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

Thème

Etude en APD d'un tronçon autoroutier de la 4eme rocade d'Alger du PK60+000 au PK71+000 avec conception d'échangeur (BERROUAGHIA)

Présenté par :

BELKHEIRI Oussama

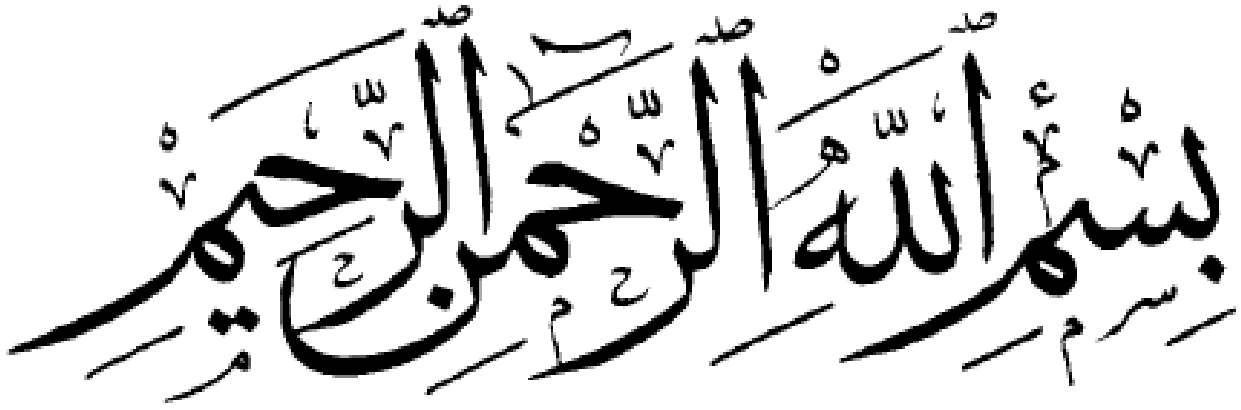
ZELLAGUI Ahmed Siradj Eddine

Encadré Par :

Mr .BAKHTI Rachid

Promotion 2024 / 2025

© ENSTP-FJ – Garidi –Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

REMERCIMENT

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à ***Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux****, qui m'a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.*

Un grand merci également à ***Monsieur BAKHTI Rachid****, notre promoteur, pour son encadrement durant ce mémoire, ainsi qu'à* ***l'ensemble des enseignants de l'ENSTP*** *pour la qualité de leur enseignement.*

Je tiens à remercier sincèrement ***Madame MESSAOUDI*** *pour la qualité de son enseignement, son sérieux et l'intérêt qu'elle porte à la réussite de ses étudiants. Son cours m'a apporté des connaissances précieuses tout au long de ma formation.*

Je tiens à adresser mes remerciements les plus chaleureux à ***Monsieur Lotfi SAKHRI****, ingénieur encadrant durant mon stage, pour son accompagnement, ses conseils précieux et sa disponibilité constante.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

BELKHEIRI OUSSAMA

REMERCIMENT

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à ***Dieu le Tout-Puissant et Miséricordieux****, qui m'a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.*

Je remercie chaleureusement ***mon binôme, BELKHEIRI Oussama****, et tous* ***mes collègues de l'ENSTP*** *pour leur collaboration et leur esprit d'équipe tout au long de notre parcours.*

Je tiens à adresser mes remerciements les plus chaleureux à ***Monsieur BENHARKAT Mohamed Djaballah****, et* ***Monsieur KHODJA youcef*** *pour Leur accompagnement, leur conseils précieux et leur disponibilité constante.*

Un grand merci également à ***Monsieur BAKHTI Rachid****, notre promoteur, pour son encadrement durant ce mémoire, ainsi qu'à* ***l'ensemble des enseignants de l'ENSTP*** *pour la qualité de leur enseignement.*

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

ZELLAGUI AHMED SIRADJ EDDINE

DEDICACE

Je remercie avant tout ***Allah****, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.*

Je dédie ce mémoire à :

Ma mère, SAÏDA*, pour son amour inconditionnel, ses sacrifices et son soutien de tous les instants.*

Mon père, OTHMANE*, pour sa présence, ses conseils et son soutien moral.*

Mon oncle, MOHAMMED*, pour sa sagesse, son encouragement et sa bienveillance constante.*

Mes frères, Amine et Khalil*, et* ***ma sœur, Chaïma****, pour leur amour et leur appui.*

Je remercie également ***mes collègues de l'ENSTP****.*

Je dédie ce travail à ***mes amis et camarades : Amine, Abdou, Djaballah, Mohammed, Ilyes, Yaakoub, Abdelbasset, Islem, Midou, Messaoud, Youcef, Fares, Toufik, Achraf, Imène, Farah*** *et* ***Maria .***
pour leur amitié, leur soutien et les moments inoubliables partagés tout au long de notre parcours.

BELKHEIRI OUSSAMA

DEDICACE

*Je remercie avant tout **Allah**, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.*

Que je dédie :

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

*Ma chère Maman : **FATIMA.***

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

*Mon cher Papa : **AHSSEN***

*Et n'oublie pas Ma chère tante : **SAIDA***

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

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

Que dieu vous garde et protège pour nous et vous accorde la santé et le bonheur. Merci du fond du cœur.

*A Mes Chères frères, mon soutien : **ISLEM** et **AYMEN***

*A Chères Sœur : **KHAWLA, IMANE, THANA** et **NOUR***

*Et une dédicace spéciale à Mon Chères Cousin **SAAD.***

*Je remercie également **Mes chères collègues de L'ENSTP***

*Et **Mes Potes : Idriss Guellati - Laithe Maiza - Fares Chouala***
Naim Boucharbet - Haithem Farhati - Abdelkader Benabdallah - Hakim Saadi
Houdayfa Talha - Amine Oubouchou - Abdelbasset Benahmed - Hani Bouguelia,
Amine Souai - Bilal Djaafer - Mohammed Ysbaa - Diaeddine Djendli,
Islam ElKbir - Islem Ait Chaaban - Messoud Benamour – Djabbalh Belhouajeb

ZELLAGUI AHMED SIRADJ EDDINE

ملخص:

يتضمن هذا المشروع دراسة مفصلة لمقطع من الطريق الاجتنابي الرابع على مستوى ولاية المدية، بطول يُقدّر بـ11 كم، يمتد من النقطة الكيلومترية KP 60+000 إلى النقطة الكيلومترية KP 71+000 ، ويتضمن تصميم مبدّل طرق عند نقطة التقاطع مع الطريق السيار شمال-جنوب المقترح من طرف الوكالة الجزائرية للطرق السريعة.

تم إنجاز هذه الدراسة باستخدام ثلاثة برامج حاسوبية هي: RDS 2021، Covadis، و Civil 3D. وقد تم اختيار هذه البرامج بهدف اختبار برنامج RDS 2021 ، وتحديد نقاط قوته لتعزيزها، ونقاط ضعفه للعمل على تحسينها مستقبلاً.

لتحقيق أهداف المشروع، اتبعنا منهجية عمل مقترحة من طرف المشرف، تضمنت: مقدمة عامة، دراسة لحركة المرور، دراسة جيومترية، مقارنة بين البرامج الثلاثة، دراسة جيوتقنية مكّنتنا من تحديد سماكات مختلف طبقات الطريق واستقرار المنحدرات، تصميم المبدّل، تحديد مواقع الجسور، دراسة نظام صرف المياه، حساب الكميات والأحجام، إعداد الكشوف الكمية والتقديرية، وختاماً خاتمة شاملة تلخص نتائج العمل

الكلمات المفتاحية

الطريق الاجتنابي الرابع, ولاية المدية, تصميم المبدّل,RDS 2021 ,Covadis ,Civil 3D,حساب الكميات

Abstract:

In this project, we carried out a detailed study of a section of the 4th highway ring road in the province of MÉDÉA, extending over 11 km from KP 60+000 to KP 71+000. The study includes the design of an interchange at KP 70+400, at the junction with the North–South highway, as proposed by the Algerian Highway Agency (ADA).

The study was conducted using three software programs: RDS 2021, Covadis, and Civil 3D. These programs were chosen with the goal of evaluating RDS 2021, identifying its strengths to enhance them, and pinpointing its weaknesses for future improvement.

To complete this work, we followed a methodology proposed by the supervisor, which began with a general introduction, followed by a traffic study, geometric study, and a geotechnical study that enabled us to determine the thicknesses of the different pavement layers, analyze slope stability, and design the interchange. We also identified potential bridge locations, conducted a drainage study, calculated volumes (cubature), prepared quantity and cost estimates, and concluded with a comprehensive summary of the results.

Keywords

4th Ring Road, Medea Province, Interchange Design, RDS 2021, Covadis, Civil 3D, Quantity Estimation

Résumé :

Dans ce projet, nous avons réalisé une étude détaillée d'un tronçon de la 4e rocade autoroutière au niveau de la wilaya de Médéa, s'étendant sur 11 km, du PK 60+000 au PK 71+000. L'étude comprend la conception d'un échangeur au PK 70+400, au niveau du croisement avec l'autoroute Nord-Sud, tel que proposé par l'Agence Nationale des Autoroutes (ADA).

L'étude a été effectuée à l'aide de trois logiciels : RDS 2021, Covadis et Civil 3D. Le choix de ces logiciels visait à tester le programme RDS 2021, en identifiant ses points forts pour les valoriser, ainsi que ses points faibles afin de les améliorer à l'avenir.

Pour mener à bien ce travail, nous avons suivi une méthodologie proposée par l'encadreur, comprenant une introduction générale, une étude de trafic, une étude géométrique, puis une étude géotechnique qui nous a permis de dimensionner les différentes couches de la chaussée, d'analyser la stabilité des talus et de concevoir l'échangeur. Nous avons également localisé les emplacements potentiels des ponts, mené une étude de drainage, effectué les calculs de cubature, dressé un devis quantitatif et estimatif, pour finir par une conclusion générale récapitulative

Mots-clés

4e Rocade, Wilaya de Médéa, Conception de l'échangeur, RDS 2021, Covadis, Civil 3D, Estimation des quantités

SOMMAIRE

INTRODCUTION GENERALE 1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET .....
I.1. INTRODUCTION 2
I.2. Objectifs de la 4ème Rocade d'Alger 3
I.3. Présentation de la wilaya 3
I.4. Relief de la wilaya de Médéa 3
I.5. Description De Tracé 4
I.6. Géomorphologie et Topographie Générale 4
I.7. Hydrologie Générale 4
I.8. Climatologie – Wilaya de Médéa 4
I.9. Pluviométrie et Température – Wilaya de Médéa 5
I.10. CARACTERISTIQUES DE NOTRE PROJET : 5
CHAPITRE II : DONNEES DE BASE .....
II.1. ObjectiF : 6
II.2. L'OBJECTIF DE L'ICTAAL 2000 ET DOMAINE D'APPLICATION 6
II.3. Choix de catégorie 6
II.4. Vitesse de base 6
II.5. Visibilité 7
II.5.1. Disposition conventionnelle 7
II.5.2. Règle de visibilité 7
II.5.3. Distance d'arrêt Da : 7
II.5.4. Temps de Perception -Réaction 7
CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFIC .....
III.1. DEFINITION DE L'ETUDE DE TRAFIC 9
III.2. OBJET DE L'ÉTUDE DE TRAFIC 9
III.3. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE 9
III.4. DONNÉES DE TRAFIC DU PROJET : 9
III.5. Projection future du trafic : 9
III.6. Calcul du trafic effectif : 10
III.7. Debit de pointe horaire normal : 11
III.8. Debit horaire admissible : 12
III.8.1. Détermination de K1 en fonction de l'environnement de la route : 12
III.8.2. Détermination de K2 en fonction de (catégorie de la route , l'environnement)... 12
III.8.3. Détermination de Cth en fonction de (nombre de voies) : 13

III.9. Détermination du nombre des voies 13
III.10. Calcul de l'année de saturation 13
CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE .....
IV.1. INTRODUCTION 15
IV.2. TRACE EN PLAN 15
IV.2.1. Les éléments du profile en plan 16
IV.2.2. Recommandations pour le tracé en plan 18
IV.2.3. Choix de la catégorie et leurs vitesses appropriées :... **Erreur ! Signet non défini.**
IV.2.4. Valeurs des rayons : 19
IV.2.5. Enchainement des éléments du tracé en plan : 19
IV.3. CONTRAINTES RENCONTREES LORS DE L'ELABORATION DE NOTRE TRACE 19
IV.4. RECOMMANDATIONS ET REGLES A SUIVRE VIS-A-VIS DE CES CONTRAINTES RENCONTREES 20
IV.5. ELEMENTS ET DESCRIPTION DU TRACE : 20
IV.6. PROFIL EN LONG : 20
IV.6.1. Déclivité : 20
IV.6.2. Raccordements en profil en long : 21
IV.6.3. Les Profiles en Long de notre projet en utilisant CIVIL3D , COVADIS et RDS2021 22
IV.7. Coordination du tracé en plan et du profil en long : 22
IV.8. PROFIL EN TRAVERS : 23
IV.8.1. Les éléments du profil en travers : 23
IV.8.2. Pentes transversales : 24
IV.8.3. Profil en travers type du notre projet : 25
IV.8.1. Profiles en travers courant de notre projet en utilisant CIVIL3D , COVADIS et RDS2021 26
CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNIQUE .....
V.1. OBJECTIF 27
V.2. LES MOYENS DE RECONNAISSANCES : 27
V.3. VAPPLICATION SUR NOTRE PROJET : 27
V.3.1. Programme des investigations in situ 27
V.3.2. Programme des essais au laboratoire : 27
V.4. RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES : 28
V.4.1. Résultats des reconnaissances in situ : 28
V.4.2. Résultats des essais de laboratoire : 30

V.4.3. Classification du sol support (classification GTR) : 32
V.4.4. Condition d'utilisation des matériaux de déblai : 33
V.5. Glissement de terrain 35
V.5.1. Types de glissement de terrain 35
V.5.2. Définition des pentes des talus 36
V.5.3. Vérifications de stabilité des talus 37
V.5.4. Analyse de stabilité de déblai 37
V.5.5. Analyse de stabilité de Remblai 39
CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE .....
VI.1. introduction 41
VI.2. Les différents types de chaussée 42
VI.3. L'OBJECTIF DU DIMENSIONNEMENT 42
VI.4. Les Méthodes de dimensionnement 43
VI.5. La Méthode CBR 43
VI.5.1. Résultats de l'essai CBR sur le sol support 43
VI.5.2. L'épaisseur équivalente 44
VI.6. La Méthode du catalogue Algérien de dimensionnement : 45
VI.6.1. Les données climatiques : 45
VI.6.2. Les données de trafic : 46
VI.6.3. Détermination du risque de calcul : 47
VI.6.4. Détermination de la portance de sol-support de chaussée : 47
VI.6.5. Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité 48
VI.6.6. Choix des différentes couches constituantes de la chaussée 48
VI.6.7. Calcul de la déformation admissible 50
VI.6.8. Vérification des résultats de calcul par Alize-LCPC: 52
CHAPITRE VII : CALCUL DE CUBATURE .....
VII.1. introduction 54
VII.2. Méthodologie de calcul des cubatures 54
VII.3. Méthode utilisée pour calcul cubatures des terrassements : 54
VII.4. Description De La Méthode CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS : 54
VII.5. Conclusion : 55
CHAPITRE VIII : comparison entre covadis, rds 2021 et civiL 3D .....
VIII.1. Introduction 56
VIII.2. Analyse comparative des résultats 56

VIII.2.1. Analyse comparative de l'environnement DAO, de l'ergonomie et de la qualité graphique des logiciels : 56
VIII.2.2. Gestion des rayons de courbure et des dévers selon la norme ICTAAL L2 59
VIII.2.3. Comparaison de la gestion du Modèle Numérique de Terrain (MNT) 60
VIII.2.4. Comparaison de la gestion des profils en long 61
VIII.2.5. Comparaison de la gestion des profils en travers 62
VIII.2.6. Comparaison des résultats de cubatures 63
VIII.3. Recommandations pour l'amélioration du logiciel RDS 63
VIII.3.1. Intégration des normes routières (ICTAAL, ARP…) 63
VIII.3.2. Mise a jour dynamique du MNT et de profils 63
VIII.3.3. Gestion graphique des profils types 64
VIII.3.4. Amélioration du module DAO 64
VIII.3.5. Diversification des formats d'importation de points 64
VIII.4. Conclusion 64
CHAPITRE IX : ASSAINISSEMENT .....
IX.1. introduction 65
IX.2. OBJECTIF DE L'ASSAINISSEMENT : 65
IX.3. Conception technique des ouvrages : 65
IX.4. Présentation des bassins versants : 66
IX.5. ESTIMATIION DES DEBITS CRUES : 66
IX.5.1. Formule rationnelle : 66
IX.5.2. Temps de concentration : 66
IX.5.3. Coefficient de ruissèlement (C) : 68
IX.5.4. Intensité de pluie I(t) : 69
IX.6. ETUDE HYDROLOGIQUE : 69
IX.6.1. Caractéristiques physiques des bassins versants : 70
IX.6.2. Résultats de calcul de débit de notre projet : 72
IX.6.3. Les types des ouvrages 73
IX.6.4. Capacité de débit des ouvrages hydrauliques : 73
IX.7. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques : 74
IX.7.1. Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) : 74
IX.7.2. Dimensionnement du système de drainage longitudinal 79
CHAPITRE X : OUVRAGE D`ART .....
X.1. introduction 82
X.2. Choix de type de pont : 82

X.2.1. Variante n°1 : Pont mixte . 82
X.2.2. Variante n°2 : Pont à poutres en béton près-contrainte 82
X.3. Présentation des ouvrages choisi : 83
X.3.1. Viaduc N1 : 83
X.3.2. Viaduc N2 : 83
X.3.3. Viaduc N3 : 83
X.3.4. PONT N1 (PS): 83
X.3.5. PONT N2 (PS) : 84
X.3.6. PONT N2 (PI) : 84
X.3.7. PONT N4 (PS) : 84
X.3.8. PONT N5 (PI) : 84
CHAPITRE XI : CONCEPTION DE L'ECHANGEUR
XI.1. introduction : 85
XI.2. Les constituants des échangeurs : 85
XI.3. Type des échangeurs : 85
XI.3.1. Échangeur majeur : 86
XI.3.2. Échangeur mineur : 86
XI.4. Les avantages : 86
XI.5. Règles de conception : 86
XI.6. Choix du type d'échangeur : 87
XI.6.1. Détermination du tracé à partir de : 87
XI.6.2. Configuration du tracé à adopter : 87
XI.6.3. Analyse : 87
XI.7. Application au projet : 87
XI.7.1. Description de l'échangeur : 87
XI.8. Caractéristiques géométriques des bretelles : 88
XI.8.1. Vitesse sur les bretelles : 88
XI.8.2. Distribution du trafic: 88
XI.8.3. Tracé : 88
XI.8.4. Profil en travers de la bretelle : 90
XI.8.5. Visibilité : 90
CHAPITRE XII : SIGNALISATION
XII.1. INTRODUCTION 93
XII.2. Principes de base de la signalisation routière 93
XII.2.1. Principe de légalité 93

XII.2.2. Principe de nécessité 93
XII.2.3. Principe d'uniformité 94
XII.2.4. Principe de hiérarchisation 94
XII.2.5. Principe de permanence et d'entretien 94
XII.3. Rôle de la signalisation routière 94
XII.3.1. Sécurité : 94
XII.3.2. Information : 94
XII.3.3. Régulation : 94
XII.3.4. Contrôle : 94
XII.4. Catégories de la signalisation routière 95
XII.4.1. Signalisation verticale (panneaux) : 95
XII.4.2. Signalisation horizontale : 95
XII.4.3. Signalisation lumineuse : 95
XII.4.4. Signalisation temporaire : 95
XII.4.5. Signalisation complémentaire : 95
XII.5. Les Types de Signalisation Routière 95
XII.5.1. Signalisation Verticale (Panneaux) 95
XII.5.2. Signalisation Horizontale (Marquage au Sol) 95
XII.6. Application Au PROJET: 100
CHAPITRE XIII : IMPACT SUR L'ENVIRONNENT .....
XIII.1. INTRODUCTION 102
XIII.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE 102
XIII.3. CADRE LEGAL ET INSTITUTIONNEL 102
XIII.4. DÉSCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU PROJET 102
XIII.5. ANALYSE DES IMPACTS POTENTIELS DU PROJET 103
XIII.5.1. IMPACTS POSITIFS DU PROJET 103
XIII.5.2. IMPACTS NEGATIFS DU PROJET 104
CHAPITRE XIV : Devis Estimatif et quantitatif .....
XIV.1. Le montant total est estimé à : 109
CONCLUSION GENERALE 109

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Localisation Du Projet 2
Figure I-2: Carte de situation géographique de la wilaya de MEDEA 3
Figure I-3 : Tracé du projet routier entre le PK 60 et le PK 71 – Commune de Berrouaghia, Wilaya de Médéa 4
Figure IV-1 : Tracé du projet, à travers Civil 3D 15
Figure IV-2 : Tracé du projet, à travers COVADIS 15
Figure IV-3 : Tracé du projet, à travers RDS 16
Figure IV-4: les éléments d'un tracé en plan. 16
Figure IV-5: Profile en long avec CIVIL3D 22
Figure IV-6: Profile en long avec COVADIS 22
Figure IV-7: Profile en long avec RDS 22
Figure IV-8 :Eléments constructifs du profil en travers. 24
Figure IV-9: Profile en travers courant avec RDS2021 26
Figure IV-10: Profile en travers courant avec COVADIS 26
Figure IV-11: Profile en travers courant avec CIVIL3D 26
Figure V-1: Glissement plan 35
Figure V-2: Glissement rotationnel simple 35
Figure V-3: Glissement rotationnel complexe 36
Figure V-4 : Vérification de la stabilité du déblai (Cas Statique) 38
Figure V-5 : Vérification de la stabilité du déblai (Cas dynamique) 39
Figure V-6: Vérification de la stabilité du remblai (Cas Statique) 40
Figure V-7: Vérification de la stabilité du remblai (Cas dynamique) 40
Figure VI-1: Coupe transversal d´une chaussée 41
Figure VI-2: Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie 45
Figure VI-3: Résultats de la simulation (ALIZE-LCPC). 52
Figure VII-1: Profil en long d'un axe. 55
Figure VIII-1:Interface du logiciel Civil 3D 57
Figure VIII-2:Interface du logiciel COVADIS 57
Figure VIII-3:Interface du logiciel RDS 58
Figure IX-1: Les bassins versants délimités en utilisant le logiciel global mapper. 66
Figure IX-2: Schéma de la Buse 76
Figure IX-3 : Schéma d'un dalot 2 m × 1.5 m 78
Figure IX-4: Caractéristiques d'un fossé 80

Figure XI-1: Type des échangeurs 85
Figure XI-2 : Carte de localisation de l'échangeur. 87
Figure XI-3 : Dispositif de sortie de l'autoroute. 89
Figure XI-4 : Dispositif d'entrée de l'autoroute. 89
Figure XI-5: Distance d'arrêt. 91
Figure XI-6 : Visibilité sue une sortie l'autoroute. 91
Figure XII-1: Les lignes longitudinales 97
Figure XII-2: Lignes mixtes 98
Figure XII-3: Flèche directionnelles 98
Figure XII-4: Flèche de rabattement 99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Récapitulatif des principales distances de visibilité 7
Tableau II.2: Paramètres géométriques de l'autoroute..... 8
Tableau III.1: Trafic moyen journalier annuel (v/j). 10
Tableau III.2: Coefficient d'équivalence (P)..... 10
Tableau III.3: Trafic effectif journalier annuel (uvp)..... 11
Tableau III.4: Débit de pointe horaire normal..... 12
Tableau III.5: Valeurs de coefficient K1..... 12
Tableau III.6: Valeurs de coefficient K2..... 12
Tableau III.7: Valeurs de la capacité théorique (Cth) 13
Tableau IV.1: Les valeurs minimales des rayons du tracé en plan. 19
Tableau IV.2: Valeurs minimales des rayons du tracé en plan. 22
Tableau IV.3: Profil en travers type 25
Tableau V.1: Aperçu sur les résultats des puits de reconnaissance. 28
Tableau V.2: Aperçu sur les résultats des sondages carottés. 29
Tableau V.3: Aperçu sur les résultats des essais de laboratoire..... 31
Tableau V.4: Classification GTR des matériaux. 33
Tableau V.5: Conditions d'utilisation des matériaux de déblai. 34
Tableau V.6: Coefficient d'accélération A 37
Tableau V.7: Des paramètres de calcul de la stabilité du déblai..... 37
Tableau V.8: La charge sur chaussée 38
Tableau V.9: Des paramètres de calcul de la stabilité du remblai 39
Tableau VI.1: Les données de calcul..... 43
Tableau VI.2: Résultats de l'essai CBR sur le sol support..... 43
Tableau VI.3: Coefficient d'équivalence 44
Tableau VI.4: Température équivalente..... 45
Tableau VI.5: Choix de type de réseau principal 46
Tableau VI.6: Classe de trafic poids lourds. 46
Tableau VI.7 Coefficient d'agressivité A..... 47
Tableau VI.8: Risque de calcul 47
Tableau VI.9 La portance de sol-support. 47
Tableau VI.10: Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité..... 48
Tableau VI.11: Les structures concernant Rp1 48
Tableau VI.12: Choix de dimensionnement de corps de chaussée 49

Tableau VI.13 : Fractile de la loi normale 51
Tableau VI.14: Performances mécaniques des matériaux bitumineux 51
Tableau VI.15:Tableau de comparaison des résultats 52
Tableau VII.1: Résultat final du volume de remblais et déblais de chaque logiciel. 55
Tableau VII.2 : Synthèse des écarts. 55
Tableau VIII.1: Analyse comparative de l'environnement DAO. 57
Tableau VIII.2 : Analyse comparative de geometrique. 59
Tableau VIII.3 : Analyse comparative de la gestion de MNT. 60
Tableau VIII.4 : Analyse comparative des profils en long. 61
Tableau VIII.5 : Analyse comparative des profils en long. 62
Tableau VIII.6 : Analyse comparative des résultats de cubatures. 63
Tableau IX.1: Coefficient C1 (dépendant de la pente du bassin versant.) 68
Tableau IX.2: Coefficient C2 (dépendant de la nature du sol (perméabilité)) 68
Tableau IX.3: Coefficient C3 (dépendant de la couverture végéta le du bassin versant.) 68
Tableau IX.4: Coefficients de Montana (a et b) pour différentes périodes de retour..... 69
Tableau IX.5: Caractéristique des bassins versants. 70
Tableau IX.6 : Les debit de notre projet..... 72
Tableau IX.7: Verification des conditions de buse 75
Tableau IX.8: Liste des buses. 76
Tableau IX.9: Verification des conditions de dalot..... 78
Tableau IX.10: Liste des dalots. 79
Tableau IX.11: Les surfaces des sous-bassins versants 79
Tableau IX.12 : Coefficient de ruissellement..... 80
Tableau IX.13: Détermination des débuts d'apports..... 80
Tableau X.1: Caractéristique d'ouvrage 1. 83
Tableau X.2: Caractéristique d'ouvrage 2 83
Tableau X.3: Caractéristique d'ouvrage 3 83
Tableau X.4: Caractéristique d'ouvrage 1 84
Tableau X.5: Caractéristique d'ouvrage 2 84
Tableau X.6 : Caracteristiques d´ouvrage 3 84
Tableau X.7 : Caractéristique d'ouvrage 4 84
Tableau XI.1: les valeurs des rayons pour les bretelles. 88
Tableau XI.2 : Largeurs des composants du profil en travers. 90
Tableau XI.3 : Principales distances de visibilité. 92
Tableau XII.1 : Largeur des lignes..... 96

Tableau XII.2 : Les caractéristiques de tous les types de lignes discontinues. 97
Tableau XII.3: Les largeurs des lignes longitudinales 97
Tableau XII.4 : Flèches convergence et divergence 99
Tableau XII.5: Les dimensions détaillées des panneaux. 100
Tableau XIV.1 : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF 107

Abréviation

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

INTRODUCTION GENERALE

INTRODCUTION GENERALE

Le transport représente l'un des piliers fondamentaux du développement durable et de la prospérité de toute nation. Des infrastructures routières modernes et des systèmes de transport performants constituent une condition indispensable à la croissance économique et au bien-être social.

En Algérie, la dynamique actuelle de modernisation des infrastructures routières s'est traduite par une intensification des projets autoroutiers, notamment à travers la réalisation de la 4e rocade d'Alger, inscrite dans un vaste programme de développement du réseau national.

Le présent projet de fin d'études s'inscrit dans ce contexte, et porte sur l'étude en Avant-Projet Détaillé (APD) d'un tronçon de la 4e rocade, compris entre le PK 60+000 et le PK 71+000, soit un linéaire total de 11 km.

Notre travail se structure autour de plusieurs volets essentiels : présentation générale du projet et des données de base, étude du trafic, conception du tracé en plan et en profil en long, dimensionnement de la chaussée à partir de l'étude géotechnique, assainissement, signalisation, étude d'impact environnemental, ainsi qu'une estimation globale des travaux.

Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé trois logiciels de conception routière :

Autodesk Civil 3D, reconnu pour sa puissance et sa précision,

Covadis, apprécié pour son efficacité et sa compatibilité avec les normes locales,

RDS est un logiciel développé par notre encadrant dans le but de proposer une solution adaptée aux projets linéaires, facile à maîtriser, fiable et accessible, notamment pour les petits organismes et bureaux d'études.

L'utilisation conjointe de ces trois outils nous a permis non seulement de réaliser une conception technique complète, mais aussi de conduire une analyse comparative entre les logiciels, afin de mettre en évidence les performances, limites et perspectives d'amélioration de chacun, en particulier RDS.

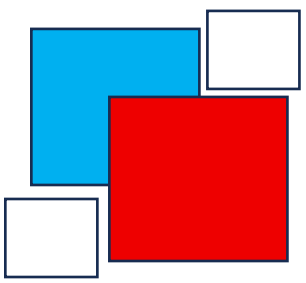
• Maitre d'ouvrage délégué : Algérienne des Autoroutes.

• Bureau de contrôle et de suivi : ITALFERR – TPF planege.

• Groupement de réalisation : Groupement : MAPA-EPTRC-CONDOTTE.







CHAPITRE I :
PRESENTATION DU PROJE

I.1. INTRODUCTION

La 4ème Rocade d'Alger est une Autoroute à péage qui traverse les territoires de cinq (05) Wilayas Du centre du pays, à savoir : Ain Defla, Médéa, Bouira, M'Sila et Bordj Bou Arerridj.Elle prend naissance dans la wilaya d'Aïn Defla, au niveau de l'échangeur de l'Autoroute Est-Ouest situé à 03 Kms de Khemis Miliana et traverse le territoire de cette Wilaya en passant par Les localités de Djendel et Ammoura, puis traverse le territoire de la Wilaya de Médéa, en passant Par les localités de Hennacha et Ouled Bouachra, pour arriver à environ 5 km au sud de la ville deBerrouaghia (au niveau de la RN1), puis Rébaïa et Chellalet El Adhaoura.Elle traverse par la suite les territoires des Wilaya de Bouira et M'Sila en passant non loin de Dirah,De Sidi Aissa et de Tarmount, pour terminer en fin sa course dans la Wilaya de Bordj Bou Arreridj,Au niveau de l'Autoroute Est-Ouest, en passant près des localités d'El Ach et El Hamadia.



Figure I-1 : Localisation Du Projet

I.2. OBJECTIFS DE LA 4EME ROCADE D'ALGER

La réalisation de cette rocade vise à :

- Soulager la région d'Alger et le trafic de transit Est-Ouest en réduisant la pression sur les axes routiers existants.
- Renforcer l'infrastructure routière dans la région du Médéa et des wilayas traversées.
- Améliorer la fluidité et la sécurité de la circulation.
- Diminuer le temps de parcours et le nombre d'accidents.
- Développer les activités agricoles et touristiques dans les régions traversées.
- Assurer le développement socio-économique de la région.

I.3. PRESENTATION DE LA WILAYA

La wilaya de **Médéa** est située au nord de l'Algérie, à 90 km au sud-ouest d'Alger, à 48 km à l'est de Khemis Miliana, à 24 km au sud de Blida. Elle est une ville de montagne de l'Atlas tellien, à une altitude moyenne de **981m** et **8 866 km²** de superficie, comprend 64 communes, réparties sur 19 daïras, elle abritait en 2008 une population estimée à **819 932** habitants avec une densité 92 hab par km². Elle est délimitée:

- Au nord, par la wilaya de Blida.
- À l'ouest, par les wilayas de Aïn Defla et Tissemsilt.
- Au sud, par la wilaya de Djelfa.
- À l'est, par les wilayas de M'Sila et Bouira

I.4. RELIEF DE LA WILAYA DE MEDEA

Région située entre le Tell et les Hauts Plateaux.

- **Nord** : Montagnes de l'Atlas Tellien (Monts du Titteri), relief escarpé, altitude élevée (jusqu'à 1500 m).
- **Centre** : Hautes plaines, collines, zones plus douces, propices à l'agriculture.
- **Sud** : Début des Hauts Plateaux sahariens, relief tabulaire, plus régulier.
- **Diversité du relief** → Impact sur les travaux le terrassement et les infrastructures

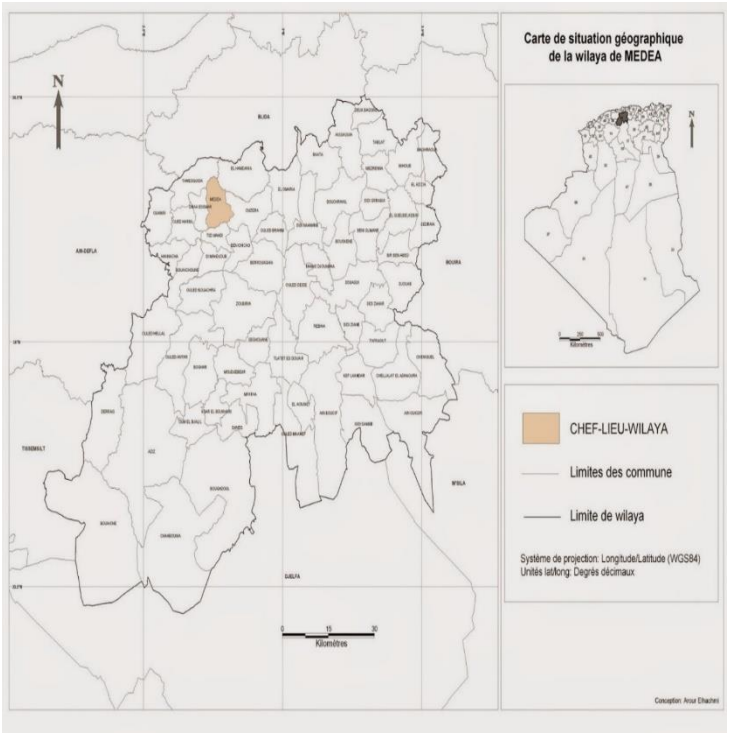


Figure I-2: Carte de situation géographique de la wilaya de MEDEA

I.5. DESCRIPTION DE TRACE

Le tracé étudié, d'une longueur d'environ 11 km, est situé dans la wilaya de Médéa, plus précisément au niveau de la commune de Berrouaghia, entre le PK 60 et le PK 71. Il traverse une zone à dominante montagneuse et croise la Route Nationale n°1 (RN1) au point kilométrique PK 69+850.

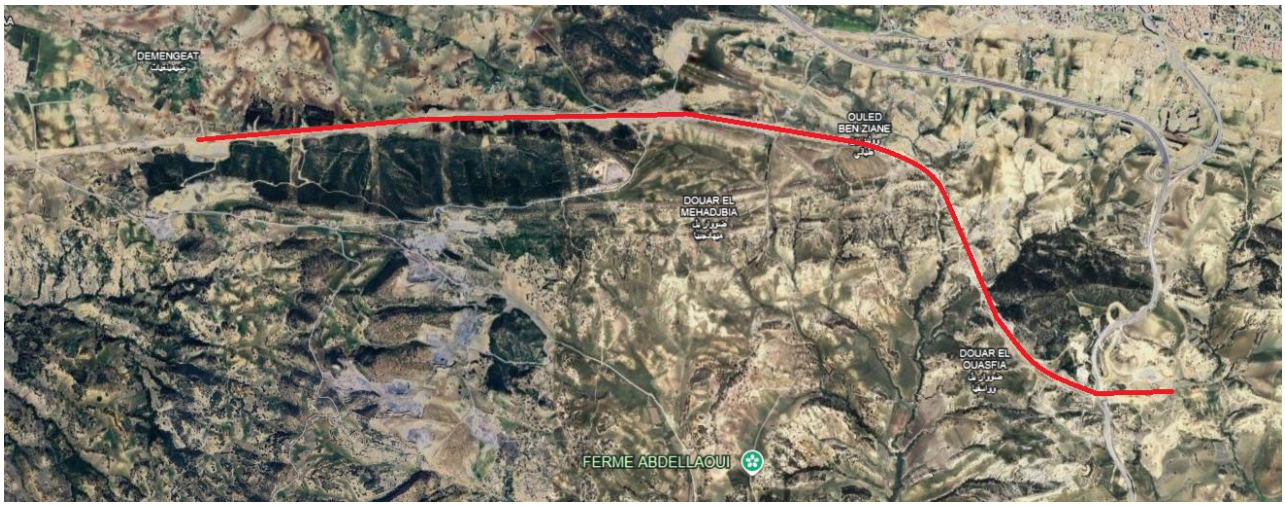


Figure I-3 : Tracé du projet routier entre le PK 60 et le PK 71 – Commune de Berrouaghia, Wilaya de Médéa

I.6. GEOMORPHOLOGIE ET TOPOGRAPHIE GENERALE

Le tronçon situé entre le PK 60 et le PK 71, dans la wilaya de Médéa, traverse un relief majoritairement montagneux. La géomorphologie est marquée par la présence de formations rocheuses telles que le grès et le calcaire. Le terrain présente une alternance de zones modérément vallonnées et de versants plus prononcés. Les sols en place sont principalement constitués de tufs, d'alluvions, de limons, d'argiles et de sables, ce qui nécessite une adaptation des techniques de terrassement selon la nature du sol.

I.7. HYDROLOGIE GENERALE

Le tracé traverse une région où le réseau hydrographique est relativement dense, avec la présence de plusieurs oueds saisonniers. Cela impose une gestion rigoureuse du drainage et des ouvrages hydrauliques pour éviter l'érosion et l'instabilité des talus.

I.8. CLIMATOLOGIE – WILAYA DE MEDEA

La wilaya de Médéa est soumise à un climat semi-aride à tendance subhumide. Elle se caractérise par des étés chauds et secs, et des hivers froids avec des précipitations modérées. L'altitude joue un rôle important dans la variation des conditions climatiques locales, notamment dans les zones montagneuses.

I.9. PLUVIOMETRIE ET TEMPERATURE – WILAYA DE MEDEA

La pluviométrie annuelle varie généralement entre 400 mm et 800 mm selon les zones. Les températures moyennes s'étendent de 1 °C en hiver à 30 °C en été, avec des amplitudes marquées entre le jour et la nuit, notamment en altitude.

I.10. CARACTERISTIQUES DE NOTRE PROJET :

Notre projet est une liaison autoroutière .donc on utilise l'ICTAAL 2015 (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison).

CHAPITRE II :
DONNEES DE BASE

II.1. OBJECTIF :

L'Objectif de ce chapitre consiste à exposer les normes géométriques qui ont servi de fondement à l'approfondissement de l'APD. Ces normes ont fait l'objet d'une discussion approfondie dans le cadre de ce projet. Pour la conception géométrique nous avons utilisé La norme ICTAAL 2000 (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison).

II.2. L'OBJECTIF DE L'ICTAAL 2000 ET DOMAINE D'APPLICATION

L'ICTAAL se concentre sur la planification et la construction des autoroutes interurbaines, qu'il s'agisse de nouvelles infrastructures ou d'aménagements sur les réseaux existants. Dans cette instruction, le terme "autoroute" désigne une route à chaussées séparées comportant au moins deux voies en section courante, distincte de son environnement et avec des carrefours dénivelés.

Cependant, l'ICTAAL ne s'applique pas aux autres types de routes principales, tels que les routes express à une voie, les artères, les circulations interurbaines et les routes classiques mentionnées dans le guide d'aménagement des routes classiques (A.R.P.). De même, elle ne concerne pas les routes à chaussées séparées avec une seule voie de circulation et des créneaux de déviation.

Les autoroutes en milieu urbain, considérées comme des voies rapides urbaines, sont soumises à l'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (L.C.T.A.V.R.U.), même lorsqu'elles font partie d'un réseau interurbain. Cependant, il est recommandé d'appliquer les principes de l'ICTAAL dans les zones périurbaines lorsque le caractère urbain présent ou futur de la voie est limité.

II.3. CHOIX DE CATEGORIE

L'ICTAAL propose deux catégories de vitesse de référence pour les autoroutes, selon l'article 1.2 du circulaire 2 décembre 2015.

- **La catégorie L1** est adaptée aux zones de plaine ou vallonnées où les contraintes de relief sont modérées.
- **La classe L2** est plus appropriée pour les sites de relief plus difficiles,

En raison des conséquences économiques et environnementales qu'elle entraîne. Le présent projet est de **Catégorie L2.**

II.4. VITESSE DE BASE

La vitesse de base est l'élément essentiel pour définir les paramètres géométriques d'un itinéraire et établir la corrélation entre ces paramètres ; elle varie en fonction de la catégorie. Selon l'ICTAAL, notre projet se trouve dans la catégorie L2, ce qui signifie que la vitesse maximale de base est de **110 km/h.**

II.5. VISIBILITE

II.5.1. Disposition conventionnelle

•**Point d'observation :** L'œil du conducteur de véhicule léger est placé à une hauteur de Im du sol et à 2m du bord droit de la voie.
•**Point observé** : L'emplacement observé est le moins contraignant des deux feux arrière, situé à une hauteur de 0,6m du sol et à une distance de Im et de 2,5m du bord droit de la voie en question.

II.5.2. Règle de visibilité

La distance de visibilité à chercher correspond à la distance à laquelle un véhicule arrêté sur sa voie est visible depuis l'arrière. Il est également nécessaire de garantir cette distance d'arrêt lorsqu'on se rapproche de points ou de zones qui présentent un risque spécifique de ralentissement ou de retenue des véhicules (réduction du nombre de voies, points d'accès, gares de péage...).

