République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Matériaux et Structures

Thème

Etude de la Pénétrante Autoroutière reliant Batna à l'Autoroute Est/Ouest du pk1+600- au pk11+600 avec la conception d'un échangeur

Présenté par :

- MAAMRIA Achraf
- SAYOUD Mohamed Elmostapha

Encadré par :

Mr. GOUMETTRE Ahmed

Promotion 2024/2025

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement :

Avant tout, nous remercions Dieu pour le courage et la volonté qu'il nous a donné pour terminer ce travail.

Nous remercions tout particulièrement Mr. GOUMMETRE Ahmed, notre encadrant, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont été essentielles pour mener à bien ce travail.

Nous sommes également reconnaissantes à COSIDER TRAVAUX PUBLICS pour nous avoir offert l'opportunité de réaliser ce projet au sein de leur structure. Un merci particulier à Mme. BELDJOUDI chef de Service pour leur accompagnement, leur conseils pratiques et leur soutien durant cette période.

Nous tenons également à remercier tous les professionnels rencontrés au cours de ce projet pour leurs précieux échanges et leur collaboration.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude au service de scolarité DMS et DIB, en particulier à Mme BOUREBIA Amina, Mr. Mustapha, Mme MAKOUDI Imane, Mme BOUREBIA Mehdia, Mme. Rachida, Mme. LOUNAS Sabrina, et à tout le personnel de l'ENSTP.

Nous tenons à remercier les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Dédicace

Au nom d'Allah, le Clément et Miséricordieux, je remercie Allah le Tout-Puissant de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail.

J'ai l'immense honneur de dédier ce modeste travail à :

À **ma très chère mère**, qui a tout sacrifié pour mon bien-être et ma réussite. Ta tendresse et ton dévouement sont inégalables. Tu es et resteras la première femme de ma vie, ma raison d'être. Puisse Dieu te bénir et te préserver en bonne santé pour moi.

À **mon très cher père**, mon modèle et ma source d'inspiration. Ta sagesse et ton soutien indéfectible m'ont guidée tout au long de mon parcours. Puisse Dieu te combler de ses bénédictions et te maintenir en bonne santé.

À mes frères et ma sœur bien-aimés, **Aya**, **Amdjed** et **Ahmed**
Vous êtes mes premiers amis et mes alliés pour toujours. Votre compréhension et votre soutien ont été une source de force tout au long du chemin. Merci d'avoir toujours été là avec une oreille attentive et un cœur solidaire.

À **mes chers grands-parents**,

Que Dieu ait en sa miséricorde et les accueille dans son vaste paradis.

À **Mme SADEG Ines**

, pour sa bienveillance, sa confiance et ses encouragements constants.

À **Mme SAADI**

ma prof de Francais, pour son soutien, sa rigueur et ses précieux conseils tout au long de mon chemin.

Merci à vous d'avoir cru en moi et de m'avoir accompagné avec tant de générosité. Ce mémoire est aussi le fruit de votre engagement.

À mon binôme **SAYOUD Mohamed Elmostapha**,

Je tiens à te remercier du fond du cœur pour ton dévouement et ta rigueur tout au long de ce projet. Alors que de nombreux binômes se disputent durant les projets de fin d'études, tu as été un choix exceptionnel, tant par ton expertise que par ta gentillesse et ta compréhension. Je suis profondément reconnaissante d'avoir travaillé avec toi. Tu es bien plus qu'un simple binôme : tu es un ami précieux. Que Dieu protège tes parents, qui t'ont élevée avec tant de valeurs. J'espère de tout cœur que notre amitié durera pour toujours.

À mes chers amis, **Selma**, **Zineb**, **Kahina**, **Marwa**, **Issam**, **Yasmine**, **Yasmine, Zinou** et **Nazih**
Votre amitié a enrichi ma vie d'une manière que je ne saurais exprimer pleinement. Merci d'avoir été à mes côtés, pour les rires et les moments partagés qui ont rendu même les périodes les plus difficiles plus lumineuses. Votre confiance en moi a été une source d'inspiration constante.

