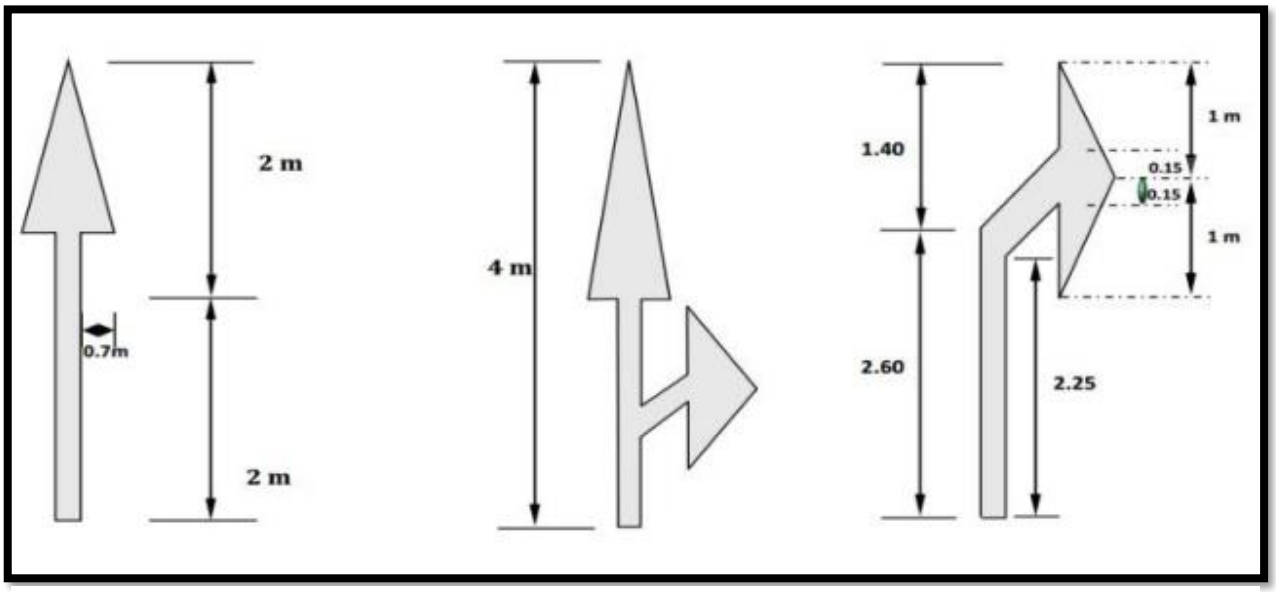


Figure XII.4 : Flèches directionnelles

XII.7. 1. 5 Flèches de rabattement

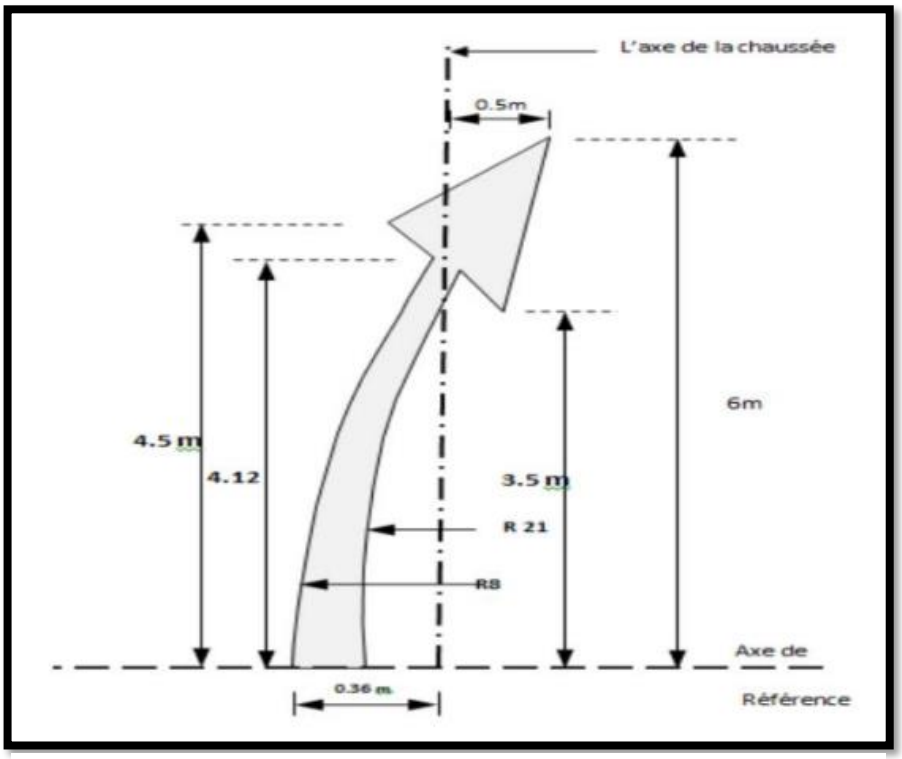


Figure XII.5 : Flèches de rabattement

XII.7. 1. 6 Autres marques

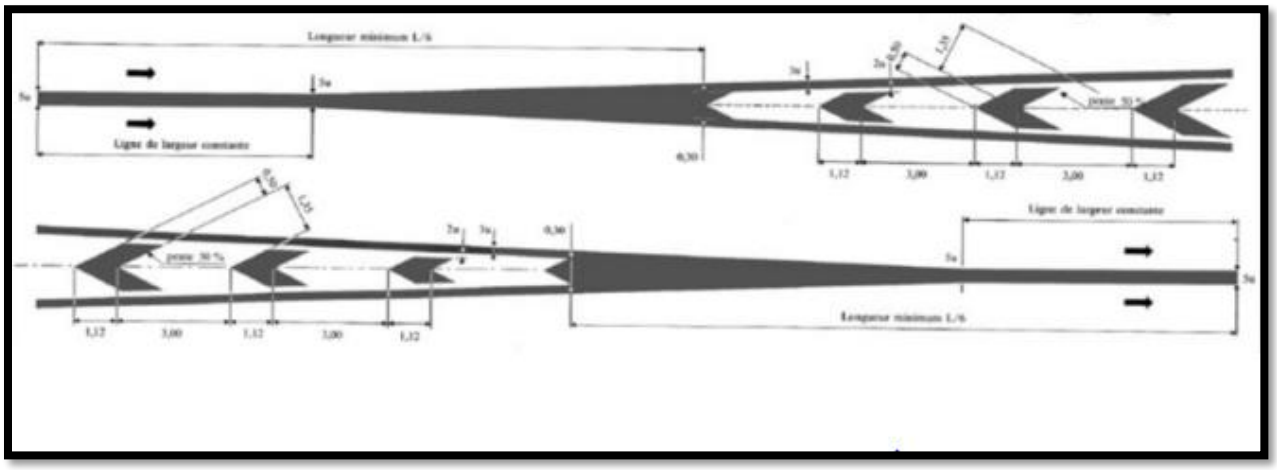


Figure XII.6 : Schémas de marquage avec hachures

XII. 7. 2 Signalisation verticale

XII.7. 2. 1 Panneau de signalisation d'avertissement de danger



A1a
virage à droite



A1b
virage à gauche



A25
carrefour à sens giratoire



A16
pente de ( ) %

XII.7. 2. 2 Panneau de signalisation d'intersection



Céder le passage à l'intersection



Céder le passage à l'intersection signale avancé

XII.7. 2. 3 Panneau de signalisation d'interdiction



Figure XII.7 : Panneau de signalisation d'indication



Figure XII.8 : Panneau de signalisation de direction



Figure XII.9 : Signalisation de direction

Chapitre XIII : Impact sur l'environnement

XIII. 1 Introduction

L'étude d'impact sur l'environnement constitue à la fois une procédure administrative et une analyse technique préalable à la réalisation de tout projet d'envergure.

Elle représente un document scientifique ainsi qu'un outil juridique, destiné à évaluer les effets potentiels de certaines activités humaines sur l'environnement.

Elle prend en compte divers enjeux environnementaux, incluant la population, la santé humaine, la biodiversité, le sol, les terres, les ressources en eau, la qualité de l'air, le climat et la consommation des ressources naturelles.

XIII. 2 Objectifs De L'Etude

L'objectif principal de cette étude est d'anticiper et d'évaluer les impacts environnementaux potentiels générés par les activités humaines, dans le but de réduire ou de prévenir leurs effets négatifs.

Elle fournit au maître d'ouvrage des données essentielles pour la gestion et le suivi environnemental du projet tout au long de sa mise en œuvre.

En outre, elle permet aux autorités compétentes d'évaluer les conséquences environnementales des projets soumis, afin d'éclairer la prise de décision. Réalisée correctement, cette étude permet d'identifier des alternatives viables et de proposer des mesures d'atténuation efficaces, bien qu'elle ne garantisse pas automatiquement l'approbation du projet, notamment en cas d'impacts environnementaux significatifs.