II.5.3. Distance d'arrêt Da :

La distance d'arrêt est constituée de la distance de freinage, qui correspond à la distance parcourue pendant l'action de freinage, multipliée par la distance parcourue pendant le temps de perception-réaction.

$$D=V^2/ (2g (\gamma (v)P) +2V$$

Tableau II.1: Récapitulatif des principales distances de visibilité

Vitesse (Km/h)	V	50	70	90	110	130
Décélération moyenne	γ(v)	0.46	0.44	0.40	0.36	0.32
Distance d'arrêt (p=0)	d_a	50	85	130	195	280
Distance de manœuvre en sortie	d_{ms}	85	120	150	185	220

II.5.4. Temps de Perception -Réaction

Le temps de perception-réaction est le laps de temps entre l'apparition d'un danger et la réaction du conducteur, comme le début du freinage. Il comprend la perception du danger, la prise de décision et l'action. Sa durée varie selon l'état du conducteur (fatigue, distraction, alcool), les conditions extérieures (pluie, visibilité) et les performances du véhicule. Ce temps influe directement sur la distance d'arrêt. On chosions un temps de Perception -Réaction **2 sec.**

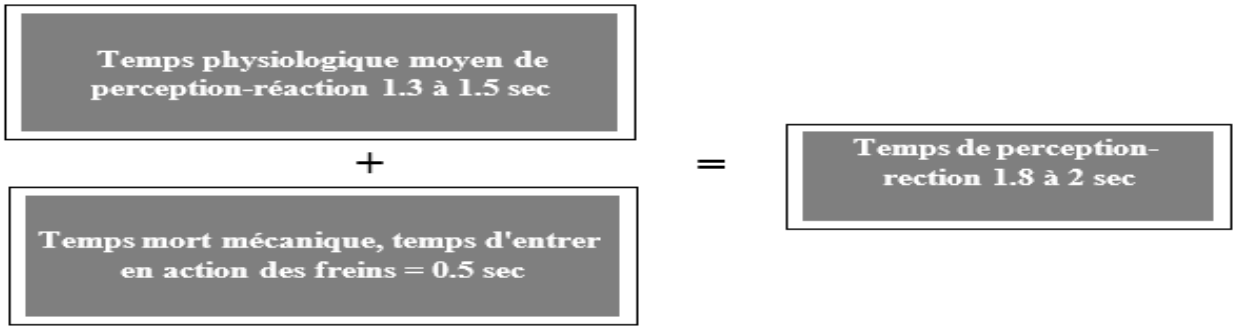


Tableau II.2: Paramètres géométriques de l'autoroute

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

CHAPITRE III :
ETUDE DE TRAFIC

III.1. DEFINITION DE L'ETUDE DE TRAFIC

L'étude de trafic analyse la circulation des véhicules et des piétons sur une route ou un réseau routier.

III.2. OBJET DE L'ÉTUDE DE TRAFIC

L'étude de trafic a pour objectif principal d'analyser les conditions de circulation afin de guider la conception et la gestion des infrastructures routières. Elle vise notamment à :

- Déterminer le volume de véhicules circulant sur un axe donné.
- Identifier les zones de congestion ou à fort trafic.
- Renforcer la sécurité routière.
- Adapter les infrastructures aux besoins actuels et futurs des usagers.

III.3. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

L'étude de trafic repose sur plusieurs méthodes et outils, dont :

- Le comptage des véhicules **:** manuel ou automatique, pour évaluer l'intensité du trafic.
- L'analyse des vitesses
- L'observation des flux de circulation : afin de comprendre les mouvements et comportements des usagers.
- L'utilisation de logiciels de simulation : pour modéliser les scénarios futurs et optimiser les solutions d'aménagement.

Cette analyse permet de planifier efficacement les infrastructures et de prendre des décisions éclairées en matière de gestion du réseau routier.

III.4. DONNÉES DE TRAFIC DU PROJET :

Les données spécifiques au projet étudié sont les suivantes :

- Environnement de la route **E2.**
- Catégorie de la route **C1.**
- Le trafic à l'année 2014 $\boldsymbol{TJMA2014}$ = **8324v/j.**
- Le taux d'accroissement annuel du trafic **i=τ = 4%.**
- La vitesse de base sur le tracé $\mathbf{V_b}$**= 110 Km/h.**
- Le pourcentage de poids lourds **Z=PL= 25 %.**
- L'année de mise en service sera en **2025.**

III.5. PROJECTION FUTURE DU TRAFIC :

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

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

Avec:

- $TJMA_h$: Le trafic à l'année horizon.
- $TJMA_0$: Le trafic à l'année de référence 2014.
- n: nombres d'années = 9 années.
- τ **:** taux d'accroissement du trafic (%)

On a pour notre projet :

- $\mathbf{TJMA_0} = TJMA_{2014} = \mathbf{8324\ v/j}$
- $\mathbf{TJMA_{2025}} = TJMA_{2014}\,(1+\tau)^n = 8324 \times (1+0.04)^{11} = \mathbf{12815\ v/j}$
- $\mathbf{TJMA_{2045}} = TJMA_{2025}\,(1+\tau)^n = 12815 \times (1+0.04)^{20} = \mathbf{28080\ v/j}$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1: Trafic moyen journalier annuel (v/j).

Année	TJMA (v/j)
2014	8324
2025	12815
2045	28080

III.6. CALCUL DU TRAFIC EFFECTIF :

Le trafic est exprimé en unités de véhicule particulier (UVP) en fonction du type de route et de l'environnement (plaine, zone vallonnée, montagne). Des coefficients d'équivalence sont utilisés pour convertir les poids lourds (PL) en UVP. Le trafic effectif est déterminé par la relation suivante :

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

Avec :

- **Teff** : trafic effectif à l'année horizon en (uvp/jour).
- **Z**: pourcentage de poids lourd Z= 25 %.
- **P**: coefficient d'équivalence pour le poids lourds qui dépend de l'environnement et la nature de la route.

Tableau III.2: Coefficient d'équivalence (P).

Environnement	E1 : Facile (plaine)	E2 : Moyen (vallonnée)	E3 : Difficile (montagneux)
Route à bonne caractéristique	2-3	4-6	8-12
Route étroite, ou visibilité réduite	3-6	6-12	16-24

Pour notre projet, l'environnement est E2, d'après le tableau du coefficient d'équivalence, on prend P=6. Donc :

$$\mathbf{Teff(2025)= [(1-Z) +P\times Z] \times TJMA_{2025}}$$

Teff (2025)= [(1-0.25) +6×0.25] × 12815= 28834 uvp/j

$$\mathbf{Teff(2045)= [(1-Z) +P\times Z] \times TJMA2045}$$

Teff (2045)= [(1-0.25) +6×0.25] × 28080= 63180 uvp/j

Alors :

- Teff (2025) = 27833 uvp/j
- Teff (2045) = 67124 uvp/j

Tableau III.3: Trafic effectif journalier annuel (uvp)

Année	Teff (uvp)
2025	28834
2045	63180

III.7. DEBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL :

Le débit de pointe horaire normal représente une fraction du trafic effectif à l'horizon. Il est exprimé en unités de véhicule particulier (UVP) et calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\boldsymbol{Q = \frac{1}{n} Teff}$$

Avec :

Q : débit de pointe horaire (UVP/J).

n : nombre d'heure, (en général n=8heures), alors : $\frac{1}{n} = 0.12$

$$\mathbf{Qprévisible\ (2025) = 0.12\times Teff(2025)}$$

Q prévisible (2025) = 0.12× 28834= 3 461 uvp/h.

D'où le débit prévisible a la 20eme année est :

$$\mathbf{Qprévisible\ (2045) = 0.12\times Teff(2045)}$$

Q prévisible (2045) = 0.12× 63180= 7582 uvp/h.

Tableau III.4: Débit de pointe horaire normal

Année	Teff(uvp/h)
2025	3461
2045	7582

III.8. DEBIT HORAIRE ADMISSIBLE :

Le débit horaire maximal admissible par voie est déterminé par l'application de la formule :

$$Q_{adm} = k1 \times k2 \times Cth$$

Avec :

- K1 : coefficient correcteur lié à l'environnement.
- K2 : coefficient correcteur de réduction de capacité.
- Cth : capacité effective par voie.

III.8.1. Détermination de K1 en fonction de l'environnement de la route :

Tableau III.5: Valeurs de coefficient K1

Environnement	E_1	E_2	E_3
K_1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Pour notre projet l'environnement est E2 (terrain vallonnée) Donc : K1= 0.85.

III.8.2. Détermination de K2 en fonction de (catégorie de la route , l'environnement)

Tableau III.6: Valeurs de coefficient K2

Catégorie de la route					
Environnement	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
E_1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E_2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E_3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Pour notre projet qui a les caractéristiques (E2, C1), donc : K2=0.99.

III.8.3. Détermination de Cth en fonction de (nombre de voies) :

Tableau III.7: Valeurs de la capacité théorique (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 chaussée séparée	1500 à 1800

Selon ICTAAL2015 :
Nombre de voie/sens : 2 a 4
Débit horaire de la voie la plus chargée est estimé à 1800 uvp/h

Donc :

$$Q_{adm} = 1800 \text{ uvp/h}$$

III.9. DETERMINATION DU NOMBRE DES VOIES :

Cas d'une chaussée bidirectionnelle : On compare Q à Q_{adm} et on opte le profil auquel correspond la valeur de Q_{adm} la plus proche à Q. C'est à dire : $Q_{adm} > Q$

Cas d'une chaussée unidirectionnelle : le nombre de voie à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$N = [S \times Q/Q_{adm}]$$

Avec :

Q_{adm} : débit admissible par voie.

S : coefficient de dissymétrie dans les 2 sens, en générale on prend S=2/3

$N = S \times Q_{previsible} / Q_{adm} = (2/3) \times (7582 / 1800) = 2.8$ Donc **N=3 voie/sens**

Alors le nombre des voies de la route est : **(2x3 voies).**

III.10. CALCUL DE L'ANNEE DE SATURATION :

● Calcul de Q_{sat} :

$$Q_{saturation} = Q_{2025} \times (1+T)^{S}$$

➢ $Q_{sat} = 3\,461 \times (1+0.045)^{S} = 3\,461 \times (1.045)^{S}$

● Calcul de Q_{adm} :

➢ Q_{adm}=6 x 1800=10800uvp/j/sens

$$\mathbf{Q_{adm}=Q_{saturation}}$$

$10800 = 3\,461 \times (1.045)^{S}$

S=log(3.12) / log (1.045)

S=26 ans

D'où, l'année de saturation égale à : **2025+ 26 = 2051**

CHAPITRE IV :
ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1. INTRODUCTION :

La surface de roulement d'une route est une conception de l'espace, définie géométriquement par trois groupes d'éléments qui sont :

- Tracé de son axe en situation ou en plan.
- Tracé de cet axe en élévation ou profil en long.
- Profil en travers.

Les caractéristiques géométriques de ces éléments doivent correspondre à la solution la meilleure du point de vue économique et satisfaire certaines conditions minimales dictées par :

- La nature, plus particulièrement la topographie et la géologie.
- Le trafic futur prévu.

IV.2. TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

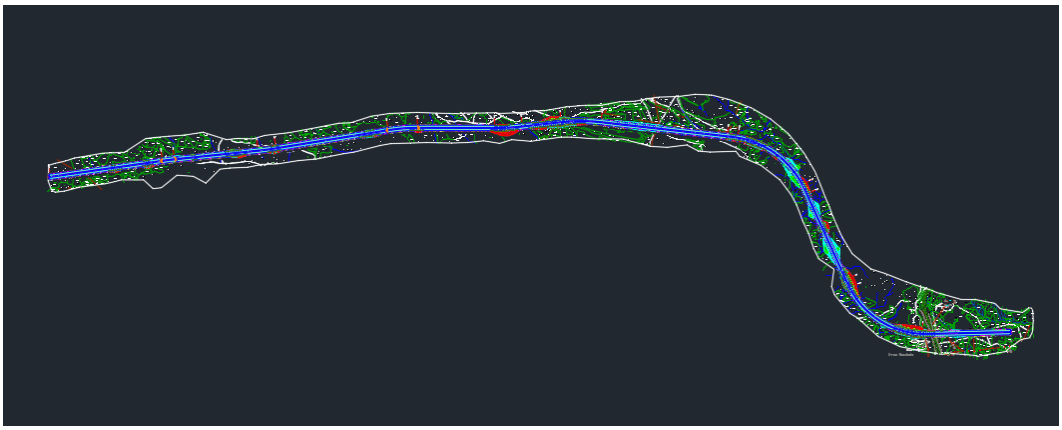


Figure IVV-1 : Tracé du projet, à travers Civil 3D

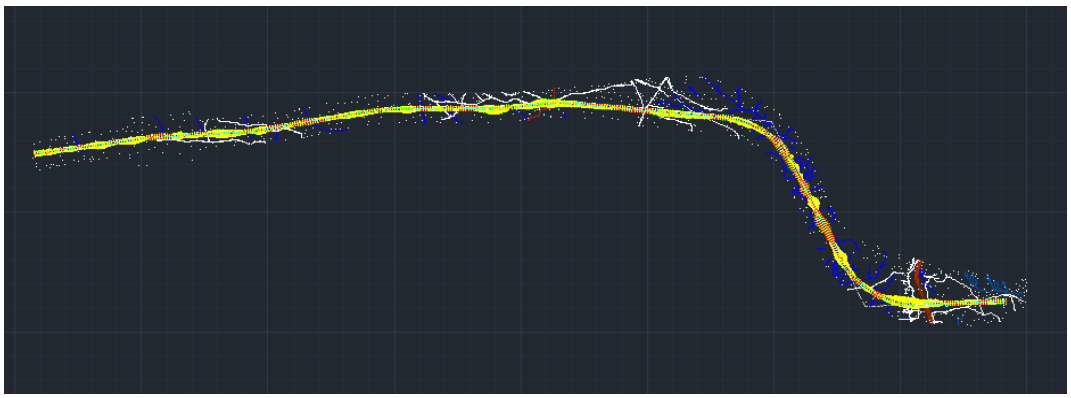


Figure IV-2 : Tracé du projet, à travers COVADIS

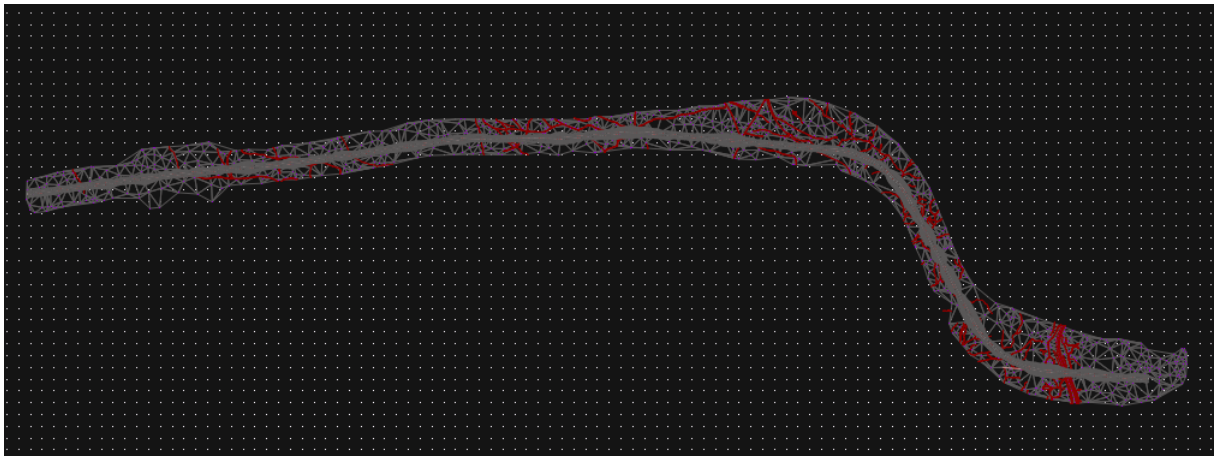


Figure IV-3 : Tracé du projet, à travers RDS

IV.2.1. Les éléments du profile en plan

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments :

1. Des droites (alignements).
2. Des arcs de cercle.
3. Des courbes de raccordement progressives.

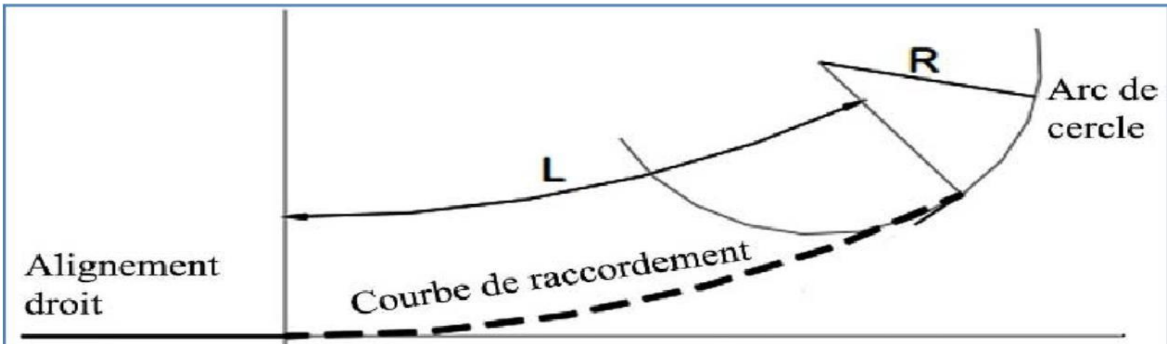


Figure IV-4: les éléments d'un tracé en plan.

IV.2.1.1. Alignements :

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

- La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :
- De nuit, éblouissement prolongé des phares.
- Difficultés de conduite et monotonie qui peuvent engendrer des accidents ou un malaise chez le conducteur.
- Mauvaise adaptation de la route au paysage. On recherche aujourd'hui une certaine harmonie entre la route et son environnement, ce que ne peut pas offrir une construction ou une coupure rigide. En particulier, conditions optiques très défavorables si l'alignement se trouve sur un long parcours en remblai ou en déblai.
- Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés.

IV.2.1.2. Arcs de cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- Stabilité des véhicules en courbe.
- Visibilité en courbe.
- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

• Stabilité en courbe :

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

Le dimensionnement des rayons du tracé en plan et des dévers correspondant est lié :

- à la dynamique des véhicules
- Aux conditions de contact pneu/chaussée
- Au confort de l'usager

Les paramètres purement dynamiques permettent de définir une valeur minimale de rayon en fonction de la vitesse pratiquée et du dévers et la définition d'un seuil de sécurité. L'étude du comportement des usagers en virage a permis d'identifier une marge supplémentaire " de confort". Ces calculs permettent de déterminer deux valeurs fondamentales en matière de virages :

• **Le rayon minimal** qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal (généralement 7%).

• **Le rayon non déversé** qui assure cette même stabilité en l'absence de dévers (profil en toit).

IV.2.1.3. Courbes de raccordement progressives :

- Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des courbures progressives permettant l'introduction du devers et la condition du confort et de sécurité.
- La courbe de raccordement la plus utilisée dans un tracé en plan est la Clothoïde grâce à ses particularités, c'est-à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules.
- On définit une clothoïde par son paramètre A ($\boldsymbol{A2}$= RL) ou par son rayon R (au point de tangence) et sa longueur L.

• Remarque :

D'après L'ICTAAL Les courbes de rayon inférieur à 1,5 Rnd sont introduites par des raccordements progressifs (clothoïdes).

IV.2.2. Recommandations pour le tracé en plan :

Pour un meilleur choix technico-économique du tracé il est recommandé de :

- Respecter les points de départ et d'arrivée.
- Eviter les sections rectilignes de grande longueur (monotonie de conduite le jour et gène en conduite de nuit à cause de l'éblouissement des phares).
- Eviter la démolition du bâti (maisons, constructions et habitats).
- Eviter le passage sur des terres agricoles notamment irriguées.
- Eviter le passage aussi sur des zones forestières et d'arboricultures.
- Eviter le terrassement excessif et inutile, de préférence suivre les courbes de niveau.
- Tenir compte des contraintes de réseaux (installations électriques, conduites de gaz, conduites
- Principales d'assainissement et d'eau potable).
- Réduire les portées des ouvrages d'art aux niveaux des oueds en les traversant sur un plan perpendiculaire.
- Localiser en distance cumulée (PK) l'ensemble des points singuliers (croisement de routes, pistes, réseaux électriques, téléphoniques, hydrauliques etc.).

IV.2.3. Valeurs des rayons :

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

Tableau IV.1: Les valeurs minimales des rayons du tracé en plan.

Catégorie		L2
Rayon minimale	**Rm**	400 (m)
Rayon minimale non déversé	**Rnd**	650(m)

IV.2.4. Enchainement des éléments du tracé en plan :

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

• Introduire de telles courbes sur une longueur de 500 à 1 000 m à l'aide de courbes de plus grand rayon. En ce cas, deux courbes successives doivent satisfaire à la condition : R1<1,5R2, où R1 est le rayon de la première courbe rencontrée et R2 (<1,5Rnd) celui de la seconde. Cette recommandation est impérative dans une section à risque, comme après une longue descente, à l'approche d'un échangeur, d'une aire ou dans une zone à verglas fréquent.
• Séparer deux courbes successives par un alignement droit d'au moins 200 m, sauf pour deux courbes de sens contraire introduites par des raccordements progressifs.

IV.3. CONTRAINTES RENCONTREES LORS DE L'ELABORATION DE NOTRE TRACE

Le tracé du projet traverse plusieurs contraintes naturelles et anthropiques qu'il convient de considérer lors des phases de conception et de réalisation. On relève notamment la présence de lignes électriques basse tension situées aux PK 60+300, PK 66+090, PK 69+790 et PK 69+980. Par ailleurs, plusieurs pistes rurales croisent le tracé aux PK 61+620, PK 62+320, PK 64+040, PK 64+230, PK 64+950, PK 66+070 et PK 69+240, ce qui nécessitera la mise en place d'aménagements de franchissement adaptés (dalots, buses ou ponts cadres selon les cas). Le tracé croise également deux voies de communication importantes :

- La Route Nationale au niveau du PK 69+850,
- Le Chemin de Wilaya CW144 au PK 65+170.

Enfin, plusieurs oueds sont répertoriés tout au long du tracé, notamment aux PK 60+470, PK 60+300, PK 67+750, PK 67+980, PK 68+880 et PK 69+360, indiquant un réseau hydrographique relativement dense et imposant des études hydrauliques spécifiques pour assurer la pérennité de l'infrastructure et prévenir les risques d'érosion ou d'inondation.

IV.4. RECOMMANDATIONS ET REGLES A SUIVRE VIS-A-VIS DE CES CONTRAINTES RENCONTREES

- Eviter de passer sur les terrains agricoles et par les zones forestières
- Prévoir des ouvrages d'art pour l'autoroute est-ouest et les route national ainsi le chemin de willaya
- Rétablissement du passage (piste et autres)
- Respecter les règles et les paramètres énoncé dans l'ICTAAL cité précédemment
- L'emploi des rayons supérieurs ou égaux à 1.5Rnd c'est-à-dire pour notre projet des rayons supérieurs ou égaux à 975m est souhaitable ; si cela est économiquement faisable.

IV.5. ELEMENTS ET DESCRIPTION DU TRACE :

Notre projet à un linéaire de 12Km du PK 60+000 au PK 71+000, le tracé débute par un alignement droit 1130m. Tout les partie du tracé est composée de courbe contre courbe en utilisant des rayons supérieur à 1.5Rnd (6000, 4000,1000…). Il est aussi composé de quelques

Remarque : Le Tracé en plan a été fait avec le logiciel **Civil 3d** et **Covadis** et **Rds**

alignements droits de longueur maximale de 1200m et croise la Route Nationale n°1 (RN1) au point kilométrique PK 69+850 et (CW144) au PK 65+170.

IV.6. PROFIL EN LONG :

Le profil en long est constitué d'un graphique sur lequel on reporte les points du terrain naturel et ceux de l'axe du projet de voirie. Le profil en long est composé d'éléments rectilignes (pentes ou rampes) caractérisés par leur déclivité et de raccordements circulaires caractérisés par leur rayon. L'échelle de représentation est différente en abscisse et en ordonnée. Un rapport de 1\10 permet de souligner le relief. Lors de la conception, il convient de prendre en comptes les éléments suivants :

- Il est souvent préférable de prévoir un profile en long en léger remblais plutôt qu'un profil en long rasant afin de faciliter la réalisation des travaux (terrassements et chaussées) ainsi que l'évacuation des eaux de la chaussée.
- De ne pas dépasser une pente maximale préconisée par les règlements.
- D'éviter de maintenir une forte déclivité sur une grande distance.
- Assurer l'écoulement d'eau en utilisant des déclivités minimales de 0.5%
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profile en long.

IV.6.1. Déclivité :

La construction du profil en long doit tenir compte de plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (Puissance des véhicules en rampe). Autrement dit la déclivité est la tangente de l'angle que fait la ligne rouge du profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées.

IV.6.1.1. Déclivité minimum :

Les tronçons de route absolument horizontaux, dits « en palier » sont si possible à éviter, pour la raison de l'écoulement des eaux pluviales.la pente transversale seule de la chaussée ne suffit pas, il faut encore que l'eau accumulée latéralement s'évacue longitudinalement avec facilité par des fossés ou des canalisations ayant une pente suffisante. Il est conseillé d'éviter les pentes inférieures à 1% et surtout celle inférieur à 0.2 %, pour éviter la stagnation des eaux.

IV.6.1.2. Déclivité maximum :

Du point de vue technique, la déclivité maximale dépend de l'adhérence entre pneus et chaussée (ce phénomène concerne tous les véhicules), ainsi de la réduction des vitesses qu'elle provoque ou les camions (poids lourds) sont déterminants car la plupart des véhicules légers ont une grande puissance. La déclivité maximale est tolérée surtout dans les courtes à distances inférieures à 1500m.

IV.6.2. Raccordements en profil en long :

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

IV.6.2.1. Raccordement convexes (angle saillant) :

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

- **Condition de confort :**

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

- **Condition de visibilité :**

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort. Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.

IV.6.2.2. Raccordement en angle concave (rentrant) :

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité diurne n'est pas déterminante, plutôt c'est pendant la nuit qu'on doit s'assurer que les phares du véhicule devront éclairer un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle.

IV.6.2.3. Valeurs limites :

En fonction de la catégorie retenue (catégorie L2), le guide ICTAAL donne la déclivité maximale ainsi que la valeur minimale des rayons en angle saillant et en angle rentrant.

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

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

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

IV.6.3. Les Profiles en Long de notre projet en utilisant CIVIL3D , COVADIS et RDS2021

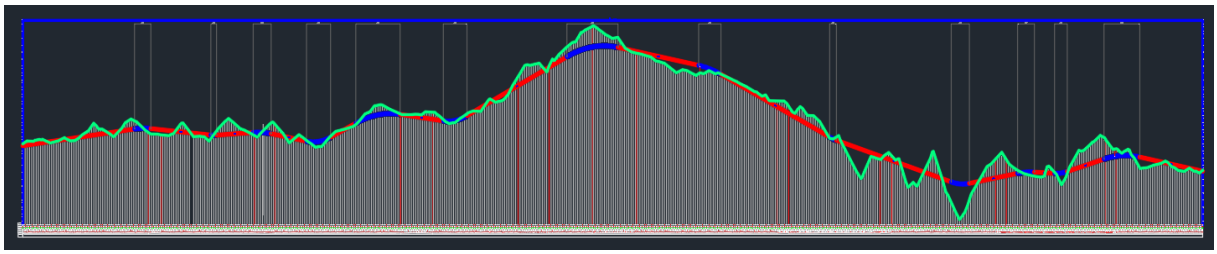


Figure IV-5: Profile en long avec CIVIL3D

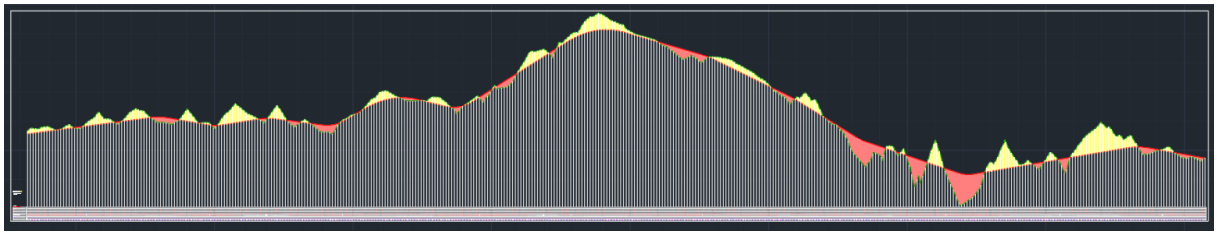


Figure IV-6: Profile en long avec COVADIS

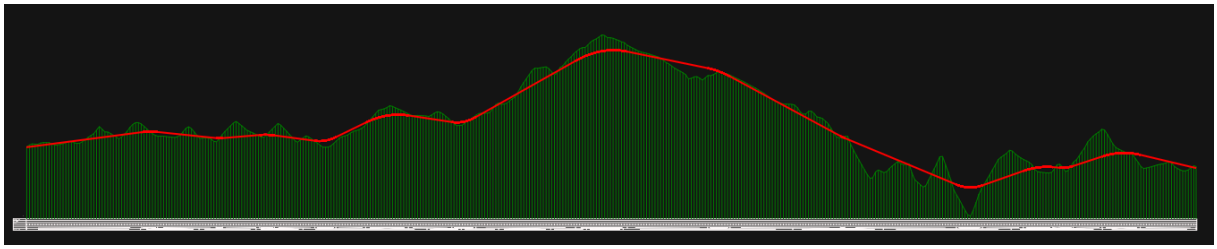


Figure IV-7: Profile en long avec RDS

IV.7. COORDINATION DU TRACE EN PLAN ET DU PROFIL EN LONG :

Afin d'obtenir une bonne insertion de la route dans le site du projet et le respect des règles de visibilité et de lisibilité de l'itinéraire par l'usager, on a porté une attention particulière à la coordination de l'ensemble des éléments géométriques du tracé en plan et en profil en long.

- Les règles indiquées dans l'ICTAAL qui soutiennent cet objectif sont:
- Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, puis respecter la condition Rvert>6R horizontal,
- Associer un profil en long concave à un rayon en plan, impliquant un dégagement

latéral important,

- Supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraine pas de surcout sensible ; lorsqu'elles ne peuvent être évitées, on fait réapparaitre la chaussée à une distance de 500 m au moins, créant une perte de tracé suffisamment franche pour éviter les perceptions trompeuses.

Remarque :

Les calculs complets de l'axe du profil en long sont faits à l'aide du logiciel CIVIL 3D, COVADIS et RDS 2024.

IV.8. PROFIL EN TRAVERS :

Le profil en travers est défini comme la coupe de la route suivant un plan perpendiculaire au tracé en plan. Les pentes et les configurations des éléments de l'assiette de la route sont déterminées par la topographie du site et la géotechnique des sols traversés ou utilisés en remblai. Il est établi généralement un profil unique « profile type » à l'échelle 1/50 contenant toutes les dimensions générales qui se répètent et tous les détails constructifs (largeur des voies, accotements, pentes, talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux,etc.). Le deuxième type de profil est celui « profil courant » en nombre important indiquant les altitudes du terrain et celles de la chaussée finie a l'axe de la route.

IV.8.1. Les éléments du profil en travers :

IV.8.1.1. Chaussée :

D'après L'ICTAAL Chaque chaussée comporte de 2 à 4 voies de circulation larges de 3,50m. Dans notre projet on a une chaussée de 3 voies avec 3,5m pour chaque voie.

IV.8.1.2. TERRE-PLEIN CENTRAL (T.P.C.) :

Le T.P.C. assure la séparation matérielle des deux sens de circulation. Sa largeur résulte de celle de ses constituants : les deux bandes dérasées de gauche et la bande médiane.

- **Bande dérasée de gauche (B.D.G.) :**

Elle est destinée à permettre de légers écarts de trajectoire et à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité. Elle contribue dans les courbes à gauche au respect des règles de visibilité. Elle est dégagée de tout obstacle, revêtue et se raccorde à la chaussée sans dénivellation.

- **Bande médiane :**

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

IV.8.1.3. Accotement :

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

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

La B.A.U. facilite l'arrêt d'urgence hors chaussée d'un véhicule, la récupération d'un véhicule déviant de sa trajectoire, l'évitement d'un obstacle sur la chaussée, l'intervention des services de secours, d'entretien et d'exploitation. Elle est constituée à partir du bord géométrique de la chaussée d'une surlargeur de chaussée qui porte le marquage en rive, puis d'une partie dégagée de tout obstacle, revêtue et apte à accueillir un véhicule lourd en stationnement. Aucune dénivellation ne doit exister entre la chaussée et la B.A.U Sa largeur est de 2,50 m, ou 3m.

- **La berme :**

Elle participe aux dégagements visuels et supporte des équipements : barrières de sécurité, signalisation verticale… Sa largeur qui dépend surtout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place est de 1,00 m minimum ; mais elle peut être intégrée à un dispositif d'assainissement dont la pente ne dépasse pas 25%

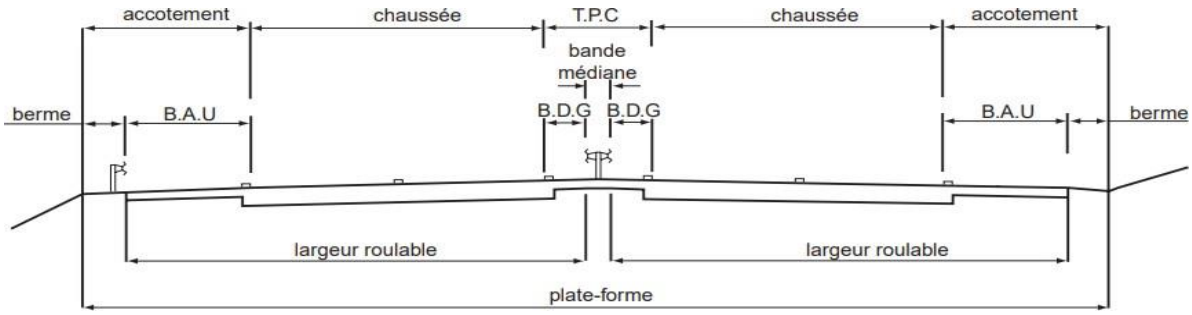


Figure IV-8 :Eléments constructifs du profil en travers.

IV.8.2. Pentes transversales :

Les courbes de rayon inférieur à Rnd sont déversées vers l'intérieur de la courbe

IV.8.2.1. En alignement et en courbe non déversée :

La pente transversale d'une chaussée est de 2,5% vers l'extérieur. La pente d'une B.A.U. (ou d'une B.D.D.), est identique à celle de la chaussée adjacente, mais au-delà de la surlargeur de chaussée portant le marquage de rive, elle peut être portée à 4 % pour des raisons techniques. Les pentes des B.D.G. et du versant en toit d'un T.P.C. revêtu sont identiques à celle de la chaussée adjacente. La berme extérieure présente une pente transversale de 8 % qui peut être portée jusqu'à 25 % dans le cas où elle est intégrée au dispositif d'assainissement

IV.8.2.2. En courbe déversée :

La pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de 1/R, entre 2,5 % pour Rnd et 7 % pour Rm. La pente de la B.A.U. (ou la B.D.D.) intérieure à la courbe est la même que celle de la chaussée adjacente. La pente de la B.A.U. extérieure (ou la B.D.D.) reste la même qu'en alignement droit tant que le dévers ne dépasse pas 4 % ; au-delà, elle est de sens opposé au dévers et égale à 1,5 %, hormis la surlargeur de chaussée qui conserve la même pente que la chaussée. Les dispositions relatives aux autres composantes de la plate-forme restent les mêmes.

IV.8.3. Profil en travers type du notre projet :

Tableau IV.3: Profil en travers type

Elément	Longueur (m)	Nombre	Longueur totale (m)
Voie 2×3	3.5	6	21
Bande médiane	1.5	1	1.5
Bande dérasée de gauche (B.D.G.)	1	2	2
La bande d'arrêt d'urgence (B.A.U.)	2.5	2	5
La berme	1	2	2
Totale (m)	31.5		

IV.8.1. Profiles en travers courant de notre projet en utilisant CIVIL3D , COVADIS et RDS2021

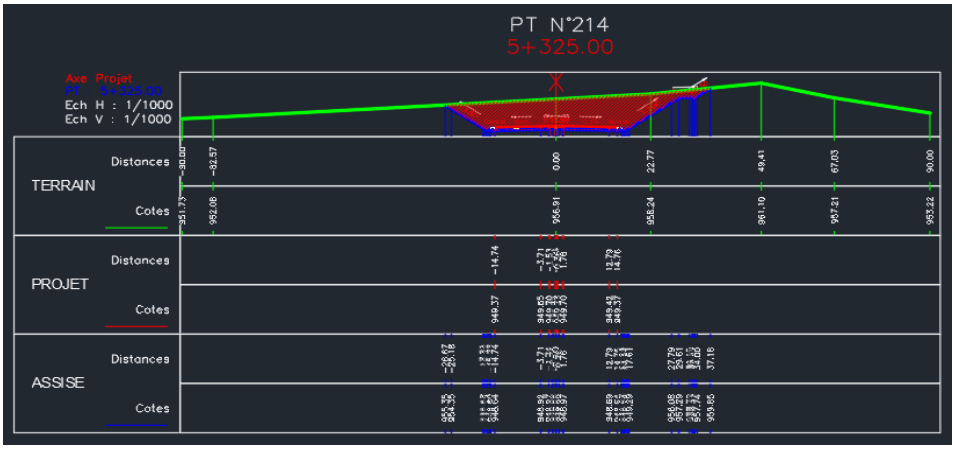


Figure IV-9: Profile en travers courant avec CIVIL3D

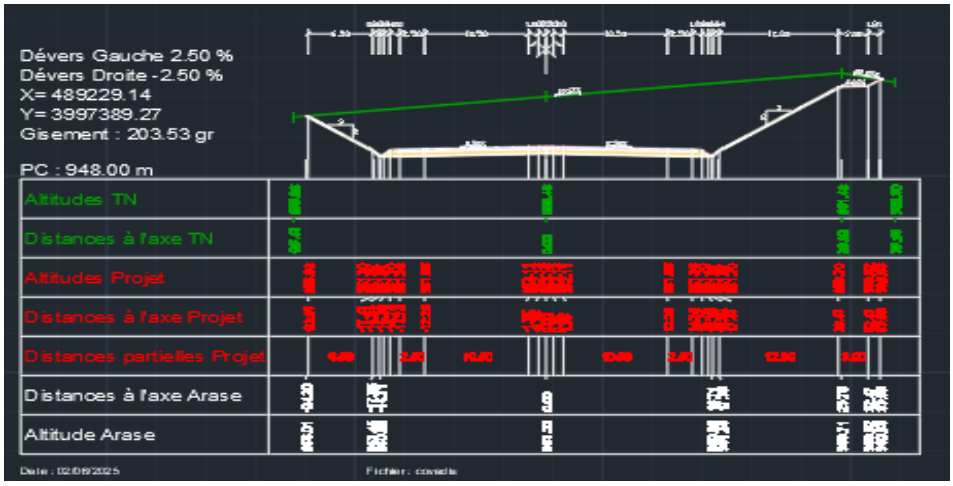


Figure IV-10: Profile en travers courant avec COVADIS

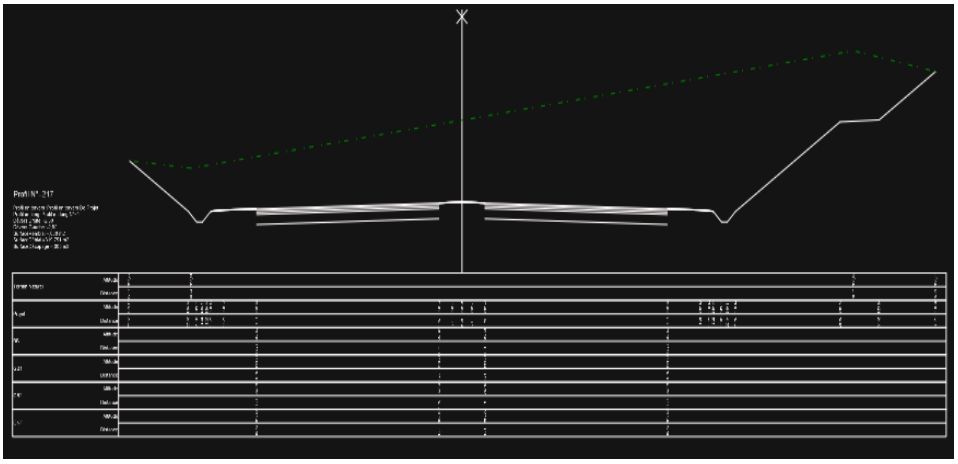


Figure IV-11: Profile en travers courant avec RDS2021

CHAPITRE V :
ETUDE GEOTECHNIQUE

V.1. OBJECTIF

La géotechnique routière est une branche spécialisée de l'ingénierie géotechnique qui se concentre sur l'étude des propriétés mécaniques et physiques des sols et des roches en relation avec la construction et l'entretien des infrastructures routières. Elle joue un rôle crucial dans la conception, la construction et la maintenance des routes, des autoroutes, des ponts et des tunnels.

V.2. LES MOYENS DE RECONNAISSANCES :

Les moyens de reconnaissances d'un tracé routier sont :

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

V.3. VAPPLICATION SUR NOTRE PROJET :

V.3.1. Programme des investigations in situ

V.3.1.1. Les puits de reconnaissances :

Durant cette phase d'étude, 3 puits de reconnaissance ont été planifiés le long du tracé Du PK60+00 au PK71+000. Leurs profondeurs projetées varient entre 1.4m et 4m. Ces puits ont eu le but d'observer directement en profondeur la nature des formations occurrentes, évaluer l'épaisseur de sols de mauvaise qualité à décaper, déterminer l'épaisseur de terre végétale, détecter le niveau d'eau et prélever des échantillons remaniés pour identification et caractérisation géotechnique en laboratoire.

