République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Routes et Ouvrages

Par : MECHEMACHE Mohamed Redha & ELKHEDIM Abdelhalim

Thème

ÉTUDE APD DE LA LIAISON AUTOROUTIERE SBA (AEO) – SAIDA SUR 120 KM SECTION DU PK70 AU PK80 AVEC LA CONCEPTION D'UN ÉCHANGEUR AU PK 76+944

Soutenu publiquement le 23 juin 2025 devant le jury composé de :

Mr.A.GOUMETRE	Docteur, BTE	Président
Mr.S.ZIANE	Ingénieur, SAETI	Encadreur
Mr.A.MAHREZ	Docteur, ENSTP	Examinateur
Mr.R.BAKHTI	Docteur, ENSTP	Membre
Mr.M.BOUDJMIL	Ingénieur, ANRIP	Membre

Promotion 2024 / 2025

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre infinie gratitude à ***Dieu Tout-Puissant****, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa miséricorde et Sa bénédiction, nous n'aurions pu surmonter les défis rencontrés tout au long de notre parcours.*

Nous adressons nos sincères remerciements à notre ***encadreur Mr Sofiane Ziane*** *, pour son soutien constant, sa disponibilité et ses conseils avisés. Son expertise et son accompagnement nous ont permis de progresser et d'enrichir nos connaissances dans ce domaine. Son exigence et ses recommandations ont été d'une grande valeur pour l'élaboration et la finalisation de ce travail.*

Nous tenons également à remercier ***l'ensemble des enseignants et du personnel pédagogique d'École Nationale supérieure des Travaux Publics****, pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont dispensé durant ces années d'études. Leur engagement et leur bienveillance ont contribué à notre épanouissement académique et professionnel.*

Nos remerciements s'adressent aussi à ***notre famille****, en particulier à nos parents, qui ont toujours cru en nous et nous ont soutenus avec amour et bienveillance. Leur patience, leurs encouragements et leurs sacrifices nous ont permis d'atteindre cet objectif. Nous leur devons cette réussite et nous leur exprimons toute notre reconnaissance pour leur présence inconditionnelle à nos côtés.*

Un grand merci à ***nos amis et camarades****, avec qui nous avons partagé des moments inoubliables tout au long de notre formation. Leur soutien moral, leur entraide et leur amitié ont rendu cette expérience bien plus agréable et enrichissante. Nous sommes reconnaissants pour toutes ces discussions, ces échanges constructifs et ces instants de complicité qui ont marqué notre parcours.*

Nous exprimons également notre gratitude aux ***membres du jury****, qui nous font l'honneur d'évaluer ce travail. Leur regard critique et leurs observations nous seront d'une grande aide pour perfectionner nos compétences et approfondir notre réflexion.*

Enfin, nous souhaitons remercier ***toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à la réalisation de ce projet****. Que ce soit par un conseil, une suggestion ou un simple encouragement, chacune d'elles a joué un rôle important dans l'aboutissement de ce travail.*

Dédicace

*À **mes chers parents***

*À mes chers parents **SALIM** et **DALILA**, ce travail est avant tout le fruit de votre amour, de votre soutien inconditionnel et de vos innombrables sacrifices. Votre confiance en moi, vos encouragements et votre présence bienveillante m'ont toujours guidé vers la réussite. Je vous dédie ce modeste travail en signe de ma profonde gratitude et de mon immense respect. Je vous dédie ce modeste travail en signe de ma profonde gratitude et de mon immense respect.*

*À **ma famille***

*À ma grande sœur, ma seconde maman **WASSILA**, et à ma petite sœur, mon rayon de douceur **LYNDA**, Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant et votre présence réconfortante. Ce travail est aussi le vôtre, car vous avez toujours cru en moi. Je vous aime profondément.*

*À mon grand-père **ABDELKADER** et ma grand-mère **ZOHRA** du côté paternel, ainsi qu'à mon grand-père **ALI** et ma grand-mère **SAADIA** du côté maternel, Je vous dédie ce travail avec tout mon amour et mon respect.*
Votre bienveillance, vos prières silencieuses, vos valeurs et votre sagesse restent à jamais gravées en moi.
Même si vous n'êtes plus là, votre souvenir m'accompagne chaque jour.
Merci d'avoir semé en moi l'envie de réussir.

*À **mes amis et camarades***

*Un remerciement particulier à **SAKOH, SERHAN, SFIGO, BOUZIANE, MECHEMACHE, HADROUG**, et tous ceux qui ont partagé avec nous cette belle aventure. Vos encouragements, votre entraide et votre présence ont rendu ce parcours académique plus agréable et inoubliable. Vous avez été une source de motivation et de soutien, et je vous en suis profondément reconnaissants.*

*À **I. DOUZI***

Pour ta présence constante et ton soutien inestimable qui ont été une source de réconfort tout au long de ce parcours. Merci d'avoir été là à chaque étape, pour m'encourager et me soutenir.

*À **toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet**,*
Je vous exprime mes gratitudes et vous dédie humblement ce travail.

ELKHEDIM Abdelhalim.

Dédicace

Je dédie le fruit de mes efforts à celle qui a veillé sur moi avec une tendresse infinie, qui a fait de chaque sacrifice une preuve d'amour incommensurable… À ma chère mère ***Aicha****.*

Que ce modeste travail soit le reflet de ma profonde gratitude et de mon amour éternel.

À celui qui a été mon premier guide, mon modèle de persévérance et de force, celui qui, par son travail et ses valeurs, m'appris que rien ne s'obtient sans effort… À mon cher père ***Mustapha****.*

Que ce mémoire soit le témoignage de ma reconnaissance pour tout ce que tu as accompli pour moi.

À mes chers frères ***Anis*** *et* ***Youcef****, pour leur soutien infaillible et leurs présence précieuse à chaque étape de mon parcours.*

À ma petite sœur ***Meryouma,*** *dont la tendresse et le sourire illuminent ma vie.*

À l'amour de ma vie, ma fiancée ***Amina****, la personne qui a cru en moi le plus, son amour et son soutien m'ont donné la force d'avancer et de donner le meilleur de moi-même.*
Elle est ma plus belle récompense dans cette vie.

À ma grande famille, pour leur soutien et leur encouragement.

Dédicace spéciale : Khalil, Halim, Karim, Ayoub, Mehdi, Merdji, Idriss, Hichem, Reda Hadroug, Reda Chegrouche, Lyes, Youness et tous les membres du groupe SYNERGY.

MECHEMACHE Mohamed Réda.

Résumé

Ce projet de fin d'étude s'inscrit dans le domaine des infrastructures routières et porte sur l'**étude de la liaison autoroutière entre Sidi Bel Abbès (A.E.O) et Saïda**, plus précisément sur le **tronçon situé entre le PK 70+000 et le PK 80+000**, soit une section représentative du projet global.

L'étude a commencé par une **présentation générale du projet**, incluant sa localisation géographique, son rôle structurant dans le réseau autoroutier et son intérêt socio-économique. Une **analyse du trafic** a permis de déterminer le nombre de voies nécessaires pour assurer un bon niveau de service.

La conception géométrique de l'axe a été réalisée en respectant les **normes ICTAAL**, en s'appuyant sur les fonctionnalités avancées du **logiciel Autodesk Civil 3D** pour modéliser les trois composantes principales : **le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers**.

L'étude s'est également appuyée sur une **analyse géotechnique** pour identifier les types de sols rencontrés et évaluer leur aptitude à l'emploi. Le **dimensionnement du corps de chaussée** a été effectué selon la méthode du **catalogue algérien** en tenant compte des sollicitations prévues.

Sur le plan hydraulique, l'identification des **bassins versants** s'est faite à partir de la carte d'état-major, permettant de caractériser les écoulements et de proposer les ouvrages adéquats. Par ailleurs, la conception d'un **échangeur** a été développée selon les prescriptions de l'ICTAAL, accompagnée d'une étude de **signalisation** et d'une **évaluation des impacts environnementaux** sur la zone concernée.

Enfin, une **estimation quantitative et financière** du projet a été réalisée, clôturant ce travail par une **conclusion générale** synthétisant les résultats et les recommandations.

Mots clés : Autoroute, échangeur, tracé en plan, profil en long, corps de chaussée.

Abstract

This final-year project pertains to the field of road infrastructure and focuses on the **study of the highway link between Sidi Bel Abbès (A.E.O) and Saïda**, specifically covering the **section from PK 70+000 to PK 80+000**.

The study began with a general presentation of the project, including its geographical location, its strategic importance, and its socio-economic impact. A traffic analysis was conducted to determine the appropriate number of lanes required to ensure a satisfactory level of service.

The geometric design of the highway was developed in accordance with **ICTAAL standards**, using **Autodesk Civil 3D** software to model the three main components: **horizontal alignment, longitudinal profile, and cross-sections**.

A **geotechnical study** was also carried out to classify the soil types encountered and evaluate their suitability for construction. The **pavement structure** was designed based on the Algerian pavement design catalogue, considering the expected traffic loads.

For the **hydraulic study**, catchment areas were identified using topographic maps, allowing for the characterization of surface runoff and the design of appropriate drainage structures. Additionally, the design of a **highway interchange** was developed following ICTAAL guidelines, along with the **signage plan** and **environmental impact assessment** for the project area.

The work concludes with a **quantitative and financial estimate** of the project, followed by a general conclusion summarizing the key outcomes and recommendations.

Keywords: Highway interchange, road alignment, longitudinal profile, pavement design, geotechnical study, hydraulic analysis, environmental impact, Autodesk Civil 3D.

الملخص

يندرج هذا المشروع في إطار مشاريع البنية التحتية للطرقات ، ويخص **دراسة** مقطع من الطريق السيار الرابط بين **سيدي بلعباس وسعيدة** بالضبط على المقطع الممتد من النقطة الكيلومترية PK 70+000 إلى PK 80+000.

بدأت الدراسة **بعرض عام للمشروع** يوضح موقعه الجغرافي وأهميته على المستوى التنموي والاقتصادي. كما تم إجراء **دراسة مرورية** لتحديد عدد الممرات اللازمة لضمان انسيابية حركة المرور.

تم تصميم الهندسة الطولية والعرضية والمحورية للطريق **وفقًا لمعايير ICTAAL** باستخدام برنامج Autodesk Civil 3D الذي مكّن من إعداد النماذج الهندسية بدقة.

كما تم إجراء **دراسة جيوتقنية** لتصنيف التربة وتقييم مدى صلاحيتها، وتبعها **تصميم طبقات الرصف** وفق الكتالوج الجزائري، حسب ظروف المرور المتوقعة.

أما من الناحية الهيدروليكية، فقد تم تحديد **الأحواض المائية** باستخدام خرائط الطبوغرافيا، وتم تحليلها لاختيار الحلول المناسبة لتصريف مياه الأمطار ، وتم أيضًا تصميم **تقاطع طرقي** حسب دليل ICTAAL إلى جانب دراسة **اللافتات الطرقية** ، و**تقييم الأثر البيئي** على المقطع المدروس.

واختُتم هذا العمل بـ **حساب الكميات والتكلفة التقديرية** للمشروع، مع **خلاصة عامة** تلخص النتائج والتوصيات.

الكلمات المفتاحية :تبادل طرقي، مسار الطريق، المقطع الطولي، طبقات الرصف، دراسة جيوتقنية، دراسة هيدروليكية، تأثير بيئي، Autodesk Civil 3D .

.

SOMMAIRE

Remerciements .....
Dédicace .....
INTRODCUTION GENERALE 1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET .....
I.1. INTRODUCTION 2
I.2. Objectifs du projet : 3
I.3. Présentation des la wilayas 3
I.3.1. Présentation de la wilaya de Sidi Bel Abbès: 3
I.3.2. Présentation de la wilaya de Saïda 3
I.3.3. Limites géographiques de l'ensemble Sidi Bel Abbès – Saïda 4
I.4. Relief des wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda 5
I.4.1. Sidi Bel Abbès: 5
I.4.2. Saïda: 5
I.5. CLIMATOLOGIE DES WILAYAS 5
I.5.1. Sidi Bel Abbès: 5
I.5.2. Saïda: 6
I.6. Réseaux routiers des wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda 6
I.7. Caractéristiques techniques du projet 8
I.7.1. Catégorie de l'autoroute: 8
I.7.2. Vitesse de reference 8
CHAPITRE II : ETUDE DE TRAFIC .....
II.1. INTRODUCTION : 9
II.2. Différente type de trafic : 9
II.2.1. Trafic normal 9
II.2.2. Trafic dévié 9
II.2.3. Trafic induit 9
II.2.4. Trafic total 10
II.3. Analyse du trafic : 10
II.4. CALCUL DE LA CAPACITE DE LA ROUTE : 10
II.4.1. Définition de la capacité : 10
II.4.2. Prévision de l'évolution du trafic : 10
II.4.3. Calcul des trafics effectifs : 11
II.4.4. Débit de pointe horaire normal : 11
II.4.5. Débit horaire admissible : 11
II.4.6. Détermination nombre des voies : 12
II.5. Application sur notre projet : 13

II.5.1. Données de trafic : 13
II.5.2. Projection future de trafic : 13
II.5.3. Calcul du trafic effectif : 13
II.5.4. Débit de pointe horaire normale : 13
II.5.5. Débit admissible : 14
II.5.6. Le nombre des voies : 14
II.5.7. Calcul de l'année de saturation de 2×2 : 14
CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE
III.1. INTRODUCTION 15
III.2. Description de variante de projet 15
III.3. Rôle et principes de l'ICTAAL 15
III.3.1. Classification des autoroutes 15
III.3.2. Notion de visibilité 16
III.3.3. VERIFICATION ET AJUSTEMENT 16
III.4. Tracé en plan 16
III.4.1. Introduction: 16
III.4.1. Principes de conception à respecter : 16
III.4.2. Valeurs des rayons : 17
III.4.3. Enchainement des éléments du tracé en plan : 17
III.4.4. Raccordements progressifs : 17
III.4.5. Raccordement circulaire entre deux alignements droits. 18
III.4.6. APPLICATION AU PROJET: 18
III.5. PROFIL EN LONG 20
III.5.1. Introduction: 20
III.5.2. Les éléments du profile en long : 20
III.5.3. Coordination du tracé en plan et du profil en long : 22
III.6. PROFIL EN TRAVERS 22
III.6.1. Introduction: 22
III.6.2. Les éléments du profil en travers : 23
III.6.3. Zone de sécurité : 23
III.6.4. Notion de dévers : 24
III.6.5. Application sur notre projet : 25
CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE
IV.1. Introduction 26
IV.2. APERÇU GEOLOGIE 26
IV.3. OBJECTIF DE CHAPITRE 27
IV.3.1. Les moyens de reconnaissance : 27

IV.4. Présentation des essais 27
IV.4.1. Essais in-situ : 28
IV.4.2. Essais en laboratoire: 32
IV.5. CLASSIFICATION DES matériaux 34
IV.5.1. Classement selon la nature: 34
IV.5.2. Classement selon l'état hydrique : 35
IV.5.3. Classement selon le comportement: 35
IV.6. Classification GTR des sols 35
IV.7. Extraction des déblais 36
IV.8. Approvisionnement en matériaux pour remblais et couche de forme 36
IV.8.1. Les carrières de Sidi Boubaker : 36
IV.8.2. Approvisionnement en matériaux pour couche de forme : 38
IV.9. Stabilité des talus 39
IV.9.1. Analyse de la stabilité des remblais et déblais : 39
IV.9.2. Présentation du logiciel Geo Structural Analysis – Slopes Stability 39
IV.9.3. Facteurs de sécurité admissibles 40
IV.9.4. Le paramètre sismique 40
IV.9.5. Étude de la stabilité du déblai : 41
IV.9.5.1 Résultats obtenus à partir des sondages carottés pour le déblai:……...41
IV.9.5.2 Application sur logiciel:……..42
IV.9.6. Étude de la stabilité de remblai : 45
IV.9.6.1 Résultats obtenus à partir des sondages carottés pour le remblai……..…45
IV.9.6.2 Application sur logiciel:……..45
IV.10. conclusion 48
CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE .....
V.1. INTRODUCTION 49
V.2. Les chaussées 49
V.2.1. Chaussée souple : 49
V.2.2. Chaussée semi-rigide 50
V.2.3. Chaussée rigide 50
V.3. METHODES DE DIMENSIONNEMENT 51
V.3.1. METHODE C.B.R (CALIFORNIEN- BEARING- RATIO): 51
Matériaux utilisés 51
Coefficient d'équivalence ai 51
V.3.2. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves : 54
➢Description de la méthode 54
•Classes de portance des sols supports pour le dimensionnement 58
V.3.3. Calcule de la déformation admissible (z, ad) de sol support : 62

V.3.4. Vérification des déformations admissibles à l'aide d'Alizé-LCPC 64
V.4. CONCLUSION 65

CHAPITRE VI : ÉTUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE .....
VI.1. Introduction 66
VI.2. Objectifs de l'assainissement routier 66
VI.3. Etude hydrologique 67
VI.3.1. Climatologie : 67
VI.3.2. CLIMATOLOGIE DES WILAYAS 67
VI.3.3. Pluviométrie et Température des wilayas 67
VI.3.4. RESSOURCES EN EAUX DE LA ZONE D'ETUDE 68
VI.3.5. Délimitation des bassins versants : 69
VI.3.6. Caractéristiques physiques des bassins versants : 70
VI.3.7. ESTIMATIION DES DEBITS CRUES : 70
VI.3.8. Temps de concentration : 71
VI.3.9. Coefficient de ruissèlement (C) : 72
VI.3.10. Intensité de pluie I(t): 73
VI.4. Application au notre projet : 73
VI.4.1. Les coefficients de Montana (a ; b) : 73
VI.4.2. Calcul du débit d'apports : 73
VI.4.3. Calcul d'intensité de pluie I(t): 74
VI.4.4. Calcul de débit crue: 74
VI.4.1. Résultats obtenus du calcul de débit dans le cadre du projet: 74
VI.5. Etude hydraulique : 75
VI.5.1. Franchissement des cours d'eau par l'autoroute et dimensionnement des ouvrages hydrauliques 75
VI.5.2. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques 75
VI.5.3. Conclusion: 91
CHAPITRE VII : CALCULE DES CUBATURES .....
VII.1. introduction 92
VII.2. Définition des cubatures 92
VII.3. Méthode utilisée pour le calcul des cubatures 92
VII.3.1. Description De La Méthode CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS : 93
VII.3.2. MÉTHODE CLASSIQUE DE CALCUL DES CUBATURES DE TERRASSEMENTS : 94
CHAPITRE VIII : CONCEPTION D'ECHANGEUR .....
VIII.1. introduction 95

VIII.2. Rôle de l'échangeur 95
VIII.3. Les éléments de l'échangeur 95
VIII.4. Catégories d'échangeurs routiers 96
VIII.4.1. Échangeur en trompette : Ce type est utilisé lorsqu'une autoroute se termine sur une autre route. Il comprend une bretelle en boucle qui permet les demi-tours. 96
VIII.4.2. Échangeur en trèfle : Constitué de quatre bretelles en boucle dans chaque quadrant, il permet tous les mouvements sans croisement à niveau. 96
VIII.4.3. Échangeur en demi-trèfle : Ce type d'échangeur utilise deux bretelles en boucle pour relier une autoroute à une route secondaire, facilitant certains mouvements sans croisement à niveau. 97
VIII.4.4. Échangeur en turbine : Les bretelles sont larges, incurvées et disposées en spirale, favorisant une circulation fluide à grande vitesse. 98
VIII.4.5. Échangeur en losange : Utilisé pour connecter une voie rapide à une route secondaire, avec généralement deux ou quatre bretelles simples. 98
VIII.5. Justification du choix de l'échangeur en demi-trèfle 99
VIII.6. Règles de conception appliquées 99
VIII.7. application sur notre projet 100
VIII.7.1. Etude de trafic: 100
VIII.7.2. Caractéristiques géométriques des branches et des bretelles : 100
VIII.7.1. Carrefours giratoires: 106
Remarque: 107
CHAPITRE IX : SIGNALISATION .....
IX.1. Introduction 110
IX.2. Principes de bases de la signalisation 110
IX.3. Objectifs de la signalisation routière 110
IX.4. Catégorie de la signalisation 110
IX.5. Type de SIGNALISATION. 110
IX.5.1. Signalisation horizontale : 110
IX.5.2. Signalisation verticale : 114
IX.6. Disposition de la Signalisation Verticale sur le Tronçon Projeté 116
CHAPITRE X : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT .....
X.1. INTRODUCTION 119
X.2. Analyse des effets environnementaux durant la phase de construction 119
X.2.1. Impact des perturbations du réseau de circulation : 119
X.2.2. Impact causé par l'aménagement des sites de chantie : 119
X.2.3. Impact dû à la pollution de l'air : 120
X.2.4. Impact généré par les bruits et vibrations durant les travaux : 120
X.2.5. Impact sur l'agriculture: 121
X.2.6. Impact lié à la déviation ou à la perturbation des réseaux : 121

X.2.7. Ouverture des pistes d'accès: 121
X.3. Impacts sur le milieu physique 122
X.3.1. Déstabilisation des sols: 122
X.3.2. Impact sur la flore et la faune : 122
X.3.3. Impact sur les ressources en eau : 122
X.3.4. Pollution atmosphérique liée à la poussière : 122
X.4. Impacts liés aux infrastructures existantes 123
X.4.1. Lignes électriques: 123
X.4.2. Réseau routier: 123
X.4.3. Puits d'eau: 123
X.4.4. Autres réseaux (électricité, gaz, télécom) : 123
X.5. Impacts positifs durant la période d'exploitation 124
X.5.1. Amélioration des conditions de vie : 124
X.5.2. Développement économique local: 124
X.5.3. Valorisation du foncier résidentiel: 124
X.6. impacts négatifs durant la période d'exploitation 124
X.6.1. Pollution de l'air: 124
X.6.2. Pollution des eaux de ruissellement : 125
X.6.3. Nuisances sonores: 125
X.6.4. Dégradation du paysage: 125
X.7. conclusion 125
CHAPITRE XI : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 126
Références bibliographiques: .....
Profil : Abscisse Sommets et Raccordements .....
Rapport sur les volumes .....

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Tracé du projet de liaison autoroutière de 120 km entre Sidi Bel Abbès et Saïda .. 2
Figure I.2 : Carte de localisation géographique des wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda et de leurs limites administratives 4
Figure I.3 : Carte du réseau routier de la wilaya de SIDI BEL ABBES 7
Figure I.4 : Carte du réseau routier de la wilaya de SAIDA 7
Figure III.1 : Raccordement circulaire entre deux alignements. 18
Figure III.2 : Raccordement convexe (angle saillant) 21
Figure III.3 : Raccordement concave (angle rentrant) 22
Figure III.4 : Profil en travers type 23
Figure III.5 : Zone de sécurité en déblai. 24
Figure IV.1 : Vue panoramique montre la nature géologique du terrain à l'environ 26
Figure IV.2 : Vue de la planche d'emplacement du puits n°03 au PK 69+450. 28
Figure IV.3 : Vue de la planche d'emplacement du puits n°04 au PK 75+200 29
Figure IV.4 34
Figure IV.5 : Interface (déblai). 42
Figure IV.6 : Assignation et surfaces (déblai). 42
Figure IV.7 : Surface de glissement circulaire (déblai) 42
Figure IV.8 : Résultat de logiciel cas statique déblai. 43
Figure IV.9 : Surface de glissement circulaire (déblai) 44
Figure IV.10 : Résultat de logiciel cas dynamique déblai. 44
Figure IV.11 : Interface (remblai). 45
Figure IV.12 : Paramètres des sols – état de contraintes effectives. 46
Figure IV.13 : Paramètres des sols – soulèvement hydraulique. 46
Figure IV.14 : Assignation et surfaces (remblai). 46
Figure IV.15 : Surface de glissement circulaire (remblai). 46
Figure IV.16 : Résultat de logiciel cas statique remblai. 47
Figure IV.17 : Résultat de logiciel cas dynamique remblai. 48
Figure V.1 : Coupe transversale d'une chaussée 49
Figure V.2 : Structure du corps de chaussée selon méthode C.B.R 54
Figure V.3 : Démarche du catalogue de chaussée neuve 55
Figure V.4 : La carte climatique de l'Algérie. 56
Figure V.5 : Classe de trafic poids lourds. 57
Figure V.6 : Détermination de la portance de sol support de chaussée 59
Figure V.7 : Les choix de dimensionnement par la méthode du catalogue. 61
Figure V.8 : Structure du corps de chaussée selon méthode du catalogue algérien 62
Figure V.9 : Configuration de la structure routière sous Alizé-LCPC 64
Figure V.10 : Résultats de la simulation à l'aide du logiciel ALIZE-LCPC 65
Figure VI.1 : Ressources en eaux superficielles de la zone d'étude 68
Figure VI.2 : Ressources en eaux souterraines de la zone d'étude 68
Figure VI.3 : Carte représentant les bassins versant de notre Zone. 69
Figure VI.4 : Section transversale de la buse 82
Figure VI.5 : Coupe d'un fossé de drainage longitudinal 88
Figure VII.1 : Profil longitudinal simplifié pour le calcul de cubature 93
Figure VIII.1 : Schéma de l'échangeur en trompette 96
Figure VIII.2 : Vue réelle de l'échangeur en trompette 96
Figure VIII.3 : Schéma de l'échangeur en trèfle Figure VIII.4 : Vue réelle de l'échangeur 97

Figure VIII.5 : Schéma de l'échangeur en demi trèfle Figure VIII.6 : Vue réelle de l'échangeur 97
Figure VIII.7 : Schéma de l'échangeur en turbine Figure VIII.8 : Vue réelle de l'échangeur 98
Figure VIII.9 : Schéma de l'échangeur en losange Figure VIII.10 : Vue réelle de l'échangeur 98
Figure VIII.11 : dispositif de sortie par déboitement. 103
Figure VIII.12 : Dispositif de sortie de l'autoroute 104
Figure VIII.13 : dispositif d'entrée en insertion. 104
Figure VIII.14 : Dispositif d'entrée sur l'autoroute 105
Figure VIII.15 : Schéma type d'une branche (pour Rg = 20 m) 106
Figure VIII.16 : Cas d'une route à 2 chaussées : traitement type d'une sortie, et exemple d'un rétablissement de la seconde voie en entrée après un rabattem. 107
Figure VIII.17 : Construction des ilots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon 108
Figure VIII.18 : Construction des îlots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon 108
Figure VIII.19 : Notre Carrefour giratoire de projet 109
Figure IX.1 : disposition des lignes dans la route 112
Figure IX.2 Les lignes de délimitation d`une autoroute. 112
Figure IX.3 : panneaux de signalisation de danger. 114
Figure IX.4 : panneaux de signalisation d'obligation et interdiction. 114
Figure IX.5 : panneaux de signalisation d'indication. 115
Figure IX.6 : panneaux de signalisation de direction. 115
Figure IX.7 : panneaux de signalisation de direction. 115

LISTE DES TABLEAUX

Table I-1 : Réseaux routiers de Sidi Bel Abbès et Saïda 6
Table II-1 : coefficient d'équivalences P 11
Table II-2 : coefficient lié à l'environnement -Valeur de K1 12
Table II-3 : coefficient de réduction de capacité -Valeur de K2 12
Table II-4 : Les capacités théoriques -Valeurs de Cth 12
Table II-5 : Données de trafic 13
Table II-6 : Résultat de TJMA 13
Table III-1 : valeurs minimales des rayons du tracé en plan. 17
Table III-2 : Valeurs des rayons choisis 18
Table III-3 : valeurs limites des paramètres du profil en long. 20
Table III-4 : caractéristiques géométriques de profil en travers 25
Table IV-1 : Les puits de reconnaissance réalisés 27
Table IV-2 : Tableau d'implantation des sondages carottés au niveau des déblais 30
Table IV-3 : Tableau d'implantation des sondages carottés au niveau des remblais 30
Table IV-4 : Les essais de laboratoire 32
Table IV-5 : Les caractéristiques mécaniques figurent en annexe et sont résumées de SCD05 au niveau des déblais 33
Table IV-6 : Résistance à la désagrégation 33
Table IV-7 : Les caractéristiques mécaniques de SCR02 au niveau des remblais 33
Table IV-8 : caractéristiques géotechniques de matériau prélevé 34
Table IV-9 : Tableau de classification de matériaux de puit. 35
Table IV-10 : Tableau de classification des matériaux des sondages carottés des déblais 35
Table IV-11 : Moyens d'extraction des matériaux 36
Table IV-12 : Fiche d'identification carrière SARL Ouled Ouali 36
Table IV-13 : Fiche technique des granulats 37
Table IV-14 : Fiche d'identification du gîte 38
Table IV-15 : Facteurs de sécurité admissibles pour un talus d'autoroute 40
Table IV-16 : Les zones sismique d'après le RPA 99/version 2003 40
Table IV-17 : Accélérations sismiques selon les groupes d'ouvrages et les zones 40
Table IV-18 : caractéristique géotechnique de déblai. 41
Table V-1 : les coefficients d'équivalence pour chaque matériau 51
Table V-2 : les épaisseurs des couches de matériaux 53
Table V-3 : Valeurs des températures équivalentes 56
Table V-4 : Choix du type de réseaux principaux 57
Table V-5 : Classes de portance de sols 58
Table V-6 : Classe de portance sol-support 58
Table V-7 : Surclassement avec couche de forme en matériau non traité 60
Table V-8 : Valeur du coefficient d'agressivité A. 60
Table V-9 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux 63
Table V-10 : Risque adopté pour le réseau RP1 63
Table V-11 : Valeur de $\boldsymbol{t = f(r\%)}$ 63
Table V-12 : Tableau récapitulatif 65
Table VI-1 : caractéristiques morphométriques des Bassins Versants. 70
Table VI-2 : Valeurs du coefficient C1. 72
Table VI-3 : Valeurs du coefficient C2. 72
Table VI-4 : Valeurs du coefficient C3. 72
Table VI-5 : Les coefficients de Montana (a ; b) 73
Table VI-6 : Paramètres hydrologiques pour différentes périodes de retour (BV1) 74
Table VI-7 : Coefficients de ruissellement des BV selon Kenessey 74

Table VI-8 :Débits des bassins versants correspondant aux périodes de retour de 10, 50 , 100 ans..... 75
Table VI-9 :Données de BV1..... 76
Table VI-10 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots et buse. 87
Table VII-1 : Résultats de calcul des cubatures. 94
Table VIII-1 : voleurs minimales des rayons du tracé en pion des bronches el bretelles 100
Table VIII-2 : valeurs limites des paramètres de profil en long des bronches et bretelles 102
Table VIII-3 : valeurs de Io zone de sécurité des bronches et bretelles. 105
Table VIII-4 : Récapitulatif des différents paramètres de construction des voies d'entrée et de sortie pour notre projet 107
Table VIII-5 : — Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs. 108
Table IX-1 : Tableau récapitulatif de la signalisation verticale projetée sur le tronçon 116
Table 0-1 : Niveau sonore ressenti à différentes distances de la source émettrice 120
Table 0-2 : Tableau récapitulatif des impacts sur les infrastructures existantes 123

LISTE DES ABREVIATION

ICTAAL : Instructions sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison
BAU : bande d'arrêt d'urgence.
BDG : bande dérasée gauche.
BB : béton bitumineux.
CBR : (Californian-bearing - ratio).
CF : couche de forme.
CS : couche de surface.
CTTP : contrôle technique des travaux publics.
BB : béton bitumineux.
GB : grave bitume.
G.N.T : grave non traitée.
TVC : Tous venant de carrières.
GTR : guide de terrassement routier.
IP : indice de plasticité.
B40 : règlement technique d'aménagement des routes.
ARP : Aménagement des Routes Principales.
LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
PK : point kilométrique.
TN : Terrain Naturel.
TPC : terre-plein central.
T.J.M.A : Trafic moyen journalier annuel.
PFi : classe de plateforme.
TPLi : la classe de trafic.
RN : route nationale
RPi : Réseau principal de niveau i.
SPT : Le standard pénétromètre.
Sol.S : sol support.
U.V.P : Unité de véhicule particulier.
VBS : valeur de bleu de méthylène.
Symboles :
PL : poids lourds.
TJMAh : le trafic à l'année horizon.
TMJA0 : le trafic à l'année de référence.
n : nombre d'années.
τ : taux d'accroissement du trafic (%).
TCi : trafic cumulé de poids lourds.
Teff : trafic effectif a l'année d'horizon (U.V.P/J).
Z : pourcentage de poids lourds (%).
P : coefficient d'équivalence pour le poids lourd.
Q : débit de pointe horaire, exprimé en (UVP/h).
1/n : coefficient de pointe.
K1 : coefficient lié à l'environnement.
K2 : coefficient de réduction de la capacité.
Cth : capacité théorique du profil en travers en régime stable.
N : nombre de voies.
Qadm : débit admissible par voie
εz : déformation verticale
εt : déformation horizontale.

Vb : vitesse de base (km/h).
Rm : rayon minimal.
Rnd : rayon non déversé.
dmin : dévers minimal.
dmax : dévers maximal.
L : Longueur de raccordement.
T : tangente.
Ɵ : angle polaire.
G : gisement.
Wp : Limite de plasticité.
Wl : Limite de liquidité.
P : L'indice de plasticité.
Ic : l'indice de consistance.
A : facteur d'agressivité globale du trafic.
C : facteur de cumul.
P : nombre d'années de service (durée de vie) de la chaussée.
Si : portance du sol terrassé.
Sj : la classe du sol support visée.
Eeq : épaisseur équivalent.
Hmax : altitude maximale (m).
Hmin : altitude minimale (m).
I : pente longitudinale du thalweg
Tc : temps de concentration.
L : longueur du bassin (km).
I : pente moyenne du BV (m/m).
Qa : débit d'apport
Qs : débit de saturation.
It : intensité de la pluie, mm/h.
C : coefficient de ruissellement.
K : coefficient de conservation.
A : superficie du bassin versant, Km2
a(t) : coefficient de Montana.
b : exposant climatique.
Pm : périmètre mouillé.
Sm : Surface mouillée.
Qps : débit à pleine section.
Vps : vitesse à pleine section.
V : vitesse d'écoulement.
Rh : Rayon hydraulique.
Kst : coefficient de Manning Strickler.
Qc : débit rapporté par la chaussée.
QA : débit rapporté par l'accotement.
Qt : débit rapporté par le talus.
Ac : Surface de la chaussée.
AAcc : Surface de l'accotement.
At : Surface du talus.
Cc : coefficient de ruissellement de la chaussée
THT : total hors taxes.
TTC : toutes taxes compris.
TVA : taxe sur la valeur ajoutée.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODCUTION GENERALE

La conception d'un projet routier répond à un ensemble d'exigences essentielles telles que la sécurité des usagers, le confort de conduite, la fluidité du trafic, ainsi que la maîtrise des coûts de construction et d'entretien. Ces projets émergent généralement en réponse à une problématique claire : l'insuffisance ou la saturation des infrastructures existantes, nécessitant ainsi des solutions d'aménagement efficaces et durables.

Dans le cadre de la formation d'ingénieur à l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics, les étudiants sont amenés à mettre en œuvre leurs acquis théoriques et techniques à travers la réalisation d'un **Projet de Fin d'Études (PFE)**. Ce travail représente une étape déterminante pour l'obtention du **diplôme d'ingénieur d'État en Travaux Publics**, tout en offrant l'opportunité de traiter une problématique concrète du domaine.

Parmi les diverses disciplines du secteur, l'infrastructure routière occupe une place centrale. Elle revêt une importance stratégique dans le contexte national, tant pour répondre aux objectifs de mobilité et de sécurité, que pour soutenir les politiques de développement durable. En effet, un réseau routier performant constitue un levier fondamental pour stimuler l'économie et désenclaver les régions.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre Projet de Fin d'Études, qui porte sur une **étude en Avant-Projet Détaillé (APD)** d'un **tronçon de 10 kilomètres de la liaison autoroutière reliant Sidi Bel Abbès à Saïda**, incluant la **conception complète d'un échangeur**. Ce travail vise à proposer une solution conforme aux normes en vigueur, techniquement cohérente et intégrée à son environnement.

CHAPITRE I :
PRESENTATION DU PROJET

I.1. INTRODUCTION

Le projet de liaison autoroutière entre Sidi Bel Abbès et Saïda s'inscrit dans le cadre des grandes orientations du Plan National d'Aménagement du Territoire, notamment dans sa composante dédiée au développement du Sud national et des Hauts Plateaux. Cette infrastructure moderne vise à répondre efficacement aux besoins croissants en matière de transport, tout en favorisant les échanges économiques et sociaux entre les wilayas de Sidi Bel Abbès, de Saïda et l'ensemble des régions desservies par l'autoroute Est-Ouest.



Figure I.1 : Tracé du projet de liaison autoroutière de 120 km entre Sidi Bel Abbès et Saïda

Notre projet porte sur l'étude d'un tronçon autoroutier de 10 km situé entre le PK 70+000 et le PK 80+000, faisant partie de la liaison de 120 km entre Sidi Bel Abbès et Saïda. Il comprend également la conception complète d'un échangeur destiné à assurer une connexion optimale avec les axes environnants.

I.2. OBJECTIFS DU PROJET :

Le projet vise à établir une liaison efficace entre Sidi Bel Abbès et Saïda afin de :

- Répondre à la croissance du trafic et fluidifier la circulation.
- Désengorger les routes nationales RN 94, RN 92.
- Stimuler le développement local et l'attractivité économique (commerce, industrie, tourisme).
- Favoriser un aménagement territorial équilibré.

I.3. PRESENTATION DES LA WILAYAS

I.3.1. Présentation de la wilaya de Sidi Bel Abbès:

La wilaya de Sidi Bel Abbès est située dans la région nord-ouest de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de **9 150,63 km²** et occupe une position stratégique qui lui confère une importance particulière dans le tissu territorial national.

Sur le plan administratif, la wilaya est composée de **15 daïras** et regroupe **52 communes**. Elle est délimitée par plusieurs wilayas voisines :

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

Grâce à sa position géographique, Sidi Bel Abbès constitue un carrefour de communication entre les hauts plateaux et la bande littorale, et joue un rôle clé dans le développement régional de l'ouest algérien.

I.3.2. Présentation de la wilaya de Saïda

La wilaya de Saïda est située dans le nord-ouest de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de **6 765 km²** et occupe une position intermédiaire entre les Hauts Plateaux et l'Atlas tellien, ce qui lui confère un rôle important dans le développement régional.

Sur le plan administratif, la wilaya est subdivisée en **6 daïras** regroupant **16 communes**.

Elle est délimitée par les wilayas suivantes :

Au nord : Mascara

À l'est : Tiaret

À l'ouest : Sidi Bel Abbès

Au sud : El Bayadh

Par sa localisation stratégique, Saïda représente un maillon essentiel dans le réseau de communication du sud-ouest algérien, favorisant les échanges entre les zones intérieures et les régions plus développées du nord.

I.3.3. Limites géographiques de l'ensemble Sidi Bel Abbès – Saïda

L'espace géographique constitué par les wilayas de **Sidi Bel Abbès et Saïda**, situées au nord-ouest de l'Algérie, est bordé par les wilayas suivantes :

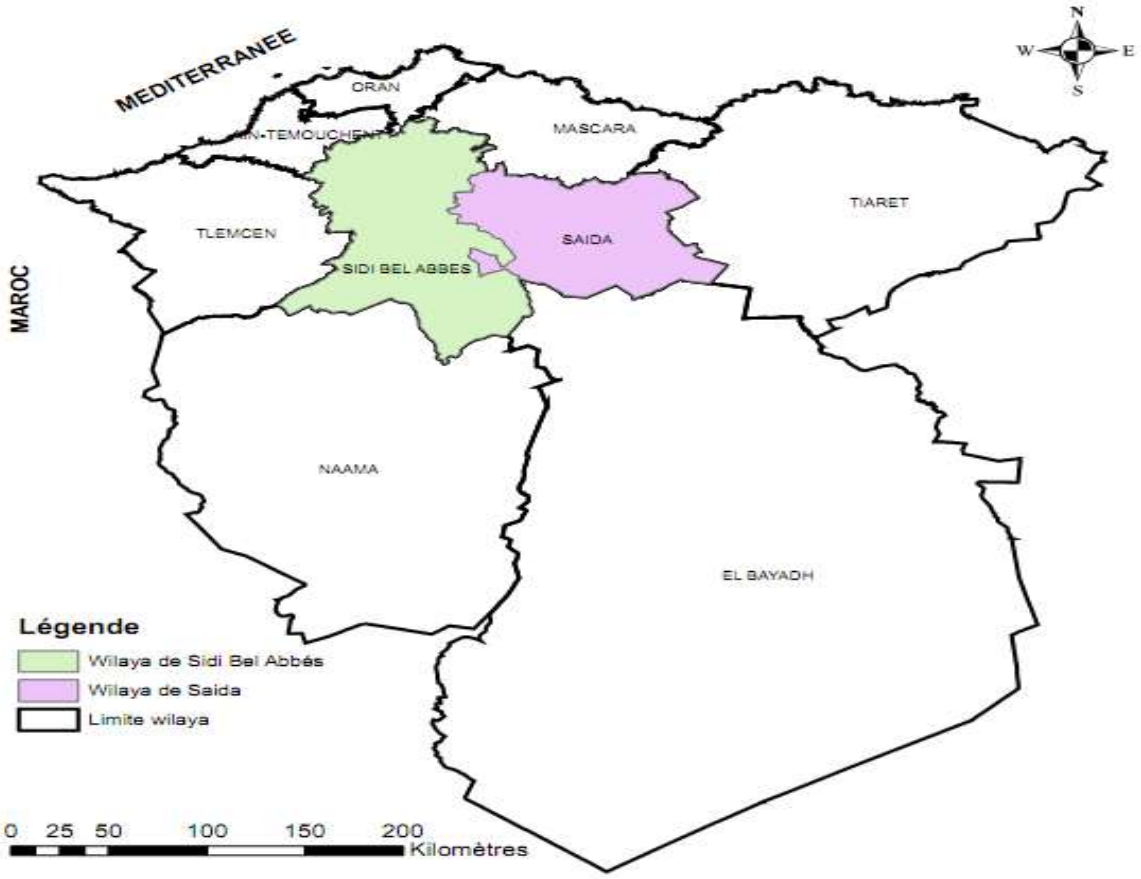


Figure I.2 : Carte de localisation géographique des wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda et de leurs limites administratives

I.4. RELIEF DES WILAYAS DE SIDI BEL ABBES ET SAÏDA

Les wilayas de **Sidi Bel Abbès** et **Saïda** présentent un relief varié, typique de la transition entre les zones telliennes du nord et les Hauts Plateaux du centre-ouest algérien.

I.4.1. Sidi Bel Abbès:

Le relief est relativement contrasté, composé de :

- **Plaines fertiles** au nord, notamment la plaine de la Mekerra, favorable à l'agriculture.
- **Collines et petites montagnes** dans la zone centrale, appartenant aux contreforts de l'Atlas tellien.
- **Hauts Plateaux** au sud, caractérisés par des terrains plus arides et une altitude moyenne plus élevée.

L'altitude varie globalement entre **400 et 1 000 mètres**.

I.4.2. Saïda:

Le relief est dominé par :

- Les **monts de Saïda**, qui font partie de l'Atlas tellien, avec des altitudes atteignant parfois **1 200 mètres**.
- Des **plateaux steppiques** vers le sud, qui annoncent la transition vers les zones semi-arides de l'intérieur.
- Des **vallées étroites** et des **zones boisées**, notamment dans les zones montagneuses, favorables à l'écotourisme.

I.5. CLIMATOLOGIE DES WILAYAS

I.5.1. Sidi Bel Abbès:

La wilaya de Sidi Bel Abbès bénéficie d'un **climat méditerranéen semi-aride**, caractérisé par :

- **Des hivers doux et humides**, avec des températures moyennes avoisinant les **10°C à 15°C**.
- **Des étés chauds et secs**, où les températures peuvent dépasser **35°C** en juillet et août.
- Les **précipitations annuelles** sont relativement faibles, variant entre **300 et 500 mm/an**, concentrées entre **novembre et mars**.
- Le climat devient **plus aride vers le sud** de la wilaya, notamment au niveau des Hauts Plateaux.

I.5.2. Saïda:

La wilaya de Saïda présente un **climat continental semi-aride**, influencé par le relief montagneux :

- **Hivers plus rigoureux**, avec des températures pouvant descendre sous les 5°C, et parfois des chutes de neige dans les zones en altitude.
- **Été chaud et sec**, avec des températures maximales atteignant 35°C à 40°C.
- Les précipitations sont légèrement supérieures à celles de Sidi Bel Abbès grâce à l'effet orographique, avec une moyenne de 400 à 600 mm/an, particulièrement dans les zones montagneuses.
- Le **climat s'assèche progressivement vers le sud**, en direction des steppes et des zones semi-désertiques.

I.6. RESEAUX ROUTIERS DES WILAYAS DE SIDI BEL ABBES ET SAÏDA

Les wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda possèdent des réseaux routiers vitaux pour leur développement, assurant la liaison interne et l'ouverture vers les régions voisines. Sidi Bel Abbès bénéficie d'un réseau plus dense, tandis que Saïda, malgré un relief contraignant, dispose d'axes stratégiques facilitant sa connectivité.