Goodbye ENSTP see you next year……

Or not ;(

Ashraf

Résumé :

L'objet de la présente étude consiste à concevoir une pénétrante autoroutière servant à relier la wilaya de Batna à l'autoroute Est-Ouest du PK 1+600 au PK 11+600 avec conception d'un échangeur. (Le projet en question se trouvant entièrement dans la wilaya de Batna).
À travers cette étude, une analyse de trafic est réalisée, ainsi qu'une étude géométrique en utilisant le logiciel « Autopiste 9.1 » en suivant les normes techniques citées en bibliographie. Par la suite, une étude géotechnique est effectuée afin de déterminer les caractéristiques du sol support, puis une étude hydraulique suivie d'une conception d'échangeur sont accomplies. L'étude ne peut être achevée sans une analyse de l'impact environnemental du projet. Enfin, un devis estimatif et quantitatif est établi.

Mots clés : Trafic, étude géométrique, étude géotechnique, corps de chaussée, Échangeur, Signalisation, devis estimatif et quantitatif.

Summary :

The aim of this project is to design a highway linking the province of Batna and the East-West highway from KP 1+600 to KP 11+600 with a design of an exchanger (project located entirely within the province of Batna). Through this study, a traffic analysis is effectuated, in addition to a geometric study done with the software « Autopiste 9.1 » following the norms mentioned in the bibliography. Then a geotechnical study is established to determine the features of the support soil. Later, a hydraulic study and a conception of exchanger are accomplished. However, we cannot overlook the impacts of this project on the environment, therefore a specific study has been executed. At the end, an estimate quantitatif is elaborated.

Key words: traffic, geometric study, geotechnical study, pavement, exchanger, signs, estimate quantitatif.

ملخص:

هذا العمل يهدف إلى دراسة وتصميم الطريق الرابط بين ولاية باتنة والطريق السيار شرق غرب من النقطة الكيلومترية PK 1+600 إلى النقطة الكيلومترية PK 11+600 مع تصميم مبدئي لمحول. (هذا المشروع يقع بالكامل في ولاية باتنة).

من خلال هذه الدراسة تم إجراء تحليل لحركة المرور، ثم تصميم هندسي للطريق باستخدام برنامج Autopiste 9.1ومراعاة المعايير التقنية المذكورة في المراجع، تليها دراسة جيوتقنية لتحديد خصائص التربة، ثم دراسة هيدروليكية، يليها تصميم مبدئي لمحول. لا يمكن إتمام هذا المشروع دون تحليل الأثر البيئي، لذلك تم إجراء دراسة بيئية خاصة، وفي النهاية تم إعداد حساب كمي وتقديري

.

Symboles et Abréviations :

ANESRIF : Agence Nationale d'Etude et Suivi des Investissements Ferroviaires
SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.
SETIRAIL : Société d'Etudes Techniques et de l'Ingénierie du Rail.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
UIC : Union International des Chemins de Fer.
EN : Normes Européennes.
NF : Normes Française.
RPOA : Règlement Parasismiques des Ouvrages d'Art.
APD : Avant-Projet Détaillé.
PK : Point Kilométrique.
ADV : Appareil de Voie.
LRS : Longs Rails Soudés.
BV : Bassin Versant.
QPS : Débit Pleine Section.
VPS : Vitesse Pleine Section.
FSR : Fil Supérieur des Rails
LIDAR : Light Detection and Ranging
GPS: Global Positioning System
CBR : Californian Bearing Ratio.
VBS : Valeur de Bleu de Méthylène.
PU : Puit de Reconnaissance.
PDL : Pénétromètre Dynamique.
IP : Indice de Plasticité
OPN : Optimum Proctor Normal.
DRG : Plus Grosse Roche.
LA : Los Angelos.
MDE : Micro Deval.
Vbg : Valeur de Propreté.
PST : Partie Supérieure de Terrassement.
CAO : Conception Assistée par Ordinateur.
GTR : Guide de Terrassement Routier.
ATR : Arrêt Train Régional
ETRMS : Européen Railways Traffic Management System.
BV : Bâtiment Voyageur
PCG : Point de Croisement et de Garage
MTPA : Million Tonnes par Ans