V.3.1.2. Les sondages carottés :

7 sondages carottés ont été planifiés dans cette phase d'étude. La profondeur moyenne des forages réalisés a été de 14 mètres. Ces profondeurs varient de 12 mètres du S-359 à 50 m du S-461. Les sondages ont été réalisés aux lieux des moyens/grands déblais, afin d'étudier les conditions d'excavation, la stabilité des pentes de talus et de permettre l'identification de la nature des différents matériaux traversés envisageant leur réutilisation en remblai, PST et CDF, et des grands remblais, afin définir le profil géologique et d'étudier les conditions d'assise.

V.3.2. Programme des essais au laboratoire :

V.3.2.1. Les puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissances ont intéressé d'une part les zones en remblai afin d'examiner la portance du sol en cours d'exécution, et d'autres part les déblais en vue d'investiguer leur réutilisation comme matériaux de remblai.

V.3.2.2. Les sondages carottés :

Les échantillons intacts prélevés des sondages carottés ont fait l'objet d'un programme approprié afin de déterminer les propriétés physiques, chimiques et mécaniques du sol nécessaire aux études de stabilité et au dimensionnement de la chaussée.

V.4. RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES :

V.4.1. Résultats des reconnaissances in situ :

V.4.1.1. Puits de reconnaissance :

Les profondeurs d'excavation varient de 1,4 m à 4 m selon la profondeur prévue et la nature du sol.

Tableau V.1: Aperçu sur les résultats des puits de reconnaissance.

Puit n°	Localisation	Prof. collecte de l'échantillon	Profond max. (m)	Formations géologiques	Épaisseur de colluvio-alluvion(m)	Prof. (m)	Nature lithologique
P-421	63+200	0,5-1,4	2,8	5	0,6	0,0-0,2	**Terre végétale**
						0,2-0,6	**Argile**
						0,6-1,7	**Limon**
						1,7-2,3	**Argile**
						2,3-2,8	**Roche**
P-422	65+950	0,5	1,4	5	--	0,0-0,5	**Terre végétale**
						0,5-1,4	**Roche**
P-423	68+950	0,2-1,2	4	5	1,2	0,0-,04	**Terre végétale**
						0,4-1,2	**Argile**
						1,2-4,0	**Limon**

Le tableau ci-après récapitule l'ensemble des sondages carottés exécutés le long du tracé, permettant de ressortir globalement la nature lithologique

Tableau V.2: Aperçu sur les résultats des sondages carottés.

Sondage N°	Localisation pk	Formations géologiques	Profond max. (m)	Nature géologique	
S-358	61+550	3 3 3 2	18	0,0-0,5 0,5-3,0 3,0-10,5 10,5-18,0	**Terre végétale** **Marne altérée** **Marne** **Calcaire**
S-359	62+750	3	12	0,0-0,4 0,4-7,5 7,5-12,0	**Terre végétale** **Marne** **Marne**
S-461	63+300	4	50	0,0-0,5 0,5-2,0 2,0-3,8 3,8-50 9,0-20,0	**Terre végétale** **Argile** **Marne** **Calcaire** **Calcaire**
S-360	64+500	3 4	18	0,0-1,0 1,0-4,2 4,2-13,5 13,5-18,0	**Terre végétale** **Marne altérée** **Marne** **Calcaire**
S-426	65+800	4	20	0,0-1,0 1,0-20,0	**Remblai** **Calcaire**
S-427	66+700	5 5 4	20	0,0-3,0 3,0-4,0 4,0-20,0	**Argile** **Marne** **Calcaire**
S-361	67+000	5 4	20	0,0-9,0 9,0-20,0	**Marnes et calcaires** **Calcaire**
S-362	64+500	3 4	21	0,0-1,0 1,0-4,2 4,2-13,5 13,5-21,0	**Terre végétale** **Marne altérée** **Marne** **Calcaire**

V.4.2. Résultats des essais de laboratoire :

Dans le but de caractériser les sols des formations occurrentes le long du tracé, Plusieurs essais de laboratoire ont été réalisés sur des échantillons prélevés dans les puits de reconnaissance (échantillons remaniés). Basé sur la classification visuelle des échantillons en chaque puits, une sélection des échantillons considérés représentatifs des sols occurrents fut établie, sur lesquels les essais d'identification et de classification géotechniques suivants ont été effectués.

V.4.2.1. Identification et Classification GTR :

L'exécution des puits de reconnaissance a permis l'obtention d'une importante quantité d'échantillons remaniés qui ont fait l'objet d'une caractérisation de laboratoire à travers la réalisation de plusieurs essais géotechniques.

La caractérisation de laboratoire a compris les essais suivants sur sols :

- Analyse granulométrique avec sédimentation (AG);
- Teneur en eau naturelle (W);
- Essais au bleu (VBS);
- Limites d'Atterberg (WL - limite de liquidité et Wp - limite de plasticité);
- Essai à l'équivalent de sable (ES).

Les résultats des essais d'identification obtenus dans les déblais et remblais, ainsi que la classification GTR, de tous les échantillons prélevés, sont présentes dans le tableau suivant.

Tableau V.3: Aperçu sur les résultats des essais de laboratoire

Puits	Localisation	Fm	Profond. Max. (m)	Prof. (m)	Nature lithologique	Granulométrie (% passants)			Limites d'Atterberg				Wn (%)	VBS	ES (%)	Ic	Classifications			PN-Compactage Proctor Normal		PM-Compactage Proctor Modifié			Essais CBR
N°	pk					3/4'' (%<19,0mm)	#10 (%<2,0 mm)	#40 (%<0,42mm)	#200 (%<0,074 mm)	WL (%)	IP (%)	WP (%)		(g/100g)			AASHTO	ASTM	NF P 11-300	gdmáx (T/m³)	WOPN (%)	gdmáx (T/m³)	WOPM (%)	Cr (%)	Indice CBR (%)
P-421	63+200	5	2,8	0,6-1,7	Limon		99	97	93	46	25	21	22,8	2	6	0,91	A-7-6	Cl	A2h	1,66	20,8				2,7
P-422	65+950	5	1,4	0,5-1,4	Roche	92	64	27	49	40	18	22	22	1,25	12	1,26	A-6	SC	A2h			1,93	12,4		2.3
P-423	68+950	5	4	0,4-1,2	Argile	100	99	98	94	47	28	20	22	1,5	1	0,91	A-7-6	Cl	A3h			1,82	14,2		1,9

De l'analyse des résultats des tous les essais d'identification, on vérifie que :

- Quant aux limites liquides, la formation 5 présentent des valeurs entre 40% et 50%.
- Pour les indices plastiques, la formation 5 présentent des valeurs comprises entre 18% et 28%.
- Les valeurs en bleu au méthylène ont varié entre 1.25 g/100 g et 2.0 g/100 g.
- L'équivalent de sable présente des valeurs assez homogènes, c'est-à-dire, entre 1% et 12%.
- Le teneur en eau naturelle présente une variation en fonction de la granulométrie, la formation 5 présentent des valeurs comprises entre 22 et 22.8%.
- Selon la Classification LCPC-SETRA (NF P 11-300) la plupart des échantillons (5) se classent comme sols A2h, A2 et A3h.

V.4.3. Classification du sol support (classification GTR) :

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

V.4.3.1. Paramètres retenus pour la classification des sols :

Les paramètres retenus se rangent en trois catégories

- Paramètres de nature,
- Paramètres de comportement mécanique,
- Paramètre d'état,

• Exemple de calcule Puit 421 :

1- classement selon la nature :

- **1*er* Niveau : granularité :**

D_{max}= 0.42mm≤50mm
Tamisat a 0.08mm=93%
} Sols fins (classe A)

- **2*eme* Niveau : argilosité :**

IPI=25 et 12 < 25 ≤ 25 ⟹ sous classe **A2**

2. Classement selon l'état hydrique :

Ic=0.91 et 0.9 < 0.91 ≤ 1.05

L'etat hydrique du sol est humide « h »

Donc le sol est ***A2h***

Tableau V.4: Classification GTR des matériaux.

N° Puits	Condition	ClassificationGTR	Nature de sol
P-421	Dmax<50mm 12<Ip=25≤25 0.9<Ic=0.91≤1.05	A2h	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques
P-422	Dmax<50mm 12<IP=18<25 1.2<IC=1.26<1.4	A2h	Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques
P-423	Dmax<50mm 25<IP=28<40 0,8 < Ic=0.91 ≤ 1	A3h	Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques

Interprétation des résultats :

Selon la classification GTR qui indiquent majoritairement un sol support sensible à l'eau de forte portance à l'état humide, représenté par une fraction argileuse plus ou moins élevée de classe A.

V.4.4. Condition d'utilisation des matériaux de déblai :

Les conditions de réutilisation des matériaux de déblai en remblai ont été établis sur la base des recommandations de la GTR.

Tableau V.5: Conditions d'utilisation des matériaux de déblai.

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
A2h	Sols difficiles à mettre en œuvre en raison : - de leur caractère collant ou glis- sant dû à leur grande plasticité et à leur faible perméabilité - de leur portance faible La mise en dépôt provisoire n'est pas une solution dans le climat fran- çais moyen. Le drainage préalable ne permet pas de réduire utilement la teneur en eau W.	+ +	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faibl e	C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (□ 5 m)	0 0 0 0 0 3 1
		=	ni pluie, ni évaporation importante	**Solution 1 :** **traitement** T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (□ 5 m)	0 0 0 0 0 3 1
		–	évaporation importante	**Solution 1 :** **traitement** T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0
				Solution 2 : aération E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (□ 10 m)	1 0 1 0 1 2 2
A3h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. La mise en dépôt provisoire et le drainage préalable ne sont habituel- lement pas des solutions envisageables dans le climat fran- çais moyen. Le matelassage est à éviter au ni- veau de l'arase-terrassement.	+	pluie faibl e	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	**Solution 1 :** **traitement** T : traitement à la chaux C : compactage faible	0 0 0 2 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de faible hauteur (□ 5 m)	0 0 0 0 0 3 1
		–	évaporation importante	**Solution 1 : aération** E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (□ 10 m)	1 0 1 0 1 2 2
				Solution 2 : **traitement** T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0 0 0 2 0 2 0

V.5. GLISSEMENT DE TERRAIN

Un glissement de terrain est un mouvement brutal ou progressif d'une masse de sol ou de roche vers le bas d'une pente, sous l'effet de la gravité.Il se produit lorsque la résistance des matériaux en place devient inférieure aux forces qui les sollicitent, souvent à cause de l'eau, de la pente, ou de la nature des sols. Il peut être superficiel ou profond, rapide ou lent, affecter une petite zone ou plusieurs hectares.

V.5.1. Types de glissement de terrain

V.5.1.1. Glissement plan

Ce type de glissement apparaît lorsque le sol en pente est composé de terrains meubles reposant sur un substrat plus rigide, ou lorsque la surface de rupture potentielle est beaucoup plus longue que l'épaisseur du sol concerné.

La taille de ces glissements varie fortement, allant de quelques mètres carrés à plusieurs hectares.

Les formations les plus sensibles à ce phénomène sont les zones de flysch, les schistes marno-calcaires et les schistes métamorphiques.

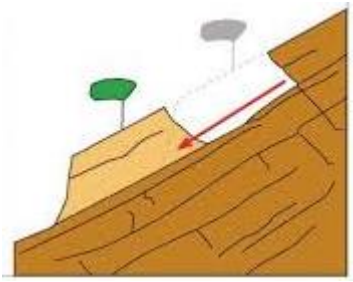


Figure V-1: Glissement plan

V.5.1.2. Glissement rotationnel simple

Un glissement rotationnel se produit lorsque la masse de terrain se déplace vers le bas le long d'une surface de rupture courbe, souvent circulaire.

Ce type de glissement implique généralement un faible volume de matériaux, avec un déplacement limité.

Il survient principalement dans des terrains meubles homogènes, en particulier argileux ou silteux.

Dans sa forme simple, la surface de rupture est régulière et s'apparente le plus souvent à un cylindre.

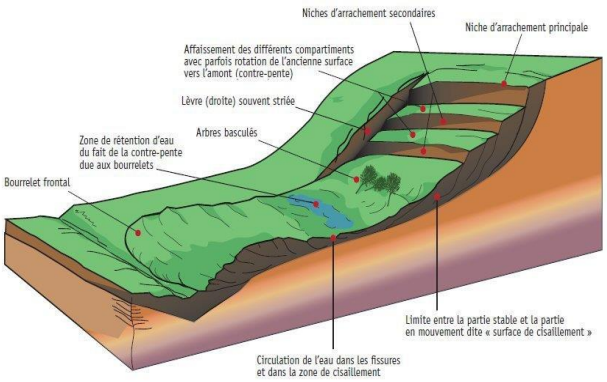


Figure V-2: Glissement rotationnel simple

Il comprend :

- En tête : des fissures de traction,
- Un escarpement correspondant au départ de la surface de glissement.
- A la base : un bourrelet formé par des matières glissées

V.5.1.3. Glissement rotationnel complexe

C'est la deuxième classe des glissements rotationnels. Il s'agit de glissements multiples « emboîtés » les uns dans les autres. C'est une réaction à la chaîne amorcée par un premier glissement rotationnel simple qui en se déplaçant supprime la butée qui soutenait la masse sus-jacente de terrain, ce qui engendre le deuxième glissement et ainsi de suite jusqu'à remonter vers l'amont de la colline.

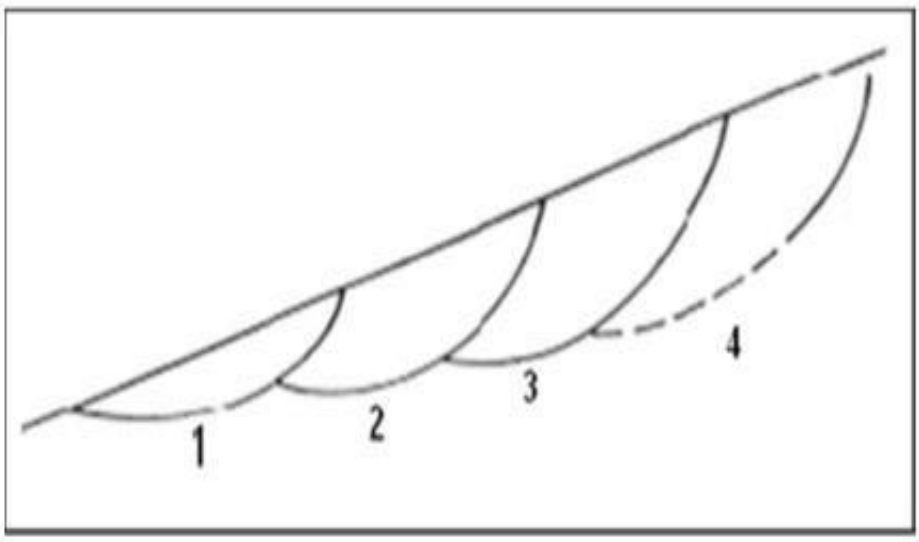


Figure V-3: Glissement rotationnel complexe

V.5.2. Définition des pentes des talus

Les pentes des talus des déblais ont été définies en fonction de plusieurs Paramètres :

- Profondeur des déblais,
- Lithologie et résistance du terrain (C, ϕ),
- La considération d'une stabilité à court et long terme, l'intégration paysagiste adaptée,
- Et surtout la prise en compte du problème de l'expropriation des terrains,

Tous ces paramètres réunis nous ont incités à considérer lors de notre vérification de la stabilité des déblais importants notamment, des pentes de talus variant entre 1/1 (H/V), 1/2 (H/V), 2/1 (H/V), 3/2 (H/V). Le choix des pentes de talus par zone a été fait de la manière suivante :

- Pente 3/2 (H/V) pour les formations schisteuses.
- Pente 1/1 et 2/1 (H/V) pour les formations de flyschs.
- Pente 1/2 (H/V) pour la formation des granitoïdes de Thénia.
- Pente 2/1, 1/1 et 3/2 (H/V) pour les formations marneuses du Miocène.

V.5.3. Vérifications de stabilité des talus

- La vérification se fait par logiciel **GeoStudio,** méthode de BISHOP.
- Banquâtes de 8 m (V) ; 3 m (H).

V.5.4. Analyse de stabilité de déblai

- Les surface de ruptures supposées circulaire.
- L'aspect sismique a été pris en considération.
- La pente de talus 3(H) :2(V).

On prend le cas le plus défavorable qui se situe au PK 68km+820m à une hauteur de **20.69m**.

V.5.4.1. Les Coefficients sismique :

Tableau V.6: Coefficient d'accélération A

Groupe	Zone			
	I	II a	II b	III
1	0.15	0.25	0.3	0.4
2	0.12	0.20	0.25	**0.3**
3	0.10	0.15	0.20	0.25

V.5.4.2. Calcul des coefficients sismique horizontales et verticales

$$K_h = 0.5A \quad ; \quad K_v = 0.3K_h$$

Les composantes sismiques K_h et K_v utilisées lors de la modélisation sont respectivement **0.1** et **0.03**

Nous avons considéré comme coefficient de sécurité minimal permettant une stabilité à long terme (cas statique) de **FS >= 1.5** et (cas dynamique) **FS >= 1.1**

Tableau V.7: Des paramètres de calcul de la stabilité du déblai

Couche	Poids volumique γh (KN/m3)	Cohésion C (bars)	Angle de frottement φ (°)	épaisseurs
Marne altérée	18	15	24	1-4,2m
Marne	19	30	28	4,2-13,5
Calcaire	19	70	35	13,5-21

Tableau V.8: La charge sur chaussée

La charge Q (kpa)	Largeur chargeable (m)
10	14

V.5.4.3. Facteur de sécurité (par GEOSTUDIO) cas statique :

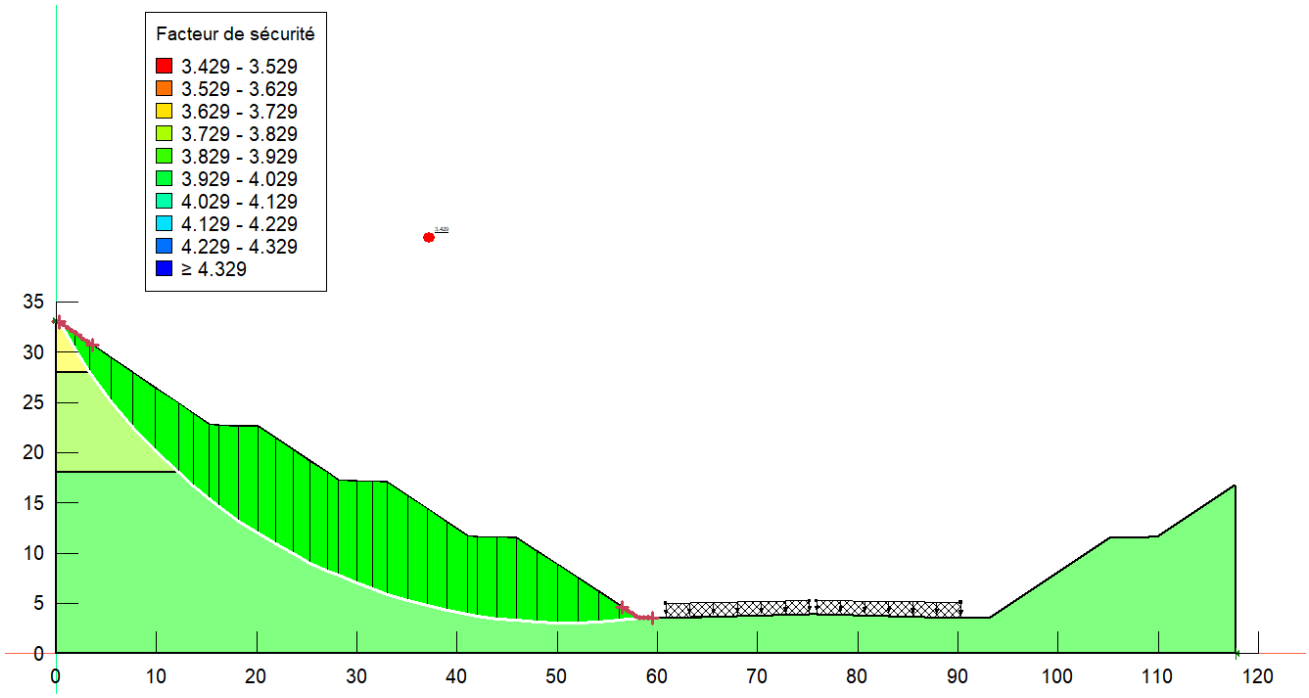


Figure V-4 : Vérification de la stabilité du déblai (Cas Statique)

Résultat de vérification :

Fs = 3,429 ≥ 1.5 **vérifier**.

Donc la stabilité de tous les déblais est **vérifiée**

V.5.4.4. Facteur de sécurité (par GEOSTUDIO) cas dynamique :

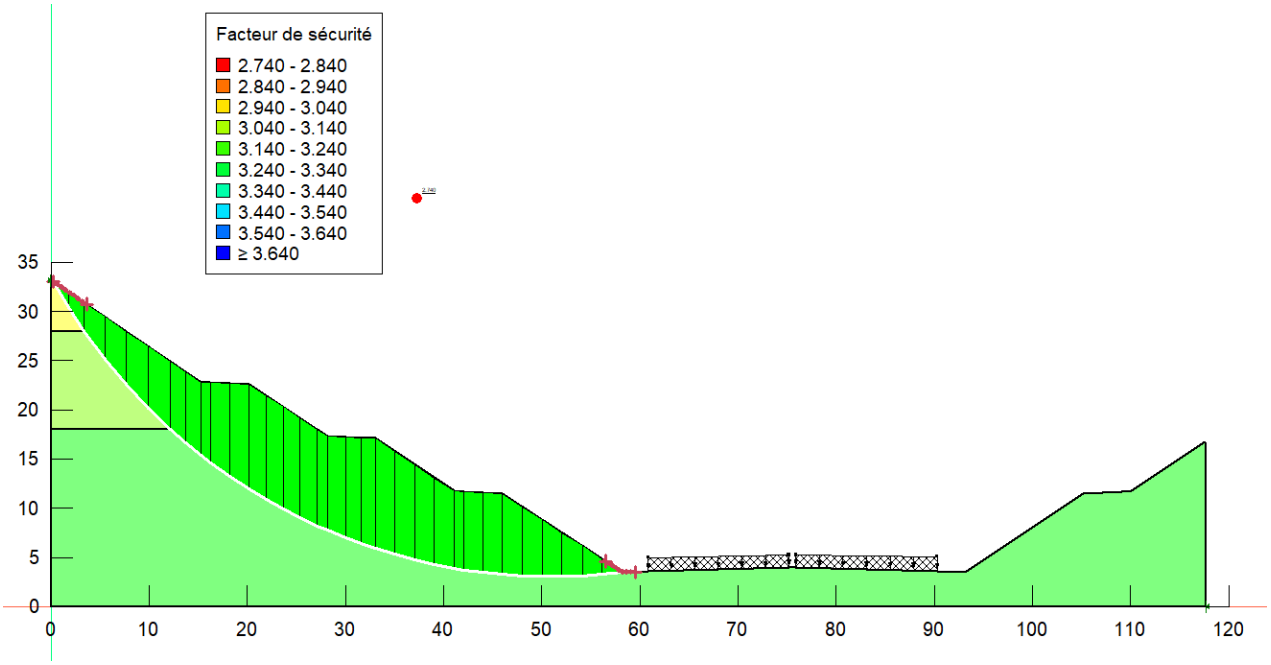


Figure V-5 : Vérification de la stabilité du déblai (Cas dynamique)

Résultat de vérification :

Fs = 2,74≥ 1.1 **vérifier**.

Donc la stabilité de tous les déblais est vérifiée

V.5.5. Analyse de stabilité de Remblai

On prend le cas le plus défavorable qui se situe au PK 68 km+440 m à une hauteur de 30 m

- L'aspect sismique a été pris en considération.
- La pente de talus 2(H) :1(V).
- Les surfaces de ruptures supposées circulaires.
- Nous avons considéré comme coefficient de sécurité minimal permettant une stabilité à long terme de l'ouvrage (cas statique) de **FS >= 1.5** et (cas dynamique) **FS >= 1.1**

Tableau V.9: Des paramètres de calcul de la stabilité du remblai

Déblais utilisables	Poids volumique γh (KN/m3)	Angle de Frottement φ (°)	Cohésion C (bars)
Domaine Boucetta /Calcarétines et grèstendre.	18	30	2,5

V.5.5.1. Facteur de sécurité (par GEOSTUDIO) cas statique :

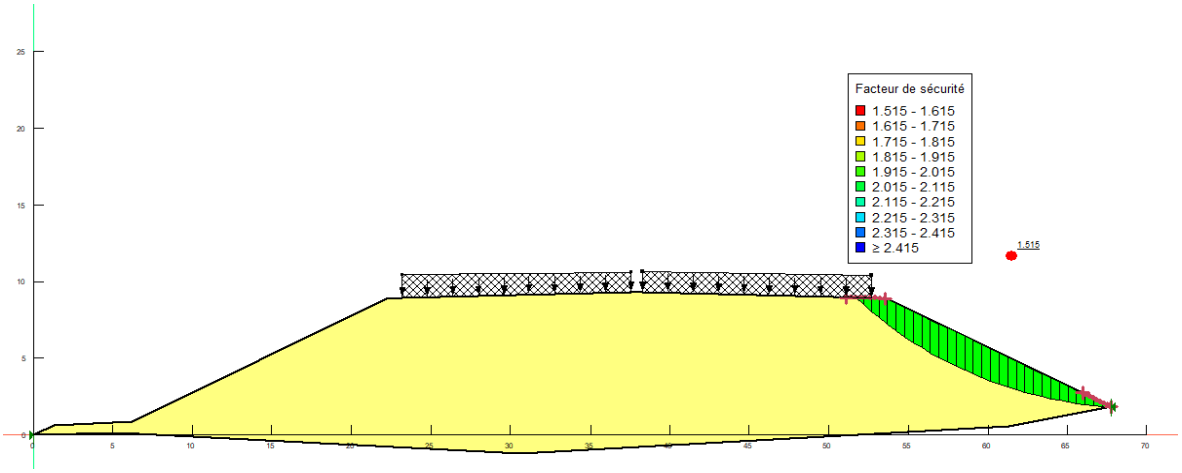


Figure V-6: Vérification de la stabilité du remblai (Cas Statique)

Résultat de vérification :

Fs = 1.515 ≥ 1.5 **vérifier.**

Donc la stabilité de tous les remblais sont **Vérifie**

V.5.5.2. Facteur de sécurité (par GEOSTUDIO) cas dynamique :

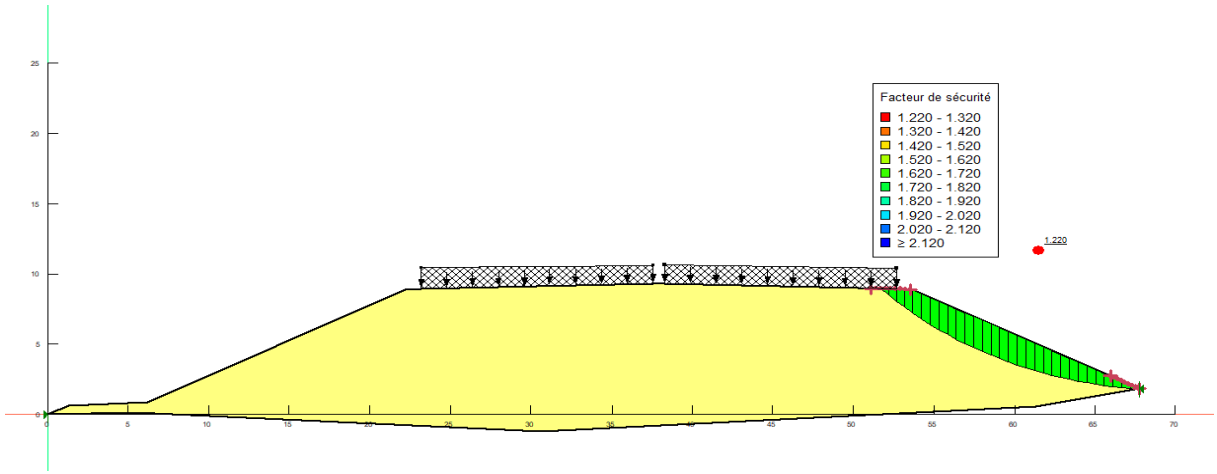


Figure V-7: Vérification de la stabilité du remblai (Cas dynamique)

Résultat de vérification :

Fs = 1.22 ≥ 1.1 **Vérifier.**

Donc la stabilité de tous les remblais sont **Vérifie**

CHAPITRE VI :
DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

VI.1. INTRODUCTION

Le corps de chaussée est la structure située entre le sol naturel et la couche de roulement. Il constitue l'ossature principale d'une route. Son rôle est de supporter les charges du trafic et de les transmettre au sol sans provoquer de déformations.

Il se compose de plusieurs couches superposées, dont :

- La couche de forme
- La couche de fondation
- La base (ou couche de base)

Chacune joue un rôle précis pour garantir la stabilité, la portance et la durabilité de la chaussée.

Un bon dimensionnement du corps de chaussée dépend de plusieurs facteurs :

- Le type de sol en place
- Le volume de traffic
- Les conditions climatiques
- La durée de vie attendue

Un mauvais choix ou une exécution défectueuse peut entraîner des tassements, des fissures ou des nids-de-poule. Comprendre la structure du corps de chaussée est essentiel pour concevoir des routes fiables et durables.

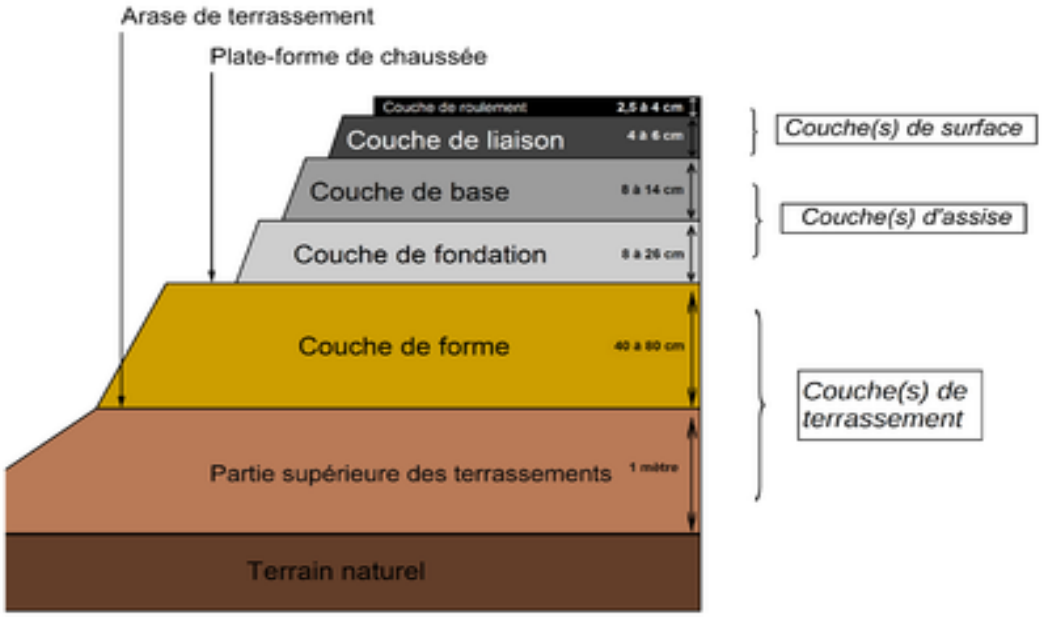


Figure VI-1: Coupe transversal d´une chaussée

VI.2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE CHAUSSÉE

- **Couche de roulement**
  Couche superficielle de la chaussée, réalisée en enrobé bitumineux ou béton. Elle supporte directement les sollicitations mécaniques et climatiques. Épaisseur typique : 2,5 à 4 cm.
- **Couche de liaison**
  Couche intermédiaire entre la couche de roulement et la couche de base. Constituée d'un enrobé bitumineux plus épais et plus résistant que celui de la couche de roulement. Elle assure la continuité mécanique et l'adhérence entre les couches. Épaisseur typique : 4 à 6 cm.
- **Couche de base**
  Couche porteuse qui absorbe une partie importante des sollicitations dynamiques transmises par le trafic. Réalisée en matériaux traités aux liants hydrauliques, bitumineux, ou non traités (grave non traitée). Épaisseur typique : 8 à 14 cm.
- **Couche de fondation**
  Couche inférieure de la structure d'assise, répartissant les charges vers la couche de forme. Constituée de matériaux granulaires compactés (grave naturelle ou recyclée). Épaisseur typique : 8 à 20 cm.
- **Couche de forme**
  Couche de transition entre le sol support et les couches d'assise. Son rôle est de corriger les défauts de portance du sol naturel, améliorer le comportement mécanique global, et assurer une plate-forme stable. Constituée de matériaux sélectionnés ou traités. Épaisseur typique : 40 à 80 cm.
- **Partie supérieure des terrassements**
  Zone préparée par terrassement et parfois traitée pour garantir la stabilité de la plateforme. Sert d'assise à la couche de forme. Épaisseur standard : environ 1 m.

VI.3. L'OBJECTIF DU DIMENSIONNEMENT

L'objectif du dimensionnement du corps de chaussée est de concevoir une structure capable de :

- Résister aux charges du trafic pendant toute sa durée de vie
- Répartir ces charges vers le sol sans provoquer de déformations excessives
- Garantir la sécurité et le confort des usagers
- Limiter les coûts d'entretien et de réhabilitation

Cela implique de choisir les matériaux adaptés et de déterminer l'épaisseur de chaque couche en fonction :

- Du type de sol en place
- Du volume et de la nature du trafic
- Des conditions climatiques
- De la durée de vie souhaitée pour la chaussée

VI.4. LES METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Il y'a deux méthodes utilisées en Algérie pour le dimensionnement du corps de chaussée :

- La Méthode du catalogue de dimensionnement Algérien,
- La Méthode CBR.

VI.5. LA METHODE CBR

Tableau VI.1: Les données de calcul

TJMA de l'année de mise en service (V/J)	TJMA Le trafic de l'année 2048 (V/J)	Z=PL (%)	La charge par roue P (Essieu 13t)
$TJMA_{2025}$ =12815	$TJMA_{2045}$ =28080	25	6.5t

VI.5.1. Résultats de l'essai CBR sur le sol support

Tableau VI.2: Résultats de l'essai CBR sur le sol support

Reference de sondage	Profondeur (m)	CBR
P421	2.8	2.7
P422	1.4	2.3
P423	4	1.9

L'épaisseur totale du corps de chaussée est donnée par la formule suivant :

$$e = \frac{100 + \sqrt{P(75 + 50\ log\ N\ /10)}}{\text{ICBR} + 5}$$

Avec:

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

Calculer N :

TPL2045=TJMA2045*2/3*Z

TPL_{2045}=28080*2/3*0.25=4680 v/j/sens.

Répartition transversale sur la voie la plus chargée

Nous avons des chaussées unidirectionnelles de 3 voie ⟹ 80% du trafic PL.

N=0.5*TPL_{2045}=2340 v/j/sens.

$$e = \frac{100 + \sqrt{6{,}5(75 + 50\ log 234)}}{1{,}9 + 5} = 62.45 =$$ **e = 63cm**

VI.5.2. L'épaisseur équivalente

$$E_{eq} = a_1 * e_1 + a_2 * e_2 + a_3 * e_3$$

Avec :

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

a_1, a_2, a_3 : coefficients d'équivalence.

TableauVI.3: Coefficient d'équivalence

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	a1 = 2.00
Grave bitume	a2 = 1.20 à 1.70
Grave non traite	a3 = 1.00

On propose deux épaisseurs et on calcule le troisième

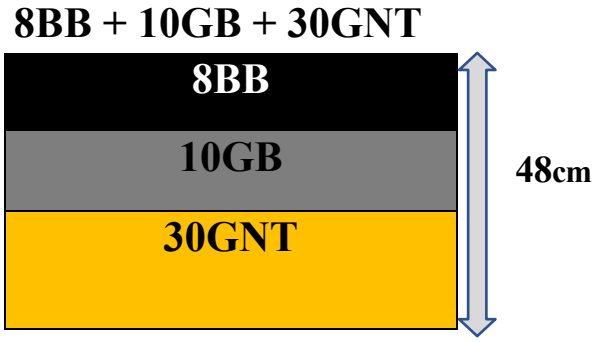
- Pour le BB on pose : e_1= 8 cm.
- Pour le GB on pose : e_2= 10cm.
- Pour le GNT on pose : e_3= X.

E totale = $a_1 * e_1 + a_2 * e_2 + a_3 * e_3$ Donc : $\boldsymbol{e3 = 30cm}$

Épaisseur réelle : Eréel =8+10+30=48cm **Eréel = 48cm**

Notre structure de chausse par la méthode de CBR est :

- Couche de roulement en béton bitumineux : 8BB.
- Couche de base en grave bitume : 10GB.
- Couche de fondation en grave non traité : 30GNT.



VI.6. LA METHODE DU CATALOGUE ALGERIEN DE DIMENSIONNEMENT :

Les données essentielles pour le dimensionnement de la chaussée sont :

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

VI.6.1. Les données climatiques :

VI.6.1.1. La zone climatique

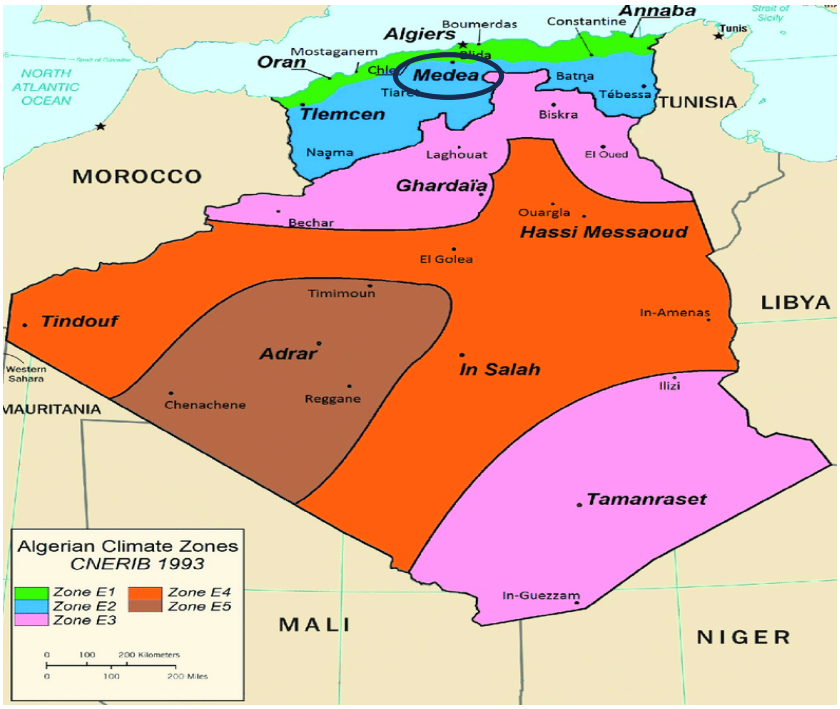


Figure VI-2: Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie

VI.6.1.2. Température équivalente

TableauVI.4: Température équivalente

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

Notre projet de **ZONE II** ⟹ **θeq = 20°C**

VI.6.2. Les données de trafic :

Tableau VI.5: Choix de type de réseau principal

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

$TJMA_{2045}$ =28080v/j>1500 v/j. ⟹ **RP1**

VI.6.2.1. Détermination la classe de trafic TPL

On a : $TPL_{2025}=TJMA_{2025}*Z$

TPL_{2025}= 12815×0.25×0.8×2/3 = **1708.67 PL/j/sens**.

Tableau VI.6: Classe de trafic poids lourds.

(TPLi)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
(RP1)	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

1500 <TPL_{2025}< 3000

- La classe de trafic est **TPL6.**

VI.6.2.2. Calcul de trafic cumule équivalent (TCEi) :

- Calcul de trafic cumulé de **PL** (**TCi**) :

Le **TCi** est le de trafic cumulé de **PL** sur la période considéré pour le dimensionnement (Durée de vie) donnée par la formule suivante :

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

$$TCi = 1708.67 \times 365 \times \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04}$$

$$TCi = 18.57 \times 10^6$$

i : Taux d`accroissement géométrique 4%.

n **:** durée de vie considérée 20ans.

- Calcul de Trafic cumule équivalent :

$$TCEi = TCi \times A$$

A: Coefficient d`agressivité de PL

Tableau VI.7 Coefficient d'agressivité A

Niveau de réseau Principal (Rpi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
Rp1	Chaussées à matériaux traites au bitume : GB/GB, GB/Tuf, BCg /GC…	0.6
	Chaussées à matériaux traites aux liants Hydrauliques GL/GL, BCg /GC	1

$$TCEi = 18.57 \times 10^6 \times 0.6$$
$$TCEi = 11.14 \times 10^6$$

VI.6.3. Détermination du risque de calcul :

D'après le catalogue de dimensionnement algérien :

Tableau VI.8: Risque de calcul

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

Nous avons un risque de **R= 5%**

VI.6.4. Détermination de la portance de sol-support de chaussée :

Tableau VI.9 La portance de sol-support.

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

- **CBR** de sol = **1,9**
- La portance de sol-support **S4.**

Remarque : les structures de chaussées sont construites sur le sol support, et d'après l'essai CBR ont a constaté que notre sol est de faible portance alors la présence de couche de forme est obligatoire.