Table I-1 : Réseaux routiers de Sidi Bel Abbès et Saïda

Élément	Sidi Bel Abbès	Saïda
Type de réseau	Dense et structuré	Moins dense, mais stratégique
Routes nationales (RN)	RN 13, RN 94, RN 7	RN 92, RN 94, RN 104
Connexion à l'autoroute	Liaison avec l'autoroute Est-Ouest via des bretelles	Aucune connexion directe, dépend des axes secondaires
Routes wilayales et locales	Réseau développé pour la desserte des communes rurales et zones agricoles	Présent mais affecté par le relief (zones montagneuses)
Contraintes	Étendue du territoire, entretien en zone sud (semi-aride)	Relief accidenté, risques hivernaux (neige, glissement)
Atouts	Position centrale dans l'ouest, grand carrefour régional	Position intermédiaire entre hauts plateaux et Tell, axe de transit potentiel

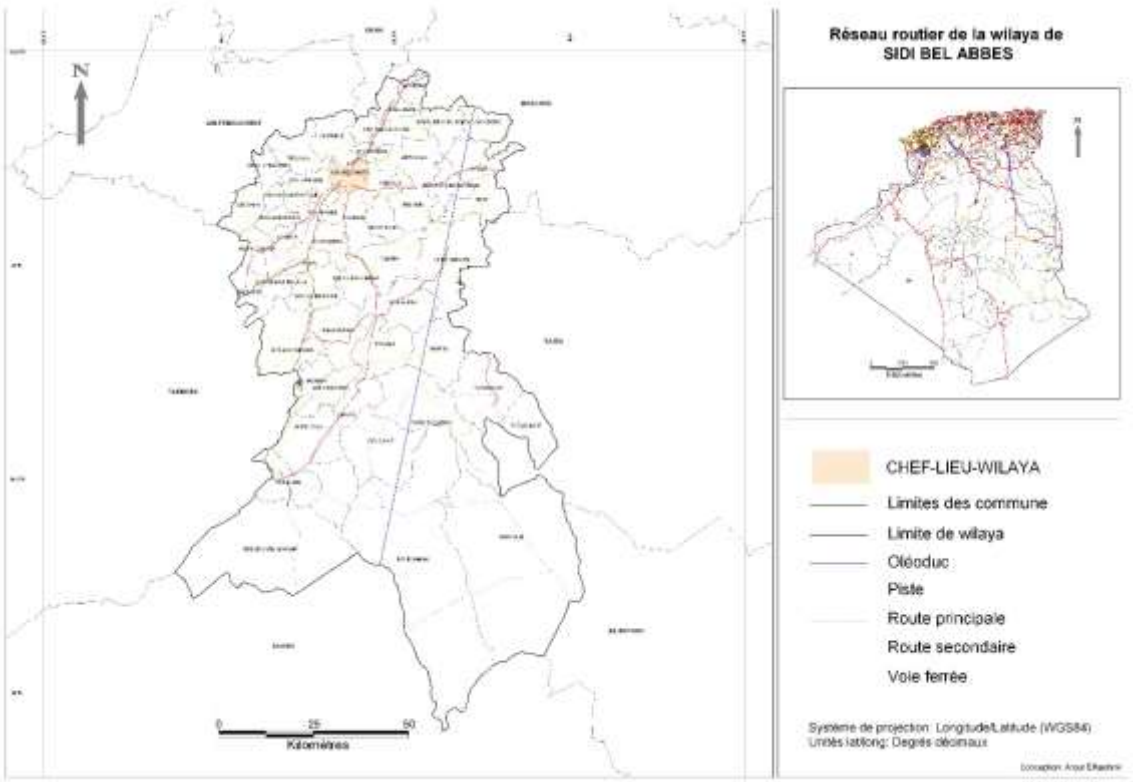


Figure I.3 : Carte du réseau routier de la wilaya de SIDI BEL ABBES

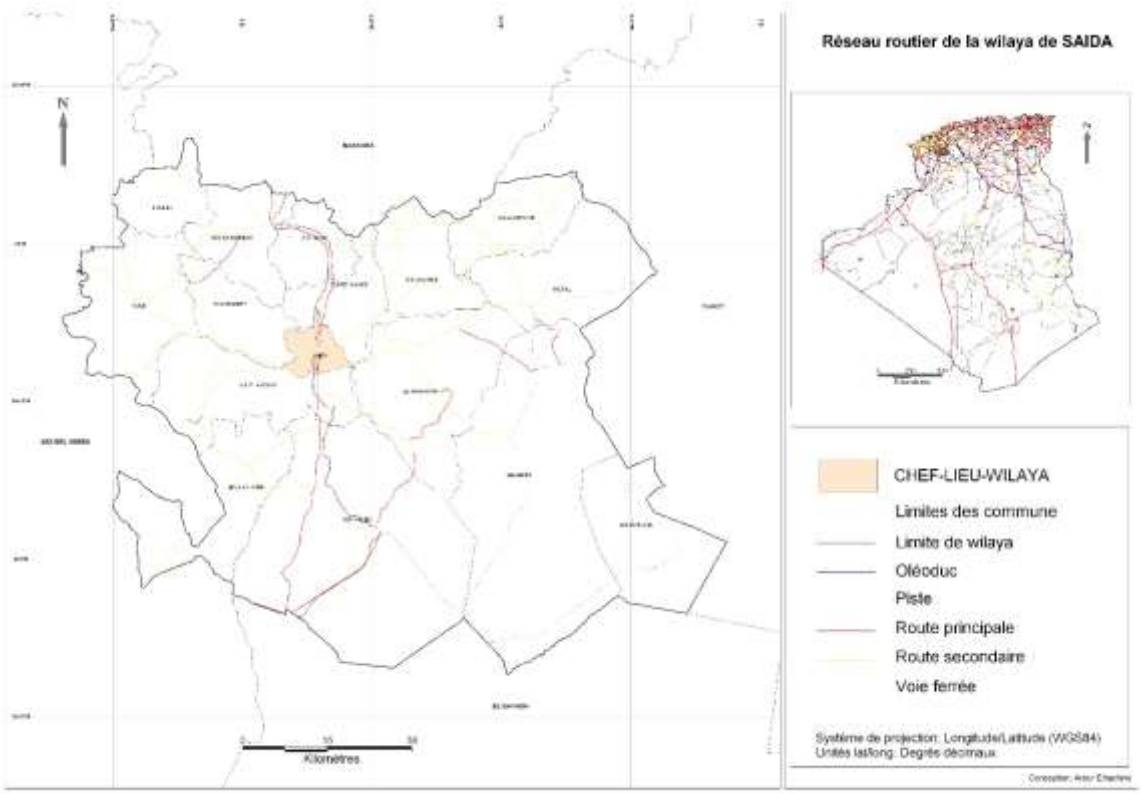


Figure I.4 : Carte du réseau routier de la wilaya de SAIDA

I.7. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU PROJET

Dans le cadre de notre étude, nous avons conçu une **liaison autoroutière** en nous appuyant sur les **Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL 2015)**, qui constituent la référence nationale en matière de conception autoroutière.

I.7.1. Catégorie de l'autoroute:

Conformément aux critères définis par l'ICTAAL 2015, et étant donné l'importance stratégique de la liaison, notre projet est classé dans la **catégorie L1**, qui correspond aux autoroutes à haut niveau de service, destinées à supporter un trafic important avec un niveau de sécurité et de confort élevé.

I.7.2. Vitesse de reference

Pour une autoroute de **catégorie L1**, la **vitesse de référence** retenue selon l'ICTAAL 2015 est de **130 km/h**.

CHAPITRE II :
ETUDE DE TRAFIC

II.1. INTRODUCTION :

L'étude de trafic constitue une étape fondamentale dans tout projet d'infrastructure routière, en particulier lorsqu'il s'agit de la conception d'une autoroute. Elle permet non seulement de quantifier l'intensité et la nature du trafic actuel, mais également de prévoir son évolution future. Cette analyse s'avère cruciale pour déterminer les caractéristiques techniques de l'aménagement à réaliser, telle que le nombre de voies.

L'un des indicateurs clés utilisés dans cette démarche est le **Trafic Journalier Moyen Annuel (TJMA)**, accompagné d'une classification des véhicules, notamment la proportion des poids lourds, dont l'impact sur la structure de la chaussée est particulièrement important. Ces données orientent directement le **prédimensionnement du profil en travers type (PTT)**, en tenant compte de la résistance nécessaire aux charges mobiles générées par le trafic.

L'étude de trafic repose d'abord sur une **reconstitution de la situation actuelle**, suivie de **prévisions de trafic** à moyen et long terme, afin d'évaluer la rentabilité socio-économique du projet. Elle comprend également des outils tels que **les statistiques générales, le comptage manuel ou automatique, et les enquêtes de circulation**.

II.2. DIFFERENTE TYPE DE TRAFIC :

II.2.1. Trafic normal

Le trafic normal correspond au flux de véhicules circulant actuellement sur l'ancien aménagement routier. Il représente la situation de référence avant la mise en service du nouveau projet.

II.2.2. Trafic dévié

Le trafic dévié désigne les usagers qui, sans investissements supplémentaires, sont attirés vers le nouvel aménagement routier en empruntant des itinéraires alternatifs menant à la même destination.

II.2.3. Trafic induit

Le trafic induit résulte de nouveaux déplacements qui n'étaient pas réalisés auparavant, en raison de la mauvaise qualité de l'infrastructure existante, ou qui s'effectuaient vers d'autres destinations. Il peut également provenir d'une hausse de la production et de la consommation liée à la baisse des coûts de transport, rendue possible par le nouvel aménagement.

II.2.4. Trafic total

Le trafic total sur la nouvelle infrastructure est la somme des trois composantes précédentes : le trafic normal, le trafic dévié et le trafic induit. Il constitue la base pour l'évaluation de la capacité de l'ouvrage et son dimensionnement futur.

II.3. ANALYSE DU TRAFIC :

Il est possible de déterminer, à un instant précis et en un point donné, **le volume et la nature du trafic** grâce à plusieurs procédés, notamment :

- Les comptages manuels, qui consistent à observer directement la circulation sur le terrain, en enregistrant manuellement le nombre et la catégorie des véhicules (véhicules légers, poids lourds, etc.) pendant une période définie.
- Les comptages automatiques, qui utilisent des dispositifs technologiques tels que les boucles électromagnétiques, les radars ou les capteurs infrarouges.

Ces systèmes permettent un enregistrement continu du trafic, et sont aujourd'hui capables de distinguer automatiquement les véhicules légers des poids lourds, offrant ainsi une analyse plus détaillée et précise du flux de circulation.

II.4. CALCUL DE LA CAPACITE DE LA ROUTE :

II.4.1. Définition de la capacité :

La **capacité d'une route** représente le nombre maximal de véhicules pouvant circuler, par heure, en un point ou sur une section uniforme, dans des conditions raisonnables et sur une période donnée. Cette capacité est influencée par plusieurs éléments, tels que :

- Les conditions de circulation.
- La météo.
- Le degré de familiarité des usagers avec l'itinéraire.
- Le respect des distances de sécurité (influencées par les temps de réaction).
- Les caractéristiques géométriques de la route (nombre et largeur des voies).

II.4.2. Prévision de l'évolution du trafic :

La projection du TJMA à l'année horizon repose sur la formule suivante :

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

Tel que :

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

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

τ : Taux d'accroissement du trafic (%).

n : nombre d'année.

II.4.3. Calcul des trafics effectifs :

Le **trafic effectif** correspond au trafic réel converti en **unités de véhicules particuliers (UVP)**, afin de tenir compte de l'impact relatif des différents types de véhicules sur la chaussée, selon le type de route et son environnement. Pour ce faire, on utilise des **coefficients d'équivalence**, qui permettent de transformer les poids lourds (PL) en un nombre équivalent d'UVP.

Le trafic effectif est déterminé à l'aide de la formule suivante :

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

Tel que :

$\mathbf{T_{eff}}$ **:** trafic effectif à l'année horizon en (uvp/J).

$\boldsymbol{Z}$ **:** pour centage de poids lourd (%).

P :coefficient d'équivalence pour le poids lourds. Il dépendde la nature de la route et de l'environnement

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

Table II-1 : coefficient d'équivalences P

II.4.4. Débit de pointe horaire normal :

Le **débit de pointe horaire normal** représente une projection du trafic effectif à l'horizon. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

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

Tel que :

n : coefficient de pointe.

$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}}$ **:** en général 0.12 équivalent a n = 8 heures.

Q : est expimé en uvp/h.

II.4.5. Débit horaire admissible :

Le **débit horaire maximal accepté par voie** est déterminé en appliquant la formule suivante :

$$\boldsymbol{Q_{adm} = K1.K2.C_{th}}$$

Tel que :

K1 : coefficient lié à l'environnement.

K2 : coefficient de réduction de capacité.

$\boldsymbol{C_{th}}$ **:** capacité théorique par voie, qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

Table II-2 : coefficient lié à l'environnement -Valeur de K1

Environnement	E1	**E2**	E3
K1	0.75	0.85	0.90 à 0.95

Table II-3 : coefficient de réduction de capacité -Valeur de K2

	Catégories				
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	0.98

Table II-4 : Coefficient d'équivalences P

Route		E1	**E2**	E3
Route à bonne caractéristique	**2 Voies**	3	6	12
	3 Voies	2.5	5	10
	4 Voies et plus	2	4	8
Route étroite		3 – 6	6 – 12	16 – 24

Table II-5 : Les capacités théoriques -Valeurs de Cth

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

II.4.6. Détermination nombre des voies :

- Cas d'une chaussée bidirectionnelle, On compare Q à Q_{adm}
- et on prend le profil permettant d'avoir :

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

- Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

$$\mathbf{n = S.\frac{Q}{Q_{adm}}}$$

Tel que :

- **S** : est le coefficient de dissymétrie, c'est t-à-dire le pourcentage de trafic écoulé dans le sens le plus chargé, la demande horaire sur la chaussée la plus chargé et en général égal à 2/3.
- $\mathbf{Q_{adm}}$ **:** débit admissible par voie.

II.5. APPLICATION SUR NOTRE PROJET :

II.5.1. Données de trafic :

Le trafic à l'année 2022 TJMA_{2022}	**7650 v/j/sens**
Le pourcentage de poids lourds Z	**27.4 %**
Le taux d'accroissement annuel du trafic	$\boldsymbol{\tau = 3.5}$ %
L'année de mise en service	**2028**
Durée de vie de la chaussée	**20 ans**
Environnement	**2**
Catégorie	**1**

Table II-6 : Données de trafic

II.5.2. Projection future de trafic :

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

- Trafic à l'année de mise en service 2028 :

$\mathrm{TJMA}_{2028} = \mathrm{TJMA}_{2022}\ (1+\tau)^n$ tel que : $n = 2028 - 2022 = 6\ ans$.

$\mathrm{TJMA}_{2028} = 7650\ (1+0.035)^6 = 9403.80$ v/j .

$$\mathbf{TJMA_{2028} = 9403.80\ v/j}\ .$$

- Trafic à l'année (2048) pour une durée de vie de 20 Ans :

$\mathrm{TJMA}_{2048} = \mathrm{TJMA}_{2028}\ (1+\tau)^n$ tel que : $n = 20\ ans$

$\mathrm{TJMA}_{2048} = 9403.80\ (1+0.035)^{20} = 18711.57$ v/j

$$\mathbf{TJMA_{2048} = 18711.57 v/j}$$

Table II-7 : Résultat de TJMA

$\mathbf{TJMA_{2028}}$	**9403.80 v/j** /sens
$\mathbf{TJMA_{2048}}$	**18711.57 v/j/sens**

II.5.3. Calcul du trafic effectif :

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

Tel que :

P : coeffecient d'équivalence pris pour convertir le poids lourd.

Pour une route à **deux voies**, à **bonne caractéristique** et un environnement **E2**. Selon le Tableau II-8 , On prend **P = 6**.

$\mathrm{T}_{\mathrm{eff2048}} = [(1-0.274) + 6 \times 0.274].\ \mathrm{TJMA}_{2048}$.

$\mathrm{T}_{\mathrm{eff2048}} = [(1-0.274) + 6 \times 0.274].\ 18711.57$.

$$\mathbf{T_{eff2048} = 44346.42\ uvp/h}\ .$$

II.5.4. Débit de pointe horaire normale :

$Q = \left(\frac{1}{n}\right).\ \mathrm{T}_{\mathrm{eff2048}}$.

$Q = 0.12 \times\ 44346.42$.

$$\mathbf{Q = 5321.57\ uvp/h}\ .$$

II.5.5. Débit admissible :

Le débit que supporte une section donnée :

K1 : coeffecient correcteur pris égal à 0.85 pour (E2).

K2 : coeffecient correcteur pris égal à 0.99 pour environnement (E2) et catégorie (C1).

Cth: capacité théorique pris égal à 1800 uvp/h/sens.

$$Q_{adm} = K1.K2.C_{th}$$
$$Q_{adm} = 0.85 \times 0.99 \times 1800$$
$$\mathbf{Q_{adm} = 1515\ uvp/h}$$

II.5.6. Le nombre des voies :

$$N = S.\left(\frac{Q}{Q_{adm}}\right) \quad \text{tel que : } S = \frac{2}{3}$$
$$\mathbf{N = \frac{2}{3}.\left(\frac{5321.57}{1515}\right)} = 2.34$$

Donc N = 2 voies/sens

II.5.7. Calcul de l'année de saturation de 2×2 :

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

- $T_{eff2028} = [(1 - 0.274) + 6 \times 0.274].TJMA_{2028}$.
  $T_{eff2028} = [(1 - 0.274) + 6 \times 0.274].9403.80$.
  $$\mathbf{T_{eff2028} = 22287\ uvp/j}$$
- $Q_{2028} = \left(\frac{1}{n}\right).T_{eff2028}$.
  $Q_{2028} = 0.12 \times 22287$
  $$\boldsymbol{Q_{2028} = 2674.44\ uvp/h}\ .$$

- $Q_{saturation} = 3 \times Q_{adm}$
  $Q_{saturation} = 3 \times 1515$
  $$\mathbf{Q_{saturation} = 4545\ uvp/h}$$
- $Q_{saturation} = (1 + \tau)^n \times Q_{2028} \quad \rightarrow \quad \mathbf{n = \frac{ln\left(\frac{Q_{saturation}}{Q_{2028}}\right)}{ln(1+\tau)}}$

  $$n = \frac{ln\left(\frac{4545}{2674.44}\right)}{ln(1+0.035)} = 15.41$$
  $$\mathbf{n = 16\ Ans}$$

Alors, l'année de saturation de la route est : 2028+16 = 2044

L'analyse du trafic indique que la saturation de la plateforme ne sera atteinte qu'après 16 années d'exploitation, soit bien au-delà du seuil de référence de 10 ans fixé par l'aspect de l'ingénierie. Ainsi, le choix d'une section initiale en 2×2 voies élargissable est pleinement justifié. Cette configuration permet de répondre efficacement aux besoins de trafic actuels et à moyen terme, tout en intégrant une réserve d'espace pour l'ajout futur d'une voie supplémentaire de chaque côté lorsque la saturation sera atteinte. Ce principe d'élargissement anticipé offre une solution évolutive et économique, évitant des travaux lourds à court terme tout en garantissant la pérennité de l'infrastructure face à l'augmentation progressive du trafic.

CHAPITRE III :
ETUDE GEOMETRIQUE

III.1. INTRODUCTION

La conception d'un projet routier commence par le choix de son tracé, en l'adaptant au mieux à la configuration du terrain naturel. L'étude géométrique d'une route repose sur trois éléments essentiels :

- Le tracé en plan, qui définit l'axe horizontal de la route.
- Le profil en long, qui représente l'évolution altimétrique.
- Le profil en travers, qui décrit la section transversale de la chaussée.

III.2. DESCRIPTION DE VARIANTE DE PROJET

D'un linéaire de 10,5 km, le tracé prend origine à proximité de l'oued El Merdja. Il traverse dans un premier temps un terrain légèrement vallonné à vocation naturelle, présentant des pentes comprises entre 3,3 % et 5 %. En se dirigeant vers le sud-est, il atteint son point culminant au PK 72+025, avec un déblai maximal de 10,5 m, avant d'entamer une descente en direction du sud-est.

Au PK 73+075, il croise une piste existante maintenue par un passage inférieur, notamment pour permettre le passage de la faune. Il poursuit sa descente en franchissant plusieurs écoulements d'eau, dont un important au PK 73+400. En direction du PK 74+200 et PK 74+350, le tracé intercepte deux lignes électriques de moyenne tension, avant d'entrer dans une zone agricole dense où il traverse une ferme privée.

Au PK 75+575, deux autres lignes MT sont franchies, et l'axe continue en alignement droit jusqu'à la RN 94, interceptée au PK 76+944, où un échangeur de type demi-trèfle est prévu. La réalisation de cet échangeur nécessite l'expropriation d'une maison en cours de construction. Juste après, au PK 77+085, l'axe franchit un oued important, nécessitant des ouvrages hydrauliques spécifiques.

En poursuivant vers le PK 77+850, le tracé traverse une petite ferme comportant une habitation, et à partir de ce point, une pente continue de 5 % s'engage jusqu'à la fin du linéaire. Cette section requiert d'importants terrassements en déblais et remblais. Enfin, à partir du PK 78+600, le tracé entre dans une forêt dense occupant l'extrémité du linéaire, marquée par une forte concentration arborée et un impact environnemental significatif à considérer.

III.3. ROLE ET PRINCIPES DE L'ICTAAL

L'ICTAAL (Instruction sur les Caractéristiques Techniques des Autoroutes et des Aménagements à Long terme) définit les règles techniques fondamentales pour la conception des autoroutes et routes express, qu'il s'agisse de nouvelles infrastructures ou de l'aménagement de réseaux existants.

III.3.1. Classification des autoroutes

Les sections autoroutières sont classées en deux catégories selon les contraintes topographiques :

Catégorie L1 : adaptée aux terrains plats ou vallonnés, avec une vitesse de référence de **130 km/h**.

Catégorie L2 : destinée aux zones à relief plus complexe, avec une vitesse de **110 km/h**.

Le choix de la catégorie dépend de l'environnement traversé (relief, occupation du sol) et doit rester cohérent avec la perception de l'usager.

III.3.2. Notion de visibilité

La **visibilité** désigne la capacité du conducteur à anticiper les informations nécessaires pour réagir en toute sécurité. Elle est essentielle pour permettre aux véhicules non prioritaires d'agir sans compromettre la sécurité des véhicules prioritaires.

Règles de visibilité applicables :

- En **section courante**.
- À l'**approche des accès**.
- Au sein des **échangeurs**.
- Et au niveau des **refuges**.

III.3.3. VERIFICATION ET AJUSTEMENT

En raison des vitesses pratiquées, les distances de visibilité sur autoroute doivent être importantes. Pour les garantir, une coordination soignée du tracé en plan, du profil en long et des points singuliers (accès, péages, etc.) est essentielle. Des aménagements comme la gestion des accotements ou du terre-plein central (talus, équipements, végétation) peuvent également y contribuer.

En cas d'impossibilité technique de respecter ces exigences, une réduction locale de la vitesse maximale peut être envisagée, à condition qu'elle soit clairement perçue par l'usager.

III.4. TRACE EN PLAN

III.4.1. Introduction:

Le **tracé en plan** représente la route vue de dessus, illustrant une alternance de lignes droites et de courbes, reliées par des transitions progressives ou des courbes circulaires. Il est défini en fonction d'une **vitesse de référence**, qui sert de base au choix des paramètres géométriques indispensables à la conception de l'infrastructure. L'objectif principal de ce tracé est de garantir un **niveau optimal de sécurité et de confort**, en tenant compte des spécificités de chaque catégorie de route.

III.4.1. Principes de conception à respecter :

- Appliquer les normes de l'ICTAAL.
- Utiliser de grands rayons si le terrain le permet.
- Éviter les terrains agricoles, forestiers et le franchissement des oueds (sauf nécessité).
- Adapter le tracé au terrain naturel pour limiter les terrassements.
- Respecter les longueurs minimales des alignements droits si possible.
- Prendre en compte la topographie et la protection de l'environnement.

III.4.2. Valeurs des rayons :

• Les rayons en plan doivent respecter les valeurs minimales indiquées dans le tableau suivant :

Table III-1 : valeurs minimales des rayons du tracé en plan.

Catégorie	L_1	L_2
Rayon minimal (R_m)	600 m	400 m
Rayon minimal au dévers normal (R_{dn})	1000 m	650

• Il est préférable de **remplacer les longs tronçons rectilignes par de larges courbes** pour améliorer le confort de conduite.

• L'utilisation de rayons **supérieurs ou égaux à 1,5 fois le rayon minimal recommandé** est souhaitable, tant qu'elle ne génère pas de surcoût important, car cela favorise le confort et le respect des distances de visibilité.

III.4.3. Enchainement des éléments du tracé en plan :

Les courbes de petit rayon (inférieures à 1,5 R_min) ne peuvent être utilisées que sous certaines conditions :

Enchaînement de courbes : lorsqu'une courbe de petit rayon est insérée sur une distance de 500 à 1000 m, elle doit être associée à une courbe de plus grand rayon. Dans ce cas, il faut respecter la condition : $R_1 \leq 1{,}5\ R_2$, où R_1 est le rayon de la première courbe rencontrée. Cette règle est essentielle dans les zones sensibles comme les descentes, les échangeurs ou les zones sujettes au verglas.

Alignement droit entre deux courbes : un alignement rectiligne d'au moins 200 m doit séparer deux courbes successives, sauf si un raccordement progressif est prévu.

III.4.4. Raccordements progressifs :

Les courbes dont le rayon est inférieur à $1{,}5\ R_{nd}$min doivent être **raccordées progressivement** à l'aide de clothoïdes.

La longueur du raccordement doit être au moins égale à la plus grande des deux valeurs suivantes :

- $\mathbf{14 \times \Delta\theta}$
- $\mathbf{R / 9}$

Où :

- **R** est le rayon de la courbe (en mètres),
- **Δθ** est la différence d'angle entre les tangentes,
- **i** est la pente transversale (en %).

III.4.5. Raccordement circulaire entre deux alignements droits.

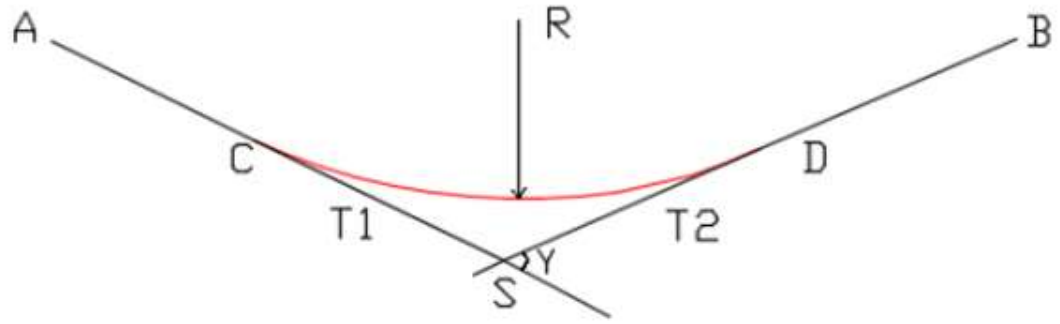


Figure III.1 : Raccordement circulaire entre deux alignements.

Éléments du raccordement circulaire :

- **R** : Rayon du cercle (constant).
- **M** : Centre du cercle.
- **T1, T2** : Points de tangence avec les alignements.
- **γ** : Angle formé entre les deux alignements.
- **T** : Grande tangente entre le point d'intersection et les points T1/T2.
- **Corde** : Distance entre T1 et T2.
- **Longueur de l'arc** : Portion de cercle entre T1 et T2.
- **ΔR** : Ripage éventuel (ajustement latéral).

III.4.6. APPLICATION AU PROJET:

Le tableau présente les valeurs des rayons sélectionnés pour le tracé en plan de l'axe.

Table III-2 : Valeurs des rayons choisis

Rayon	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Valeurs(m)	2000	5000	5000	2000	2000	1600	2000

- Cas d'un raccordement sans clothoïde :

  Pour R1 :

R=2000m>1500m alors d = - 2.5% et le calcule se fait sans clothoïde.

Pt	X	Y
A	209276.6933	3865410.2482
B	209717.7422	3865191.6132
S	209510.7741	3865338.2777

III.4.6.1. **Calcul des gisements :**

- $\Delta X_{AS} = Xs - X_A = 209510.7741 - 209276.6933 = 234.08$
- $\Delta Y_{AS} = Ys - Y_A = 3865338.2777 - 3865410.2482 = -71.79$

$$G_{AS} = 200 + \text{arctg}\left(\frac{|\Delta X_{AS}|}{|\Delta Y_{AS}|}\right) = 200 + \text{arctg}\left(\frac{|234.08|}{|-71.79|}\right)$$

$$\mathbf{G_{AS} = 281.05\ grade}$$

- $\Delta X_{BS} = Xs - X_B = 209510.7741 - 209717.7422 = -206.96$
- $\Delta Y_{BS} = Y_S - Y_B = 3865338.2777 - 3865191.6132 = 146.66$

$$G_{SB} = 200 + \text{arctg}\left(\frac{|\Delta X_{BS}|}{|\Delta Y_{BS}|}\right) = 200 + \text{arctg}\left(\frac{|-206.96|}{|146.66|}\right)$$

$$\mathbf{G_{SB} = 260.75\ grade}$$

III.4.6.2. **Calcul des angles :**

$$\gamma = |G_{AS} - G_{SB}| = 281.05 - 260.75$$

$$\boldsymbol{\gamma = 20.3\ grade}$$

III.4.6.3. **Calcul de la tangente :**

$T = \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \times R$, Avec : $\gamma = 18.27$ degre

$$T = \tan\left(\frac{18.27}{2}\right) \times 2000 = \mathbf{321.60\ m}$$

III.4.6.4. **Calcul de la longueur d'arc :**

$$L = R \times \frac{\pi}{200} \times \gamma$$

$$L = 2000 \times \frac{\pi}{200} \times 20.3$$

$$\mathbf{L = 637.743\ m}$$

III.4.6.5. Calcul des coordonnées des points singuliers :

Pour le point C :

$$X_C = X_S - T\sin(G_{AS}) = 209510.7741 - 321.60\,sin(281.05) = 209818.2313$$
$$Y_C = Y_S - T\cos(G_{AS}) = 3865338.2777 - 321.60\,cos(281.05) = 3865432.6$$

X_C	Y_C
209818.2313	3865432.6

Pour le point D :

$$X_D = X_S + T\sin(G_{AS}) = 209510.7741 + 321.60\,sin(281.05) = 209203.3169$$
$$Y_D = Y_S + T\cos(G_{AS}) = 3865338.2777 + 321.60\,cos(281.05) = 3865243.956$$

X_D	Y_D
209203.3169	3865243.956

À la fin du calcul manuel, nous avons constaté que les résultats sont compatibles avec ceux obtenus à partir du logiciel.

III.5. PROFIL EN LONG

III.5.1. Introduction:

Le profil en long est une coupe verticale suivant l'axe d'un projet (route, voie ferrée, etc.) qui permet de visualiser le relief naturel ainsi que le tracé prévu, en précisant pentes et points hauts/bas. Sur autoroute, on prend comme référence l'axe de la plateforme ou le bord gauche selon le revêtement. Un tracé en remblai est souvent préféré car il facilite les travaux et le drainage naturel.

III.5.2. Les éléments du profile en long :

III.5.2.1. Valeurs limites :

Cette partie donne les valeurs limites à respecter dans la conception du profil en long pour deux types de catégories (L_1 et L_2).

- **Catégorie L_1** : adaptée aux terrains plats ou modérément vallonnés.
- **Catégorie L_2** : utilisée en terrains difficiles (fort relief).

Paramètres à respecter :

Table III-3 : valeurs limites des paramètres du profil en long.

Paramètre	Catégorie L_1	Catégorie L_2
Déclivité maximale	**5 %**	**6 %**
Rayon minimal en angle saillant	**12 500 m**	**6 000 m**
Rayon minimal en angle rentrant	**4 200 m**	**3 000 m**

Définitions :

- **Déclivité maximale** : pente maximale autorisée pour assurer la sécurité et le confort.
- **Rayon minimal en angle saillant** : plus le rayon est grand, plus la transition entre les pentes est douce. Il correspond à la courbure au sommet (point haut).
- **Rayon minimal en angle rentrant** : courbure dans les creux (point bas), où les contraintes sont différentes.

Remarque :

L'utilisation de rayons supérieurs aux minima est recommandée tant qu'elle ne génère pas de coûts supplémentaires importants, car elle améliore le confort et la sécurité.

III.5.2.2. Raccordement en profil en long :

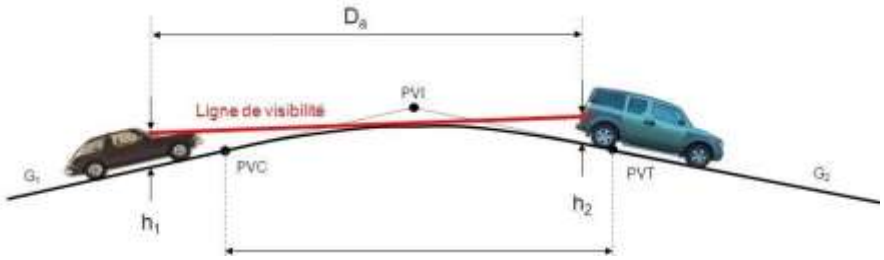
Les variations de pente dans un profil en long représentent des zones sensibles qui nécessitent une attention particulière.
Pour garantir à la fois confort et sécurité, ces changements doivent être adoucis à l'aide de raccordements circulaires respectant les exigences en matière de visibilité.
On distingue ainsi deux types de raccordements selon la configuration du terrain.

- **Raccordement convexe (angle saillant) :**

Dans les zones de changement de pente en angle saillant, les rayons minimaux des raccordements paraboliques doivent être définis en tenant compte de la position de l'œil du conducteur, des obstacles éventuels, ainsi que des distances d'arrêt et de visibilité.
Deux critères essentiels doivent être respectés dans la conception :

- Le confort de conduite.
- La visibilité suffisante pour la sécurité.

Figure III.2 : Raccordement convexe (angle saillant)



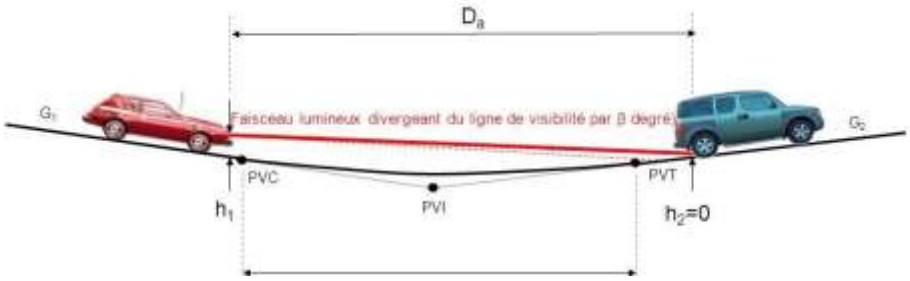
- **Raccordement concave (angle rentrant)** :

Lorsqu'il s'agit d'un changement de pente en angle rentrant, le raccordement doit également garantir une transition douce. Il est conçu de manière à assurer à la fois le confort de conduite et une bonne visibilité, notamment en cas de freinage prolongé dans les descentes.

Les rayons doivent être choisis pour éviter les ruptures brutales de déclivité, tout en respectant :

- **Les exigences de confort**,
- **Les distances de visibilité nécessaires à la sécurité**.

Figure III.3 : Raccordement concave (angle rentrant)



III.5.3. Coordination du tracé en plan et du profil en long :

Pour garantir une bonne intégration du projet dans son environnement, tout en assurant la sécurité, la visibilité et le confort visuel des usagers, il est essentiel de coordonner harmonieusement le tracé en plan et le profil en long. Cela nécessite une approche globale prenant en compte les éléments suivants :

- Associer un profil en long légèrement concave aux courbes en plan de grand rayon, afin de dégager suffisamment l'horizon latéral.
- Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, tout en respectant la règle : **R vertical > 6 × R horizontal**, afin d'éviter les ruptures d'inflexion perceptibles.
- Éviter les pertes de tracé lorsque cela est possible sans engendrer de surcoûts. Si elles sont inévitables, la chaussée doit réapparaître à une distance minimale de **500 m**, afin d'éviter les illusions visuelles et assurer une perception claire de la route.

III.6. PROFIL EN TRAVERS

III.6.1. Introduction:

Le profil en travers est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route, montrant la chaussée et ses dépendances. Il illustre à la fois le terrain naturel et le projet, et sert à adapter le tracé aux besoins de circulation et à l'environnement du site.

Types de profils en travers :

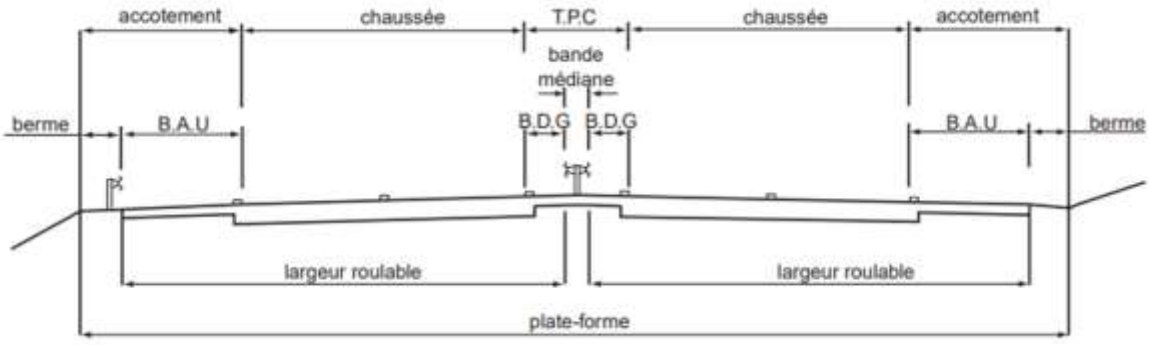
On distingue deux types principaux :

- **Le profil en travers courant**, qui représente l'ensemble des éléments de la route, quelle que soit la situation (en remblai, en déblai, etc.).
- **Le profil en travers type**, établi à intervalles réguliers, en fonction de la configuration du terrain naturel.

III.6.2. Les éléments du profil en travers :

- **Définition selon l'ICTAAL :**
  Le profil en travers type est défini par l'ICTAAL comme la représentation standard des différentes composantes de la route, servant de référence pour la conception.

Figure III.4 : Profil en travers type



- Chaussée : Partie de la route destinée à la circulation des véhicules, composée de plusieurs voies.
- Terre-**plein central (T.P.C)** : Zone séparant les deux sens de circulation pour améliorer la sécurité.
- **Bande dérasée de gauche (B.D.G)** : Petite bande située à gauche de la voie de gauche, servant à la sécurité et à la visibilité.
- **Bande médiane (B.M)** : Espace central entre les deux directions, souvent inclus dans le terre-plein central.
- **Accotements** : Zones situées de chaque côté de la chaussée, permettant l'arrêt d'urgence ou la protection de la structure.

- Bande **d'arrêt d'urgence (B.A.U)** : Partie large sur le côté droit de la chaussée où les véhicules peuvent s'arrêter en cas de panne.
- Berme : Surface horizontale entre le talus et l'accotement, utilisée pour la stabilité du terrain et l'entretien.

III.6.3. Zone de sécurité :

La zone de sécurité est une bande de 10 mètres de large mesurée à partir du bord de la chaussée, notamment pour la catégorie **L1**. En situation de **déblai**, elle ne s'étend pas au-delà d'une hauteur de **3 mètres**.

Cette zone doit rester libre de tout élément dangereux ou perturbateur, sauf si ceux-ci sont isolés ou éliminés. Les éléments à exclure sont :

- Les **obstacles rigides** : arbres, poteaux, murs, etc.
- Les **caniveaux ouverts**, non recouverts.
- Les **fossés** profonds de plus de 50 cm, sauf si leur pente est inférieure à 25 %.
- Les **talus en déblai** ou **merlons** ayant une pente supérieure à 70 %.

- Les **remblais** de plus de 4 m de hauteur avec une pente au-delà de 25 %, ou de plus de 1 m lorsqu'il y a une rupture brutale de niveau.

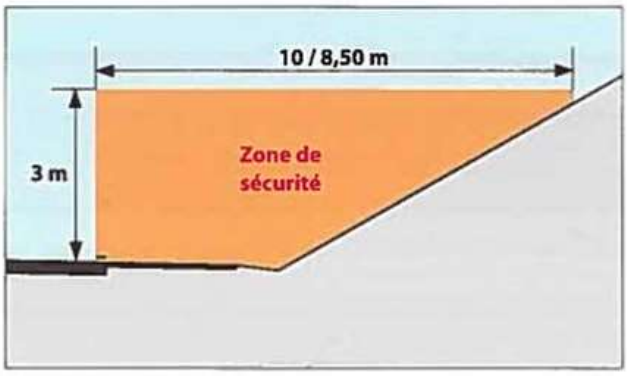


Figure III.5 : Zone de sécurité en déblai.

III.6.4. Notion de dévers :

Le **dévers** correspond à l'inclinaison transversale de la chaussée. Il remplit deux fonctions principales :

Faciliter l'évacuation des eaux de pluie vers les systèmes de drainage situés sur les côtés de la plate-forme.

Améliorer la stabilité des véhicules dans les virages serrés, contribuant ainsi à la sécurité et au confort de conduite.

Selon les recommandations de l'**ICTAAL 2015**, les valeurs de dévers doivent répondre à certaines conditions spécifiques :

III.6.4.1. Divers en alignement et en courbe non déversée :

- La **chaussée** présente une pente transversale de **2,5 %** dirigée vers l'extérieur.
- La **bande d'arrêt d'urgence (BAU)** ou la **bande dérasée droite (BDD)** a généralement la même pente que la chaussée voisine. Toutefois, au-delà de la largeur où se trouve le marquage de rive, cette pente peut atteindre **4 %** pour des raisons techniques.
- Les **bandes dérasées de gauche (BDG)** ainsi que le **versant en toit d'un terre-plein central revêtu** suivent également la pente de la chaussée attenante.
- La **berme extérieure** a une pente transversale de **8 %**, pouvant aller jusqu'à **25 %** si elle est utilisée comme élément du système d'assainissement.

III.6.4.2. Dévers en courbe déversée :

La **pente transversale de la chaussée** augmente progressivement en fonction de l'inverse du rayon de courbure (1/R), allant de **2,5 %** pour les grands rayons (alignement droit) jusqu'à **7 %** pour les rayons minimaux.

- La **BAU ou la BDD intérieure à la courbe** adopte la **même pente que la chaussée voisine**.
- La **BAU ou la BDD extérieure à la courbe** garde la **pente standard d'alignement droit** tant que le dévers ne dépasse pas **4 %**.
- Si le dévers excède 4 %, cette pente devient **inversée** (sens opposé au dévers) et est fixée à **1,5 %**, sauf pour la **surlargeur de chaussée** qui garde la pente de la chaussée.

III.6.5. Application sur notre projet :

La configuration adoptée pour la section courante du projet repose sur un profil en travers à 2x2 voies.

Conformément aux recommandations de l'ICTAAL 2015, les dimensions des différents éléments du profil en travers, ainsi que leurs pentes transversales, sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Table III-4 : caractéristiques géométriques de profil en travers

Description	Largeur (m)	Nombre	Largeur totale(m)
• Voie de circulation 2x2 • Terre-plein central (T.P.C) • Bande dérasée de gauche (B.D.G) • Bande médiane (B.M) • Accotement • Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) • La berme	3.5 12 1 9 4 3 1	2 1 2 1 2 2 2	7 12 2 9 8 6 2
Largeur totale de la chaussée (m)	34		
Dévers en section droite			
• Chaussée • Bande dérasée de gauche (B.D.G) • Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) • Berme extérieure	• 2,5 % vers l'extérieur. • Identique à celle de la chaussée. • 2.5 %vers l'extérieur. • 8% vers l'extérieur		
Dévers en courbe			
• Chaussée • Bande dérasée de gauche (B.D.G) • Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	• 7 % (maximum). • Identique à celle de la chaussée. • Identique à celle de la chaussée		

CHAPITRE IV :
ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.1. INTRODUCTION

C’est la discipline qui étudie les sols pour assurer la stabilité et la qualité des routes. Elle analyse le comportement des terrains (résistance, déformation) à l’aide de tests en laboratoire et sur site.

Elle permet de :

- Évaluer les déblais/remblais.
- Assurer la stabilité des talus.
- Définir la structure de la chaussée.
- Identifier les matériaux utilisables (remblais, bétons, etc.).

IV.2. APERÇU GEOLOGIE



Figure IV.1 : Vue panoramique montre la nature géologique du terrain à l’environ

IV.3. OBJECTIF DE CHAPITRE

Une étude géotechnique a pour objectif d'identifier la nature des sols présents sur le site d'un aménagement, qu'il soit existant ou en projet. Elle permet de déterminer la répartition des terrains, les propriétés mécaniques des matériaux, ainsi que les conditions hydrogéologiques comme la présence d'eau souterraine ou le type d'écoulement. Cette étude inclut également la classification des sols selon le Guide des Terrassements Routiers, et évalue la possibilité de réemployer les déblais comme matériaux de remblai.

IV.3.1. Les moyens de reconnaissance :

Les moyens utilisés pour la reconnaissance géotechnique comprennent l'analyse des documents et archives existants tels que les cartes géologiques et les levés topographiques, la réalisation d'essais in situ directement sur le terrain, ainsi que des essais en laboratoire permettant de déterminer avec précision les propriétés physiques et mécaniques des sols étudiés.