XIII. 3 Impact Négatifs Du Projet :

▪ Pollution de l'eau :

Les projets routiers peuvent altérer l'écoulement naturel des eaux et compromettre la qualité des ressources hydriques, tant superficielles que souterraines. Ces perturbations peuvent accroître les risques d'inondations, favoriser l'érosion, entraîner des dépôts de sédiments ou provoquer des modifications imprévues de la nappe phréatique.

Afin de prévenir toute contamination, accidentelle ou chronique, des eaux, la mise en place de bassins de rétention antipollution ou de digues anti-déversement s'avère être une solution efficace. En outre, le système de drainage des routes doit être conçu pour permettre la rétention des eaux pluviales dans de petites zones de collecte. Ces bassins peuvent ensuite servir à un usage humain ou environnemental, tout en réduisant les risques d'inondation et en évitant la stagnation des eaux.

▪ Pollution de l'air :

Les véhicules à moteur thermique, fonctionnant à l'essence ou au diesel, sont une source majeure d'émission de gaz polluants et de particules fines. À cela s'ajoutent la dégradation

des plaquettes de frein, des pneus et l'évaporation des hydrocarbures dans les stations-service. Le transport routier constitue l'une des principales sources de monoxyde de carbone (CO) et participe fortement à la formation de photo-oxydants, notamment dans les zones urbaines denses.

Pour atténuer cette pollution, plusieurs mesures sont nécessaires, telles que l'amélioration de la combustion et du rendement énergétique des moteurs, la régulation du trafic, le contrôle des vitesses, et la surveillance des émissions. Il est également essentiel d'évaluer l'impact de ces polluants sur le climat afin d'adapter les politiques environnementales.

▪ Effets sur la faune et la flore :

Le tracé des infrastructures routières doit être planifié en tenant compte des écosystèmes traversés. Des dispositifs de protection de la biodiversité doivent être intégrés dès les phases initiales du projet. Par exemple, la création de passages pour la faune — qu'ils soient aménagés ou non — permet de maintenir les connexions écologiques et d'assurer la libre circulation des animaux.

Concernant la flore, plusieurs mesures peuvent être envisagées :

- Privilégier les tracés en bordure des zones urbanisées ou agricoles, afin d'éviter la fragmentation des terres cultivées.
- Tenir compte des superficies agricoles exploitées pour limiter l'impact sur les activités humaines.
- Éviter les zones sensibles sur le plan hydro-agricole, particulièrement vulnérables aux modifications environnementales.

XIII. 4 **Conclusion**

Les études d'impact environnemental sont des outils fondamentaux pour minimiser les répercussions écologiques des projets routiers. En intégrant des mesures préventives et correctives, elles permettent de concilier développement des infrastructures et respect de l'environnement, en assurant une harmonie durable entre progrès technique et préservation des ressources naturelles.

Devis quantitatif et estimatif

Désignation des travaux	Unité U	Quantité	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
1.LOGISTIQUE DU CHANTIER				
Installation du chantier	Forfait	/	3%(2+3+4)	72 607 077
Total partiel (1)				**72 607 077**
2. TRAVAUX DE PREPARATION				
Préparation de terrain	m^2	320 000	900.00	288 000 000
Total partiel (2)				**288 000 000**
3.TERRASSEMENTS				
Décapage de terre végétale sur 25cm	m^3	479974.34	100	47 997 434
Mise en place des remblais	m^3	498408.51	600	299 045 106
Extraction des déblais	m^3	104240.79	450	46 908 355.5
Total partiel (3)				**393 950 895.5**
4.CORPS DE CHAUSSEES				
Couche de forme(40 cm)	m^3	128000	2000	256 000 000
Couche de base+ Couche de fondation(GB 2.3/m^3)	t	120750	8500	1 026 375 000
Couche de roulement (BB 2,2t/m^3)	t	36960	8500	314 160 000
Couche d'accrochage (0.3 kg /m2)	m^2	630000	150	94 500 000
Couche d'imprégnation (1,5 kg /m2)	m^2	315000	150	47 250 000
Total partiel (4)				**1 738 285 000**
5. ASSAINISSEMT				
Buse Diamètre 1000 mm en béton armé y compris tête d'ouvrages en béton et toutes sujétions de bonne exécution	ml	164	3500	574 000
Fossé en béton de Forme trapézoïdale 0,5 x 0,5 m épaisseur 10 cm	ml	19453.8	6500	126 449 700
Dalot 2 x 1.5en béton armé	m^3	198	50000	9 900 000
Total partiel (5)				**136 923 700**
6. OUVRAGE D'ART				
Ouvrage d'art	m^2	825	350000	288 750 000
Total partiel (6)				**288 750 000**

7. ECHANGEUR				
Echangeur demi trèfle	Forfait	1	/	100 000 000
Total partiel (7)				**100 000 000**
8.SIGNALISATION ET EQUIPEMENT ROUTIERS				
Signalisation et équipement routiers	Forfait	/	5%(3)	196 975 447.75
Total partiel (8)				**196 975 447.75**
9.IMPACT SUR L'ENVIRENNEMENT				
Impact sur l'environnement	Forfait	/	(3%)(2+3+4)	72 607 077
Total partiel (9)				**72 607 077**
10.CONTROLE				
Contrôle (bureau d'étude et laboratoire)	**Forfait**	/	2% (2+3)	13 639 018
Total partiel (10)				**13 639 018**
TOTAL HT				**2 954 200 049**
TVA 19%				**561 298 009**
TOTAL TTC				**3 515 498 058**

Le total en lettres est Trois milliards cinq cent quinze millions quatre cent quatre-vingt-dix-huit mille cinquante-huit.

Dinars Algérien.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a constitué une excellente occasion de mettre en œuvre les acquis théoriques et techniques développés tout au long de notre formation à l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics. Il nous a permis de nous confronter concrètement aux enjeux techniques et administratifs d'un projet routier, tout en nous offrant une expérience enrichissante en matière de gestion et de réalisation d'un chantier de travaux publics, avec un accent particulier sur les infrastructures routières.

Nous avons également pu approfondir notre maîtrise de logiciels spécialisés, tels que Civil 3D et AutoCAD, et nous familiariser avec les technologies récentes utilisées dans le domaine des travaux publics. Tout au long de notre étude, nous avons veillé à respecter rigoureusement les normes de l'ICTAAL, ainsi que les directives spécifiques au secteur routier, afin de surmonter les contraintes rencontrées sur le terrain.

Deux objectifs principaux ont orienté notre travail : assurer le confort et la sécurité des usagers, tout en intégrant les considérations économiques et environnementales liées à la construction de la route.

En définitive, ce projet nous a permis de franchir une étape décisive vers le monde professionnel, en nous préparant aux responsabilités et défis futurs dans le secteur des travaux publics.

Bibliographie

[1] B40 (Normes technique d'aménagement des routes et trafic et capacité des routes).

[2] Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves fascicule 1, 2,3, (C.T.T.P), Novembre 2001.

[3] COMPLEMENTS à l'ICTAAL : Les échangeurs, Avril 2006.

[4] ICTAAL : Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison

[5] Guide technique Assainissement routier, SETRA, Octobre 2006.

[6] GTR_Fascicule_1_Principes_Généraux, SETRA_LCPC, Juillet 2000.

[7] GTR_Fascicule_2_Annexes_Techniques, SETRA_LCPC, Juillet 2000.

[8] Ancien projet de fin d'étude : W2949-22_Mig, W2955-22, W2289-16.

[9] L'instruction interministérielles sur la signalisation routière – généralités

[10] L'instruction interministérielles sur la signalisation routière – Signalisation de Danger, Août 2009.

[11] L'instruction interministérielles sur la signalisation routière – Signalisation de prescription, Août 2009.

[12] L'instruction interministérielles sur la signalisation routière – Signalisation d'indications et des services, Aout 2009.

[13] L'instruction interministérielles sur la signalisation routière – Marquage sur chaussée, Août 2009.

[14] L'instruction interministérielle relative à la signalisation de direction, édition mars 1982.

[15] Manuel de projets de routes, (GOUMETTRE Ahmed, KALLI Fatima-Zohra), OPU ,2012

[16] Les cours de l'école pendant 3ans (hydraulique, Route, Esquisse, GTR, MDS…).