VI.6.5. Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité

Tableau VI.10: Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité

Classe de portance du sol terrasse	Matériau de couche de forme	Épaisseur de Matériau couche de forme	Classe de portance du sol- support visée
<S4	Matériaux non traité	50 cm (En couches)	S3
S4	//	35cm	S3
S4	//	60cm (En 2 couches)	S2
S3	//	40cm (En 2 couches)	S2
S3	//	70cm (En 2 couches)	S1

Donc il faut faire une amélioration par deux couches de matériau non traité MNT (60cm) deux couches de TUF 30cm pour chacune

VI.6.6. Choix des différentes couches constituantes de la chaussée

VI.6.6.1. Les structures possibles de chaussée d'après le catalogue :

Les structures concernant Rp1

Tableau VI.11: Les structures concernant Rp1

Type de matériaux	Fiche structure n°	Type de structure	Zone climatique (*)
1-MTB (matériaux traites au bitume)	1	GB/GB	I.II
	2	GB/GNT	I.II
	3	GB/GNT	III
	4	GB/SGI	IV
	5	GB/TUFI	III
2-MTH (matériaux traites au liant hydrauliques)	6	GL/GL	I.II
	7	BCg/GC	I.II

Nous avons dans la zone I matériaux traités au bitume (MTB) :

- Couche de base en grave bitume et Couche de fondation en grave bitume : **GB/GB.**
- Couche de base en grave bitume et Couche de fondation en grave non traité : **GB/GNT.**

VI.6.6.2. Choix de dimensionnement du corps de chaussée

Nous sommes dans le réseau principal (**RP1**), la zone climatique **II**, durée de vie de **20 ans**, la classe de trafic **TPL6** et un taux d'accroissement moyen **(4%).**

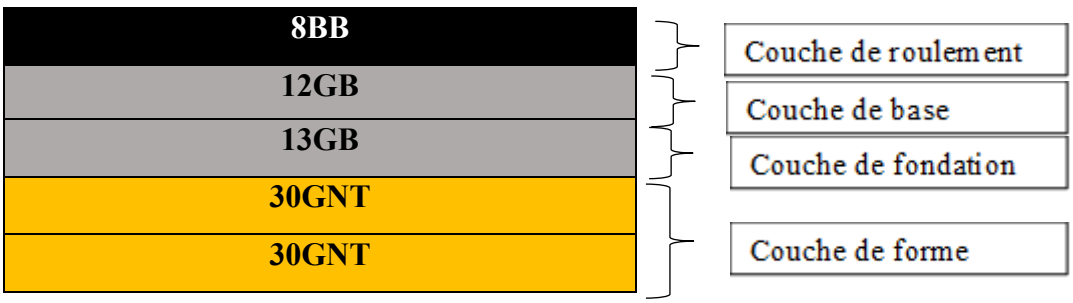
Tableau VI.12: Choix de dimensionnement de corps de chaussée

TPLi / PL/j/sens \ Si	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		

Avec toutes ces données, le catalogue Algérien propose la structure suivante :

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

Choi final de la structure chaussée : **6BB + 11GB + 13GB + 30GNT + 30GNT**
Et nous avons choisi aussi pour la couche de forme le matériaux non traite 60cm (30cm par couches) **TUF.**



VI.6.7. Calcul de la déformation admissible

VI.6.7.1. Calcul de la déformation admissible (εz, adm.) du sol support

$$\varepsilon_{Zadm} = 22 \times 10^{-3} \times TCEi^{-0.235}$$

$$\varepsilon z,adm = 22\times10^{-3} \times (11.14\times10^{6})^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{Zadm} = 485.74 \times 10^{-6}$$

VI.6.7.2. Calcul de la déformation admissible de traction εt, adm

La valeur admissible de tractions est donnée par la relation suivante :

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6\,(10℃\,,\,25Hz) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

Ɛ6 (10°C, 25Hz) : déformation limite détenue au bout de 10' cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).

- **Kθ :** facteur lie à la température.
- **Kne :** facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.
- **Kr :** facteur lié au risque et aux dispersions.
- **Kc :** facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement absorbé sur la chaussée.

Avec :

$$Kne = \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \quad , \quad K\theta = \frac{\sqrt{E(10°C)}}{E} \quad , \quad Kr = 10^{-tb\delta}$$

- **TCEi :** trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.
- **b :** pente de la droite de fatigue **(b<0).**
- **E (10°C) :** Module complexe du matériau bitumineux à **10°C.**
- **E (20eq) :** Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b}Sh\right)^2}$$

- **: f (dispersion).**
- **SN :** dispersion sur la loi de fatigue.
- **Sh** : dispersion sur les épaisseurs (en cm).
- **c :** coefficient égal à 0,02.
- **t :** fractile de la loi normale, qui est fonction du risque adopté (r%).

Tableau VI.13 : Fractile de la loi normale

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

VI.6.7.3. Performances mécaniques des matériaux bitumineux

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

Tableau VI.14: Performances mécaniques des matériaux bitumineux

MTB	**E Mpa (30c,10Hz)**	**E Mpa (25c,10Hz)**	**E Mpa (20c,10Hz)**	**E Mpa (10c,10Hz)**	**ε6 Mpa (10c,25Hz) 10^-6**	**-1/b**	**SN**	**Sh (cm)**	**v**	**Kc calage**
BB	2500	3500	**4000**	-	-	-	-	-	**0.35**	-
GB	3500	5500	**7000**	12500	100	6.84	0.45	3	**0.35**	1.3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0.86	2.5	0.45	1.3

D'après le tableau au dessus on obtient :

θeq = température équivalent **(θeq = 20c°) => E (20° ,10HZ)=7000** MPa.

- Classe de trafic **(TPL6)**.
- Risque adopté pour le réseau RP1 et la classe du trafic TPL6 **(r=10%)**.
- **c** : coefficient égal **0.02**
- **t** : fractile de loi normale, en fonction du risque adopté donc **(t = -1.282).**

Application numérique :

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

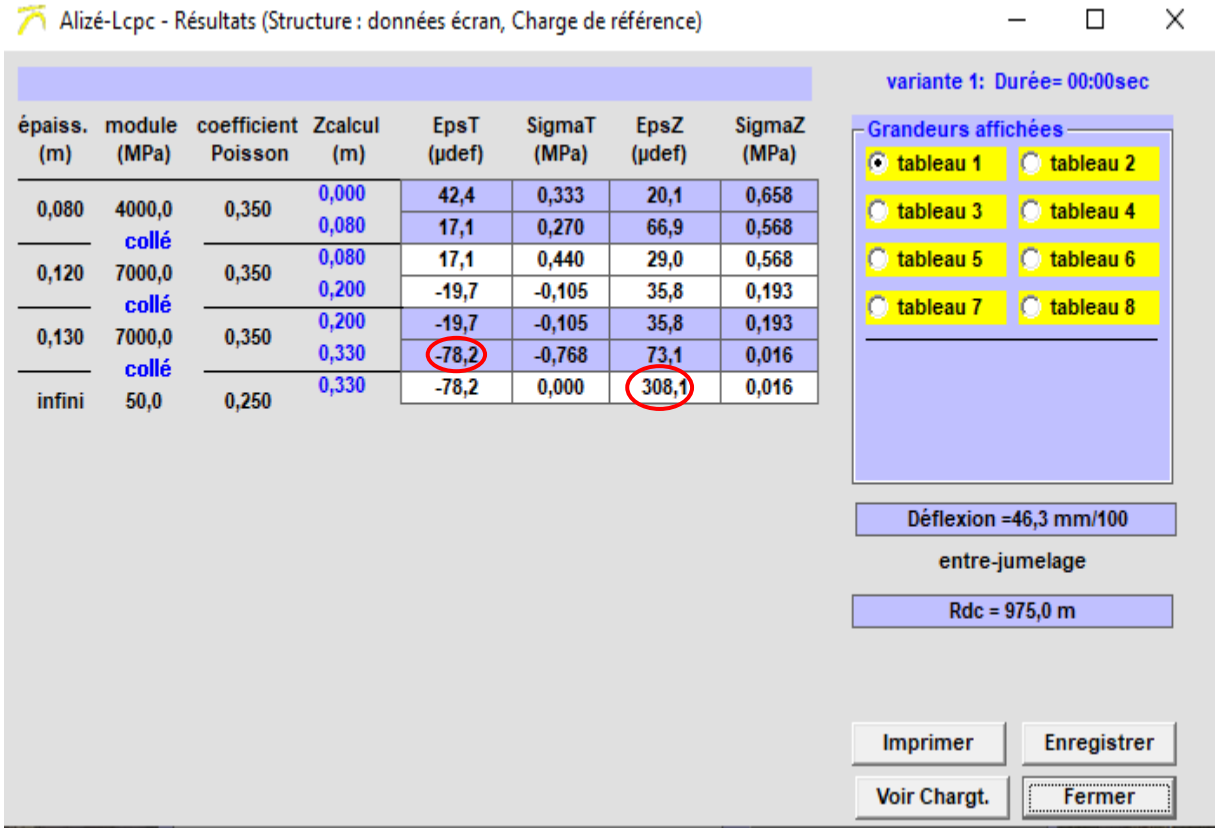
$$\varepsilon_{t,adm} = 100\times\mathbf{10^{-6}}\left(11.14\times\frac{10^6}{10^6}\right)^{-\mathbf{0.146}}\times\sqrt{\frac{12500}{7000}}\times\mathbf{10}^{-(-\mathbf{1.654}\times\mathbf{0.609}\times-\mathbf{0.146})}\times\mathbf{1.3}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon_{t,adm} = 84.13\times10^{-6}}$$

VI.6.8. Vérification des résultats de calcul par Alize-LCPC:

Le logiciel ALIZE-LCPC est le programme de référence utilise pour les calculs de dimensionnement des chaussées. Donc à l'aide d'Alizé LCPC, on vérifie que :

$$\xi t < \xi tadm$$
$$\xi z < \xi zad$$



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,080	4000,0	0,350	0,000	42,4	0,333	20,1	0,658
	collé		0,080	17,1	0,270	66,9	0,568
0,120	7000,0	0,350	0,080	17,1	0,440	29,0	0,568
	collé		0,200	-19,7	-0,105	35,8	0,193
0,130	7000,0	0,350	0,200	-19,7	-0,105	35,8	0,193
	collé		0,330	-78,2	-0,768	73,1	0,016
infini	50,0	0,250	0,330	-78,2	0,000	308,1	0,016

Figure VI-3: Résultats de la simulation (ALIZE-LCPC).

Tableau VI.15: Tableau de comparaison des résultats

ξ	Déformations calculées	Déformations admissibles
ξz	308.1×10^{-6}	485.74×10^{-6}
ξt	78.2×10^{-6}	84.13×10^{-6}

Vérification :

1.A la base de GB :

Ɛtadm = 84.13 × 10^{-6} def et **Ɛt** =78.2× 10^{-6} def

Ɛtadm > Ɛt

2.Sol support :

Ɛzadm = 485.74 × 10−6 def et **Ɛz** =308,1× 10−6 def

Ɛzadm> Ɛz

- En final **la structure retenue** pour notre projet est :

8BB+12GB+13GB+30GNT+30GNT

CHAPITRE VII : CALCUL DE CUBATURE

VII.1. INTRODUCTION

Les cubatures de terrassement représentent l'évolution des volumes de déblais et de remblais nécessaires à la réalisation du projet, dans le but d'obtenir une plateforme uniforme, parallèle et adjacente à la ligne de projet.

Cette estimation repose essentiellement sur les éléments suivants :

- Les profils en long ;
- Les profils en travers ;
- L'espacement entre les profils.

Par cubature, on entend le calcul des volumes de déblais et de remblais à déplacer afin de respecter la géométrie définie par les profils en long et en travers. Ces calculs permettent ensuite de quantifier les travaux à exécuter. Dans notre cas, les matériaux de déblais étant partiellement réutilisables en remblai, l'objectif est de tendre vers un équilibre entre les deux volumes. Toutefois, en raison de l'irrégularité naturelle du terrain, un calcul parfaitement exact reste difficile à atteindre.

VII.2. METHODOLOGIE DE CALCUL DES CUBATURES

Le calcul des cubatures consiste à déterminer les volumes de déblais et de remblais nécessaires à la mise en œuvre des terrassements. Cette opération peut être réalisée soit par comparaison entre le plan topographique initial et le plan de terrassement projeté, soit en analysant les écarts entre le profil en long du terrain naturel et celui du projet.

VII.3. METHODE UTILISEE POUR CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS :

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

VII.4. DESCRIPTION DE LA METHODE CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS :

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

$$V=(h/6)\times (S6+S2+4S0)$$

Où h, S1, S2 et S0 désignant respectivement :

• Hauteur entre deux profils.

• Hauteur des deux profils.

• Surface limitée à mi-distances des profils

Ici à la figure ci-dessus on adopte pour des profils en long d'un tracé donnés :

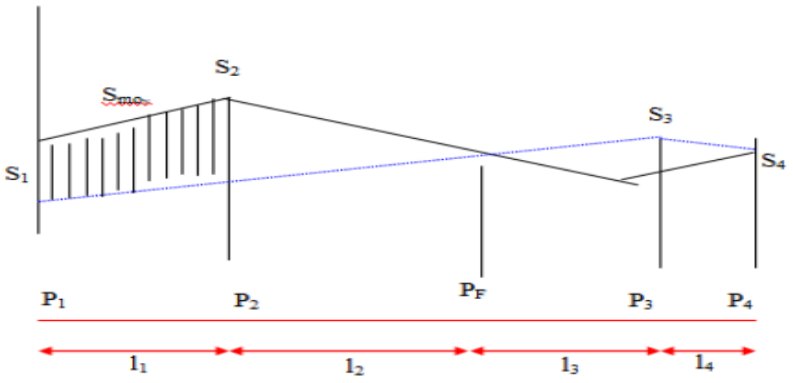


Figure VII-1: Profil en long d'un axe.

Pour éviter un calcul très long, on considère que : $Sm = \frac{S1+S2}{2}$

Pour notre calcul automatique des courbures par le logiciel CIVIL 3D, Covadis et RDS et les résultats (ci – dessous) nous donnons le résultat final du volume de remblais et déblais de chaque logiciel.

Tableau I.1: Résultat final du volume de remblais et déblais de chaque logiciel.

Logiciel	Déblais (m³)	Remblais (m³)
Civil 3D (Référence)	2 391 069,32	750 386,35
Covadis	2 437 857,10	751 572,67
RDS	2 411 643,15	750 500,44

Tableau I.2 : Synthèse des écarts.

Volume	Covadis vs Civil 3D	RDS vs Civil 3D
Déblai	1 ,95 %	0 ,86 %
Remblais	0 ,16 %	0 ,015 %

VII.5. CONCLUSION :

- Les écarts sont **faibles (< 2 %)**, ce qui montre que **RDS est fiable pour des estimations préliminaires**.
- Covadis donne des résultats très similaires à Civil 3D avec plus de contrôle DAO..

En résumé : malgré sa simplicité, RDS offre des résultats très proches des logiciels professionnels, ce qui en fait une base solide à développer dans un cadre académique.

CHAPITRE VIII : COMPARISON ENTRE COVADIS, RDS 2021 ET CIVIL 3D

VIII.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, une analyse technique et fonctionnelle a été menée sur trois logiciels de conception routière : Civil 3D, Covadis et RDS. Les deux premiers sont des solutions largement reconnues, développées par des éditeurs de renom, et utilisées à l'échelle internationale pour la conception d'infrastructures routières. RDS, quant à lui, est un logiciel en cours de développement, conçu localement par mon encadrant, Dr. Bakhti Rachid, dans une démarche visant à répondre aux besoins spécifiques de l'enseignement et de la pratique en ingénierie routière. Il a été pensé comme un outil pédagogique et opérationnel, permettant d'initier les étudiants aux principes du tracé routier tout en étant utilisable dans des contextes professionnels. RDS a ainsi pour ambition d'offrir une solution simple à maîtriser, fiable, accessible, et particulièrement adaptée aux projets linéaires portés par de petites structures ou bureaux d'études. Cette initiative s'inscrit dans le cadre des efforts de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), qui a commencé à intégrer ce logiciel et assuré son développement. L'objectif de cette étude est d'identifier les points forts et les limites de chaque logiciel, et de proposer des pistes concrètes d'amélioration pour RDS afin d'en faire un outil plus performant, ergonomique, et conforme aux standards actuels de la conception routière. La comparaison portera sur plusieurs aspects clés : gestion du tracé en plan, profil en long, profils en travers, DAO, traitement du MNT et calcul des quantités.

VIII.2. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS

VIII.2.1. Analyse comparative de l'environnement DAO, de l'ergonomie et de la qualité graphique des logiciels :

En matière de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur), les différences entre les trois logiciels sont particulièrement marquées. Civil 3D et Covadis bénéficient d'un environnement graphique avancé, hérité d'AutoCAD, offrant une qualité de dessin exceptionnelle, une grande précision géométrique, ainsi qu'un contrôle visuel très fin. L'utilisateur dispose d'une large palette d'outils de dessin, de calques, de styles d'objets, de couleurs, et de symboles normalisés. L'interface utilisateur dans ces deux logiciels est également bien structurée : les menus sont intuitifs, les commandes sont assistées par des info-bulles, et les options sont facilement accessibles. La navigation dans le projet est fluide, et l'intégration entre DAO et calcul est bien optimisée, ce qui facilite les modifications en temps réel et le contrôle qualité du projet. À l'inverse, RDS, qui a été développé individuellement par mon encadrant, présente une interface plus simple et moins graphique. Les outils de dessin sont limités, l'affichage est moins intuitif, et les possibilités de personnalisation (calques, couleurs, échelles de cotation, etc.) sont restreintes. Il ne s'agit pas ici d'un défaut, mais plutôt d'une étape normale dans le cycle de développement d'un logiciel. Contrairement à Civil 3D ou Covadis, conçus par des équipes d'ingénieurs expérimentés chez Autodesk ou Geomedia, RDS reste un outil jeune avec un fort potentiel d'évolution. À ce titre, il serait pertinent de recommander l'intégration d'une bibliothèque graphique plus complète dans RDS, ainsi que la création d'une interface modulaire permettant à l'utilisateur de mieux contrôler les calques, les styles d'objets et la personnalisation

des affichages. Ces améliorations contribueraient à rapprocher RDS des standards professionnels tout en gardant sa légèreté et sa simplicité d'usage.

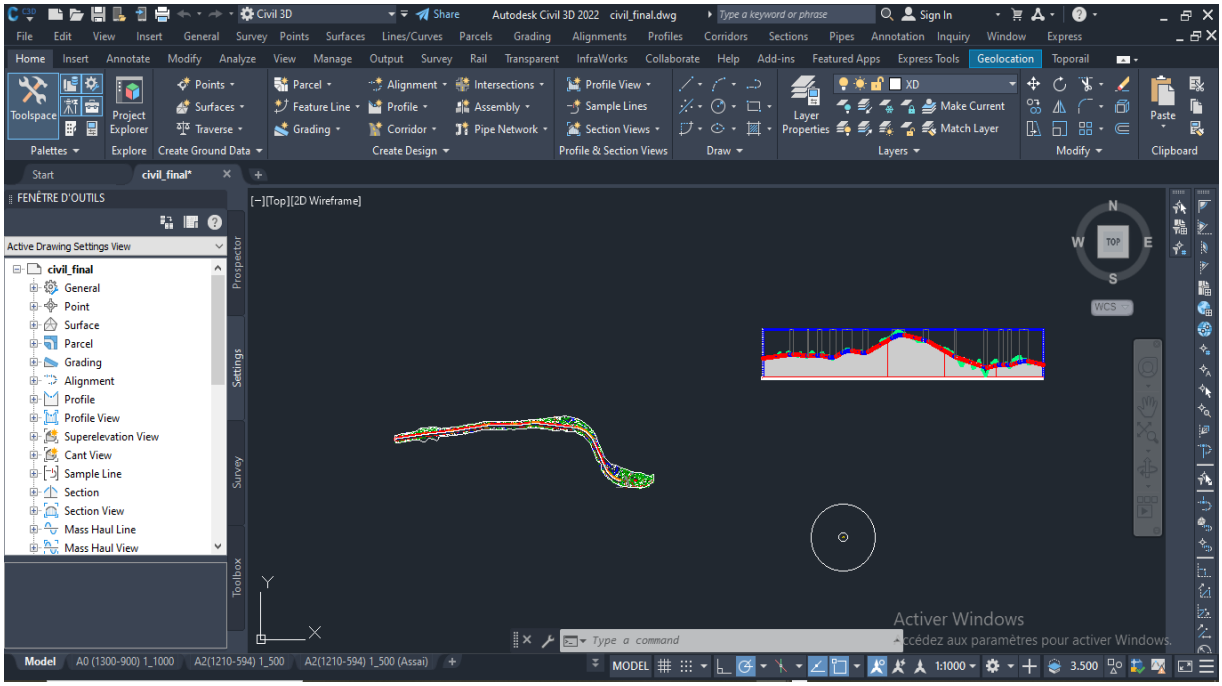
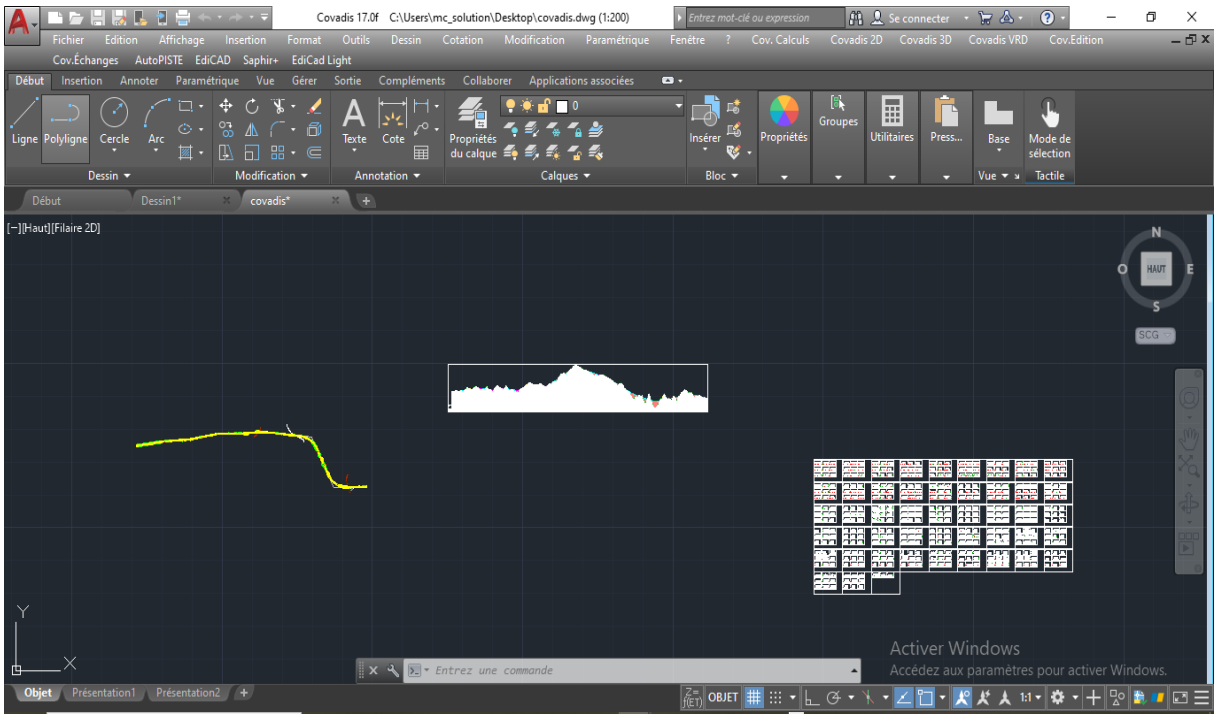
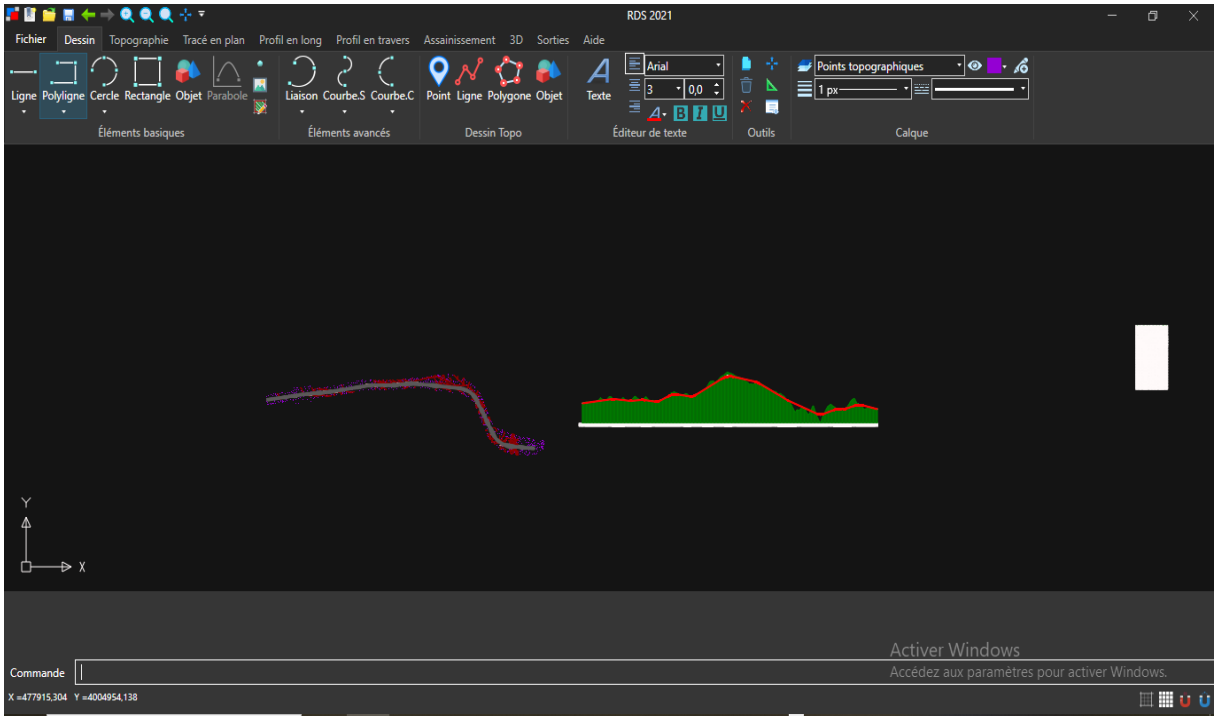


Figure VIII-1:Interface du logiciel Civil 3D



FigureVIII-2:Interface du logiciel COVADIS



FigureVIII-3:Interface du logiciel RDS

Tableau VIII.1: Analyse comparative de l'environnement DAO.

Élément	Civil 3D	Covadis	RDS
Qualité graphique	Très élevée	Élevée	Basique
Interface utilisateur	Moderne, intuitive	Simple et fonctionnelle	Très simple
Personnalisation (couleurs, calques…)	Très Avancée	Avancée	Très limitée
Intégration DAO-calcul	Oui (synchronisation forte)	Oui	Faible ou inexistante
Ergonomie générale	Excellente	Bonne	Facile à prendre en main
Développement	Autodesk (équipe spécialisée)	Géomédia (équipe dédiée)	Individuel (encadrant PFE : Dr. Bakhti Rachid)

VIII.2.2. Gestion des rayons de courbure et des dévers selon la norme ICTAAL L2

Dans le cadre de la conception en plan, l'un des aspects fondamentaux est le choix et la validation des rayons de courbure ainsi que des dévers appliqués. Tant dans Civil 3D que dans Covadis, les normes nationales en l'occurrence l'ICTAAL L2 sont intégrées directement dans le logiciel. Lorsqu'un utilisateur définit un rayon non conforme ou oublie de paramétrer un dévers adéquat, le logiciel signale automatiquement l'erreur ou propose un correctif. Cette assistance intégrée garantit la conformité aux prescriptions techniques et facilite le respect des exigences de sécurité et de confort. En revanche, dans RDS, logiciel développé par mon encadrant de projet de fin d'études, aucune norme n'est intégrée automatiquement. L'utilisateur doit saisir manuellement les valeurs de rayon et de dévers, sans contrôle intelligent ni alerte d'erreur. Cela rend le processus plus sensible aux erreurs humaines, surtout dans des cas complexes où les paramètres doivent être ajustés dynamiquement selon la topographie ou la vitesse de conception. Une autre différence importante concerne l'insertion des clothoïdes : dans Civil 3D et Covadis, le logiciel calcule automatiquement la longueur minimale de la clothoïde selon le rayon et la vitesse, et l'affiche en bas de l'écran au moment de l'insertion. L'utilisateur peut alors choisir cette valeur ou une valeur supérieure. En revanche, dans RDS, cette fonctionnalité est absente : il faut calculer la longueur minimale à la main, puis la saisir manuellement, ce qui augmente le risque d'erreur et ralentit le processus de conception.

Tableau VIII.2 : Analyse comparative de geometrique.

Élément	Civil 3D	Covadis	RDS
Norme utilisée	ICTAAL L2	ICTAAL L2	ICTAAL L2 (manuelle)
Rayon minimal (Rhm)	400 m	400 m	400 m (saisi à la main)
Rayon minimum non déversée Rnd (m)	650 m	650 m	650 m (saisi à la main)
1.5×Rnd	975 m	975 m	975 m (manuel)
Dévers appliqué	Automatique (7%)	Automatique (7%)	Manuel (saisi par l'utilisateur)
Contrôle de conformité	Oui (alerte visuelle)	Oui (corrections intégrées)	Non
Insertion automatique de clothoïde	Oui	Oui	Non
Aide à la conception	Avancée	Moyenne	Aucune

VIII.2.3. Comparaison de la gestion du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) constitue une base essentielle dans tout projet routier, car il conditionne la précision du tracé, des profils en long et en travers, ainsi que les volumes de terrassement. Les trois logiciels étudiés Civil 3D, Covadis et RDS permettent la création d'un MNT à partir de données topographiques. Toutefois, il existe des différences notables en matière de flexibilité et de compatibilité des sources d'entrée. Dans Civil 3D, l'importation des points peut se faire via plusieurs formats, notamment .txt, .csv, .xml, mais aussi à partir de fichiers DEM, d'objets Design. Cette richesse fonctionnelle en fait un outil très puissant pour l'intégration de données issues de diverses sources. Covadis, de son côté, permet également une grande variété d'importation : .txt, .csv, .gsi, avec une compatibilité directe avec certains appareils topographiques comme Leica. Il permet aussi la saisie manuelle, ce qui facilite les retouches ponctuelles ou les projets de petite envergure. RDS, en revanche, propose trois méthodes d'importation : le fichier texte (.txt), le fichier dxf et à travers de Google Maps. Une fois les points importés, les trois logiciels permettent la génération automatique du MNT, avec prise en compte des lignes de rupture. Civil 3D se distingue par sa rapidité et la précision de son maillage, suivi de près par Covadis. RDS offre un résultat acceptable, mais avec un maillage un peu moins dynamique et surtout l'absence de mise à jour automatique en cas de modification des points sources. Il convient de noter que les trois logiciels permettent d'ajuster des paramètres essentiels comme la densité du maillage, le type de triangulation ou encore les méthodes d'interpolation, offrant ainsi une adaptabilité suffisante aux exigences des projets. En conclusion, pour renforcer la compétitivité de RDS, il serait judicieux d'ajouter la prise en charge de formats topographiques variés (comme. gsi, .xml, ou .DEM), ainsi qu'un mécanisme de mise à jour automatique du MNT. Ces améliorations rendraient le logiciel plus polyvalent et mieux adapté aux standards actuels de la conception routière.

Tableau VIII.3 : Analyse comparative de la gestion de MNT.

Élément	Civil 3D	Covadis	RDS
Sources d'importation	.txt, .csv, .xml, .DEM, objets	.txt, .csv, .gsi, Leica	.txt, dxf, et Google Maps
Création automatique du MNT	Oui	Oui	Oui
Prise en compte des lignes de rupture	Oui (automatique et manuelle)	Oui (manuelle)	Oui (simple)
Qualité du maillage	Bonne	Bonne	Bonne
Paramétrage du maillage	Oui	Oui	Oui
Mise à jour automatique du MNT	Oui	Oui	Non

VIII.2.4. Comparaison de la gestion des profils en long

Le profil en long représente un élément fondamental dans la conception géométrique routière. Il permet de définir l'évolution altimétrique du tracé et d'optimiser les terrassements tout en respectant les normes de sécurité et de confort. Dans les trois logiciels analysés, la création du profil en long est relativement simple, avec un niveau de fluidité comparable. Cependant, Civil 3D et Covadis présentent des avantages importants liés à l'automatisation et à l'intégration des normes. En effet, dans Civil 3D et Covadis, l'extraction de la surface naturelle (TN) à partir du MNT se fait de manière automatique dès la définition de l'axe. Les pentes peuvent être saisies manuellement ou générées de manière assistée, et les raccordements verticaux parabolique sont calculés automatiquement selon les normes choisies (ARP R60, R80, ICTAAL L1, L2, etc.). En cas de pente excessive ou de rayon non conforme, une alerte visuelle est affichée, ce qui aide grandement à la conformité du projet. À l'inverse, RDS ne dispose pas de système de contrôle normatif intégré. Les valeurs de pente, longueurs minimales, rayons verticaux doivent être calculées et insérées manuellement par l'utilisateur, ce qui augmente le risque d'erreur. De plus, aucune alerte ne s'affiche en cas de non-conformité. En termes d'interface DAO, les trois logiciels permettent la personnalisation du profil (échelle, grille, couleurs, annotations), mais Civil 3D reste le plus avancé à ce niveau, suivi de près par Covadis. Sur le plan de l'ergonomie, RDS se distingue par sa simplicité : malgré l'absence d'options avancées, l'utilisateur peut créer un profil en long rapidement avec peu d'étapes, ce qui est un avantage pour l'initiation ou les esquisses simples. Enfin, une autre différence clé réside dans la mise à jour automatique : dans Civil 3D et Covadis, toute modification du MNT ou de l'axe est automatiquement répercutée sur le profil en long. Dans RDS, ce lien dynamique n'existe pas le profil doit être mis à jour manuellement, ce qui peut ralentir le processus et générer des incohérences. Ainsi, pour améliorer RDS, l'intégration d'un moteur de contrôle des normes, d'un système d'alerte en temps réel, ainsi qu'un mécanisme de synchronisation dynamique du profil avec le MNT seraient des évolutions majeures.

Tableau I.4 : Analyse comparative des profils en long.

Élément	Civil 3D	Covadis	RDS
Création du profil	Automatique	Automatique	Automatique
Raccordements verticaux	Calculés automatiquement	Calculés automatiquement	À insérer manuellement
Alertes en cas de pente/rayon non conforme	Oui	Oui	Non
Intégration des normes (ICTAAL, ARP…)	Oui	Oui	Non
Mise à jour automatique du profil	Oui	Oui	Non
Personnalisation DAO (grille, échelle, etc.)	Très avancée	Moyenne	Basique
Facilité d'utilisation	Difficile (pour experts)	Bonne	Simple et rapide à comprendre

VIII.2.5. Comparaison de la gestion des profils en travers

Les profils en travers permettent de représenter la structure transversale de la route : chaussée, accotements, talus, fossés, et couches structurelles. Ils jouent un rôle fondamental dans le dimensionnement technique et dans le calcul précis des volumes de terrassement. Dans Civil 3D et Covadis, les profils en travers sont générés automatiquement après la définition du MNT et de l'axe. L'utilisateur peut choisir ou concevoir un profil type (gabarit), avec des outils puissants de personnalisation : largeur de voie, structure de chaussée, bordures, talus variables, fossés, etc. Ces profils sont dynamiques : toute modification dans le modèle se propage automatiquement à l'ensemble du projet. Le DAO des profils est très avancé, notamment dans Civil 3D, avec la possibilité de gérer les couleurs, les styles d'affichage, les symboles, les cotes automatiques, et même des conditions logiques de conception. Covadis reste très efficace, bien qu'un peu plus simple en termes de contrôle graphique.

Dans RDS, les profils en travers sont également générés automatiquement à partir du MNT et de l'axe, mais via une méthode différente. L'utilisateur remplit une fiche de saisie où il entre manuellement les dimensions des éléments constitutifs du profil (chaussée, BAU, berme, talus, etc.). Cependant, il n'est pas possible de modifier directement un profil type existant : toute modification nécessite la création d'un nouveau profil. Malgré ces limitations, RDS reste très simple d'utilisation, avec une interface allégée qui convient parfaitement à un contexte pédagogique ou pour les projets de petites teilles. Il permet également l'extraction automatique des volumes de déblais et remblais à partir des profils, ce qui constitue un atout fonctionnel. Pour améliorer RDS, l'introduction d'une interface graphique pour la gestion des profils types, ainsi qu'un système de modification dynamique, renforcerait considérablement sa flexibilité.

Tableau VIII.5 : Analyse comparative des profils en long.

Élément	Civil 3D	Covadis	RDS
Création automatique des profils	Oui	Oui	Oui
Profils types dynamiques	Oui	Oui	Non (formulaire appliqué à tout le tracé)
DAO (personnalisation graphique)	Très avancée	Avancée	Simple
Modification du profil type	Dynamique	Dynamique	Non (recréer un nouveau modèle)
Interface de saisie	Complexe mais complète (graphique)	Moyenne (boîtes de dialogue)	Très simple (fenêtre unique à remplir) et facile a utilisé
Extraction des quantités	Oui	Oui	Oui
Idéal pour	Projets complexes/détaillés	Projets standards	Projets standards / Études d'esquisse / contexte pédagogique

VIII.2.6. Comparaison des résultats de cubatures

Le calcul des cubatures constitue une étape essentielle dans tout projet routier, car il permet d'estimer avec précision les volumes de déblais et remblais, impactant directement le coût et la faisabilité des travaux. Les résultats obtenus à partir des profils en travers dans les trois logiciels montrent une forte cohérence globale, avec des écarts faibles et acceptables dans un cadre professionnel ou pédagogique. Civil 3D, en tant que solution de référence, a fourni les volumes les plus détaillés grâce à sa capacité à gérer des profils complexes et dynamiques. Covadis, bien que plus simple, a produit des résultats très proches. Enfin, RDS, malgré son interface allégée et l'absence de DAO graphique avancé, a généré des résultats très proches également, surtout en ce qui concerne le remblai. Ces résultats confirment la fiabilité de RDS dans un contexte d'enseignement ou d'étude préliminaire, tout en soulignant le potentiel d'optimisation du logiciel par l'intégration d'outils de mise à jour dynamique et de gestion des normes.

Tableau VIII.6 : Analyse comparative des résultats de cubatures.

Logiciel	Déblais (m³)	Écart vs Civil 3D (%)	Remblais (m³)	Écart vs Civil 3D (%)
Civil 3D	2 391 069,32	—	750 386,35	—
Covadis	2 437 857,10	1,95%	751 572,67	0,16%
RDS	2 411 643,15	0,86%	750 500,44	0,02%

VIII.3. RECOMMANDATIONS POUR L'AMELIORATION DU LOGICIEL RDS

À la lumière de l'analyse comparative menée entre RDS, Civil 3D et Covadis, plusieurs recommandations peuvent être formulées afin d'améliorer les performances et la polyvalence de RDS, notamment dans le cadre de son utilisation croissante à l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics :

VIII.3.1. Intégration des normes routières (ICTAAL, ARP…)

Actuellement, RDS ne dispose d'aucun contrôle normatif intégré. Il serait pertinent d'ajouter une base de données de normes (radii minimaux, dévers, longueurs minimales, etc.) avec un système d'alerte en cas de non-conformité.

VIII.3.2. Mise a jour dynamique du MNT et de profils

Contrairement à Civil 3D et Covadis, les modifications du MNT ou du tracé ne sont pas répercutées automatiquement sur les profils. L'ajout d'un système de synchronisation automatique améliorerait la cohérence du projet et réduirait les erreurs.

VIII.3.3. Gestion graphique des profils types

RDS utilise actuellement une interface de saisie textuelle unique pour définir les profils. Le développement d'un module graphique interactif permettrait à l'utilisateur de visualiser et de modifier les profils en temps réel, tout en facilitant la personnalisation.

VIII.3.4. Amélioration du module DAO

Il est recommandé d'enrichir l'environnement graphique du logiciel : gestion des calques, des styles, des couleurs, des cotes, ainsi que la possibilité de contrôler l'affichage des éléments (talus, fossés, couches de chaussée) dans les profils en travers et en long.

VIII.3.5. Diversification des formats d'importation de points

Aujourd'hui, RDS supporte les fichiers .txt, dxf et Google Maps. L'intégration de formats comme **.csv, .gsi, .xml ou .dem**, ainsi que la compatibilité avec les appareils topographiques (ex. Leica), rendrait l'outil plus flexible.

VIII.4. CONCLUSION

Cette comparaison entre Civil 3D, Covadis et RDS a permis de mettre en évidence les forces et les limites de chaque outil dans le cadre d'un projet routier. Tandis que Civil 3D et Covadis offrent des fonctionnalités avancées, une précision DAO élevée et une gestion normée, RDS se distingue par sa simplicité d'utilisation et ses résultats étonnamment proches, notamment en matière de cubature. Ces constats confirment la pertinence de RDS dans un contexte pédagogique ou pour les projets de petites tailles, tout en soulignant les pistes d'amélioration possibles : intégration des normes, mise à jour dynamique, gestion graphique des profils types. En somme, cette étude constitue une base concrète pour le développement et l'optimisation de RDS, afin d'en faire un outil plus complet et compétitif dans l'avenir.

CHAPITRE IX :
ASSAINISSEMENT

IX.1. INTRODUCTION

L'assainissement des voies de circulation comprend l'ensemble des dispositifs à prévoir et à réaliser pour récolter et évacuer toutes les eaux superficielles et les eaux souterraines, c'est à dire :

- L'assèchement de la surface de circulation pars des pentes transversale et longitudinale, par des fossés, caniveaux…etc.
- Les drainages : ouvrages enterrés récoltant et évacuant les eaux souterraines (tranchées drainantes et canalisations drainants).
- Les canalisations : ensemble des ouvrages destinés à l'écoulement des eaux superficielles (conduites, chambre, cheminées, ...).

La présence d'eau au niveau de la chaussée à plusieurs inconvénients :

- Inondation, glissement de terrain, érosion, instabilité des talus, et dégradation de chaussée.
- L'évaluation des débits des eaux pluviales sera faite en procédant à l'étude de l'hydrologie de la zone du projet et la mise en place du système de drainage sera définie en utilisant des méthodes appliquées en hydraulique routière.

En général l'assainissement est l'ensemble des dispositions prise pour évacuer l'eau loin de la route.

IX.2. OBJECTIF DE L'ASSAINISSEMENT :

Lors d'une étude d'un projet d'assainissement, on doit prendre en considération les 3 objectifs suivants :

- La sécurité de l'usager en évitant la stagnation d'eau sur la chaussée.
- La protection de la route : la saturation des dispositifs d'évacuation des eaux ou le ruissellement très important peuvent détériorer la route.
- La protection des milieux extérieurs : en général modification du régime hydraulique de la zone traversée et risques de pollution des nappes phréatiques ainsi que des zones de captage.

IX.3. CONCEPTION TECHNIQUE DES OUVRAGES :

L'assainissement routier concerne les volets suivants :

- Le rétablissement des écoulements naturels.
- La collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route.
- La collecte et l'évacuation des eaux internes c'est-à-dire le drainage.
- La lutte contre la pollution routière.