IV.4. PRESENTATION DES ESSAIS

- **A partir des puits de reconnaissances du PK70+000 au PK 80+000**

Les puits de reconnaissance creusés à ciel ouvert, réalisés à l'aide d'une pelle mécanique avaient pour objectif :

- La détermination des agencements lithologiques des strates rencontrées.
- Le prélèvement d'échantillons remaniés en vue des essais de laboratoire.

Pour la section de notre projet située entre le **PK70+000 et le PK80+000**, trois (03) puits de reconnaissance ont été creusés à ciel ouvert le long du tracé. Ces puits, d'une profondeur de 3 mètres chacun, ont permis de caractériser les sols rencontrés. Pour chaque puits, une description stratigraphique a été réalisée, accompagnée d'un prélèvement d'échantillons destinés aux essais en laboratoire afin d'analyser les propriétés mécaniques et physiques des terrains.

Table IV-1 : Les puits de reconnaissance réalisés

N°	PK	Profondeur	X(UTM)	Y(UTM)
PU03	69+450	3 m	208649,7111	3865562,0320
PU04	75+200	3 m	213070,9345	3862190,9130
PU05	79+775	3 m	215375,2955	3858245,0659

IV.4.1. Essais in-situ :

IV.4.1.1. Les Puites :

1. Puits P03 au PK 69+450 :

Au droit de ce puits, il à été rencontré une formation d'encroutement calcaire blanchâtre, masqué par une mince couche de terre végétale brunâtre.

La description lithologique est la suivante :

0,00 m à 0,20 m : Terre végétale brunâtre.

0,20 m à 0,40 m : Encroutement calcaire blanchâtre dur en profondeur (refus).

- Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits.
- Une coupe géologique est jointe en annexe.



Figure IV.2 : Vue de la planche d'emplacement du puits n°03 au PK 69+450.

Commentaire :

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

2. Puits P04 au PK 75+200 :

Au droit de ce puits, il a été rencontré une formation de grés à ciment calcaire, surmonté par un sable jaunâtre ; le tous sont recouvert par une terre végétale brunâtre.

La description lithologique est la suivante :

0,00 m à 0,60 m : Terre végétale brunâtre.

0,60 m à 1,10 m : Sable jaunâtre légèrement argileux riche en concrétions calcaires.

1,10 m à 1,20 m : Grés à ciment calcaire (refus).

- Aucune trace d'eau n'a été décelée au fond de ce puits.
- Une coupe géologique est jointe en annexe.



Figure IV.3 : Vue de la planche d'emplacement du puits n°04 au PK 75+200

Commentaires :

Les sables testés sont de plasticité non mesurable (plasticité nulle), ils présentent une valeur de teneur en eau naturelle faible.

La valeur de la densité sèche OPM est élevée (2,03 t/m^3).

II s'agit de sables non agressifs (degré d'agressivité nul vis-à-vis du béton).

Ils sont de classe B-B_2 (selon la nature) et B_2m (selon l'état hydrique), d'après le GTR [guide technique, réalisation des remblais et des couches de forme, fascicule II, annexes techniques (Juillet 2000, $2^{éme}$ Edition)].

Les sols à cet emplacement présentent une portance faible, ils sont de classe de portance S3 ($CBR_{imbibé}$=9,40), selon le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves « C.T.T.P », Fascicule I.

3. Puits P05 au PK 79+775 :

II n'a pas été possible d'effectuer aucun essai, vue l'inaccessibilité du terrain.

IV.4.1.2. Les Sondages :

- **A partir des sondages carottés** : **du PK70+000 au PK 80+000**

Table IV-2 : Tableau d'implantation des sondages carottés au niveau des déblais

PK	ESSAIS	PROFONDEUR (m)	X(UTM)	Y(UTM)
72+400	SCD05	18	211270,9753	3864225,7417

Table IV-3 : Tableau d'implantation des sondages carottés au niveau des remblais

PK	ESSAIS	PROFONDEUR (m)	X(UTM)	Y(UTM)
78+450	SCR02	9	214745,4328	3859401,7430
80+775	SCR03	9	215900,0000	3857399,7888

Sondage SCD05 : au niveau des déblais

- 0,00 m à 0,30m : Terre végétale.
- 0,30 m à 18,00 m : Grés jaunâtres friables intercalés par des passages d'argiles verdâtres à violacés.

De 0,00m à 8,00m



De 8,00m à 14,00m



De 14,00m à 18,00m



Sondage SCR02 : au niveau des remblais

- 0,00 m à 0,40m : Terre végétale.
- 0,40 m à 9,00m : Alternance de grés jaunâtres massifs, moyennement durs, de calcaires grisâtres durs et d'argiles vertes et rare passages de sables jaunâtres

De 0,00m à 9,00m



Sondage SCR03 : au niveau des remblais

- 0,00 m à 2,50 m : Sables rougeâtres à concrétions carbonatées ; blanchâtres ;
- 2,50 m à 9,00 m : Grés massifs beiges moyennement durs intercalés par des passages de sables.

De 0,00m à 9,00m



IV.4.2. Essais en laboratoire:

Les échantillons prélevés ont été soumis aux essais de laboratoire qui sont les suivants :

Table IV-4 : Les essais de laboratoire

Essais physiques			
Essais			**Normes**
Teneur en eau naturelle W	NF	P	94-050
Masse volumique des particules solides des sols	NF	P	94-054
Masse volumique des sols fins	NF	P	94-053
Limites d'Atterberg (WL)	NF	P	94-051 ou NF P 94-052-1
Analyse granulométrique (tamisage à sec)	NF	P	94-056
Analyse granulométrique (par sédimentométrie sédimentométrie)	NF	P	94-057
Teneur en carbonates (CaC03)	NF	P	94-048
Équivalent de sable (ES)	NF		P-18-598
Essais mécaniques			
Essais			Normes
Essai Proctor normal et modifié	NF	P	94-093
Portance CDR imbibé et immédiat	NF	P	94-078
Essais chimiques			
Essais			Normes
Analyse Chimique complète du sol			

Sondage SCD05 : au niveau des déblais

Vu la nature et l'état de récupération des matériaux au droit du sondage réalisé, seuls les essais de Résistance à la compression simple "R_c" qui ont pu être réalisés.

Table IV-5 : Les caractéristiques mécaniques figurent en annexe et sont résumées de SCD05 au niveau des déblais

Essais	Sondage	SCD,05				
M	Prof, Ech Prof,	7,10/7,30	8,50/8,80	9,50/10,00	11,15/11,40	13,30/13,60
Q	Rc , (bars)	24,68	31,90	19,82	34,81	24,71
E	γ d (T/m^3)	2,54	2,15	2,03	2,26	2,14

- Commentaires :

Les matériaux testés et leurs valeurs de "Rc" obtenues caractérisent des matériaux de bonne consistance en général. Elle reflète bien la nature compacte de la formation de grés jaunâtres rencontrée au droit du sondage.

Ils sont de classe R_4 (selon la nature), d'après le GTR [guide technique, réalisation des remblais et des couches de forme, fascicule II, annexes techniques (Juillet 2000, 2^{éme} Edition)].

Table IV-6 : Résistance à la désagrégation

Échantillon prélevé à	2,00/2,15	5,00/5,10	7,85/8,00	10,80/11,00	13,90/14,00	15,85/16,00
La composition initiale de l'échantillon en %	100	100	100	100	100	100
La masse des fractions étudiées avant essai en g	1315,23	1103,79	1363,41	765,59	1594,78	1386,72
La masse des fractions étudiées après essai en g	1356,01	608,37	-	808,69	1633,19	1386,78
La perte en % par fraction étudiée	-	44,90	-	-	-	-
La perte totale en %	-	44,90	-	-	-	-
Nombre de cycles	05					
La solution utilisée	$MgSO_4$, $7H_2O$					

Sondage SCR02 : au niveau des remblais

Table IV-7 : Les caractéristiques mécaniques de SCR02 au niveau des remblais

Essai	Sondage	SCR 02	
Mécanique	Prof	1.50/2.00	2.50/2.70
	Rc (bars)	574.3	516.6
	γ d (T/m3)	2.71	2.70

- **Commentaires :**

Les valeurs de "Rc" obtenues caractérisent des matériaux de nature dure et compacte.

Sondage SCR03 : au niveau des remblais

Vu l'état de récupération des échantillons, aucun essai n'a pu être réalisé.

- **Essais chimiques (Analyse chimique du sol) :**

CARACTERISTIQUES	SYMBOLES	UNITES	TENEURS (Prof : 2,00m)
LES SULFATES	SO_4	Mg/kg	NUL

IV.5. CLASSIFICATION DES MATERIAUX

D'après le guide technique (réalisation des remblais et des couches de forme) de SETRA/LCPC, Juillet 2000, les sols prospectés dans le corridor du projet (se référer aux tableaux : caractéristiques géotechniques des matériaux, interprétation et classification), appartiennent aux classes de sols suivantes : classe B sols sableux et graveleux avec fines.

Table IV-8 : caractéristiques géotechniques de matériau prélevé

D_{max}	Tamis à 80 U_m(%)	W (%)	W_{op}(%)	W_L(%)	ES (%)
$\leq 50\ mm$	13	10.30	9.60	24.90	9.30

IV.5.1. Classement selon la nature:

- **Paramètres de nature Premier niveau de classification :**

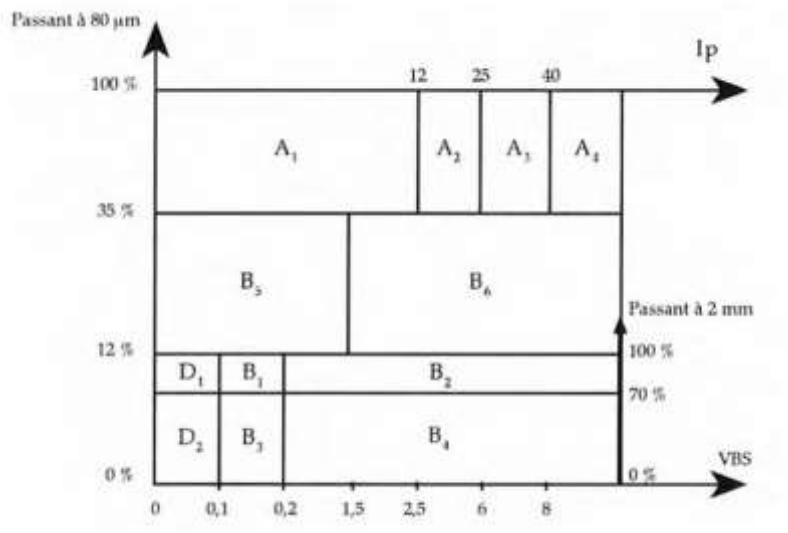


Figure IV.4

- On a un tamis à 80 Um de 13% alors, Sol de classe B (Sols sableux et graveleux avec fines)

- **Paramètres de nature Deuxième niveau de classification :**

  ES = 9.30 ≤ 35

- **Sous classe fonction de la nature :**
  B2 Sables argileux (peu argileux).

- **Caractères principaux :**

La plasticité de leurs fines rend ces sols sensibles à l'eau. Leur temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est court, tout en pouvant varier assez largement (fonction de perméabilité). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe et mis en dépôt provisoire, ils conservent un état hydrique "humide" à "très humide" ; il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir "moyen". Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (friabilité des sables FS).

IV.5.2. Classement selon l'état hydrique :

- **Paramètres et valeurs de seuils retenus :**

$$0.9W_{OPN} \leq W_n \leq 1.10W_{OPN} \quad \rightarrow \quad 0.9 \times 9.6 \leq 10.30 \leq 1.10 \times 9.6$$

$$\mathbf{8.64 \leq 10.30 \leq 10.56}$$

- **Sous classe : B2m**

IV.5.3. Classement selon le comportement:

- Paramètres et valeurs de seuils retenus :
  FS ≤ 60 : B21 m

Table IV-9 : Tableau de classification de matériaux de puit.

Nature de sol	Classe GTR	
Grés ciment calcaire	**B2**	**B2m**

IV.6. CLASSIFICATION GTR DES SOLS

D'après le guide technique (réalisation des remblais et des couches de forme) de SETRA/LCPC, Juillet 2000, les sols prospectés dans le corridor du projet, appartiennent aux classes de sols suivantes : classe B sols sableux et graveleux avec fines et classe R sols rocheux.

Table IV-10 : Tableau de classification des matériaux des sondages carottés des déblais

Sondage	SCD5	SCR2	SCR3
Classification (GTR)	R_4	R_4	R_4

Remarque : Le taux de déblai réutilisable en remblai dans le cadre de notre projet est estimé à 80 %, ce qui permet une optimisation des matériaux excavés et une réduction des apports extérieurs.

IV.7. EXTRACTION DES DEBLAIS

Les moyens d'extraction des déblais sont tributaires de la nature géologique et des caractéristiques mécaniques des sols en place, tels que résumés dans le tableau ci-dessous :

Table IV-11 : Moyens d'extraction des matériaux

Nature géologique	Moyen d'extraction
Alternance de grès et argiles jaunâtres	Engins traditionnels (pelle et défonceuse) Les passées gréseuses seront extraites Moyennant des brises roches
Argile feuilletée	Pelle et défonceuse
Grès massifs	Brise roche
Calcaires cristallins durs	Brise roche ou explosif (terrain rocheux)
Marne argileuse et marne	Pelle et défonceuse

IV.8. APPROVISIONNEMENT EN MATERIAUX POUR REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

Les remblais doivent être réalisés à partir de matériaux issus soit des déblais du projet, soit de carrières.
La recherche et la sélection des carrières potentielles ont été synthétisées :

IV.8.1. Les carrières de Sidi Boubaker :

IV.8.1.1. Fiche d'identification carrière

Table IV-12 : Fiche d'identification carrière SARL Ouled Ouali

Localisation	La carrière se trouve à l'Ouest de la ville de Sidi Boubaker wilaya de Saida
Entreprise	S.A.R.L Oulad Ouali Brahim carrière
Accès	A partir de la ville de Sidi Boubaker
Distance par rapport au tracé	Environ 25 Km à vol d'Oiseau
Superficie ou réserve	30 Ha
Capacité de production	500Tonne/Heure
Nature	Calcaire micritique dolomitisé
Age	Jurassique
Géologie du gisement	Le gisement appartient à la formation des Dolomies de Tlemcen, formé par des bancs de dolomies cristallines fracturées, grisâtres massifs, durs.

IV.8.1.2. Fiche technique des granulats :

Table IV-13 : Fiche technique des granulats

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenus
Analyse granulométrique NFP18-560	15/25 8/15	Classe Granulaire : 15/25 Classe Granulaire : 8/15
Essai de propreté NFP18-591	15/25 8/15	P = 1,5 % P= 1 %
Poids spécifiques absolus NF EN 933-6	15/25 8/15 3/8	Y abs= 2.70 t/m3 Y abs= 2.67 t/m3 Y abs= 2.72 t/m3
Coefficient d'aplatissement NFP18-561	15/25 8/15	A = 15% A = 14%
Essai Los-Angeles NFP18-573	15/25	LA = 21 %
Essai Micro-Deval NFP18-572	15/25	MDE = 17 %

IV.8.1.3. Classification GTR de matériaux pour remblais :

- Classement selon la nature :

Roches sédimentaires : R2 → Calcaires rocheux divers

- Caractères principaux :

Cette classe regroupe les matériaux calcaires rocheux, généralement stables et adaptés aux remblais. Leur principal défaut est la friabilité, pouvant, en couche de forme, générer des fines sensibles à l'eau sous trafic, surtout pour les roches les plus fragmentables.

- Classement selon l'état hydrique et le comportement :

Paramètres et valeurs seuils retenus :
MDE = 17 ≤ 45
Sous-classe : calcaire dur → R21

IV.8.1.4. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

Le sol **R_{21}** appartient à la catégorie des **matériaux rocheux sains**, reconnus pour leur **insensibilité à l'eau**, ce qui les rend parfaitement adaptés à une utilisation en remblai **quelle que soit la situation météorologique** (conditions sèches, humides ou normales). Leur emploi est conditionné par deux exigences techniques : d'une part, il est nécessaire de **retirer les éléments de taille supérieure ou égale à 800 mm** (codé G), et d'autre part, un **compactage moyen** est requis (codé C) pour garantir une bonne stabilité du remblai. Ces matériaux présentent un bon comportement mécanique et ne posent généralement pas de contraintes particulières en termes de sensibilité à l'eau ou de compacité, ce qui les rend fiables pour les projets de terrassement.

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
R21	Matériaux rocheux sains Ces matériaux habituellement insen sibles à l'eau, sont utilisables en rem blais quelles que soient les conditions météorologiques	++ + = Ou -	toutes conditions météorologiques	G : élimination des éléments ≥ 800 mm C : compactage moyen	0 1 0 0 0 2 0

IV.8.2. Approvisionnement en matériaux pour couche de forme :

IV.8.2.1. Fiche d'identification du gîte :

Table IV-14 : Fiche d'identification du gîte

Localisation	1 km à l'Est de Makedra
Accès	à partirdela RN13 menant à Sidi Bel Abbes et à environ 400 m de Makedra;une piste carrossable conduit au gisement.
Distance par rapport au tracé	Environ 38 Km à vol d'Oiseau
Superficie ou réserve	Non disponible
Capacité de production	Non disponible
Nature	Tufs calcaires
Age	Miocène supérieur (Messénien)
Géologie du gisement	Tufs calcaires (calcaires à lithothamniées et algues) pulvérulents blanchâtres à beiges, par endroits, jaunâtres.

Dans le cadre de la réalisation des couches de forme de la chaussée, le matériau sélectionné provient du **gîte d'emprunt situé à 1 km à l'est de Makedra**. Ce gisement renferme un **tuf calcaire d'origine miocène supérieur (Messénien)**, composé de **calcaires à lithothamniées et algues**, de teinte blanchâtre à beige, localement jaunâtre.

Les résultats des essais géotechniques réalisés sur ce matériau confirment son **aptitude à être utilisé en couche de forme**, notamment grâce à :

- Une **courbe granulométrique continue** avec seulement **16 % d'éléments < 80 µm**, favorable au compactage ;
- Une **densité sèche maximale (γd OPM)** de **2,24 t/m³** et une **teneur en eau optimale (W OPM)** de **8,20 %** ;
- Une **portance élevée** avec un **CBR immédiat de 126,9 %**, garantissant une bonne résistance sous trafic ;
- Une **faible sensibilité à l'eau**, comme l'indiquent le **CBR imbibé (45,1 %)** et l'**indice de plasticité modéré (8,90 %)**.

Par ailleurs, la richesse en **carbonate de calcium ($CaCO_3$)** supérieure à 88 % témoigne d'un matériau **propre, stable et chimiquement compatible** avec une utilisation routière. Ce choix permet ainsi d'assurer à la fois la **qualité technique** des couches de forme et une **optimisation de l'approvisionnement local**.

IV.9. STABILITE DES TALUS

Le tronçon concerné par cette étude présente une alternance marquée de remblais et de déblais, conséquence directe des contraintes topographiques et géotechniques rencontrées lors de l'implantation du tracé autoroutier en zone vallonnée. Ces conditions imposent la réalisation de terrassements de grande envergure, impliquant des hauteurs significatives et des pentes parfois abruptes. Dans ce contexte, l'analyse de la stabilité des talus, qu'il s'agisse de remblais ou de déblais, s'avère indispensable afin de prévenir tout risque de glissement ou de déformation susceptible de compromettre la sécurité de l'ouvrage et des usagers. Cette étude vise donc à évaluer le comportement mécanique des talus projetés, en tenant compte des caractéristiques géotechniques des sols en place, des conditions hydrogéologiques, ainsi que des charges induites par les aménagements, dans le but de proposer des solutions techniques fiables et durables.

IV.9.1. Analyse de la stabilité des remblais et déblais :

Les calculs à la rupture consistent à modéliser un glissement de terrain comme la séparation d'une masse instable par rapport au massif stable, le long d'une surface de rupture bien définie. Pour évaluer la stabilité des talus à l'aide des méthodes d'équilibre limite, on distingue principalement deux approches : les méthodes linéaires et non linéaires.
Les méthodes linéaires permettent un calcul direct du facteur de sécurité (FS) en identifiant les forces déstabilisatrices et stabilisatrices agissant sur la masse glissante. Le coefficient de sécurité est ensuite déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\mathbf{F_s = \frac{F_{resistant}}{F_{motrice}}}$$

IV.9.2. Présentation du logiciel Geo Structural Analysis – Slopes Stability

Le logiciel **Geo Structural Analysis – Slopes Stability** est un outil dédié à l'analyse de la stabilité des pentes, que ce soit en remblai ou en déblai. Il est basé sur les méthodes d'équilibre limite, permettant d'évaluer le **facteur de sécurité (FS)** pour différents types de surfaces de rupture (circulaires ou non circulaires).

Ce logiciel offre plusieurs fonctionnalités pratiques, notamment :

- La **modélisation géométrique** précise des talus et couches de sol.
- L'intégration des **paramètres géotechniques** issus des essais (cohésion, angle de frottement interne, poids volumique, etc.).
- La **prise en compte des effets sismiques** dans les calculs.
- Le choix entre différentes méthodes de calcul, telles que **Fellenius**, **Bishop simplifié**, ou **Janbu** ;
- Une **interface conviviale** qui permet de visualiser les surfaces de glissement les plus critiques.

Grâce à cet outil, l'utilisateur peut effectuer des analyses rapides et fiables pour vérifier la stabilité des talus et proposer des solutions en cas d'instabilité.

IV.9.3. Facteurs de sécurité admissibles

Table IV-15 : Facteurs de sécurité admissibles pour un talus d'autoroute

Condition de calcul	Facteur de sécurité (FS) admissible	Références
Stabilité à long terme (statique)	≥ **1,50**	SETRA–LCPC, Eurocode 7, RSTP Algérie
Stabilité en condition sismique	≥ **1,20 – 1,30**	Eurocode 8, RPA Algérie (selon zone sismique)
Talus provisoire en phase chantier	≥ **1,30**	Recommandations FNTP, Circulaires techniques

IV.9.4. Le paramètre sismique

Le paramètre sismique constitue un facteur déterminant dans le calcul des structures à long terme. Ainsi, la sismicité de la zone du projet doit être évaluée conformément aux **Règles Parasismiques Algériennes RPA 99 / version 2003**.

Le projet de liaison autoroutière doit être classé dans l'un des quatre groupes définis par cette réglementation.

- **Groupe 1A :** Ouvrages d'importance vitale.
- **Groupe 1B :** Ouvrages de grande importance.
- **Groupe 2** : Ouvrages courants ou d'importance moyenne.
- **Groupe 3** : Ouvrages de faible importance.

Table IV-16 : Les zones sismique d'après le RPA 99/version 2003

Zone		Sismicité
0		Négligeable
I		Faible
II	**II a**	Moyenne
	II b	
III		Elevée

- La wilaya de Sidi Bel Abbès se situe en zone I, correspondant à une sismicité faible, selon le zonage défini par le RPA 99 / version 2003.
- Le projet étant un ouvrage de grande importance, il est classé dans le **Groupe 1B**

Table IV-17 : Accélérations sismiques selon les groupes d'ouvrages et les zones

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

- Le coefficient d'accélération à prendre en compte est **A = 0,12**.

Avec :

- $k_h = 0{,}5 \times A = 0.5 \times 0.12 = 0.06$ (forces horizontales).
- $k_v = \pm 0{,}3\, k_h = 0.3 \times 0.06 = 0.018$ (forces verticales).

IV.9.5. Étude de la stabilité du déblai :

L'inclinaison des talus en déblai a été choisie en fonction de plusieurs critères, notamment la hauteur du déblai, la nature du sol, sa résistance, ainsi que la stabilité à long terme. Dans cette partie, on s'intéresse au cas le plus défavorable, à savoir un déblai de **10.79 m** de hauteur situé au **PK 72+725**.

Pour évaluer la stabilité de ce talus, les hypothèses suivantes ont été prises :

- Le talus a une pente de **2H/1V**.
- Les surfaces de glissement sont supposées **circulaires**.
- L'**effet sismique** a été pris en compte dans le calcul.

Les paramètres géotechniques utilisés proviennent des résultats des essais effectués sur le terrain et en laboratoire, ainsi que de l'expérience tirée des travaux réalisés.

Remarque :

La stabilité a été vérifiée pour les profils présentant une hauteur de talus supérieure à 10 mètres, et dans certains cas, pour des hauteurs légèrement inférieures.

IV.9.5.1. Résultats obtenus à partir des sondages carottés pour le déblai:

Ce profil est localisé au PK suivant, et leur caractéristique géotechnique impliquées dans le calcul de stabilité sont insérées dans le tableau ci-après :

Table IV-18 : caractéristique géotechnique de déblai.

PK	Hauteur (m)	Nature de sol	γ (KN/m³)	φ °	C (KPa)
72+725	10.79	Grés massif friable	20	30	22

N.B : Aucune présence d'eau n'a été signalée par le laboratoire LTPO lors des forages.

IV.9.5.2. Application sur logiciel :

La pente des talus est de 2H/1V avec une berme de 3m chaque 5m de hauteur.

- **SITUATION PERMANENTE :**

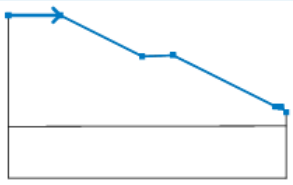
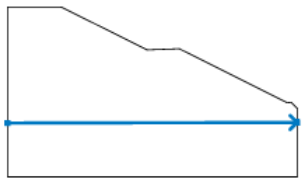
N°	Placement de l'interface	Coordonnées des points de l'interface [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	10,81	5,00	10,81	13,00	6,81
		16,00	6,93	26,00	1,93	26,50	1,89
		27,00	1,39				
2		0,00	0,00	27,00	0,07		

Figure IV.5 : Interface (déblai).

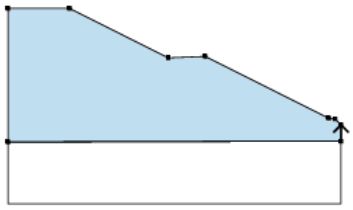
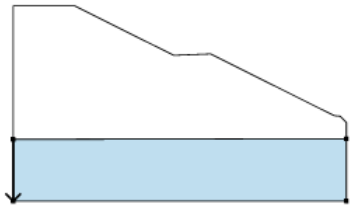
N°	Placement de la surface	Coordonnées des points de la surface [m]				Sol assigné
		x	z	x	z	
1		27,00	0,07	27,00	1,39	GRES
		26,50	1,89	26,00	1,93	
		16,00	6,93	13,00	6,81	
		5,00	10,81	0,00	10,81	
		0,00	0,00			
2		0,00	0,00	0,00	-5,00	GRES
		27,00	-5,00	27,00	0,07	

Figure IV.6 : Assignation et surfaces (déblai).

Paramètres de la surface de glissement							
Centre :	x =	21,11	[m]	Angles :	α_1 =	-52,13	[°]
	z =	26,50	[m]		α_2 =	12,88	[°]
Rayon :	R =	25,56	[m]				
Surface de glissement après l'optimisation.							

Le poids total du sol au-dessus de la surface de cisaillement: 1896.81 kN/m

Figure IV.7 : Surface de glissement circulaire (déblai).

Vérification de la stabilité de pente (Bishop) :



Figure IV.8 : Résultat de logiciel cas statique déblai.

$$\mathbf{F_s = 2.50 > 1.5}$$

La condition de stabilité est vérifiée.

- **SITUATION SISMIQUE :**

Remarque : Les interfaces, assignation et surfaces sont les mêmes.

Paramètres de la surface de glissement						
Centre :	x =	20,88	[m]	Angles :	α_1 =	-52,92 [°]
	z =	25,90	[m]		α_2 =	13,70 [°]
Rayon :	R =	25,03	[m]			
Surface de glissement après l'optimisation.						

Le poids total du sol au-dessus de la surface de cisaillement: 1941,85 kN/m

Figure IV.9 : Surface de glissement circulaire (déblai).

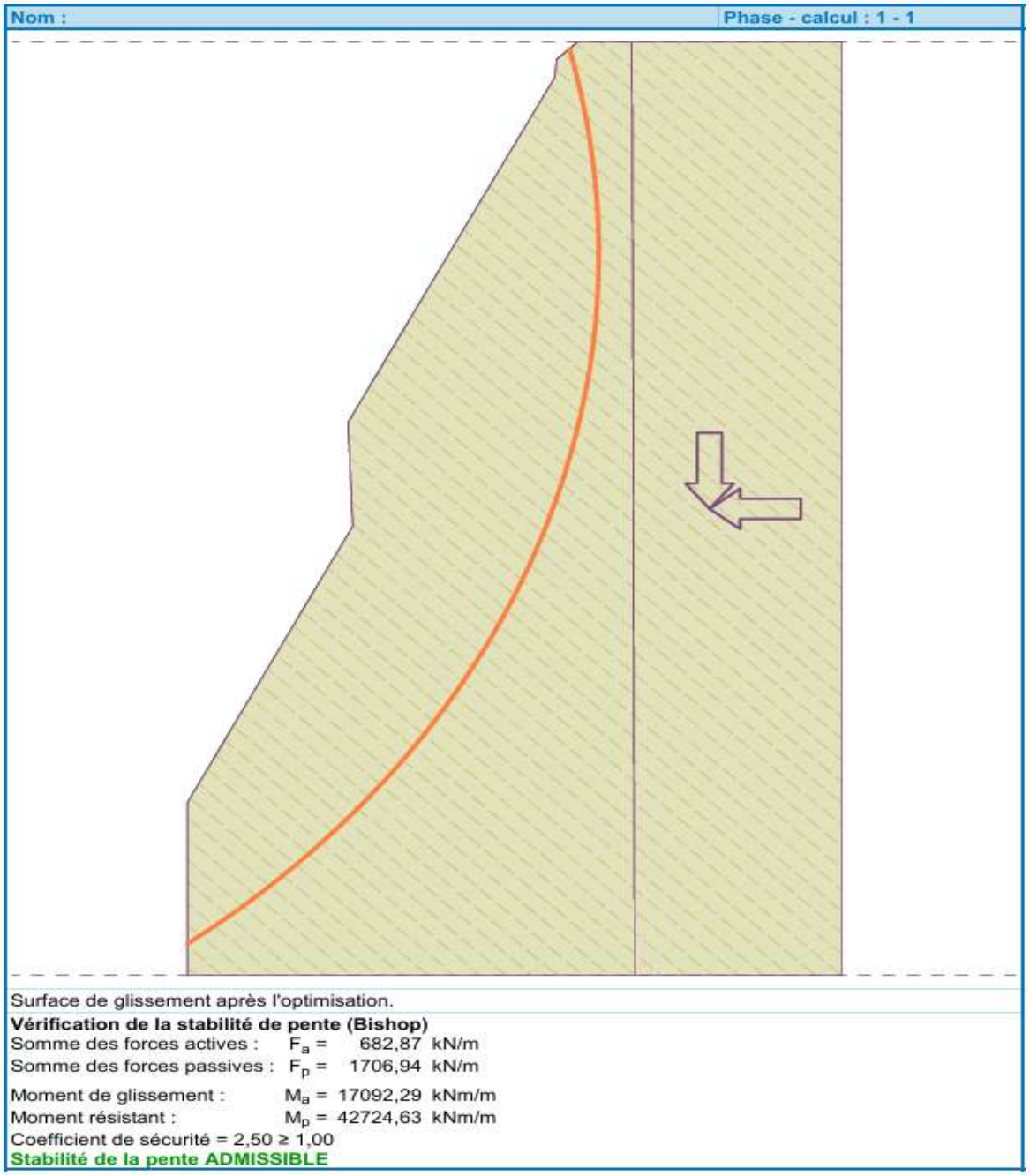


Figure IV.10 : Résultat de logiciel cas dynamique déblai.

$\mathbf{F_s = 2.50 > 1.5}$ **,** La condition de stabilité est vérifiée.

IV.9.6. Étude de la stabilité de remblai :

L'analyse de stabilité concerne un **remblai de 9,48 m** situé au **PK 79+125**. Son inclinaison a été fixée à **2H/1V**, en tenant compte de la nature des matériaux, de leur compacité et de la stabilité à long terme.

Les hypothèses de calcul supposent des **surfaces de glissement circulaires** et prennent en compte **l'effet sismique**.

IV.9.6.1. Résultats obtenus à partir des sondages carottés pour le remblai:

PK	Essais	Hauteur (m)	Nature de sol	γ (KN/m3)	φ °	C (KPa)
PK 79+125	SCR02	9.48	Remblai	20	30	5
			Grés massifs, moyennement durs	20	28	20
			Calcaires durs	20	30	24

IV.9.6.2. Application sur logiciel :

La pente des talus est de 2H/1V avec une berme de 3m chaque 8m de hauteur.

- **SITUATION PERMANENTE :**

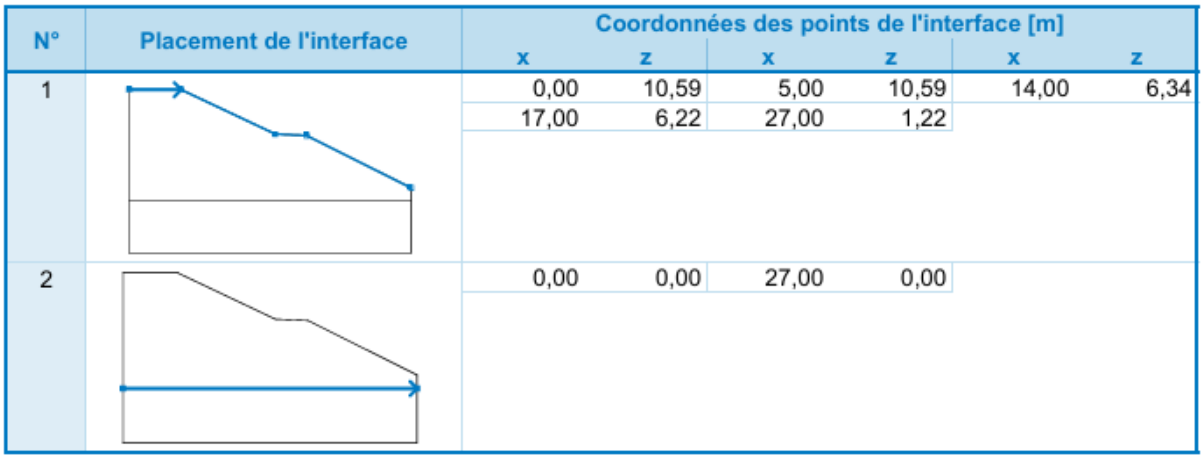


Figure IV.11 : Interface (remblai).

N°	Echantillon	Nom du sol	γ [kN/m³]	φef [°]	cef [kPa]
1		REMBLAI	20,00	30,00	5,00
2		GRES	20,00	30,00	22,00

Figure IV.12 : Paramètres des sols – état de contraintes effectives.

N°	Echantillon	Nom du sol	γsat [kN/m³]	γs [kN/m³]	n [-]
1		REMBLAI	20,00		
2		GRES	20,00		

Figure IV.13 : Paramètres des sols – soulèvement hydraulique.

N°	Placement de la surface	Coordonnées des points de la surface [m]				Sol assigné
		x	z	x	z	
1		27,00	0,00	27,00	1,22	REMBLAI
		17,00	6,22	14,00	6,34	
		5,00	10,59	0,00	10,59	
		0,00	0,00			
2		0,00	0,00	0,00	-5,00	GRES
		27,00	-5,00	27,00	0,00	

Figure IV.14 : Assignation et surfaces (remblai).

Paramètres de la surface de glissement							
Centre :	x =	26,39	[m]	Angles :	α_1 =	-43,20	[°]
	z =	35,55	[m]		α_2 =	0,71	[°]
Rayon :	R =	34,24	[m]				
Surface de glissement après l'optimisation.							

Le poids total du sol au-dessus de la surface de cisaillement: 1084,64 kN/m

Figure IV.15 : Surface de glissement circulaire (remblai).

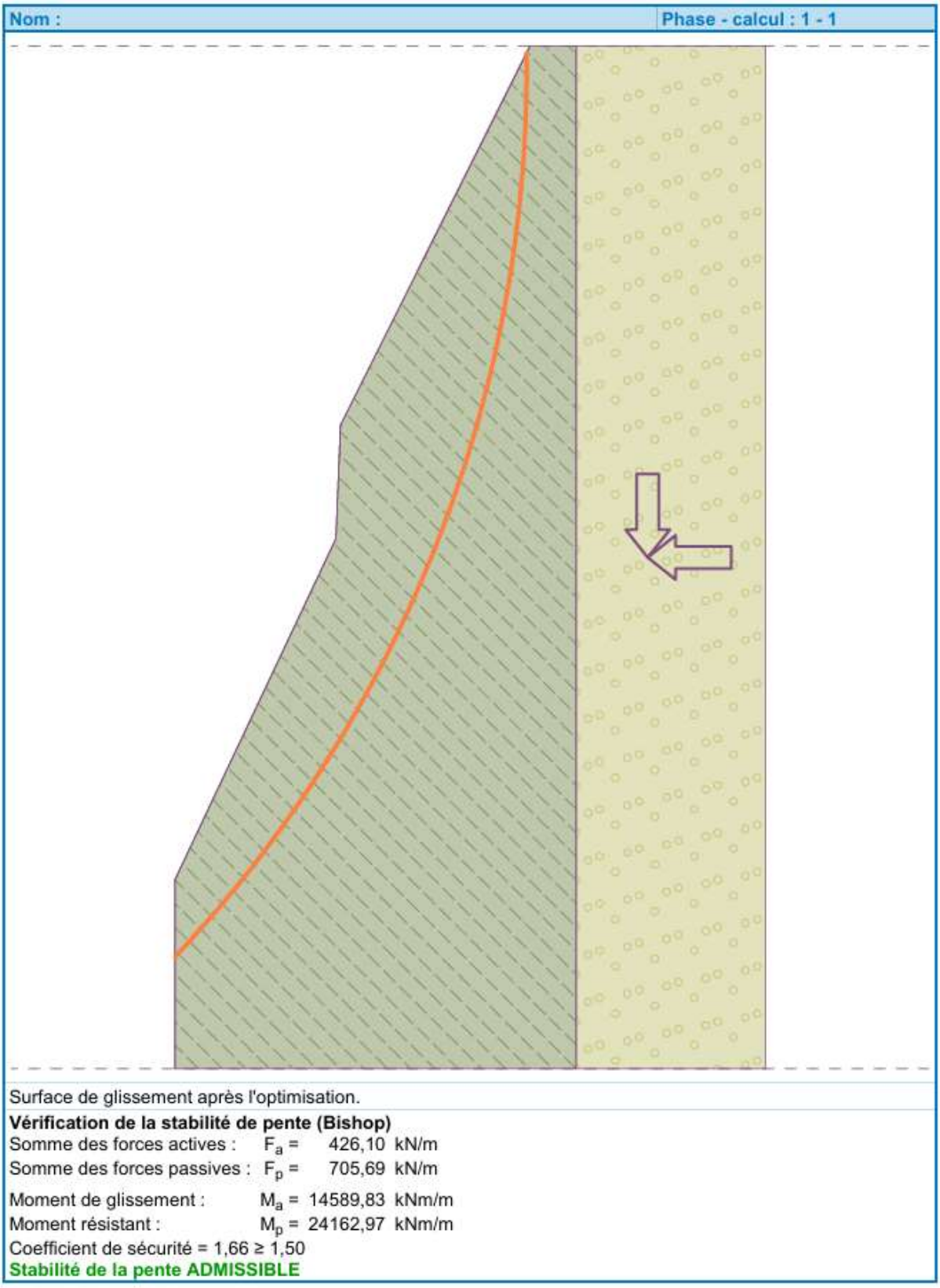


Figure IV.16 : Résultat de logiciel cas statique remblai.

$\mathbf{F_s = 1.66 > 1.5}$ **,** La condition de stabilité est vérifiée.

- **SITUATION SISMIQUE :**

Toutes les données sont les mêmes.

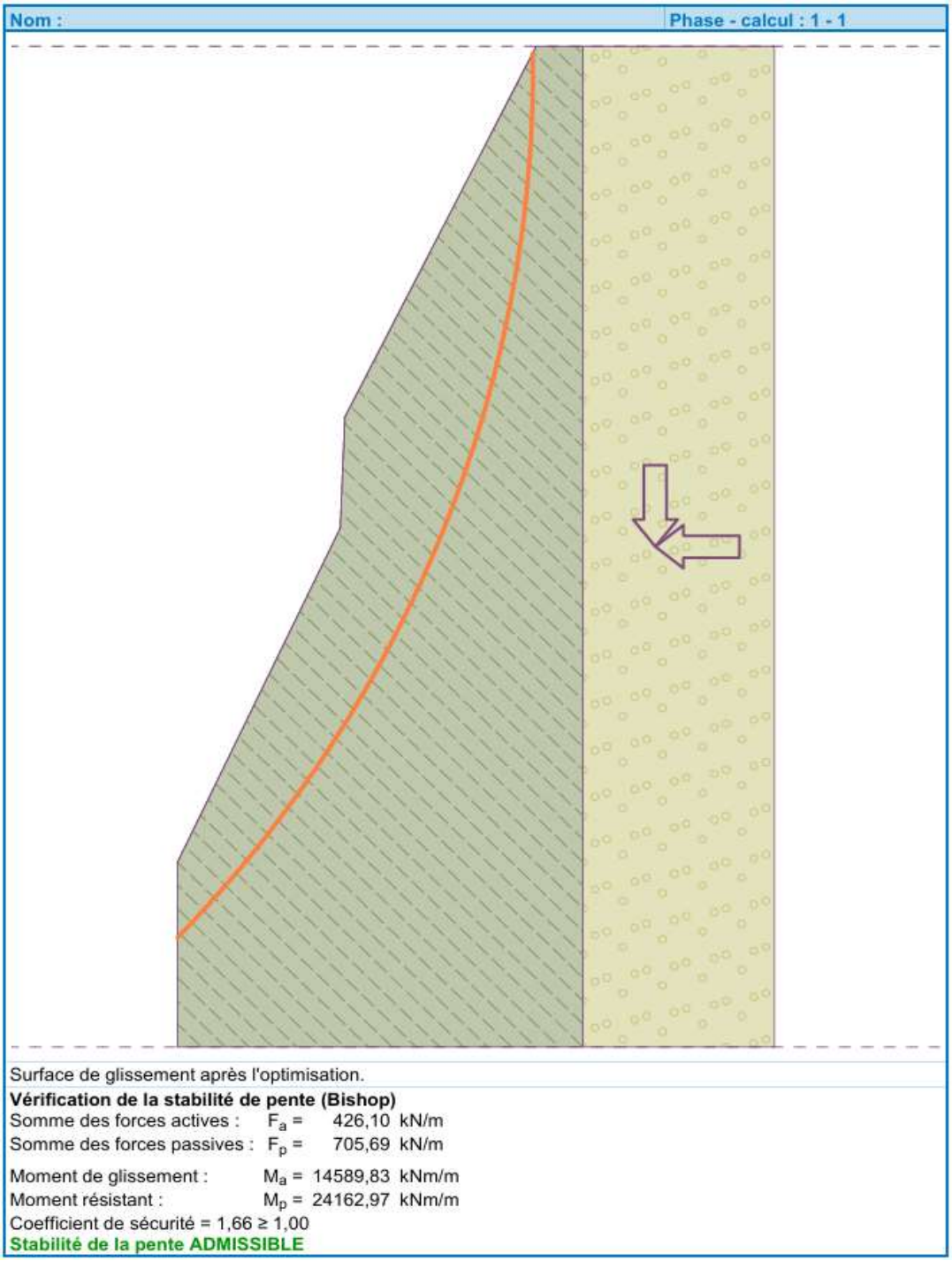


Figure IV.17 : Résultat de logiciel cas dynamique remblai.

$\mathbf{F_s = 1.66 > 1}$, La condition de stabilité est vérifiée.

IV.10. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons classé le sol selon le GTR, puis vérifié la stabilité des talus en déblai et en remblai. Les résultats confirment que toutes les conditions de stabilité sont respectées conformément aux normes, assurant ainsi la sécurité du projet.

CHAPITRE V :
DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

V.1. INTRODUCTION

Lors de la conception d'un projet routier, le dimensionnement de la structure de chaussée constitue une étape essentielle. Il s'agit de choisir des matériaux adaptés aux exigences mécaniques du projet et de définir avec précision l'épaisseur des différentes couches de la chaussée afin d'assurer sa résistance aux charges tout au long de sa durée de vie. Ce dimensionnement repose principalement sur trois critères fondamentaux : le niveau de trafic, les conditions climatiques, et la nature du sol porteur.