Logiciels utilisés :

- Auto cade 2018
- Alize LCPC Recherche
- Civil 3d 2023
- Global Mapper 25.1

ANNEXE 1: Axe en plan

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			90+000	223121.8365	3854267.4587
DR1	ANG=92.0106 (g)	391.750			
			90+392	223510.5055	3854316.4930
ARC2	XC=223698.2566				
	YC=3852828.2895				
	R=1500.000	233.157			
			90+625	223743.1621	3854327.6172
DR3	ANG=101.9061 (g)	1251.175			
			91+876	224993.7762	3854290.1609
ARC4	XC=224948.8708				
	YC=3852790.8332				
	R=1500.000	468.717			
			92+345	225452.5218	3854203.7506
DR5	ANG=121.7991 (g)	984.546			
			93+329	226379.9102	3853873.1721
ARC6	XC=225708.3756				
	YC=3851989.2822				
	R=2000.000	324.644			
			93+654	226675.5381	3853739.8812
DR7	ANG=132.1328 (g)	447.566			
			94+102	227067.2927	3853523.4464
ARC8	XC=226293.5627				
	YC=3852122.9673				
	R=1600.000	484.908			
			94+586	227450.0026	3853228.7009
DR9	ANG=151.4267 (g)	894.393			
			95+481	228068.1027	3852582.2562
ARC10	XC=229152.2651				
	YC=3853618.8814				
	R=1500.000	240.421			

			95+721	228247.4395	3852422.5158
DR11	ANG=141.2229 (g)	1823.303			
			97+545	229701.6641	3851322.6684
ARC12	XC=230606.4897				
	YC=3852519.0340				
	R=1500.000	317.010			
			97+862	229972.7574	3851159.4814
DR13	ANG=127.7686 (g)	504.347			
			98+366	230429.8813	3850946.4009
ARC14	XC=231063.6135				
	YC=3852305.9536				
	R=1500.000	487.671			
			98+854	230897.3438	3850815.1973
DR15	ANG=107.0712 (g)	742.065			
			99+596	231634.8358	3850732.9420
CLO16	A=300.000				
	R=900.000	100.000			
			99+696	231733.9836	3850720.0207
ARC17	XC=231584.7094				
	YC=3849832.4864				
	R=900.000	57.106			
			99+753	231789.9604	3850708.7695
CLO18	A=300.000				
	R=900.000	100.000			
			99+853	231886.4008	3850682.3777
DR19	ANG=118.1842 (g)	609.395			
			100+462	232471.1045	3850510.6694

ANNEXE 2 : profil en long

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			90+000	818.002
D1	PENTE= -1.88%	197.533		
			90+198	814.284
PAR1	S= 90+250 Z=813.296			
	R= 4000.000	104.933		
			90+302	813.685
D2	PENTE= 0.74%	532.103		
			90+835	817.627
PAR2	S= 90+906 Z=818.158			
	R= 4000.000	143.283		
			90+978	821.255
D3	PENTE= 4.32%	528.269		
			91+506	844.092
PAR3	S= 91+657 Z=850.627			
	R= 10000.000	302.316		
			91+808	852.591
D4	PENTE= 1.30%	269.427		
			92+078	856.093
PAR4	S= 92+175 Z=857.356			
	R= 6000.000	194.270		
			92+272	855.473
D5	PENTE= -1.94%	142.031		
			92+414	852.721
PAR5	S= 92+468 Z=851.686			
	R= 3000.000	106.820		
			92+521	852.552
D6	PENTE= 1.62%	1292.348		
			93+813	873.522
PAR6	S= 93+890 Z=874.774			
	R= 6000.000	154.268		
			93+968	878.009
D7	PENTE= 4.19%	1386.207		
			95+354	936.143
PAR7	S= 95+436 Z=939.609			
	R= 12000.000	165.280		
			95+519	941.936
D8	PENTE= 2.82%	1455.235		
			96+974	982.922
PAR8	S= 97+069 Z=985.600			
	R= 6000.000	190.240		
			97+165	991.295
D9	PENTE= 5.99%	1514.921		
			98+679	1081.995
PAR9	S= 98+769 Z=1087.352			
	R= 6000.000	178.941		
			98+858	1090.040
D10	PENTE= 3.00%	181.542		
			99+040	1095.495
PAR10	S= 99+129 Z=1098.180			
	R= 6000.000	178.756		
			99+219	1103.529
D11	PENTE= 5.98%	146.925		
			99+366	1112.321
PAR11	S= 99+593 Z=1125.928			
	R= 6000.000	454.803		
			99+820	1122.299
D12	PENTE= -1.60%	763.396		
			100+584	1110.115

ANNEXE 3: Cubatures (Rapport sur les volumes)

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
90+000.000	44.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90+025.000	36.59	1008.59	1008.59	0.00	0.00	1008.59	1008.59	0.00	1008.59
90+050.000	34.61	889.95	889.95	0.00	0.00	1898.54	1898.54	0.00	1898.54
90+075.000	35.71	878.96	878.96	0.00	0.00	2777.51	2777.51	0.00	2777.51
90+100.000	35.83	894.28	894.28	0.00	0.00	3671.79	3671.79	0.00	3671.79
90+125.000	38.45	928.61	928.61	0.00	0.00	4600.39	4600.39	0.00	4600.39
90+150.000	34.29	909.25	909.25	0.00	0.00	5509.64	5509.64	0.00	5509.64
90+175.000	33.15	842.93	842.93	0.00	0.00	6352.57	6352.57	0.00	6352.57
90+200.000	37.55	883.78	883.78	0.00	0.00	7236.34	7236.34	0.00	7236.34
90+225.000	35.03	907.24	907.24	0.59	7.33	8143.59	8143.59	7.33	8136.25
90+250.000	37.95	912.17	912.17	0.00	7.33	9055.75	9055.75	14.67	9041.09
90+275.000	29.00	836.89	836.89	0.00	0.00	9892.65	9892.65	14.67	9877.98
90+300.000	35.65	808.16	808.16	0.13	1.62	10700.81	10700.81	16.29	10684.52
90+325.000	34.14	872.32	872.32	0.00	1.62	11573.12	11573.12	17.91	11555.22
90+350.000	35.66	872.45	872.45	0.06	0.75	12445.57	12445.57	18.65	12426.92
90+375.000	31.66	841.43	841.43	0.00	0.75	13287.00	13287.00	19.40	13267.60
90+391.750	32.55	537.72	537.72	0.73	6.11	13824.73	13824.73	25.51	13799.22
90+400.000	56.71	368.22	368.22	0.58	5.39	14192.94	14192.94	30.90	14162.04
90+425.000	39.15	1198.22	1198.22	2.25	35.30	15391.16	15391.16	66.20	15324.96
90+450.000	40.10	990.51	990.51	0.38	32.84	16381.67	16381.67	99.04	16282.63
90+475.000	46.65	1084.28	1084.28	0.00	4.87	17465.95	17465.95	103.91	17362.04
90+500.000	46.91	1169.49	1169.49	1.38	17.38	18635.44	18635.44	121.28	18514.15
90+508.328	47.63	393.68	393.68	1.17	10.61	19029.11	19029.11	131.90	18897.22
90+525.000	46.32	783.14	783.14	2.72	32.36	19812.25	19812.25	164.26	19647.99
90+550.000	52.65	1237.14	1237.14	10.57	166.09	21049.40	21049.40	330.36	20719.04
90+575.000	53.74	1329.93	1329.93	0.39	137.00	22379.33	22379.33	467.36	21911.97
90+600.000	60.00	1421.78	1421.78	1.21	20.03	23801.11	23801.11	487.39	23313.72
90+624.907	22.93	1032.71	1032.71	5.20	79.87	24833.82	24833.82	567.26	24266.56
90+625.000	23.69	2.17	2.17	5.13	0.48	24835.99	24835.99	567.74	24268.25
90+650.000	35.99	745.97	745.97	15.72	260.62	25581.96	25581.96	828.36	24753.60
90+675.000	60.54	1206.67	1206.67	2.76	230.98	26788.63	26788.63	1059.35	25729.28
90+700.000	22.34	1036.03	1036.03	0.03	34.92	27824.66	27824.66	1094.27	26730.39
90+725.000	50.00	904.31	904.31	0.00	0.42	28728.97	28728.97	1094.69	27634.28
90+750.000	84.64	1683.07	1683.07	0.00	0.00	30412.04	30412.04	1094.69	29317.35
90+775.000	32.40	1463.07	1463.07	0.20	2.46	31875.11	31875.11	1097.15	30777.96
90+800.000	30.27	783.45	783.45	0.96	14.50	32658.56	32658.56	1111.65	31546.91
90+825.000	34.56	810.41	810.41	0.00	12.04	33468.97	33468.97	1123.69	32345.28
90+850.000	35.17	871.69	871.69	0.00	0.00	34340.66	34340.66	1123.69	33216.96
90+875.000	37.53	908.73	908.73	0.00	0.00	35249.39	35249.39	1123.69	34125.70
90+900.000	35.86	917.33	917.33	0.00	0.00	36166.72	36166.72	1123.69	35043.02