IX.4. PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS :

Les différents bassins définis le long du tracé de l'autoroute sont reportés dans la figure :

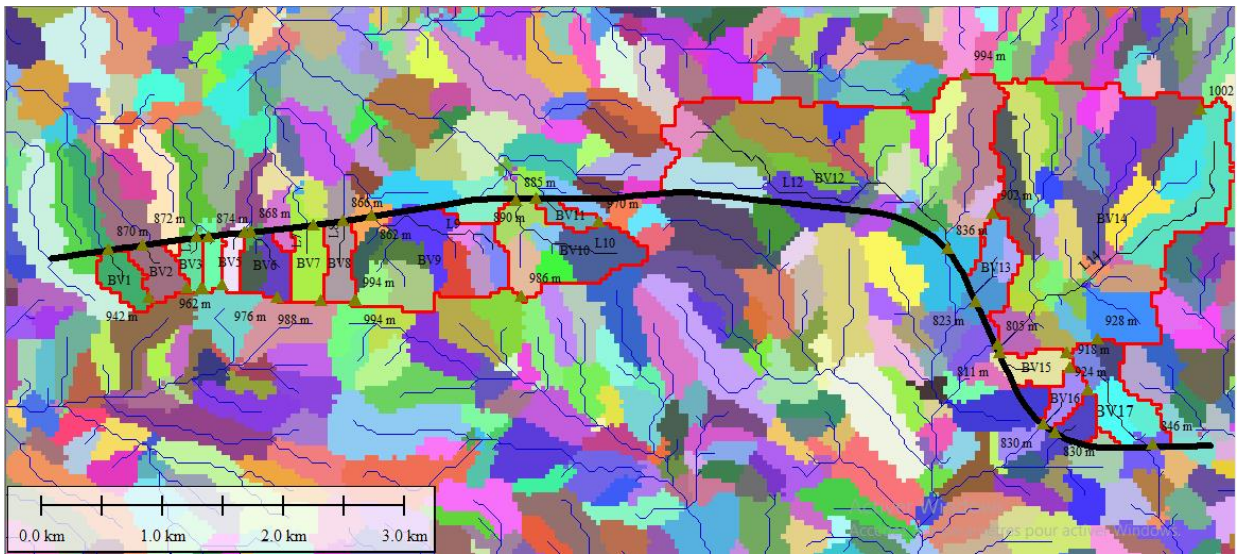


Figure IX-1: Les bassins versants délimités en utilisant le logiciel global mapper.

IX.5. ESTIMATIION DES DEBITS CRUES :

Le débit de projet correspond au débit de pointe pour une période de retour donnée, dimensionnant l'ouvrage hydraulique.

IX.5.1. Formule rationnelle :

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

Avec :

Qa : débit de projet de 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 (tC).

A : surface totale de bassin versant en km².

IX.5.2. Temps de concentration :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire. Il est évalué à l'aide de formules usuelles :

- Ventura pour des superficies inférieures à 5 km² :

• Formule de Ventura (S < 5 Km²) :

Avec :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$$

- **Tc** : Temps de concentration en heures.
- **S** : Surface du bassin en km².
- **P** : Pente moyenne du bassin versant en m/m.

• Formule de Passini (5 < S < 25 km²) :

Avec :

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt[2]{P}}$$

- **Tc** : Temps de concentration en heures.
- **S** : Superficie du bassin versant en km² (5 < S < 25 km²).
- **P** : Pente moyenne du bassin versant en m/m.
- **L** : Longueur du bassin versant en km. - Giandotti pour les superficies supérieures à 25 km² mais inférieurs à 125 km².

• Formule de Giandotti (25 < S < 125 km²) :

Avec :

$$T_c = \frac{(4\sqrt{S} + 1.5L)}{0.8\sqrt{H}}$$

- **Tc** : temps de concentration (heures).
- **A** : superficie du bassin (km²).
- **L** : longueur du thalweg principal (km).
- **H** : Hmoy - Hmin en m.
- **Hmoy** : altitude moyenne (m)
- **Hmax** : altitude maximale (m).
- **Hmin** : altitude minimale (m).

IX.5.3. Coefficient de ruissèlement (C) :

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

Tableau IX.1: Coefficient C1 (dépendant de la pente du bassin versant.)

Pente	C1
P ≤ 3.5%	0.01≤C1≤0.05
3.5% ≤ *P* ≤11%	0.06 ≤C1≤0.10
11% ≤*P*≤35%	0.12≤C1≤0.20
>35%	0.22≤C1≤0.30

Tableau IX.2: Coefficient C2 (dépendant de la nature du sol (perméabilité))

Nature du sol	C2
Imperméable	0.22≤C2≤0.30
Peu perméable	0.10≤C2≤0.20
perméable	0.06≤C2≤0.10
Très perméable	0.03≤C2≤0.05

Tableau IX.3: Coefficient C3 (dépendant de la couverture végéta le du bassin versant.)

Couverture végétale	C3
Rocheux	0.22≤C3≤0.30
Prairie	0.17≤C3≤0.25
Champs	0.05≤C3≤0.15
Foret et territoire sableux	0.03≤C3≤0.05

IX.5.4. Intensité de pluie I(t) :

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

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.

IX.6. ETUDE HYDROLOGIQUE :

L'étude hydrologique a pour objectif la détermination des débits de projet aux différents exutoires des bassins traversés par l'autoroute.

Dans le but de réaliser une étude analytique portant sur le comportement des bassins versants lors des évènements hydrologiques afin de déterminer le dimensionnement des ouvrages de franchissement de l'autoroute, nous avons délimité les différents bassins versants aux sites de passage le long de la rocade, objet de la présente étude.

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

Tableau IX.4: Coefficients de Montana (a et b) pour différentes périodes de retour.

Station	Paramètre de montana	PERIODE DE RETOUR		
		10ans	50ans	100ans
MEDEA	a	26.0	35.4	39.4
	b	0.56	0.56	0.56

IX.6.1. Caractéristiques physiques des bassins versants :

Tableau IX.5: Caractéristique des bassins versants.

N de bassin	Surface (m²)	H max (m)	H min (m)	H m (m)	L (m)	Pente I(m/m)
1	145200	942	870	906,00	307,31	0,2343
2	151600	954	870	912,00	214,51	0,3916
3	76100	966	872	919,00	155,92	0,6029
4	69900	966	874	920,00	90,498	1,0166
5	76500	962	866	914,00	146,17	0,6568
6	199500	976	868	922,00	406,97	0,2654
7	172100	988	870	929,00	221,08	0,5337
8	157500	994	866	930,00	360,67	0,3549
9	886000	994	862	928,00	1228	0,1075
10	585000	986	885	935,50	1145	0,0882
11	75300	970	890	930,00	141,21	0,5665
12	2589000	994	836	915,00	2870	0,0551
13	229100	902	823	862,50	413,48	0,1911
14	3410000	1002	805	903,50	2883	0,0683
15	139800	924	811	867,50	308,01	0,3669
16	102000	918	830	874,00	248,52	0,3541
17	89500	902	830	866,00	159,19	0,4523
18	364900	928	846	887,00	784,34	0,1045

- **A :** surface du bassin versant (km²).
- **Hm :** (Hmax – Hmin) ÷ 2
- **L :** longueur du cours d'eau principal (km).
- **i :** pente moyenne du bassin versant (m/m).

IX.6.1.1. Calcul du débit d'apports :

•POUR LE BASSIN VERSANT (BV1) :

On a une surface de A = 0.145 Km2

0 <A< 5 Km2 ⟶

$$\mathbf{Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{P}}}$$

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.145}{0.2343}} = 0.1$$

IX.6.1.2. Calcul d`intensité :

Pour une période de retour de 100ans :

a = 39.4
b = 0.56

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

$$I(t,100) = 39.4 \times 0.1^{-0.56} = 143.07 \ mm/h$$

Pour un coefficient de ruissellement :

$Cr = C_1 + C_2 + C_3 = 0.2 + 0.2 + 0.15 =$ **0.55**

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

$$Qa(100) = 0.278 \times 0.55 \times 143.07 \times 0.145 = 3.17 \ m^3/s$$

IX.6.2. Résultats de calcul de débit de notre projet :

Le tableau suivant résume les résultats de calcul de débit des bassins versant qui franchissent notre autoroute pour des périodes de retour de 100ans :

Tableau IX.6 : Les debit de notre projet

Pk	Cr	N de bassin	Tc (h)	S (km2)	I100 (mm/h)	Q100 (m3/s)
60+470	0,55	1	0,10	0,15	143,07	3,17
61+300	0,65	2	0,08	0,15	163,22	4,47
61+680	0,65	3	0,05	0,08	223,38	3,07
62+120	0,65	4	0,03	0,07	264,80	3,34
62+400	0,65	5	0,04	0,08	228,46	3,16
62+740	0,55	6	0,11	0,20	135,54	4,13
63+860	0,65	7	0,07	0,17	171,79	5,34
64+100	0,65	8	0,08	0,16	157,09	4,47
64+310	0,45	9	0,36	0,89	69,32	7,68
65+080	0,45	10	0,33	0,59	73,67	5,39
65+220	0,55	11	0,05	0,08	220,17	2,53
67+190	0,35	12	0,87	2,59	42,57	10,72
67+540	0,45	13	0,14	0,23	118,93	3,41
68+010	0,35	14	0,90	3,41	41,87	13,88
68+460	0,55	15	0,08	0,14	163,94	3,50
69+130	0,55	16	0,07	0,10	177,30	2,76
69+390	0,55	17	0,06	0,09	196,96	2,69
70+090	0,35	18	0,24	0,36	88,18	3,13

Étude hydraulique :

Le franchissement de cours d'eau par l'Autoroute nécessite l'implantation d'un certain nombre d'ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits de crues aux différents exutoires.

Ainsi, pour un même débit de crue, l'ouverture et le type de structure pourront être très différents selon que le lit est marqué ou non, qu'il y a possibilité ou non de stockage des pointes de crue, que la plateforme de l'Autoroute est proche du terrain naturel ou en grand remblai.

VII.8.1 Critères de choix des ouvrages hydrauliques :

Le choix de l'ouvrage hydraulique approprié dépend des caractéristiques hydrauliques et géométriques des cours d'eau. Il est donc essentiel de prendre en considération les éléments suivants :

- L'importance du débit à évacuer, qui détermine la section d'écoulement et le type de l'ouvrage.
- La hauteur disponible entre la cote du projet et le fond du talweg.
- La rapidité et la facilité de mise en œuvre des produits industrialisés, livrés en éléments transportables et assemblés sur place, peuvent constituer une solution intéressante pour réduire les délais et les coûts de construction.
- Les délais d'exécution, surtout lorsque l'accès au chantier est difficile.
- La résistance aux chocs. Les ouvrages massifs résistent mieux aux impacts provoqués par le charriage de matériaux solides, comme dans le cas des torrents de montagne, par exemple.
- La résistance aux agents chimiques. Les ouvrages métalliques, plus vulnérables à l'action de certaines eaux agressives, nécessitent une protection spéciale. Les ouvrages en béton peuvent également être attaqués par certaines eaux.

IX.6.3. Les types des ouvrages

- **Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) :**

Ils doivent être conçus pour assurer le transit des débits de crues sans risque de déversement sur la voie ferrée.

- **Les ouvrages hydrauliques longitudinaux (fossés) :**

Ils destinés à recueillir les eaux de ruissellement et à les conduire le long de la voie jusqu'à la zone d'écoulement naturel la plus proche. En général, les fossés ont des sections trapézoïdales ou triangulaires.

IX.6.4. Capacité de débit des ouvrages hydrauliques :

La méthode utilisée pour calculer le débit de saturation est celle de Manning-Strickler, selon la formule suivante :

$$\boldsymbol{Qs = K \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}}$$

Avec :

- K : **Coefficient de rugosité = 70** (ouvrages en béton armé)
- **i** : Pente de pose de l'ouvrage (m/m).
- **Rh** : Rayon hydraulique moyen (m) avec **Rh**
- **Sm** : Section mouillée (m²). Pm : Périmètre mouillée (m)

IX.7. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES :

IX.7.1. Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) :

- **Buses :**

Les buses sont couramment utilisées dans les projets en raison de leur caractère économique. Pour un dimensionnement optimal, nous faisons appel à la formule de Manning- Strickler et aux conditions d'auto-curage afin de garantir la sécurité et la durabilité des ouvrages de projet.

• Prédimensionnement :

Diamètre calculé correspondant au Q100.

Surface mouillé : $Sm = \frac{\pi d^2}{4}$

Périmètre mouillé : $Pm = \pi d$

$$\text{Alors } Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

Donc :

$$Qs = Q100 = K \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad \leftrightarrow \quad Q100 = K \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\rightarrow d = \left(\frac{Q100 \times 4^{\frac{5}{3}}}{K \times \pi \times \sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

- Le choix de Φ qui est supérieur au diamètre calculé.

Vérification de conditions suivantes :

$\rightarrow Q100 < QPS$

$\rightarrow V < 4\frac{m}{s}$ $(Avec\ Rq = \frac{Q100}{QPS} = \frac{Q}{Qps}\ Et\ puis\ d'après\ le\ tableau$ on déduire Rv= $\frac{V}{\text{Vps}}$)

$\rightarrow Pour\ Rq = \frac{Q100}{QS} = 0.1$ $, il\ faut\ que\ V > 0.6\frac{m}{s}$

$\rightarrow Pour\ Rq = \frac{Q100}{QS} = 0.01$ $, il\ faut\ que\ V > 0.3\frac{m}{s}$

$\rightarrow i \geq 0.2\%\ (dépend\ du\ terrain\ sur\ le\ site\ du\ projet)$

$\rightarrow$ *Le taux de remplissage recommandé* $\left(Rq = \frac{Q}{Qps}\right)$ *varié entre* 70% *et* 80%

• Application de ce projet : on prend le bassin versant n°01

On a Q100 = 3.17 m3/s, K = 80 (en beton), i = 0.01 = 1% (déterminé à partir du site)

Formule	**Application numérique**	**Résultat**
$\boldsymbol{d = \left(\frac{Q100 \times 4^{\frac{5}{3}}}{K \times \pi \times \sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{8}}}$	$\boldsymbol{d = \left(\frac{3.17 \times 4^{\frac{5}{3}}}{80 \times \pi \times \sqrt{0.01}} \right)^{\frac{3}{8}}}$	$\boldsymbol{d = 1.094\ m}$

$$Alors\ on\ choisit\ \Phi = 1200\ mm = 1.2\ m\ ,\ \boldsymbol{Sm = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}}\ et\ \boldsymbol{Pm = \pi \times \Phi}$$

Formule	**Application numérique**	**Résultat**
$Qps = \frac{K \times \pi \times (\Phi)^2}{4}$	$QPS = \frac{80 \times \pi \times (1.2)^2}{4} \times \left(\frac{(1.2)}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.01} \times \left(\frac{\Phi}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$	$QPS\ = 4.054\ m3/s$

Et on vérifie les conditions suivantes :

Tableau IX.7: Verification des conditions de buse

$\mathbf{Q_{100} < Q_{PS}}$	**3.17 m³/s < 4.05 m³/s**	**Vérifier**
V < 4 m/s	Rq = Q100/Qps = 0.780 →=Rv =V/Vps = 1.1 →V= 3.95 < 4 m/s	Oui
Pour $\mathbf{R_q}$ = 0. ,V > 0.6 m/s	R_q = 0.1 →V/Vps=0.64 →V= 2.3 > 0.6 m/s	Oui
Pour $\mathbf{R_q}$ = 0. ,V > 0.3 m/s	R_q = 0.01 →V/Vps =0.327 →V= 1.17 > 0.3 m/s	Oui

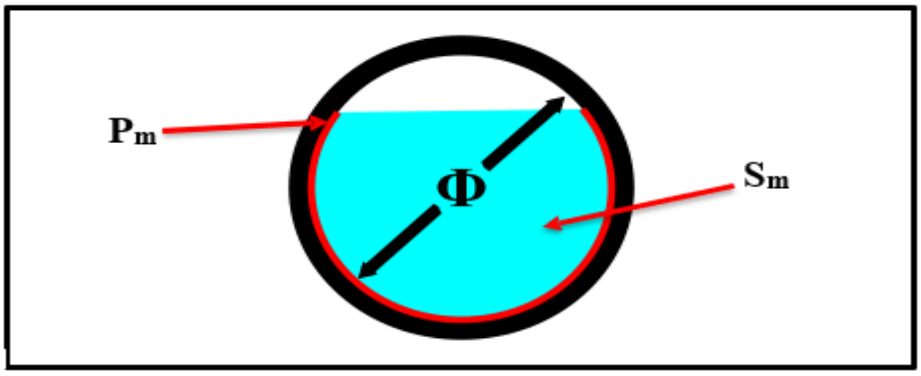


Figure IX-2: Schéma de la Buse

Le tableau suivant résume les détails du dimensionnement des buses et la vérification des conditions d'auto-curage :
La liste des buses suivante respecte les conditions d'autocurage et la condition Q100 < QPS.

Tableau IX.8: Liste des buses.

N de bassin	PK	D calculé	Φ (mm)	Q100 (m3/s)	Qps	Vps	Rq	Rv	V	Type D´ouvrage
1	60+470	1,09475892	1200	3,17	4,05	3,59	0,780	1,10	3,95	Buse
2	61+300	1,29770623	1500	4,47	6,57	3,72	0,670	1,07	3,99	Buse
3	61+680	1,08110341	1200	3,07	4,05	3,59	0,750	1,09	3,92	Buse
4	62+120	1,11616683	1200	3,34	4,05	3,59	0,820	1,11	3,98	Buse
5	62+400	1,09241234	1200	3,16	4,05	3,59	0,770	1,10	3,94	Buse
6	62+740	1,26015451	1500	4,13	6,57	3,72	0,620	1,06	3,93	Buse
7	63+860	1,51510776	1800	5,34	8,45	3,32	0,630	1,06	3,52	Buse
8	64+100	1,29767674	1500	4,47	6,57	3,72	0,670	1,07	3,99	Buse
10	65+080	1,42737209	1800	5,39	10,00	3,93	0,530	1,02	3,99	Buse
11	65+220	1,00597309	1200	2,53	4,05	3,59	0,620	1,06	3,79	Buse
13	67+540	1,17214774	1200	3,41	3,63	3,21	0,930	1,14	3,65	Viaduc N1
15	68+460	1,15852002	1200	3,50	3,85	3,40	0,910	1,13	3,85	Viaduc N3
16	69+130	1,0393048	1200	2,76	4,05	3,59	0,680	1,08	3,86	Buse
17	69+390	1,17224191	1200	2,69	2,87	2,54	0,930	1,14	2,88	Buse
18	70+090	1,08884759	1200	3,13	4,05	3,59	0,770	1,10	3,94	Buse

Pour K=70 (Buses en beton armé).

- **Les dalots :**

Les dalots sont généralement choisis pour des débits Q supérieurs à 10 m3/s. Cependant, les débits admissibles peuvent varier considérablement et être très élevés. Dans de tels cas, on opte pour une batterie de dalots ou de buses lorsque la topographie du site le permet.

- **Prédimensionnement :**

Nous utilisons une méthode d'itération pour obtenir les meilleures dimensions B et H pour les dalots, satisfaisant les conditions suivantes :

$\rightarrow\ Q100 < QPS$

$\rightarrow\ V < 4\frac{m}{s}$ $(Avec\ Rq = \frac{Q100}{QPS} = \frac{Q}{Qps}\ Et\ puis\ d'après\ le\ tableau\ dans$ on déduire Rv= $\frac{V}{\text{Vps}}$)

$\rightarrow\ Pour\ Rq = \frac{Q100}{QS} = 0.1$ $,il\ faut\ que\ V > 0.6\frac{m}{s}$

$\rightarrow\ Pour\ Rq = \frac{Q100}{QS} = 0.01$ $,il\ faut\ que\ V > 0.3\frac{m}{s}$

$\rightarrow\ i \geq 0.2\%\ (dépend\ du\ terrain\ sur\ le\ site\ du\ projet)$

$\rightarrow\ Le\ taux\ de\ remplissage\ recommandé\ \left(Rq = \frac{Q}{Qps}\right) varié\ entre\ 70\%\ et\ 80\%$

Et pour obtenir le débit correspondant aux dimensions B et H choisies On a

Surface mouillé : $Sm = B \times H$

Périmètre mouillé : $Pm = B + (2 \times H)$

Alors $Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$

$Donc\ QPS = K \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$

• Application de ce projet : on prend le bassin versant n°09

Après l'itération, nous obtenons un dalot de dimensions B = 2 m et H = 1.5 m qui vérifie Et pour

i = 0.005 m/m = 0.5% et K = 70.

Formule	Application numérique	Résultat
$Sm = B \times H$	$Sm = 2 \times 1.5$	$\boldsymbol{Sm = 3\ m^2}$
$Rh = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$	$Rh = \frac{2 \times 1.5}{2 + (2 \times 1.5)}$	$\boldsymbol{Rh = 0.6\ m}$
$QPS = K \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$	$QPS = 70 \times 3 \times 0.6^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.005}$	$\boldsymbol{QPS = 10.56\ m3/s}$

Et on vérifie les conditions suivantes :

Tableau IX.9: Verification des conditions de dalot

$Q_{100} < Q_{PS}$	7.68 m³/s < 10.56 m³/s	Vérifier
V < 4 m/s	Rq = Q100/Qps = 0.780 →=Rv =V/Vps = 1.1 →V= 3.95 < 4 m/s	Oui
Pour R_q = 0. ,V > 0.6 m/s	R_q = 0.1 →V/Vps=0.64 →V= 2.25 > 0.6 m/s	Oui
Pour R_q = 0. ,V > 0.3 m/s	R_q = 0.01 →V/Vps =0.327 →V= 1.15 > 0.3 m/s	Oui

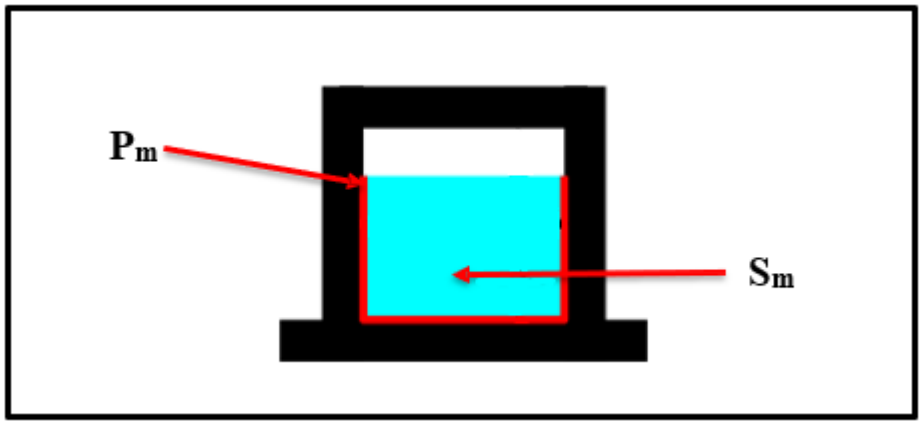


Figure IX-3 : Schéma d'un dalot 2 m × 1.5 m

Le tableau suivant résume les détails du dimensionnement des Dalots et la vérification des conditions d'auto-curage : La liste des dalots suivante respecte les conditions d'autocurage et la condition Q100 < QPS.

Tableau IX.10: Liste des dalots.

N° de BV	PK	B (m)	H (m)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	i (%)	Q_{100} (m^3/s)	Q_{PS} (m^3/s)	V_{PS} (m/s)	R_q	R_v	V (m/s)	Type D´ouv
9	64+310	2	1,5	3,00	5,00	0,60	0,5	7,68	10,56	3.52	0,720	1,09	3.83	Dalot
12	67+190	3	2	6,00	7,00	0,86	0,3	10,72	20,76	3.46	0,510	1,01	3.48	Dalot
14	68+010	3	2	6,00	7,00	0,86	0,3	13,88	20,76	3.46	0,660	1,07	3.70	Viaduc N_2

IX.7.2. Dimensionnement du système de drainage longitudinal

Le drainage longitudinal de l'emprise et de la plateforme vise à assurer la pérennité et la sécurité de la chaussée. Il a pour fonction de collecter et d'évacuer :

- Les eaux de pluie ruisselant sur la plateforme en direction des couches de structure,
- Les écoulements en provenance des talus et des bassins versants environnants.

Le dimensionnement du réseau d'assainissement est effectué en prenant en compte une période de retour de 10 ans.

IX.7.2.1. Les surfaces des sous-bassins versants

On prend le déblai le plus grand pour le dimensionnement des fossés. (L=580m)

Tableau IX.11: Les surfaces des sous-bassins versants

SBV	Largeur(m)	Surface (m^2)	Pente (%)
Chaussée + BAU + BDG	14	8260	2.5
Berme	1	590	8
Talus de déblai	21	12390	66.67

IX.7.2.2. Le débit d'apport :

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

Tq

$$Qa = Qc + QB + QT$$

Avec :

Qc : débit d'apport de (chaussée + BAU+BDG) ;

Q*B* : débit d'apport de Berme ;

QT : débit d'apport de Talus.

Temps de concentration TC : La surface inferieure a 5 km^2 : $\boldsymbol{Tc} = 0.127\sqrt{\frac{S}{P}}$

Intensité (T=10 ans) : $\boldsymbol{I(t,T)} = \frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{tc^b}}$ avec a= 26 et b= 0.56

Tableau IX.12 : Coefficient de ruissellement

Type de chaussée	Valeur de C	Choi de valeur
Chaussée revêtement en enrobés	1	1
Berme	0.7	0.7
Talus	0.10-0.30	0.30

Tableau IX.13: Détermination des débuts d'apports

SBV	S(km^2) 10^-6	C	p (%)	Tc(h)	I(mm/h)	Qa (m^3/s)	Qaeq
1	8260	1	2.5	0.073	112.59	0.259	**0.556**
2	590	0.70	8	0.0109	326.6	0.037	
3	12390	0.30	66.67	0.0173	252.15	0.26	

IX.7.2.3. Dimensionnement de fossé

On pose l'ongle α = 45◦ pour simplifier les calcule (e = h).

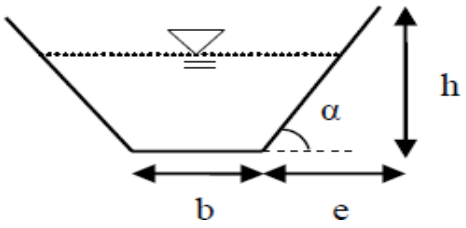


Figure IX-4: Caractéristiques d'un fossé

- **Section mouillée :** $\boldsymbol{S_m}$= h (b + h) ;
- **Périmètre mouillé :** $\boldsymbol{Pm}$= $2\sqrt{2h}$ + **b ;**
- **Rayon mouillé :** $\boldsymbol{Rm} = \frac{\boldsymbol{Sm}}{\boldsymbol{Pm}} = \frac{h\,(b+h)}{2\sqrt{2h}+b}$

Donc :

$$\boldsymbol{Q_a = Q_s = K_{st} \times I^{1/2} \times R_m{}^{3/2} \times S_m}$$

$$\boldsymbol{h = \left(\frac{Qa}{Kst \times \sqrt{I} \times b}\right)^{\frac{3}{5}} \times \left(\frac{1 + 2\sqrt{2} \times \frac{h}{b}}{1 + \frac{h}{b}}\right)^{\frac{2}{5}}}$$

Avec :

Les focussées en béton armé collé sur place, donc le coefficient de rugosité $\boldsymbol{Kst}$ **= 70** ;

La de fossé **I = 1.44%**.

On pose : **B = 45 cm**

- **Application**

On propose h = 40 après deux itérations en trouve : **h = 45 cm**

- **Fossé de terre-plein central**

On propose un fossé trapézoïdal de largeur b = 30 cm et hauteur h = 30 cm

CHAPITRE X :
OUVRAGE D`ART

X.1. INTRODUCTION

Pour élaborer des routes, on rencontre différents obstacles tels que les oueds ou rivières, les montagnes, les chemins de fer et les routes. Pour les franchir, on construit des ouvrages artificiels, qui portent le nom : Ouvrages d'Art.

Les ouvrages d'art jouent un rôle important dans la construction et l'entretien des réseaux de transport modernes, assurant une circulation fluide et sécurisée des véhicules. Leur conception et leur construction requièrent une expertise approfondie, combinant à la fois des connaissances théoriques et une expérience pratique, ce qui fait de l'art de l'ingénieur un élément central dans leur réalisation.

- Le choix de type de l'ouvrage repose sur plusieurs critères, tels que :
- La longueur et l'importance de l'ouvrage.
- La nature et l'agressivité du sol.
- Position des appuis et le nombre des appuis.
- Les conditions d'exécution et d'accès à l'ouvrage.

X.2. CHOIX DE TYPE DE PONT :

X.2.1. Variante n°1 : Pont mixte .

- **Avantage :**

- Facile à mettre en œuvre et à entretenir.
- Bonne résistance à la compression.
- Échafaudage réduit grâce aux éléments préfabriqués.

- **Inconvénient :**

- Portée limitée.
- Risque de fissuration.
- Poids élevé nécessitant des fondations solides.

X.2.2. Variante n°2 : Pont à poutres en béton près-contrainte

- **Avantages :**

- Économique pour les petites et moyennes portées.
- Durable et facile à exécuter.
- Utilisation d'éléments préfabriqués possible.

- **Inconvénients :**

- Portée limitée.
- Poids élevé.
- Risque de fissuration.

Variante n°3 : Pont à poutres en béton armé

- **Avantages :**

- Solution économique pour les portées courtes à moyennes.
- Bonne durabilité si le béton est bien dosé et protégé.
- Facilité d'exécution sur chantier avec des techniques courantes.
- Utilisation possible d'éléments préfabriqués pour accélérer la construction.

- **Inconvénients :**

- Portée limitée comparée aux structures en acier ou précontraintes.
- Poids propre important.
- Risques de fissuration du béton avec le temps.
- Entretien périodique nécessaire pour éviter la dégradation des armatures

X.3. PRESENTATION DES OUVRAGES CHOISI :

X.3.1. Viaduc N1 :

L`ouvrage est en **pont mixte**

TableauX.1: Caractéristique d'ouvrage 1.

Viaduc N1	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	67+380	250	29.5	23	24,8

X.3.2. Viaduc N2 :

L`ouvrage est **pont mixte**

Tableau X.2: Caractéristique d'ouvrage 2

Viaduc N2	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	67+910	200	29.5	18	19,8

X.3.3. Viaduc N3 :

L`ouvrage est en **pont mixte**

Tableau X.3: Caractéristique d'ouvrage 3

Viaduc N3	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	68+280	315	29.5	30	31,8

X.3.4. PONT N1 (PS):

L`ouvrage est pont à poutres près-contrainte

Tableau X.4: Caractéristique d'ouvrage 1

Pont N1(PS)	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	65+170	30	10	5.25	7

X.3.5. PONT N2 (PS) :

L`ouvrage est **pont à poutres en béton près-contrainte**

Tableau X.5: Caractéristique d'ouvrage 2

Pont N2(PS)	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	69+230	30	10	5.25	7

X.3.6. PONT N2 (PI) :

L`ouvrage est **pont à poutres en béton armé**

Tableau X.6 : Caracteristiques d´ouvrage 3

Pont N2 (PI)	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	66+70	30	10	4	6.5

X.3.7. PONT N4 (PS) :

L`ouvrage est **pont à poutres en près-contrainte**

Tableau X.7 : Caractéristique d'ouvrage 4

Pont N4(PS)	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	69+850	60	18	5,25	7

X.3.8. PONT N5 (PI) :

L`ouvrage est **pont à poutres en béton armé**

Tableau X.8: Caractéristique d'ouvrage 5

PONT N5(PI)	PK	Langueur (m)	Largeur(m)	Hauteur de gabarit	Hauteur Totale
	70+300	30	10	4	6

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE L'ECHANGEUR

XI.1. INTRODUCTION :

L'échangeur est un croisement étagé (un carrefour dénivelé) entre deux routes avec raccordement de circulation entre les voies qui se croisent. Il a pour rôle d'assurer la continuité des réseaux autoroutiers et de desservir plusieurs directions en même temps.

Son implantation doit permettre de respecter les conditions générales de visibilité et de perception du point d'échange.

La conception d'un échangeur est l'étape la plus importante et la plus déterminante, car elle tient compte du coût du projet et de sa durabilité.

XI.2. LES CONSTITUANTS DES ECHANGEURS :

Les éléments constituants des échangeurs sont :

- **Ouvrage d'art** : Pour assurer un passage supérieur ou inférieur.
- **Carrefours plans** : On trouve les carrefours plans seulement entre raccordement routier ordinaires, leur aménagement doit tenir compte des facteurs de sécurité et de confort.
- **Bretelles** : Ce sont des voies détachent et se raccordent entre les deux directions qui se croisent.

XI.3. TYPE DES ECHANGEURS :

Les principaux types d'échangeurs sont :

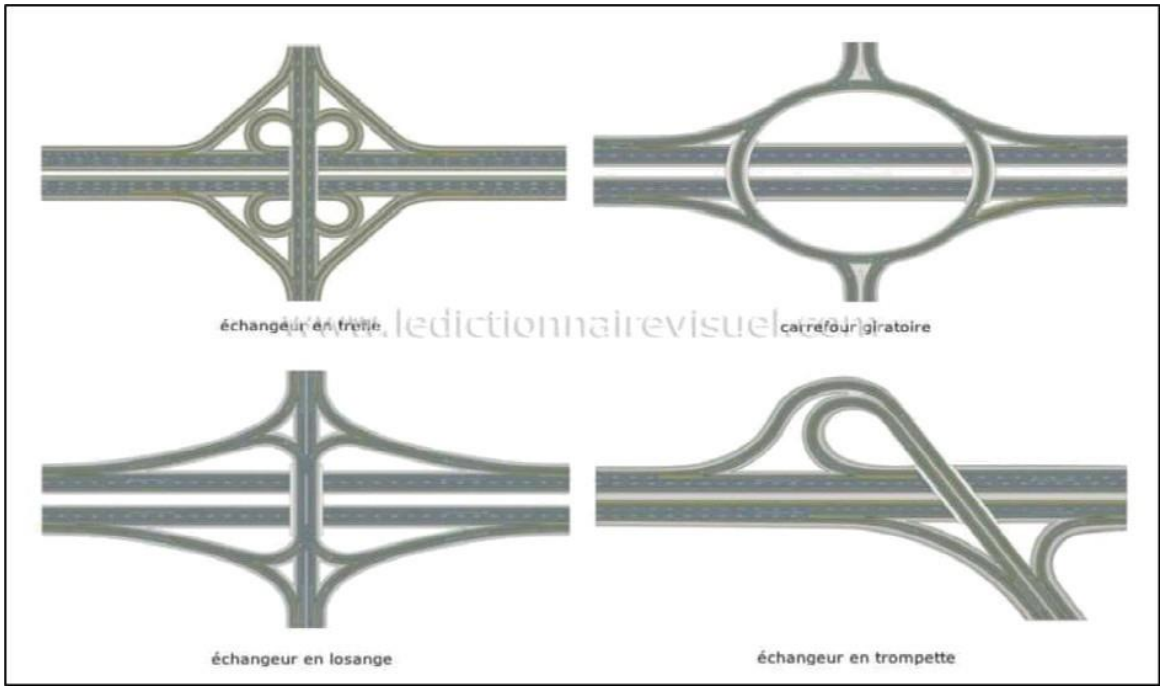


Figure XI-1: Type des échangeurs

XI.3.1. Échangeur majeur :

Il s'agit d'un raccordement autoroute-autoroute. L'échangeur majeur raccorde deux routes ou autoroutes de niveau de service élevé ; les cisaillements ne sont pas dans ces cas tolérés. Ce sont les configurations suivantes :

- **Trèfles complets :** pour des raccordements à quatre branches : c'est un échangeur massif, demandant une très grande emprise et justifié par un trafic important équilibré.

XI.3.2. Échangeur mineur :

Il s'agit d'un raccordement autoroute-route ordinaire.

- **Trompette** : pour les raccordements à trois branches : il est utilisé dans le cas de raccordement entre trois branches et comporte : alignement droit commun à toutes les bretelles, une boucle « entrée ou sortie », une diagonale de sortie.
- **Losange** : Il est composé de quatre diagonales unidirectionnelles symétriques entre elles par rapport à l'axe de l'autoroute et un carrefour à niveau sur la route secondaire. Il est adapté principalement pour une distribution symétrique des trafics d'échange.

XI.4. LES AVANTAGES :

Les échangeurs permettent notamment de :

- Faciliter aux usagers un déplacement dans des bonnes conditions de confort et de sécurité.
- Eviter les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents.
- Eviter les points d'arrêt qui provoquent des pertes de temps considérables.
- Eviter les contraintes d'arrêt et de reprise.
- Assurer la continuité du réseau autoroutier.

XI.5. REGLES DE CONCEPTION :

La conception est l'étape la plus importante d'un projet puisqu'elle tient compte du prix de revient comparativement aux avantages distribués à moyen et long terme, et pour diminuer son prix de revient, tout en évitant :

- Passage sur terrain agricole.
- Passage au voisinage des habitations et des maisons publiques.
- Passages sur les oueds ou leur voisinage pour ne pas avoir d'ouvrage d'art à construire et de murs de soutènement.
- Les terrassements importants.
- Les sections à forte déclivité.

XI.6. CHOIX DU TYPE D'ECHANGEUR :

XI.6.1. Détermination du tracé à partir de :

- Type de route et nombre de branches à raccorder.
- Présentation du site d'implantation.
- Distribution du trafic avec les différents sens de parcours.
- Vitesse d'approche pratique qui détermine les caractéristiques sur la bretelle.

XI.6.2. Configuration du tracé à adopter :

Assurer un haut niveau de sécurité et de service par une tracé respectant les valeurs limitées de conception (valeur de rayon, d'alignements). Des longueurs des voies réglementaires (Insertion et décélération).

XI.6.3. Analyse :

Le futur échangeur doit assurer les meilleures conditions de visibilité, de confort et de sécurité.

XI.7. APPLICATION AU PROJET :

XI.7.1. Description de l'échangeur :



Figure XI-2 : Carte de localisation de l'échangeur.

Pour notre cas :

- L'échangeur relie la Rocade avec la RN01, donc on a un diffuseur intermédiaire entre les localités de BERROUAGHIA. Et distribue le trafic dans trois (3) directions.
- D'où notre échangeur est un échangeur mineur de type trompette.

XI.8. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES BRETELLES :

XI.8.1. Vitesse sur les bretelles :

- La vitesse sur la rocade est 110Km/h.
- La vitesse sur la route est 80 Km/h.
- La vitesse sur l'échangeur est 50 à 70 Km/h.

XI.8.2. Distribution du trafic:

- L'échangeur distribue le trafic dans trois (3) directions.
- Le trafic inférieure a 1200 uvp/h a la mise en service donc on a choisi des bretelles a une voie.

XI.8.3. Tracé :

XI.8.3.1. Valeurs limites des rayons :

TableauXI.1: les valeurs des rayons pour les bretelles.

	Rayon minimal au devers normal Rdn	Rayon minimale déversé à 7% Rm
Bretelle à une voie circulable à 70 km/h ou moins	300 m	40 m (Avec 100 m minimum pour la 1ère rencontre hors sortie en boucle)

XI.8.3.2. Raccordement avec l'autoroute :

Le raccordement d'une bretelle et de l'autoroute est réalisé en entrée par une voie d'insertion, et en sortie par une voie de décélération.

XI.8.3.3. Voie de décélération :

Les sorties à 1 voie c'est le cas le plus courant pour les diffuseurs.

- Le dispositif de sortie comporte successivement :
- Une section de manœuvre qui est un biseau contigu à l'autoroute, longue de 150 m jusqu'à l'endroit où le musoir de divergence atteint une largeur de 1 m ;
- Une section de décélération, dont la longueur permet de passer de la vitesse conventionnelle (70 km/h, pour un rayon de la bretelle inférieur à 120 m) à la fin de la section de manœuvre, à la vitesse associée au rayon de la première courbe rencontrée avec une décélération en palier de 1,5 m/s².

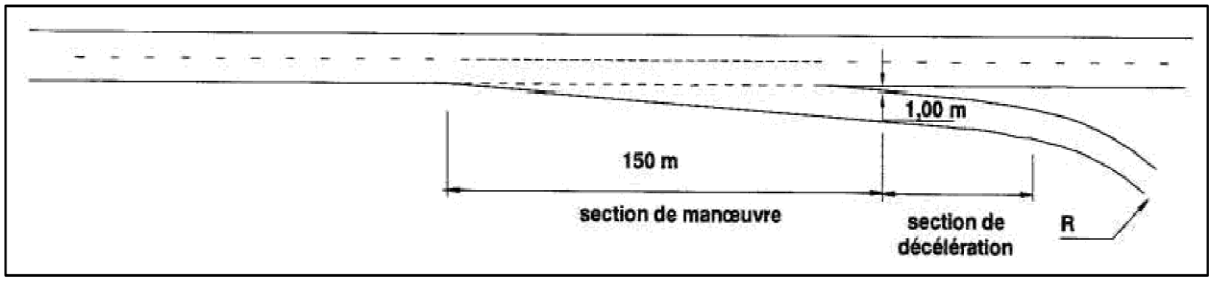


Figure XI-3 : Dispositif de sortie de l'autoroute.

XI.8.3.4. Voie d'accélération :

Le dispositif d'entrée comprend successivement :

- Une section d'accélération dont l'obliquité avec l'axe de l'autoroute est comprise entre 3 et 5 %. Sa longueur qui dépend du rayon de la dernière courbe de la bretelle, doit permettre d'atteindre au point "E = 1,00 m", la vitesse conventionnelle de 55 km/h avec une accélération en palier de 1 m/s².
- Une section de manœuvre adjacente à la chaussée de l'autoroute, longue de 200 m et large de 3,50 m.
- Un biseau long de 75 m.