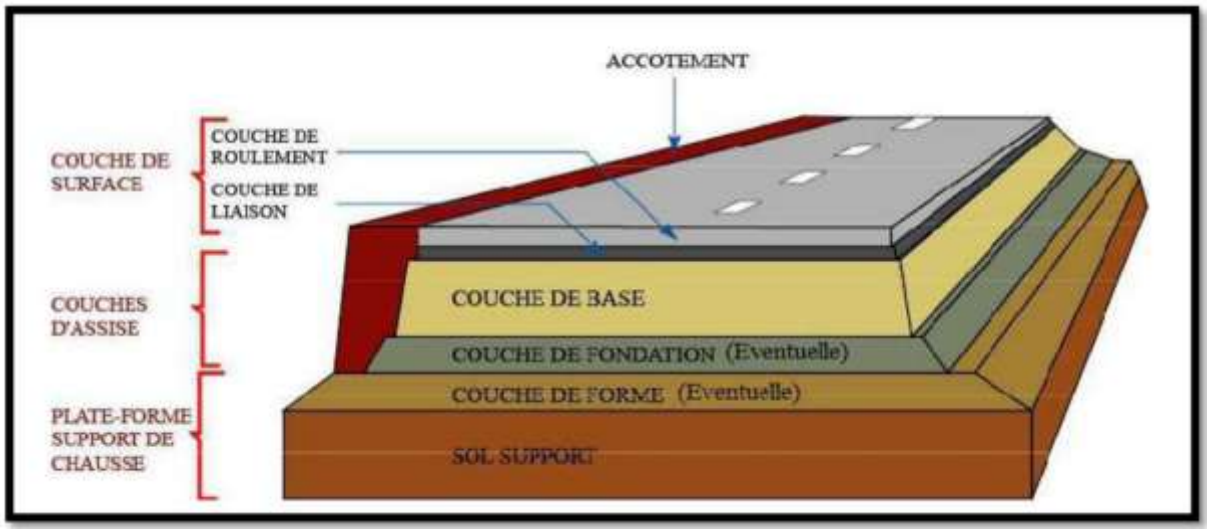


Figure V.1 : Coupe transversale d'une chaussée

V.2. LES CHAUSSEES

V.2.1. Chaussée souple :

La chaussée souple est constituée principalement de **matériaux granulaires** (sols et pierres concassées à granulométrie étalée ou serrée) associés à des **liants hydrocarbonés** qui assurent la cohésion en créant des liaisons souples entre les granulats.

Elle se compose généralement de **quatre couches successives** :

V.2.1.1. Couche de roulement

C'est la couche supérieure, directement exposée au **trafic** et aux **intempéries**. Elle joue un rôle essentiel en absorbant les efforts de cisaillement causés par la circulation. Ses fonctions principales sont :

- **Imperméabiliser** la chaussée pour protéger les couches inférieures,
- Assurer la **sécurité** grâce à une bonne adhérence,
- Offrir un **confort de conduite** (réduction du bruit et bonne planéité).

V.2.1.2. Couche de base

Située sous la couche de roulement, elle résiste aux **déformations permanentes** et transmet les **contraintes verticales** vers les couches inférieures. Elle répartit les charges issues du trafic de manière uniforme.

V.2.1.3. Couche de fondation

Elle contribue à la **portance** générale de la chaussée et offre une base stable et régulière. Elle a des fonctions similaires à celles de la couche de base.

V.2.1.4. Couche de forme (facultative selon les cas)

- **À court terme** : Elle assure la **circulation des engins de chantier**, facilite le compactage des couches supérieures, protège la plateforme contre les aléas climatiques et garantit le **nivellement** nécessaire.
- **À long terme** : Elle homogénéise la **portance** du sol support, stabilise les variations d'humidité, améliore les performances mécaniques de la plateforme et **optimise le coût** global de la structure.

V.2.2. Chaussée semi-rigide

Elle constitue un **compromis** entre la chaussée souple et rigide. Elle combine la souplesse des liants hydrocarbonés avec une certaine rigidité apportée par des matériaux traités, offrant ainsi **meilleure durabilité** et résistance.

V.2.3. Chaussée rigide

Elle est composée d'une **dalle en béton de ciment Portland**, reposant sur un sol compacté, une fondation en matériaux concassés, ou une **fondation stabilisée**. Cette dalle fléchit de manière **quasi-élastique** sous l'effet des charges, assurant une grande **longévité** et une résistance élevée aux fortes sollicitations.

V.3. METHODES DE DIMENSIONNEMENT

V.3.1. METHODE C.B.R (CALIFORNIEN- BEARING- RATIO):

La méthode C.B.R (California Bearing Ratio) est une méthode semi-empirique qui permet d'évaluer la portance d'un sol en mesurant sa résistance à la pénétration. Elle est utilisée pour dimensionner les épaisseurs des différentes couches de la chaussée.

L'épaisseur totale du corps de chaussée à réaliser est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$E_{eq} = e = \frac{100 + \sqrt{p}.(75 + 50\log\left(\frac{N}{10}\right))}{ICBR + 5}$$

- **e :** épaisseur équivalente.
- **ICBR :** indice CBR (sol support).
- **N :** désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide.
- **P :** charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t).

- La notion d'épaisseur équivalente permet de prendre en compte les caractéristiques mécaniques de chaque couche. Elle correspond à l'épaisseur réelle multipliée par un coefficient « a », appelé coefficient d'équivalence. L'épaisseur équivalente totale de la chaussée est ainsi obtenue en additionnant celles des différentes couches.

$$E_{eq} = e = \sum a_i \,.e_i = a_1 \,.e_1 + a_2 \,.e_2 + a_3 \,.e_3$$

- $\boldsymbol{a_i}$ **:** coefficient d'équivalence attribué à chaque matériau utilisé.
- $\boldsymbol{e_i}$ **:** épaisseur réelle correspondant à chaque couche.

Les valeurs courantes du coefficient d'équivalence en fonction des matériaux utilisés sont présentées dans le tableau suivant :

Table V-1 : les coefficients d'équivalence pour chaque matériau

MATERIAUX UTILISES	COEFFICIENT D'EQUIVALENCE a_i
Béton bitumineux BB ou enrobé dense	**2.00**
Grave ciment – grave laitier	**1.50**
Sable ciment	**1.00 à 1.20**
Grave concassée GNT ou gravier	**1.00**
Tuf	**0.7 à 0.8**
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	**0.75**
Sable	**0.50**
Grave bitume GB	**1.20 à 1.70**

V.3.1.1. Application au projet :

Données de projet :

Le trafic à l'année 2022 TJMA_{2022}	**7650 v/j/sens**
Le pourcentage de poids lourds Z	**27.4 %**
ICBR	**9.4**
L'année de mise en service	**2028**
Durée de vie de la chaussée	**20 ans**
P	**6.5 t**
TJMA_{2048}	**18711.57 v/j/sens**

1- Calcul le nombre de poids lourds :

La répartition transversale du trafic est : Pour une Chaussée unidirectionnelles à 2 voies : 90 % du trafic PL sur la voie lente de droite.

$N = TJMA_{2048} \times Z \times 0.5 \times x(\%)$ tel que : $x(\%) = 90(\%)$

$$N = 18711.57 \times 0.274 \times 0.5 \times 0.9$$

$$\boldsymbol{N = 2307.13\ \frac{PL}{J}\ /sens}$$

2- Calcul de l'épaisseur équivalente :

$$E_{eq} = e = \frac{100 + \sqrt{p}.(75 + 50\log\left(\frac{N}{10}\right))}{ICBR + 5}$$

$$E_{eq} = e = \frac{100 + \sqrt{6.5}.(75 + 50\log\left(\frac{2307.13}{10}\right))}{9.4 + 5}$$

$$E_{eq} = e = 41.14\ cm$$

Donc on prend

$$\mathbf{E_{eq} = e = 42\ cm}$$

- Pour proposer le dimensionnement de la structure de la chaussée, il faut résoudre l'équation suivante : $a_1 . e_1 + a_2 . e_2 + a_3 . e_3 = 42\ cm$

↳ $\boldsymbol{a_1 . e_1}$**: couche de roulement.**

↳ $\boldsymbol{a_2 . e_2}$**: couche de base.**

↳ $\boldsymbol{a_3 . e_3}$**: couche de fondation.**

- Pour le calcul des épaisseurs réelles $\boldsymbol{e_1}$, $\boldsymbol{e_2}$ et $\boldsymbol{e_3}$ on fixe les épaisseurs $\boldsymbol{e_1}$, $\boldsymbol{e_2}$ et On calcul l'épaisseur $\boldsymbol{e_3}$:

On adopte une **épaisseur e_1 = 6 cm** pour la couche en **béton bitumineux (BB)**

→ Coefficient d'équivalence **a_1 = 2**

→ Épaisseur équivalente **$Eeq_1 = 6 \times 2 = 12$ cm**

On adopte une **épaisseur e_2 = 10 cm** pour la couche en **grave bitume (GB)**

→ Coefficient d'équivalence **a_2 = 1.5**

→ Épaisseur équivalente **$Eeq_2 = 10 \times 1.5 = 15$ cm**

L'épaisseur totale équivalente requise est de **42 cm**

On déduit donc l'épaisseur équivalente restante pour la couche en **grave non traitée (GNT)** :

→ **$Eeq_3 = 42 - (Eeq_1 + Eeq_2) = 42 - (12 + 15) = 15$ cm**

Étant donné que le **coefficient d'équivalence a_3 = 1** pour la GNT,

→ L'épaisseur réelle de la couche e_3 = **15 c**

Table V-2 : les épaisseurs des couches de matériaux

Couche	Épaisseur réelle (cm)	Matériau utilisé	Coefficient d'équivalence (a)	Épaisseur équivalente (Eeq) (cm)
Couche de roulement (e1)	6	BB (béton bitumineux)	2	12
Couche de base (e2)	10	GB (grave bitume)	1.5	15
Couche de fondation (e3)	15	GNT (grave non traitée)	1	15
Total	31	—	—	**42**

- Détermination de la classe de portance du sol *:*

Le sol doit être classé selon la valeur du CBR; ainsi, les classes de portance sont données dans le tableau suivant:

Classe du sol	Indices C.B.R
S1	25 – 40
S2	10 – 25
S3	**5 – 10**
S4	< 5

ICBR = 9.4.

- Le sol en place est classé **S3** selon le **classement CBR**, ce qui correspond à un **sol de mauvaise portance**.
- Pour améliorer la portance du terrain et atteindre une **classe S2**, il est nécessaire d'ajouter une **couche de forme**.
- Cette couche de forme sera réalisée avec **40 cm de matériaux non traités (MNT)**.

L'objectif est de renforcer la structure de la chaussée en améliorant les caractéristiques mécaniques du sol support.

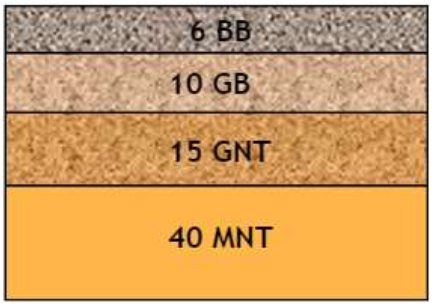


Figure V.2 : Structure du corps de chaussée selon méthode C.B.R

V.3.2. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

➢ **Description de la méthode**

La méthode de dimensionnement par **catalogue** repose sur les mêmes paramètres fondamentaux que les autres méthodes de dimensionnement des chaussées, à savoir :

- Le **trafic**,
- Les **caractéristiques des matériaux**,
- La **nature du sol support**, et les **conditions environnementales**.

Ces paramètres constituent généralement les **données d'entrée** du dimensionnement. En fonction de leur combinaison, on détermine la structure de chaussée la plus adaptée.

La méthode catalogue appliquée aux chaussées neuves est dite **rationnelle**, car elle repose sur deux types d'approches complémentaires :

- Une **approche théorique**,
- Et une **approche empirique**.

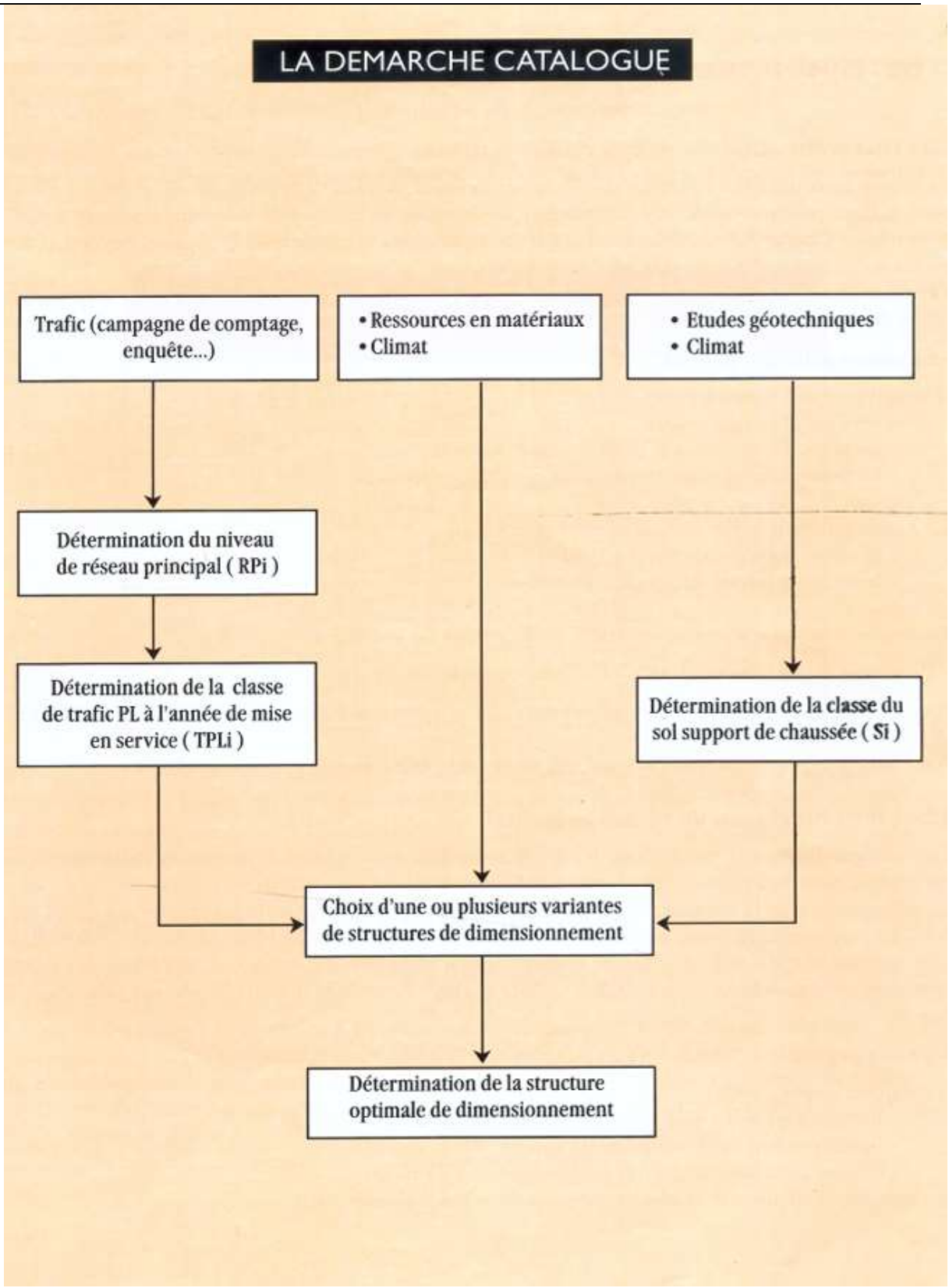


Figure V.3 : Démarche du catalogue de chaussée neuve

V.3.2.1. DESCRIPTION DE LA METHODE PAR APPLICATION AU PROJET :

1- Les données climatiques :

- **Classification de la zone d'étude :**

D'après la carte des zones climatiques de l'Algérie, le tracé de notre projet, situé dans les **wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda**, se trouve en **zone climatique II**.

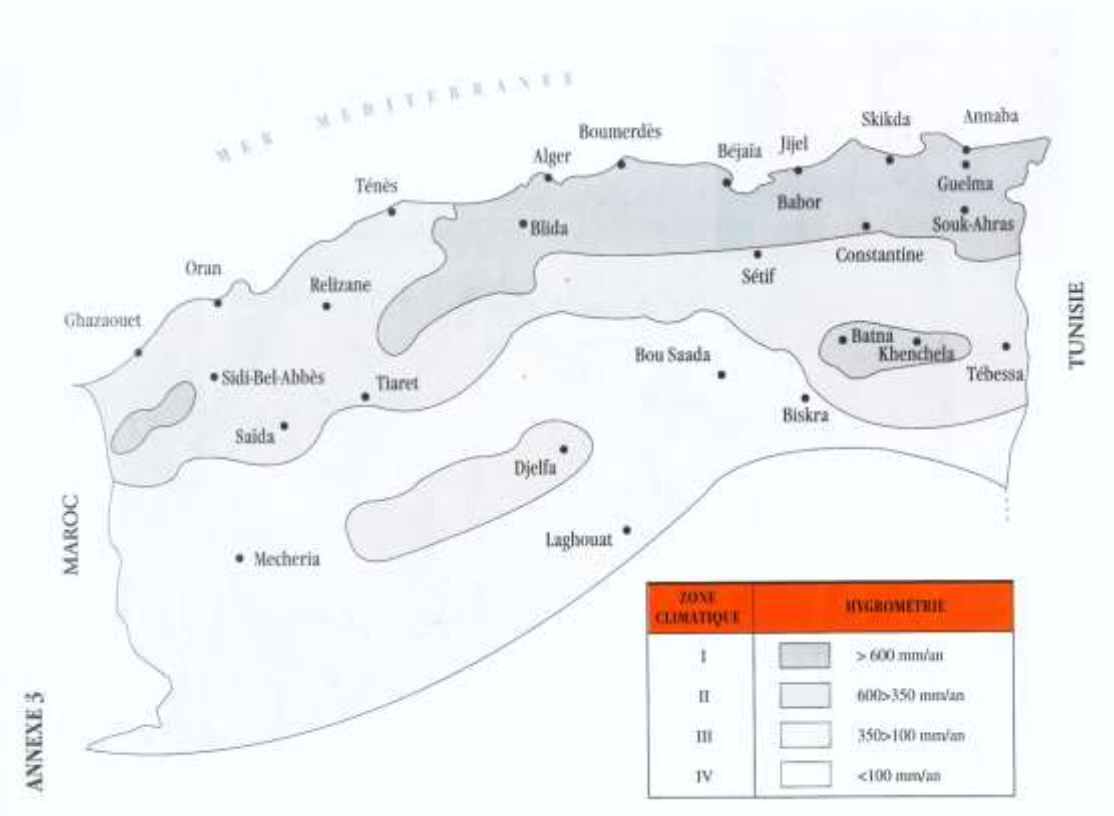


Figure V.4 : La carte climatique de l'Algérie.

- La température équivalente :

Selon la **carte des zones climatiques de l'Algérie**, le tracé de notre projet, qui traverse les **wilayas de Sidi Bel Abbès et Saïda**, est situé en **zone climatique II**. Conformément au **fascicule 01 du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves** (page 15), la **température équivalente** pour cette zone, et plus précisément pour la wilaya de **Sidi Bel Abbès**, est de **20 °C**.

Table V-3 : Valeurs des températures équivalentes

Zone climatique			
Température Équivalente Θéq(°C)	I et II	III	IV
	20	25	30

2- Détermination du niveau de réseau principale (RPi) :

Selon le **Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP 2001, fascicule 1)**, la classification adoptée est la suivante :

Le trafic à l'année 2028 TJMA_{2028}	**9403.8 v/j/sens**
L'année de mise en service	**2028**
Le pourcentage de poids lourds Z	**27.4 %**

Table V-4 : Choix du type de réseaux principaux

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

Le trafic à l'année 2028 TJM$\boldsymbol{A_{2028}}$ = 9403.8 v/j > 1500 v/j

Donc notre Réseau principal est :**RP1.**

RP1 : Liaisons à fort trafic (>1500 v/j), entre chefs-lieux de wilayas, ou à intérêt stratégique. Principalement des **routes nationales (RN)**.

3- Détermination de la classe de trafic (TPLi) :

La classe de trafic (TPLi) correspond au nombre de poids lourds par jour et par sens, enregistré sur la voie la plus sollicitée, à l'année de mise en service prévue en 2028.

$$\boldsymbol{TPL_i = \%PL\,.TJMA}$$

$$\boldsymbol{TPL_{2028} = \%PL\,.\,TJMA_{2028}}$$

$$\boldsymbol{TPL_{2028} = 0.274 \times 9403.80 = 2576.64\ PL/j/Sens}$$

Dans notre projet, la chaussée est **unidirectionnelle à 2 voies**. Par défaut, on considère que **90 % du trafic poids lourds circule sur la voie lente de droite**, conformément au catalogue de dimensionnement.

$$\boldsymbol{TPL_{2028} = 90(\%)\,.2576.64 = 2318.97\ PL/j/Sens}$$

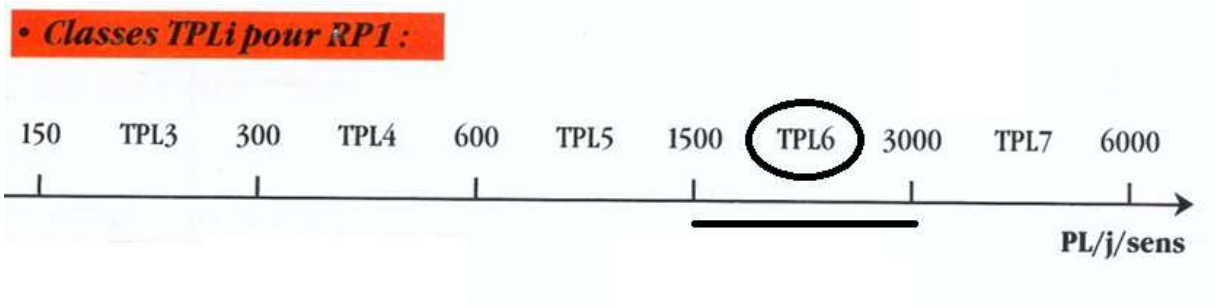


Figure V.5 : Classe de trafic poids lourds.

$$1500 < \boldsymbol{TPL_{2028}} < 3000$$
$$1500 < \mathbf{2318.97} < 3000$$

- La classe de trafic est TPL6.

4- Présentation des classes de portance des sols :

Le tableau présente les classes de portance des sols, classées par ordre croissant de S0 à S4, en fonction de l'indice CBR. Cette classification s'appliquera également aux sols supports de la chaussée

- **CBR = 9.4**

Table V-5 : Classes de portance de sols

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

Dans le cadre de notre projet, l'indice **CBR = 9.4** du sol varie entre 5 et 10 , ce qui correspond à une **classe de portance S3**.

- **Classes de portance des sols supports pour le dimensionnement**

Les modules élastiques des sols supports, présentés dans le tableau ci-dessous, ont été estimés à l'aide de la relation empirique suivante :

E (MPa) = 5 × ICBR

Avec un indice **ICBR de 9,4**, on obtient un module moyen de portance de : **E = 5 × 9,4 = 47 MPa**

Les valeurs de module calculées dans l'ensemble varient entre **25 MPa et 50 MPa**, avec une **valeur moyenne de 37.5 MPa**.

Table V-6 : Classe de portance sol-support

Classe de sol- support	S3	S2	S1	S0
Module (*MP*A)	25-50	50-125	125-200	>200

Remarque : Les structures de chaussée reposent sur le sol support. Or, les résultats de l'essai CBR indiquent que ce sol présente une faible portance. Par conséquent, la mise en place d'une **couche de forme** s'avère indispensable.

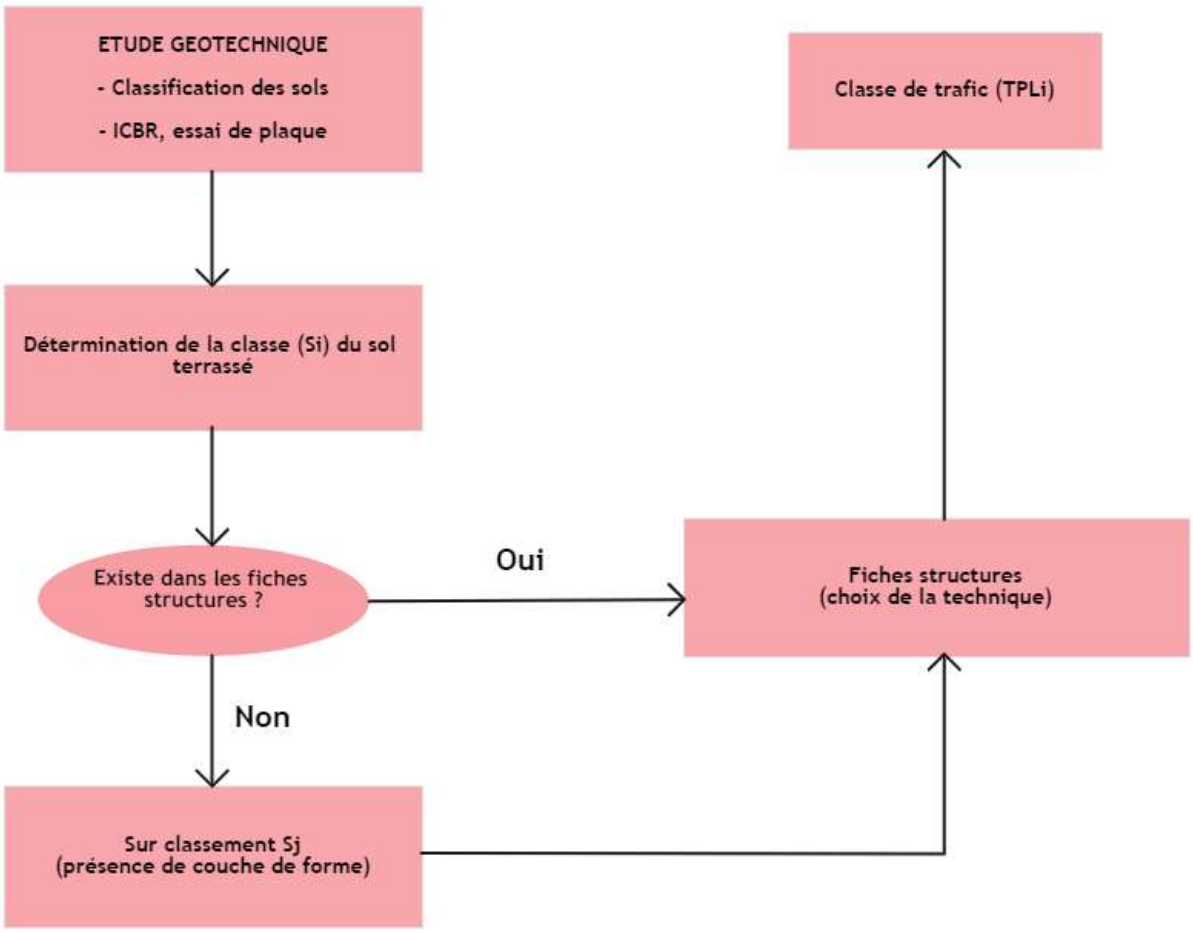


Figure V.6 : Détermination de la portance de sol support de chaussée

Dans le cadre de notre projet, les essais géotechniques ont permis de classer le sol terrassé dans la **classe de portance S3**, ce qui correspond à un sol de **portance relativement faible**. Ce niveau de portance est insuffisant pour répondre aux exigences de dimensionnement imposées par la classe de trafic visée (**TPL6**), qui nécessite un sol-support de meilleure qualité pour garantir la durabilité et la performance de la structure.

Conformément au **catalogue algérien des structures de chaussées**, et plus précisément au **Tableau 5 : Surclassement avec couche de forme en matériau non traité**, le passage d'une portance **S3 vers S2** nécessite la mise en place d'une **couche de forme en matériaux non traités**, d'une **épaisseur de 40 cm**, répartie en **deux couches successives**.

Ce renforcement vise à améliorer les caractéristiques mécaniques du sol support (Sj) afin d'assurer une meilleure répartition des charges et de limiter les déformations sous l'effet du trafic poids lourds élevé. L'utilisation de matériaux appropriés (tels que la grave non traitée ou les matériaux locaux conformes) dans cette couche est recommandée, en s'appuyant si nécessaire sur une étude spécifique en laboratoire pour valider leur aptitude.

Table V-7 : Surclassement avec couche de forme en matériau non traité

Portance de sol	Matériau de CF	Epaisseur de CF	Portance visée
<S4	Non traité	50cm (2couches)	S3
S4	Non traité	35cm	S3
S4	Non traité	60cm (2couches)	S2
S3	**Non traité**	**40cm (2couches)**	**S2**
S3	Non traité	70cm (2couches)	S1

5- Le Trafic cumulé des poids lourds (TCI) :

Le **TCI** représente le trafic de poids lourds cumulé sur la période de dimensionnement (durée de vie de la chaussée). Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\boldsymbol{TCi = TPLi\,.365\,.\frac{(1+i)^n - 1}{i}}$$

Avec :

- n : Durée de vie considérée.
- i : Taux d'accroissement géométrique pris égale à 0.35.
- $\boldsymbol{TPL_{2028} = 2318.97\ PL/j/Sens}$

$$\boldsymbol{TCi = 2318.97 \times 365 \times \frac{(1+0.035)^{20} - 1}{0.035}}$$

$$\boldsymbol{TCi = 23.93 \times 10^6 PL/J/Voie.}$$

6- Le Trafic cumulé équivalent TCEi :

Il s'agit du **nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes** sur la durée de vie considérée. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\boldsymbol{TCEi = TCi \times A}$$

où :

A est le **coefficient d'agressivité des poids lourds**, exprimé par rapport à un essieu de référence de 13 tonnes, et dépend du **type de réseau principal**.

Table V-8 : Valeur du coefficient d'agressivité A.

Niveau du réseau principal	Type de matériaux de structure	Valeurs de A
RP1	Chaussées à matériaux traites au bitume : GB/GC, GB /Tuf, GB/GC	0.6
	Chaussées à matériaux traités au liants hydraulique : GL/GL, Bcg / GC	1

$$\boldsymbol{TCEi = 23.93 \times 10^6 \times 0.6 = 14.35 \times 10^6\ PL/J/Voie}$$

$$\boldsymbol{TCEi = 14.35 \times 10^6 PL/J/Voie.}$$

7- Choix de dimensionnement :

Les données :

- Réseau concerné **: Réseau Principal** RP1
- Zone climatique **:** Zone **II**
- Durée de vie de la chaussée **: 20 ans**
- Taux d'accroissement du trafic **: 3,5 %**
- Classe de portance du sol support **: S3 → S2**
- Classe de trafic poids lourds **: TPL6**

À partir de ces paramètres, le **catalogue algérien de dimensionnement (Fascicule n°3)** recommande la **structure suivante** :

TPLi / Si / PL/j/sens	S2 — 50 MPa	S1 — 125 MPa	S0 — 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
1500 TPL5 600	6 BB / 11 GB / 12 GB	6 BB / 10 GB / 10 GB	
600 TPL4 300	6 BB / 10 GB / 10 GB		
300 TPL3 150			

Figure V.7 : Les choix de dimensionnement par la méthode du catalogue.

D'après la figure ci-dessus, on observe que la méthode du **catalogue algérien** propose une structure de chaussée composée d'un corps de chaussée avec les épaisseurs suivantes : **8 cm de BB + 12 cm de GB + 13 cm de GB + 40 cm de TUF**.

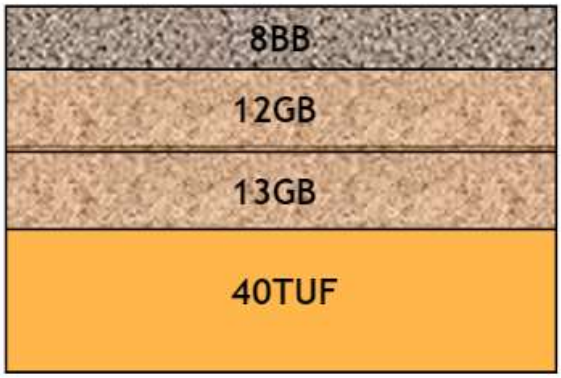


Figure V.8 : Structure du corps de chaussée selon méthode du catalogue algérien

V.3.3. Calcule de la déformation admissible (z, ad) de sol support :

Les déformations verticales **εz** et **εt**, calculées à l'aide du modèle **Alizé III**, doivent être limitées à des valeurs admissibles **εz,adm** et **εt,adm**.
Ces limites sont définies par une **relation empirique**, issue d'une étude statique sur le comportement des chaussées algériennes.
La formule utilisée est la suivante :

- Calcul de la déformation admissible sur le sol support εz,adm :

$\varepsilon z, ad = 22.10^{-3}.(TCEi)^{-0.235}$

Avec : $TCEi = 14.35 \times 10^{6} PL/J/Voie$

$\varepsilon z, \text{ad} = 22.10^{-3}.(14.35 \times 10^{6})^{-0.235}$

$$\boldsymbol{\varepsilon z, ad = 4.576805789 \times 10^{-4}}\text{def}\ .$$
$$\boldsymbol{\varepsilon z, ad = 457.68}\mu\text{def}$$

- Calcul de la déformation admissible de traction εt,adm à la base de GB :

$$\varepsilon t, ad = \varepsilon 6(10{,}25HZ) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

$Kne = (\frac{TCEi}{10^6})^b$: facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.

$K\theta = \sqrt{\frac{E(10°C)}{E(\theta eq)}}$: facteur lie à la température

Tel que :

E(10°C) : Module complexe de matériau bitumineux à 10°C .

E(θeq) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalent.

$Kr = 10^{-tb\delta}$ *:* facteur lié au risque et aux dispersions

Tel que : $\delta = \sqrt{SN^2 + (\frac{C}{b}\ Sh)^2}$: f (dispersion) et avec :

SN : Coefficient de dispersion lié à la loi de fatigue

Sh : Coefficient de dispersion relatif aux épaisseurs (en cm)

C : Coefficient constant égal à **0,02**

t : Fractile de la loi normale, dépendant du niveau de risque adopté (**r %**)

Table V-9 : Performances mécaniques des matériaux bitumineux

Matériau (MTB)	E(20°C,10Hz) (Mpa)	E(10°C,10H) (Mpa)	Ɛ6(10°C,25Hz) (10-6)	-1/b	SN	Sh (cm)	ν	Kc Calage
BB	**4000**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**0.35**	**-**
GB	**7000**	**12500**	**100**	**6.84**	**0.45**	**3**	**0.35**	**1.3**
SB	**-**	**3000**	**245**	**7.63**	**0.68**	**2.5**	**0.45**	**1.3**

Table V-10 : Risque adopté pour le réseau RP1

	Classe de trafic (TPLi)	TPL3	TLP4	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

Table V-11 : Valeur de $t = f(r\%)$

r(%)	2	3	5	7
t	-2.054	-1.881	**-1.645**	-1.520

1- $Kne = (\frac{TCEi}{10^6})^b$.

$$\mathbf{Kne} = (\frac{\mathbf{14.35\times10^6}}{\mathbf{10^6}})^{\mathbf{-0.146}} = \mathbf{0.680.}$$

2- $K\theta = \sqrt{\frac{E(10°C)}{E(\theta eq)}}$.

$$\mathbf{K\theta} = \sqrt{\frac{\mathbf{12500}}{\mathbf{7000}}} = \mathbf{1.336}\,.$$

3- $Kr = 10^{-tb\delta} \rightarrow \delta = \sqrt{SN^2 + (\frac{C}{b}\ Sh)^2}$ avec :

$SN = 0.45\,;\ C = 0.02\,;\ Sh = 3cm\,;\ b = \frac{-1}{6.84} = -0.146$.

$\delta = \sqrt{0.45^2 + (\frac{0.02}{-0.146} \times 3)^2} = 0.609$

$$\mathbf{Kr = 10^{-1.645\times-0.146\times0.609} = 1.4.}$$

4- $\boldsymbol{Kc = 1.3}$.

5- $\boldsymbol{\varepsilon6(10,25HZ) = 100}$

Donc : $\varepsilon t, ad = \varepsilon 6(10{,}25HZ) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$

$\varepsilon t, ad = 100 \times 10^{-6} \times 0.68 \times 1.3363 \times 1.4 \times 1.3$

$$\boldsymbol{\varepsilon t, ad = 1.653 \times 10^{-4}} \text{def}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon t, ad = 165.3} \mu\text{def}$$

V.3.4. Vérification des déformations admissibles à l'aide d'Alizé-LCPC

Il est nécessaire de s'assurer que les déformations εt et εz obtenues à l'aide du logiciel Alizé-LCPC restent inférieures aux valeurs admissibles respectives, à savoir εt,adm et εz,adm.

• **εt** : correspond à la déformation de traction en flexion à la base des couches bitumineuses.
• **εz** : correspond à la déformation verticale appliquée au sol support.

Structure modélisée dans Alizé :

- BB (8 cm) : E = 4000 MPa, ν = 0.35
- GB (12 cm) : E = 7000 MPa, ν = 0.35
- GB (13 cm) : E = 7000 MPa, ν = 0.35
- TVC (40 cm) : E = 50 MPa, ν = 0.35 *(sol traité basique)*

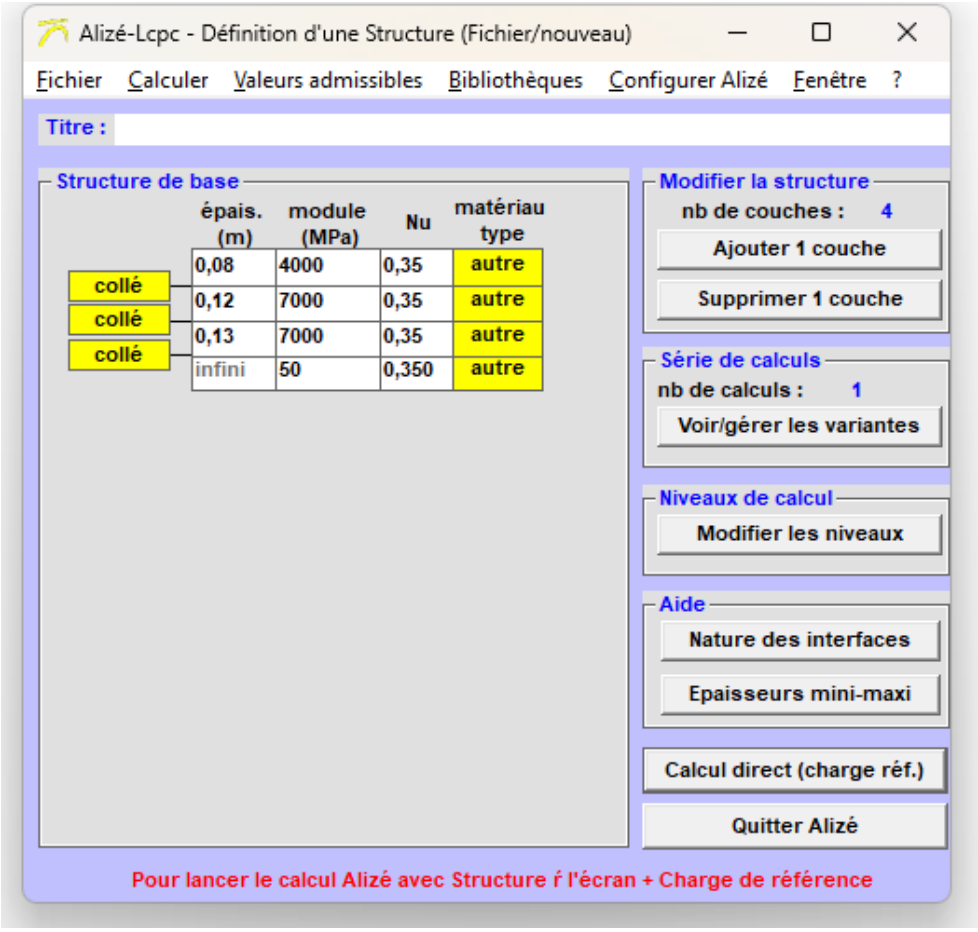
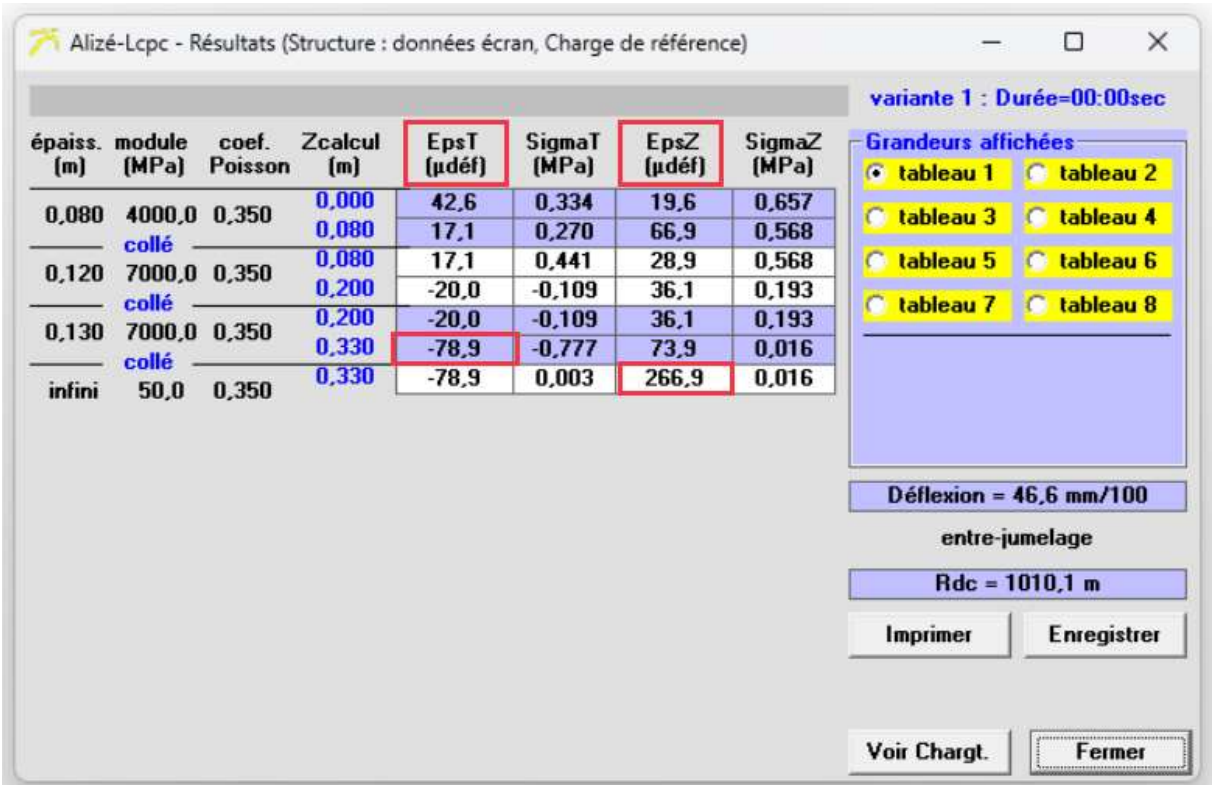


Figure V.9 : Configuration de la structure routière sous Alizé-LCPC



épaiss. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0,080	4000,0	0,350	0,000	42,6	0,334	19,6	0,657
	collé		0,080	17,1	0,270	66,9	0,568
0,120	7000,0	0,350	0,080	17,1	0,441	28,9	0,568
	collé		0,200	-20,0	-0,109	36,1	0,193
0,130	7000,0	0,350	0,200	-20,0	-0,109	36,1	0,193
	collé		0,330	-78,9	-0,777	73,9	0,016
infini	50,0	0,350	0,330	-78,9	0,003	266,9	0,016

Figure V.10 : Résultats de la simulation à l'aide du logiciel ALIZE-LCPC

Table V-12 : Tableau récapitulatif

	Déformations calculées	Déformations admissibles
εz	266.9µdef	457.68µdef
εt	78.9µdef	165.3µdef

La condition de vérification :

$\varepsilon z, ad > \varepsilon z$: 457.68µdef > 266.9µdef .

$\varepsilon t, ad > \varepsilon t$: 165.3µdef > 78.9µdef .

La structure est vérifiée.

V.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné le corps de chaussée en nous basant sur la méthode CBR et le catalogue algérien. Cela nous a permis de déterminer l'épaisseur et la nature des différentes couches de la structure de la route.

CHAPITRE VI :
ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

VI.1. INTRODUCTION

Dans le domaine des infrastructures routières, l'étude hydraulique et hydrologique revêt une importance capitale. L'évacuation rapide et maîtrisée des eaux de ruissellement constitue une condition essentielle pour assurer la sécurité des usagers, la stabilité des ouvrages et la pérennité des chaussées.

La présence d'eau sur ou sous la structure routière peut engendrer de graves désordres tels que l'affaissement du corps de chaussée, le désenrobage, les nids de poule, ainsi que l'érosion ou l'instabilité des talus.

Pour prévenir ces risques, il est indispensable de concevoir des dispositifs efficaces d'assainissement, comprenant le drainage des eaux superficielles à l'aide de pentes, caniveaux et fossés, ainsi que la collecte des eaux souterraines par des drains appropriés.

L'étude hydrologique permet de déterminer les débits caractéristiques des eaux pluviales à travers des méthodes reconnues, tandis que l'étude hydraulique définit les ouvrages adaptés à l'évacuation et à la protection contre les inondations.

Ainsi, une bonne conception du système d'assainissement contribue directement à prolonger la durée de vie de l'autoroute, à réduire les coûts d'entretien, et à garantir un niveau de service optimal en toute saison.

VI.2. OBJECTIFS DE L'ASSAINISSEMENT ROUTIER

L'assainissement des routes a pour principaux objectifs de :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux de pluie tombant et ruisselant sur le revêtement de la chaussée, afin de garantir la sécurité des usagers (réduction du risque d'aquaplaning).
- Maintenir de bonnes conditions de viabilité de la chaussée en toute saison.
- Réduire le coût d'entretien de l'infrastructure en limitant les dégradations liées à l'eau.
- Éviter les phénomènes d'érosion des talus et des structures annexes.
- Garantir la stabilité de l'ouvrage pendant toute sa durée de vie.
- Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration traversant le corps de chaussée, afin d'éviter le ramollissement du sol de fondation et les effets négatifs du gel/dégel.
- Évacuer les eaux provenant du terrain en amont de la plateforme pour préserver l'intégrité de la structure.
- Lutter contre la pollution routière par la gestion contrôlée des eaux de ruissellement.