90+925.000	35.84	896.25	896.25	0.00	0.00	37062.96	37062.96	1123.69	35939.27
90+950.000	37.43	915.89	915.89	0.00	0.00	37978.85	37978.85	1123.69	36855.16
90+975.000	35.11	906.79	906.79	0.00	0.01	38885.64	38885.64	1123.71	37761.93
91+000.000	38.32	917.89	917.89	0.00	0.01	39803.53	39803.53	1123.72	38679.82
91+025.000	35.93	928.16	928.16	0.00	0.00	40731.69	40731.69	1123.72	39607.97
91+050.000	34.10	875.36	875.36	0.00	0.00	41607.05	41607.05	1123.72	40483.34
91+075.000	35.78	873.40	873.40	0.68	8.45	42480.46	42480.46	1132.17	41348.29
91+100.000	35.82	894.91	894.91	0.00	8.55	43375.37	43375.37	1140.71	42234.66
91+125.000	33.82	870.52	870.52	0.00	0.09	44245.88	44245.88	1140.81	43105.08
91+150.000	34.82	858.07	858.07	0.06	0.81	45103.95	45103.95	1141.62	43962.34
91+175.000	39.52	929.28	929.28	0.00	0.81	46033.23	46033.23	1142.42	44890.81
91+200.000	35.84	942.02	942.02	0.00	0.00	46975.25	46975.25	1142.42	45832.83
91+225.000	35.94	897.26	897.26	0.00	0.00	47872.51	47872.51	1142.42	46730.09
91+250.000	41.51	968.07	968.07	0.00	0.00	48840.58	48840.58	1142.42	47698.16
91+275.000	37.45	986.91	986.91	0.00	0.00	49827.49	49827.49	1142.42	48685.06
91+300.000	36.06	918.83	918.83	0.00	0.04	50746.32	50746.32	1142.47	49603.85
91+325.000	32.90	861.97	861.97	0.00	0.14	51608.29	51608.29	1142.61	50465.68
91+350.000	45.58	981.01	981.01	0.00	0.10	52589.30	52589.30	1142.71	51446.59
91+375.000	38.23	1047.66	1047.66	0.00	0.00	53636.96	53636.96	1142.71	52494.25
91+400.000	40.56	984.83	984.83	0.00	0.03	54621.80	54621.80	1142.74	53479.05
91+425.000	27.65	852.64	852.64	0.00	0.03	55474.44	55474.44	1142.77	54331.67
91+450.000	36.67	804.07	804.07	0.00	0.00	56278.51	56278.51	1142.77	55135.74
91+475.000	35.38	900.58	900.58	0.00	0.00	57179.09	57179.09	1142.77	56036.32
91+500.000	33.31	858.55	858.55	0.00	0.00	58037.64	58037.64	1142.77	56894.87
91+525.000	37.21	881.43	881.43	0.00	0.00	58919.07	58919.07	1142.77	57776.30
91+550.000	41.80	987.53	987.53	0.00	0.08	59906.61	59906.61	1142.85	58763.76
91+575.000	38.30	1001.23	1001.23	0.04	0.60	60907.84	60907.84	1143.45	59764.39
91+600.000	37.20	943.78	943.78	0.00	0.52	61851.62	61851.62	1143.97	60707.65
91+625.000	36.53	921.58	921.58	0.14	1.81	62773.20	62773.20	1145.78	61627.42
91+650.000	35.90	905.33	905.33	0.00	1.81	63678.53	63678.53	1147.59	62530.94
91+675.000	35.59	893.57	893.57	0.00	0.00	64572.10	64572.10	1147.59	63424.51
91+700.000	35.65	890.44	890.44	0.13	1.64	65462.53	65462.53	1149.23	64313.30
91+725.000	35.84	893.67	893.67	0.07	2.51	66356.20	66356.20	1151.74	65204.46
91+750.000	36.81	908.24	908.24	0.01	1.04	67264.44	67264.44	1152.77	66111.67
91+775.000	37.36	927.19	927.19	0.01	0.35	68191.63	68191.63	1153.12	67038.51
91+800.000	39.80	964.55	964.55	0.01	0.30	69156.17	69156.17	1153.42	68002.75
91+825.000	37.16	962.07	962.07	0.02	0.40	70118.25	70118.25	1153.82	68964.43
91+850.000	40.14	966.33	966.33	0.00	0.28	71084.58	71084.58	1154.09	69930.48
91+875.000	38.73	985.94	985.94	0.00	0.00	72070.52	72070.52	1154.10	70916.42
91+876.082	39.82	42.49	42.49	0.00	0.00	72113.01	72113.01	1154.10	70958.91
91+900.000	41.21	969.11	969.11	0.00	0.00	73082.12	73082.12	1154.10	71928.02
91+925.000	36.36	969.69	969.69	0.00	0.01	74051.81	74051.81	1154.11	72897.70
91+950.000	36.71	913.40	913.40	0.00	0.01	74965.20	74965.20	1154.12	73811.09
91+975.000	36.08	909.91	909.91	0.00	0.00	75875.12	75875.12	1154.12	74721.00
92+000.000	35.87	899.46	899.46	0.00	0.00	76774.57	76774.57	1154.12	75620.45
92+025.000	38.11	924.80	924.80	0.00	0.00	77699.37	77699.37	1154.12	76545.25
92+050.000	34.64	909.43	909.43	0.03	0.36	78608.80	78608.80	1154.48	77454.32
92+075.000	36.01	883.11	883.11	0.00	0.36	79491.91	79491.91	1154.84	78337.07

92+100.000	35.71	896.50	896.50	0.00	0.03	80388.41	80388.41	1154.87	79233.54
92+110.440	35.84	373.53	373.53	0.00	0.05	80761.93	80761.93	1154.92	79607.01
92+125.000	32.56	497.91	497.91	0.03	0.31	81259.85	81259.85	1155.24	80104.61
92+150.000	35.00	844.51	844.51	0.00	0.44	82104.35	82104.35	1155.67	80948.68
92+175.000	26.09	763.63	763.63	0.00	0.00	82867.98	82867.98	1155.67	81712.31
92+200.000	40.77	835.78	835.78	0.16	2.00	83703.76	83703.76	1157.67	82546.09
92+225.000	33.84	932.64	932.64	0.00	2.00	84636.40	84636.40	1159.68	83476.72
92+250.000	42.48	954.02	954.02	0.00	0.00	85590.42	85590.42	1159.68	84430.74
92+275.000	36.91	992.39	992.39	0.00	0.11	86582.81	86582.81	1159.78	85423.02
92+300.000	36.35	915.68	915.68	0.02	0.39	87498.49	87498.49	1160.17	86338.31
92+325.000	40.33	958.49	958.49	0.00	0.28	88456.97	88456.97	1160.46	87296.52
92+344.799	38.85	783.84	783.84	0.21	2.09	89240.81	89240.81	1162.55	88078.27
92+350.000	35.44	193.18	193.18	0.81	2.65	89433.99	89433.99	1165.20	88268.79
92+375.000	42.09	969.12	969.12	0.00	10.12	90403.11	90403.11	1175.32	89227.79
92+400.000	39.16	1015.59	1015.59	0.00	0.03	91418.70	91418.70	1175.35	90243.35
92+425.000	33.53	908.63	908.63	5.39	67.42	92327.32	92327.32	1242.77	91084.55
92+450.000	30.54	800.90	800.90	0.00	67.42	93128.22	93128.22	1310.19	91818.03
92+475.000	34.88	817.71	817.71	0.00	0.00	93945.94	93945.94	1310.19	92635.74
92+500.000	32.40	841.00	841.00	0.40	4.98	94786.94	94786.94	1315.18	93471.76
92+525.000	34.13	831.66	831.66	0.00	4.98	95618.60	95618.60	1320.16	94298.44
92+550.000	35.87	874.95	874.95	0.20	2.49	96493.56	96493.56	1322.65	95170.91
92+575.000	36.43	903.65	903.65	0.06	3.19	97397.21	97397.21	1325.84	96071.37
92+600.000	35.55	899.65	899.65	0.05	1.32	98296.86	98296.86	1327.16	96969.71
92+625.000	35.87	892.63	892.63	0.00	0.61	99189.49	99189.49	1327.77	97861.72
92+650.000	40.25	951.45	951.45	0.14	1.77	100140.94	100140.94	1329.54	98811.41
92+675.000	35.74	949.85	949.85	0.00	1.77	101090.79	101090.79	1331.30	99759.49
92+700.000	34.34	876.00	876.00	0.00	0.00	101966.79	101966.79	1331.30	100635.49
92+725.000	32.30	833.06	833.06	0.00	0.00	102799.85	102799.85	1331.30	101468.55
92+750.000	36.04	854.34	854.34	0.18	2.21	103654.19	103654.19	1333.52	102320.67
92+775.000	36.19	902.90	902.90	0.00	2.21	104557.09	104557.09	1335.73	103221.37
92+800.000	33.91	876.23	876.23	0.00	0.00	105433.33	105433.33	1335.73	104097.60
92+825.000	36.58	881.09	881.09	0.00	0.09	106314.42	106314.42	1335.82	104978.60
92+850.000	33.63	877.60	877.60	0.00	0.09	107192.02	107192.02	1335.91	105856.11
92+875.000	38.73	904.47	904.47	0.00	0.00	108096.50	108096.50	1335.91	106760.58
92+900.000	37.16	948.52	948.52	0.00	0.00	109045.01	109045.01	1335.91	107709.10
92+925.000	44.05	1015.10	1015.10	0.00	0.00	110060.11	110060.11	1335.91	108724.19
92+950.000	39.81	1048.32	1048.32	0.00	0.00	111108.43	111108.43	1335.91	109772.51
92+975.000	38.14	974.42	974.42	0.00	0.00	112082.85	112082.85	1335.91	110746.93
93+000.000	33.06	889.96	889.96	0.00	0.00	112972.81	112972.81	1335.91	111636.89
93+025.000	35.58	858.00	858.00	0.00	0.00	113830.81	113830.81	1335.91	112494.90
93+050.000	33.72	866.28	866.28	0.00	0.00	114697.09	114697.09	1335.91	113361.18
93+075.000	36.72	880.53	880.53	0.00	0.00	115577.63	115577.63	1335.91	114241.71
93+100.000	36.06	909.83	909.83	0.00	0.00	116487.46	116487.46	1335.91	115151.54
93+125.000	36.40	905.81	905.81	0.00	0.00	117393.27	117393.27	1335.91	116057.35
93+150.000	36.95	916.88	916.88	0.00	0.00	118310.14	118310.14	1335.91	116974.23
93+175.000	35.50	905.62	905.62	0.00	0.00	119215.77	119215.77	1335.91	117879.85
93+200.000	28.61	801.45	801.45	0.00	0.00	120017.22	120017.22	1335.91	118681.30
93+225.000	35.50	801.41	801.41	0.00	0.00	120818.62	120818.62	1335.91	119482.71