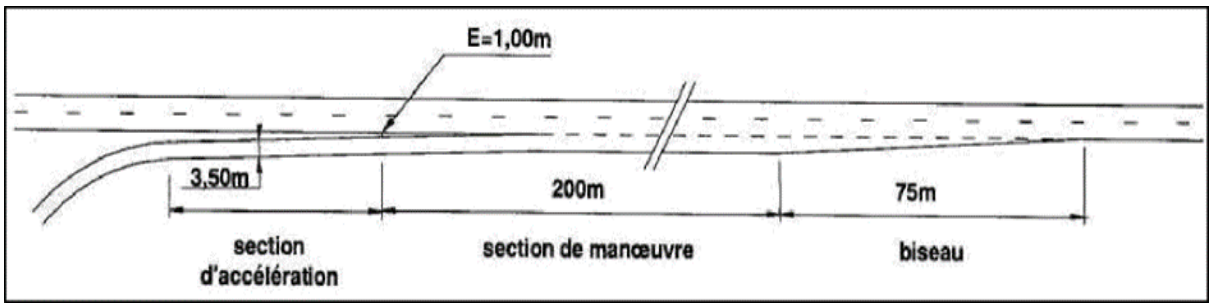


Figure XI-4 : Dispositif d'entrée de l'autoroute.

XI.8.3.5. Raccordement progressif :

Une courbe circulaire de rayon inférieur ou égal à 1,5 Rdn est encadrée par deux arcs de clothoïde. Si cette condition est trop contraignante, on peut limiter son application aux courbes de rayon inférieur ou égal à Rdn dans les bretelles. La longueur Lei des arcs de clothoïde est égale :

- Pour les bretelles ou branches à une voie, à la plus grande des deux valeurs : 6R^0,4 et 7| Δd | ; où R note le rayon de courbure (en m), et | Δd | la différence des pentes transversales (en %) des éléments du tracé raccordé.

Remarque : Les détails du calcul de la longueur de la cloison pour tous les rayons utilisés dans les axes de l'échangeur sont présentés dans l'annexe de l'échangeur.

Le calcul des axes de l'échangeur est traité à l'aide de logiciel Autopiste :

- Axe 1 (bretelle N=01)
- Axe 2 (bretelle N=02)
- Axe 3 (la route d'entrée)
- Axe 4 (la boucle)
- Axe 5 (la bretelle N=03)

Les détails du tracé sont donnés en annexe de l'échangeur.

XI.8.4. Profil en travers de la bretelle :

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

Tableau XI.2 : Largeurs des composants du profil en travers.

Berme	B.D.G	Chaussée + S	B.D.D	Berme
1m	0.5	3.5+1.5	1	1

XI.8.5. Visibilité :

XI.8.5.1. Principales distances de visibilité :

Distance d'arrêt (da) :

La distance d'arrêt est calculée comme la somme de la distance parcourue pendant le temps de perception - réaction et de la distance de freinage.

$$da = 2v + \frac{v^2}{2g(y(v) + p)} \qquad avec :$$

- v : la vitesse en m/s.
- y(v) : la décélération moyenne exprimée en fraction de g=9,81 m/s² ; elle dépend de v.
- p : la déclivité, en valeur algébrique.

Au sein des courbes de rayon R < 5V, (v exprimé en km/h et R exprimé en m), la distance d'arrêt est remplacée par la distance d'arrêt en courbe. Elle se détermine de façon analogue à la distance d'arrêt, la distance de freinage étant majorée de 25 %.

$$dac = 2v + 1.25\frac{v^2}{2g(y(v)+p)}$$

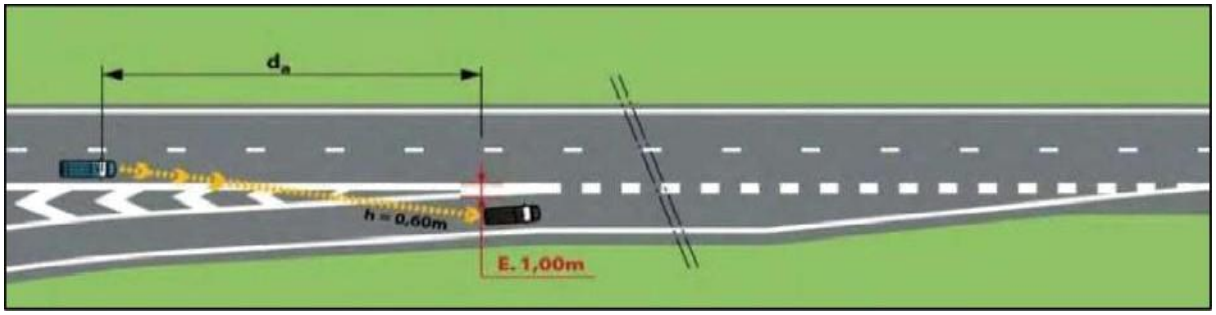


Figure XI-5: Distance d'arrêt.

- **Distance de manœuvre en sortie (dms) :**

La distance de manœuvre en sortie correspond à la distance parcourue durant 6 secondes :

$$\boldsymbol{dms = 6v}$$

Avec v : la vitesse en m/s.

- **Distance de visibilité sur marquage (dvm) :**

La distance de visibilité sur marquage correspond à la distance parcourue durant 3 secondes.

$$\boldsymbol{dvm = 3 \times v}$$

Avec v : la vitesse en m/s.

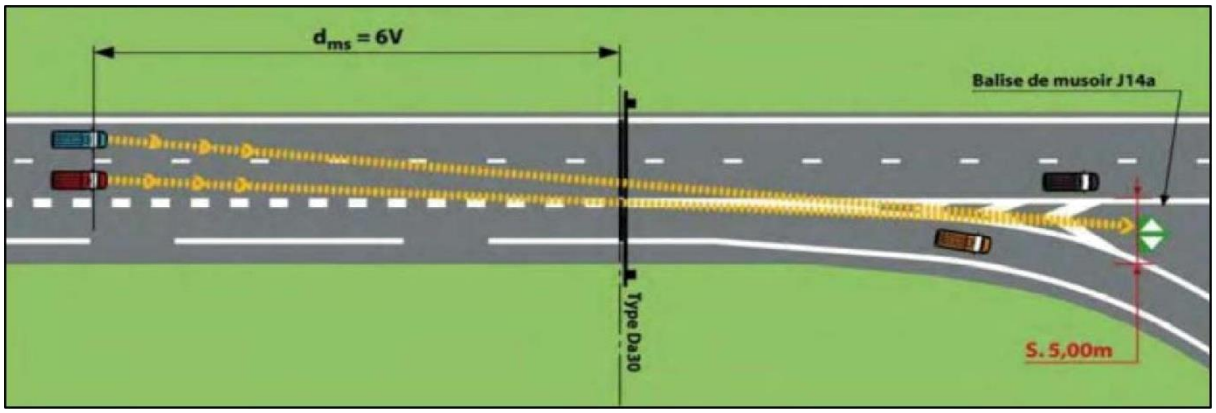


Figure XI-6 : Visibilité sue une sortie l'autoroute.

- **Distance de lecture (Lc) :**

Définissant la distance minimale permettant à l'usage de lire les informations sur les panneaux de signalisation :

$$Lc = 5 \times V$$

Avec V en m/s.

Les principales valeurs des distances définies ci-avant sont données dans le tableau suivant :

Tableau XI.3 : Principales distances de visibilité.

Vitesse (km/h)	110
Vitesse (m/s)	30.6
Décélération moyenne γ(v)	0.36 m/s²
Distance d'arrêt en palier	195 m
Distance d'arrêt en courbe R<5V	230 m
Distance de manœuvre en sortie dms	185 m
Distance de visibilité sur marquage dvm	95 m
Distance de lecture lc	150 m

CHAPITRE XII :
SIGNALISATION

XII.1. INTRODUCTION

La signalisation routière est un ensemble de dispositifs visuels et parfois sonores destinés à guider, informer et réguler la circulation des usagers de la route (conducteurs, piétons, cyclistes, etc.). Elle joue un rôle essentiel dans la sécurité routière en permettant une meilleure anticipation des dangers, en clarifiant les règles de conduite et en organisant le partage de la voirie.

XII.2. PRINCIPES DE BASE DE LA SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière repose sur des principes fondamentaux qui garantissent son efficacité et sa compréhension par tous les usagers. Ces principes permettent d'assurer la cohérence, la lisibilité et la sécurité sur les routes.

XII.2.1. Principe de légalité

- La signalisation doit être conforme aux **règlements en vigueur** (Code de la route, conventions internationales).
- Seules les autorités compétentes (État, collectivités territoriales) peuvent installer ou modifier la signalisation.

XII.2.2. Principe de nécessité

- La signalisation ne doit être utilisée que si elle est **strictement nécessaire** pour la sécurité ou la gestion du trafic.
- Une signalisation excessive peut nuire à son efficacité (surcharge d'informations).

XII.2.2.1. Principe de visibilité et de lisibilité

- Les panneaux et marquages doivent être **bien placés, propres et éclairés** si nécessaire.
- Les couleurs, formes et symboles doivent respecter les normes pour une **reconnaissance immédiate**.

XII.2.2.2. Principe de cohérence et de continuité

- La signalisation doit être **logique et sans contradiction** (ex. : un panneau d'interdiction ne doit pas être contredit par un marquage au sol autorisant la manœuvre).
- Les indications doivent se **suivre de manière fluide** pour éviter les confusions.

XII.2.3. Principe d'uniformité

- Respect des **normes internationales** (ex. : panneaux triangulaires pour les dangers, ronds pour les interdictions).
- Permet une **compréhension universelle**, notamment pour les conducteurs étrangers.

XII.2.4. Principe de hiérarchisation

- **Priorité entre les différents types de signalisation** :
  - **Signalisation temporaire** (chantiers) > **Signalisation lumineuse** (feux) > **Signalisation verticale** (panneaux) > **Signalisation horizontale** (marquage au sol).
- En cas de contradiction, l'élément le plus contraignant s'applique.

XII.2.5. Principe de permanence et d'entretien

- La signalisation doit être **maintenue en bon état** (panneaux non cachés par la végétation, marquages non effacés).
- Les dispositifs endommagés ou obsolètes doivent être **remplacés rapidement**.

XII.3. ROLE DE LA SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière joue un rôle clé dans la gestion de la circulation et la sécurité des usagers. Ses principales fonctions sont :

XII.3.1. Sécurité :

- Prévention des dangers
- Régulation des vitesses
- Réduction des conflits entre usagers

XII.3.2. Information :

- Guidage des conducteurs
- Indication des services
- Signalisation des itinéraires

XII.3.3. Régulation :

- Gestion des flux de circulation
- Organisation des voies
- Adaptation aux situations temporaires

XII.3.4. Contrôle :

- Rappel des obligations
- Application des restrictions
- Base pour les contrôles

XII.4. CATEGORIES DE LA SIGNALISATION ROUTIERE

La signalisation routière se classe en 5 catégories principales :

XII.4.1. Signalisation verticale (panneaux) :

- Danger (triangles rouges)
- Interdiction (cercles rouges)
- Obligation (cercles bleus)
- Indication (rectangles/carrés)

XII.4.2. Signalisation horizontale :

- Marquages au sol (lignes, zébras)
- Symboles et couleurs (flèches, stationnement)

XII.4.3. Signalisation lumineuse :

- Feux tricolores
- Panneaux à messages variables

XII.4.4. Signalisation temporaire :

- Prioritaire sur la signalisation fixe
- Utilisée pour chantiers et événements

XII.4.5. Signalisation complémentaire :

- Panonceaux explicatifs

XII.5. LES TYPES DE SIGNALISATION ROUTIERE

XII.5.1. Signalisation Verticale (Panneaux)

- **Panneaux de danger** (triangulaires) : Virage, passage piétons, chaussée glissante…
- **Panneaux d'interdiction** (ronds, bord rouge) : Sens interdit, limite de vitesse…
- **Panneaux d'obligation** (ronds, fond bleu) : Tourner à droite, piste cyclable…
- **Panneaux d'indication** (carrés/rectangulaires) : Parking, hôpital, station-service…
- **Panneaux de localisation** (autoroute, villes) : Noms de villes, sorties…

XII.5.2. Signalisation Horizontale (Marquage au Sol)

- **Lignes continues** : Interdiction de dépasser.
- **Lignes discontinues** : Dépassement autorisé.
- **Flèches directionnelles** (→, ←, ↑) : Obligation de tourner.
- **Zébras** : Passage piétons ou arrêt (stop, feu rouge).

- **Signalisation Horizontale :**

La signalisation horizontale (ou marquage au sol) désigne l'ensemble des tracés, symboles et inscriptions peints ou thermo-collés sur la chaussée pour :

- **Guider** la circulation des véhicules et des piétons,
- **Réglementer** les règles de priorité et de stationnement,
- **Informer** les usagers sur les dangers ou les directions à suivre.

Il existe 2 types de lignes horizontales, qui sont :

XII.5.2.1. Les lignes longitudinales :

Les **lignes longitudinales** sont des marquages au sol **parallèles à l'axe de la route**, utilisées pour

- **Séparer les voies de circulation** (sens opposés ou mêmes sens).
- **Délimiter les accotements**.
- **Réguler les dépassements** et le positionnement des véhicules.

On définit 3 types de lignes longitudinales :

XII.5.2.2. Les lignes continues :

Ces lignes délimitent les zones où le dépassement est strictement interdit, en particulier dans les sections de route à visibilité réduite Les lignes discontinues

XII.5.2.3. Les lignes discontinues :

Elles se différencient par leur module, c'est-à-dire le rapport de la longueur des traits à celle de leurs intervalles. On distingue :

- Les lignes axiales ou lignes de délimitation de voies pour lesquelles la longueur des traits est égale au tiers de leurs intervalles : **T1**.
- Les lignes de rive, les lignes de délimitation des voies d'accélération, de décélération ou d'entrecroisement pour lesquelles la longueur des traits est sensiblement égale à celle de leurs intervalles : **T2.**
- Les lignes d'avertissement de lignes continues, les lignes délimitant les bandes d'arrêt d'urgence, par lesquelles la longueur des traits est sensiblement triple de celle de leurs intervalles : **T3.**

Tableau XII.1 : Largeur des lignes

Type de routes	Valeur de "u"
Autoroutes	7,5 cm

Tableau XII.2 : 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 T`2 T3	3 1.5 3	10 5 1.33	1/3 1/3 3
Rive	T2 T`3 T4	3 20 39	3.5 6 13	1 3 3
Transversal	T`2	0.5	0.5	1

Tableau XII.3: Les largeurs des lignes longitudinales

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

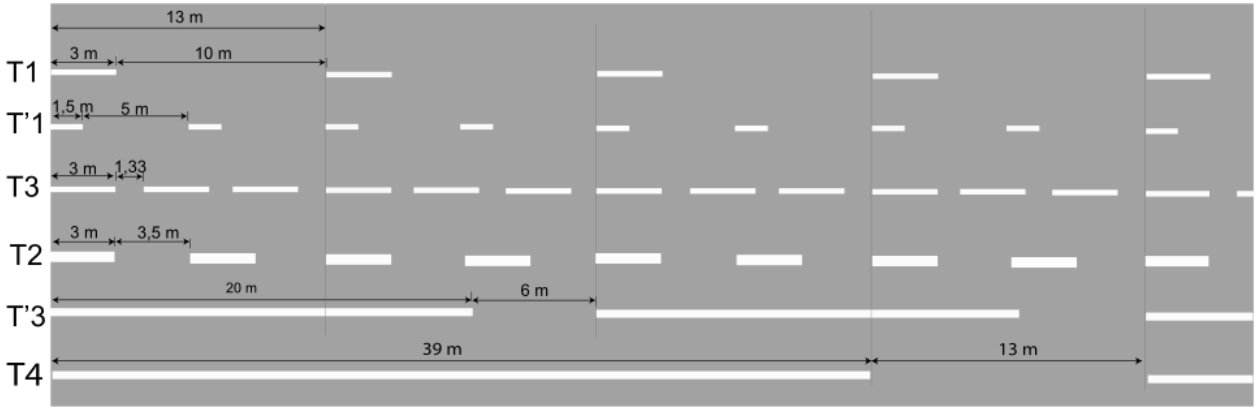


Figure XII-1: Les lignes longitudinales

XII.5.2.4. Les lignes mixtes :

Elle est constituée d'une ligne continue et d'une ligne discontinue en pointillés. Si la ligne discontinue se trouve de votre côté, le dépassement est autorisé. Si la ligne continue se trouve de votre côté, le dépassement est interdit.



Figure XII-2: Lignes mixtes

XII.5.2.5. Lignes transversales

- **Flèches directionnelles**

Elles sont utilisées aux jonctions pour indiquer la direction à suivre pour rejoindre une sortie ou changer de voie.

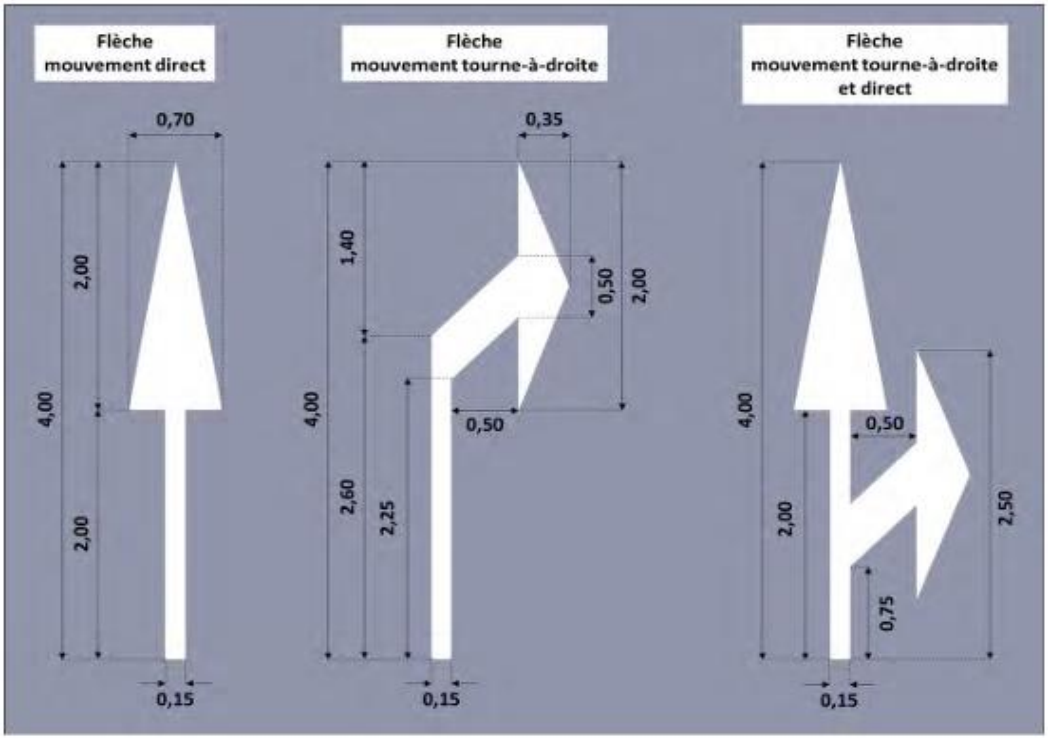


Figure XII-3: Flèche directionnelles

- **Flèche de rabattement**

Les flèches de rabattement peuvent être utilisées à l'approche d'une réduction du nombre de voies.

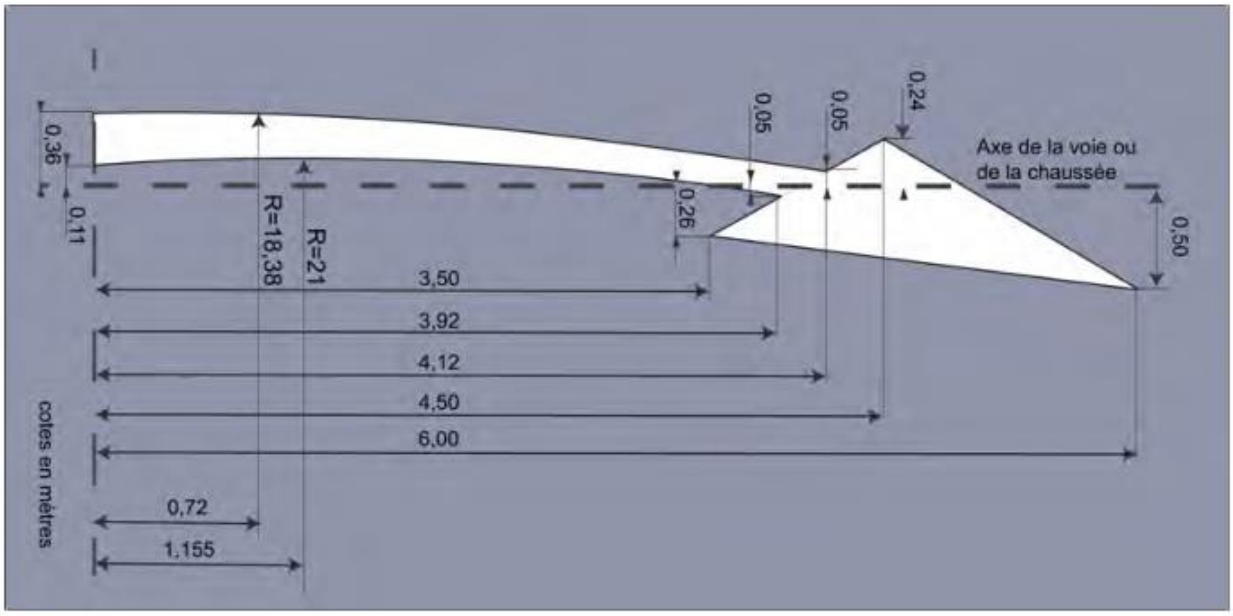


Figure XII-4: Flèche de rabattement

- **Point de convergence et de divergence**

Ces points matériellement constitués d'un musoir sont normalement délimités par des lignes continues marquant la limite de la zone non circulée.

La conception des musoirs et du marquage associé doit assurer une bonne perception des trajectoires à suivre et de la présence d'un obstacle.

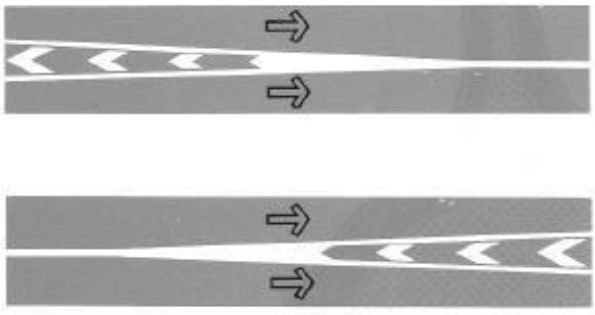


Tableau XII.4 : Flèches convergence et divergence

- **Signalisation Verticale :**

➢ **Le dimensionnement des panneaux :**

Le dimensionnement des panneaux concorde avec le type de route, comme suit :

Tableau XII.5: Les dimensions détaillées des panneaux.

Dimensions Côté du triangle (mm)	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

Avec :

TGG : Taille des panneaux sur autoroute : Très Grande Gamme .

GG : Sur entrées et sortie : Grande Gamme .

GN : Bretelle d'accès aux gares de péage et rétablissements : Gamme Normale.

XII.6. APPLICATION AU PROJET:

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



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



♦ Panneau de signalisation d'obligation : **Type D.**



- Panneau de signalisation de direction : **type E/B.**



- Panneau de signalisation donnant des indications utiles pour la conduite des véhicules : **type E.**





- Panneau de signalisation spéciale (panneau de confirmation de direction des échangeurs).



CHAPITRE XIII : IMPACT SUR L'ENVIRONNENT

XIII.1. INTRODUCTION

Le présent résumé de l'étude d'impact environnementale concerne le projet autoroutier pour le Lot 1 de la 4ème Rocade d'Alger. Ce projet prendre naissance dans la wilaya de Aïn Defla, à Khemis Miliana, au niveau de la RN18 et de l'Autoroute Est/Ouest, puis traverse la wilaya de Médéa, et finit au sud de la ville de Berrouaghia (au niveau de la RN1).

Le présent Rapport de Synthèse de l'Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE) vise à résumer les études développées pour évaluer les impacts environnementaux, engendrés par la construction du Lot 1 de la 4ème Rocade : Rapports 20.1 (Analyse de l'État initial), 20.2 (Evaluation des effets sur l'environnement) et 20.3 (Mesures réductrices et compensatoires).

XIII.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'étude d'impact sur l'environnement a pour objectif de mesurer les effets du projet sur l'environnement et de proposer des mesures d'atténuation adéquates pour réduire, supprimer et si possible, compenser les effets nocifs sur l'environnement et la santé.

XIII.3. CADRE LEGAL ET INSTITUTIONNEL

L'EIE du Lot 1 a été élaborée en tenant compte du cadre législatif national algérien, notamment le décret exécutif nº 07-145 du 19 Mai 2007, relatif aux études d'impact sur l'environnement.

Les principaux intervenants dans la procédure de l'EIE sont :

- Le promoteur, l'ANA, qui devra choisir un bureau d'études agréé par le MATE pour élaborer l'EIE;
- Le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) qui assure le contrôle, le suivi et la mise en œuvre de la réglementation environnementale nationale ;
- La Direction de l'Environnement de Wilaya (DWE), chargée de suivre sur le terrain la mise en œuvre de la réglementation et les délégués pour l'environnement assurent la gestion environnementale de l'entreprise.

XIII.4. DÉSCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DU PROJET

Le projet d'autoroute 4ème Rocade Autoroutière d'Alger se situe dans les wilayas de Ain Defla et Médéa, partie intégrante de la région Nord-Centre du schéma national d'aménagement du territoire.

La région Nord Centre est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par la wilaya de Jijel, Sétif et Borj Bou Arreridj à l'Ouest par la wilaya de Mostaganem, Relizane et Tissemsilt et au Sud par les wilayas de Msila et Djelfa.

Les informations nécessaires pour la rédaction de l'étude du milieu ont été obtenues au moyen de différentes administrations ainsi que des visites de terrain, cartographie de base au

1/25000ème, bibliographie existant, photographies aériennes, cartographie thématique existante, PDAUs ou le cadre législatif en vigueur. Les communes concernées par l'étude sont

Wilaya d'Aïn Defla:	Ain Soltane Djendel Oued Chorfa	Wilaya de Médéa:	Ouamri Bouachioune Ouled Bouchera Zoubiria Berrouaghia

XIII.5. ANALYSE DES IMPACTS POTENTIELS DU PROJET

XIII.5.1. IMPACTS POSITIFS DU PROJET

Les principaux impacts positifs su projet de la 4ème Rocade concernent entre autre :

XIII.5.1.1. Des impacts positifs directs :

- L'amélioration de la sécurité routière : le transfert de trafic des routes nationales vers des autoroutes qui présentent de meilleures caractéristiques géométriques moins accidentelles implique sûrement l'amélioration de la sécurité routière.
- L'amélioration des conditions de circulation : surtout la réduction des nuisances (pollution de l'air et bruit) du fait du report d'une partie du trafic des routes nationales vers l'autoroute et la mise en fonctionnement de ses voies de contournement des principales villes.
- Le développement du réseau autoroutier des wilayas de Ain Defla et Médéa ;
- Le soulagement de la région algéroise du trafic de transit empruntant l'Autoroute Est/Ouest et la 2ème Rocade d'Alger

XIII.5.1.2. Des impacts positifs indirects :

- La création de nouveaux emplois : L'augmentation d'activités par la création d'emplois temporaires (du fait de la construction du projet autoroutier au profit de la main d'œuvre locale) et permanents (pour les besoins d'exploitation de l'autoroute);
- Le développement et la croissance économiques des régions traversées par le projet.

XIII.5.2. IMPACTS NEGATIFS DU PROJET

Les principaux impacts négatifs potentiels du projet les plus significatifs concernent:

- L'expropriation des propriétés bâties ainsi que des terres, situées dans l'emprise du projet
- Les risques de pollution des oueds et points d'eau situés à proximité du projet.
- Les coupures temporaires des réseaux (routes, eau, électricité, voie ferrée,…)
- Les impacts négatifs sur l'agriculture,
- La destruction des populations végétales situés au droit de l'emprise
- La fragmentation des habitats d'espèces animales et la coupure d'axes de déplacement, notamment pour les mammifères et les amphibiens.
- Les Nuisances liées à la circulation des véhicules (bruit, pollution…), etc.

De façon plus détaillée, on distingue les impacts en phase travaux et ceux intervenant en phase exploitation.

XIII.5.2.1. Impacts pendant la phase travaux

- **Milieu physique :**

Pendant la phase de construction les impacts négatifs sur le milieu naturel sont en premier lieu les impacts classiques d'un chantier de construction de route ou d'autoroute dont :

- Les émissions de poussières et les pollutions atmosphériques affecteront la qualité de l'air.
- Les risques de contamination des sols et des ressources hydriques liés aux accidents probables avec des produits dangereux utilisés
- Le risque de dégradation de sols due à l'exploitation des carrières et à l'installation des chantiers.
- Les risques de pollution de ces milieux due aux rejets d'eaux usées et de déchets solides du chantier (logements et bureaux).

- **Milieu naturel :**

- Fléchissement local de populations végétales due aux travaux de défrichement et décapage
- Fléchissement local de populations animales par perte d'une partie de leur habitat ou de territoire ayant des fonctions écologiques spécifiques (gagnage, reproduction, abris, etc.)
- Nuisances liées à la circulation des véhicules (augmentation de la mortalité par collision) et des engins de chantier, au bruit, à l'émission de poussières et de polluants,
- Perturbations liées à l'introduction d'une barrière terrestre,
- Destruction ou perturbation de sites favorables aux différentes espèces,
- Augmentation des Risques d'incendie.

➢ **Milieu humain :**

Les impacts négatifs du projet sur la population en phase de travaux portent sur l'expropriation des biens (bâtis, équipements agricoles et terrains), ainsi que des nuisances générées par la réalisation des travaux (terrassements, transports de matériaux etc…) :

- Les surfaces d'emprise de terrains seront à exproprier et auront pour effet direct de réduire la production agricole dans sa diversité
- Les bruits, les vibrations et les émissions constituent des impacts qui pourraient avoir une influence sur la santé des riverains et des ouvriers.
- La circulation des camions et engins de chantier pourra également causer des accidents.
- Plusieurs servitudes d'utilité publique seront traversées par l'axe de l'autoroute (routes, pistes, lignes électriques…). Ces franchissements se traduisent par de nombreux impacts temporaires lors de la réalisation des travaux (coupures d'électricité, de téléphone…).
- Impact visuel des chantiers et des bases vie.

➢ **Patrimoine et Paysage**

La réalisation des travaux de la 4ème Rocade peut induire la mis à nu de vestiges archéologiques d'intérêt variable qui témoignent de l'ancienneté de l'occupation humaine des territoires traversés.

XIII.5.2.2. Impacts pendant la phase d'exploitation

➢ **Milieu physique :**

- Risques d'érosion le long des talus de la nouvelle infrastructure,
- Risques de pollution chronique (eaux de ruissellement de la chaussée) ou de pollution accidentelle,
- Recalibrage et artificialisation des cours d'eau, modification des bassins versants, augmentation des risques d'inondation ;

- **Milieu naturel :**

Les principaux impacts potentiels du projet sur le milieu naturel en phase d'exploitation sont liés

- À la fragmentation des habitats et à la coupure d'axes de déplacement, notamment pour les mammifères et les amphibiens.
- À l'augmentation du risque de mortalité par collision avec les véhicules
- Au dérangement de la faune : nuisances liées à la circulation des véhicules
- À la dégradation de la qualité des habitats de différentes espèces

- **Milieu humain :**

Lors de la phase exploitation, les impacts négatifs pour le milieu humain concerneront principalement les nuisances sonores dues au trafi

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Tableau XIV.1 : Devis estimatif et quantitatif

N°	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	U	Prix Unitaire (H.T)	Quantité	Montant
1	**INSTALLATIONS ET LOGISTIQUES DU CHANTIER**				
1.1	Installation et rempliment du chantier.	F	750 000 000,00	(6% (2+3+4+5+6+7))	**954 941 214,00**
1.2	Etude d'éxecution et dossier de récolement.	F	350 000 000,00	(3% (2+3+4+5+6+7))	**477 470 607,00**
TOTAL					**1 432 411 821,00**
2	**TRAVAUX PREPARATION**				
2.1	Abattage des arbres .	U	7 000,00	25,00	**175 000,00**
2.2	Déplacement de poteaux électrique MT .	U	4 000 000,00	2,00	**8 000 000,00**
TOTAL					**8 175 000,00**
3	**Terrassement**				
3.1	Décapage de terre végétale ép=50 cm.	M²	150,00	330 000,00	**49 500 000,00**
3.2	Forniture et mise en place des remblais.	M³	1 000,00	750 500,44	**750 500 435,00**
3.3	Déblai meuble mise en dépôt.	M³	600,00	1 567 568,05	**940 540 830,00**
3.4	Déblai meuble mise en remblais .	M³	650,00	844 075,10	**548 648 815,00**
TOTAL					**2 289 190 080,00**
4	**Construction du corps de chaussée**				
4.1	Couche de forme en grave non traitée (GNT 0/31,5)	M³	3 000,00	207 900,00	**623 700 000,00**
4.2	Fourniture et mise en œuvre couche de grave bitume de classe 03(GB 0/20).	T	9 000,00	171 600,00	**1 544 400 000,00**
4.3	Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux (BB) de classe 0/14 .	T	10 000,00	54 912,00	**549 120 000,00**
4.4	Couche d‟imprégnation.	M²	250,00	308 000,00	**77 000 000,00**
4.5	Couche d‟accrochage.	M²	200,00	616 000,00	**123 200 000,00**
4.6	Rechargement des bermes et TPC en TUF.	M³	1 200,00	7 700,00	**9 240 000,00**
TOTAL					**2 926 660 000,00**
5	**Assainissement et Drainage**				
5.1	Construction de fossé trapézoïdal (b=45cm, h=45cm,) , y compris	ML	5 000,00	36 000,00	**180 000 000,00**

	terrassement, talutage, réglage et toutes sujétions.				
5.2	F/P de descentes d'eau en béton, y compris l'enrochement à l'éxutoire ,terrassement, fixation, raccordement et toutes sujétions.	ML	4 000,00	6 000,00	**24 000 000,00**
5.3	F/P de buse Φ 1200.	ML	40 000,00	410,00	**16 400 000,00**
5.4	F/P de buses Φ1500.	ML	50 000,00	135,00	**6 750 000,00**
5.5	F/P de buses Φ1800.	ML	50 000,00	80,00	**4 000 000,00**
5.6	F/P têtes simples de buse Φ 1200.	U	200 000,00	16,00	**3 200 000,00**
5.7	F/P têtes simples de buse Φ 1500.	U	280 000,00	3,00	**840 000,00**
5.8	F/P têtes simples de buse Φ 1800.		360 000,00	2,00	**720 000,00**
5.9	F/P de dalots en BA (RN27), y compris terrassement, calage, remblaiement et toutes sujétions de mise en œuvre.	M^3	60 000,00	327,00	**19 620 000,00**
TOTAL					**255 530 000,00**
6	**SIGNALISATION ET EQUIPEMENT ROUTIERS**				
6.1	Marquages longitudinaux continue type 3U (22,5cm).	ML	250,00	22 000,00	**5 500 000,00**
6.2	Marquages longitudinaux discontinue type T1_2U (15cm).	ML	160,00	10 152,00	**1 624 320,00**
6.3	Marquages longitudinaux discontinue type T4_3U(22,5cm).	ML	250,00	16 458,00	**4 114 500,00**
6.4	Fleche de rabattement.	U	4 000,00	4,00	**16 000,00**
6.5	Panneau triangulaire de très grande gamme (côté nominal 1500mm)	U	25 000,00	28,00	**700 000,00**
6.6	Panneau circulaire de très grande gamme (diamètre de 1250mm)	U	20 000,00	27,00	**540 000,00**
6.7	Panneau carré de très grande gamme (côté nominal 1050mm)	U	12 000,00	12,00	**144 000,00**
6.8	Panneau triangulaire de normale gamme (côté nominal 1000mm)	U	20 000,00	17,00	**340 000,00**
6.9	Panneau circulaire de normale gamme (diamètre de 850mm)	U	17 000,00	9,00	**153 000,00**

6.10	Panneau carré de normale gamme (côté nominal 700mm)	U	10 000,00	4,00	**40 000,00**
6.11	Panneaux de types D (Portique)	U	200 000,00	2,00	**400 000,00**
6.12	Glissiére de sécurité en béton (GBA) .	ML	12 000,00	48 880,00	**586 560 000,00**
TOTAL					**600 131 820,00**
7	**Ouvrage d'art**				
7.1	Passage supérieur (en precontrainte).	M²	350000,00	1 560,00	**546 000 000,00**
7.2	Passage inférieur(pont cadre).	M²	250000,00	680,00	**170 000 000,00**
7.3	Viaduc (en pont mixte),	M²	400000,00	22 800,00	**9 120 000 000,00**
TOTAL					**9 836 000 000,00**

MONTANT HT	**17 348 098 721,00**
MONTANT DE LA TVA (19%)	**3 296 138 756,99**
MONTANT EN TTC	**20 644 237 477,99**

XIV.1. LE MONTANT TOTAL EST ESTIME A :

Vingt milliards six cent quarante-quatre millions deux cent trente-sept mille quatre cent soixante-dix-sept dinars algériens et quatre-vingt-dix-neuf centimes.

CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE XV: CONCLUSION GENERALE

Notre étude d'avant-projet détaillé porte sur la réalisation d'un tronçon de l'autoroute de la 4e Rocade d'Alger, situé dans la wilaya de Médéa. Ce projet revêt une importance majeure pour fluidifier la circulation autour de la Wilaya d'Alger. Il a pour objectif de proposer une solution de contournement efficace, évitant le passage par la capitale, ce qui permet de réduire les embouteillages et les temps de déplacement.

La conception de l'échangeur entre la Rocade et la RN01, localisé au niveau de la commune de BERROUAGHIA, vise également à renforcer l'accessibilité régionale en facilitant les liaisons entre les principaux axes routiers.

Notre démarche s'inscrit dans une volonté d'optimisation des coûts tout en assurant la sécurité des infrastructures. Des considérations environnementales ont aussi été prises en compte afin de limiter les impacts du projet sur les écosystèmes locaux.

Tout au long de cette étude, nous avons abordé plusieurs aspects fondamentaux du projet. Outre les analyses approfondies du trafic, les études géométriques, géotechniques et hydrauliques, ainsi que la conception de l'échangeur, nous avons mené une étude de stabilité des talus. Celle-ci garantit la sécurité et la stabilité des terrains longeant l'infrastructure, réduisant les risques d'éboulement et assurant ainsi la fiabilité de l'ouvrage.

Par ailleurs, une attention particulière a été portée à la signalisation routière, élément essentiel pour garantir la sécurité des usagers et faciliter leur orientation sur le réseau.

Ce travail nous a offert l'opportunité d'appliquer concrètement les notions théoriques acquises sur le tracé routier à travers un cas réel. Il nous a aussi permis de consolider et d'élargir nos compétences développées au cours de notre formation à l'ENSTP.

RDS 2021 est un logiciel routier simple, fiable et économique. Dans ce projet, j'ai comparé ses performances à celles de Civil 3D et Covadis, et constaté que RDS fournit des résultats proches, tout en offrant une interface plus légère et accessible. Ses fonctions uniques, comme l'import de points depuis Google Earth et la modélisation 3D, en font une alternative locale pratique et performante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Référence du mémoire fin d'étude et les documents :

- Organisme national de contrôle technique des travaux publics CTTP. 2001 « Catalogue Algérien de dimensionnement des chaussées neuves fascicule 3 », Ministère des travaux publics, Direction des routes, Algerie.
- Organisme national de contrôle technique des travaux publics CTTP. 2001 « Catalogue Algérien de dimensionnement des chaussées neuves fascicule 2 », Ministere des travaux publics, Direction des routes, Algerie.
- Organisme national de contrôle technique des travaux publics CTTP. 2001 « Catalogue Algérien de dimensionnement des chaussées neuves fascicule 1 », Ministère des travaux publics, Direction des routes, Algerie.
- SETRA. Assainissement routiers, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes..
- SETRA. Guide d'aménagement des échangeurs – ICTAAL 2015, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes..
- SETRA. Guide des terrassements routiers (GTR), Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes.
- Pour les illustrations et les images (Google).
- Ancien projet de fin d'étude : W2831-21, W2990-23, W3113-24
- Les cours de l'école pendant 3 ans (hydraulique, Route, Esquisse, GTR, MDS…).