VI.3. ETUDE HYDROLOGIQUE

L'étude hydrologique réalisée sur le tracé du projet a permis de définir **neuf (9) bassins versants** situés entre le **PK70** et le **PK80**.

Le relief de la zone est globalement orienté du sud vers le nord, favorisant ainsi le ruissellement des eaux vers la direction nord.

Les débits de crues correspondant ont été évalués pour des périodes de retour de **10 ans**, **50 ans** et **100 ans**.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer les **débits de projet** qui devront être évacués par les ouvrages hydrauliques prévus sur le tracé.

VI.3.1. Climatologie :

L'étude climatologique a consisté à analyser les données pluviométriques maximales journalières afin de calculer la crue de projet.

Les données utilisées ont été extraites auprès des différents services techniques des wilayas de **Sidi Bel Abbès** et **Saïda**, notamment :

- l'**Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)**,
- l'**Agence Nationale des Barrages et des Transferts (ANBT)**,
- ainsi que la **Direction de l'Hydraulique**.

Ces sources ont permis de collecter les informations nécessaires pour l'estimation des débits de crues correspondant aux différentes périodes de retour considérées.

VI.3.2. CLIMATOLOGIE DES WILAYAS

- **Wilaya de Sidi Bel Abbés** : La majorité de cette wilaya se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride continental, caractérisé par des étés très chauds et des hivers assez froids.
- **Wilaya de Saida** : Le climat prédominant est continental, avec des étés secs et chauds et des hivers froids.

VI.3.3. Pluviométrie et Température des wilayas

- Wilaya de Sidi Bel Abbés : Les précipitations annuelles varient entre 400 et 500 mm, tandis que la température moyenne annuelle oscille entre 03 et 31°C.
- Wilaya de Saida : Les précipitations annuelles varient entre 200 et 600 mm, et la température moyenne annuelle varie entre 0 et 35°C.

VI.3.4. RESSOURCES EN EAUX DE LA ZONE D'ETUDE

VI.3.4.1. Ressources en eaux superficielles des wilayas :

La zone d'étude est traversée par plusieurs oueds importants dans les deux wilayas. Dans la wilaya de Sidi Bel Abbés, on y trouve l'oued Sarno, l'oued Makerra, l'oued Melghir et l'oued Safioune. Quant à la wilaya de Saida, elle est traversée par l'oued Berbour et l'oued Saida.

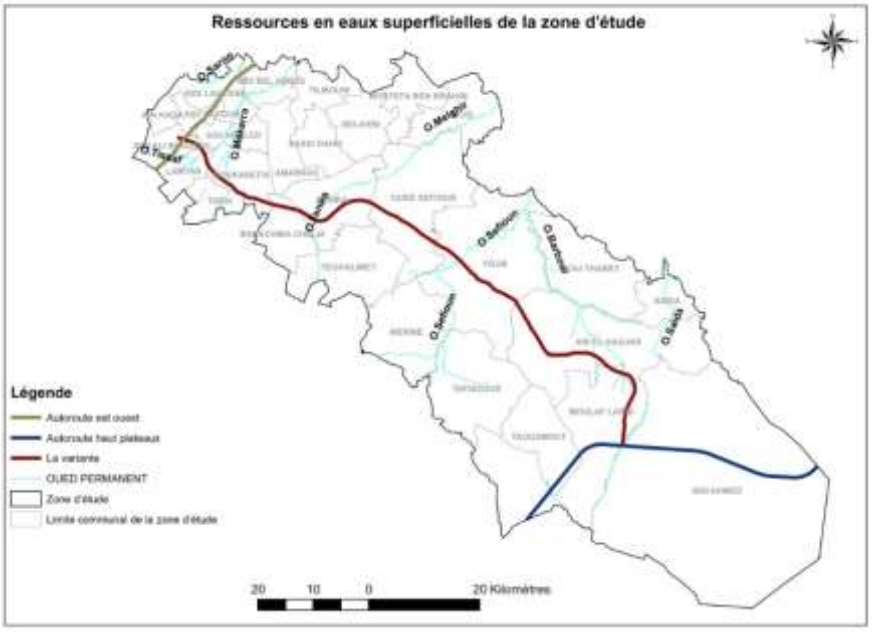


Figure VI.1 : Ressources en eaux superficielles de la zone d'étude

VI.3.4.2. Ressources en eaux souterraines de la zone d'étude :

Dans la wilaya de Sidi Bel Abbés, on trouve la nappe de Sidi Bel Abbés, la nappe de Melghir, la nappe de Djbel Remailia et la nappe de Teghalimet. Dans la wilaya de Saida, il existe la nappe de Djbel Remailia ainsi que la nappe karstique de Saida.

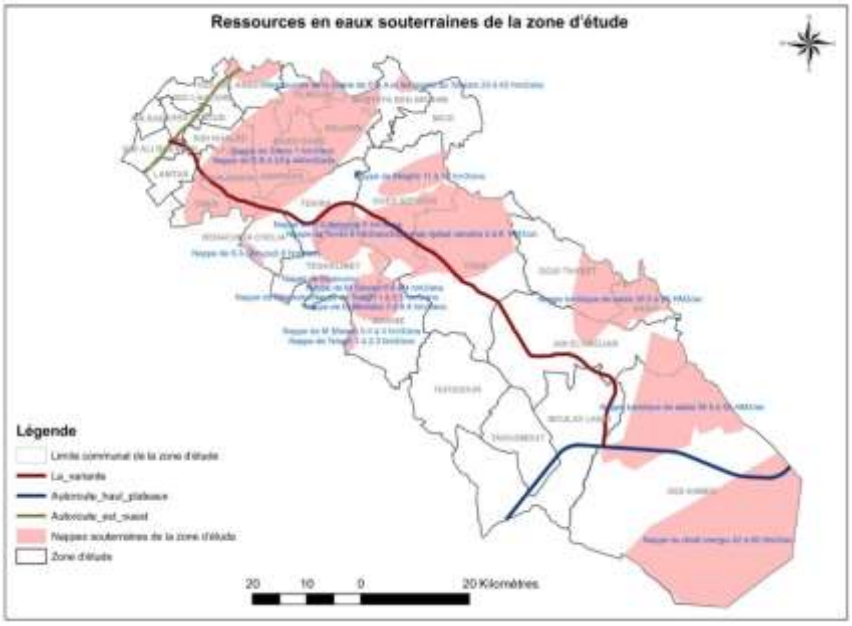


Figure VI.2 : Ressources en eaux souterraines de la zone d'étude

VI.3.5. Délimitation des bassins versants :

Les différents bassins délimités le long du tracé de l'autoroute sont reportés manuellement sur la carte de l'état-major, comme montré dans la figure :

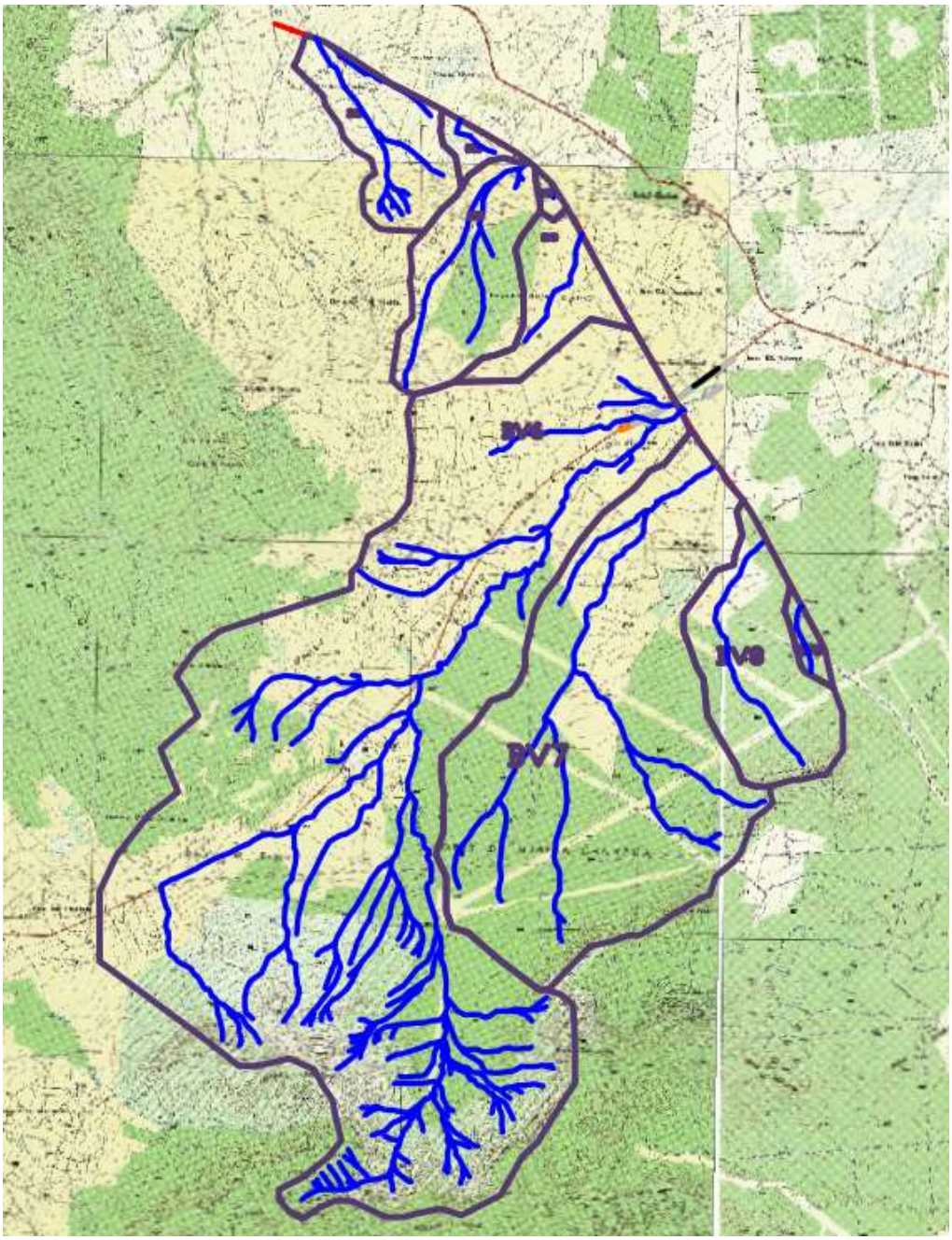


Figure VI.3 : Carte représentant les bassins versant de notre Zone.

VI.3.6. Caractéristiques physiques des bassins versants :

Un traitement cartographique adapté nous a permis d'identifier les principales caractéristiques physiques du bassin versant.

Le tableau ci-dessous présente un résumé des caractéristiques physiques des bassins versants :

Table VI-1 : caractéristiques morphométriques des Bassins Versants.

BV	PK	A(Km^2)	L(km)	H max(m)	H min(m)	ΔH(m)	P (m/m)
BV1	70+325	2,31	2,30	767,00	681,00	86,00	0,037
BV2	72+275	0,36	0,70	766,00	745,00	21,00	0,030
BV3	73+475	3,25	3,00	873,00	750,00	123,00	0,041
BV4	73+700	0,12	0,20	781,00	760,00	21,00	0,105
BV5	74+625	1,74	1,53	842,00	780,00	62,00	0,041
BV6	77+060	35,70	13,20	1 347,00	774,00	573,00	0,043
BV7	77+790	15,44	6,50	1 250,00	778,00	472,00	0,073
BV8	78+975	3,65	3,40	1 150,00	789,00	361,00	0,106
BV9	79+875	0,29	0,86	905,00	850,00	55,00	0,064

- **A** : La superficie du bassin versant est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin (pour notre cas, elles sont données).
- **L** : Longueur du cours d'eau principal.
- **Hmax (m)** : Altitude maximale.
- **Hmin(m)** : Altitude minimale.
- **H(m)** : Altitude moyenne, Avec : $H(m) = Hmax - Hmin$.
- **P** : Indice de pente, tel que : $P = \frac{Hmax - Hmin}{L}$.

VI.3.7. ESTIMATIION DES DEBITS CRUES :

Le débit de projet représente le débit de pointe pour une période de retour spécifiée, permettant ainsi de dimensionner l'ouvrage hydraulique.

Formule rationnelle :

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

Tel que :

- Q_a: Débit de projet pour une période de retour, en m³/s.
- C: Coefficient de ruissellement* pondéré pour la période de retour (T).
- I : Intensité moyenne en mm/h, pour la période de retour (T) pendant le temps de concentration (t_c).
- **A** : Surface totale du bassin versant en km².

VI.3.8. Temps de concentration :

Le calcul des débits de projet nécessite l'évaluation du temps de concentration du bassin versant (TC), qui correspond au temps maximal qu'une goutte d'eau met pour parcourir le bassin versant et atteindre l'exutoire.

VI.3.8.1. Formule de Ventura (Surface du bassin < 5 Km²) :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}} \quad \text{Pour : } S < 5\ Km^2$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h).
- S : Surface du bassin (km2).
- P : Pente moyenne du bassin (m/m).

VI.3.8.2. Formule de Passini (5 < Surface du bassin < 25 km²) :

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}} \quad \text{Pour : } 5\ Km^2 < S < 25\ Km^2$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h).
- S : Surface du bassin (km2).
- P : Pente moyenne du bassin (m/m).
- L : Longueur du bassin versant en km.

VI.3.8.3. Formule de Giandotti (25 < Surface du bassin < 125 km²) :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad \text{Pour : } 25\ Km^2 < S < 125\ Km^2$$

Avec :

- Tc : Temps de concentration (h).
- S : Surface du bassin (km2).
- L : longueur du thalweg principal (km).
- H : Hmoy − Hmin en m.
- $Hmoy$: altitude moyenne (m) $= \frac{Hmax - Hmin}{2}$
- Hmax : altitude maximale (m).
- Hmin : altitude minimale (m).

VI.3.9. Coefficient de ruissèlement (C) :

Le coefficient de ruissellement est évalué selon la méthode recommandée par Kenessey, qui consiste à additionner trois (03) coefficients partiels.

$$C = C1+C2+C3$$

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

C1 : dépendant de la pente du bassin versant :

Table VI-2 : Valeurs du coefficient C1.

Pente (%)	Coefficient C1
P < 3.5 %	0.01-0.03-0.05
3.5%< P < 11%	0.06-0.08-0.1
11 < P < 35%	0.12-0.16-0.20
35% < P	0.22-0.26-0.30

C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité) :

Table VI-3 : Valeurs du coefficient C2.

Nature de sole	Coefficient C2
Imperméable	0.22-0.26-0.30
Peu imperméable	0.10-0.15-0.30
Perméable	0.06-0.08-0.10
Très perméable	0.03-0.04-0.05

C3 : dépendant de la couverture végéta le du bassin versant :

Table VI-4 : Valeurs du coefficient C3.

Toux de couverture de surface	Coefficient C3
Sol rocheux	0.01-0.03-0.05
Prairie	0.07-0.21-0.25
Labours champs	0.07-0.11-0.15
Forêts et territoire sableux	0.03-0.04-0.05

VI.3.10. Intensité de pluie I(t):

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

Avec :

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

VI.4. APPLICATION AU NOTRE PROJET :

VI.4.1. Les coefficients de Montana (a ; b) :

Pour chaque station et pour différentes périodes de retour (a ; b) sont présenté dans le tableau suivant :

Table VI-5 : Les coefficients de Montana (a ; b)

Station		**Sidi Bel Abbés (Daoud Youb)**	
b	**0.70**		
T(ans)	10	50	100
a(T)	24.10	33.50	37.40

VI.4.2. Calcul du débit d'apports :

Pour le BV1:

A=2,31 $km^2 < 5\ km^2$ alors :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}} \quad \text{Avec : } P = 0{,}037$$

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{2{,}31}{0{,}037}} = 0.998h.$$

Pour le BV7 :

A=15,44$km^2 < 25\ km^2$ alors :

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}} \quad \text{Avec : } L = 6.5km\ , P = 0{,}073$$

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{15.44 \times 6.5}}{\sqrt{0{,}073}} = 1.86h.$$

Pour le BV6 :

A=35,70$km^2 < 125\ km^2$ alors :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad \text{Avec : } L = 13.20km\ , H = 573{,}00$$

$$T_c = \frac{4\sqrt{35.70} + 1.5 \times 13.20}{0.8\sqrt{573}} = 2.28h$$

Remarque : l'ensemble des calculs sera réalisé uniquement pour le bassin versant BV1.

VI.4.3. Calcul d'intensité de pluie I(t):

$\mathbf{I(t,T) = a(t) \times {t_c}^{-b}}$ tel que : a et b sont les coefficients de montana

Table VI-6 : Paramètres hydrologiques pour différentes périodes de retour (BV1)

	T(10)	T(50)	T(100)
a	**24.10**	**33.50**	**37.40**
b	**0.7**	**0.7**	**0.7**
$\boldsymbol{t_c}$**(h)**	**0.998**	**0.998**	**0.998**
$\mathbf{I(t,T)}\boldsymbol{mm/h}$	**24.13**	**33.54**	**37.45**

VI.4.4. Calcul de débit crue:

Avec la Formule rationnelle :

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

- Pour un coefficient de ruissellement : Cr = C1 +C2 +C3

C1 = 0.08 ; C2 = 0.15 ; C3 = 0.11.

Cr = 0.34

$$Qa\,(10) = 0.278 \times 0.34 \times 24.13 \times 2{,}31 = 5.27\,m3/s$$
$$Qa\,(50) = 0.278 \times 0.34 \times 33.54 \times 2{,}31 = 7.32\,m3/s$$
$$Qa\,(100) = 0.278 \times 0.34 \times 37.45 \times 2{,}31 = 8.18\,m3/s$$

VI.4.1. Résultats obtenus du calcul de débit dans le cadre du projet:

Table VI-7 : Coefficients de ruissellement des BV selon Kenessey

BV	PK	A(km^2)	C1	C2	C3	C
BV1	70+325	2,31	0,08	0,15	0,11	0,34
BV2	72+275	0,36	0,03	0,08	0,21	0,32
BV3	73+475	3,25	0,08	0,15	0,21	0,44
BV4	73+700	0,12	0,1	0,15	0,21	0,46
BV5	74+625	1,74	0,08	0,15	0,21	0,44
BV6	77+060	35,70	0,08	0,26	0,04	0,38
BV7	77+790	15,44	0,08	0,15	0,11	0,34
BV8	78+975	3,65	0,1	0,15	0,07	0,32
BV9	79+875	0,29	0,08	0,08	0,21	0,37

- Ce tableau récapitule les débits calculés pour les bassins versants intersectant le tracé de l'autoroute, en considérant des périodes de retour de 10, 50 et 100 ans.

BV	PK	A(km^2)	Tc (heurs)	I(10)	I(50)	I(100)	Qa(10)	Qa(50)	Qa(100)
BV1	70+325	2,31	0,998	24,13	33,54	37,45	5,27	7,32	8,18
BV2	72+275	0,36	0,440	42,82	59,52	66,45	1,37	1,91	2,13
BV3	73+475	3,25	1,131	22,11	30,74	34,32	8,79	12,22	13,64
BV4	73+700	0,12	0,136	97,51	135,55	151,33	1,50	2,08	2,32
BV5	74+625	1,74	0,832	27,41	38,10	42,53	5,83	8,11	9,05
BV6	77+060	35,70	3,227	10,61	14,75	16,47	40,03	55,64	62,11
BV7	77+790	15,44	1,863	15,59	21,68	24,20	22,76	31,63	35,32
BV8	78+975	3,65	0,745	29,63	41,18	45,97	9,62	13,37	14,93
BV9	79+875	0,29	0,270	60,32	83,85	93,61	1,80	2,50	2,79

Table VI-8 :Débits des bassins versants correspondant aux périodes de retour de 10, 50 , 100 ans

VI.5. ETUDE HYDRAULIQUE :

VI.5.1. Franchissement des cours d'eau par l'autoroute et dimensionnement des ouvrages hydrauliques

Le tracé de l'autoroute traverse plusieurs cours d'eau, ce qui impose la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés, capables d'évacuer efficacement les débits de crue aux différents exutoires. La conception de ces ouvrages varie en fonction de plusieurs paramètres : pour un même débit de crue, les dimensions et le type de structure peuvent considérablement différer selon que le lit du cours d'eau est bien défini ou diffus, qu'il existe ou non une capacité de stockage des pointes de crue, ou encore selon la position de la plateforme autoroutière par rapport au terrain naturel (en remblai important ou à niveau).

VI.5.2. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques

Le régime d'écoulement considéré étant à variation graduelle, le dimensionnement des ouvrages doit respecter les recommandations du guide **SETRA - Assainissement routier**, en prenant en compte les critères suivants :

- L'ouvrage doit assurer l'évacuation du débit de projet avec une hauteur d'eau amont (Ham) maîtrisée.
- Une vérification doit être effectuée pour les crues exceptionnelles afin de garantir la sécurité hydraulique.
- Le régime d'écoulement (critique ou fluvial) doit être correctement identifié.
- Le positionnement de l'ouvrage ne doit pas provoquer la formation d'un ressaut hydraulique perturbateur.
- Le calcul hydraulique doit être effectué dans le sens aval–amont.
- La vitesse d'écoulement à l'intérieur de l'ouvrage ne doit pas dépasser **4 m/s**, afin de prévenir l'érosion et garantir la durabilité de l'infrastructure.

VI.5.2.1. Dimensionnement des dalots :

Également appelés ponceaux, les dalots sont de petits ouvrages permettant de franchir un cours d'eau ou un fossé le long d'une voie. Réalisés en béton armé, ils présentent généralement une section rectangulaire ou carrée. Ces structures sont implantées sous la chaussée et ne nécessitent pas nécessairement de remblai pour leur mise en place.

- **Pour : le BV1**

Les données :

Table VI-9 :Données de BV1

BV	PK	A(Km^2)	P (m/m)	Qa(50) ans
BV1	70+325	2.31	0.037	7.32

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

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

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

$$\mathbf{N = \frac{7.32}{25 \times 0.037^{\frac{1}{2}} \times 3^{\frac{8}{3}}} = 0.08}$$

Avec :

- Q = $Q_a(50)$ = 7.32 m^3/s.
- K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).
- p = 0.037 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).
- l = 3 m (largeur de l'écoulement).
- m = cotg 45° = 1 (pente des parois).

D'après l'abaque 1 figurant à la page 69 du guide SETRA « Assainissement routier », on obtient la valeur : X = 4.

$$\mathbf{h_n = \frac{l}{x} = \frac{3}{4} = 0.75m}$$

2- Détermination de la hauteur critique h_c :

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

$$\mathbf{N = \frac{7.32^2}{9.81 \times 3^5} = 0.022}$$

D'après l'abaque 2 (page 70) du guide SETRA "Assainissement routier", on obtient la valeur suivante : X = 5.

La hauteur critique de l'eau est alors calculée par :

$$\mathbf{h_c = \frac{l}{x} = \frac{3}{5} = 0.6m}$$

- La nature du régime d'écoulement dans le ruisseau est déterminée en comparant la hauteur normale $\mathbf{h_n}$ à la hauteur critique $\mathbf{h_c}$:

$$\mathbf{h_n = 0.75m > h_c = 0.6m}$$

Conclusion : l'écoulement est en régime **fluvial** (ou subcritique), puisque $h_n > h_c$ **.**

Remarque : Étant donné que l'écoulement du ruisseau se fait en régime fluvial, l'ouvrage hydraulique devra impérativement être dimensionné pour fonctionner également en régime fluvial.

Choix de l'ouvrage hydraulique :

Sur la base des informations fournies, il est nécessaire d'évaluer la compatibilité des conditions d'écoulement, notamment le régime hydraulique (fluvial), la vitesse du flux, le rapport entre la hauteur d'eau normale y_n et la hauteur critique y_c, ainsi que la hauteur d'eau à l'amont (H_{AM}).

Dans le cas où les résultats ne seraient pas conformes, il conviendra de réajuster les paramètres de l'ouvrage en optant pour une configuration différente.

Précision : Le premier choix d'ouvrage s'est porté sur un dalot en béton, avec une largeur initiale fixée à B = 3,5 m et un coefficient hydraulique K = 70.

1- Détermination de la hauteur critique yc :

$$\mathrm{N} = \frac{{Q_a}^2}{g \times l^5} = \frac{7.32^2}{9.81 \times 3.5^5}$$

$$\mathbf{N = 0.01}$$

D'après l'abaque 2 (page 71) du guide SETRA "Assainissement routier" : X = 4.8.

La hauteur critique de l'eau est estimée à : $\boldsymbol{y_c = \frac{l}{x} = \frac{3.5}{4.8} = 0.73\ m}$

Avec la majoration : $y_n = 1.2 \times y_c = 1.2 \times 0.73 = 0.88$

$$\boldsymbol{y_n = 0.88\ m}$$

Le type de régime d'écoulement au sein de l'ouvrage est identifié en comparant la hauteur d'eau normale y_nà la hauteur critique y_c.

Dans ce cas, on observe que $y_n = 0.88 > y_c = 0.73$, ce qui indique **un régime fluvial.**

2- Calcul de pente :

$y_n = \frac{l}{x}$ ce que nous donne : $x = \frac{l}{y_n} = \frac{3.5}{0.88} = 3.99$

En utilisant l'abaque1 page 72 (SETRA assainissement routier) : **N = 0.075.**

Avec :

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

La valeur de la pente peut être déterminée comme suit :

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

$$P = \left(\frac{7.32}{70 \times 0.075 \times 3.5^{\frac{8}{3}}}\right)^2$$

$$\mathbf{P = 0.0024 m/m}$$

***3-* La hauteur de la ligne d'eau :**

$y_e = \max(y_n\ h_n)\ , y_e = 0.88$ $\mathbf{y_e = 0.88\ m}$

***4-* Calculer la section mouillée (S_m) dans l'ouvrage :**

$S_m = y_e \times l$ tel que : l = 3.5 m , la largeur du dalot.

$$S_m = 0.88 \times 3.5$$

$$\mathbf{S_m = 3.08 m^2}.$$

5- La vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{S_m} = \frac{7.32}{3.08} = 2.37 m/s$$

$$\mathbf{V = 2.37 m/s < 4 m/s.}$$

6- Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :

Il convient de vérifier que la hauteur d'eau en amont (HAM) respecte les exigences du projet.

$$H_{AM} = y_e + (1 + K_e) \times \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{AM} = 0.88 + (1 + 0.5) \times \frac{2.37^2}{2 \times 9.81}$$

$$\mathbf{H_{AM} = 1.31 m}.$$

Tel que :

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

7- Calcul de tirant d'air :

$$y_t = \frac{y_e + H_{AM}}{2}$$

$$y_t = \frac{0.88 + 1.31}{2}$$

$$\mathbf{y_t = 1.095m}$$

8- La hauteur d'ouvrage :

Dabord : Le taux de remplissage

$\frac{y_t}{H} < 0.75$ ce que nous donne $H \geq \frac{y_t}{0.75}$.

$$\mathbf{H \geq \frac{1.095}{0.75} = 1.464m}$$

- On prend La hauteur d'ouvrage H = 1.5 m.

Vérification de l'ouvrage hydraulique pour un débit exceptionnel :

Dans le cadre de l'analyse de sécurité de l'ouvrage, une vérification est effectuée pour un débit exceptionnel, fixé à 1,5 fois le débit centennal , Soit $Q_{exp} = 1.5Q_a$

La démarche de calcul reste identique à celle appliquée pour le débit de projet. Elle permet d'évaluer la réponse hydraulique de l'ouvrage dans des conditions extrêmes et conduit aux résultats présentés ci-après.

$$\mathbf{Q_{exp} = 1.5Q_a = 1.5 \times 7.32 = 10.98 m^3/s}$$

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

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

$$\mathbf{N = \frac{10.98}{25 \times 0.037^{\frac{1}{2}} \times 3^{\frac{8}{3}}} = 0.12}$$

Avec :

- $Q = Q_a(50) = 10.98\ m^3/s$.
- K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).
- P = 0.037 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).
- l = 3 m (largeur du fond de fossé).
- m = cotg 45° = 1 (pente des parois).

D'après l'abaque 1 figurant à la page 69 du guide SETRA « Assainissement routier », on obtient la valeur : X = 2.907

$$\mathbf{h_n = \frac{l}{x} = \frac{3}{2.907} = 1.03m}$$

2- Détermination de la hauteur critique h_c :

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

$$\mathbf{N = \frac{10.98^2}{9.81 \times 3^5} = 0.051}$$

D'après l'abaque 2 (page 70) du guide SETRA "Assainissement routier", on obtient la valeur suivante : X = 3.1.

La hauteur critique de l'eau est alors calculée par :

$$\mathbf{h_c = \frac{l}{x} = \frac{3}{3.1} = 0.96m}$$

- La nature du régime d'écoulement dans le ruisseau est déterminée en comparant la hauteur normale $\mathbf{h_n}$ à la hauteur critique $\mathbf{h_c}$:

$$\mathbf{h_n = 1.03m > h_c = 0.96m}$$

Conclusion : l'écoulement est en régime **fluvial** (ou subcritique), puisque $h_n > h_c$ **.**

Remarque : Étant donné que l'écoulement du ruisseau se fait en régime fluvial, l'ouvrage hydraulique devra impérativement être dimensionné pour fonctionner également en régime fluvial.

Choix de l'ouvrage hydraulique :

1- Détermination de la hauteur critique yc :

$$N = \frac{{Q_a}^2}{g \times l^5} = \frac{10.98^2}{9.81 \times 3.5^5}$$

$$\mathbf{N = 0.023}$$

D'après l'abaque 2 (page 71) du guide SETRA "Assainissement routier" : X =3.5.

La hauteur critique de l'eau est estimée à : $\mathbf{y_c = \frac{l}{x} = \frac{3.5}{3.5} = 1\ m}$

Avec la majoration : $y_n = 1.2 \times y_c = 1.2 \times 1 = 1.2$

$$\mathbf{y_n = 1.2\ m}$$

Le type de régime d'écoulement au sein de l'ouvrage est identifié en comparant la hauteur d'eau normale y_nà la hauteur critique y_c.

Dans ce cas, on observe que $y_n = 1.2 > y_c = 1$, ce qui indique **un régime fluvial.**

2- Calcul de pente :

$y_n = \frac{l}{x}$ Ce que nous donne : $x = \frac{l}{y_n} = \frac{3.5}{1.2} = 2.92$

En utilisant l'abaque1 page 72 (SETRA assainissement routier) : **N = 0.12.**

Avec :

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

La valeur de la pente peut être déterminée comme suit :

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

$$P = \left(\frac{10.98}{70 \times 0.12 \times 3.5^{\frac{8}{3}}}\right)^2$$

$$\mathbf{P = 0.0021 m/m}$$

***3*- La hauteur de la ligne d'eau :**

$y_e = \max(y_n\ h_n)\ , y_e = 1.2$ $\mathbf{y_e = 1.2\ m}$

***4*- Calculer la section mouillée (S_m) dans l'ouvrage :**

$S_m = y_e \times l$ tel que : l = 3.5 m , la largeur du dalot.

$$S_m = 1.2 \times 3.5$$

$$\mathbf{S_m = 4.2 m^2}.$$

5- La vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{S_m} = \frac{10.98}{4.2} = 2.61 m/s$$

$$\mathbf{V = 2.61 m/s < 4 m/s.}$$

6- Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :

Il convient de vérifier que la hauteur d'eau en amont (HAM) respecte les exigences du projet.

$$H_{AM} = y_e + (1 + K_e) \times \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{AM} = 1.2 + (1 + 0.5) \times \frac{2.61^2}{2 \times 9.81}$$

$$\mathbf{H_{AM} = 1.72 m}.$$

7- Calcul de tirant d'air :

$$y_t = \frac{y_e + H_{AM}}{2}$$

$$y_t = \frac{1.2 + 1.72}{2}$$

$$\mathbf{y_t = 1.46 m}$$

8- La hauteur d'ouvrage :

Dabord : Le taux de remplissage

$\frac{y_t}{H} < 0.75$ ce que nous donne $H \geq \frac{y_t}{0.75}$.

$$\mathbf{H \geq \frac{1.46}{0.75} = 1.94m}$$

- On prend La hauteur d'ouvrage H = 2 m.

Le taux de remplissage excède la valeur de 0,75 recommandée. Pour respecter cette valeur, il faut mettre en place un dalot de 2m de hauteur.

VI.5.2.2. Dimensionnement des buses :

Le dimensionnement des buses constitue une étape essentielle dans la conception des ouvrages hydrauliques et d'assainissement. Il a pour objectif de garantir l'évacuation efficace des eaux, tout en respectant les contraintes hydrauliques, géométriques et environnementales du projet.
Ce processus repose sur la connaissance des caractéristiques de l'écoulement, notamment le débit à évacuer, le régime hydraulique (fluvial ou torrentiel), ainsi que les dimensions et les propriétés de la conduite. La section mouillée S_m, le périmètre mouillé P_m et le rayon hydraulique R_h sont autant de paramètres déterminants pour le bon fonctionnement de l'ouvrage.

L'analyse permet ainsi de définir les dimensions optimales de la buse afin d'assurer la continuité hydraulique sans engendrer ni débordement ni colmatage, tout en prenant en compte les débits de projet et les débits exceptionnels.

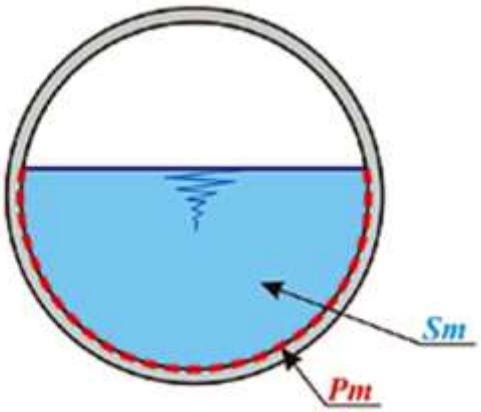


Figure VI.4 : Section transversale de la buse

$$\boldsymbol{Q_s = K_{st} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times P^{\frac{1}{2}} \times S_m}$$

Tel que :

$\mathbf{S_m}$: Section mouillée en (m²) avec $S_m = \frac{4}{5}\pi R^2$

$\mathbf{P_m}$: Périmètre mouillé en (m) avec $P_m = \frac{4}{3}\pi R$

$\mathbf{R_h}$: Rayon hydraulique en (m) avec $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{3}{5}R$.

$$\boldsymbol{R = \left(\frac{Q_s}{K_{st} \times \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \times P^{0.5} \times \frac{4\pi}{5}}\right)^{\frac{3}{8}}}$$

- **Pour BV2 :**

Les données :

BV	PK	A(km^2)	Qa(10)	Qa(20)	P (m/m)
BV2	72+275	0,36	1,37	1.53	0,030

$$\boldsymbol{R = \left(\frac{1.37}{80 \times \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0.03^{0.5} \times \frac{4\pi}{5}}\right)^{\frac{3}{8}}}$$

$$\mathbf{R = 0.34m}$$

Ainsi, le calcul conduit à un diamètre théorique de $\mathbf{D = 680\ mm}$.

Une fois ce diamètre déterminé, on sélectionne une valeur normalisée parmi les diamètres commercialement disponibles, tels que **Φ400, Φ500, Φ800, Φ1000, Φ1200, Φ1500**, etc. Afin de satisfaire aux exigences du projet, une buse de **Φ1500 mm** est finalement retenue.

- On prend une buse de **Φ1500 mm.**

Vérification de régime de l`écoulement a l`aval de l`ouvrage hydraulique :

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

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

$$N = \frac{1.37}{25 \times 0.03^{\frac{1}{2}} \times 0.75^{\frac{8}{3}}} = 0.68$$

$$\mathbf{N = 0.68}$$

Avec :

Q = Qa (10) = 1.37m3/s.

K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).

P= 0,03 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).

R = 0.34 m (largeur du fond de fossé).

L=750mm ; F=1500mm

λ =1 (pente des parois).

D'après l'abaque 5 figurant à la page 59 du guide SETRA « Assainissement routier », on obtient la valeur : $\tau_n = 0.42$

$$\mathbf{h_n = \tau_n . F = 0.42 \times 1.5 = 0.63m}$$

2- Détermination de la hauteur critique h_C :

$$N = \frac{Q_a}{g^{0.5} \times R^{\frac{5}{2}}}$$

$$N = \frac{1.37}{9.81^{0.5} \times 0.75^{\frac{5}{2}}}$$

$$\mathbf{N = 0.89}$$

g: accélération de la pesanteur = 9.81m/s2

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

On trouve : $\tau_c = 0.35$.

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$\mathbf{h_c = \tau_c . F = 0.35 \times 1.5 = 0.53m}$$

Le type de régime d'écoulement dans le ruisseau est déterminé en comparant la hauteur d'eau normale $\mathbf{h_n}$ à la hauteur critique $\mathbf{h_c}$.

Dans ce cas $\mathbf{h_n} > \mathbf{h_c}$, l'écoulement est donc classé en régime fluvial.

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

3- Détermination de la hauteur critique yc :

Notre buse est de **Φ1500 mm.**

Avec : $N = \frac{Q_a}{g^{0.5} \times R^{\frac{5}{2}}} = 0.89$ et $\tau_c = 0.35$.

La hauteur d'eau critique s'élève à : $\mathbf{y_c = \tau_c \times F = 0.35 \times 1.5 = 0.53m}$

$$y_n = 1.2 \times y_c$$

$$y_n = 1.2 \times 0.53$$

$$\mathbf{y_n = 0.64m}$$

$$\mathbf{y_n = 0.64 > y_c = 0.53}$$

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial.

4- Calcule de la pente de l'ouvrage :

$$\mathbf{y_n = \tau_n . F}$$

Alors : $\tau_n = \frac{y_n}{F} = \frac{0.64}{1.5} = 0.43$ **par projection sur l'abaque 5 : N = 0.7**

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

On peut obtenir la valeur de la pente :

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

$$P = \left(\frac{1.37}{80 \times 0.7 \times 0.75^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = 0.0027 m/m$$

$$P = 0.0027 m/m$$

5- Calcule de la surface mouillée de l'ouvrage et la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$S_m = \frac{4}{5}\pi R^2$$

$$S_m = \frac{4}{5}\pi \times 0.750^2$$

$$\mathbf{S_m = 1.41 m^2}$$

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

$$\mathbf{V = \frac{Q}{S} = \frac{1.37}{1.41} = 0.96 m/s < 4 m/s}$$ verifie

6- Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :

Il convient de vérifier que la hauteur d'eau en amont (HAM) respecte les exigences du projet.

- $Ye = max(hn, yn) = 0.64$

$$H_{AM} = y_e + (1 + K_e) \times \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{AM} = 0.64 + (1 + 0.5) \times \frac{0.96^2}{2 \times 9.81}$$

$$\mathbf{H_{AM} = 0.71 m}$$

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

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

$$y_t = \frac{y_e + H_{AM}}{2} = \frac{0.64 + 0.71}{2}$$

$$\mathbf{y_t = 0.67 m}$$

Le taux de remplissage :

$$\mathbf{\frac{y_t}{F} = \frac{0.67}{1.5} = 0.45 < 0.75}$$

VERIFIE

- **Vérification dans le cas de $Q_{exp} = Q_a(20)$**

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

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

$$N = \frac{1.53}{25 \times 0.03^{\frac{1}{2}} \times 0.75^{\frac{8}{3}}}$$

$$\mathbf{N = 0.76}$$

D'après l'abaque 5 figurant à la page 59 du guide SETRA « Assainissement routier », on obtient la valeur : $\tau_n = 0.44$

$$\mathbf{h_n = \tau_n . F = 0.44 \times 1.5 = 0.66m}$$

2- Détermination de la hauteur critique h_C :

$$N = \frac{Q_a}{g^{0.5} \times R^{\frac{5}{2}}}$$

$$N = \frac{1.53}{9.81^{0.5} \times 0.75^{\frac{5}{2}}}$$

$$N = 1$$

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

On trouve : $\boldsymbol{\tau_c = 0.42.}$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$\mathbf{h_c = \tau_c . F = 0.42 \times 1.5 = 0.63m}$$

Dans ce cas $\mathbf{h_n} > \mathbf{h_c}$, l'écoulement est donc classé en régime fluvial.

3- Détermination de la hauteur critique yc :

$$\mathbf{y_c = \tau_c \times F = 0.42 \times 1.5 = 0.63m}$$

$$y_n = 1.2 \times y_c$$

$$y_n = 1.2 \times 0.63$$

$$\mathbf{y_n = 0.76m}$$

$$\mathbf{y_n = 0.76 > y_c = 0.63}$$

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial.

4- Calcule de la pente de l'ouvrage :

$\tau_n = \frac{y_n}{F} = \frac{0.76}{1.5} = 0.5$ **par projection sur l'abaque 5 : N = 0.9**

$$P = \left(\frac{1.53}{80 \times 0.9 \times 0.75^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = 0.0021 m/m$$

$$P = 0.0021 m/m$$

5- Calcule de la surface mouillée de l'ouvrage et la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$S_m = \frac{4}{5}\pi \times 0.750^2$$

$$\mathbf{S_m = 1.41 m^2}$$

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

$$\mathbf{V = \frac{Q}{S} = \frac{1.53}{1.41} = 1.08 m/s < 4 m/s}$$ verifie

6- Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :

$$Ye = \max(hn, yn) = 0.76$$

$$H_{AM} = 0.76 + (1 + 0.5) \times \frac{1.08^2}{2 \times 9.81}$$

$$\mathbf{H_{AM} = 0.86 m}$$

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

$$y_t = \frac{y_e + H_{AM}}{2} = \frac{0.76 + 0.86}{2}$$

$$\mathbf{y_t = 0.82 m}$$

Le taux de remplissage :

$$\mathbf{\frac{y_t}{F} = \frac{0.82}{1.5} = 0.54 < 0.75}$$

VERIFIE

Suite à une analyse approfondie et à la vérification complète de l'ensemble des calculs hydrauliques liés au débit de pointe et aux caractéristiques du bassin versant, il a été démontré que la pose d'une buse de **diamètre 1500 mm** constitue la solution la plus adaptée, garantissant une capacité d'écoulement suffisante et conforme aux exigences techniques du projet.

VI.5.2.3. Résultats récapitulatifs de dimensionnement des dalots et des buses :

Table VI-10 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots et buse.

N°	Nom	PK	Ouvrages
1	OH1	70+325	DALOT 2x(2x2)
2	OH2	72+275	BUSE Ø1500
3	OH3	73+475	DALOT 4x(2x1,5)
4	OH4	73+700	DALOT 1x(1,5x1,5)
5	OH5	74+625	DALOT 1x (2 x 1.5)
6	OH6	77+060	DALOT 4x(3x2,5)
7	OH7	77+790	DALOT 3x(2x1,5)
8	OH8	78+975	DALOT 1x(2x2)
9	OH9	79+875	DALOT 1x(1,5x1,5)

VI.5.2.4. Dimensionnement des Ouvrages de drainage Longitudinal :

La démarche consiste d'abord à choisir un type d'ouvrage pour une certaine longueur, puis à vérifier si ses dimensions permettent bien d'évacuer le débit d'eau prévu, ou si elles sont trop petites, trop grandes, ou bien adaptées.

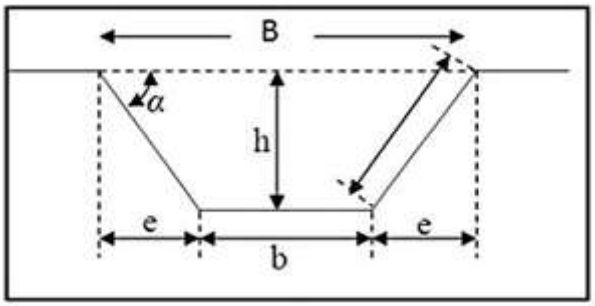


Figure VI.5 : Coupe d'un fossé de drainage longitudinal

Dimensions caractéristiques :

- **B** : largeur totale en crête du fossé,
- **b** : largeur du fond plat,
- **h** : hauteur ou profondeur utile du fossé,
- **a** : pente des talus internes exprimée en pourcentage ou en rapport horizontal/vertical
- **e** : largeur de l'accotement ou du replat entre la chaussée et le début du talus.