93+250.000	33.04	856.78	856.78	0.00	0.00	121675.40	121675.40	1335.91	120339.49
93+275.000	34.52	844.54	844.54	0.15	1.87	122519.95	122519.95	1337.79	121182.16
93+300.000	33.59	851.39	851.39	0.03	2.24	123371.34	123371.34	1340.03	122031.31
93+325.000	34.45	850.56	850.56	0.00	0.48	124221.90	124221.90	1340.51	122881.39
93+329.346	34.14	149.03	149.03	0.03	0.09	124370.93	124370.93	1340.60	123030.34
93+350.000	33.73	700.86	700.86	0.09	1.23	125071.79	125071.79	1341.82	123729.97
93+375.000	32.96	833.63	833.63	0.00	1.09	125905.42	125905.42	1342.92	124562.50
93+400.000	36.89	873.11	873.11	0.00	0.00	126778.53	126778.53	1342.92	125435.62
93+425.000	37.36	928.10	928.10	0.00	0.00	127706.63	127706.63	1342.92	126363.71
93+450.000	35.02	904.76	904.76	0.10	1.25	128611.40	128611.40	1344.16	127267.23
93+475.000	30.81	822.82	822.82	0.00	1.25	129434.22	129434.22	1345.41	128088.81
93+491.667	33.46	535.53	535.53	0.02	0.18	129969.75	129969.75	1345.59	128624.16
93+500.000	34.42	282.78	282.78	0.00	0.09	130252.54	130252.54	1345.69	128906.85
93+525.000	37.29	896.33	896.33	0.00	0.00	131148.87	131148.87	1345.69	129803.19
93+550.000	24.17	768.27	768.27	0.32	4.04	131917.15	131917.15	1349.72	130567.42
93+575.000	25.51	621.05	621.05	8.39	108.89	132538.20	132538.20	1458.61	131079.59
93+600.000	51.26	959.58	959.58	7.84	202.89	133497.78	133497.78	1661.50	131836.28
93+625.000	55.68	1336.73	1336.73	0.00	98.04	134834.51	134834.51	1759.54	133074.97
93+650.000	17.41	913.65	913.65	16.08	201.06	135748.16	135748.16	1960.60	133787.57
93+653.989	19.04	72.71	72.71	13.58	59.17	135820.88	135820.88	2019.76	133801.11
93+675.000	36.81	586.77	586.77	0.00	142.65	136407.65	136407.65	2162.41	134245.24
93+700.000	32.70	868.89	868.89	1.65	20.60	137276.54	137276.54	2183.01	135093.53
93+725.000	25.80	731.25	731.25	11.46	163.86	138007.79	138007.79	2346.87	135660.92
93+750.000	41.04	835.53	835.53	0.00	143.26	138843.31	138843.31	2490.13	136353.19
93+775.000	47.93	1112.16	1112.16	2.55	31.93	139955.47	139955.47	2522.06	137433.41
93+800.000	60.10	1350.43	1350.43	0.00	31.93	141305.90	141305.90	2553.99	138751.92
93+825.000	42.53	1282.93	1282.93	0.04	0.46	142588.84	142588.84	2554.45	140034.39
93+850.000	26.34	860.91	860.91	0.00	0.46	143449.75	143449.75	2554.90	140894.85
93+875.000	38.07	805.22	805.22	0.00	0.00	144254.97	144254.97	2554.90	141700.07
93+900.000	42.25	1004.12	1004.12	0.00	0.00	145259.09	145259.09	2554.90	142704.18
93+925.000	40.28	1031.68	1031.68	0.00	0.00	146290.77	146290.77	2554.90	143735.86
93+950.000	38.35	982.93	982.93	0.00	0.00	147273.70	147273.70	2554.90	144718.79
93+975.000	35.02	917.21	917.21	0.00	0.00	148190.91	148190.91	2554.90	145636.00
94+000.000	45.05	1000.93	1000.93	0.00	0.00	149191.83	149191.83	2554.90	146636.93
94+025.000	34.24	991.11	991.11	0.10	1.31	150182.94	150182.94	2556.21	147626.73
94+050.000	35.67	873.87	873.87	0.00	1.31	151056.80	151056.80	2557.52	148499.28
94+075.000	35.20	885.92	885.92	0.00	0.00	151942.73	151942.73	2557.52	149385.20
94+100.000	27.78	787.31	787.31	0.00	0.00	152730.03	152730.03	2557.52	150172.51
94+101.556	29.49	44.55	44.55	0.00	0.00	152774.58	152774.58	2557.52	150217.06
94+125.000	35.25	758.85	758.85	0.00	0.00	153533.43	153533.43	2557.52	150975.91
94+150.000	35.27	881.42	881.42	0.00	0.00	154414.85	154414.85	2557.52	151857.32
94+175.000	32.86	851.65	851.65	0.01	0.18	155266.50	155266.50	2557.71	152708.79
94+200.000	35.60	855.77	855.77	0.00	0.22	156122.27	156122.27	2557.93	153564.34
94+225.000	36.06	895.77	895.77	0.02	0.30	157018.03	157018.03	2558.23	154459.80
94+250.000	36.35	905.19	905.19	0.00	0.26	157923.22	157923.22	2558.49	155364.73
94+275.000	35.53	898.50	898.50	0.02	0.23	158821.72	158821.72	2558.72	156263.00
94+300.000	36.56	901.13	901.13	0.00	0.25	159722.85	159722.85	2558.97	157163.88
94+325.000	36.01	907.10	907.10	0.00	0.04	160629.95	160629.95	2559.01	158070.94

94+344.010	39.26	715.40	715.40	0.00	0.07	161345.35	161345.35	2559.08	158786.27
94+350.000	39.51	235.92	235.92	0.02	0.08	161581.27	161581.27	2559.16	159022.11
94+375.000	36.06	944.60	944.60	0.00	0.27	162525.87	162525.87	2559.43	159966.44
94+400.000	47.75	1047.62	1047.62	0.00	0.00	163573.49	163573.49	2559.43	161014.06
94+425.000	40.78	1106.60	1106.60	0.00	0.00	164680.09	164680.09	2559.43	162120.66
94+450.000	36.37	964.40	964.40	0.00	0.00	165644.49	165644.49	2559.43	163085.06
94+475.000	41.16	969.22	969.22	0.00	0.10	166613.70	166613.70	2559.52	164054.18
94+500.000	38.24	992.52	992.52	0.00	0.10	167606.22	167606.22	2559.62	165046.60
94+525.000	37.33	944.64	944.64	0.00	0.00	168550.86	168550.86	2559.62	165991.24
94+550.000	38.89	952.76	952.76	0.00	0.05	169503.63	169503.63	2559.67	166943.96
94+575.000	35.98	935.81	935.81	0.00	0.05	170439.44	170439.44	2559.72	167879.72
94+586.464	38.26	425.52	425.52	0.00	0.00	170864.95	170864.95	2559.72	168305.23
94+600.000	38.49	519.44	519.44	0.00	0.00	171384.40	171384.40	2559.72	168824.68
94+625.000	32.51	887.57	887.57	0.00	0.00	172271.97	172271.97	2559.72	169712.25
94+650.000	37.38	873.64	873.64	0.00	0.00	173145.60	173145.60	2559.72	170585.88
94+675.000	38.70	950.92	950.92	0.00	0.00	174096.52	174096.52	2559.72	171536.80
94+700.000	39.13	972.80	972.80	0.00	0.00	175069.32	175069.32	2559.72	172509.60
94+725.000	36.84	949.64	949.64	0.00	0.00	176018.96	176018.96	2559.72	173459.24
94+750.000	41.68	981.48	981.48	0.14	1.69	177000.44	177000.44	2561.41	174439.03
94+775.000	38.88	1006.89	1006.89	0.05	2.32	178007.33	178007.33	2563.73	175443.61
94+800.000	36.40	940.89	940.89	0.00	0.62	178948.22	178948.22	2564.35	176383.87
94+825.000	35.94	904.24	904.24	0.10	1.30	179852.46	179852.46	2565.66	177286.81
94+850.000	36.68	907.79	907.79	0.04	1.87	180760.25	180760.25	2567.52	178192.73
94+875.000	38.55	940.41	940.41	0.06	1.37	181700.66	181700.66	2568.89	179131.76
94+900.000	38.25	960.03	960.03	0.05	1.40	182660.68	182660.68	2570.29	180090.39
94+925.000	37.57	947.69	947.69	0.03	0.91	183608.37	183608.37	2571.20	181037.17
94+950.000	36.78	929.29	929.29	0.22	3.11	184537.66	184537.66	2574.31	181963.34
94+975.000	38.90	946.01	946.01	0.05	3.36	185483.66	185483.66	2577.67	182905.99
95+000.000	31.70	882.57	882.57	0.04	1.06	186366.23	186366.23	2578.73	183787.50
95+025.000	36.94	857.98	857.98	0.00	0.49	187224.21	187224.21	2579.22	184644.99
95+050.000	37.66	932.49	932.49	0.00	0.00	188156.70	188156.70	2579.22	185577.49
95+075.000	38.72	954.76	954.76	0.00	0.00	189111.46	189111.46	2579.22	186532.24
95+100.000	37.03	946.89	946.89	0.00	0.00	190058.35	190058.35	2579.22	187479.13
95+125.000	41.88	986.38	986.38	0.00	0.00	191044.73	191044.73	2579.22	188465.51
95+150.000	38.58	1005.75	1005.75	0.00	0.00	192050.48	192050.48	2579.22	189471.26
95+175.000	40.83	992.68	992.68	0.00	0.04	193043.16	193043.16	2579.26	190463.90
95+200.000	32.00	910.41	910.41	0.00	0.04	193953.57	193953.57	2579.30	191374.28
95+225.000	38.61	882.65	882.65	1.91	23.92	194836.23	194836.23	2603.22	192233.01
95+250.000	42.37	1012.31	1012.31	0.00	23.92	195848.54	195848.54	2627.13	193221.41
95+275.000	32.03	930.05	930.05	4.17	52.15	196778.58	196778.58	2679.28	194099.31
95+300.000	18.09	626.54	626.54	5.17	116.74	197405.12	197405.12	2796.01	194609.11
95+325.000	32.74	635.42	635.42	0.12	66.06	198040.54	198040.54	2862.08	195178.46
95+350.000	35.19	849.13	849.13	0.11	2.89	198889.67	198889.67	2864.96	196024.71
95+375.000	32.76	849.32	849.32	0.00	1.51	199739.00	199739.00	2866.47	196872.52
95+400.000	38.53	891.13	891.13	0.00	0.09	200630.12	200630.12	2866.57	197763.55
95+425.000	41.13	995.75	995.75	0.19	2.40	201625.87	201625.87	2868.97	198756.90
95+450.000	34.73	948.19	948.19	0.00	2.40	202574.05	202574.05	2871.36	199702.69
95+475.000	36.32	888.07	888.07	0.00	0.00	203462.13	203462.13	2871.37	200590.76