TABLEAU DE MATIERE

Introduction générale……...…1
I. Chapitre I : Présentation du Projet 2
I.1 INTRODUCTION :....2
I.2 Présentation de la wilaya de Batna 2
I.2.1 Situation géographique....2
I.2.2 Situation administrative 3
I.2.3 Situation démographique....3
I.2.4 Transports et infrastructures 3
I.2.5 Relief....4
I.2.6 Hydro climatologie 4
I.2.7 Sismicité de la région....4
I.3 Description du projet 4
I.4 Impact et bénéfice du projet....5
II. Chapitre II : PARAMETRES DE BASE. 7
II.1 INTRODUCTION :....7
II.2 Choix de catégorie de la route :....7
II.3 Visibilité....7
II.4 Paramètres géométriques : 7
III. CHAPITRE III : Etude de Trafic 9
III.1 INTRODUCTION....9
III.2 Analyse de Trafic :....9
III.3 Calcul de la Capacité : 9
III.4 Connaissance du Trafic :....9
III.5 Différents types de Trafic :....9
III.6 Capacité des Voies : 10
III.7 Détermination de nombres de Voies : 10
III.7.1 Trafic à un horizon donné « TJMAh » 10
III.7.2 Calcul de trafic effectif....10
III.7.3 Débit de pointe horaire normal 11
III.7.4 Débit horaire Admissible....11
III.7.5 Calcul du nombre de voies : 12
III.8 Application au projet : 12
III.8.1 Calcul de TJMA année de mise en service 12
TJMA2025= (1+τ)^ n × TJMA2014....12
III.8.2 Calcul de TJMA horizon 2045....12
III.8.3 Calcul des trafics effectifs 12
III.8.4 Débit de pointe horaire normal 13
III.8.5 Débit admissible 13
III.8.6 Détermination du nombre de voie : 13
III.8.7 Calcul de l'année de saturation : 2×3 voies....13

TABLEAU DE MATIERE

IV. Chapitre IV : Etude Géométrique 14
IV.1 Tracé en Plan : 14
IV.1.1 Introduction 14
IV.1.2 Règles à respecter pour un tracé en plan 14
IV.1.3 Composantes du tracé en plan 14
IV.1.3.1 Les alignements 15
IV.1.3.2 Les rayons en plan 15
IV.1.4 APPLICATION AU PROJET: 15
IV.1.4.1 Les courbes de raccordement progressif 17
IV.1.5 . Recommandations pour I 'enchainement des éléments du tracé en plan 17
IV.1.6 Les contraintes traversées par le projet 17
IV.1.6.1 Les principaux axes routiers croisés 17
IV.2 Profil en Long 19
IV.2.1 Introduction 19
IV.2.2 Principes de tracé du profil en long 19
IV.2.3 Déclivités 19
IV.2.3.1 Déclivité minimale 19
IV.2.3.2 Déclivité maximale 19
IV.2.4 Raccordement en profil en long 20
IV.2.4.1 Raccordements convexes (angle saillant) 20
IV.2.4.2 Raccordement concave (angle rentrant) 20
IV.2.5 Valeurs limites du profil en long 20
IV.2.6 Coordination du tracé en plan et du profil en long 20
IV.3 Profil en Travers 21
IV.3.1 Introduction 21
IV.3.1.1 Les éléments de composition du profil en travers 21
IV.3.2 Récapitulation du projet 21
V. Chapitre V : Etude Géotechnique 23
V.1 INTRODUCTION : 23
V.1.1 Aperçu géologique sur la zone d'étude 23
V.2 Compagne d'investigation géotechnique 24
V.2.1 Résultats des essais in-situ 24
V.2.1.1 Puits de reconnaissance géologique 24
V.2.1.2 Mesures piézométriques : 24
V.2.2 Résultats des essais en laboratoire 25
V.2.2.1 Résultats des essais géophysique 25
V.2.2.2 Résultats des analyses chimiques 25
V.2.2.3 Résultats des essais mécaniques 26
V.2.3 Classification des sols 26
V.2.4 Conditions d'utilisation des matériaux en remblais 26