Notre données de projet :

Déblai	La pente	La hauteur
$432\ m$	50%	$10.79\ m$

Estimation des débits d'apport :

$$Q_a = Q_{TPC} + Q_{chaussée} + Q_{berme} + Q_{talus}$$

Tel que :

- $\mathbf{Q_{TPC} = 0.278 \times C_{TPC} \times I_{TPC} \times A_{TPC}}$
- $\mathbf{Q_{chaussée} = 0.278 \times C_{chaussée} \times I_{chaussée} \times A_{chaussée}}$
- $\mathbf{Q_{berme} = 0.278 \times C_{berme} \times I_{berme} \times A_{berme}}$
- $\mathbf{Q_{talus} = 0.278 \times C_{talus} \times I_{talus} \times A_{talus}}$

1- Le TPC :

Calcul de débit :

On a :

- La pente :P =2.5 %
- Coefficient de ruissellement :C = 0.15
- **La surface :**

$$\mathbf{A = 5 \times 432 = 2160 m^2 = 2.16 \times 10^{-3} km^2}$$

- **Temps de concentration Tc :**

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$$

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{2.160 \times 10^{-3}}{0.025}}$$

$$\boldsymbol{Tc = 0.037h}$$

- **Intensité de pluie I(10) :**

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

Avec : a = 24.1 et b = 0.7 **.**

$$\mathrm{I(10)} = 24.1 \times 0.037^{-0.7}$$

$$\boldsymbol{\mathrm{I(10)} = 242.25 mm/h}$$

Alors :

$$\mathrm{Q_{TPC}} = 0.278 \times C_{TPC} \times \mathrm{I}_{TPC} \times \mathrm{A}_{TPC}$$

$$\mathrm{Q_{TPC}} = 0.278 \times 0.25 \times 242.25 \times 2.16 \times 10^{-3}$$

$$\boldsymbol{\mathrm{Q_{TPC}} = 0.22 m^3/s}$$

2- Chaussée + BDG + BAU :

On a :

- La pente :P =2.5 %
- Coefficient de ruissellement :C = 0.9

- **La surface :**

$$\mathbf{A = (1 + 10) \times 432 = 4.752 \times 10^{-3} km^2}$$

- **Temps de concentration Tc :**

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$$

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{4.752 \times 10^{-3}}{0.025}}$$

$$\boldsymbol{Tc = 0.055h}$$

- **Intensité de pluie I(10) :**

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

Avec : a = 24.1 et b = 0.7 **.**

$$\mathrm{I(10)} = 24.1 \times 0.055^{-0.7}$$

$$\boldsymbol{\mathrm{I(10)} = 183.55 mm/h}$$

- $\mathbf{Q_{chaussée} = 0.278 \times C_{chaussée} \times I_{chaussée} \times A_{chaussée}}$

$$\mathrm{Q_{chaussée}} = 0.278 \times 0.9 \times 183.55 \times 4.75 \times 10^{-3}$$

$$\boldsymbol{\mathrm{Q_{chaussée}} = 0.22 m^3/s}$$

3- La berme :

On a :

- La pente :P =8 %
- Coefficient de ruissellement :C = 0.4

- **La surface :**

$$\mathbf{A = 1 \times 432 = 432 m^2 = 4.32 \times 10^{-4} km^2}$$

- **Temps de concentration Tc :**

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{432}{0.08}}$$

$$\boldsymbol{Tc = 9.33 \times 10^{-3} h}$$

- **Intensité de pluie I(10) :**

$$I(10) = 24.1 \times 0.00933^{-0.7}$$

$$\mathbf{I(10) = 635.47 mm/h}$$

Alors :

$$\mathbf{Q_{berme} = 0.278 \times C_{berme} \times I_{berme} \times A_{berme}}$$

$$\mathbf{Q_{berme} = 0.278 \times 0.4 \times 635.47 \times 4.32 \times 10^{-4}}$$

$$\mathbf{Q_{berme} = 0.03 m^3/s}$$

4- Talus :

On a :

- La pente :P =50 %
- Coefficient de ruissellement :C = 0.3

- **La surface :**

$$\mathbf{A = 10.79 \times 432 = 4661.28 m^2 = 4.66 \times 10^{-3} km^2}$$

- **Temps de concentration Tc :**

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{4.66 \times 10^{-3}}{0.5}}$$

$$\boldsymbol{Tc = 8.97 \times 10^{-3} h}$$

- **Intensité de pluie I(10) :**

$$I(10) = 24.1 \times (8.97 \times 10^{-3})^{-0.7}$$

$$\mathbf{I(10) = 653.22 mm/h}$$

Alors:

$$\mathbf{Q_{talus} = 0.278 \times C_{talus} \times I_{talus} \times A_{talus}}$$

$$Q_{talus} = 0.278 \times 0.3 \times 653.22 \times 4.99 \times 10^{-3}$$

$$\mathbf{Q_{talus} = 0.63 m^3/s}$$

$$Q_a = Q_{TPC} + Q_{chaussée} + Q_{BAU} + Q_{berme} + Q_{talus}$$
$$Q_a = 0.22 + 0.22 + 0.03 + 0.63$$
$$\mathbf{Q_a = 1.1\ m^3/s}$$

Estimation du débit capable de l'ouvrage :

$$Q_s = K_{st} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times P^{0.5} \times S_m$$

Avec :

- Q_s : Débit capable en (m3/s).
- R_h : Rayon hydraulique $R_h = Sm / Pm$
- S_m : Section mouillée en (m^2). $Sm = \frac{(b+B)\times h}{2}$
- Pm : Périmètre mouillé en (m). $Pm = 2 \times talus + b$
- P: Pente longitudinal du fosse = 5%.
- K_{st}: Coefficient de rugosité de Manning. (Au béton coule sur place Kst = 70)

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

1- Section mouillée :

$$Sm = \frac{(0.5 + 1.5) \times 0.5}{2}$$
$$\mathbf{Sm = 0.5m^2}$$

2- Périmètre mouillé :

$$Pm = 2 \times talus + b$$

$$\mathbf{Talus = \sqrt{0.5^2 + 0.5^2} = 0.707m}$$

$$Pm = 2 \times 0.707 + 0.5$$
$$\mathbf{Pm = 1.914m}$$

Alors :

$$Q_s = 70 \times (\frac{0.5}{1.914})^{\frac{2}{3}} \times 0.05^{0.5} \times 0.5$$
$$\mathbf{Q_s = 3.19 m^3/s}$$

$$\mathbf{Q_s > Q_a \text{ vérifie}}$$

Pour une profondeur **h = 0,5 m**, le débit de saturation $\mathbf{Q_s}$ est supérieur au débit d'apport $\mathbf{Q_a}$. Cela indique que le fossé, tel qu'il est dimensionné, dispose d'une capacité d'écoulement largement suffisante pour absorber les apports en eau provenant du bassin versant, sans risque de débordement.

VI.5.3. Conclusion:

En résumé, les ouvrages hydrauliques permettent le passage des cours d'eau sous les routes et assurent un drainage efficace des eaux pluviales, contribuant ainsi à la protection de la chaussée et à la sécurité routière.

CHAPITRE VII :
CALCULE DES CUBATURES

VII.1. INTRODUCTION

Les travaux de terrassement modifient le terrain naturel afin de l'adapter au tracé routier prévu. Ils impliquent l'excavation (déblais) et l'apport de matériaux (remblais) pour obtenir une plateforme conforme aux profils en long et en travers. Le calcul de cubature permet d'estimer les volumes à déplacer, en recherchant un équilibre entre déblais et remblais. Bien que le calcul précis soit difficile à cause des irrégularités du terrain, des méthodes standard permettent d'obtenir des estimations fiables.

VII.2. DEFINITION DES CUBATURES

Les cubatures de terrassement correspondent à l'évaluation des volumes de terre à excaver (déblais) ou à ajouter (remblais) afin de modeler le terrain selon les exigences du tracé routier. L'objectif est de transformer la surface naturelle du sol en une plateforme uniforme, stable, et géométriquement conforme aux profils définis par le projet.

Ces volumes sont déterminés en comparant les niveaux naturels du terrain avec les niveaux projetés, sur la base de trois éléments essentiels :

- **Les profils en long** : ils illustrent l'évolution altimétrique de l'axe de la route sur toute sa longueur.
- **Les profils en travers** : ils montrent la coupe perpendiculaire à l'axe de la route, précisant les formes et dimensions des déblais ou remblais à chaque point.
- **Les distances entre les profils** : elles permettent d'extrapoler les volumes entre deux sections successives.

VII.3. METHODE UTILISEE POUR LE CALCUL DES CUBATURES

Plusieurs méthodes permettent d'estimer les volumes de déblais et de remblais. Dans notre cas, nous utilisons la **méthode de la moyenne des aires**, qui est simple à mettre en œuvre et adaptée aux projets linéaires comme les routes. Cette méthode consiste à calculer le volume entre deux profils successifs en s'appuyant sur les surfaces des coupes transversales.

Cependant, cette méthode présente une certaine **marge d'erreur**, notamment en terrain irrégulier. Pour compenser cette imprécision et garantir une estimation plus sécurisée des quantités de terrassement, on applique un **coefficient correctif de 10 %** aux résultats obtenus.

VII.3.1. Description De La Méthode CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS :

Le calcul du volume entre deux profils successifs est effectué à l'aide de la formule suivante :

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

Où :

h représente la distance entre les deux profils .

S_1 et **S_2** sont les surfaces des profils extrêmes.

S_0 est la surface relevée à mi-distance entre les deux profils.

Cette formule, inspirée de la méthode de Simpson, permet une estimation plus précise des volumes en tenant compte de la variation des surfaces entre les sections.

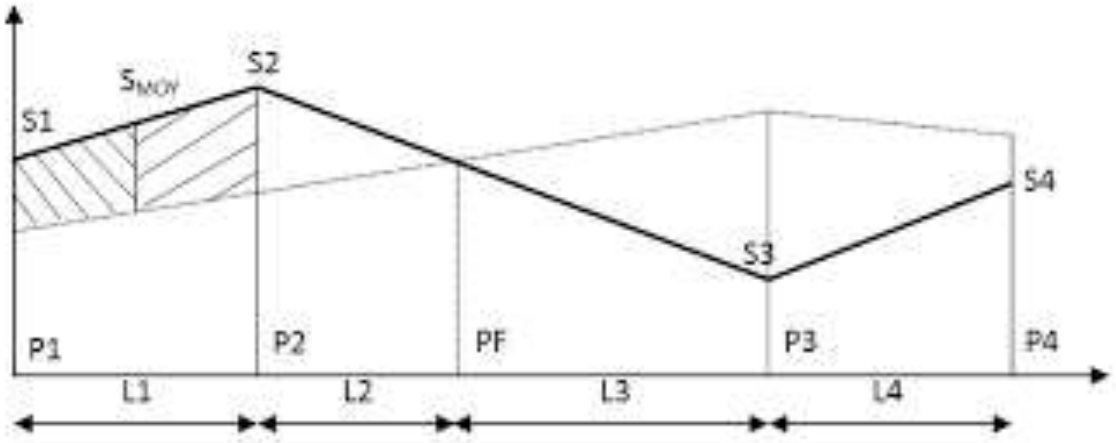


Figure VII.1 : Profil longitudinal simplifié pour le calcul de cubature

Afin d'éviter des calculs trop longs, on simplifie cette formule en considérant que les deux expressions sont très proches, et l'on assimile ainsi S_{moy} à

- **Plutôt que de calculer S_{moy} (section moyenne entre deux profils) avec précision, on utilise la** formule moyenne simple **:**

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

Et donc la formule du volume devient :

$$V = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

C'est la méthode dite "trapézoïdale". Elle donne une bonne approximation si les profils ne varient pas trop entre les points P1 et P2

- **Application à plusieurs tronçons :**

Pour tout l'axe $P_1 \rightarrow P_4$,on fait le calcul tronçon par tronçon :

$$V_{total} = \sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{2} \times (S_i + S_{i+1})$$

Tel que :

- l_i est la distance entre les profils $P_i \ et \ P_{i+1}$
- $S_i \ et \ S_{i+1}$isont les surfaces des profils correspondants.

VII.3.2. MÉTHODE CLASSIQUE DE CALCUL DES CUBATURES DE TERRASSEMENTS :

Dans le cadre de cette méthode, on distingue deux approches principales pour le calcul des cubatures :

- La première, appelée **méthode de GULDEN**, consiste à multiplier les surfaces des profils par la longueur d'application mesurée au droit de leur centre de gravité, en tenant compte de la **courbure** à cet endroit.
- La seconde, dite **méthode classique**, s'appuie sur une simplification : les quantités des profils sont multipliées par la longueur projetée le long de l'axe, **sans prendre en compte la courbure**.

Dans notre cas, le calcul automatique des longueurs curvilignes a été réalisé à l'aide du logiciel **CIVIL 3D (version 2024)**. Les résultats complets sont présentés en **annexe VIII**, tandis que le **résumé des volumes finaux** de remblais et de déblais est indiqué ci-dessous :

- **Volume de remblais** : 562976 m³
- **Volume de déblais** : 583841 m³

Table VII-1 : Résultats de calcul des cubatures.

Matériau(x) au niveau de l'abscisse curviligne 804+97.77			
Nom du matériau	Aire	Volume	Volume cumulé
Déblai	0.00	2703	583841
Remblai	0.00	2	562976

CHAPITRE VIII :
CONCEPTION D'ECHANGEUR

VIII.1. INTRODUCTION

Les échangeurs sont des infrastructures routières dénivelées conçues pour relier différents axes de circulation sans interruption de trafic. Ils permettent d'éviter les croisements à niveau, réduisant ainsi les conflits entre véhicules et assurant une meilleure sécurité. Le type d'échangeur à adopter dépend de plusieurs critères : configuration du site, nature des voies, volume de trafic et contraintes topographiques.

Dans ce projet, l'échangeur étudié assure la liaison entre une autoroute et une route nationale. Il est basé sur un aménagement en **demi-tour avec bretelles en boucle**, choisi pour sa simplicité, sa sécurité et son adaptation aux conditions du terrain. Ce chapitre présente les choix techniques liés à sa conception ainsi que les contraintes associées.

VIII.2. ROLE DE L'ECHANGEUR

- Permet de relier plusieurs routes (comme une autoroute et une route nationale) sans couper la circulation.
- Évite les croisements directs entre véhicules, ce qui limite les risques d'accidents.
- Facilite les changements de direction (entrée, sortie, demi-tour) de manière fluide.
- Améliore la sécurité routière en réduisant les points de conflit entre les usagers.
- Aide à maintenir une bonne circulation, surtout dans les zones à fort trafic.
- Réduit les temps de trajet en évitant les arrêts ou ralentissements inutiles.
- Favorise un meilleur accès à certaines zones, notamment rurales ou industrielles.
- Participe au développement local en facilitant les échanges et les déplacements.

VIII.3. LES ELEMENTS DE L'ECHANGEUR

- Bretelles : voies qui assurent les mouvements d'entrée, de sortie ou de demi-tour.
- Ouvrages d'art : ponts ou passages qui permettent de franchir les routes sans croisement.
- Voies de décélération/accélération : courtes sections pour ralentir ou accélérer en sécurité.
- Signalisation et sécurité : panneaux, marquages et glissières pour guider et protéger les usagers.

VIII.4. CATEGORIES D'ECHANGEURS ROUTIERS

VIII.4.1. Échangeur en trompette :

Ce type est utilisé lorsqu'une autoroute se termine sur une autre route. Il comprend une bretelle en boucle qui permet les demi-tours.

- Avantages : peu encombrant, économique, bien adapté aux extrémités d'autoroute.

Inconvénients : peut devenir saturé si le trafic est important.

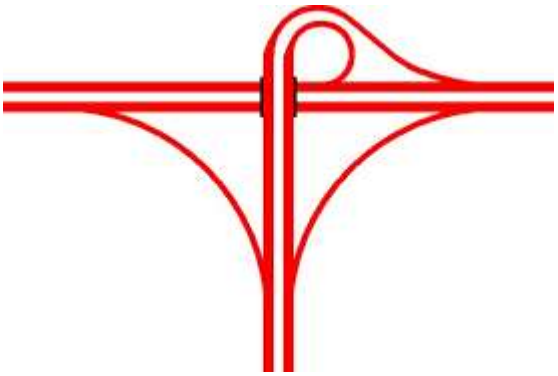
- 

Figure VIII.1 : Schéma de l'échangeur en trompette



Figure VIII.2 : Vue réelle de l'échangeur en trompette

VIII.4.2. Échangeur en trèfle :

Constitué de quatre bretelles en boucle dans chaque quadrant, il permet tous les mouvements sans croisement à niveau.

- Avantages : assure une circulation fluide sans feux ni stops.
- Inconvénients : demande une très grande emprise au sol et présente des courbes serrées, parfois dangereuses à haute vitesse.

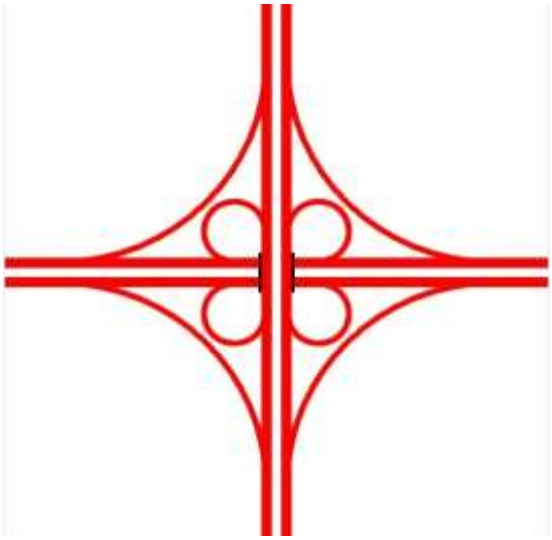


Figure VIII.3 : Schéma de l'échangeur en trèfle



Figure VIII.4 : Vue réelle de l'échangeur

VIII.4.3. Échangeur en demi-trèfle :

Ce type d'échangeur utilise deux bretelles en boucle pour relier une autoroute à une route secondaire, facilitant certains mouvements sans croisement à niveau.

- Avantages : circulation fluide avec moins d'emprise au sol qu'un trèfle complet.
- Inconvénients : ne permet pas tous les mouvements et comporte des courbes serrées limitant la vitesse.

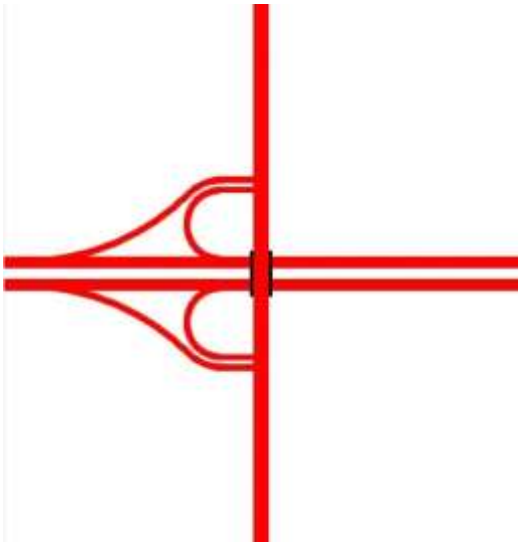


Figure VIII.5 : Schéma de l'échangeur en demi trèfle



Figure VIII.6 : Vue réelle de l'échangeur

VIII.4.4. Échangeur en turbine :

Les bretelles sont larges, incurvées et disposées en spirale, favorisant une circulation fluide à grande vitesse.

- Avantages : plus sécurisé, adapté aux grands flux entre deux autoroutes.
- Inconvénients : construction complexe et coûteuse.

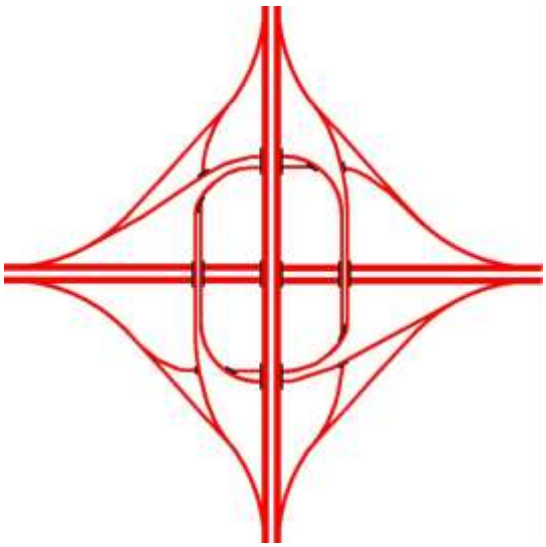


Figure VIII.7 : Schéma de l'échangeur en turbine



Figure VIII.8 : Vue réelle de l'échangeur

VIII.4.5. Échangeur en losange :

Utilisé pour connecter une voie rapide à une route secondaire, avec généralement deux ou quatre bretelles simples.

- Avantages : économique, peu encombrant, facile à implanter.
- Inconvénients : nécessite souvent des intersections à niveau avec feux ou stops, ce qui peut ralentir le trafic.

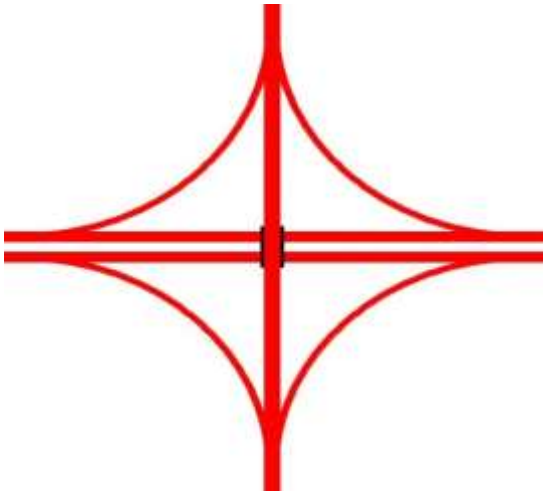


Figure VIII.9 : Schéma de l'échangeur en losange



Figure VIII.10 : Vue réelle de l'échangeur

VIII.5. JUSTIFICATION DU CHOIX DE L'ECHANGEUR EN DEMI-TREFLE

Le choix de l'échangeur en demi-trèfle pour ce projet, où une autoroute croise une route nationale, repose sur plusieurs considérations techniques, économiques et fonctionnelles :

- **Trafic modéré** : le volume de trafic attendu sur la route nationale n'est pas élevé, ce qui rend inutile l'aménagement d'un échangeur plus complexe comme un trèfle complet ou un échangeur à niveaux multiples.
- **Sécurité et fluidité** : le demi-trèfle permet de supprimer les croisements à niveau, réduisant ainsi les risques de conflits et améliorant la sécurité.
- **Optimisation de l'espace** : ce type d'échangeur nécessite une emprise foncière réduite par rapport à un trèfle complet, ce qui est avantageux dans un contexte à contraintes spatiales.
- **Coût maîtrisé** : en limitant le nombre de bretelles et d'ouvrages d'art, ce type d'échangeur permet de réduire les coûts de construction tout en assurant une bonne fonctionnalité.

VIII.6. REGLES DE CONCEPTION APPLIQUEES

Lors de la conception du projet, plusieurs règles ont été suivies afin d'assurer la sécurité, le confort de circulation et une bonne intégration dans le site :

- Respect des limites imposées par les normes de conception routière.
- Évitement du tracé à proximité des habitations et des bâtiments publics.
- Réduction au minimum des terrassements importants pour limiter les coûts et les impacts.
- Application des règles de visibilité, notamment au niveau des accès.
- Évitement des alignements longs et droits, peu favorables à la vigilance des conducteurs.
- Exclusion des tracés en courbes de faible rayon.
- Suppression des sections présentant de fortes déclivités.

VIII.7. APPLICATION SUR NOTRE PROJET

VIII.7.1. Etude de trafic:

- **Bretelle 1 (Nord-Est → Nord-Ouest)**
  Permet de rejoindre l'autoroute en direction du Nord (vers Sidi Bel Abbès) depuis la RN94.
  Sens du trafic : RN94 → Autoroute Nord
  Q = 410 uvp/h (2047)
- **Bretelle 2 (Nord-Ouest → Sud-Est)**
  Correspond à la boucle gauche permettant de passer de la RN94 vers l'autoroute direction Saïda.
  Sens du trafic : RN94 → Autoroute Sud-Est
  Q = 369 uvp/h (2047)
- **Bretelle 3 (Nord-Ouest → Sud-Ouest)**
  Permet d'entrer sur la RN94 depuis l'autoroute venant de Sidi Bel Abbès (Nord).
  Sens du trafic : Autoroute Nord → RN94 Sud-Est.
  Q = 215 uvp/h (2047)
- **Bretelle 4 (Est → Nord)**
  La deuxième boucle assure la liaison de l'autoroute venant de Saïda (Est) vers la RN94.
  Q = 751 uvp/h (2047)

D'après l'ICTAAL, lorsque le débit est inférieur à 1200 véhicules par heure (Q(u.v.p/h) < 1200 u.v.p/h), les bretelles et boucles sont conçues avec une seule voie.

VIII.7.2. Caractéristiques géométriques des branches et des bretelles :

VIII.7.2.1. Valeurs limites des rayons :

Conformément aux normes, le rayon en plan est mesuré par rapport au bord intérieur de la chaussée. Le rayon minimal est fixé à 40 m. Toutefois, à l'exception des boucles, le rayon de la première courbe rencontrée en sortie doit être d'au moins 100 m. En ce qui concerne les boucles, il est recommandé de ne pas utiliser des rayons supérieurs à 60 m. Quant au rayon minimal non déversé (Rnd), il est fixé à 300 m.

Table VIII-1 : voleurs minimales des rayons du tracé en pion des bronches el bretelles

	Rayon minimal au dévers normal Rnd	Rayon minimal déversé a 7% (Rn)
Bretelle à une voie circulable a 70km/h ou moins	300 m	40 m

VIII.7.2.2. Enchainement des éléments du tracé en plan :

Les branches doivent respecter les règles d'enchaînement géométrique suivantes :

- Deux courbes successives doivent satisfaire à la condition : $\mathbf{R_1 < 1{,}5 \times R_2}$, sauf si $\mathbf{R_2 > 1{,}5 \times R_nd}$, où $\mathbf{R_1}$ et $\mathbf{R_2}$ représentent respectivement les rayons de la première et de la seconde courbe rencontrées dans le sens de circulation.
- Lorsque deux courbes successives présentent des rayons inférieurs à $\mathbf{1{,}5 \times R_nd}$, elles doivent être séparées par un alignement droit d'au moins **100 m**, sauf dans le cas de courbes de sens contraire raccordées de manière progressive.
- Le premier rayon en sortie de branche doit être d'au moins $\mathbf{1{,}5 \times R_nd}$, sauf si la configuration de la chaussée émettrice permet un rayon plus faible selon les règles d'enchaînement. En cas de contrainte, il peut être réduit jusqu'à $\mathbf{R_nd}$ avec justification.
- Les bretelles doivent respecter : $\mathbf{R_1 < 2 \times R_2}$, sauf si $\mathbf{R_2 > 1{,}5 \times R_{nd}}$
- Deux courbes de même sens avec $\mathbf{R < 1{,}5 \times R_{nd}}$, doivent être séparées par un alignement droit ≥ 60 m (hors clothoïdes), sauf si $\mathbf{R_1 < R_2}$.
  Le premier rayon en sortie sur une bretelle uni voie doit être ≥ 100 m, sauf en cas de boucle.

VIII.7.2.3. Raccordement progressif :

Une courbe circulaire de rayon ≤ $\mathbf{1{,}5\ R_{nd}}$ est entourée de deux arcs de clothoïde. Si cette condition est trop contraignante, on peut l'appliquer uniquement aux courbes de rayon ≤ $\mathbf{R_{nd}}$ dans les bretelles. La longueur des arcs de clothoïde Lc1 est la plus grande valeur entre les deux suivantes :

- Pour les bretelles à une voie : $6R^{0.4}$ ou $7|\Delta\gamma|$ (avec R le rayon en m et $\Delta\gamma$ la différence des pentes transversales en %).
- Pour les bretelles à deux voies : R/9 ou $14|\Delta\gamma|$.
  Ces longueurs sont minimales, mais il est préférable de ne pas dépasser ces valeurs afin de maintenir une courbure facilement perceptible par l'usager.

Dans notre cas, les bretelles de sortie et d'entrée sont raccordées avec des **rayons de 110 m et 120 m**, ce qui dépasse les seuils minimaux requis par l'ICTAAL pour les vitesses de 40 à 60 km/h. Ce choix garantit un **raccordement fluide**, progressif, et sécuritaire.

VIII.7.2.4. Longueur de gauchissement :

La variation de dévers dans un raccordement progressif s'effectue sur une longueur correspondant à :

- $7|\Delta\gamma|$ pour les bretelles ou branches à une voie.
- $14\ |\Delta\gamma|$ pour les bretelles ou branches à deux voies

Celte variation de dévers s'applique de manière adjacente au rayon.

Dans notre cas, les bretelles sont à une voie.

VIII.7.2.5. Profil en long :

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

Table VIII-2 : valeurs limites des paramètres de profil en long des bronches et bretelles

	Déclivité maximale	Rayon minimal en angle saillant	Rayon minimal en angle rentrant
Bretelle à une circulable à 70 km/h ou moins	1500 m	800 m	6%

Au carrefour de raccordement avec la voirie ordinaire, on peut utiliser des rayons inférieurs sur de faibles développées.

VIII.7.2.6. Profil en travers :

- La **chaussée** est bordée de chaque côté par une bande d'arrêt d'urgence (BAU) ou une bande dérasée, ainsi qu'une berme. Si l'assainissement n'est pas agressif (pente transversale < 25 %), la berme peut y être intégrée. Le revêtement de la BAU est identique à celui de la chaussée, tout comme celui de la bande dérasée sur une largeur minimale de 1,00 m. La berme doit mesurer au moins 0,75 m de large sans dispositif de retenue, et au minimum 1,00 m lorsqu'un tel dispositif est présent, selon sa largeur de fonctionnement.

- Dans les **nœuds**, les branches à deux voies suivent la section courante avec une BAU de 3 m si le trafic PL dépasse 1000 v/j, sinon 2,5 m. Pour les branches à une voie :

- à 90 km/h → BAU 2,5 m, chaussée 3,5 m, BDG 0,75 m
- à 70 km/h → BDD 2 m, chaussée 3,5 m, BDG 0,5 m

- Dans les **diffuseurs**, le profil comprend une BDD de 1 m, une chaussée de 3,5 m/voie et une BDG de 0,5 m. En courbe (R < 100 m), une surlargeur de 50/R est introduite le long de la clothoïde. En cas de fort trafic PL ou dispositifs bilatéraux, l'accotement peut atteindre 6 m, voire +0,5 m dans les courbes (R < 200 m).

Les tronçons bidirectionnels doivent être sécurisés par des dispositifs de séparation adaptés (bande médiane, glissières), dont la largeur de fonctionnement doit être prise en compte.

VIII.7.2.7. Dispositifs de sortie :

Les différents types de sorties et leurs critères de choix sont présentés au chapitre 4 du guide « Les échangeurs sur routes de type autoroutier » (août 2013). La signalisation en sortie et la suppression de voie y sont détaillées aux paragraphes 4.1.2 et 4.2.

Le dispositif Sd 11 (sortie à une voie par déboîtement) comprend un biseau de 150 m, réduit à 90 m si la chaussée amont a une seule voie.

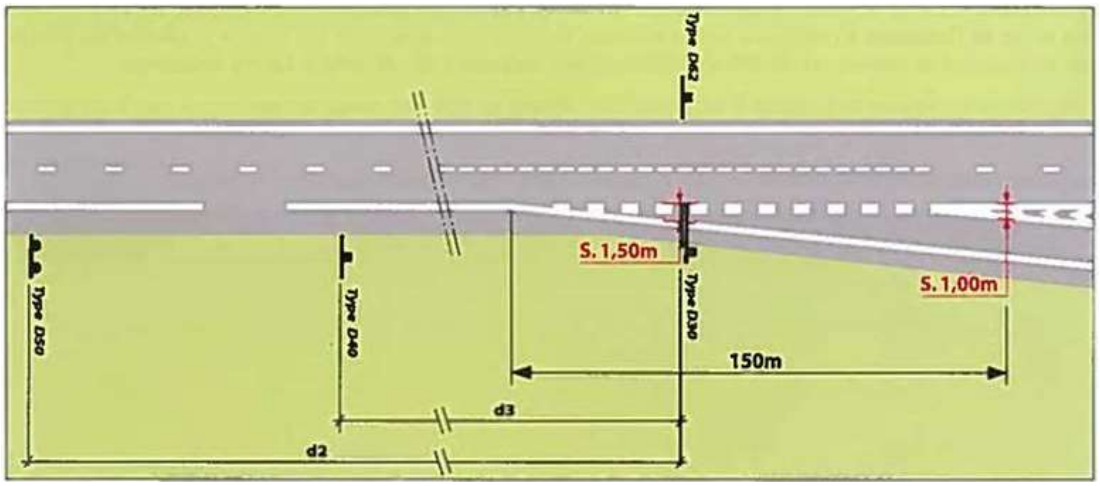


Figure VIII.11 : dispositif de sortie par déboitement.

- **Zone de décélération :**

La zone de décélération est conçue pour permettre à un usager de réduire sa vitesse de manière progressive et sécurisée. Elle assure le passage de la vitesse conventionnelle de 70 km/h (au niveau du point S = 1,00 m) à une vitesse plus faible, correspondant au rayon de la première courbe rencontrée. Cette réduction s'effectue sous une décélération constante de **1,5 m/s²**.

La zone est délimitée entre le point S = 1,00 m et le début de la partie circulaire de la courbe. Sa longueur minimale est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{L_d = \frac{V_s^2 - V_r^2}{2 \times (1.5 + 10P)}}$$

Avec :

- **P** : la déclivité (en valeur algébrique, exemple : pour une pente de 5 %, $P = -0.05$)
- $\mathbf{V_s}$: la vitesse conventionnelle au point S = 1,00 m, en m/s ;
- $\mathbf{V_r}$: la vitesse cible dépendant du rayon de la courbe, en m/s.

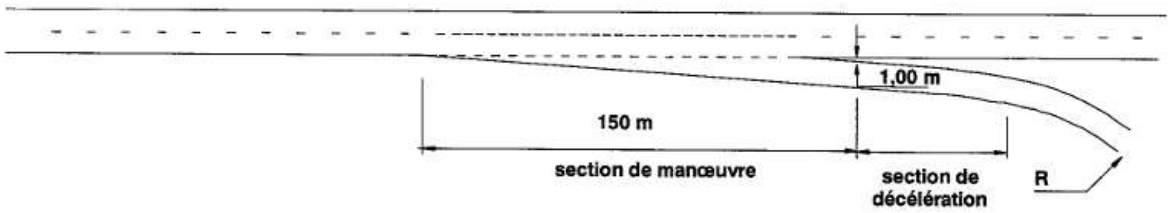


Figure VIII.12 : Dispositif de sortie de l'autoroute

VIII.7.2.8. Dispositifs d'entrée :

Les différents types d'entrées et leurs critères de choix sont présentés au chapitre 5 du guide « Les échangeurs sur routes de type autoroutier » (août 2013). La suppression de voie après une entrée est précisée au paragraphe 5.2.

Le dispositif Ei 1 (entrée à une voie par insertion) comprend :

- une section de manœuvre de 3,50 m de large, longue de 200 m (ou 100 m si la chaussée réceptrice a une seule voie),
- un biseau de rabattement de 75 m.

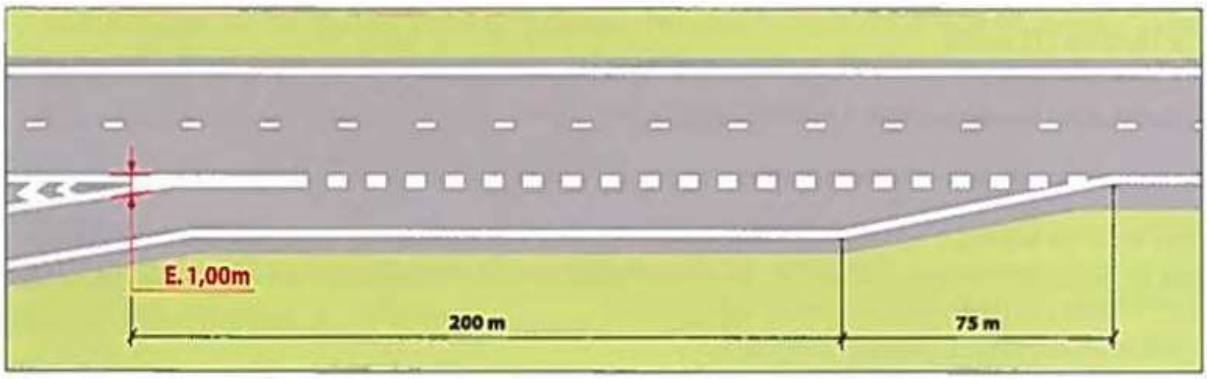


Figure VIII.13 : dispositif d'entrée en insertion.

- **Zone d'accélération :**

La zone d'accélération est conçue pour permettre à un usager d'atteindre la vitesse conventionnelle de **55 km/h** au niveau du point **E = 1,00 m**, en venant d'une vitesse inférieure, généralement liée au rayon de la dernière courbe parcourue. L'accélération se fait de manière régulière avec un palier de **1 m/s²**. Cette zone est située entre la fin de la partie circulaire de la dernière courbe et le point E = 1,00 m.

Sa longueur minimale est déterminée selon la formule suivante :

$$\mathbf{L_a = \frac{V_t^2 - V_r^2}{2 \times (1 - 10P)}}$$

Avec :

- P : la déclivité en valeur algébrique (exemple : pour une rampe de 5%
- $\mathbf{V_t}$: la vitesse cible au point E = 1,00 m, en m/s
- $\mathbf{V_r}$: la vitesse initiale liée au rayon de la dernière courbe, en m/s.

Dans le cas d'une entrée directe depuis une aire, la bretelle doit permettre d'atteindre la vitesse conventionnelle de 55 km/h en partant d'une vitesse nulle.

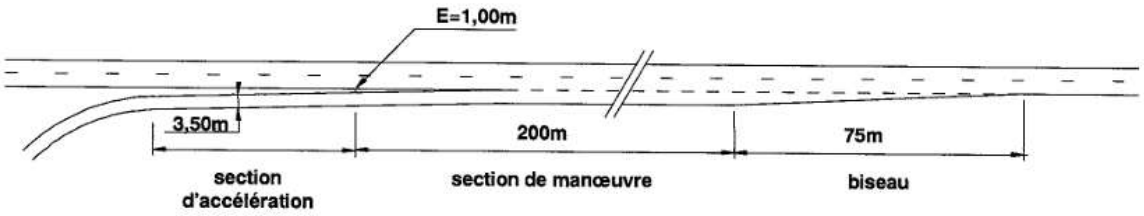


Figure VIII.14 : Dispositif d'entrée sur l'autoroute

VIII.7.2.9. Zone de sécurité :

Le tableau suivant définit la zone de sécurité à assurer le long d'une branche/bretelle d'échangeur.

Notre cas :

Table VIII-3 : valeurs de Io zone de sécurité des bronches et bretelles.

	Zone de sécurité
Bretelle à une circulable à 70 km/h ou moins	4m

VIII.7.2.10. Caractéristiques des éléments de l'échangeur :

Éléments	**Rayon (m)**	
La Bretelle 1(entrée)	**Entrée**	**Sortie**
	50	110
La boucle 1 (entrée)	40	
La Bretelle 2(sortie)	**Entrée**	**Sortie**
	120	50
La boucle 2(sortie)	40	

Dans le cadre du projet, l'autoroute traverse la route nationale RN94 en passage supérieur. À l'intersection de ces deux axes, un échangeur de type demi-trèfle a été aménagé afin d'assurer une fluidité optimale des mouvements entre les deux voies. Cet échangeur comprend deux carrefours giratoires implantés de part et d'autre de la RN94, permettant ainsi une redistribution efficace du trafic et une sécurité renforcée des usagers.

VIII.7.1. Carrefours giratoires:

Afin de garantir une circulation fluide et sécurisée au niveau de l'échangeur, une attention particulière a été portée à la conception des voies d'entrée et de sortie. Ces dernières doivent respecter un certain nombre de paramètres géométriques normés, permettant une insertion et une sortie progressives des véhicules. Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des principaux paramètres de dimensionnement à prendre en compte dans la conception des giratoires liés aux échangeurs, notamment le rayon du giratoire, les largeurs des voies, ainsi que les rayons d'entrée, de sortie et de raccordement.

VIII.7.1.1. ENTRÉES

Chaque branche d'un giratoire doit avoir une voie d'entrée séparée de la voie de sortie par un îlot en relief (le marquage seul ne suffit, sauf cas très secondaires). Les entrées sont à une voie, sauf si la capacité calculée impose deux voies. Au-delà, le choix du giratoire peut être remis en question au profit d'un aménagement dénivelé plus sûr.

Les largeurs recommandées sont :

- 1 voie : 3 m (minimum 2,2 m pour voies secondaires)
- 2 voies : 7 m (6 m si peu de poids lourds)

Le rayon d'entrée (Rg) doit être ≤ au rayon extérieur du giratoire, généralement entre 10 et 15 m. Les entrées sont délimitées par marquages et bordures (ou pavage dissuasif si Rg ≤ 12 m).

Sur routes à 2×2 voies, il est conseillé de réduire à 1 voie avant le giratoire, sauf si le trafic justifie de la rétablir à ~40 m de l'anneau. Si une seule voie ne suffit pas, la capacité globale du giratoire doit être réévaluée.

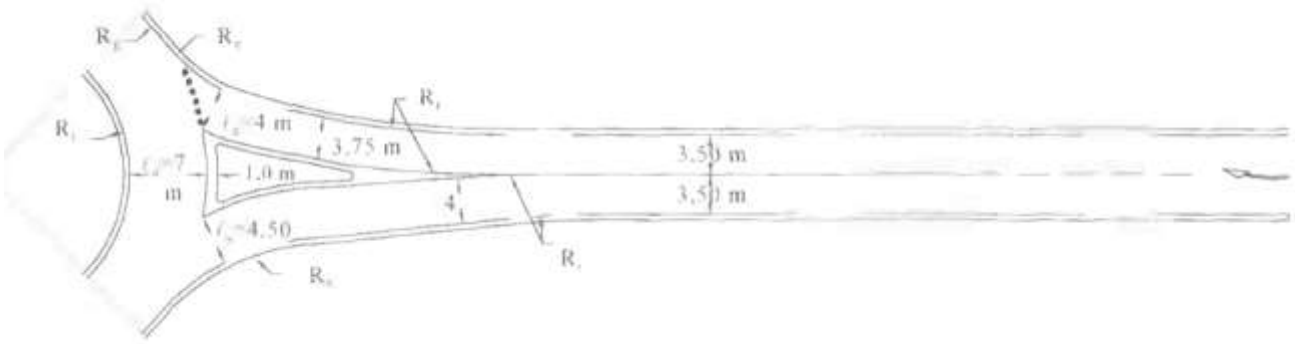


Figure VIII.15 : Schéma type d'une branche (pour Rg = 20 m)

Remarque :

Pour maximiser l'efficacité des entrées à 2 voies, la chaussée annulaire doit être au moins 20 % plus large que l'entrée la plus large (max. 9 m). Pour les branches à voie unique, il est plus simple de concevoir une branche à 2 voies puis de supprimer la partie non utilisée.

VIII.7.1.2. SORTIES :

Les sorties sont à une voie, sauf si le trafic dépasse 1200 uvp/h, ou 900 uvp/h avec un trafic tournant 3 fois inférieur.

La largeur est de 4 à 5 m pour une voie, et 7 m pour deux voies. La réduction à une voie se fait dans l'alignement droit à 60 km/h.

Le rayon de sortie doit être ≥ 15 m (et > au rayon intérieur), sans contre-courbe serrée juste après la sortie.

Table VIII-4 : Récapitulatif des différents paramètres de construction des voies d'entrée et de sortie pour notre projet

	Notations	Paramétrage	Valeurs courantes (en m)
Rayon du giratoire	R_g	$12\,m \leq\ Rg\ \leq\ 25\,m$	20
Largeur de l'anneau	l_a	$6\,m \leq\ l_a \leq 9\,m$	8
Surlargeur franchissable	slf	1,5 m si R ≤ 15 m	-
Rayon intérieur	R_i	$Rg - l_a - slf$	12
Rayon d'entrée	R_e	$10\,m \leq\ Rg\ \leq\ 15m\ et\ \leq\ Rg$	15
Largeur de la voie entrante	l_e	$l_e = 4m$	4
Rayon de sortie	R_s	$15\,m \leq\ Rg\ \leq\ 30\,m\ et >\ Ri$	20
Largeur de la voie sortante	l_s	$4\,m \leq\ l_s \leq 5\,m$	4.5
Rayon de raccordement	R_r	$Rr = 4\,Rg$	80

Remarque:

Si les rayons imposent une modification importante du tracé d'une branche secondaire (angle aigu entre branches, par exemple), ils peuvent être réduits jusqu'aux minima (Re = 10 m, Rs = 15 m), voire moins. Il faut alors vérifier la giration des poids lourds et prévoir, si nécessaire, une surlargeur revêtue.

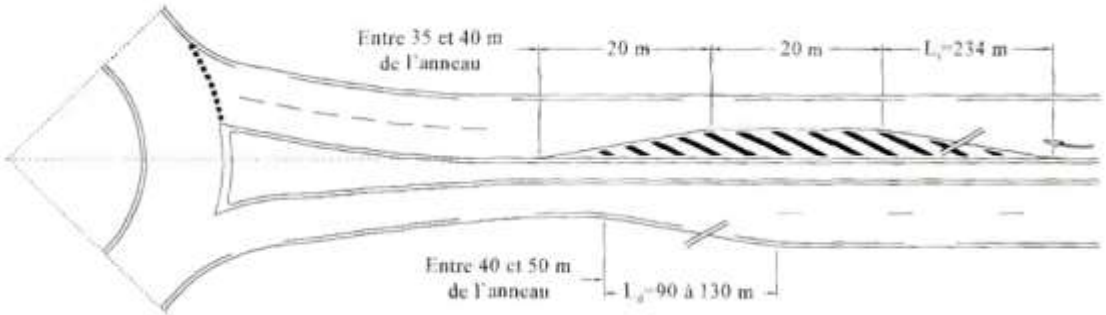


Figure VIII.16 : Cas d'une route à 2 chaussées : traitement type d'une sortie, et exemple d'un rétablissement de la seconde voie en entrée après un rabattem.