95+480.857	36.20	212.36	212.36	0.00	0.02	203674.49	203674.49	2871.38	200803.11
95+500.000	35.69	688.10	688.10	0.05	0.53	204362.59	204362.59	2871.92	201490.67
95+525.000	33.94	870.40	870.40	0.14	2.36	205232.99	205232.99	2874.27	202358.72
95+550.000	43.33	965.89	965.89	0.11	3.10	206198.88	206198.88	2877.38	203321.51
95+575.000	43.35	1083.45	1083.45	0.00	1.37	207282.33	207282.33	2878.75	204403.59
95+600.000	46.25	1119.96	1119.96	0.00	0.00	208402.29	208402.29	2878.75	205523.55
95+601.067	45.19	48.80	48.80	0.00	0.00	208451.09	208451.09	2878.75	205572.35
95+625.000	43.26	1058.45	1058.45	0.00	0.00	209509.54	209509.54	2878.75	206630.79
95+650.000	41.65	1061.37	1061.37	0.00	0.00	210570.91	210570.91	2878.75	207692.16
95+675.000	42.31	1049.57	1049.57	0.00	0.00	211620.48	211620.48	2878.75	208741.74
95+700.000	32.89	940.06	940.06	0.04	0.53	212560.54	212560.54	2879.28	209681.27
95+721.278	35.61	728.78	728.78	0.00	0.45	213289.33	213289.33	2879.73	210409.60
95+725.000	35.52	132.38	132.38	0.00	0.00	213421.70	213421.70	2879.73	210541.98
95+750.000	30.45	824.63	824.63	1.52	19.00	214246.33	214246.33	2898.73	211347.60
95+775.000	34.43	811.06	811.06	0.00	19.00	215057.39	215057.39	2917.73	212139.66
95+800.000	36.02	880.65	880.65	0.00	0.05	215938.04	215938.04	2917.78	213020.25
95+825.000	31.31	841.61	841.61	0.00	0.05	216779.64	216779.64	2917.83	213861.81
95+850.000	26.90	727.64	727.64	0.09	1.06	217507.28	217507.28	2918.90	214588.38
95+875.000	23.24	626.82	626.82	0.03	1.43	218134.10	218134.10	2920.33	215213.77
95+900.000	35.59	735.45	735.45	0.00	0.40	218869.56	218869.56	2920.73	215948.82
95+925.000	42.88	980.95	980.95	0.02	0.32	219850.50	219850.50	2921.05	216929.45
95+950.000	49.67	1156.93	1156.93	0.00	0.29	221007.43	221007.43	2921.34	218086.09
95+975.000	51.27	1261.74	1261.74	0.00	0.00	222269.17	222269.17	2921.34	219347.83
96+000.000	32.87	1051.76	1051.76	0.00	0.02	223320.93	223320.93	2921.36	220399.57
96+025.000	37.54	880.17	880.17	0.01	0.19	224201.10	224201.10	2921.55	221279.55
96+050.000	34.65	902.38	902.38	2.22	27.93	225103.48	225103.48	2949.48	222154.00
96+075.000	45.30	999.41	999.41	0.23	30.65	226102.90	226102.90	2980.13	223122.76
96+100.000	20.13	817.93	817.93	1.93	27.05	226920.83	226920.83	3007.18	223913.64
96+125.000	21.43	519.46	519.46	287.93	3623.32	227440.29	227440.29	6630.50	220809.79
96+150.000	24.16	569.87	569.87	1985.00	28411.64	228010.16	228010.16	35042.14	192968.02
96+175.000	35.11	740.96	740.96	0.00	24812.48	228751.12	228751.12	59854.62	168896.50
96+200.000	35.15	878.33	878.33	0.00	0.00	229629.45	229629.45	59854.62	169774.83
96+225.000	34.66	872.69	872.69	0.00	0.00	230502.14	230502.14	59854.62	170647.52
96+250.000	34.94	870.06	870.06	0.00	0.00	231372.20	231372.20	59854.62	171517.57
96+275.000	34.95	873.62	873.62	0.00	0.00	232245.82	232245.82	59854.62	172391.20
96+300.000	38.81	921.95	921.95	0.13	1.57	233167.77	233167.77	59856.19	173311.58
96+325.000	41.48	1003.63	1003.63	0.00	1.57	234171.39	234171.39	59857.76	174313.64
96+350.000	33.89	942.09	942.09	0.00	0.00	235113.48	235113.48	59857.76	175255.73
96+375.000	20.91	684.93	684.93	0.00	0.00	235798.41	235798.41	59857.76	175940.66
96+400.000	38.98	748.59	748.59	0.09	1.08	236547.00	236547.00	59858.83	176688.17
96+425.000	38.66	970.44	970.44	0.00	1.08	237517.45	237517.45	59859.91	177657.54
96+450.000	29.68	854.15	854.15	0.00	0.00	238371.60	238371.60	59859.91	178511.69
96+475.000	31.94	770.22	770.22	0.01	0.16	239141.82	239141.82	59860.07	179281.75
96+500.000	39.59	894.14	894.14	0.00	0.16	240035.96	240035.96	59860.24	180175.72
96+525.000	34.19	922.22	922.22	0.00	0.00	240958.18	240958.18	59860.24	181097.95
96+550.000	36.09	878.50	878.50	0.15	1.85	241836.68	241836.68	59862.08	181974.60
96+575.000	37.22	916.43	916.43	0.00	1.85	242753.11	242753.11	59863.93	182889.19
96+600.000	36.79	925.12	925.12	0.00	0.00	243678.23	243678.23	59863.93	183814.30