TABLEAU DE MATIERE

V.2.5 Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme 27
V.2.6 Zone d'emprunt des matériaux....28
V.3 Interprétation des résultats 29
V.4 Stabilité des talus....29
V.4.1 Analyse de stabilité du remblai....30
V.4.1.1 Données de calculs....30
V.4.1.2 Calcul de Facteur de sécurité du talus 30
V.4.2 Analyse de stabilité du déblai 31
V.4.2.1 Données de calcul 31
V.4.2.2 Calcul de Facteur de sécurité des talus....31
V.5 Conclusion et recommandation 32
VI. Chapitre VI : Dimensionnement du corps de chaussée 34
VI.1 INTRODUCTION :....34
VI.2 Méthodes de dimensionnement : 34
VI.3 Méthode de CBR (California-Bearing-Ratio): 35
VI.3.1 Application au projet....35
VI.3.1.1 L'épaisseur équivalente....35
VI.4 La Méthode du catalogue Algérien de dimensionnement : 36
VI.4.1.1 Les données climatiques :....36
VI.4.1.2 Température équivalente....36
VI.4.1.3 Les données de trafic :....36
VI.4.1.4 Détermination la classe de trafic TPL : 37
VI.4.1.5 Le trafic cumule de poids lourds (TCi) : 37
VI.4.1.6 Trafic cumulé équivalent TCEi....38
VI.4.1.7 Détermination du risque de calcul :....38
VI.4.1.8 Détermination de la portance du sol support : 38
VI.4.1.9 Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité....39
VI.5 Choix des différentes couches constituantes de la chaussée 39
VI.5.1 Les structures possibles de chaussée d'après le catalogue : 39
VI.5.1.1 Les structures concernant Rp1 39
VI.5.1.2 Choix de dimensionnement du corps de chaussée 40
VI.5.2 Calcul de la déformation admissible....40
VI.5.2.1 Calcul de la déformation admissible (εz, adm.) du sol support 40
VI.5.2.2 Calcul de la déformation admissible de traction εt, adm....40
VI.5.2.3 Performances mécaniques des matériaux bitumineux....41
VI.5.2.4 Vérification de la fatigue des structures et de la déformation du sol support 42
VI.5.2.5 ALISÉ-LCPC....42
VI.5.2.6 Les résultats des deux méthodes 43
VI.6 Conclusion 43
VII. Chapitre VII : Cubatures....44

TABLEAU DE MATIERE

VII.1 INTRODUCTION : 44
VII.2 Les méthodes de calcul : 44
VII.3 Description de la méthode : 44
VII.4 Exemple de calcul : 44
VII.5 Calcul des cubatures de projet : 45
VII.5.1 Calcul de la nouvelle valeur de remblai : 45
VIII. Chapitre VIII : Etude Hydraulique et Assainissement 46
VIII.1 INTRODUCTION 46
VIII.2 Conception Technique des Ouvrages : 46
VIII.3 Estimation du débit de crue : 46
VIII.3.1 Formule rationnelle : 47
VIII.3.2 Temps de concentration : 47
- **Formule de Passini (5 < S < 25 km²) :** 47
VIII.3.3 Coefficient de ruissèlement (C) : 48
VIII.3.4 Intensité de pluie I(t) : 49
VIII.4 ETUDE HYDROLOGIQUE : 49
VIII.5 Caractéristiques physiques des bassins versants : 49
VIII.6 calcul de debit d'apport: 50
VIII.7 Résultats de calcul de débit de notre projet : 50
VIII.8 Étude hydraulique : 51
VIII.8.1 Critères de choix des ouvrages hydrauliques : 51
VIII.8.2 Les types des ouvrages 51
VIII.8.2.1 Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) : 51
VIII.8.2.2 Les ouvrages hydrauliques longitudinaux (fossés) : 51
VIII.8.2.3 Capacité de débit des ouvrages hydrauliques : 51
VIII.8.3 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques : 52
VIII.8.3.1 Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) : 52
VIII.9 Résultats de dimensionnement : 55
VIII.10 Système de drainage longitudinal : 55
VIII.10.1 Dimensionnement du fossé 56
VIII.10.1.1 Détermination du temps de concentration : 56
VIII.10.1.2 Calcul de l'intensité : 56
VIII.10.1.3 Coefficient de ruissellement : 56
IX. Chapitre IX : Ouvrages d'Art 58
IX.1 INTRODUCTION : 58
IX.2 Choix de Type de Pont 58
IX.2.1 Varianté n°1 : Pont à Poutre en Béton Armé 58
IX.2.1.1 Avantages : 58
IX.2.1.2 Inconvénients : 58
IX.2.2 Variante n°2 : Pont à poutres en béton précontraint 58