VIII.7.1.3. AMENAGEMENT DE L'ILOT SEPARATEUR

L'îlot séparateur doit être bordé de bordures basses, de préférence rétrofléchissantes. Les marquages d'entrée et de sortie doivent passer à 0,50 m des bordures. Aucun élément superflu ne doit gêner la visibilité. La surface de l'îlot doit être claire et bien contrastée. Pour les branches très secondaires, un simple marquage peut suffire.

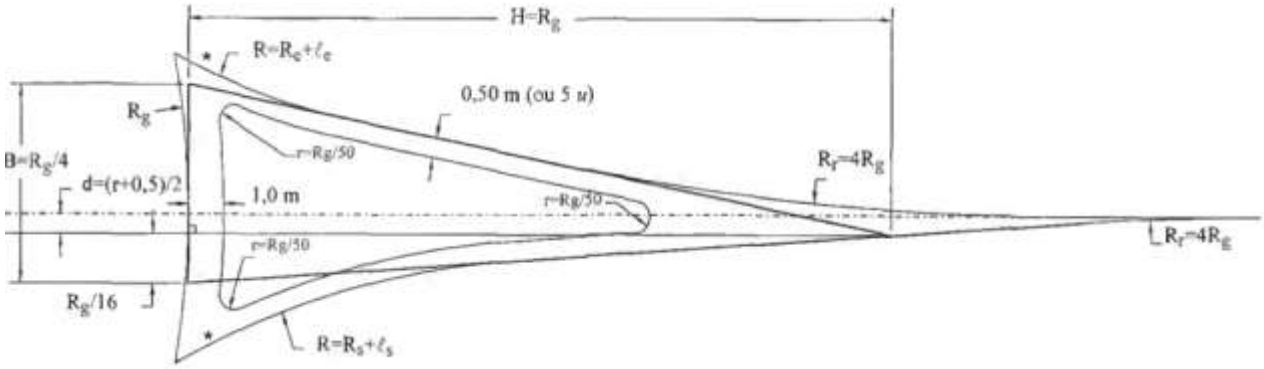


Figure VIII.17 : Construction des ilots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon Rg > 15 m (branches très secondaires exceptées).

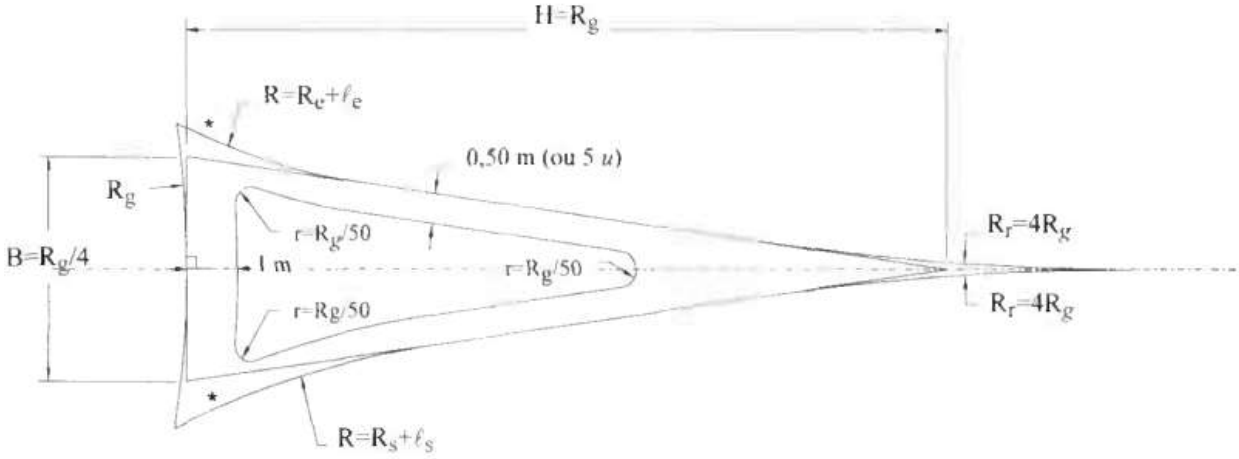


Figure VIII.18 : Construction des îlots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon Rg< 15 m (branches très secondaires excepté).

- Les courbes qui permettent d'évaser la base de l'îlot sont respectivement parallèles aux bords droits des voies d'entrée et de sortie.

Table VIII-5 : — Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs.

	Notation	Paramétrage	Valeurs courantes (en m)			
Rayon giratoire	Rg	-	<15	15	20	25
Hauteur du triangle de construction	H	H = Rg	12 à 15	15	20	25
Base du triangle de construction	B	B = (Rg/4)	3 à 3.75	3.75	5	6.25
Déport de l'îlot sur l'axe	d	d=(0.5+Rg/50) /2 ou 0	0	0.40	0.45	0.50
Rayon de raccordement des bordures	r	R = Rg/50	0.25	0.30	0.40	0.50

VIII.7.1.4. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

La voie directe comprend :

- Un couloir de décélération diagonal avec un biseau rectiligne d'au moins 80 m et un raccordement progressif (clothoïde).
- Un arc circulaire de rayon ≥ 40 m (idéalement < 75 m).
- Une voie d'insertion parallèle avec une zone d'accélération de 70 m et un biseau de 70 m.

La largeur est de 4 m, avec bandes dérasées de 2 m à droite et 0,5 m à gauche.

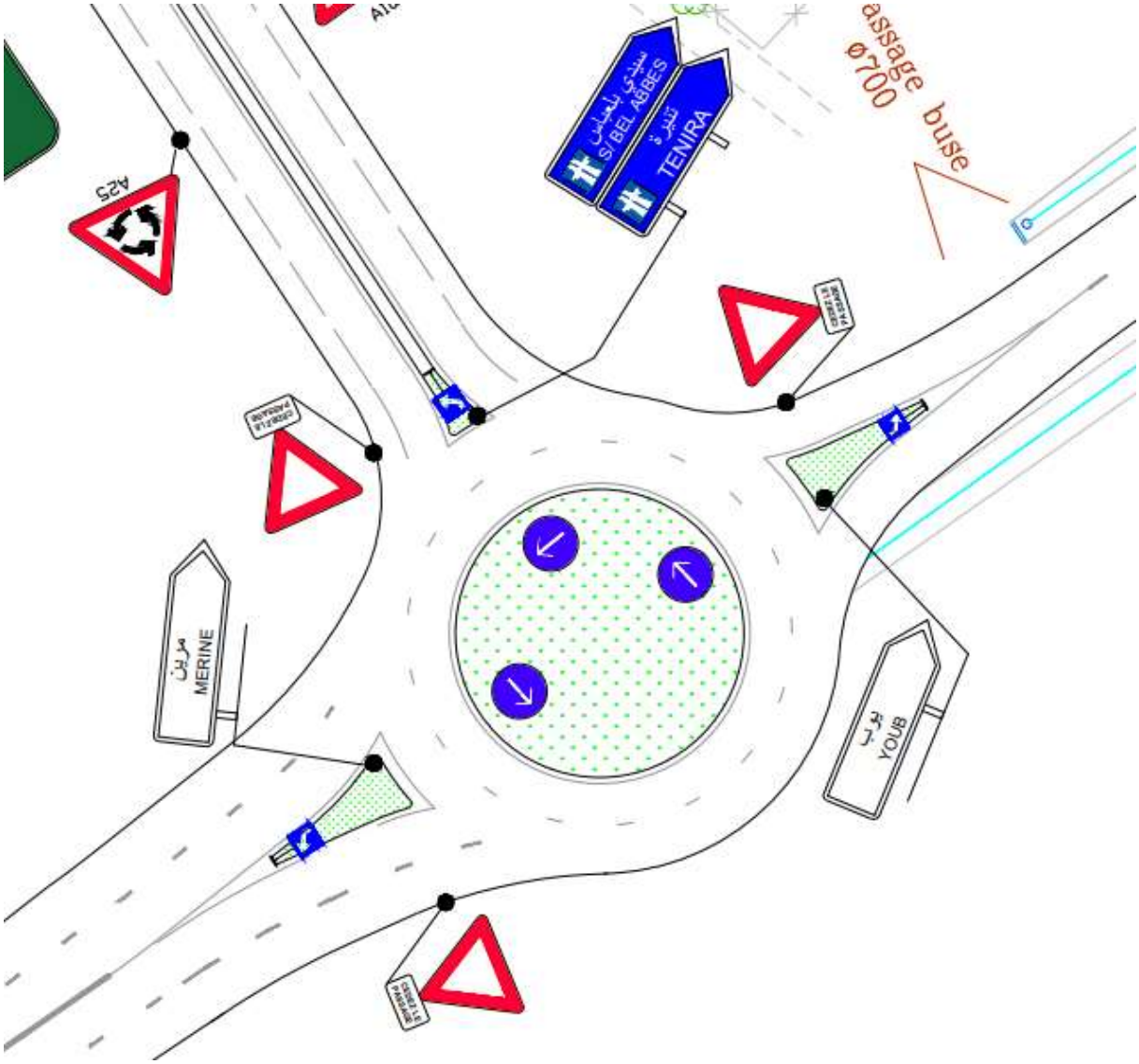


Figure VIII.19 : Notre Carrefour giratoire de projet

CHAPITRE IX :
SIGNALISATION

IX.1. INTRODUCTION

La signalisation routière joue un rôle important dans la sécurité des usagers. Elle sert à informer, avertir et guider les conducteurs tout au long de leur trajet. Pour être efficace, elle doit être claire, visible, compréhensible et bien placée, afin d'éviter toute hésitation ou mauvaise manœuvre. Avec l'augmentation de la vitesse sur les routes, une bonne signalisation devient encore plus nécessaire.

IX.2. PRINCIPES DE BASES DE LA SIGNALISATION

- **Uniformité :** seuls les signaux officiels et réglementaires doivent être utilisés.
- **Homogénéité :** mêmes conditions, mêmes signaux, avec une implantation cohérente.
- **Simplicité :** éviter trop de panneaux pour ne pas nuire à la compréhension.
- **Concentration :** regrouper les signaux complémentaires sur un même support.
- **Lisibilité :** limiter les informations pour qu'elles soient claires et faciles à comprendre.

IX.3. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière a pour objet de :

- Rendre plus sûr et plus facile la circulation routière.
- Rappeler certaines prescriptions du code de la route.
- Donner des informations relatives à l'usager de la route.

IX.4. CATEGORIE DE LA SIGNALISATION

On distingue :

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

IX.5. TYPE DE SIGNALISATION.

IX.5.1. Signalisation horizontale :

La signalisation horizontale regroupe l'ensemble des marquages au sol tels que les lignes, flèches, pictogrammes et symboles. Elle sert à organiser la circulation, guider les usagers et renforcer la sécurité routière. Ces marquages sont généralement réalisés en peinture blanche ou avec des matériaux réfléchissants. Ils permettent de délimiter les voies, indiquer les passages piétons ou avertir de certains dangers.

Ils se divisent en trois types :

IX.5.1.1. Marquages longitudinaux :

- Les lignes continues : sont des traits sans interruption qu'il est interdit de franchir. Elles signalent des zones dangereuses, comme les virages ou les zones à faible visibilité. Elles servent aussi à délimiter les voies ou les bords de chaussée et leur respect est essentiel pour la sécurité routière.
- Les lignes discontinues : sont des marquages au sol que les conducteurs peuvent franchir pour dépasser ou changer de direction. Elles servent à guider la circulation et délimiter les voies. Leur forme varie selon leur usage : ligne axiale, ligne de rive ou ligne d'avertissement avant une ligne continue.
- Les lignes mixtes : La ligne mixte est composée d'une ligne continue et d'une ligne discontinue. Le franchissement n'est autorisé que si la ligne discontinue est du côté du conducteur. Elle sert à gérer les dépassements dans les zones où la visibilité est limitée dans un seul sens.

➢ **Caractéristiques générales des marquages longitudinaux :**

1- Caractéristiques des lignes discontinues :

Pour la bonne compréhension des marquages, trois types de modulations de lignes longitudinales ont été retenus, se différenciant par le rapport des pleins aux vides. Ces modulations (tirets plus intervalles) sont des multiples ou des sous-multiples de 13 m.

Tableau 1 : Les caractéristiques de tous les types de lignes discontinues.

Type de marquage	Type de modulation	Langueur du trait (en m)	Intervalle entre 2 traits successives (en m)	Rapport plein/vide
Axial longitudinal	T1 T2 T3	3 1.5 3	10 5 1.33	1/3 1/3 3
Rive	T2 T3 T4	3 20 39	3.5 6 13	1 3 3
Transversal	T2	0.5	0.5	1

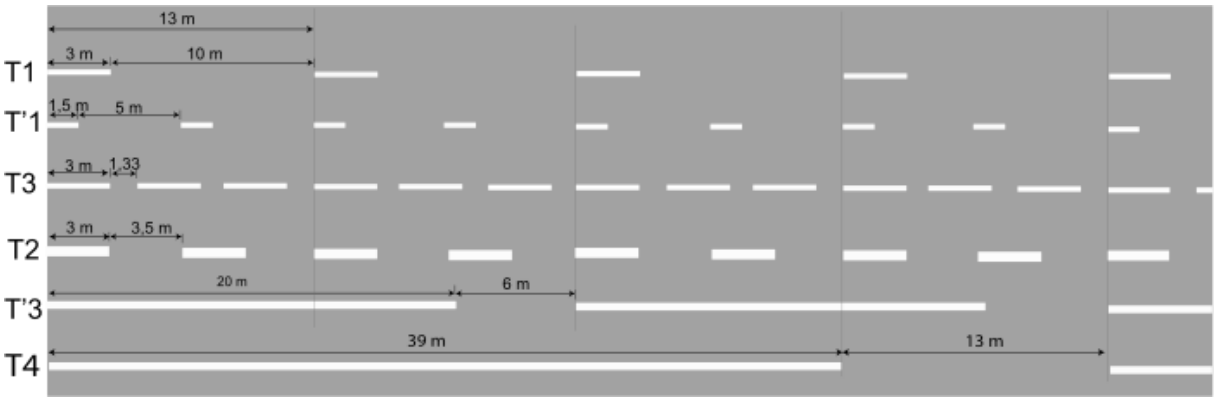


Figure IX.1 : disposition des lignes dans la route

1- Dimension de marquage :

La largeur de la ligne est définie par rapport à une largeur d'unité U différente selon le type de la route :

Tableau 2 largeurs des marquages

Type de route	Largeur de marquage U (cm)
Autoroute et voie rapide urbaine	7.5
Route et voie urbaine	6
Autres routes	5

Dans notre cas l'unité utilise c'est **U=7.5cm**

La valeur de « u » doit être homogène sur tout un itinéraire. En particulier, elle ne doit pas varier au passage d'un département à l'autre.

2- Choix des modulations et largeurs des lignes :

Les lignes de délimitation d`une autoroute :

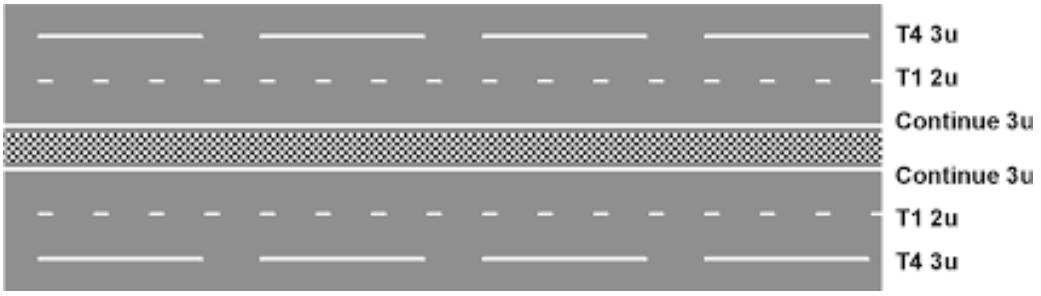


Figure IX.2 Les lignes de délimitation d`une autoroute.

Tableau 3 : Largeurs et couleurs des modulations.

DESIGNATION DES MARQUES	MODULATION	LARGEUR	Couleur
Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies.	CONTINUE	3U	Blanc
Ligne axiale ou de délimitation de voie	T1	2U	Blanc
Ligne de rive aux approches de certains carrefours et dans les bretelles de raccordement	T`3	3U	Blanc
Ligne délimitant une bande d'arrêt d'urgence, en section courante (hors bretelles de raccordement) sur autoroutes et routes à chaussées séparées et à carrefours dénivelés	T4	3U	Jaune
Ligne d'annonce d'une ligne continue	T3	2U	Blanc

Sur les bretelles de raccordement, elle est de type **T'3** et de largeur **3u**. En l'absence de bande d'arrêt d'urgence, la ligne de rive est continue de largeur **3u**.

IX.5.1.2. Marques transversales :

Prenons comme exemple :

- Ligne de **passage piéton.**
- La ligne **« Stop »,** d'une largeur de 50 cm.
- La ligne **« Cédez le passage »,** de largeur type T2 (5U).

IX.5.1.3. Les flèches :

Les flèches de rabattement sont des éléments de signalisation horizontale qui informent les usagers, qui circulent dans le sens de celles-ci, de l'obligation d'emprunter la voie ou les voies situées du côté indiqué par leur pointe.

IX.5.2. Signalisation verticale :

La signalisation verticale consiste en un ensemble de panneaux placés verticalement le long des routes pour fournir des informations aux usagers. Ces panneaux, qui varient par leur forme, couleur et emplacement, indiquent des informations essentielles telles que les limitations de vitesse, les directions à suivre, les interdictions, les dangers ou encore les zones de stationnement. Ils sont souvent réfléchissants pour garantir une meilleure visibilité de nuit et doivent être respectés conformément au Code de la route.

Elles peuvent être classées dans quatre classes :

IX.5.2.1. Signaux de danger :

Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150 m en avant de l'obstacle à signaler (une pente, virage, passage d'animaux, …)



Figure IX.3 : panneaux de signalisation de danger.

IX.5.2.2. Signaux comportant une prescription absolue :

Panneaux de forme circulaire, on trouve :

- L'interdiction (fond du panneau blanc).
- L'obligation (fond du panneau bleu).
- La fin de prescription.

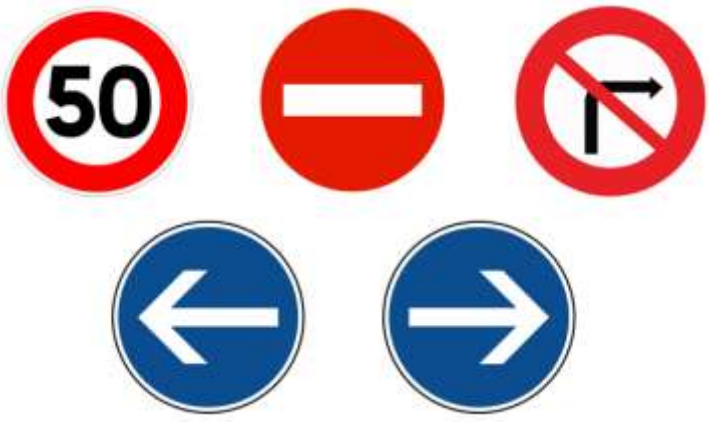


Figure IX.4 : panneaux de signalisation d'obligation et interdiction.

IX.5.2.3. Signaux d'indication :

Panneaux en général de forme rectangulaire, placés aux endroits les plus appropriés.



Figure IX.5 : panneaux de signalisation d'indication.

IX.5.2.4. Signaux de direction :

Caractériser par des panneaux rectangulaire (ou bien sous forme d'une flèche) pour indiquer les destinations aux usagers.

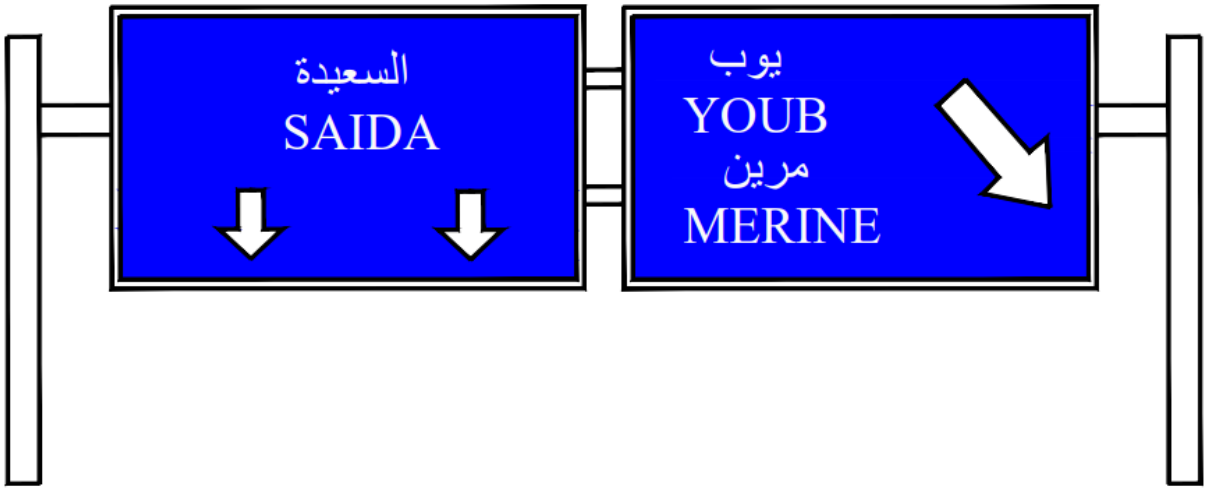


Figure IX.6 : panneaux de signalisation de direction.



Figure IX.7 : panneaux de signalisation de direction.

- **Dimension des panneaux :**

Les dimensions des panneaux seront résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : les dimensions des panneaux.

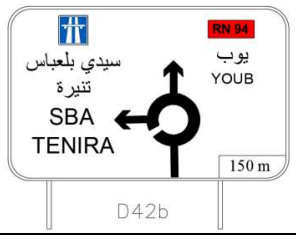
Dimensions	Côté du triangle (mm)	Diamètre du rond (mm)	Double de l'apothème de l'octogone (mm)	Côté du carré (mm)
TGG	1500	1250	1200	1050
GG	1250	1050	1000	900
GN	1000	850	800	700

IX.6. DISPOSITION DE LA SIGNALISATION VERTICALE SUR LE TRONÇON PROJETE

Dans le cadre de l'aménagement du tronçon autoroutier entre les PK 70+000 et 80+000, une signalisation verticale a été étudiée et définie conformément aux normes en vigueur. Le tableau ci-dessous présente de manière détaillée les différents types de signalisations prévus le long du tracé, selon le sens de circulation concerné. Chaque panneau a été implanté en tenant compte du profil en long, de la géométrie des bretelles, des pentes, ainsi que des exigences de sécurité, notamment aux abords de l'échangeur de type demi-trèfle. Cette signalisation vise à garantir une circulation fluide, sécurisée et conforme aux conditions spécifiques du site.

Table IX-1 : Tableau récapitulatif de la signalisation verticale projetée sur le tronçon

Type de signalisation	Détail / Justification
B14 – Limitation 120 km/h 	Début du tronçon
A13a – Pente importante 	Rampe 4.4 %, à mentionner si visée par ICTAAL L1
A13a – Pente de 5 % 	Début de rampe 5 %
B14 – Limitation 120 km/h 	Rappel à mi-tronçon

D30 – Annonce sortie 500 m 	500 m avant la sortie de l'échangeur (demi-trèfle)
Da41a – Annonce sortie 250 m 	250 m avant sortie
D31 – Panneau de sortie 	Au droit de la bretelle
B14 – Limitation 60 km/h (entrée/sortie) 	Vitesse sur bretelle selon géométrie locale
B14 – Retour 120 km/h 	Rappel vitesse après retour sur chaussée principale
A13b – Descente de 5 % 	Début de descente
B14 – Limitation 120 km/h 	Dernier panneau avant fin de ton tronçon
	Panneau D42b signale, à 150 m, l'approche d'un giratoire en indiquant les directions possibles à chaque sortie.

	Le panneau C107 indique l'entrée sur une autoroute ou une route à accès réglementé, réservée aux véhicules motorisés rapides, sans croisements ni arrêts.
	Le panneau C207 signale la fin d'une autoroute ou d'une route à accès réglementé, annonçant le retour aux règles de circulation classiques.
	Le panneau D21a indique la direction à suivre pour rejoindre une autoroute menant vers les villes mentionnées, avant l'entrée réelle sur l'autoroute.
	Le panneau B21a impose une obligation de tourner à droite, interdisant toute autre direction à cet endroit.

CHAPITRE X :
ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

X.1. INTRODUCTION

Un projet autoroutier entraîne des interactions souvent conflictuelles avec le milieu traversé. L'analyse des impacts environnementaux permet de relier les effets possibles des phases de pré-construction, construction et exploitation aux composantes naturelles et humaines concernées.

Ces effets se divisent en deux catégories :

- Les impacts primaires, directement liés aux travaux et au fonctionnement de l'infrastructure, touchent physiquement le milieu.
- Les impacts secondaires résultent de ces premiers effets et dégradent les ressources naturelles (sol, eau, air, faune, flore), tout en influençant les conditions de vie des populations (économie, culture, qualité de vie).

X.2. ANALYSE DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX DURANT LA PHASE DE CONSTRUCTION

La phase de construction est celle où la majorité des impacts environnementaux peuvent se produire. Dans ce chapitre, on étudie les effets directement liés aux travaux, ainsi que les solutions prévues pour les éviter, les limiter ou les compenser.

X.2.1. Impact des perturbations du réseau de circulation :

Le déplacement des équipements peut entraîner une perturbation passagère du trafic, augmentant ainsi le risque d'accidents de la circulation. Ces impacts, associés au transport et à la circulation, auront également des effets sur la qualité de l'air et sur le sol.

X.2.2. Impact causé par l'aménagement des sites de chantie :

Les travaux de construction seront concentrés dans une zone dédiée, spécifiquement aménagée pour regrouper l'ensemble des ouvrages à réaliser. Cette zone comprendra :

- Les accès aux différents chantiers,
- Les aires de dépôt des déblais issus des voiries,
- Ainsi que les espaces réservés aux interventions techniques.

Par ailleurs, les installations de chantier seront organisées autour de plusieurs composantes essentielles, notamment :

- Les aires principales d'installation,
- Les ateliers de maintenance mécanique,
- Les zones de stationnement pour les engins et de stockage des matériaux,
- Ainsi que les espaces dédiés au nettoyage des machines.

X.2.3. Impact dû à la pollution de l'air :

Pendant la phase de construction, la qualité de l'air sera temporairement affectée par les poussières générées par les engins, les travaux de terrassement, d'excavation et de remblayage. Ces émissions peuvent nuire à la santé respiratoire des populations proches, ainsi qu'à la faune, à la flore et à la végétation en perturbant la photosynthèse.

Un air sec et chargé de poussières peut aussi endommager les isolateurs des lignes électriques, provoquant des coupures. Bien que la région traversée soit peu humide, des concentrations locales de polluants peuvent survenir.

Des mesures comme le choix stratégique des zones de dépôt, en tenant compte des vents dominants (souvent d'ouest, plus forts en hiver), peuvent aider à limiter ces effets.

X.2.4. Impact généré par les bruits et vibrations durant les travaux :

Les nuisances sonores durant la phase de construction seront temporaires et principalement liées aux vibrations générées par les engins de chantier (terrassement, marteaux piqueurs, palplanches, engins de fonçage, etc.).

Ces bruits risquent de déranger les habitations proches du tracé ainsi que la faune, notamment les oiseaux. Une exposition prolongée peut affecter la santé humaine (stress, troubles auditifs) et provoquer le déplacement de certaines espèces animales.

L'intensité des nuisances dépendra du type et de l'état des machines utilisées, ainsi que de la distance entre les sources sonores et les zones sensibles.

Selon la réglementation algérienne, les niveaux sonores ne doivent pas dépasser 65 dB le jour et 45 dB la nuit dans les zones situées à moins de 100 mètres de la chaussée.

Table 0-1 : Niveau sonore ressenti à différentes distances de la source émettrice

Distance (m)	Bruit des engins de puissance 200 à 300 CV	Bruit des engins de puissance < 200 CV
50	63,36 dB (A)	60,36 dB (A)
100	56,43 dB (A)	53,43 dB (A)
150	52,38 dB (A)	49,38 dB (A)
200	49,51 dB (A)	46,51 dB (A)
300	45,46 dB (A)	42,46 dB (A)
400	42,58 dB (A)	39,58 dB (A)
500	40,36 dB (A)	37,36 dB (A)

X.2.5. Impact sur l'agriculture:

Le milieu agricole subira des impacts dont certains seront permanents. Pendant la phase de chantier, les activités agricoles seront perturbées par la perte d'espace cultivable, la baisse de productivité, la fragmentation des parcelles et la coupure des accès aux exploitations.

D'autres effets apparaîtront à long terme durant l'exploitation de l'autoroute, tels que la dégradation de la qualité des sols liée aux modifications du régime hydrologique, ainsi qu'aux changements microclimatiques et à la pollution.

PK	Terrains agricoles
72+600 à 72+800	Terrain agricole
72+900	Verger Figuiers
73+470 à 73+600	Terrain agricole
74+700 à 75+100	Verger
76+000 à 76+200	Verger
76+800	Verger Olivier

X.2.6. Impact lié à la déviation ou à la perturbation des réseaux :

Les déviations des réseaux provoqueront des perturbations temporaires affectant la vie quotidienne des riverains :

- **Coupure d'eau** : baisse de l'approvisionnement, risques sanitaires accrus.
- **Coupure d'électricité et de gaz** : gêne pour les ménages et les activités économiques.
- **Coupure des télécommunications** : interruptions parfois étendues, notamment sur les lignes longue distance.

Ces interruptions peuvent aussi impacter le secteur agricole, notamment par l'allongement des trajets en raison de la non-restitution de certains chemins.

X.2.7. Ouverture des pistes d'accès:

Les travaux d'excavation et de terrassement peuvent modifier la topographie et les propriétés des sols, entraînant des dépôts de matériaux, l'ouverture de carrières et des risques tels que la pollution accidentelle, la dispersion de poussières et les glissements de terrain.

L'ouverture des sites d'emprunt engendre :

- La disparition de la végétation et l'altération du paysage.
- La déstabilisation des sols et des écoulements.
- Des nuisances sonores pour les riverains.
- Un risque accru d'accidents aux intersections avec les routes existantes.

X.3. IMPACTS SUR LE MILIEU PHYSIQUE

X.3.1. Déstabilisation des sols:

Certains dommages peuvent persister après les travaux, notamment en cas de négligence ou d'absence de suivi. Parmi les principaux risques figurent :

- L'érosion des sols due au remodelage du terrain,
- La pollution des sols et des eaux par l'abandon de matériel,
- La sédimentation des oueds causée par l'abandon des déblais.

La gravité de ces impacts dépendra surtout de la stabilité et du profil des terrains concernés.

X.3.2. Impact sur la flore et la faune :

Les travaux de construction entraîneront l'abattage partiel de zones forestières, causant une fragmentation du milieu naturel et une dégradation de la végétation, notamment par l'envol de poussières affectant les plantations proches du chantier (moins de 100 m).

La faune locale, riche en espèces (sanglier, lapin, oiseaux, etc.), sera perturbée par le déboisement, le bruit, la circulation des engins et la perte d'habitats. Ces dérangements peuvent entraîner des déplacements d'espèces, du stress, une baisse de reproduction et la destruction de gîtes et de nids, en plus de la pollution potentielle des points d'eau. Des mesures de protection (barrières, suivi écologique) sont donc à prévoir.

Dans le souci de préserver les équilibres écologiques et de permettre la continuité des déplacements de la faune locale, il a été décidé d'intégrer un passage inférieur de type **dalot de dimensions 2 m × 2 m au PK 73+062.** Cet aménagement vise à faciliter le franchissement de la voie par les animaux sauvages ainsi que par les éleveurs locaux accompagnés de leurs troupeaux (moutons, chèvres, etc.). Ce dispositif permet de limiter les risques d'accidents, tout en assurant une cohabitation harmonieuse entre l'infrastructure routière et les activités rurales environnantes.

X.3.3. Impact sur les ressources en eau :

- L'érosion augmente les matières en suspension dans les cours d'eau.
- Risques accrus de pollution accidentelle (hydrocarbures, huiles, etc.) depuis les engins ou les zones de stockage.
- La compaction du sol par les machines diminue l'infiltration naturelle de l'eau, **modifiant les écoulements** de surface et souterrains

X.3.4. Pollution atmosphérique liée à la poussière :

- Les activités de terrassement et le trafic des engins génèrent beaucoup de poussières.
- Cela réduit la visibilité, impacte la qualité de l'air et peut affecter les sols et les eaux à travers les dépôts secs

X.4. IMPACTS LIES AUX INFRASTRUCTURES EXISTANTES

X.4.1. Lignes électriques:

Le tracé du projet autoroutier entre le PK 70 et le PK 80 croise plusieurs lignes électriques de moyenne tension. Ces lignes sont sensibles aux travaux de terrassement et aux déplacements de sol. Leur présence exige des mesures de protection ou de déplacement pour éviter les coupures d'alimentation ou les accidents.

X.4.2. Réseau routier:

Au niveau du PK 76+944, l'autoroute croise la RN94 par un passage inférieur. Cette intersection avec une route nationale peut entraîner des perturbations temporaires du trafic pendant la phase de construction. Une bonne coordination des travaux est nécessaire pour assurer la continuité de la circulation et éviter les désagréments pour les usagers.

X.4.3. Puits d'eau:

Deux puits sont situés à proximité du tracé : au PK 70+160 et PK 73+150. Ces points d'eau risquent d'être endommagés ou rendus inaccessibles par les travaux. Leur protection ou leur déplacement doit être prévu afin de préserver les ressources hydrauliques locales, souvent utilisées à des fins agricoles ou domestiques.

X.4.4. Autres réseaux (électricité, gaz, télécom) :

Même si aucun croisement spécifique n'est mentionné dans ce tronçon pour ces réseaux, des câbles souterrains ou conduites peuvent exister à proximité. Des perturbations temporaires (coupures, interférences) sont possibles en l'absence de cartographie précise. Une reconnaissance préalable est indispensable.

Table 0-2 : Tableau récapitulatif des impacts sur les infrastructures existantes

Type d'infrastructure	Localisation (PK)	Nature de l'impact	Mesures proposées
Lignes électriques	73+850, 74+000, 74+950, 76+450, 77+420	Risque de coupure, accident ou interférence	Protection ou déplacement sécurisé
Route nationale (RN94)	76+621	Perturbation du trafic pendant les travaux	Organisation d'un passage inférieur et déviation temporaire
Puits d'eau	70+160, 73+150	Risque de destruction ou pollution	Repositionnement ou confinement
Réseaux enterrés (télécom, AEP, gaz)	Non localisés avec précision	Coupures possibles pendant les travaux	Repérage préalable, plans de protection ou déviation

X.5. IMPACTS POSITIFS DURANT LA PERIODE D'EXPLOITATION

X.5.1. Amélioration des conditions de vie :

L'entrée en service de l'autoroute améliore considérablement la mobilité des populations locales.
Elle permet un gain de temps dans les déplacements, un meilleur accès aux services de santé, d'éducation et d'administration, et facilite les trajets domicile-travail.

Effets positifs :

- Réduction de l'isolement des zones rurales.
- Accès facilité aux centres urbains.
- Meilleure sécurité routière par rapport aux routes nationales classiques.

X.5.2. Développement économique local:

Le fonctionnement de l'autoroute favorise la dynamique économique de la région. Il stimule les activités commerciales, facilite la circulation des marchandises et attire de nouveaux investissements.

Effets positifs :

- Renforcement des échanges entre les wilayas.
- Création d'activités annexes (stations-services, aires de repos, maintenance).
- Opportunités d'emploi indirect pour les habitants.

X.5.3. Valorisation du foncier résidentiel:

Avec une infrastructure moderne, les terrains situés à proximité gagnent en valeur. L'accessibilité accrue rend certaines zones attractives pour des projets d'habitat ou d'activités économiques.

Effets positifs :

- Hausse de la demande foncière autour des échangeurs.
- Développement de nouveaux pôles d'habitat.
- Amélioration du cadre urbain dans certaines communes traversées.

X.6. IMPACTS NEGATIFS DURANT LA PERIODE D'EXPLOITATION

X.6.1. Pollution de l'air:

L'augmentation du trafic routier entraîne une émission continue de gaz polluants : dioxyde de carbone (CO_2), oxydes d'azote (NOx), dioxyde de soufre (SO_2), plomb et particules fines.

Conséquences :

- Risques pour la santé (affections respiratoires).
- Dégradation de la qualité de l'air ambiant.
- Effets néfastes sur les cultures et la végétation.

X.6.2. Pollution des eaux de ruissellement :

Les pluies qui tombent sur la chaussée entraînent avec elles des hydrocarbures, huiles usagées, poussières et métaux lourds vers les oueds ou sols environnants.

Conséquences :

- Contamination des nappes phréatiques.
- Dégradation de la qualité des eaux de surface.
- Sédimentation accélérée des cours d'eau.

X.6.3. Nuisances sonores:

La circulation constante, surtout des poids lourds, engendre un niveau sonore élevé, gênant pour les riverains.

Conséquences :

- Troubles du sommeil et stress chez les populations voisines.
- Réduction du confort acoustique.
- Perturbation de la faune sensible au bruit.

X.6.4. Dégradation du paysage:

Les viaducs, remblais, déblais et autres structures de l'autoroute modifient durablement l'aspect du territoire.

Conséquences :

- Perte de la continuité visuelle des paysages naturels.
- Dévalorisation esthétique des zones rurales traversées.
- Contraste fort avec l'environnement agricole ou forestier.

X.7. CONCLUSION

En conclusion**,** bien que l'exploitation d'une autoroute améliore significativement la mobilité, l'accessibilité et le développement économique local, il reste indispensable de veiller à limiter ses effets négatifs sur l'environnement. Une attention particulière doit être portée à la qualité de l'air, des eaux, au bruit et à la protection de la biodiversité, afin de garantir un développement durable et équilibré du territoire traversé.

CHAPITRE XI :
DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

PROJET : Liaison autoroutière Sidi Bel Abbes autoroute est/ouest - Saida sur 120km
LOT : Du PK 60 au PK 120

N°	DÉSIGNATION DES OUVRAGE	UNITE	QUANTITE	P.U (HT)	MONTANT
	LOT O1: INSTALLATION DE CHANTIER				
1-01	Installation et rempliment du chantier.	F	1	50 000 000,00	50 000 000,00
1-02	Laboratoire de chantier.	F	1	15 000 000,00	15 000 000,00
				S/TOTAL 1	**65 000 000,00**
	LOT 02: PREPARATION DU TERRAIN				
2-01	Abattage et évacuation d'arbres, quel que soit le diamètre.	U	10 234	3 000,00	30 702 000,00
2-02	Démolition de clôtures (murets, grillages, piquets…), y compris évacuation des gravats, nettoyage et nivellement.	ML	1 474,0	2 000,00	2 948 000,00
2-03	Démolition des habitations y compris évacuation des gravats, nettoyage et nivellement.	U	2	500 000,00	1 000 000,00
2-04	Nettoyage complet, retrait des débris, nivellement grossier du sol prêt à recevoir les travaux de terrassement.	Ha	105,00	40 000,00	4 200 000,00
				S/TOTAL 2	**38 850 000,00**
	LOT 03: TERRASSEMENT				
3-01	Décapage de la terre végétale sur 30 cm y compris transport et mise en dépôt.	M³	146 402,870	400,00	58 561 148,00
	Deblai mis en remblai	M³			
3-02	Deblai de matériaux meubles mis en remblai.	M³	186 829,120	600,00	112 097 472,00
3-03	Deblai de matériaux rocheux mis en remblai.	M³	280 243,680	2 000,00	560 487 360,00
	Deblai mis en dépôt	M³			
3-04	Deblai de matériaux meubles mis en dépot.	M³	46 707,280	450,00	21 018 276,60
	Deblai de matériaux rocheux mis en dépôt.	M³	70 060,920	1 700,00	119 103 564,00
3-05	Remblai à partir de matériaux provenant de gîte d'emprunt.	M³	95 903,200	900,00	86 312 880,00
				S/TOTAL 3	**957 580 700,00**

	LOT 04 : CHAUSSEE				
4-01	F/P d'une couche de forme en tuf en deux couches de 20 cm d'epaisseur.	M^3	197 757,52	1 000,00	197 757 520,00
4-02	F/P d'une couche de fondation en grave bitume de 13 cm d'épaisseur.	T	73 123,68	9 500,00	694 674 960,00
4-03	F/P d'une couche de base en grave bitume de 12 cm d'épaisseur.	T	67 347,77	9 700,00	653 273 369,00
4-04	F/P d'une couche de roulement en béton bitumineux de 8 cm d'épaisseur.	T	44 294,50	9 000,00	398 650 500,00
4-05	Fourniture et pulvérisation d'un enduit d'accrochage à l'émulsion cationique rapide, dosage 0,3 kg/m2, avant la mise en œuvre des couches bitumineuses, y compris nettoyage préalable.	M^2	462 000,00	250,00	115 500 000,00
4-06	Fourniture et pulvérisation d'un enduit d'imprégnation en bitume cut-back, dosage 0,8 kg/m2.	M^2	315 000,00	250,00	78 750 000,00
4-07	F/P de terre végétale pour berme latérale.	M^3	3 916,500	2 000,00	7 833 000,00
				S/TOTAL 4	**2 146 439 349,00**
	LOT 05 : ASSAINISSEMENT				
5-01	Construction de fossé trapézoïdal en déblais/remblais.	ML	31 500,00	2 000,00	63 000 000,00
	F/P de buses en béton, y compris tete de buse.				
5-02	dim: Ø1500 mm	U	1	1 200 000,00	1 200 000,00
	F/P de dalots en béton armé.				
5-03	dim: 1,5x1,5	U	2	2 000 000,00	4 000 000,00
5-04	dim: 2x1,5	U	10	2 500 000,00	25 000 000,00
5-05	dim: 2x2	U	1	3 000 000,00	3 000 000,00
5-06	dim: 3x2,5	U	4	4 000 000,00	16 000 000,00
5-07	F/P de descentes d'eau en béton.	ML	2 000,00	9 000,00	18 000 000,00
				S/TOTAL 5	**130 200 000,00**

	LOT 06 : ECHANGEUR				
6-01	Echangeur	U	1	500 000 000,00	500 000 000,00
				S/TOTAL 6	**500 000 000,00**
	LOT 07 : SIGNALISATION ET ÉQUIPEMENTS ROUTIERS				
	Exécution de marquage au sol en peinture routière réfléchissante y compris préparation du support et toutes sujétions pour				
7-01	Ligne continue de couleur blanche et de largeur = 22,5 cm.	ML	21 000,00	250,00	5 250 000,00
7-02	Ligne discontinue de type T1 couleur blanche et de largeur = 15 cm.	ML	4 846,16	200,00	969 232,00
7-03	Ligne de BAU de type T4 couleur jaune d'une largeur = 22,5 cm.	ML	15 750,00	350,00	5 512 500,00
7-04	Fourniture et pose de panneaux de signalisation verticale normalisés, y compris support, fixation, scellement, et toutes sujétions de pose.				
7-05	Types A, B, C.	U	32	20 000,00	640 000,00
7-06	Type D.	U	4	30 000,00	120 000,00
7-07	Équipements divers				
7-08	F/P de portique en métal.	U	2	4 000 000,00	8 000 000,00
7-09	F/P de glissière de sécurité en béton type GBA.	ML	42 000,0	8 000,00	336 000 000,00
				S/TOTAL 7	**356 491732,00**
	LOT 08 : DÉVIATION DES RÉSEAUX TECHNIQUES				
8-01	Déplacement de poteau électrique Moyenne Tension (MT).	U	10	1 000 000,00	10 000 000,00
				S/TOTAL 8	**10 000 000,00**
				MONTANT TOTAL EN HT	**4 204 561 781,00**
				TVA 19%	**798 866 738,39**
				MONTANT TOTAL EN TTC	**5 003 428 519,39**

Arrêter le présent devis quantitatif et estimatif a la somme de : Cinq milliard trois million quatre cent vingt-huit mille cinq cent dix-neuf dinars algériens et trente-neuf centimes.

Conclusion générale :

Ce projet de fin d'études a représenté une occasion précieuse de mettre en application les connaissances théoriques et techniques acquises tout au long de notre formation à l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP). Il nous a permis d'affronter les réalités techniques et administratives liées à la conception d'un projet routier, tout en nous familiarisant avec des outils professionnels tels que Civil 3D, AutoCAD, GEO5, Alizé-LCPC, Google Earth et Excel.

Dans le cadre de cette étude, nous avons appliqué avec rigueur les normes et recommandations en vigueur afin de limiter les contraintes sur le terrain. L'accent a été mis sur le confort et la sécurité des usagers, sans négliger les considérations économiques et environnementales liées à l'impact du projet.