6+625.000	42.52	991.31	991.31	9.21	115.15	244669.54	244669.54	59979.08	184690.47
96+650.000	763.83	10079.36	10079.36	493.07	6278.47	254748.90	254748.90	66257.54	188491.36
96+675.000	196.71	12006.70	12006.70	235.51	9107.18	266755.60	266755.60	75364.72	191390.88
96+700.000	31.25	2849.42	2849.42	17.06	3157.08	269605.01	269605.01	78521.80	191083.22
96+725.000	41.50	909.28	909.28	0.00	213.22	270514.30	270514.30	78735.01	191779.28
96+750.000	63.31	1310.03	1310.03	0.00	0.05	271824.33	271824.33	78735.06	193089.26
96+775.000	85.83	1864.23	1864.23	0.00	0.05	273688.55	273688.55	78735.11	194953.44
96+800.000	41.45	1590.96	1590.96	0.00	0.00	275279.51	275279.51	78735.11	196544.40
96+825.000	99.61	1763.25	1763.25	0.00	0.00	277042.77	277042.77	78735.11	198307.65
96+850.000	25.39	1562.60	1562.60	4.83	60.41	278605.37	278605.37	78795.52	199809.85
96+875.000	34.15	744.36	744.36	0.00	60.41	279349.73	279349.73	78855.93	200493.79
96+900.000	51.88	1075.42	1075.42	0.00	0.00	280425.15	280425.15	78855.93	201569.22
96+925.000	39.42	1141.21	1141.21	0.00	0.00	281566.36	281566.36	78855.93	202710.42
96+950.000	41.25	1008.28	1008.28	0.01	0.14	282574.64	282574.64	78856.07	203718.57
96+975.000	38.83	1000.89	1000.89	0.41	5.23	283575.53	283575.53	78861.30	204714.22
97+000.000	44.16	1037.28	1037.28	10.28	133.63	284612.81	284612.81	78994.94	205617.87
97+025.000	48.64	1159.96	1159.96	12.21	281.16	285772.77	285772.77	79276.10	206496.67
97+050.000	51.72	1254.50	1254.50	6.85	238.21	287027.26	287027.26	79514.30	207512.96
97+075.000	46.95	1233.41	1233.41	8.69	194.20	288260.67	288260.67	79708.51	208552.16
97+100.000	23.75	883.82	883.82	11.08	247.10	289144.49	289144.49	79955.61	209188.88
97+125.000	50.95	933.78	933.78	4.81	198.63	290078.27	290078.27	80154.24	209924.03
97+150.000	41.78	1159.16	1159.16	0.12	61.59	291237.42	291237.42	80215.83	211021.60
97+175.000	43.40	1064.84	1064.84	0.00	1.45	292302.26	292302.26	80217.28	212084.98
97+200.000	50.25	1170.64	1170.64	1.27	15.81	293472.90	293472.90	80233.09	213239.81
97+225.000	54.44	1308.62	1308.62	0.11	17.19	294781.52	294781.52	80250.28	214531.24
97+250.000	41.24	1196.03	1196.03	0.18	3.67	295977.55	295977.55	80253.96	215723.59
97+275.000	35.34	957.26	957.26	0.00	2.29	296934.81	296934.81	80256.25	216678.56
97+300.000	32.36	846.30	846.30	2.85	35.67	297781.11	297781.11	80291.92	217489.19
97+325.000	38.51	885.88	885.88	0.00	35.69	298666.99	298666.99	80327.62	218339.37
97+350.000	41.40	998.78	998.78	0.00	0.02	299665.77	299665.77	80327.63	219338.14
97+375.000	34.68	950.91	950.91	0.00	0.07	300616.68	300616.68	80327.70	220288.98
97+400.000	41.97	958.10	958.10	0.10	1.37	301574.78	301574.78	80329.07	221245.71
97+425.000	30.08	900.61	900.61	1.47	19.73	302475.38	302475.38	80348.80	222126.59
97+450.000	46.11	952.29	952.29	5.36	85.40	303427.67	303427.67	80434.20	222993.47
97+475.000	85.58	1646.05	1646.05	0.00	66.97	305073.72	305073.72	80501.17	224572.56
97+500.000	42.42	1600.05	1600.05	0.50	6.27	306673.77	306673.77	80507.44	226166.33
97+525.000	50.90	1166.60	1166.60	1.55	25.71	307840.37	307840.37	80533.14	227307.23
97+544.581	47.82	966.58	966.58	3.13	45.88	308806.95	308806.95	80579.02	228227.93
97+550.000	46.52	255.63	255.63	3.48	17.92	309062.58	309062.58	80596.94	228465.64
97+575.000	40.94	1093.16	1093.16	5.33	110.10	310155.73	310155.73	80707.04	229448.69
97+600.000	8.35	616.14	616.14	28.69	425.18	310771.87	310771.87	81132.22	229639.65
97+625.000	128.14	1706.15	1706.15	0.00	358.58	312478.02	312478.02	81490.80	230987.21
97+650.000	39.45	2094.80	2094.80	0.00	0.00	314572.82	314572.82	81490.80	233082.01
97+675.000	40.32	997.03	997.03	0.00	0.00	315569.85	315569.85	81490.80	234079.05
97+700.000	37.72	975.41	975.41	0.00	0.00	316545.26	316545.26	81490.80	235054.46
97+703.086	37.67	116.30	116.30	0.00	0.00	316661.56	316661.56	81490.80	235170.76
97+725.000	36.48	812.43	812.43	0.00	0.00	317473.99	317473.99	81490.80	235983.19
97+750.000	39.06	944.20	944.20	0.00	0.00	318418.19	318418.19	81490.80	236927.39

97+775.000	40.87	999.04	999.04	1.59	19.92	319417.23	319417.23	81510.73	237906.50
97+800.000	40.98	1023.10	1023.10	0.84	30.36	320440.32	320440.32	81541.09	238899.23
97+825.000	49.98	1136.96	1136.96	6.17	87.59	321577.28	321577.28	81628.68	239948.61
97+850.000	42.18	1151.91	1151.91	0.00	77.15	322729.19	322729.19	81705.83	241023.37
97+861.590	47.62	520.37	520.37	0.00	0.00	323249.57	323249.57	81705.83	241543.73
97+875.000	46.04	627.97	627.97	0.03	0.19	323877.54	323877.54	81706.02	242171.51
97+900.000	38.34	1054.73	1054.73	0.00	0.35	324932.27	324932.27	81706.37	243225.89
97+925.000	25.25	794.78	794.78	0.68	8.56	325727.05	325727.05	81714.93	244012.12
97+950.000	33.69	736.66	736.66	0.00	8.56	326463.71	326463.71	81723.48	244740.23
97+975.000	37.80	893.63	893.63	0.00	0.00	327357.34	327357.34	81723.48	245633.85
98+000.000	42.90	1008.83	1008.83	0.10	1.20	328366.17	328366.17	81724.68	246641.49
98+025.000	41.39	1053.71	1053.71	0.06	1.98	329419.88	329419.88	81726.66	247693.22
98+050.000	45.09	1081.01	1081.01	0.02	1.07	330500.89	330500.89	81727.73	248773.16
98+075.000	43.76	1110.58	1110.58	0.00	0.29	331611.47	331611.47	81728.01	249883.46
98+100.000	31.21	937.15	937.15	0.08	1.06	332548.62	332548.62	81729.07	250819.55
98+125.000	29.84	763.19	763.19	0.00	1.06	333311.81	333311.81	81730.13	251581.68
98+150.000	36.31	826.89	826.89	0.17	2.10	334138.70	334138.70	81732.24	252406.46
98+175.000	24.81	763.98	763.98	16.95	213.99	334902.68	334902.68	81946.23	252956.45
98+200.000	68.70	1168.88	1168.88	29.34	578.60	336071.55	336071.55	82524.82	253546.73
98+225.000	87.05	1946.85	1946.85	0.00	366.71	338018.40	338018.40	82891.54	255126.86
98+250.000	33.69	1509.21	1509.21	0.00	0.00	339527.62	339527.62	82891.54	256636.08
98+275.000	33.18	835.83	835.83	0.00	0.00	340363.45	340363.45	82891.54	257471.91
98+300.000	32.92	826.28	826.28	0.00	0.00	341189.72	341189.72	82891.54	258298.19
98+325.000	31.28	802.54	802.54	2.38	29.72	341992.26	341992.26	82921.25	259071.01
98+350.000	37.61	861.11	861.11	0.11	31.03	342853.37	342853.37	82952.28	259901.09
98+365.937	39.43	613.92	613.92	0.55	5.19	343467.29	343467.29	82957.47	260509.82
98+375.000	40.51	362.27	362.27	0.53	4.89	343829.56	343829.56	82962.36	260867.20
98+400.000	41.03	1019.23	1019.23	2.24	34.70	344848.79	344848.79	82997.06	261851.73
98+425.000	42.15	1039.74	1039.74	0.79	37.97	345888.53	345888.53	83035.03	262853.50
98+450.000	53.20	1191.83	1191.83	0.00	9.93	347080.36	347080.36	83044.96	264035.40
98+475.000	40.63	1172.83	1172.83	0.00	0.00	348253.19	348253.19	83044.96	265208.23
98+500.000	48.03	1108.30	1108.30	0.00	0.00	349361.50	349361.50	83044.96	266316.53
98+525.000	39.52	1094.45	1094.45	0.00	0.00	350455.95	350455.95	83044.96	267410.99
98+550.000	42.59	1026.46	1026.46	0.00	0.00	351482.41	351482.41	83044.96	268437.45
98+575.000	41.84	1055.44	1055.44	0.18	2.22	352537.85	352537.85	83047.18	269490.66
98+600.000	45.00	1085.53	1085.53	3.59	47.04	353623.38	353623.38	83094.23	270529.15
98+609.772	47.59	452.43	452.43	4.15	37.80	354075.81	354075.81	83132.03	270943.78
98+625.000	52.75	764.00	764.00	8.14	93.54	354839.81	354839.81	83225.56	271614.25
98+650.000	64.27	1462.79	1462.79	4.62	159.46	356302.60	356302.60	83385.02	272917.58
98+675.000	90.97	1940.46	1940.46	0.00	57.77	358243.06	358243.06	83442.79	274800.27
98+700.000	77.81	2109.74	2109.74	2.61	32.61	360352.80	360352.80	83475.40	276877.40
98+725.000	61.58	1742.46	1742.46	2.67	65.93	362095.26	362095.26	83541.33	278553.93
98+750.000	35.85	1217.93	1217.93	1.76	55.37	363313.19	363313.19	83596.70	279716.49
98+775.000	17.49	666.73	666.73	5.25	87.74	363979.92	363979.92	83684.44	280295.48
98+800.000	40.54	725.38	725.38	0.00	65.69	364705.30	364705.30	83750.13	280955.17
98+825.000	37.04	969.81	969.81	0.00	0.00	365675.11	365675.11	83750.13	281924.98
98+850.000	43.58	1007.73	1007.73	3.60	45.00	366682.85	366682.85	83795.13	282887.72
98+853.608	44.81	159.45	159.45	4.96	15.45	366842.30	366842.30	83810.58	283031.72