Logiciels utilisés :

- AUTOCAD 2018
- CIVIL 3D
- RDS 2021
- COVADIS 2017
- Alise
- GeoStudio
- Microsoft office 2016
- Google Earth pro
- Global Mapper

ANNEXE 1 : GEOMETRIE DE LA ROUTE

Axe En Plan (CIVIL 3D /COVADIS /RDS) :
Les 3 axes sont identiques

LISTING DAXE EN PLAN

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse
			60+000.00
DR1	ANG=90.9507 (g)	1130.879	
			61+130.88
ARC2	XC=485493.5094		
	YC=3994042.5644		
	R=3000.000	118.237	
			61+249.12
DR3	ANG=93.4598 (g)	838.614	
			62+087.73
ARC4	XC=485691.8783		
	YC=4000295.8774		
	R=3200.000	183.314	
			62+271.04
DR5	ANG=89.8129 (g)	1132.116	
			63+403.16
ARC6	XC=487606.2126		
	YC=3995540.1429		
	R=1800.000	291.366	
			63+694.53
DR7	ANG=100.1179 (g)	768.563	
			64+463.09
ARC8	XC=488382.7354		
	YC=3999838.7126		
	R=2500.000	279.068	

			64+742.16
DR9	ANG=93.0115 (g)	390.405	
			65+132.56
ARC10	XC=489241.8789		
	YC=3995607.3666		
	R=1800.000	397.570	
			65+530.13
DR11	ANG=107.0726 (g)	1265.682	
			66+795.81
CLO12	A=307.409		
	R=900.000	105.000	
			66+900.81
ARC13	XC=490651.6530		
	YC=3996355.1676		
	R=900.000	823.000	
			67+723.81
CLO14	A=307.409		
	R=900.000	105.000	
			67+828.81
DR15	ANG=172.7152 (g)	937.337	
			68+766.15
CLO16	A=284.165		
	R=850.000	95.000	
			68+861.15
ARC17	XC=492675.3378		
	YC=3996139.3394		
	R=850.000	894.311	

			69+755.46
CLO18	A=284.165		
	R=850.000	95.000	
			69+850.46
DR19	ANG=98.6193 (g)	1149.72	
			71+00.180

Axe En Long (CIVIL 3D/COVADIS/RDS) :
Les 3 axes sont identiques

LISTING DE PROFIL EN LONG

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0+000.00	865.394
D1	PENTE= 1.42%	1006.586		
			61+006.59	879.647
PAR1	S= 1+080.00 Z=880.687			
	R= 6050.000	146.827		
			61+153.41	879.945
D2	PENTE= -1.01%	541.006		
			61+694.42	874.476
PAR2	S= 1+720.00 Z=874.217			
	R= 3000.000	51.161		
			61+745.58	874.395
D3	PENTE= 0.69%	329.664		
			62+075.24	876.684
PAR3	S= 2+156.47 Z=877.248			
	R= 6000.000	162.459		
			62+237.70	875.613

D4	PENTE= -2.01%	318.323		
			62+556.03	869.204
PAR4	S= 2+664.52 Z=867.020			
	R= 3000.000	216.985		
			62+773.01	872.683
D5	PENTE= 5.22%	227.314		
			63+000.33	884.548
PAR5	S= 3+200.00 Z=894.970			
	R= 6000.000	399.349		
			63+399.67	892.103
D6	PENTE= -1.44%	388.760		
			63+788.44	886.520
PAR6	S= 3+895.23 Z=884.986			
	R= 3050.000	213.590		
			64+002.03	890.931
D7	PENTE= 5.57%	900.544		
			64+902.57	941.062
PAR7	S= 5+132.56 Z=953.865			
	R= 6000.000	459.987		
			65+362.56	949.036
D8	PENTE= -2.10%	726.736		
			66+089.29	933.777
PAR8	S= 6+189.98 Z=931.663			
	R= 6000.000	201.380		
			66+290.67	926.169
D9	PENTE= -5.46%	978.203		

			67+268.88	872.799
PAR9	S= 7+299.80 Z=871.111			
	R= 3050.000	61.857		
			67+330.73	870.051
D10	PENTE= -3.43%	1033.774		
			68+364.51	834.614
PAR10	S= 8+446.52 Z=831.803			
	R= 3050.000	164.027		
			68+528.53	833.402
D11	PENTE= 1.95%	434.554		
			68+963.09	841.876
PAR11	S= 9+038.82 Z=843.353			
	R= 6050.000	151.463		
			69+114.55	842.934
D12	PENTE= -0.55%	181.508		
			69+296.06	841.929
PAR12	S= 9+353.28 Z=841.612			
	R= 3050.000	114.440		
			69+410.50	843.443
D13	PENTE= 3.20%	331.113		
			69+741.61	854.034
PAR13	S= 9+902.67 Z=859.186			
	R= 6050.000	322.123		
			70+063.74	855.762
D14	PENTE= -2.13%	936.44		
			71+000.180	843.727

ANNEXE 2 : VOLUME DES MATERIAUX ET CUBATURES

ANNEXE

VOLUME DES CUBATURES

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
0+000.000	95.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+025.000	145.54	3010.70	3010.70	0.00	0.00	3010.70	3010.70	0.00	3010.70
0+050.000	152.27	3722.56	3722.56	0.00	0.00	6733.26	6733.26	0.00	6733.26
0+075.000	140.60	3660.79	3660.79	0.00	0.00	10394.05	10394.05	0.00	10394.05
0+100.000	141.25	3523.13	3523.13	0.00	0.00	13917.18	13917.18	0.01	13917.18
0+125.000	163.24	3806.19	3806.19	0.00	0.01	17723.38	17723.38	0.02	17723.36
0+150.000	162.00	4065.56	4065.56	0.00	0.04	21788.94	21788.94	0.05	21788.89
0+175.000	150.16	3902.02	3902.02	0.00	0.03	25690.96	25690.96	0.08	25690.88
0+200.000	93.43	3044.85	3044.85	0.00	0.00	28735.81	28735.81	0.08	28735.73
0+225.000	37.96	1642.34	1642.34	0.16	1.96	30378.15	30378.15	2.04	30376.11
0+250.000	7.30	565.71	565.71	16.15	203.87	30943.86	30943.86	205.90	30737.95
0+275.000	10.93	227.85	227.85	11.74	348.62	31171.70	31171.70	554.52	30617.18
0+300.000	15.72	333.07	333.07	6.69	230.37	31504.77	31504.77	784.89	30719.88
0+325.000	46.67	779.88	779.88	0.00	83.68	32284.65	32284.65	868.57	31416.08
0+350.000	94.40	1763.46	1763.46	0.00	0.02	34048.12	34048.12	868.59	33179.53
0+375.000	122.52	2711.50	2711.50	0.00	0.00	36759.62	36759.62	868.59	35891.04
0+400.000	33.18	1946.21	1946.21	3.09	38.68	38705.83	38705.83	907.27	37798.56
0+425.000	4.30	468.49	468.49	38.04	514.18	39174.32	39174.32	1421.45	37752.86
0+450.000	1.79	76.10	76.10	46.42	1055.69	39250.41	39250.41	2477.14	36773.27
0+475.000	1.25	37.98	37.98	32.59	987.59	39288.39	39288.39	3464.73	35823.66
0+500.000	6.48	96.62	96.62	3.07	445.72	39385.01	39385.01	3910.45	35474.56
0+525.000	66.21	908.61	908.61	0.00	38.32	40293.62	40293.62	3948.77	36344.85
0+550.000	127.54	2421.86	2421.86	0.00	0.00	42715.48	42715.48	3948.77	38766.71
0+575.000	183.20	3884.29	3884.29	0.00	0.00	46599.77	46599.77	3948.77	42651.00
0+600.000	277.37	5757.22	5757.22	0.00	0.00	52356.99	52356.99	3948.77	48408.22
0+625.000	468.75	9326.58	9326.58	0.00	0.00	61683.57	61683.57	3948.77	57734.80
0+650.000	538.36	12588.84	12588.84	0.00	0.00	74272.41	74272.41	3948.77	70323.64
0+675.000	353.77	11151.53	11151.53	0.00	0.00	85423.95	85423.95	3948.77	81475.18

0+700.000	233.70	7343.39	7343.39	0.00	0.00	92767.34	92767.34	3948.77	88818.57
0+725.000	173.46	5089.61	5089.61	0.00	0.00	97856.95	97856.95	3948.77	93908.17
0+750.000	92.45	3323.95	3323.95	0.06	0.73	101180.89	101180.89	3949.50	97231.39
0+775.000	25.46	1473.94	1473.94	13.75	172.62	102654.83	102654.83	4122.12	98532.71
0+800.000	0.87	329.17	329.17	72.07	1072.80	102984.00	102984.00	5194.92	97789.08
0+825.000	0.59	18.29	18.29	96.38	2105.68	103002.29	103002.29	7300.60	95701.69
0+850.000	4.49	63.49	63.49	19.80	1452.24	103065.78	103065.78	8752.84	94312.94
0+875.000	62.59	838.48	838.48	0.00	247.49	103904.26	103904.26	9000.33	94903.93
0+900.000	171.64	2927.88	2927.88	0.00	0.03	106832.15	106832.15	9000.36	97831.78
0+925.000	314.52	6076.95	6076.95	0.00	0.00	112909.09	112909.09	9000.36	103908.73
0+950.000	442.75	9465.80	9465.80	0.00	0.00	122374.89	122374.89	9000.36	113374.53
0+975.000	531.80	12181.81	12181.81	0.00	0.00	134556.69	134556.69	9000.36	125556.33
1+000.000	439.20	12137.43	12137.43	0.00	0.00	146694.13	146694.13	9000.36	137693.76
1+025.000	318.23	9467.84	9467.84	0.00	0.00	156161.97	156161.97	9000.36	147161.61
1+050.000	184.08	6278.91	6278.91	0.00	0.00	162440.88	162440.88	9000.36	153440.52
1+075.000	70.24	3179.01	3179.01	0.00	0.00	165619.89	165619.89	9000.36	156619.52
1+100.000	3.30	919.24	919.24	21.71	271.35	166539.13	166539.13	9271.71	157267.42
1+125.000	0.77	50.90	50.90	83.29	1312.43	166590.04	166590.04	10584.14	156005.90
1+150.000	0.64	17.58	17.58	142.60	2823.53	166607.62	166607.62	13407.66	153199.95
1+175.000	0.72	16.96	16.96	157.14	3746.72	166624.58	166624.58	17154.38	149470.20
1+200.000	0.90	20.26	20.26	146.44	3794.82	166644.84	166644.84	20949.20	145695.64
1+225.000	1.04	24.28	24.28	149.22	3695.75	166669.12	166669.12	24644.96	142024.17
1+250.000	0.96	25.01	25.01	156.19	3817.63	166694.13	166694.13	28462.58	138231.55
1+275.000	0.83	22.38	22.38	157.29	3918.59	166716.51	166716.51	32381.17	134335.34
1+300.000	0.92	21.97	21.97	152.30	3869.89	166738.48	166738.48	36251.06	130487.42
1+325.000	0.60	19.08	19.08	114.09	3329.92	166757.56	166757.56	39580.98	127176.58
1+350.000	0.27	10.87	10.87	60.59	2183.57	166768.43	166768.43	41764.55	125003.88
1+375.000	38.57	485.40	485.40	0.30	761.12	167253.84	167253.84	42525.67	124728.16
1+400.000	173.34	2648.76	2648.76	0.00	3.74	169902.60	169902.60	42529.41	127373.18
1+425.000	320.16	6168.74	6168.74	0.00	0.00	176071.33	176071.33	42529.41	133541.92
1+450.000	318.30	7980.73	7980.73	0.04	0.56	184052.07	184052.07	42529.98	141522.09
1+475.000	219.76	6725.64	6725.64	0.00	0.56	190777.70	190777.70	42530.54	148247.17
1+500.000	92.44	3902.49	3902.49	0.00	0.00	194680.19	194680.19	42530.54	152149.66
1+525.000	9.19	1270.39	1270.39	25.94	324.27	195950.58	195950.58	42854.81	153095.77
1+550.000	0.62	122.56	122.56	82.76	1358.77	196073.14	196073.14	44213.58	151859.56
1+575.000	4.38	62.51	62.51	70.47	1915.33	196135.66	196135.66	46128.91	150006.74
1+600.000	7.68	150.84	150.84	63.09	1669.50	196286.50	196286.50	47798.41	148488.09
1+625.000	7.25	186.71	186.71	65.49	1607.33	196473.21	196473.21	49405.74	147067.46
1+650.000	1.18	105.46	105.46	99.09	2057.34	196578.66	196578.66	51463.08	145115.58

1+675.000	0.72	23.83	23.83	152.37	3143.34	196602.50	196602.50	54606.43	141996.07
1+700.000	0.89	20.12	20.12	49.69	2525.81	196622.61	196622.61	57132.24	139490.37
1+725.000	70.59	893.43	893.43	0.00	621.14	197516.04	197516.04	57753.38	139762.66
1+750.000	208.37	3486.94	3486.94	0.00	0.00	201002.98	201002.98	57753.38	143249.60
1+775.000	345.27	6920.46	6920.46	0.00	0.00	207923.45	207923.45	57753.38	150170.06
1+800.000	488.21	10418.55	10418.55	0.00	0.00	218342.00	218342.00	57753.38	160588.62
1+825.000	637.98	14077.39	14077.39	0.00	0.00	232419.38	232419.38	57753.38	174666.00
1+850.000	719.55	16969.13	16969.13	0.00	0.00	249388.52	249388.52	57753.38	191635.14
1+875.000	700.47	17750.30	17750.30	2.79	34.91	267138.82	267138.82	57788.29	209350.53
1+900.000	582.82	16041.14	16041.14	0.00	34.91	283179.95	283179.95	57823.20	225356.76
1+925.000	422.25	12563.35	12563.35	0.00	0.06	295743.30	295743.30	57823.25	237920.05
1+950.000	276.90	8739.31	8739.31	0.00	0.06	304482.61	304482.61	57823.31	246659.31
1+975.000	183.83	5759.13	5759.13	0.00	0.00	310241.74	310241.74	57823.31	252418.43
2+000.000	127.67	3893.76	3893.76	0.00	0.00	314135.51	314135.51	57823.31	256312.20
2+025.000	70.05	2471.44	2471.44	0.10	1.24	316606.95	316606.95	57824.55	258782.40
2+050.000	23.90	1174.28	1174.28	9.57	120.86	317781.22	317781.22	57945.41	259835.82
2+075.000	3.23	339.08	339.08	48.24	722.62	318120.31	318120.31	58668.03	259452.28
2+100.000	0.96	52.44	52.44	106.49	1934.09	318172.75	318172.75	60602.12	257570.63
2+125.000	3.98	61.77	61.77	88.80	2441.04	318234.52	318234.52	63043.15	255191.37
2+150.000	46.04	625.25	625.25	15.37	1302.05	318859.77	318859.77	64345.21	254514.56
2+175.000	150.17	2452.62	2452.62	0.01	192.26	321312.39	321312.39	64537.47	256774.92
2+200.000	286.89	5463.19	5463.19	0.00	0.15	326775.58	326775.58	64537.62	262237.96
2+225.000	451.10	9224.91	9224.91	0.00	0.00	336000.49	336000.49	64537.62	271462.87
2+250.000	565.70	12709.99	12709.99	2.09	26.15	348710.48	348710.48	64563.77	284146.71
2+275.000	466.01	12896.26	12896.26	0.00	26.15	361606.74	361606.74	64589.92	297016.82
2+300.000	322.46	9855.82	9855.82	0.00	0.00	371462.56	371462.56	64589.92	306872.64
2+325.000	205.29	6596.86	6596.86	0.00	0.00	378059.42	378059.42	64589.92	313469.50
2+350.000	95.46	3759.42	3759.42	0.04	0.46	381818.84	381818.84	64590.38	317228.46
2+375.000	14.37	1372.95	1372.95	38.26	478.69	383191.79	383191.79	65069.07	318122.72
2+400.000	1.07	193.08	193.08	141.71	2249.64	383384.87	383384.87	67318.72	316066.16
2+425.000	1.83	36.27	36.27	46.79	2356.29	383421.14	383421.14	69675.01	313746.13
2+450.000	50.35	652.19	652.19	0.45	590.57	384073.34	384073.34	70265.58	313807.75
2+475.000	146.28	2457.84	2457.84	0.00	5.69	386531.17	386531.17	70271.27	316259.90
2+500.000	191.21	4218.67	4218.67	0.00	0.00	390749.85	390749.85	70271.27	320478.58
2+525.000	133.71	4061.61	4061.61	0.00	0.00	394811.45	394811.45	70271.27	324540.19
2+550.000	76.87	2632.33	2632.33	0.01	0.17	397443.78	397443.78	70271.44	327172.34
2+575.000	27.84	1308.93	1308.93	7.67	96.05	398752.71	398752.71	70367.49	328385.22
2+600.000	4.74	407.32	407.32	39.05	584.05	399160.02	399160.02	70951.54	328208.48
2+625.000	0.46	65.10	65.10	113.00	1900.67	399225.12	399225.12	72852.21	326372.91

2+650.000	0.60	13.36	13.36	149.05	3275.57	399238.48	399238.48	76127.79	323110.70
2+675.000	1.01	20.19	20.19	151.14	3752.29	399258.67	399258.67	79880.08	319378.59
2+700.000	0.97	24.79	24.79	131.66	3534.95	399283.46	399283.46	83415.03	315868.43
2+725.000	0.65	20.27	20.27	49.35	2262.58	399303.73	399303.73	85677.61	313626.12
2+750.000	11.99	158.01	158.01	0.00	616.91	399461.74	399461.74	86294.52	313167.22
2+775.000	58.83	885.33	885.33	0.00	0.06	400347.07	400347.07	86294.57	314052.50
2+800.000	101.38	2002.73	2002.73	0.00	0.00	402349.81	402349.81	86294.57	316055.23
2+825.000	122.50	2798.57	2798.57	0.00	0.00	405148.37	405148.37	86294.57	318853.80
2+850.000	96.48	2737.33	2737.33	0.00	0.00	407885.70	407885.70	86294.57	321591.13
2+875.000	67.59	2050.99	2050.99	0.01	0.13	409936.69	409936.69	86294.71	323641.98
2+900.000	42.37	1374.54	1374.54	0.00	0.13	411311.23	411311.23	86294.84	325016.39
2+925.000	18.66	762.91	762.91	0.00	0.00	412074.14	412074.14	86294.84	325779.31
2+950.000	2.90	269.52	269.52	2.57	32.15	412343.67	412343.67	86326.99	326016.68
2+975.000	0.84	46.68	46.68	19.80	279.63	412390.35	412390.35	86606.62	325783.73
3+000.000	0.87	21.31	21.31	8.82	357.70	412411.66	412411.66	86964.32	325447.34
3+025.000	28.76	370.30	370.30	0.00	110.24	412781.96	412781.96	87074.56	325707.40
3+050.000	93.64	1530.00	1530.00	0.00	0.01	414311.96	414311.96	87074.57	327237.39
3+075.000	158.50	3151.78	3151.78	0.00	0.00	417463.75	417463.75	87074.57	330389.18
3+100.000	205.57	4550.85	4550.85	0.00	0.00	422014.59	422014.59	87074.57	334940.02
3+125.000	236.77	5529.23	5529.23	0.05	0.63	427543.83	427543.83	87075.20	340468.62
3+150.000	342.89	7245.76	7245.76	0.00	0.63	434789.58	434789.58	87075.84	347713.74
3+175.000	421.19	9550.99	9550.99	0.00	0.00	444340.57	444340.57	87075.84	357264.73
3+200.000	417.98	10489.54	10489.54	0.00	0.00	454830.11	454830.11	87075.84	367754.27
3+225.000	437.67	10695.55	10695.55	0.00	0.00	465525.66	465525.66	87075.84	378449.82
3+250.000	386.64	10303.80	10303.80	0.00	0.00	475829.47	475829.47	87075.84	388753.63
3+275.000	294.81	8518.08	8518.08	0.00	0.00	484347.55	484347.55	87075.84	397271.71
3+300.000	219.60	6430.10	6430.10	0.00	0.00	490777.65	490777.65	87075.84	403701.81
3+325.000	165.95	4819.37	4819.37	0.00	0.00	495597.02	495597.02	87075.84	408521.18
3+350.000	122.31	3603.28	3603.28	0.00	0.00	499200.30	499200.30	87075.84	412124.46
3+375.000	85.94	2603.10	2603.10	0.17	2.16	501803.40	501803.40	87078.00	414725.41
3+400.000	56.44	1779.65	1779.65	1.87	25.57	503583.06	503583.06	87103.57	416479.49
3+425.000	43.89	1254.07	1254.07	0.05	24.08	504837.13	504837.13	87127.65	417709.48
3+450.000	52.32	1202.66	1202.66	0.05	1.33	506039.78	506039.78	87128.98	418910.80
3+475.000	64.08	1455.05	1455.05	0.00	0.69	507494.83	507494.83	87129.67	420365.16
3+500.000	80.55	1807.92	1807.92	0.00	0.03	509302.75	509302.75	87129.70	422173.06
3+525.000	103.14	2296.21	2296.21	0.00	0.00	511598.96	511598.96	87129.70	424469.26
3+550.000	120.34	2793.56	2793.56	0.00	0.00	514392.52	514392.52	87129.70	427262.82
3+575.000	125.07	3067.68	3067.68	0.00	0.00	517460.20	517460.20	87129.70	430330.50
3+600.000	156.85	3524.03	3524.03	0.00	0.00	520984.23	520984.23	87129.70	433854.53

3+625.000	236.62	4918.39	4918.39	0.00	0.00	525902.62	525902.62	87129.70	438772.92
3+650.000	294.52	6639.32	6639.32	0.00	0.00	532541.94	532541.94	87129.70	445412.24
3+675.000	340.68	7940.08	7940.08	0.00	0.00	540482.02	540482.02	87129.70	453352.32
3+700.000	364.94	8820.30	8820.30	0.00	0.00	549302.32	549302.32	87129.70	462172.62
3+725.000	302.10	8337.95	8337.95	0.00	0.00	557640.27	557640.27	87129.70	470510.57
3+750.000	219.42	6518.93	6518.93	0.00	0.00	564159.20	564159.20	87129.70	477029.50
3+775.000	135.17	4432.41	4432.41	0.10	1.20	568591.61	568591.61	87130.90	481460.71
3+800.000	63.31	2481.04	2481.04	2.04	26.71	571072.65	571072.65	87157.61	483915.05
3+825.000	16.24	994.37	994.37	22.09	301.59	572067.02	572067.02	87459.19	484607.82
3+850.000	1.59	222.92	222.92	37.67	746.98	572289.93	572289.93	88206.17	484083.76
3+875.000	1.54	39.10	39.10	34.64	903.86	572329.03	572329.03	89110.03	483219.00
3+900.000	2.17	46.35	46.35	25.67	753.88	572375.38	572375.38	89863.91	482511.47
3+925.000	27.40	369.71	369.71	1.13	335.04	572745.10	572745.10	90198.96	482546.14
3+950.000	58.59	1074.86	1074.86	0.01	14.29	573819.96	573819.96	90213.24	483606.72
3+975.000	80.37	1736.97	1736.97	0.00	0.17	575556.94	575556.94	90213.41	485343.52
4+000.000	98.06	2230.42	2230.42	0.00	0.00	577787.35	577787.35	90213.41	487573.94
4+025.000	97.95	2450.17	2450.17	0.01	0.11	580237.53	580237.53	90213.52	490024.00
4+050.000	81.09	2237.98	2237.98	0.14	1.91	582475.51	582475.51	90215.44	492260.07
4+075.000	34.76	1448.13	1448.13	5.96	76.30	583923.64	583923.64	90291.74	493631.90
4+100.000	7.38	526.86	526.86	42.63	607.32	584450.50	584450.50	90899.05	493551.44
4+125.000	0.55	99.23	99.23	77.31	1499.20	584549.73	584549.73	92398.26	492151.47
4+150.000	1.33	23.52	23.52	16.66	1174.62	584573.24	584573.24	93572.88	491000.37
4+175.000	53.09	680.16	680.16	1.05	221.39	585253.41	585253.41	93794.27	491459.14
4+200.000	112.08	2064.60	2064.60	0.25	16.26	587318.00	587318.00	93810.53	493507.48
4+225.000	61.03	2163.92	2163.92	1.03	15.95	589481.93	589481.93	93826.47	495655.46
4+250.000	1.64	783.34	783.34	35.32	454.39	590265.26	590265.26	94280.86	495984.40
4+275.000	0.91	31.84	31.84	105.59	1761.46	590297.10	590297.10	96042.32	494254.78
4+300.000	1.54	30.69	30.69	143.17	3109.48	590327.79	590327.79	99151.80	491175.99
4+325.000	1.65	39.94	39.94	139.73	3536.21	590367.73	590367.73	102688.01	487679.72
4+350.000	2.12	47.13	47.13	105.73	3068.30	590414.86	590414.86	105756.32	484658.55
4+375.000	9.80	148.96	148.96	57.53	2040.76	590563.83	590563.83	107797.07	482766.75
4+400.000	91.14	1261.69	1261.69	5.04	782.05	591825.52	591825.52	108579.12	483246.40
4+425.000	235.35	4081.05	4081.05	0.00	62.97	595906.57	595906.57	108642.09	487264.48
4+450.000	398.36	7921.38	7921.38	0.00	0.00	603827.95	603827.95	108642.09	495185.86
4+475.000	573.85	12152.70	12152.70	0.00	0.00	615980.65	615980.65	108642.09	507338.56
4+500.000	772.87	16833.99	16833.99	5.20	64.98	632814.64	632814.64	108707.07	524107.57
4+525.000	1037.42	22628.64	22628.64	5.72	136.54	655443.28	655443.28	108843.61	546599.67
4+550.000	1083.60	26512.84	26512.84	8.10	172.85	681956.12	681956.12	109016.46	572939.66
4+575.000	1020.30	26298.74	26298.74	0.63	109.12	708254.87	708254.87	109125.57	599129.29

4+600.000	859.58	23498.48	23498.48	0.00	7.83	731753.35	731753.35	109133.40	622619.95
4+625.000	782.87	20530.64	20530.64	0.00	0.00	752283.99	752283.99	109133.40	643150.59
4+650.000	666.62	18118.65	18118.65	0.00	0.00	770402.64	770402.64	109133.40	661269.24
4+675.000	370.35	12962.15	12962.15	0.44	5.56	783364.78	783364.78	109138.96	674225.83
4+700.000	118.94	6116.14	6116.14	33.14	419.80	789480.93	789480.93	109558.76	679922.17
4+725.000	13.06	1650.04	1650.04	31.14	803.46	791130.96	791130.96	110362.22	680768.75
4+750.000	120.27	1666.63	1666.63	0.00	389.22	792797.59	792797.59	110751.43	682046.16
4+775.000	265.87	4826.80	4826.80	0.00	0.00	797624.38	797624.38	110751.43	686872.95
4+800.000	227.78	6170.64	6170.64	0.00	0.00	803795.03	803795.03	110751.43	693043.59
4+825.000	285.99	6422.10	6422.10	0.00	0.00	810217.12	810217.12	110751.43	699465.69
4+850.000	342.00	7849.88	7849.88	0.09	1.11	818067.00	818067.00	110752.54	707314.46
4+875.000	423.03	9562.90	9562.90	0.00	1.11	827629.90	827629.90	110753.65	716876.25
4+900.000	509.65	11658.53	11658.53	0.00	0.00	839288.43	839288.43	110753.65	728534.78
4+925.000	538.70	13104.38	13104.38	0.00	0.00	852392.81	852392.81	110753.65	741639.16
4+950.000	606.68	14317.31	14317.31	0.00	0.04	866710.12	866710.12	110753.69	755956.42
4+975.000	679.89	16082.13	16082.13	0.00	0.04	882792.24	882792.24	110753.73	772038.51
5+000.000	813.48	18667.07	18667.07	0.00	0.00	901459.31	901459.31	110753.73	790705.58
5+025.000	1048.11	23269.86	23269.86	0.08	1.03	924729.17	924729.17	110754.76	813974.41
5+050.000	1079.59	26596.20	26596.20	0.00	1.05	951325.37	951325.37	110755.82	840569.56
5+075.000	1131.82	27642.62	27642.62	0.00	0.02	978968.00	978968.00	110755.84	868212.16
5+100.000	1145.01	28460.42	28460.42	0.00	0.00	1007428.42	1007428.42	110755.84	896672.58
5+125.000	1165.39	28880.06	28880.06	0.00	0.01	1036308.48	1036308.48	110755.85	925552.63
5+150.000	1092.46	28223.19	28223.19	0.00	0.03	1064531.67	1064531.67	110755.87	953775.79
5+175.000	923.30	25197.06	25197.06	0.10	1.25	1089728.72	1089728.72	110757.12	978971.60
5+200.000	761.66	21062.01	21062.01	0.00	1.22	1110790.73	1110790.73	110758.34	1000032.39
5+225.000	655.40	17713.18	17713.18	0.01	0.16	1128503.91	1128503.91	110758.51	1017745.40
5+250.000	552.61	15100.10	15100.10	1.45	18.26	1143604.00	1143604.00	110776.77	1032827.23
5+275.000	480.58	12914.83	12914.83	0.00	18.10	1156518.84	1156518.84	110794.87	1045723.96
5+300.000	403.53	11051.37	11051.37	0.00	0.00	1167570.20	1167570.20	110794.87	1056775.33
5+325.000	386.26	9872.41	9872.41	0.00	0.05	1177442.61	1177442.61	110794.92	1066647.69
5+350.000	436.90	10289.55	10289.55	0.00	0.05	1187732.16	1187732.16	110794.97	1076937.19
5+375.000	350.16	9838.34	9838.34	0.00	0.00	1197570.49	1197570.49	110794.97	1086775.53
5+400.000	199.32	6868.57	6868.57	0.00	0.00	1204439.06	1204439.06	110794.97	1093644.10
5+425.000	93.46	3659.76	3659.76	0.00	0.00	1208098.83	1208098.83	110794.97	1097303.86
5+450.000	42.54	1700.01	1700.01	10.53	131.59	1209798.83	1209798.83	110926.56	1098872.27
5+475.000	23.16	821.33	821.33	28.69	490.27	1210620.16	1210620.16	111416.83	1099203.34
5+500.000	16.81	499.66	499.66	40.85	869.25	1211119.83	1211119.83	112286.08	1098833.75
5+525.000	15.70	406.38	406.38	41.53	1029.69	1211526.21	1211526.21	113315.77	1098210.44
5+550.000	16.22	398.98	398.98	40.64	1027.09	1211925.19	1211925.19	114342.86	1097582.32

5+575.000	15.68	398.72	398.72	40.38	1012.77	1212323.90	1212323.90	115355.63	1096968.27
5+600.000	12.34	350.31	350.31	46.88	1090.84	1212674.21	1212674.21	116446.47	1096227.74
5+625.000	9.99	279.18	279.18	51.22	1226.33	1212953.39	1212953.39	117672.80	1095280.59
5+650.000	8.54	231.68	231.68	55.15	1329.71	1213185.07	1213185.07	119002.51	1094182.56
5+675.000	2.09	132.87	132.87	91.43	1832.36	1213317.94	1213317.94	120834.87	1092483.07
5+700.000	1.08	39.60	39.60	139.24	2883.44	1213357.54	1213357.54	123718.31	1089639.23
5+725.000	1.00	26.00	26.00	151.09	3629.18	1213383.54	1213383.54	127347.49	1086036.05
5+750.000	1.00	25.00	25.00	158.19	3866.02	1213408.54	1213408.54	131213.51	1082195.03
5+775.000	0.83	22.94	22.94	172.06	4128.06	1213431.47	1213431.47	135341.57	1078089.91
5+800.000	0.87	21.29	21.29	216.39	4855.55	1213452.76	1213452.76	140197.11	1073255.65
5+825.000	0.37	15.48	15.48	291.39	6347.25	1213468.25	1213468.25	146544.36	1066923.88
5+850.000	0.27	7.95	7.95	381.75	8414.29	1213476.20	1213476.20	154958.66	1058517.54
5+875.000	14.57	185.42	185.42	432.67	10180.25	1213661.61	1213661.61	165138.90	1048522.71
5+900.000	8.93	293.66	293.66	423.48	10701.83	1213955.27	1213955.27	175840.73	1038114.54
5+925.000	0.38	116.34	116.34	388.16	10145.47	1214071.61	1214071.61	185986.20	1028085.41
5+950.000	0.53	11.41	11.41	316.22	8804.70	1214083.02	1214083.02	194790.90	1019292.12
5+975.000	0.58	13.93	13.93	280.48	7458.69	1214096.95	1214096.95	202249.60	1011847.36
6+000.000	0.71	16.21	16.21	299.01	7243.57	1214113.16	1214113.16	209493.17	1004619.99
6+025.000	0.66	17.14	17.14	337.76	7959.54	1214130.30	1214130.30	217452.70	996677.60
6+050.000	0.39	13.08	13.08	379.84	8969.91	1214143.39	1214143.39	226422.61	987720.78
6+075.000	1.82	27.64	27.64	337.56	8967.42	1214171.03	1214171.03	235390.03	978781.00
6+100.000	0.94	34.55	34.55	248.58	7326.71	1214205.57	1214205.57	242716.73	971488.84
6+125.000	0.44	17.34	17.34	236.51	6063.56	1214222.91	1214222.91	248780.30	965442.61
6+150.000	0.34	9.83	9.83	172.91	5117.70	1214232.74	1214232.74	253898.00	960334.74
6+175.000	1.49	22.93	22.93	75.71	3107.73	1214255.67	1214255.67	257005.73	957249.94
6+200.000	12.86	179.42	179.42	71.63	1841.76	1214435.09	1214435.09	258847.49	955587.60
6+225.000	11.24	301.30	301.30	75.63	1840.83	1214736.39	1214736.39	260688.31	954048.08
6+250.000	25.05	453.62	453.62	50.54	1577.15	1215190.01	1215190.01	262265.46	952924.55
6+275.000	48.47	918.98	918.98	12.26	784.98	1216108.99	1216108.99	263050.44	953058.55
6+300.000	54.76	1290.39	1290.39	9.04	266.20	1217399.38	1217399.38	263316.64	954082.74
6+325.000	62.63	1467.41	1467.41	6.14	189.67	1218866.79	1218866.79	263506.31	955360.49
6+350.000	70.26	1661.14	1661.14	3.90	125.41	1220527.94	1220527.94	263631.72	956896.22
6+375.000	78.36	1857.68	1857.68	2.21	76.31	1222385.61	1222385.61	263708.03	958677.58
6+400.000	86.97	2066.52	2066.52	1.05	40.81	1224452.13	1224452.13	263748.84	960703.30
6+425.000	99.22	2327.34	2327.34	0.52	19.71	1226779.48	1226779.48	263768.55	963010.93
6+450.000	101.05	2503.36	2503.36	0.48	12.51	1229282.83	1229282.83	263781.05	965501.78
6+475.000	103.31	2554.50	2554.50	0.21	8.56	1231837.33	1231837.33	263789.62	968047.72
6+500.000	113.10	2705.15	2705.15	0.17	4.73	1234542.48	1234542.48	263794.35	970748.13
6+525.000	119.34	2905.50	2905.50	0.05	2.73	1237447.98	1237447.98	263797.08	973650.90

6+550.000	117.80	2964.26	2964.26	0.00	0.58	1240412.24	1240412.24	263797.66	976614.58
6+575.000	123.71	3018.82	3018.82	0.00	0.00	1243431.06	1243431.06	263797.66	979633.40
6+600.000	133.24	3211.86	3211.86	0.00	0.00	1246642.92	1246642.92	263797.66	982845.26
6+625.000	118.77	3150.12	3150.12	0.00	0.01	1249793.03	1249793.03	263797.66	985995.37
6+650.000	104.94	2796.29	2796.29	0.04	0.54	1252589.32	1252589.32	263798.20	988791.12
6+675.000	147.28	3152.74	3152.74	0.00	0.54	1255742.06	1255742.06	263798.74	991943.32
6+700.000	189.85	4214.11	4214.11	0.00	0.01	1259956.18	1259956.18	263798.75	996157.42
6+725.000	125.84	3946.08	3946.08	0.00	0.02	1263902.26	1263902.26	263798.77	1000103.49
6+750.000	140.04	3323.55	3323.55	0.01	0.15	1267225.80	1267225.80	263798.92	1003426.89
6+775.000	193.64	4171.08	4171.08	0.00	0.14	1271396.88	1271396.88	263799.06	1007597.83
6+800.000	259.61	5665.72	5665.72	0.00	0.01	1277062.61	1277062.61	263799.07	1013263.54
6+825.000	331.44	7388.25	7388.25	0.00	0.00	1284450.85	1284450.85	263799.07	1020651.79
6+850.000	415.00	9330.54	9330.54	0.00	0.00	1293781.39	1293781.39	263799.07	1029982.33
6+875.000	421.96	10433.53	10433.53	0.00	0.00	1304214.92	1304214.92	263799.07	1040415.86
6+900.000	333.83	9395.81	9395.81	0.00	0.00	1313610.73	1313610.73	263799.07	1049811.66
6+925.000	213.96	6797.51	6797.51	0.00	0.00	1320408.24	1320408.24	263799.07	1056609.17
6+950.000	182.77	4921.44	4921.44	0.07	0.89	1325329.68	1325329.68	263799.96	1061529.72
6+975.000	343.26	6543.29	6543.29	0.00	0.89	1331872.97	1331872.97	263800.85	1068072.12
7+000.000	580.14	11497.62	11497.62	4.94	63.86	1343370.58	1343370.58	263864.70	1079505.88
7+025.000	594.77	14595.22	14595.22	5.06	129.12	1357965.80	1357965.80	263993.82	1093971.98
7+050.000	512.05	13713.32	13713.32	0.18	67.59	1371679.12	1371679.12	264061.41	1107617.71
7+075.000	471.03	12174.32	12174.32	0.00	2.33	1383853.44	1383853.44	264063.74	1119789.70
7+100.000	512.76	12196.20	12196.20	0.00	0.00	1396049.63	1396049.63	264063.74	1131985.90
7+125.000	547.06	13152.03	13152.03	0.00	0.00	1409201.67	1409201.67	264063.74	1145137.93
7+150.000	509.30	13112.43	13112.43	0.00	0.00	1422314.10	1422314.10	264063.74	1158250.36
7+175.000	461.44	12058.10	12058.10	0.00	0.00	1434372.20	1434372.20	264063.74	1170308.47
7+200.000	319.54	9718.27	9718.27	0.00	0.00	1444090.47	1444090.47	264063.74	1180026.74
7+225.000	182.08	6248.98	6248.98	0.02	0.19	1450339.46	1450339.46	264063.93	1186275.53
7+250.000	78.58	3241.47	3241.47	0.00	0.19	1453580.92	1453580.92	264064.12	1189516.80
7+275.000	61.88	1734.62	1734.62	29.13	368.96	1455315.55	1455315.55	264433.08	1190882.47
7+300.000	83.92	1792.65	1792.65	41.67	898.88	1457108.20	1457108.20	265331.96	1191776.24
7+325.000	171.49	3144.43	3144.43	1.36	547.27	1460252.63	1460252.63	265879.23	1194373.40
7+350.000	294.01	5748.87	5748.87	0.00	17.35	1466001.50	1466001.50	265896.58	1200104.92
7+375.000	53.34	4294.81	4294.81	0.87	11.10	1470296.31	1470296.31	265907.68	1204388.64
7+400.000	0.00	658.39	658.39	86.42	1093.06	1470954.70	1470954.70	267000.74	1203953.97
7+425.000	0.00	0.00	0.00	197.45	3551.79	1470954.70	1470954.70	270552.53	1200402.17
7+450.000	0.00	0.00	0.00	311.26	6363.12	1470954.70	1470954.70	276915.65	1194039.05
7+475.000	0.00	0.00	0.00	421.62	9166.50	1470954.70	1470954.70	286082.15	1184872.55
7+500.000	0.00	0.00	0.00	534.10	11953.96	1470954.70	1470954.70	298036.11	1172918.59

7+525.000	0.00	0.00	0.00	630.56	14566.56	1470954.70	1470954.70	312602.67	1158352.03
7+550.000	0.00	0.00	0.00	672.73	16292.74	1470954.70	1470954.70	328895.40	1142059.30
7+575.000	0.00	0.00	0.00	567.36	15491.39	1470954.70	1470954.70	344386.80	1126567.91
7+600.000	0.00	0.00	0.00	376.40	11781.86	1470954.70	1470954.70	356168.66	1114786.04
7+625.000	0.00	0.00	0.00	190.50	7070.77	1470954.70	1470954.70	363239.43	1107715.27
7+650.000	47.79	607.00	607.00	545.75	8937.31	1471561.71	1471561.71	372176.74	1099384.97
7+675.000	108.74	1997.62	1997.62	476.96	12315.53	1473559.33	1473559.33	384492.27	1089067.06
7+700.000	123.79	2974.39	2974.39	409.44	10705.66	1476533.72	1476533.72	395197.92	1081335.80
7+725.000	132.99	3285.74	3285.74	212.65	7550.08	1479819.46	1479819.46	402748.01	1077071.46
7+750.000	150.31	3611.45	3611.45	59.35	3332.62	1483430.91	1483430.91	406080.63	1077350.28
7+775.000	266.07	5269.85	5269.85	7.69	827.03	1488700.76	1488700.76	406907.66	1081793.10
7+800.000	341.00	7588.30	7588.30	0.00	96.15	1496289.06	1496289.06	407003.81	1089285.25
7+825.000	242.38	7292.23	7292.23	0.00	0.00	1503581.29	1503581.29	407003.81	1096577.48
7+850.000	151.83	4927.62	4927.62	0.84	10.55	1508508.91	1508508.91	407014.36	1101494.55
7+875.000	137.12	3611.81	3611.81	0.00	10.55	1512120.71	1512120.71	407024.91	1105095.80
7+900.000	73.94	2638.18	2638.18	0.12	1.46	1514758.89	1514758.89	407026.37	1107732.52
7+925.000	0.00	924.20	924.20	128.39	1606.31	1515683.09	1515683.09	408632.68	1107050.41
7+950.000	0.00	0.00	0.00	334.74	5789.08	1515683.09	1515683.09	414421.76	1101261.33
7+975.000	0.00	0.00	0.00	489.80	10306.71	1515683.09	1515683.09	424728.47	1090954.62
8+000.000	0.00	0.00	0.00	425.00	11434.96	1515683.09	1515683.09	436163.43	1079519.66
8+025.000	0.00	0.00	0.00	387.72	10159.04	1515683.09	1515683.09	446322.47	1069360.62
8+050.000	0.00	0.00	0.00	384.22	9649.27	1515683.09	1515683.09	455971.74	1059711.35
8+075.000	0.00	0.00	0.00	269.75	8174.59	1515683.09	1515683.09	464146.33	1051536.76
8+100.000	0.00	0.00	0.00	98.79	4606.78	1515683.09	1515683.09	468753.12	1046929.97
8+125.000	94.67	1183.43	1183.43	0.02	1235.20	1516866.52	1516866.52	469988.32	1046878.20
8+150.000	422.60	6465.93	6465.93	0.27	3.69	1523332.44	1523332.44	469992.01	1053340.44
8+175.000	1108.48	19138.56	19138.56	0.00	3.40	1542471.00	1542471.00	469995.41	1072475.59
8+200.000	1567.25	33446.73	33446.73	3.78	47.31	1575917.73	1575917.73	470042.72	1105875.01
8+225.000	1112.74	33499.87	33499.87	0.03	47.69	1609417.60	1609417.60	470090.41	1139327.19
8+250.000	558.50	20890.44	20890.44	0.00	0.38	1630308.04	1630308.04	470090.79	1160217.25
8+275.000	128.32	8585.25	8585.25	1.41	17.56	1638893.29	1638893.29	470108.36	1168784.94
8+300.000	0.00	1604.02	1604.02	148.13	1869.24	1640497.31	1640497.31	471977.59	1168519.72
8+325.000	0.00	0.00	0.00	346.83	6187.08	1640497.31	1640497.31	478164.67	1162332.64
8+350.000	0.00	0.00	0.00	473.36	10252.39	1640497.31	1640497.31	488417.06	1152080.25
8+375.000	0.00	0.00	0.00	614.14	13593.75	1640497.31	1640497.31	502010.82	1138486.50
8+400.000	0.00	0.00	0.00	760.21	17179.44	1640497.31	1640497.31	519190.26	1121307.05
8+425.000	0.00	0.00	0.00	891.84	20650.65	1640497.31	1640497.31	539840.91	1100656.40
8+450.000	0.00	0.00	0.00	925.52	22716.94	1640497.31	1640497.31	562557.85	1077939.46
8+475.000	0.00	0.00	0.00	825.13	21883.09	1640497.31	1640497.31	584440.94	1056056.37