Ce travail constitue une étape importante dans notre parcours, en renforçant nos compétences et en nous préparant à contribuer, de manière efficace et responsable, au développement des infrastructures publiques.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques:

- **ICTAAL 2000 & 2015** – Instructions sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison.
- **ICTAAL – Guide des échangeurs**.
- **Catalogue algérien de dimensionnement des chaussées neuves**, Ministère des Travaux Publics / CTTP, 2000-2001.
- **Catalogue français de dimensionnement des chaussées**.
- **Guide des terrassements routiers (GTR)**, SETRA – LCPC, 1992 et 1994, norme NF-P 11-300.
- **Normes techniques d'aménagement des routes**, B40, octobre 1977.
- **Guide technique "Assainissement routier"**, SETRA, octobre 2006.
- **Guide technique mise en oeuvre de la signalisation verticale (CTTP).**
- **Instruction interministérielle sur la signalisation routière.RPA 99 version 2003** Règles parasismiques algériennes.
- **Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales** – Carrefours plans, *édition de décembre 1998.Références pédagogiques.*

Références pédagogiques :

- **Cours de route – 1re et 2e années**, ENSTP, M. Mahrez.
- **Cours de géotechnique routière – 2e année**, ENSTP, M. Hamadi Kamel.
- **Cours d'hydraulique – 2e année**, ENSTP, M. Lefkir.

Logiciels et outils utilisés :

- **Autodesk Civil 3D 2024** – Conception géométrique et modélisation de l'infrastructure routière.
- **AutoCAD** – Dessin technique et DAO des plans de projet.
- **Alizé-LCPC** – Dimensionnement mécanique des structures de chaussée.
- **Geo5 – GeoStructural Analysis** – Études géotechniques et calculs de stabilité.
- **Google Earth** – Visualisation et repérage satellite du tracé.
- **Microsoft Office (Word & Excel)** – Rédaction, calculs et présentation du rapport.

Aide-mémoire "Routes" – Outil complémentaire pour les rappels normatifs et pratique

ANNEXE

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Axe en plan: Axe principal

Description:

Plage d'abscisse : Début: 70000.00, Fin: 80497.77

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			70000.00	208869.0748	3865552.9881
DR1	ANG=121.4436 (g)	431.888			
			70431.89	209276.6933	3865410.2482
ARC2	XC=208615.6894				
	YC=3863522.6376				
	R=2000.000	493.517			
			70925.41	209717.7422	3865191.6132
DR3	ANG=137.1527 (g)	282.847			
			71208.25	209953.7742	3865035.7572
ARC4	XC=212708.9063				
	YC=3869208.1963				
	R=5000.000	511.315			
			71719.57	210394.1108	3864776.2980
DR5	ANG=130.6425 (g)	579.291			
			72298.86	210907.5824	3864508.1101
ARC6	XC=208592.7869				
	YC=3860076.2118				
	R=5000.000	211.803			
			72510.66	211093.1879	3864406.1073
DR7	ANG=133.3392 (g)	718.599			
			73229.26	211715.4794	3864046.7503
ARC8	XC=210715.3189				
	YC=3862314.7922				
	R=2000.000	1167.650			
			74396.91	212504.5022	3863208.5612
DR9	ANG=170.5067 (g)	969.328			
			75366.24	212937.6800	3862341.4084
ARC10	XC=214726.8633				
	YC=3863235.1775				
	R=2000.000	131.639			
			75497.88	213000.3390	3862225.6658
DR11	ANG=166.3165 (g)	1908.062			

			77405.94	213963.4446	3860578.5078
ARC12	XC=215344.6641				
	YC=3861386.1172				
	R=1600.000	189.712			
			77595.65	214068.6766	3860420.7902
DR13	ANG=158.7681 (g)	822.973			
			78418.62	214565.2006	3859764.4755
ARC14	XC=212970.2163				
	YC=3858557.8168				
	R=2000.000	314.864			
			78733.49	214734.6585	3859499.4874
DR15	ANG=168.7905 (g)	1764.285			
			80497.77	215565.3460	3857942.9983

PROFIL : ABSCISSE SOMMETS ET RACCORDEMENTS

Profil en long : LR route principale
Description:
Plage d'abscisse : Début: 70000.00, Fin: 80497.77
LONGUEUR DE L'AXE : 10497.770m

Elément	**Caractéristiques des éléments**	**Longueur**	**Abscisse**	**Z**
			70000.00	676.871
D1	PENTE= 1.26%	397.846		
			70397.85	681.894
PAR1	S= 70443.73 Z=682.473			
	R= 4500.000	91.765		
			70489.61	683.988
D2	PENTE= 3.30%	1219.733		
			71709.34	724.261
PAR2	S= 71748.96 Z=725.569			
	R= 5000.000	79.229		
			71788.57	727.505
D3	PENTE= 4.89%	449.937		
			72238.51	749.491

PAR3	S= 72750.00 Z=774.484			
	R= 12501.000	1022.980		
			73261.49	757.621
D4	PENTE= -3.30%	98.289		
			73359.78	754.381
PAR4	S= 73493.55 Z=749.971			
	R= 4201.000	267.543		
			73627.32	754.080
D5	PENTE= 3.07%	593.900		
			74221.22	772.323
PAR5	S= 74307.20 Z=774.964			
	R= 15000.000	171.961		
			74393.18	776.620
D6	PENTE= 1.93%	292.568		
			74685.75	782.252
PAR6	S= 74725.00 Z=783.008			
	R= 6000.000	78.498		
			74764.25	784.277
D7	PENTE= 3.23%	452.143		
			75216.39	798.898
PAR7	S= 75633.08 Z=812.372			
	R= 15000.000	833.383		
			76049.77	802.696
D8	PENTE= -2.32%	245.926		
			76295.70	796.985
PAR8	S= 76378.82 Z=795.055			
	R= 13000.000	166.239		
			76461.94	792.061
D9	PENTE= -3.60%	273.254		
			76735.19	782.222
PAR9	S= 76786.47 Z=780.375			
	R= 5000.000	102.558		

ANNEXE

			76837.75	779.580
D10	PENTE= -1.55%	407.504		
			77245.26	773.265
PAR10	S= 77300.00 Z=772.416			
	R= 5000.000	109.487		
			77354.74	772.766
D11	PENTE= 0.64%	326.786		
			77681.53	774.858
PAR11	S= 77787.29 Z=775.534			
	R= 13000.000	211.514		
			77893.04	774.490
D12	PENTE= -0.99%	118.282		
			78011.33	773.323
PAR12	S= 78050.00 Z=772.941			
	R= 5000.000	77.348		
			78088.67	773.157
D13	PENTE= 0.56%	283.657		
			78372.33	774.745
PAR13	S= 78418.62 Z=775.005			
	R= 5000.000	92.587		
			78464.92	776.121
D14	PENTE= 2.41%	222.688		
			78687.61	781.491
PAR14	S= 78799.96 Z=784.201			
	R= 13000.000	224.701		
			78912.31	788.852
D15	PENTE= 4.14%	153.367		
			79065.67	795.201
PAR15	S= 79086.65 Z=796.070			
	R= 5000.000	41.959		
			79107.63	797.115
D16	PENTE= 4.98%	1390.139		
			80497.77	866.333

ANNEXE

RAPPORT SUR LES VOLUMES

Axe : Axe principal
Groupe de tabulations : Groupe de tabulations - 2
Abscisse curviligne de départ : 70+000.000
Abscisse curviligne de fin : 80+497.773.

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
70+000.000	10.75	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
70+025.000	26.66	467.72	0.24	4.07	467.72	4.07	463.65
70+050.000	26.04	658.85	0.64	10.97	1126.57	15.05	1111.52
70+075.000	26.39	655.39	0.44	13.51	1781.96	28.56	1753.40
70+100.000	10.16	456.84	1.40	23.05	2238.80	51.61	2187.19
70+125.000	2.53	158.65	4.72	76.61	2397.45	128.22	2269.22
70+150.000	16.13	233.33	0.30	62.82	2630.78	191.04	2439.73
70+175.000	37.71	673.06	0.18	5.97	3303.83	197.01	3106.82
70+200.000	67.79	1318.75	0.17	4.34	4622.59	201.35	4421.24
70+225.000	40.56	1354.36	2.40	32.10	5976.95	233.45	5743.50
70+250.000	0.00	506.99	61.83	802.87	6483.94	1036.32	5447.62
70+275.000	0.00	0.00	146.83	2608.26	6483.94	3644.58	2839.36
70+300.000	0.00	0.00	183.59	4130.17	6483.94	7774.75	-1290.81
70+325.000	0.00	0.00	216.26	4998.03	6483.94	12772.78	-6288.84
70+350.000	0.00	0.00	175.46	4896.41	6483.94	17669.18	-11185.24
70+375.000	0.00	0.00	126.78	3777.94	6483.94	21447.12	-14963.18
70+400.000	0.00	0.00	93.16	2749.25	6483.94	24196.38	-17712.44
70+425.000	0.00	0.00	125.56	2733.96	6483.94	26930.34	-20446.40
70+450.000	0.00	0.00	142.93	3356.08	6483.94	30286.42	-23802.48
70+475.000	0.00	0.00	137.68	3507.63	6483.94	33794.06	-27310.12
70+500.000	0.00	0.00	131.06	3359.20	6483.94	37153.25	-30669.31
70+525.000	0.00	0.00	93.19	2803.12	6483.94	39956.37	-33472.43
70+550.000	0.00	0.00	77.68	2135.88	6483.94	42092.25	-35608.31
70+575.000	0.00	0.00	79.93	1970.05	6483.94	44062.31	-37578.37
70+600.000	0.00	0.00	89.19	2113.92	6483.94	46176.23	-39692.29
70+625.000	0.00	0.00	86.23	2192.68	6483.94	48368.91	-41884.97
70+650.000	0.00	0.00	84.31	2131.68	6483.94	50500.59	-44016.64
70+675.000	0.00	0.00	82.62	2086.60	6483.94	52587.18	-46103.24
70+700.000	0.00	0.00	79.15	2022.08	6483.94	54609.26	-48125.32

70+725.000	0.00	0.00	75.01	1926.97	6483.94	56536.23	-50052.29
70+750.000	0.00	0.00	53.58	1607.38	6483.94	58143.61	-51659.67
70+775.000	0.00	0.00	29.20	1034.76	6483.94	59178.37	-52694.43
70+800.000	0.00	0.00	18.91	601.41	6483.94	59779.79	-53295.85
70+825.000	0.00	0.00	18.97	473.48	6483.94	60253.27	-53769.33
70+850.000	15.46	193.20	8.15	338.98	6677.14	60592.25	-53915.12
70+875.000	42.77	727.82	2.10	128.09	7404.96	60720.35	-53315.39
70+900.000	44.75	1094.06	0.17	28.38	8499.02	60748.72	-52249.70
70+925.000	65.21	1374.53	0.18	4.42	9873.55	60753.14	-50879.60
70+950.000	88.52	1921.57	0.17	4.33	11795.12	60757.47	-48962.36
70+975.000	89.20	2221.48	0.17	4.22	14016.60	60761.69	-46745.09
71+000.000	80.91	2126.42	0.18	4.45	16143.02	60766.13	-44623.11
71+025.000	35.36	1453.39	1.90	26.04	17596.41	60792.17	-43195.76
71+050.000	118.09	1918.14	0.18	25.94	19514.55	60818.11	-41303.56
71+075.000	219.51	4220.06	0.16	4.17	23734.61	60822.28	-37087.67
71+100.000	119.87	4242.26	0.19	4.32	27976.87	60826.60	-32849.73
71+125.000	107.32	2839.92	0.19	4.69	30816.78	60831.28	-30014.50
71+150.000	145.71	3162.89	0.18	4.64	33979.68	60835.93	-26856.25
71+175.000	172.47	3977.25	0.17	4.43	37956.93	60840.36	-22883.44
71+200.000	178.77	4390.52	0.18	4.34	42347.45	60844.70	-18497.25
71+225.000	178.67	4468.01	0.18	4.43	46815.46	60849.13	-14033.67
71+250.000	148.96	4095.39	0.18	4.44	50910.85	60853.57	-9942.72
71+275.000	110.63	3244.93	0.18	4.45	54155.79	60858.03	-6702.24
71+300.000	97.85	2606.08	0.18	4.45	56761.87	60862.47	-4100.60
71+325.000	119.84	2721.10	0.17	4.38	59482.97	60866.86	-1383.88
71+350.000	107.82	2845.65	0.18	4.36	62328.62	60871.22	1457.40
71+375.000	102.22	2625.49	0.17	4.35	64954.12	60875.57	4078.55
71+400.000	88.27	2381.11	0.17	4.31	67335.22	60879.88	6455.34
71+425.000	49.39	1720.67	0.17	4.29	69055.89	60884.17	8171.72
71+450.000	0.96	629.35	7.59	97.03	69685.25	60981.20	8704.05
71+475.000	0.00	12.00	51.06	733.10	69697.25	61714.31	7982.94
71+500.000	0.00	0.00	94.44	1818.73	69697.25	63533.04	6164.21
71+525.000	0.00	0.00	82.76	2214.97	69697.25	65748.01	3949.24
71+550.000	0.00	0.00	64.30	1838.13	69697.25	67586.14	2111.10
71+575.000	0.00	0.00	44.12	1355.16	69697.25	68941.30	755.95
71+600.000	0.00	0.00	22.43	831.81	69697.25	69773.11	-75.86
71+625.000	0.00	0.00	16.07	481.21	69697.25	70254.31	-557.07
71+650.000	0.00	0.00	13.54	370.17	69697.25	70624.49	-927.24

71+675.000	0.00	0.00	21.06	432.52	69697.25	71057.00	-1359.76
71+700.000	0.00	0.00	32.80	673.26	69697.25	71730.26	-2033.01
71+725.000	0.00	0.00	40.79	919.89	69697.25	72650.15	-2952.90
71+750.000	0.00	0.00	52.61	1167.48	69697.25	73817.62	-4120.38
71+775.000	0.00	0.00	75.93	1606.76	69697.25	75424.39	-5727.14
71+800.000	0.00	0.00	109.88	2322.61	69697.25	77747.00	-8049.75
71+825.000	0.00	0.00	133.70	3044.71	69697.25	80791.70	-11094.46
71+850.000	0.00	0.00	145.41	3488.82	69697.25	84280.52	-14583.27
71+875.000	0.00	0.00	204.85	4378.20	69697.25	88658.72	-18961.48
71+900.000	0.00	0.00	196.00	5010.64	69697.25	93669.36	-23972.11
71+925.000	0.00	0.00	183.64	4745.49	69697.25	98414.85	-28717.60
71+950.000	0.00	0.00	173.12	4459.44	69697.25	102874.29	-33177.04
71+975.000	0.00	0.00	161.68	4184.96	69697.25	107059.25	-37362.00
72+000.000	0.00	0.00	150.48	3901.97	69697.25	110961.22	-41263.97
72+025.000	0.00	0.00	135.97	3580.67	69697.25	114541.89	-44844.65
72+050.000	0.00	0.00	122.40	3229.67	69697.25	117771.56	-48074.32
72+075.000	0.00	0.00	124.58	3087.30	69697.25	120858.86	-51161.61
72+100.000	0.00	0.00	135.87	3255.66	69697.25	124114.51	-54417.27
72+125.000	0.00	0.00	143.36	3490.31	69697.25	127604.83	-57907.58
72+150.000	0.00	0.00	143.55	3586.36	69697.25	131191.19	-61493.95
72+175.000	0.00	0.00	137.98	3519.11	69697.25	134710.30	-65013.06
72+200.000	0.00	0.00	130.80	3359.74	69697.25	138070.04	-68372.79
72+225.000	0.00	0.00	128.89	3246.20	69697.25	141316.23	-71618.99
72+250.000	0.00	0.00	121.60	3131.16	69697.25	144447.40	-74750.15
72+275.000	0.00	0.00	112.02	2920.30	69697.25	147367.70	-77670.45
72+300.000	0.00	0.00	89.93	2524.38	69697.25	149892.08	-80194.84
72+325.000	0.00	0.00	71.22	2014.36	69697.25	151906.44	-82209.20
72+350.000	0.00	0.00	48.92	1501.78	69697.25	153408.22	-83710.98
72+375.000	0.00	0.00	26.33	940.61	69697.25	154348.83	-84651.59
72+400.000	1.63	20.34	2.94	365.83	69717.58	154714.66	-84997.08
72+425.000	39.96	519.78	0.18	38.92	70237.37	154753.58	-84516.21
72+450.000	87.99	1599.30	0.18	4.41	71836.67	154757.99	-82921.32
72+475.000	139.70	2846.06	0.17	4.33	74682.72	154762.32	-80079.60
72+500.000	204.35	4300.57	0.16	4.14	78983.29	154766.47	-75783.17
72+525.000	187.52	4898.31	0.20	4.55	83881.61	154771.02	-70889.41
72+550.000	264.30	5647.76	0.17	4.62	89529.36	154775.64	-65246.28
72+575.000	301.68	7074.86	0.18	4.31	96604.22	154779.95	-58175.73
72+600.000	385.60	8591.02	0.23	5.12	105195.24	154785.07	-49589.83

72+625.000	479.02	10807.69	0.08	3.93	116002.93	154789.00	-38786.07
72+650.000	554.28	12916.17	0.11	2.38	128919.10	154791.38	-25872.28
72+675.000	646.46	15009.19	0.00	1.35	143928.29	154792.73	-10864.44
72+700.000	695.56	16775.19	0.00	0.00	160703.48	154792.73	5910.75
72+725.000	682.08	17220.49	0.00	0.00	177923.97	154792.73	23131.25
72+750.000	699.20	17265.99	0.00	0.00	195189.96	154792.73	40397.23
72+775.000	647.51	16833.81	0.00	0.00	212023.76	154792.73	57231.04
72+800.000	586.83	15429.22	0.09	1.12	227452.98	154793.84	72659.14
72+825.000	536.76	14044.91	0.09	2.22	241497.89	154796.06	86701.83
72+850.000	483.80	12757.08	0.16	3.07	254254.97	154799.13	99455.84
72+875.000	509.48	12416.06	0.09	3.05	266671.03	154802.18	111868.85
72+900.000	365.23	10933.85	0.18	3.32	277604.88	154805.51	122799.37
72+925.000	319.92	8564.34	0.40	7.27	286169.22	154812.78	131356.44
72+950.000	228.12	6850.51	0.18	7.26	293019.73	154820.04	138199.69
72+975.000	173.76	5023.46	0.18	4.46	298043.19	154824.50	143218.69
73+000.000	144.82	3982.24	0.18	4.49	302025.43	154828.99	147196.44
73+025.000	115.21	3250.44	0.18	4.49	305275.87	154833.48	150442.39
73+050.000	76.17	2392.33	0.18	4.52	307668.20	154838.00	152830.20
73+075.000	53.21	1617.32	0.18	4.54	309285.52	154842.54	154442.97
73+100.000	35.41	1107.80	0.18	4.54	310393.32	154847.08	155546.24
73+125.000	24.84	753.14	0.21	4.84	311146.46	154851.92	156294.54
73+150.000	27.88	659.00	0.18	4.80	311805.47	154856.72	156948.74
73+175.000	8.14	450.33	1.07	15.59	312255.80	154872.32	157383.48
73+200.000	2.02	127.04	53.64	683.86	312382.83	155556.17	156826.66
73+225.000	44.60	582.69	0.40	675.44	312965.53	156231.62	156733.91
73+250.000	71.29	1448.53	0.17	7.11	314414.05	156238.73	158175.32
73+275.000	9.89	1014.76	1.73	23.77	315428.82	156262.50	159166.32
73+300.000	0.00	123.69	15.66	217.31	315552.50	156479.81	159072.70
73+325.000	0.00	0.00	15.25	386.33	315552.50	156866.13	158686.37
73+350.000	0.00	0.00	15.53	384.74	315552.50	157250.87	158301.63
73+375.000	0.00	0.00	16.34	398.37	315552.50	157649.24	157903.27
73+400.000	0.00	0.00	42.63	737.15	315552.50	158386.39	157166.11
73+425.000	0.00	0.00	107.66	1878.58	315552.50	160264.97	155287.54
73+450.000	0.00	0.00	156.24	3298.68	315552.50	163563.65	151988.85
73+475.000	0.00	0.00	224.10	4754.21	315552.50	168317.86	147234.64
73+500.000	0.00	0.00	181.17	5065.89	315552.50	173383.75	142168.76
73+525.000	0.00	0.00	90.81	3399.83	315552.50	176783.58	138768.93
73+550.000	0.00	0.00	54.44	1815.70	315552.50	178599.28	136953.22

73+575.000	0.00	0.00	39.82	1178.28	315552.50	179777.56	135774.94
73+600.000	0.00	0.00	41.64	1018.19	315552.50	180795.75	134756.75
73+625.000	0.00	0.00	49.53	1139.63	315552.50	181935.39	133617.12
73+650.000	0.00	0.00	86.66	1702.44	315552.50	183637.82	131914.68
73+675.000	0.00	0.00	135.15	2772.69	315552.50	186410.51	129141.99
73+700.000	0.00	0.00	170.31	3818.37	315552.50	190228.88	125323.62
73+725.000	0.00	0.00	162.90	4165.18	315552.50	194394.06	121158.44
73+750.000	0.00	0.00	133.74	3708.00	315552.50	198102.06	117450.45
73+775.000	0.00	0.00	113.16	3086.24	315552.50	201188.29	114364.21
73+800.000	0.00	0.00	111.74	2811.28	315552.50	203999.58	111552.93
73+825.000	0.00	0.00	101.82	2669.55	315552.50	206669.12	108883.38
73+850.000	0.00	0.00	77.02	2235.47	315552.50	208904.59	106647.91
73+875.000	3.88	48.51	20.28	1216.26	315601.02	210120.85	105480.17
73+900.000	30.63	431.35	0.50	259.76	316032.37	210380.61	105651.75
73+925.000	63.94	1182.11	0.18	8.45	317214.48	210389.06	106825.42
73+950.000	61.91	1573.09	0.18	4.47	318787.57	210393.53	108394.04
73+975.000	52.74	1433.06	0.18	4.50	320220.62	210398.03	109822.60
74+000.000	46.41	1239.31	0.18	4.53	321459.93	210402.56	111057.38
74+025.000	44.63	1137.94	0.18	4.54	322597.88	210407.10	112190.77
74+050.000	53.57	1227.53	0.18	4.53	323825.41	210411.64	113413.77
74+075.000	64.54	1476.42	0.18	4.52	325301.83	210416.16	114885.67
74+100.000	60.47	1562.60	0.18	4.52	326864.42	210420.67	116443.75
74+125.000	54.63	1438.74	0.18	4.56	328303.17	210425.23	117877.94
74+150.000	61.12	1446.93	0.18	4.51	329750.10	210429.74	119320.35
74+175.000	62.69	1547.61	0.18	4.47	331297.71	210434.21	120863.50
74+200.000	60.72	1542.57	0.18	4.51	332840.28	210438.72	122401.56
74+225.000	78.04	1734.49	0.17	4.33	334574.77	210443.05	124131.73
74+250.000	66.28	1804.04	0.17	4.15	336378.81	210447.20	125931.61
74+275.000	42.04	1354.08	0.50	8.39	337732.89	210455.58	127277.30
74+300.000	19.79	772.94	9.54	125.57	338505.83	210581.15	127924.68
74+325.000	0.00	247.38	43.32	660.75	338753.21	211241.90	127511.31
74+350.000	0.00	0.00	76.89	1502.58	338753.21	212744.47	126008.74
74+375.000	0.00	0.00	96.64	2169.12	338753.21	214913.59	123839.62
74+400.000	0.00	0.00	92.90	2369.25	338753.21	217282.84	121470.37
74+425.000	0.00	0.00	47.91	1760.06	338753.21	219042.90	119710.31
74+450.000	0.00	0.00	48.43	1204.26	338753.21	220247.16	118506.05
74+475.000	0.07	0.90	24.87	916.29	338754.11	221163.45	117590.66
74+500.000	1.21	16.00	9.88	434.41	338770.11	221597.86	117172.25

74+525.000	0.00	15.09	37.53	592.72	338785.20	222190.58	116594.63
74+550.000	0.00	0.00	41.84	992.23	338785.20	223182.81	115602.40
74+575.000	0.00	0.00	55.21	1213.15	338785.20	224395.96	114389.24
74+600.000	0.00	0.00	99.97	1939.77	338785.20	226335.73	112449.48
74+625.000	0.00	0.00	129.42	2867.41	338785.20	229203.14	109582.07
74+650.000	0.00	0.00	87.35	2709.65	338785.20	231912.79	106872.41
74+675.000	0.00	0.00	48.83	1702.32	338785.20	233615.12	105170.09
74+700.000	0.00	0.00	52.78	1270.14	338785.20	234885.25	103899.95
74+725.000	0.00	0.00	72.72	1568.69	338785.20	236453.94	102331.26
74+750.000	0.00	0.00	96.91	2120.34	338785.20	238574.28	100210.92
74+775.000	0.00	0.00	100.96	2473.34	338785.20	241047.62	97737.59
74+800.000	0.00	0.00	90.56	2393.96	338785.20	243441.58	95343.63
74+825.000	0.00	0.00	78.72	2115.97	338785.20	245557.55	93227.65
74+850.000	0.00	0.00	66.39	1813.85	338785.20	247371.40	91413.80
74+875.000	0.00	0.00	41.16	1344.38	338785.20	248715.79	90069.42
74+900.000	0.00	0.02	18.77	749.13	338785.22	249464.91	89320.30
74+925.000	1.91	23.91	2.64	267.60	338809.13	249732.51	89076.61
74+950.000	11.08	162.40	0.41	38.09	338971.53	249770.60	89200.93
74+975.000	30.38	518.23	0.18	7.32	339489.76	249777.91	89711.85
75+000.000	44.18	931.93	0.17	4.37	340421.69	249782.28	90639.40
75+025.000	27.30	893.46	0.18	4.42	341315.15	249786.70	91528.45
75+050.000	21.78	613.55	0.29	5.83	341928.70	249792.53	92136.17
75+075.000	28.02	622.49	0.25	6.72	342551.19	249799.25	92751.94
75+100.000	24.48	656.20	0.37	7.79	343207.39	249807.04	93400.35
75+125.000	10.28	434.49	3.86	52.89	343641.88	249859.93	93781.95
75+150.000	8.08	229.45	11.16	187.76	343871.33	250047.69	93823.64
75+175.000	0.74	110.27	24.16	441.52	343981.60	250489.21	93492.39
75+200.000	0.00	9.30	50.87	937.90	343990.90	251427.11	92563.79
75+225.000	0.00	0.00	77.21	1601.04	343990.90	253028.15	90962.75
75+250.000	0.00	0.00	101.94	2239.34	343990.90	255267.49	88723.41
75+275.000	0.00	0.00	95.77	2471.30	343990.90	257738.79	86252.11
75+300.000	0.00	0.00	74.07	2122.94	343990.90	259861.73	84129.17
75+325.000	0.00	0.00	53.07	1589.18	343990.90	261450.91	82539.99
75+350.000	0.00	0.00	58.08	1389.27	343990.90	262840.17	81150.73
75+375.000	0.00	0.00	53.93	1400.05	343990.90	264240.22	79750.68
75+400.000	0.00	0.00	36.67	1132.52	343990.90	265372.74	78618.15
75+425.000	2.59	32.39	15.27	649.23	344023.29	266021.97	78001.32
75+450.000	10.43	162.78	4.85	251.49	344186.07	266273.46	77912.61

75+475.000	29.99	505.32	2.21	88.36	344691.39	266361.82	78329.57
75+500.000	60.57	1131.99	0.25	30.80	345823.38	266392.62	79430.76
75+525.000	60.72	1516.12	1.96	27.55	347339.50	266420.17	80919.33
75+550.000	46.16	1336.01	1.13	38.55	348675.52	266458.72	82216.79
75+575.000	14.72	760.95	9.12	128.09	349436.46	266586.81	82849.65
75+600.000	9.27	299.92	13.71	285.33	349736.39	266872.15	82864.24
75+625.000	12.50	272.16	8.00	271.31	350008.54	267143.46	82865.09
75+650.000	43.53	700.34	0.24	102.98	350708.88	267246.44	83462.44
75+675.000	84.34	1598.42	0.18	5.29	352307.30	267251.73	85055.57
75+700.000	111.08	2442.79	0.18	4.51	354750.09	267256.24	87493.85
75+725.000	137.58	3108.18	0.18	4.47	357858.27	267260.71	90597.55
75+750.000	197.92	4193.75	0.43	7.64	362052.01	267268.35	94783.66
75+775.000	182.82	4759.31	0.18	7.62	366811.32	267275.97	99535.34
75+800.000	137.92	4009.27	0.18	4.49	370820.59	267280.46	103540.13
75+825.000	103.84	3021.97	0.18	4.53	373842.56	267285.00	106557.57
75+850.000	74.03	2223.36	0.18	4.49	376065.93	267289.49	108776.44
75+875.000	45.96	1499.85	0.18	4.49	377565.77	267293.98	110271.80
75+900.000	31.74	971.23	0.18	4.55	378537.00	267298.53	111238.48
75+925.000	15.97	596.39	0.66	10.59	379133.39	267309.11	111824.28
75+950.000	4.60	257.16	1.86	31.52	379390.55	267340.63	112049.92
75+975.000	1.59	77.39	4.79	83.07	379467.94	267423.70	112044.24
76+000.000	0.79	29.64	6.65	142.95	379497.58	267566.66	111930.92
76+025.000	0.86	20.54	5.25	148.80	379518.12	267715.46	111802.66
76+050.000	0.00	10.73	19.23	306.01	379528.85	268021.46	111507.38
76+075.000	0.00	0.00	27.61	585.44	379528.85	268606.90	110921.94
76+100.000	0.00	0.02	34.00	770.09	379528.87	269377.00	110151.87
76+125.000	0.00	0.02	48.41	1030.06	379528.90	270407.06	109121.84
76+150.000	0.00	0.00	48.94	1216.79	379528.90	271623.84	107905.05
76+175.000	0.00	0.00	41.58	1131.45	379528.90	272755.29	106773.60
76+200.000	0.00	0.00	40.68	1028.26	379528.90	273783.56	105745.34
76+225.000	0.00	0.00	34.03	933.92	379528.90	274717.47	104811.42
76+250.000	0.30	3.80	21.64	695.88	379532.70	275413.35	104119.34
76+275.000	1.99	28.70	10.73	404.59	379561.40	275817.94	103743.46
76+300.000	11.33	166.56	1.54	153.40	379727.96	275971.34	103756.62
76+325.000	26.22	469.46	0.85	29.88	380197.42	276001.22	104196.20
76+350.000	52.80	987.75	0.18	12.87	381185.17	276014.09	105171.09
76+375.000	81.14	1674.19	0.18	4.54	382859.37	276018.62	106840.75
76+400.000	82.46	2044.96	0.18	4.47	384904.33	276023.09	108881.24

76+425.000	56.42	1735.98	0.18	4.47	386640.31	276027.56	110612.75
76+450.000	33.78	1127.49	0.18	4.53	387767.80	276032.09	111735.71
76+475.000	24.88	733.29	0.23	5.19	388501.10	276037.28	112463.81
76+500.000	17.64	531.58	0.47	8.83	389032.68	276046.12	112986.56
76+525.000	16.60	427.99	0.75	15.28	389460.67	276061.40	113399.27
76+550.000	18.79	442.39	0.62	17.15	389903.06	276078.55	113824.51
76+575.000	21.64	505.45	0.46	13.51	390408.50	276092.06	114316.44
76+600.000	25.76	592.53	0.21	8.32	391001.03	276100.38	114900.65
76+625.000	23.23	612.32	0.20	5.11	391613.35	276105.49	115507.86
76+650.000	20.39	545.20	0.27	5.82	392158.55	276111.31	116047.24
76+675.000	19.05	492.98	0.42	8.54	392651.53	276119.86	116531.67
76+700.000	11.62	383.29	1.19	20.07	393034.82	276139.93	116894.89
76+725.000	0.00	145.20	37.70	486.07	393180.02	276626.00	116554.03
76+750.000	0.00	0.00	91.91	1620.03	393180.02	278246.02	114934.00
76+775.000	0.00	0.00	114.86	2584.52	393180.02	280830.55	112349.48
76+800.000	0.00	0.00	140.05	3186.27	393180.02	284016.82	109163.20
76+825.000	0.00	0.00	172.67	3908.92	393180.02	287925.74	105254.28
76+850.000	0.00	0.00	151.31	4049.70	393180.02	291975.44	101204.58
76+875.000	0.00	0.00	212.71	4550.27	393180.02	296525.72	96654.30
76+900.000	0.00	0.00	291.79	6306.29	393180.02	302832.01	90348.02
76+925.000	0.00	0.00	334.47	7828.27	393180.02	310660.28	82519.75
76+950.000	0.00	0.00	353.08	8594.36	393180.02	319254.64	73925.39
76+975.000	0.00	0.00	359.28	8904.40	393180.02	328159.03	65020.99
77+000.000	0.00	0.00	335.33	8682.52	393180.02	336841.55	56338.47
77+025.000	0.00	0.00	287.91	7790.49	393180.02	344632.03	48547.99
77+050.000	0.00	0.00	241.42	6616.60	393180.02	351248.64	41931.39
77+075.000	0.00	0.00	264.42	6322.99	393180.02	357571.62	35608.40
77+100.000	0.00	0.00	227.16	6144.79	393180.02	363716.41	29463.61
77+125.000	0.00	0.00	181.56	5108.97	393180.02	368825.39	24354.64
77+150.000	0.00	0.00	151.02	4157.25	393180.02	372982.64	20197.38
77+175.000	0.00	0.00	124.26	3441.09	393180.02	376423.73	16756.29
77+200.000	0.00	0.00	96.74	2762.52	393180.02	379186.24	13993.78
77+225.000	0.00	0.00	80.89	2220.29	393180.02	381406.54	11773.49
77+250.000	0.00	0.00	75.45	1954.18	393180.02	383360.71	9819.31
77+275.000	0.00	0.00	70.64	1826.08	393180.02	385186.80	7993.23
77+300.000	0.00	0.00	33.66	1303.76	393180.02	386490.56	6689.46
77+325.000	0.00	0.02	13.26	586.51	393180.05	387077.07	6102.98
77+350.000	0.00	0.02	13.28	331.69	393180.07	387408.75	5771.32

77+375.000	0.79	9.93	9.96	290.40	393190.00	387699.15	5490.85
77+400.000	30.27	388.33	0.18	126.70	393578.33	387825.84	5752.49
77+425.000	27.31	719.78	0.61	9.83	394298.11	387835.67	6462.44
77+450.000	19.80	588.82	0.78	17.33	394886.93	387853.00	7033.92
77+475.000	18.63	480.37	1.55	29.11	395367.30	387882.11	7485.19
77+500.000	35.21	673.02	0.18	21.65	396040.32	387903.76	8136.56
77+525.000	43.94	989.36	0.18	4.50	397029.69	387908.26	9121.43
77+550.000	12.22	702.03	0.33	6.39	397731.71	387914.64	9817.07
77+575.000	0.55	159.64	6.49	85.37	397891.36	388000.01	9891.35
77+600.000	0.00	6.89	20.72	340.19	397898.25	388340.20	9558.05
77+625.000	0.00	0.00	28.26	612.26	397898.25	388952.46	8945.79
77+650.000	0.14	1.74	24.13	654.91	397899.99	389607.36	8292.62
77+675.000	0.05	2.40	20.82	561.93	397902.39	390169.29	7733.10
77+700.000	0.00	0.66	28.51	616.64	397903.05	390785.93	7117.12
77+725.000	0.00	0.00	27.36	698.35	397903.05	391484.28	6418.77
77+750.000	0.00	0.00	47.00	929.50	397903.05	392413.78	5489.27
77+775.000	0.00	0.00	61.77	1359.64	397903.05	393773.41	4129.64
77+800.000	0.00	0.00	37.01	1234.70	397903.05	395008.11	2894.94
77+825.000	0.00	0.00	23.34	754.37	397903.05	395762.48	2140.57
77+850.000	0.00	0.00	34.79	726.61	397903.05	396489.09	1413.96
77+875.000	0.00	0.00	49.04	1047.86	397903.05	397536.95	366.10
77+900.000	0.00	0.00	42.39	1142.93	397903.05	398679.88	-776.83
77+925.000	0.00	0.00	37.39	997.32	397903.05	399677.20	-1774.15
77+950.000	0.01	0.16	31.00	854.88	397903.21	400532.08	-2628.87
77+975.000	0.00	0.19	25.27	703.30	397903.40	401235.37	-3331.98
78+000.000	0.00	0.03	26.12	642.30	397903.43	401877.68	-3974.25
78+025.000	0.00	0.00	28.00	676.50	397903.43	402554.18	-4650.75
78+050.000	3.29	41.09	13.67	520.95	397944.52	403075.13	-5130.61
78+075.000	35.08	479.62	1.23	186.24	398424.14	403261.37	-4837.23
78+100.000	31.54	832.76	1.28	31.36	399256.90	403292.73	-4035.83
78+125.000	6.66	477.48	9.22	131.28	399734.38	403424.01	-3689.63
78+150.000	13.99	258.11	0.87	126.21	399992.49	403550.22	-3557.73
78+175.000	34.50	606.08	0.27	14.37	400598.57	403564.59	-2966.01
78+200.000	61.11	1195.13	0.61	11.03	401793.70	403575.62	-1781.92
78+225.000	20.57	1021.05	0.30	11.30	402814.75	403586.91	-772.17
78+250.000	18.53	488.81	0.46	9.42	403303.55	403596.33	-292.78
78+275.000	11.52	375.66	1.12	19.68	403679.22	403616.01	63.21
78+300.000	5.60	214.03	2.09	40.11	403893.24	403656.12	237.13

78+325.000	2.37	99.64	8.17	128.30	403992.88	403784.42	208.46
78+350.000	0.55	36.53	13.19	267.07	404029.42	404051.49	-22.07
78+375.000	0.30	10.70	12.98	327.17	404040.12	404378.66	-338.54
78+400.000	0.03	4.15	12.27	315.62	404044.26	404694.27	-650.01
78+425.000	11.13	139.46	0.57	160.49	404183.72	404854.77	-671.05
78+450.000	16.26	342.33	0.31	10.99	404526.05	404865.76	-339.71
78+475.000	43.96	752.77	0.17	6.01	405278.82	404871.77	407.05
78+500.000	74.55	1481.35	0.17	4.31	406760.16	404876.07	1884.09
78+525.000	95.76	2128.87	0.18	4.39	408889.04	404880.46	4008.57
78+550.000	128.28	2800.60	0.17	4.30	411689.64	404884.76	6804.88
78+575.000	103.57	2898.20	0.18	4.31	414587.84	404889.07	9698.76
78+600.000	116.35	2749.01	0.17	4.37	417336.85	404893.44	12443.41
78+625.000	77.83	2427.25	0.22	4.94	419764.10	404898.38	14865.72
78+650.000	22.26	1251.10	9.20	117.85	421015.20	405016.23	15998.98
78+675.000	1.39	295.57	41.96	639.53	421310.78	405655.76	15655.02
78+700.000	0.00	17.35	73.69	1445.58	421328.13	407101.35	14226.78
78+725.000	0.00	0.00	75.22	1861.30	421328.13	408962.64	12365.49
78+750.000	0.00	0.00	72.73	1849.28	421328.13	410811.92	10516.20
78+775.000	0.00	0.00	98.48	2140.07	421328.13	412951.99	8376.14
78+800.000	0.00	0.00	170.40	3361.01	421328.13	416313.01	5015.12
78+825.000	0.00	0.00	263.71	5426.36	421328.13	421739.36	-411.23
78+850.000	0.00	0.00	110.79	4681.16	421328.13	426420.52	-5092.39
78+875.000	28.34	354.20	5.48	1453.35	421682.33	427873.87	-6191.54
78+900.000	87.17	1443.86	1.20	83.46	423126.19	427957.34	-4831.14
78+925.000	117.65	2560.29	0.17	17.09	425686.49	427974.43	-2287.94
78+950.000	42.69	2004.26	2.55	34.00	427690.75	428008.42	-317.68
78+975.000	4.67	592.06	38.48	512.88	428282.81	428521.31	-238.50
79+000.000	0.00	58.43	142.99	2268.37	428341.24	430789.68	-2448.44
79+025.000	0.00	0.00	269.25	5152.93	428341.24	435942.61	-7601.37
79+050.000	0.00	0.00	389.88	8239.14	428341.24	444181.75	-15840.51
79+075.000	0.00	0.00	473.02	10786.25	428341.24	454968.00	-26626.75
79+100.000	0.00	0.00	465.15	11727.04	428341.24	466695.03	-38353.79
79+125.000	0.00	0.00	494.19	11991.70	428341.24	478686.74	-50345.49
79+150.000	0.00	0.00	438.13	11654.00	428341.24	490340.74	-61999.50
79+175.000	0.00	0.00	485.38	11543.86	428341.24	501884.60	-73543.36
79+200.000	0.00	0.00	229.23	8932.60	428341.24	510817.20	-82475.96
79+225.000	0.00	0.00	161.18	4880.18	428341.24	515697.38	-87356.14
79+250.000	0.00	0.00	65.81	2837.44	428341.24	518534.83	-90193.58

79+275.000	3.12	38.97	11.14	961.84	428380.22	519496.67	-91116.45
79+300.000	45.61	609.09	0.18	141.48	428989.30	519638.15	-90648.85
79+325.000	99.13	1809.23	0.17	4.45	430798.54	519642.60	-88844.06
79+350.000	161.94	3263.34	0.18	4.38	434061.87	519646.98	-85585.11
79+375.000	187.44	4367.26	0.18	4.48	438429.13	519651.46	-81222.33
79+400.000	179.42	4585.83	0.17	4.41	443014.96	519655.87	-76640.91
79+425.000	138.96	3979.81	0.17	4.25	446994.77	519660.11	-72665.34
79+450.000	87.72	2833.50	0.17	4.22	449828.27	519664.33	-69836.07
79+475.000	30.49	1477.64	0.21	4.72	451305.91	519669.05	-68363.15
79+500.000	56.48	1087.13	0.24	5.63	452393.03	519674.69	-67281.65
79+525.000	150.41	2586.04	0.14	4.80	454979.07	519679.48	-64700.41
79+550.000	25.03	2192.94	0.19	4.13	457172.01	519683.61	-62511.61
79+575.000	16.53	519.44	0.57	9.43	457691.45	519693.04	-62001.59
79+600.000	23.52	500.57	0.28	10.55	458192.03	519703.59	-61511.57
79+625.000	29.50	662.78	0.19	5.92	458854.80	519709.51	-60854.71
79+650.000	40.73	877.85	0.18	4.70	459732.66	519714.21	-59981.56
79+675.000	55.36	1201.03	0.18	4.53	460933.69	519718.75	-58785.06
79+700.000	64.46	1497.77	0.18	4.57	462431.46	519723.32	-57291.86
79+725.000	68.60	1663.34	0.18	4.61	464094.80	519727.93	-55633.14
79+750.000	52.71	1516.38	0.26	5.57	465611.18	519733.51	-54122.33
79+775.000	30.37	1038.43	1.21	18.44	466649.61	519751.95	-53102.34
79+800.000	3.43	422.48	23.46	308.41	467072.09	520060.36	-52988.27
79+825.000	0.00	42.89	75.75	1240.07	467114.98	521300.42	-54185.44
79+850.000	0.00	0.00	141.12	2710.86	467114.98	524011.28	-56896.30
79+875.000	0.00	0.00	197.86	4237.22	467114.98	528248.50	-61133.52
79+900.000	0.00	0.00	235.31	5414.56	467114.98	533663.06	-66548.07
79+925.000	0.00	0.00	275.41	6384.02	467114.98	540047.08	-72932.09
79+950.000	0.00	0.00	242.69	6476.29	467114.98	546523.36	-79408.38
79+975.000	0.00	0.00	203.18	5573.39	467114.98	552096.76	-84981.77
80+000.000	0.00	0.00	148.70	4398.55	467114.98	556495.31	-89380.33
80+025.000	0.00	0.00	95.37	3050.97	467114.98	559546.28	-92431.30
80+050.000	0.00	0.00	51.48	1835.72	467114.98	561382.00	-94267.02
80+075.000	2.41	30.18	26.15	970.36	467145.16	562352.37	-95207.21
80+100.000	15.63	225.59	8.47	432.73	467370.75	562785.10	-95414.35
80+125.000	63.17	984.98	0.30	109.64	468355.73	562894.73	-94539.00
80+150.000	129.80	2412.02	0.18	5.99	470767.75	562900.72	-92132.97
80+175.000	224.91	4433.79	0.18	4.48	475201.55	562905.20	-87703.66
80+200.000	349.40	7178.89	0.94	13.98	482380.43	562919.18	-80538.74

80+225.000	443.22	9907.83	0.18	13.97	492288.26	562933.15	-70644.89
80+250.000	533.71	12211.67	0.08	3.23	504499.93	562936.38	-58436.44
80+275.000	519.32	13162.84	0.09	2.10	517662.78	562938.48	-45275.71
80+300.000	461.83	12264.28	0.18	3.30	529927.06	562941.78	-33014.72
80+325.000	393.02	10685.60	0.18	4.52	540612.66	562946.30	-22333.64
80+350.000	325.12	8976.78	0.18	4.57	549589.44	562950.87	-13361.43
80+375.000	277.59	7533.93	0.18	4.57	557123.37	562955.44	-5832.07
80+400.000	242.14	6496.70	0.18	4.60	563620.07	562960.04	660.04
80+425.000	227.71	5873.10	0.18	4.61	569493.18	562964.65	6528.53
80+450.000	233.26	5762.02	0.18	4.61	575255.20	562969.26	12285.94
80+475.000	237.39	5883.10	0.18	4.57	581138.30	562973.83	18164.47
80+497.773	0.00	2703.10	0.00	2.06	583841.39	562975.89	20865.50