98+875.000	40.54	912.92	912.92	5.35	110.35	367755.22	367755.22	83920.93	283834.29
98+900.000	42.70	1040.49	1040.49	1.23	82.33	368795.72	368795.72	84003.26	284792.45
98+925.000	42.27	1062.15	1062.15	0.00	15.41	369857.86	369857.86	84018.67	285839.19
98+950.000	89.17	1643.10	1643.10	0.05	0.63	371500.96	371500.96	84019.31	287481.65
98+975.000	92.07	2265.62	2265.62	0.00	0.63	373766.58	373766.58	84019.94	289746.64
99+000.000	131.70	2797.24	2797.24	0.00	0.00	376563.82	376563.82	84019.94	292543.88
99+025.000	130.41	3276.42	3276.42	0.33	4.18	379840.23	379840.23	84024.11	295816.12
99+050.000	73.36	2547.16	2547.16	54.90	690.37	382387.39	382387.39	84714.49	297672.90
99+075.000	163.65	2962.71	2962.71	10.62	818.89	385350.10	385350.10	85533.38	299816.72
99+100.000	208.88	4656.70	4656.70	26.21	460.37	390006.80	390006.80	85993.75	304013.05
99+125.000	207.01	5198.60	5198.60	22.93	614.31	395205.40	395205.40	86608.07	308597.34
99+150.000	146.52	4419.05	4419.05	60.23	1039.49	399624.45	399624.45	87647.55	311976.90
99+175.000	90.97	2968.62	2968.62	33.12	1166.80	402593.07	402593.07	88814.35	313778.72
99+200.000	104.67	2445.53	2445.53	28.22	766.71	405038.60	405038.60	89581.06	315457.54
99+225.000	126.86	2894.08	2894.08	15.71	549.12	407932.68	407932.68	90130.18	317802.51
99+250.000	90.63	2718.60	2718.60	15.89	394.93	410651.28	410651.28	90525.11	320126.17
99+275.000	25.36	1449.91	1449.91	4.56	255.59	412101.19	412101.19	90780.70	321320.49
99+300.000	112.95	1728.85	1728.85	15.14	246.29	413830.04	413830.04	91026.99	322803.05
99+325.000	103.54	2706.11	2706.11	1.85	212.39	416536.15	416536.15	91239.38	325296.77
99+350.000	68.56	2151.31	2151.31	0.08	24.16	418687.46	418687.46	91263.54	327423.91
99+375.000	45.13	1421.17	1421.17	0.00	1.04	420108.63	420108.63	91264.58	328844.05
99+400.000	34.58	996.41	996.41	0.00	0.00	421105.04	421105.04	91264.58	329840.45
99+425.000	34.73	866.46	866.46	16.78	209.72	421971.50	421971.50	91474.31	330497.19
99+450.000	28.22	786.90	786.90	13.59	379.59	422758.39	422758.39	91853.89	330904.50
99+475.000	6.11	429.03	429.03	18.39	399.79	423187.42	423187.42	92253.68	330933.74
99+500.000	62.27	854.75	854.75	10.34	359.11	424042.17	424042.17	92612.79	331429.37
99+525.000	73.36	1695.38	1695.38	9.45	247.35	425737.55	425737.55	92860.14	332877.41
99+550.000	47.75	1513.84	1513.84	0.01	118.30	427251.39	427251.39	92978.44	334272.94
99+575.000	40.98	1109.13	1109.13	0.00	0.14	428360.52	428360.52	92978.59	335381.94
99+593.206	33.34	676.51	676.51	1.00	9.10	429037.03	429037.03	92987.69	336049.34
99+600.000	36.17	236.10	236.10	8.05	30.73	429273.13	429273.13	93018.42	336254.71
99+625.000	58.29	1180.73	1180.73	29.32	467.08	430453.86	430453.86	93485.50	336968.36
99+650.000	92.83	1888.98	1888.98	28.39	721.33	432342.84	432342.84	94206.82	338136.02
99+675.000	80.77	2169.98	2169.98	50.49	986.03	434512.82	434512.82	95192.85	339319.97
99+700.000	125.32	2576.12	2576.12	33.72	1052.64	437088.93	437088.93	96245.49	340843.44
99+724.128	131.71	3100.87	3100.87	15.65	595.53	440189.80	440189.80	96841.02	343348.78
99+725.000	130.05	114.14	114.14	15.98	13.79	440303.94	440303.94	96854.81	343449.13
99+750.000	118.08	3101.60	3101.60	101.82	1472.44	443405.54	443405.54	98327.25	345078.29
99+775.000	178.04	3701.44	3701.44	7.65	1368.35	447106.98	447106.98	99695.60	347411.38
99+800.000	87.99	3325.29	3325.29	13.48	264.15	450432.28	450432.28	99959.76	350472.52
99+825.000	164.08	3150.83	3150.83	5.28	234.46	453583.11	453583.11	100194.22	353388.89
99+850.000	256.20	5253.54	5253.54	22.16	342.93	458836.65	458836.65	100537.15	358299.50
99+855.050	304.43	1415.47	1415.47	0.00	55.95	460252.12	460252.12	100593.09	359659.03
99+875.000	186.64	4898.54	4898.54	2.47	24.64	465150.66	465150.66	100617.73	364532.93
99+900.000	36.29	2786.55	2786.55	65.91	854.79	467937.21	467937.21	101472.52	366464.69
99+925.000	37.39	920.96	920.96	0.00	823.92	468858.17	468858.17	102296.43	366561.74
99+950.000	91.41	1610.00	1610.00	19.58	244.72	470468.17	470468.17	102541.15	367927.01
99+975.000	97.52	2361.60	2361.60	20.66	503.01	472829.77	472829.77	103044.17	369785.60

ANNEXE

100+000.000	71.71	2115.39	2115.39	0.00	258.29	474945.16	474945.16	103302.46	371642.70
100+025.000	103.54	2190.62	2190.62	3.53	44.07	477135.77	477135.77	103346.53	373789.25
100+050.000	82.23	2322.13	2322.13	7.29	135.22	479457.91	479457.91	103481.75	375976.15
100+075.000	71.21	1918.06	1918.06	9.92	215.19	481375.97	481375.97	103696.95	377679.02
100+100.000	59.81	1637.76	1637.76	5.42	191.79	483013.73	483013.73	103888.73	379124.99
100+125.000	84.00	1797.64	1797.64	0.00	67.75	484811.36	484811.36	103956.48	380854.88
100+150.000	48.28	1653.45	1653.45	4.22	52.71	486464.82	486464.82	104009.20	382455.62
100+175.000	21.96	877.96	877.96	7.08	141.15	487342.77	487342.77	104150.35	383192.43
100+200.000	36.78	734.28	734.28	0.00	88.44	488077.06	488077.06	104238.79	383838.27
100+225.000	39.72	956.29	956.29	0.00	0.00	489033.35	489033.35	104238.79	384794.55
100+250.000	34.18	923.77	923.77	0.00	0.01	489957.12	489957.12	104238.81	385718.31
100+275.000	38.91	913.62	913.62	0.06	0.73	490870.74	490870.74	104239.54	386631.20
100+300.000	44.72	1045.32	1045.32	0.00	0.73	491916.06	491916.06	104240.27	387675.79
100+325.000	44.30	1112.70	1112.70	0.00	0.00	493028.76	493028.76	104240.27	388788.49
100+350.000	36.24	1006.81	1006.81	0.00	0.01	494035.57	494035.57	104240.28	389795.29
100+375.000	37.94	927.29	927.29	0.00	0.01	494962.87	494962.87	104240.29	390722.57
100+400.000	49.29	1090.36	1090.36	0.00	0.00	496053.22	496053.22	104240.29	391812.93
100+425.000	35.68	1062.10	1062.10	0.00	0.00	497115.32	497115.32	104240.29	392875.03
100+450.000	36.48	902.01	902.01	0.03	0.34	498017.33	498017.33	104240.63	393776.70
100+461.978	28.84	391.18	391.18	0.00	0.16	498408.51	498408.51	104240.79	394167.72