TABLEAU DE MATIERE

IX.2.2.1 Avantages :....58
IX.2.2.2 Inconvénients :....58
IX.3 Présentation des ouvrages choisis :....58
X. Chapitre X : Échangeur....60
X.1 INTRODUCTION :....60
X.2 Avantages d'un échangeur :....60
X.3 Inconvénients d'un échangeur :....60
X.4 Choix du type d'échangeur....61
X.5 Les éléments constitutifs d'un échangeur....61
X.5.1 Les carrefours plans....61
X.5.2 Les ouvrages d'art (ponts)....61
X.5.3 Les bretelles (ou rampes d'entrée et de sortie)....62
X.5.3.1 Les différents types de bretelles....62
X.5.3.2 Caractéristiques géométriques des bretelles....62
X.5.3.3 Pente transversale d'une bretelle....64
X.5.4 Raccordement avec l'autoroute....65
X.5.4.1 Dispositif d'entrée....65
X.5.4.2 Dispositif de sortie....65
X.5.4.3 Longueurs de décélération et d'accélération....65
X.5.4.4 Visibilité à l'approche des points d'accès....66
X.6 Application sur notre projet....67
X.6.1 Choix de notre échangeur....67
X.6.2 La conception de notre Echangeur....67
XI. Chapitre XI : Signalisation Routière....68
XI.1 INTRODUCTION....68
XI.2 Signalisation Horizontale :....68
XI.2.1 Les Lignes Longitudinales....68
XI.2.1.1 Lignes transversales....69
XI.2.1.2 Les flèches....69
XI.2.2 Couleur des marques de chaussée....69
XI.3 Signalisations verticales :....70
XII. Chapitre XII : Etude d'Impact sur l'Envrionnement....72
XII.1 INTRODUCTION :....72
XII.2 Description du Projet :....72
XII.2.1 Principales étapes d'une étude d'impact sur l'environnement....72
XII.2.1.1 Définition de la zone d'étude :....72
XII.2.1.2 Analyse de l'état initial....72
XII.2.2 Milieu physique....73
XII.2.3 Milieu biologique....73
XII.2.4 Milieu humain....73

TABLEAU DE MATIERE

XII.3 Identification des impacts environnementaux du projet 74
XII.3.1 Les impacts positifs 74
XII.3.2 Les impacts négatifs.....74
XII.3.3 Impacts pendant la phase de travaux.....74
XII.3.3.1 Milieu physique : 74
XII.3.3.2 Milieu biologique : 74
XII.3.3.3 Milieu humain.....75
XII.3.4 Pendant la phase d'exploitation.....75
XII.3.4.1 Milieu physique 75
XII.3.4.2 Milieu biologique.....75
XII.3.4.3 Milieu humain.....76
XII.3.5 Récapitulatif des impacts 76
XII.4 Mesures prises en compte 77
XII.4.1 Mesures de prévention et de compensation.....77
XII.4.2 Mesures d'accompagnement 77
XII.5 Conclusion 77
XIII. Chapitre XIII : Devis Quantitatif et Estimatif.....89
I.....89
II. Conclusion générale 81
Bibliographie.....82