8+500.000	0.00	0.00	0.00	682.79	18849.05	1640497.31	1640497.31	603289.99	1037207.32
8+525.000	0.00	0.00	0.00	483.89	14583.57	1640497.31	1640497.31	617873.56	1022623.75
8+550.000	0.00	0.00	0.00	282.23	9576.58	1640497.31	1640497.31	627450.14	1013047.17
8+575.000	0.00	0.00	0.00	157.40	5495.47	1640497.31	1640497.31	632945.60	1007551.71
8+600.000	1.77	22.15	22.15	34.34	2396.80	1640519.46	1640519.46	635342.40	1005177.06
8+625.000	115.18	1461.90	1461.90	0.00	429.28	1641981.36	1641981.36	635771.68	1006209.68
8+650.000	298.38	5169.47	5169.47	0.00	0.03	1647150.83	1647150.83	635771.71	1011379.12
8+675.000	537.76	10451.66	10451.66	0.00	0.03	1657602.49	1657602.49	635771.75	1021830.74
8+700.000	752.03	16122.31	16122.31	3.62	45.26	1673724.80	1673724.80	635817.01	1037907.79
8+725.000	983.02	21688.10	21688.10	0.00	45.24	1695412.90	1695412.90	635862.25	1059550.65
8+750.000	1168.66	26895.95	26895.95	0.00	0.00	1722308.85	1722308.85	635862.25	1086446.60
8+775.000	1341.50	31376.99	31376.99	0.00	0.00	1753685.85	1753685.85	635862.25	1117823.60
8+800.000	1538.73	36002.93	36002.93	0.00	0.00	1789688.78	1789688.78	635862.25	1153826.53
8+825.000	1651.21	39874.28	39874.28	0.00	0.00	1829563.06	1829563.06	635862.25	1193700.81
8+850.000	1220.84	35480.09	35480.09	0.00	0.00	1865043.16	1865043.16	635862.25	1229180.90
8+875.000	837.63	25328.85	25328.85	3.14	40.68	1890372.01	1890372.01	635902.93	1254469.08
8+900.000	574.39	17367.94	17367.94	0.00	40.72	1907739.94	1907739.94	635943.64	1271796.30
8+925.000	404.72	12037.73	12037.73	0.00	0.00	1919777.68	1919777.68	635943.64	1283834.03
8+950.000	254.21	8104.44	8104.44	0.16	1.98	1927882.11	1927882.11	635945.63	1291936.48
8+975.000	151.58	4994.30	4994.30	4.69	61.66	1932876.41	1932876.41	636007.29	1296869.12
9+000.000	88.42	2951.46	2951.46	16.27	266.21	1935827.87	1935827.87	636273.50	1299554.37
9+025.000	42.40	1607.85	1607.85	33.76	634.79	1937435.72	1937435.72	636908.29	1300527.42
9+050.000	1.38	538.20	538.20	53.08	1099.22	1937973.91	1937973.91	638007.51	1299966.40
9+075.000	0.23	19.82	19.82	77.59	1649.80	1937993.73	1937993.73	639657.31	1298336.43
9+100.000	0.42	8.07	8.07	99.15	2228.76	1938001.80	1938001.80	641886.07	1296115.74
9+125.000	0.68	13.59	13.59	113.74	2683.14	1938015.40	1938015.40	644569.20	1293446.19
9+150.000	0.84	18.83	18.83	124.83	3005.91	1938034.23	1938034.23	647575.12	1290459.11
9+175.000	0.98	22.67	22.67	117.77	3053.83	1938056.90	1938056.90	650628.94	1287427.95
9+200.000	1.12	26.19	26.19	80.66	2495.59	1938083.09	1938083.09	653124.54	1284958.55
9+225.000	153.69	1931.74	1931.74	0.00	1014.45	1940014.83	1940014.83	654138.99	1285875.84
9+250.000	259.27	5140.16	5140.16	0.00	0.00	1945154.99	1945154.99	654138.99	1291016.01
9+275.000	163.93	5255.44	5255.44	0.00	0.00	1950410.43	1950410.43	654138.99	1296271.45
9+300.000	60.87	2785.20	2785.20	0.97	12.38	1953195.64	1953195.64	654151.36	1299044.27
9+325.000	0.96	764.04	764.04	91.36	1165.36	1953959.67	1953959.67	655316.72	1298642.95
9+350.000	0.00	11.90	11.90	396.19	6158.61	1953971.58	1953971.58	661475.33	1292496.25
9+375.000	0.75	9.12	9.12	301.75	8809.59	1953980.69	1953980.69	670284.93	1283695.77
9+400.000	2.30	37.55	37.55	77.90	4782.89	1954018.24	1954018.24	675067.82	1278950.42
9+425.000	110.63	1407.04	1407.04	0.00	978.93	1955425.28	1955425.28	676046.75	1279378.53
9+450.000	290.43	4999.05	4999.05	0.00	0.05	1960424.33	1960424.33	676046.81	1284377.53

9+475.000	507.57	9945.02	9945.02	0.00	0.05	1970369.36	1970369.36	676046.86	1294322.49
9+500.000	758.33	15772.56	15772.56	0.00	0.00	1986141.92	1986141.92	676046.86	1310095.06
9+525.000	896.80	20550.02	20550.02	0.00	0.05	2006691.94	2006691.94	676046.91	1330645.03
9+550.000	939.90	22687.07	22687.07	0.00	0.05	2029379.01	2029379.01	676046.95	1353332.05
9+575.000	1031.98	24286.91	24286.91	0.02	0.19	2053665.92	2053665.92	676047.14	1377618.77
9+600.000	1176.24	27174.20	27174.20	0.00	0.19	2080840.12	2080840.12	676047.33	1404792.78
9+625.000	1309.13	30587.62	30587.62	0.01	0.07	2111427.74	2111427.74	676047.40	1435380.34
9+650.000	1399.60	33352.74	33352.74	0.69	9.08	2144780.48	2144780.48	676056.48	1468724.00
9+675.000	1547.58	36284.47	36284.47	0.75	18.89	2181064.95	2181064.95	676075.38	1504989.57
9+700.000	1718.87	40165.97	40165.97	1.29	26.83	2221230.93	2221230.93	676102.21	1545128.72
9+725.000	1490.70	39501.56	39501.56	3.21	59.03	2260732.48	2260732.48	676161.24	1584571.24
9+750.000	1152.83	32660.06	32660.06	0.00	42.08	2293392.54	2293392.54	676203.32	1617189.22
9+775.000	790.75	24127.90	24127.90	0.00	0.00	2317520.44	2317520.44	676203.32	1641317.12
9+800.000	516.36	16285.14	16285.14	4.67	59.79	2333805.58	2333805.58	676263.11	1657542.47
9+825.000	331.15	10593.89	10593.89	0.12	59.87	2344399.47	2344399.47	676322.98	1668076.49
9+850.000	313.89	8062.97	8062.97	0.00	1.51	2352462.44	2352462.44	676324.49	1676137.95
9+875.000	232.84	6834.04	6834.04	0.00	0.00	2359296.48	2359296.48	676324.49	1682971.99
9+900.000	124.28	4463.91	4463.91	0.00	0.00	2363760.39	2363760.39	676324.49	1687435.90
9+925.000	169.98	3678.14	3678.14	0.00	0.00	2367438.53	2367438.53	676324.49	1691114.04
9+950.000	241.71	5146.12	5146.12	0.00	0.00	2372584.66	2372584.66	676324.49	1696260.16
9+975.000	178.06	5247.22	5247.22	0.00	0.00	2377831.87	2377831.87	676324.49	1701507.38
10+000.000	16.84	2436.25	2436.25	4.35	54.40	2380268.12	2380268.12	676378.89	1703889.23
10+025.000	0.38	215.17	215.17	114.04	1479.90	2380483.30	2380483.30	677858.79	1702624.50
10+050.000	0.11	6.08	6.08	302.60	5208.06	2380489.37	2380489.37	683066.85	1697422.52
10+075.000	3.51	45.24	45.24	422.03	9057.99	2380534.61	2380534.61	692124.85	1688409.77
10+100.000	0.94	55.65	55.65	358.85	9761.06	2380590.27	2380590.27	701885.90	1678704.36
10+125.000	0.66	20.05	20.05	300.86	8246.34	2380610.32	2380610.32	710132.24	1670478.07
10+150.000	0.30	12.09	12.09	244.51	6817.06	2380622.40	2380622.40	716949.30	1663673.10
10+175.000	0.57	10.89	10.89	181.26	5322.05	2380633.29	2380633.29	722271.36	1658361.94
10+200.000	0.90	18.29	18.29	119.86	3763.99	2380651.58	2380651.58	726035.35	1654616.23
10+225.000	0.65	19.28	19.28	70.69	2381.87	2380670.86	2380670.86	728417.22	1652253.64
10+250.000	4.50	64.30	64.30	30.08	1259.58	2380735.17	2380735.17	729676.80	1651058.36
10+275.000	38.85	541.86	541.86	1.53	395.14	2381277.02	2381277.02	730071.94	1651205.09
10+300.000	89.35	1602.55	1602.55	0.34	23.38	2382879.58	2382879.58	730095.32	1652784.26
10+325.000	46.47	1697.84	1697.84	0.09	5.38	2384577.42	2384577.42	730100.69	1654476.73
10+350.000	5.01	643.56	643.56	17.09	214.81	2385220.98	2385220.98	730315.50	1654905.48
10+375.000	0.80	72.62	72.62	51.73	860.24	2385293.60	2385293.60	731175.74	1654117.86
10+400.000	1.10	23.74	23.74	98.46	1877.34	2385317.34	2385317.34	733053.08	1652264.26
10+425.000	1.08	27.31	27.31	124.44	2786.31	2385344.65	2385344.65	735839.39	1649505.26

10+450.000	0.72	22.60	22.60	123.23	3095.96	2385367.25	2385367.25	738935.36	1646431.89
10+475.000	10.70	142.76	142.76	95.07	2728.79	2385510.01	2385510.01	741664.15	1643845.86
10+500.000	46.40	713.70	713.70	47.86	1786.61	2386223.71	2386223.71	743450.76	1642772.95
10+525.000	57.43	1297.84	1297.84	47.66	1193.98	2387521.55	2387521.55	744644.74	1642876.81
10+550.000	33.15	1132.28	1132.28	65.68	1416.74	2388653.83	2388653.83	746061.47	1642592.36
10+575.000	20.81	674.48	674.48	81.73	1842.66	2389328.31	2389328.31	747904.13	1641424.18
10+600.000	22.84	545.54	545.54	56.37	1726.25	2389873.85	2389873.85	749630.38	1640243.47
10+625.000	50.18	912.71	912.71	2.16	731.61	2390786.56	2390786.56	750361.99	1640424.57
10+629.882	65.67	282.76	282.76	0.44	6.36	2391069.32	2391069.32	750368.35	1640700.97

VOLUME DES MATERIAUX

Matériau	Volume cumulé
BB	22880
GB1	34320
GB2	37180
GNT	207900

ANNEXE 3 : ASSAINISSEMENT

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,0021	0,189	0,033	0,0600	0,548	0,166	0,1179	0,670	0,232	0,1758	0,750	0,283	0,2337	0,814	0,329	0,2916	0,866	0,370
0,0031	0,219	0,040	0,0611	0,551	0,167	0,1190	0,672	0,233	0,1769	0,752	0,284	0,2348	0,815	0,329	0,2927	0,867	0,371
0,0042	0,249	0,048	0,0621	0,554	0,169	0,1200	0,674	0,234	0,1779	0,753	0,285	0,2359	0,816	0,330	0,2938	0,867	0,371
0,0053	0,266	0,053	0,0632	0,557	0,170	0,1211	0,676	0,235	0,1790	0,755	0,286	0,2369	0,817	0,331	0,2948	0,868	0,372
0,0064	0,278	0,057	0,0643	0,560	0,172	0,1222	0,677	0,236	0,1801	0,756	0,287	0,2380	0,818	0,332	0,2959	0,869	0,373
0,0074	0,290	0,061	0,0653	0,563	0,173	0,1233	0,679	0,237	0,1812	0,757	0,288	0,2391	0,819	0,333	0,2970	0,870	0,373
0,0085	0,302	0,065	0,0664	0,566	0,175	0,1243	0,681	0,238	0,1822	0,759	0,289	0,2401	0,820	0,333	0,2981	0,871	0,374
0,0096	0,315	0,069	0,0675	0,569	0,176	0,1254	0,682	0,239	0,1833	0,760	0,290	0,2412	0,821	0,334	0,2991	0,872	0,375
0,0107	0,327	0,073	0,0686	0,571	0,177	0,1265	0,684	0,240	0,1844	0,762	0,290	0,2423	0,822	0,335	0,3002	0,873	0,376
0,0117	0,337	0,076	0,0696	0,574	0,179	0,1275	0,686	0,241	0,1855	0,763	0,291	0,2434	0,823	0,336	0,3013	0,874	0,376
0,0128	0,344	0,079	0,0707	0,576	0,180	0,1286	0,687	0,242	0,1865	0,764	0,292	0,2444	0,824	0,337	0,3023	0,874	0,377
0,0139	0,352	0,082	0,0718	0,579	0,181	0,1297	0,689	0,243	0,1876	0,766	0,293	0,2455	0,825	0,337	0,3034	0,875	0,378
0,0149	0,360	0,085	0,0729	0,582	0,183	0,1308	0,691	0,244	0,1887	0,767	0,294	0,2466	0,826	0,338	0,3045	0,876	0,378
0,0160	0,367	0,088	0,0739	0,584	0,184	0,1318	0,692	0,245	0,1897	0,768	0,295	0,2477	0,828	0,339	0,3056	0,877	0,379
0,0171	0,375	0,090	0,0750	0,587	0,185	0,1329	0,694	0,246	0,1908	0,770	0,296	0,2487	0,829	0,340	0,3066	0,878	0,380
0,0182	0,382	0,093	0,0761	0,589	0,187	0,1340	0,696	0,247	0,1919	0,771	0,297	0,2498	0,830	0,341	0,3077	0,879	0,381
0,0192	0,390	0,096	0,0771	0,592	0,188	0,1351	0,698	0,248	0,1930	0,773	0,298	0,2509	0,831	0,341	0,3088	0,880	0,381
0,0203	0,397	0,099	0,0782	0,594	0,189	0,1361	0,699	0,250	0,1940	0,774	0,299	0,2519	0,832	0,342	0,3099	0,881	0,382
0,0214	0,404	0,101	0,0793	0,597	0,190	0,1372	0,701	0,251	0,1951	0,775	0,300	0,2530	0,833	0,343	0,3109	0,881	0,383
0,0224	0,409	0,103	0,0804	0,599	0,192	0,1383	0,702	0,251	0,1962	0,777	0,300	0,2541	0,834	0,344	0,3120	0,882	0,384
0,0235	0,415	0,105	0,0814	0,602	0,193	0,1393	0,704	0,252	0,1972	0,778	0,301	0,2552	0,835	0,345	0,3131	0,883	0,384
0,0246	0,420	0,108	0,0825	0,604	0,194	0,1404	0,705	0,253	0,1983	0,779	0,302	0,2562	0,836	0,345	0,3141	0,884	0,385
0,0257	0,425	0,110	0,0836	0,607	0,196	0,1415	0,706	0,254	0,1994	0,780	0,303	0,2573	0,837	0,346	0,3152	0,885	0,386
0,0267	0,431	0,112	0,0846	0,609	0,197	0,1426	0,708	0,255	0,2005	0,781	0,304	0,2584	0,838	0,347	0,3163	0,886	0,386
0,0278	0,436	0,114	0,0857	0,612	0,198	0,1436	0,709	0,256	0,2015	0,782	0,304	0,2594	0,839	0,348	0,3174	0,887	0,387
0,0289	0,441	0,116	0,0868	0,615	0,200	0,1447	0,710	0,257	0,2026	0,783	0,305	0,2605	0,840	0,349	0,3184	0,887	0,388
0,0300	0,447	0,118	0,0879	0,617	0,201	0,1458	0,712	0,258	0,2037	0,784	0,306	0,2616	0,841	0,349	0,3195	0,888	0,389
0,0310	0,452	0,120	0,0889	0,619	0,202	0,1468	0,713	0,259	0,2048	0,785	0,307	0,2627	0,842	0,350	0,3206	0,889	0,389
0,0321	0,457	0,122	0,0900	0,621	0,203	0,1479	0,715	0,260	0,2058	0,786	0,308	0,2637	0,843	0,351	0,3216	0,890	0,390
0,0332	0,463	0,125	0,0911	0,623	0,204	0,1490	0,716	0,261	0,2069	0,787	0,308	0,2648	0,844	0,352	0,3227	0,891	0,391
0,0342	0,467	0,126	0,0922	0,625	0,205	0,1501	0,717	0,261	0,2080	0,788	0,309	0,2659	0,845	0,352	0,3238	0,892	0,391
0,0353	0,471	0,128	0,0932	0,627	0,206	0,1511	0,719	0,262	0,2090	0,789	0,310	0,2670	0,846	0,353	0,3249	0,893	0,392
0,0364	0,474	0,130	0,0943	0,629	0,208	0,1522	0,720	0,263	0,2101	0,790	0,311	0,2680	0,847	0,354	0,3259	0,894	0,393
0,0375	0,478	0,132	0,0954	0,631	0,209	0,1533	0,721	0,264	0,2112	0,791	0,312	0,2691	0,848	0,355	0,3270	0,894	0,394
0,0385	0,481	0,133	0,0964	0,632	0,210	0,1544	0,723	0,265	0,2123	0,792	0,312	0,2702	0,848	0,355	0,3281	0,895	0,394
0,0396	0,485	0,135	0,0975	0,634	0,211	0,1554	0,724	0,266	0,2133	0,794	0,313	0,2712	0,849	0,356	0,3292	0,896	0,395
0,0407	0,489	0,137	0,0986	0,636	0,212	0,1565	0,726	0,267	0,2144	0,795	0,314	0,2723	0,850	0,357	0,3302	0,897	0,396
0,0418	0,492	0,139	0,0997	0,638	0,213	0,1576	0,727	0,268	0,2155	0,796	0,315	0,2734	0,851	0,357	0,3313	0,898	0,397
0,0428	0,496	0,140	0,1007	0,640	0,214	0,1586	0,728	0,269	0,2166	0,797	0,316	0,2745	0,852	0,358	0,3324	0,899	0,397
0,0439	0,500	0,142	0,1018	0,642	0,215	0,1597	0,730	0,270	0,2176	0,798	0,317	0,2755	0,853	0,359	0,3334	0,900	0,398
0,0450	0,503	0,144	0,1029	0,644	0,216	0,1608	0,731	0,270	0,2187	0,799	0,317	0,2766	0,854	0,360	0,3345	0,900	0,399
0,0460	0,507	0,146	0,1040	0,646	0,217	0,1619	0,733	0,271	0,2198	0,800	0,318	0,2777	0,854	0,360	0,3356	0,901	0,399

0,0471	0,511	0,147	0,1050	0,648	0,219	0,1629	0,734	0,272	0,2208	0,801	0,319	0,2788	0,855	0,361	0,3367	0,902	0,400
0,0482	0,514	0,149	0,1061	0,650	0,220	0,1640	0,735	0,273	0,2219	0,802	0,320	0,2798	0,856	0,362	0,3377	0,903	0,401
0,0493	0,518	0,151	0,1072	0,652	0,221	0,1651	0,737	0,274	0,2230	0,803	0,321	0,2809	0,857	0,363	0,3388	0,904	0,401
0,0503	0,521	0,152	0,1082	0,654	0,222	0,1661	0,738	0,275	0,2241	0,804	0,321	0,2820	0,858	0,363	0,3399	0,904	0,402
0,0514	0,524	0,154	0,1093	0,656	0,223	0,1672	0,739	0,276	0,2251	0,805	0,322	0,2830	0,859	0,364	0,3410	0,905	0,403
0,0525	0,527	0,155	0,1104	0,658	0,224	0,1683	0,741	0,277	0,2262	0,806	0,323	0,2841	0,860	0,365	0,3420	0,906	0,403
0,0535	0,530	0,157	0,1115	0,660	0,225	0,1694	0,742	0,278	0,2273	0,807	0,324	0,2852	0,861	0,365	0,3431	0,906	0,404
0,0546	0,533	0,158	0,1125	0,662	0,226	0,1704	0,744	0,279	0,2283	0,808	0,325	0,2863	0,861	0,366	0,3442	0,907	0,405
0,0557	0,536	0,160	0,1136	0,664	0,227	0,1715	0,745	0,280	0,2294	0,809	0,325	0,2873	0,862	0,367	0,3452	0,908	0,405
0,0568	0,539	0,161	0,1147	0,665	0,228	0,1726	0,746	0,280	0,2305	0,811	0,326	0,2884	0,863	0,368	0,3463	0,909	0,406
0,0578	0,542	0,163	0,1157	0,667	0,229	0,1737	0,748	0,281	0,2316	0,812	0,327	0,2895	0,864	0,368	0,3474	0,909	0,407
0,0589	0,545	0,164	0,1168	0,669	0,230	0,1747	0,749	0,282	0,2326	0,813	0,328	0,2905	0,865	0,369	0,3485	0,910	0,407
Rq	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**
0,3495	0,911	0,408	0,4074	0,949	0,444	0,4653	0,981	0,479	0,5233	1,010	0,514	0,5812	1,036	0,548	0,6391	1,059	0,581
0,3506	0,911	0,409	0,4085	0,949	0,445	0,4664	0,982	0,480	0,5243	1,011	0,514	0,5822	1,037	0,548	0,6402	1,059	0,582
0,3517	0,912	0,409	0,4096	0,950	0,445	0,4675	0,982	0,481	0,5254	1,011	0,515	0,5833	1,037	0,549	0,6412	1,059	0,583
0,3527	0,913	0,410	0,4107	0,951	0,446	0,4686	0,983	0,481	0,5265	1,012	0,516	0,5844	1,038	0,549	0,6423	1,060	0,583
0,3538	0,913	0,411	0,4117	0,952	0,447	0,4696	0,984	0,482	0,5275	1,012	0,516	0,5855	1,038	0,550	0,6434	1,060	0,584
0,3549	0,914	0,411	0,4128	0,952	0,447	0,4707	0,984	0,482	0,5286	1,013	0,517	0,5865	1,038	0,551	0,6444	1,061	0,584
0,3560	0,915	0,412	0,4139	0,953	0,448	0,4718	0,985	0,483	0,5297	1,013	0,518	0,5876	1,039	0,551	0,6455	1,061	0,585
0,3570	0,916	0,413	0,4149	0,954	0,449	0,4729	0,985	0,484	0,5308	1,014	0,518	0,5887	1,039	0,552	0,6466	1,062	0,586
0,3581	0,916	0,413	0,4160	0,954	0,449	0,4739	0,986	0,484	0,5318	1,014	0,519	0,5897	1,040	0,553	0,6477	1,062	0,586
0,3592	0,917	0,414	0,4171	0,955	0,450	0,4750	0,987	0,485	0,5329	1,015	0,519	0,5908	1,040	0,553	0,6487	1,062	0,587
0,3603	0,918	0,415	0,4182	0,956	0,451	0,4761	0,987	0,486	0,5340	1,015	0,520	0,5919	1,041	0,554	0,6498	1,063	0,588
0,3613	0,918	0,415	0,4192	0,956	0,451	0,4771	0,988	0,486	0,5351	1,016	0,521	0,5930	1,041	0,554	0,6509	1,063	0,588
0,3624	0,919	0,416	0,4203	0,957	0,452	0,4782	0,988	0,487	0,5361	1,016	0,521	0,5940	1,041	0,555	0,6519	1,064	0,589
0,3635	0,920	0,417	0,4214	0,957	0,453	0,4793	0,989	0,488	0,5372	1,017	0,522	0,5951	1,042	0,556	0,6530	1,064	0,589
0,3645	0,921	0,417	0,4225	0,958	0,453	0,4804	0,989	0,488	0,5383	1,017	0,523	0,5962	1,042	0,556	0,6541	1,064	0,590
0,3656	0,921	0,418	0,4235	0,959	0,454	0,4814	0,990	0,489	0,5393	1,018	0,523	0,5973	1,043	0,557	0,6552	1,065	0,591
0,3667	0,922	0,419	0,4246	0,959	0,455	0,4825	0,991	0,490	0,5404	1,018	0,524	0,5983	1,043	0,558	0,6562	1,065	0,591
0,3678	0,923	0,419	0,4257	0,960	0,455	0,4836	0,991	0,490	0,5415	1,019	0,524	0,5994	1,043	0,558	0,6573	1,066	0,592
0,3688	0,923	0,420	0,4267	0,960	0,456	0,4847	0,992	0,491	0,5426	1,019	0,525	0,6005	1,044	0,559	0,6584	1,066	0,592
0,3699	0,924	0,421	0,4278	0,961	0,457	0,4857	0,992	0,492	0,5436	1,020	0,526	0,6015	1,044	0,559	0,6595	1,066	0,593
0,3710	0,925	0,421	0,4289	0,962	0,457	0,4868	0,993	0,492	0,5447	1,020	0,526	0,6026	1,045	0,560	0,6605	1,067	0,594
0,3721	0,925	0,422	0,4300	0,962	0,458	0,4879	0,994	0,493	0,5458	1,020	0,527	0,6037	1,045	0,561	0,6616	1,067	0,594
0,3731	0,926	0,423	0,4310	0,963	0,459	0,4889	0,994	0,494	0,5469	1,021	0,528	0,6048	1,045	0,561	0,6627	1,068	0,595
0,3742	0,927	0,423	0,4321	0,963	0,459	0,4900	0,995	0,494	0,5479	1,021	0,528	0,6058	1,046	0,562	0,6637	1,068	0,596
0,3753	0,928	0,424	0,4332	0,964	0,460	0,4911	0,995	0,495	0,5490	1,022	0,529	0,6069	1,046	0,563	0,6648	1,069	0,596
0,3763	0,928	0,425	0,4342	0,964	0,460	0,4922	0,996	0,495	0,5501	1,022	0,529	0,6080	1,047	0,563	0,6659	1,069	0,597
0,3774	0,929	0,425	0,4353	0,965	0,461	0,4932	0,996	0,496	0,5511	1,023	0,530	0,6091	1,047	0,564	0,6670	1,069	0,597
0,3785	0,930	0,426	0,4364	0,966	0,462	0,4943	0,997	0,497	0,5522	1,023	0,531	0,6101	1,048	0,564	0,6680	1,070	0,598
0,3796	0,930	0,427	0,4375	0,966	0,462	0,4954	0,998	0,497	0,5533	1,024	0,531	0,6112	1,048	0,565	0,6691	1,070	0,599
0,3806	0,931	0,427	0,4385	0,967	0,463	0,4964	0,998	0,498	0,5544	1,024	0,532	0,6123	1,048	0,566	0,6702	1,071	0,599
0,3817	0,932	0,428	0,4396	0,967	0,464	0,4975	0,999	0,499	0,5554	1,025	0,533	0,6133	1,049	0,566	0,6713	1,071	0,600
0,3828	0,933	0,429	0,4407	0,968	0,464	0,4986	0,999	0,499	0,5565	1,025	0,533	0,6144	1,049	0,567	0,6723	1,071	0,601
0,3838	0,933	0,429	0,4418	0,969	0,465	0,4997	1,000	0,500	0,5576	1,026	0,534	0,6155	1,050	0,568	0,6734	1,072	0,601
0,3849	0,934	0,430	0,4428	0,969	0,466	0,5007	1,000	0,501	0,5586	1,026	0,534	0,6166	1,050	0,568	0,6745	1,072	0,602

0,3860	0,935	0,431	0,4439	0,970	0,466	0,5018	1,001	0,501	0,5597	1,027	0,535	0,6176	1,050	0,569	0,6755	1,072	0,603
0,3871	0,935	0,431	0,4450	0,970	0,467	0,5029	1,001	0,502	0,5608	1,027	0,536	0,6187	1,051	0,569	0,6766	1,073	0,603
0,3881	0,936	0,432	0,4460	0,971	0,468	0,5040	1,002	0,502	0,5619	1,028	0,536	0,6198	1,051	0,570	0,6777	1,073	0,604
0,3892	0,937	0,433	0,4471	0,971	0,468	0,5050	1,002	0,503	0,5629	1,028	0,537	0,6208	1,052	0,571	0,6788	1,073	0,604
0,3903	0,937	0,433	0,4482	0,972	0,469	0,5061	1,003	0,504	0,5640	1,029	0,538	0,6219	1,052	0,571	0,6798	1,074	0,605
0,3914	0,938	0,434	0,4493	0,973	0,470	0,5072	1,003	0,504	0,5651	1,029	0,538	0,6230	1,052	0,572	0,6809	1,074	0,606
0,3924	0,939	0,435	0,4503	0,973	0,470	0,5082	1,004	0,505	0,5662	1,030	0,539	0,6241	1,053	0,573	0,6820	1,075	0,606
0,3935	0,940	0,435	0,4514	0,974	0,471	0,5093	1,004	0,506	0,5672	1,030	0,539	0,6251	1,053	0,573	0,6830	1,075	0,607
0,3946	0,940	0,436	0,4525	0,974	0,471	0,5104	1,005	0,506	0,5683	1,030	0,540	0,6262	1,054	0,574	0,6841	1,075	0,608
0,3956	0,941	0,437	0,4536	0,975	0,472	0,5115	1,005	0,507	0,5694	1,031	0,541	0,6273	1,054	0,574	0,6852	1,076	0,608
0,3967	0,942	0,437	0,4546	0,976	0,473	0,5125	1,006	0,507	0,5704	1,031	0,541	0,6284	1,055	0,575	0,6863	1,076	0,609
0,3978	0,942	0,438	0,4557	0,976	0,473	0,5136	1,006	0,508	0,5715	1,032	0,542	0,6294	1,055	0,576	0,6873	1,076	0,610
0,3989	0,943	0,439	0,4568	0,977	0,474	0,5147	1,007	0,509	0,5726	1,032	0,543	0,6305	1,055	0,576	0,6884	1,077	0,610
0,3999	0,944	0,439	0,4578	0,977	0,475	0,5158	1,007	0,509	0,5737	1,033	0,543	0,6316	1,056	0,577	0,6895	1,077	0,611
0,4010	0,945	0,440	0,4589	0,978	0,475	0,5168	1,008	0,510	0,5747	1,033	0,544	0,6326	1,056	0,578	0,6906	1,077	0,612
0,4021	0,945	0,441	0,4600	0,978	0,476	0,5179	1,008	0,511	0,5758	1,034	0,544	0,6337	1,057	0,578	0,6916	1,078	0,612
0,4032	0,946	0,441	0,4611	0,979	0,477	0,5190	1,009	0,511	0,5769	1,034	0,545	0,6348	1,057	0,579	0,6927	1,078	0,613
0,4042	0,947	0,442	0,4621	0,980	0,477	0,5200	1,009	0,512	0,5780	1,035	0,546	0,6359	1,057	0,579	0,6938	1,079	0,613
0,4053	0,947	0,443	0,4632	0,980	0,478	0,5211	1,010	0,513	0,5790	1,035	0,546	0,6369	1,058	0,580	0,6948	1,079	0,614
0,4064	0,948	0,443	0,4643	0,981	0,479	0,5222	1,010	0,513	0,5801	1,036	0,547	0,6380	1,058	0,581	0,6959	1,079	0,615

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,697	1,080	0,615	0,755	1,099	0,650	0,813	1,114	0,685	0,871	1,126	0,723	0,929	1,135	0,763	0,987	1,139	0,810
0,698	1,080	0,616	0,756	1,099	0,651	0,814	1,115	0,685	0,872	1,126	0,723	0,930	1,135	0,764	0,988	1,139	0,811
0,699	1,080	0,617	0,757	1,100	0,651	0,815	1,115	0,686	0,873	1,126	0,724	0,931	1,136	0,764	0,989	1,139	0,812
0,700	1,081	0,617	0,758	1,100	0,652	0,816	1,115	0,687	0,874	1,126	0,725	0,932	1,136	0,765	0,990	1,139	0,813
0,701	1,081	0,618	0,759	1,100	0,653	0,817	1,115	0,687	0,875	1,126	0,726	0,933	1,136	0,766	0,991	1,139	0,813
0,702	1,081	0,619	0,760	1,100	0,653	0,818	1,116	0,688	0,876	1,126	0,726	0,934	1,136	0,767	0,992	1,139	0,814
0,703	1,082	0,619	0,761	1,101	0,654	0,819	1,116	0,689	0,877	1,126	0,727	0,935	1,137	0,767	0,993	1,139	0,815
0,705	1,082	0,620	0,762	1,101	0,654	0,820	1,116	0,689	0,878	1,127	0,728	0,936	1,137	0,768	0,994	1,139	0,816
0,706	1,082	0,620	0,764	1,101	0,655	0,821	1,117	0,690	0,879	1,127	0,729	0,937	1,137	0,769	0,995	1,139	0,817
0,707	1,083	0,621	0,765	1,102	0,656	0,823	1,117	0,691	0,880	1,127	0,729	0,938	1,137	0,770	0,996	1,139	0,818
0,708	1,083	0,622	0,766	1,102	0,656	0,824	1,117	0,691	0,881	1,127	0,730	0,939	1,138	0,770	0,997	1,139	0,819
0,709	1,084	0,622	0,767	1,102	0,657	0,825	1,117	0,692	0,883	1,127	0,731	0,940	1,138	0,771	0,998	1,139	0,820
0,710	1,084	0,623	0,768	1,102	0,658	0,826	1,118	0,693	0,884	1,127	0,732	0,942	1,138	0,772	0,999	1,139	0,821
0,711	1,084	0,624	0,769	1,103	0,658	0,827	1,118	0,693	0,885	1,127	0,732	0,943	1,138	0,773	1,001	1,139	0,822
0,712	1,085	0,624	0,770	1,103	0,659	0,828	1,118	0,694	0,886	1,128	0,733	0,944	1,138	0,773	1,002	1,139	0,823
0,713	1,085	0,625	0,771	1,103	0,660	0,829	1,119	0,695	0,887	1,128	0,734	0,945	1,139	0,774	1,003	1,139	0,824
0,714	1,085	0,626	0,772	1,104	0,660	0,830	1,119	0,695	0,888	1,128	0,735	0,946	1,139	0,775	1,004	1,139	0,825
0,715	1,086	0,626	0,773	1,104	0,661	0,831	1,119	0,696	0,889	1,128	0,735	0,947	1,139	0,776	1,005	1,139	0,826
0,716	1,086	0,627	0,774	1,104	0,662	0,832	1,119	0,696	0,890	1,128	0,736	0,948	1,139	0,777	1,006	1,139	0,827
0,717	1,086	0,628	0,775	1,104	0,662	0,833	1,120	0,697	0,891	1,128	0,737	0,949	1,139	0,777	1,007	1,139	0,828
0,718	1,087	0,628	0,776	1,105	0,663	0,834	1,120	0,698	0,892	1,129	0,738	0,950	1,139	0,778	1,008	1,139	0,829
0,720	1,087	0,629	0,777	1,105	0,664	0,835	1,120	0,698	0,893	1,129	0,738	0,951	1,139	0,779	1,009	1,139	0,830
0,721	1,087	0,629	0,779	1,105	0,664	0,836	1,121	0,699	0,894	1,129	0,739	0,952	1,139	0,780	1,010	1,139	0,831
0,722	1,088	0,630	0,780	1,106	0,665	0,838	1,121	0,700	0,895	1,129	0,740	0,953	1,139	0,781	1,011	1,139	0,832
0,723	1,088	0,631	0,781	1,106	0,665	0,839	1,121	0,700	0,897	1,129	0,741	0,954	1,139	0,782	1,012	1,139	0,833

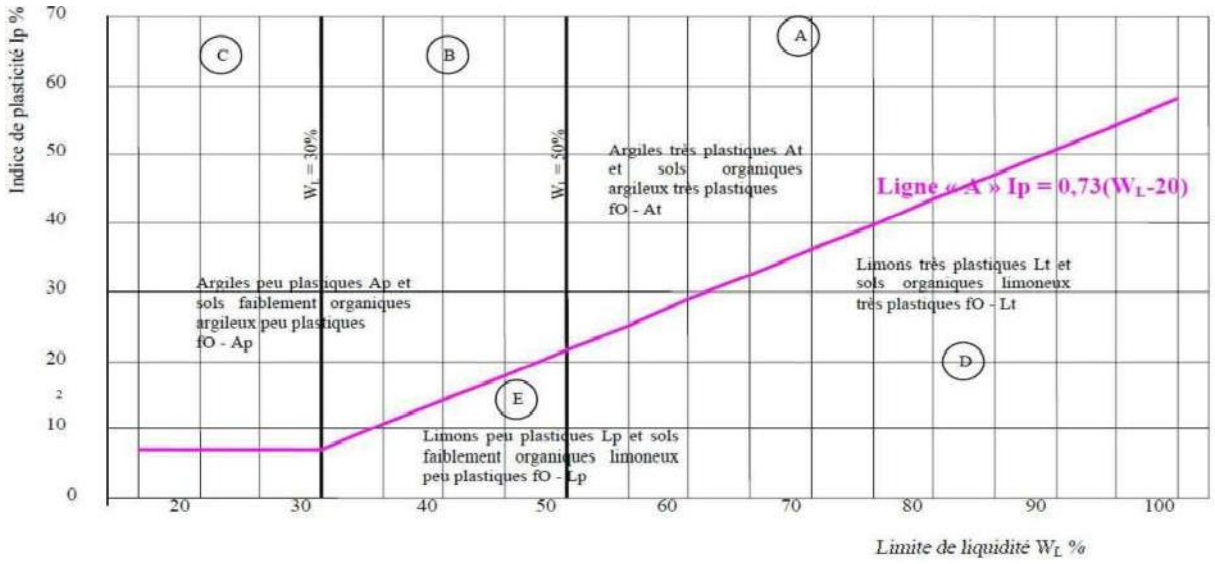
ANNEXE 4 : GEOTECHNIQUE

LES ABAQUES DE CLASSIFICATION LCPC

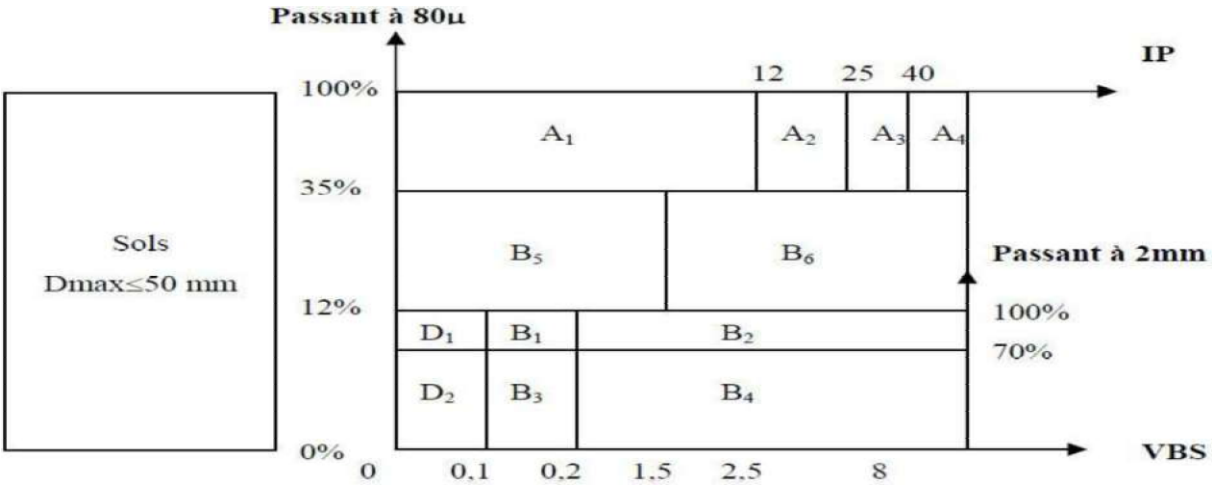
CALSSIFICATION DES SOLS GRENUS					
définitions				conditions	Appellations
	+ 50 % : D >2mm	-5 % <0.08 mm	Gb	Cu = D60 / D10 > 4	Grave proper Bien graduée
			Gm Gp	Une des conditions de GbNon satisfaite	Grave proper Mal graduée
		12 % : <0.08 mm	GL GM	Limite d'ATTERBERG au-dessous de A	Grave limoneuse
			GA GC	Limite d'ATTERBERG au-dessus de A	Grave argileuse
	+ 50 % : D < 2mm	-5 % <0.08 mm	Sb	Cu = D60 / D10 > 6	Sable propre Bien gradué
			Sm Sp	Une des conditions de Sb Non satisfaite	sable propre Mal gradué
		+ 12 % : <0.08 mm	SL SM	Limite d'ATTERBERG au-dessous de A	Sable limoneux
			SA SC	Limite d'ATTERBERG au-dessus de A	Sable argileux
Lorsque 5 % < % inférieur à 0.08 mm <12 on utilise un double symbole					

CALSSIFICATION DES SOLS FINS						
définitions		sym	Détermination de la plasticité sur chantier			Appellations
			Agitation	Consistance	Résistance à sec	
Sols fins – Argile et Limon	Limite de Liquidité < 50 %	Lp ML	Rapide à lente	Nulle	Nulle	Limon peu plastique
		Ap CL	Nulle à lente	Moyenne	Moyenne à grande	Argile peu plastique
		Op OL	Lente	Faible	Faible à moyenne	Limon et Argile organique peu plastique
	Limite de Liquidité > 50 %	Lt MH	Lente à nulle	Faible à moyenne	Faible à moyenne	Limon très plastique
		At CH	Nulle	Grande	Grande à très grande	Argile très plastique
		Ot OH	Nulle à très lente	Faible à moyenne	Moyenne à grande	Limon et Argile Organique très plastique

LE DIAGRAMME DE PLASTICITE DE CASAGRANDE



CLASSIFICATION DES SOLS SELON GTR



Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées — Craies	R_1
		Roches carbonatées — Calcaires	R_2
		Roches argileuses — Marnes, argilites, pélites...	R_3
		Roches siliceuses — Grès, Poudingues, brèches...	R_4
		Roches salines — Sel gemme, gypse	R_5
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers...	R_6

Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels	F