LISTE DES FIGURES

Figure I.1-le réseau routier et autoroutier à l'horizon 2025 2
Figure I.2-Situation géographique 2
Figure I.3-Situation administrative 3
Figure I.4-Position de la pénétrante par rapport SDRA2025 4
Figure IV.1-Eléments du tracé en plan 14
Figure IV.2-Description des éléments constitutifs du profit en travers en section courante 21
Figure IV.3-Profil en travers type de la pénétrante 22
Figure V.1-Carte géologique de la zone d'étude 23
Figure V.2-FS sous les charges normales (logiciel Slide) 31
Figure V.3-FS sous les charges sismiques (logiciel Slide) 31
Figure V.4-FS sous les charges normales (logiciel Slide) 32
Figure V.5-FS sous les charges sismiques (logiciel Slide) 32
Figure VI.1-Différentes couches de corps de chaussée 34
Figure VI.2-Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie (Fascicule 1) 36
Figure VI.3-Choix de dimensionnement de corps de chaussée (Fascicule3) 40
Figure VI.4-Les résultats de calcul qui obtient par Alizé-LCPC 43
Figure VII.1-Positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné 44
Figure VIII.1-Schéma de la Buse 53
Figure VIII.2-Schéma d'un dalot 2 m × 1.5 m 55
Figure VIII.3-Géométrie du fossé 57
Figure X.1-La longueur de clothoïde en fonction du rayon (ICTAVRI) 63
Figure X.2-conception de notre échangeur 67
Figure XI.1-Flèche 69
Figure XII.1-Délimitation de la zone influencée par le tracé routier (Global Mapper) 72
Figure XII.2-les terrains agricoles situés à proximité du tracé 73
Figure XII.3-Tracé passant à travers des terrains à vocation agricole 75
Figure XII.4-Traversée de l'Oued El Maadher 76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1-Principale distance de visibilité (m) et valeur de la décélération (γ) 7
Tableau II.2-Paramétres géométriques (ICTAAL 2000) 8
Tableau III.1-coefficient d'équivalence [P] 11
Tableau III.2-valeurs de K1 11
Tableau III.3-valeurs de K2 11
Tableau IV.1-Valeurs minimales des rayons du trace en plan (source : JCTAAL2000) 15
Tableau IV.2-Valeurs des rayons choisis 15
Tableau IV.3-Résultats de R1 15
Tableau IV.4-Résultats du point C 16
Tableau IV.5-Résultat du point D 16
Tableau IV.6-Principaux axes routiers croisés 17
Tableau IV.7-Contraintes prises en compte pour l 'optimisation du tracé 18
Tableau IV.8-Coordonnées des pylônes MT et BT a proximité ou à 'intérieur de l 'emprise du tracé 18
Tableau IV.9-Paramètres fondamentaux du profil en long 20
Tableau IV.10-Dimensions des éléments du profil en travers 22
Tableau V.1-Résultats des puits de reconnaissance 24
Tableau V.2-Profondeur de la nappe phréatique 24
Tableau V.3-Résultats des essais en laboratoire relatifs avec puits de reconnaissance 25
Tableau V.4-Résultat des analyses chimiques du sol 25
Tableau V.5-Résultats des essais mécaniques relatifs ance sondages carottés 26
Tableau V.6-Résultats de la classification (GTR, Casagrande) 26
Tableau V.7-Condition d'utilisation des matériaux en remblais 26
Tableau V.8-Condition d'utilisation des matériaux en couche de forme 27
Tableau V.9-Résultats des essais de laboratoire sur le matériau du Gite N°1 28
Tableau V.10-Résultats des essais mécaniques matériau du Gite N° 28
Tableau V.11-Les paramètres géotechniques des sols en remblai 30
Tableau V.12-Les paramètres géotechniques des sols en remblai 30
Tableau V.13-Les paramètres géotechniques des sols en déblai 31
Tableau V.14-Résultats de calculs 32
Tableau VI.1-Coefficient d'équivalence pour chaque matériau 35
Tableau VI.2-Température équivalente 36
Tableau VI.3-Choix de type de réseau principal 36
Tableau VI.4-Classe TPL pour Rp1 37
Tableau VI.5-Coefficient d'agressivité A 38
Tableau VI.6-Le risque de calcul R% 38
Tableau VI.7-Les classe de portance du sol 38
Tableau VI.8-Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité 39
Tableau VI.9-Les structure concernant Rp1 39
Tableau VI.10-Fractile de la loi normale 41
Tableau VI.11-Performances mécaniques des matériaux bitumineux 42
Tableau VI.12-Les résultats des deux méthodes 43
Tableau VIII.1-Coefficient C1 48
Tableau VIII.2-Coefficient C2. 48
Tableau VIII.3-Coefficient C3. 49
Tableau VIII.4-Caractéristique des bassins versant 49
Tableau VIII.5-débit des bassins versants pour la période 100ans. 50
Tableau VIII.6-Vérification des conditions d'autocurage 53
Tableau VIII.7-Vérification des conditions d'autocurage 55
Tableau VIII.8-Résultats de dimensionnement 55
Tableau VIII.9-les caractéristiques des sous bassins versants concernés 56
Tableau VIII.10-Les valeurs du coefficient de ruissellement 56
Tableau VIII.11-Le débit équivalent des bassins versants 57
Tableau IX.1-Caractéristique d'ouvrage 59
Tableau X.1-Valeurs limites des rayons du tracé en plan 62
Tableau X.2-Enchaînement des éléments du tracé en plan 63
Tableau X.3-Les valeurs limites des paramètres du profil en long sont les suivantes 64
Tableau X.4-Les largeurs des composantes du profil en travers sont les suivantes : 64
Tableau X.5-Pente transversale d'une bretelle 64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau X.6-Les principales distances de visibilité (SETRA) *66*
Tableau XI.1-Caractéristiques des lignes de marquage longitudinales *68*
Tableau XI.2-Signalisation Verticale *70*
Tableau XII.1-Impacts négatifs du tracé sur l'environnement *76*

Introduction Générale :

Le transport joue un rôle clé dans le développement d'un territoire, contribuant de manière significative aux secteurs économique et social. Face à la croissance démographique et aux besoins croissants de mobilité, l'Algérie a intégré le développement de son secteur des transports dans ses priorités nationales. Le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT), qui trace les grandes lignes de l'aménagement du pays jusqu'en 2025, place l'autoroute Est-Ouest comme l'un des projets majeurs, reliant les frontières tunisienne et marocaine sur 1 216 km, en passant par les principales villes du nord du pays. Les autres zones de développement, notamment la côte et les Hauts-Plateaux, seront desservies par des pénétrantes, dont celle de Batna.

Ce mémoire se concentre sur l'étude d'une section de cette pénétrante de 10 km entre la wilaya de Batna et l'autoroute Est-Ouest, au niveau de l'échangeur de Chelghoum Laïd. Il commence par une analyse du contexte géographique et socio-économique de la région, suivi d'un rappel sur la phase d'avant-projet sommaire et la localisation de la section d'étude.

L'étude inclut diverses analyses techniques, telles que l'étude de trafic, la conception géométrique, l'étude géotechnique, et le dimensionnement du corps de chaussée selon plusieurs méthodes. Elle comporte également une étude de conception d'un échangeur, accompagnée d'une analyse d'assainissement, de signalisation, d'ouvrages d'art et de l'impact environnemental. Enfin, un devis estimatif et quantitatif du projet est élaboré, concluant le mémoire avec des perspectives pour les futures orientations et développements dans ce domaine.

Chapitre I : présentation du projet.

I. Chapitre I : Présentation du Projet

I.1 INTRODUCTION :

Dans le cadre de la deuxième phase du Schéma National d'Aménagement du Territoire, qui prévoit la planification générale du pays jusqu'en 2025, les autorités publiques ont pleinement reconnu que « là où la route passe, le développement suit ». Elles ont donc accordé une attention particulière à l'extension et à la gestion des infrastructures routières, en mettant l'accent sur leur rentabilité et la modernisation continue du réseau, ainsi que sur leur entretien, afin de répondre aux exigences du développement économique et social du pays.

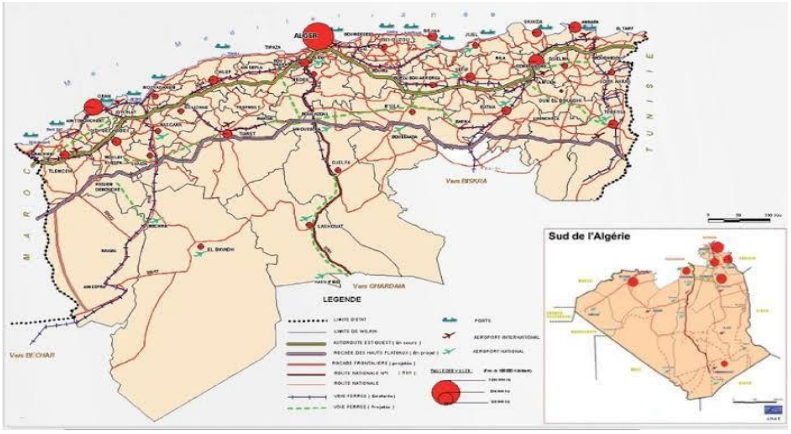


Figure I.1-le réseau routier et autoroutier à l'horizon 2025

C'est dans cette optique qu'a vu le jour le projet de l'autoroute Est-Ouest, s'étendant sur 1 216 km et reliant la ville d'El Kala (wilaya de Taref) à la ville de Maghnia (wilaya de Tlemcen), traversant la région tellienne. Ce projet d'envergure, jugé comme un véritable levier de développement, contribuera indéniablement à réduire les disparités spatiales tout en améliorant l'accessibilité aux zones montagneuses, des Hauts-Plateaux et du Grand Sud, favorisant ainsi le désenclavement du territoire national.

En plus de l'achèvement et de la livraison complète des tronçons de l'autoroute Est-Ouest, le Schéma National d'Aménagement du Territoire inclut d'autres projets, tels que les pénétrantes, qui garantissent les connexions avec cette autoroute.

I.2 Présentation de la wilaya de Batna

I.2.1 Situation géographique

La wilaya de Batna est située dans le nord-est de l'Algérie, au cœur des Aurès, une région montagneuse. Elle fait partie de la zone de l'Atlas tellien et se trouve à environ 400 km à l'est de la capitale, Alger. Batna est bordée au nord par la wilaya de Khenchela, à l'ouest par la wilaya de Tébessa, au sud par la wilaya de Ksar El Boukhari, et à l'est par la wilaya de Souk Ahras. Cette situation géographique stratégique en fait un carrefour entre plusieurs régions du pays.



Figure I.2-Situation géographique

I.2.2 Situation administrative

La wilaya de Batna est l'une des 58 wilayas (provinces) d'Algérie. Elle est dirigée par un wali (gouverneur), qui représente le gouvernement central. La wilaya est subdivisée en plusieurs communes, avec la ville de Batna en tant que capitale administrative. Batna est un centre important pour l'administration et la gestion locale des affaires publiques.

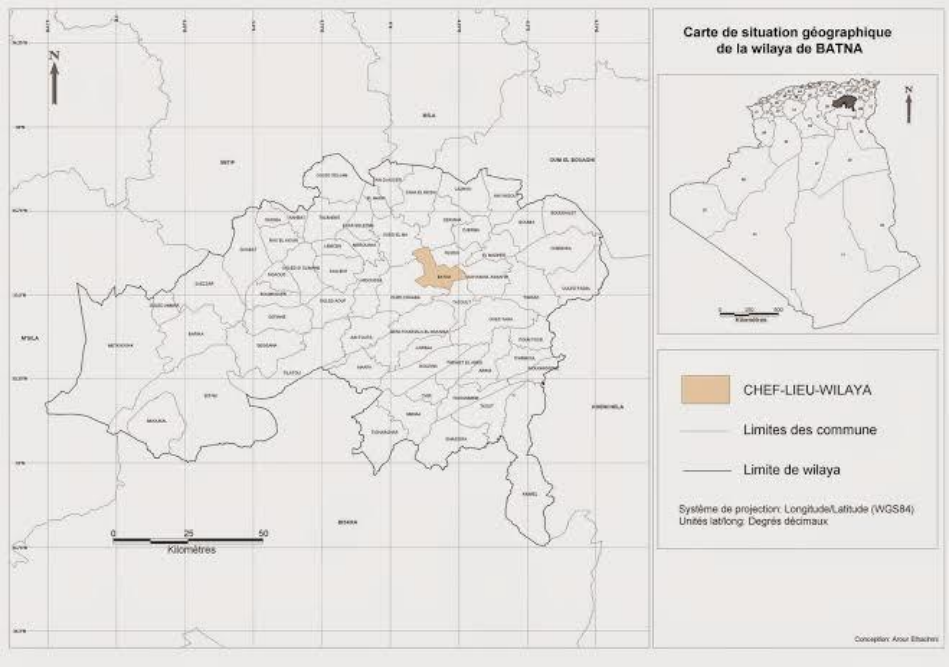


Figure I.3-Situation administrative

I.2.3 Situation démographique

La population de la wilaya de Batna dépasse les 1,5 million d'habitants, ce qui en fait une des wilayas les plus peuplées de l'est de l'Algérie. La ville de Batna, en tant que capitale de la wilaya, est le principal pôle urbain. La région connaît une croissance démographique modérée, marquée par une forte migration interne vers les centres urbains et une densité de population plus élevée dans les zones proches de la ville.

I.2.4 Transports et infrastructures

Batna est bien reliée aux autres wilayas du pays grâce à un réseau de transport diversifié. L'autoroute Est-Ouest, qui traverse la wilaya, permet un accès rapide vers Alger et d'autres grandes villes. Le transport ferroviaire est également développé, avec des lignes reliant Batna à d'autres grandes agglomérations. En termes d'infrastructures, la wilaya dispose de plusieurs routes nationales et secondaires bien entretenues, facilitant les déplacements au sein de la région et vers d'autres wilayas. L'aéroport de Batna, bien que moins fréquenté que celui des grandes villes, permet des liaisons aériennes nationales.

I.2.5 Relief

Le relief de la wilaya de Batna est principalement montagneux, appartenant à la chaîne de l'Atlas tellien. Le massif des Aurès, qui s'étend sur une grande partie de la wilaya, est caractérisé par des montagnes élevées, des vallées profondes et des plateaux. Le point culminant de la wilaya est le mont Chélia, avec une altitude de 2 328 mètres. Cette topographie particulière offre des paysages spectaculaires, mais rend également certaines zones difficiles d'accès, d'où l'importance des infrastructures de transport pour le désenclavement.

I.2.6 Hydro climatologie

La wilaya de Batna bénéficie d'un climat méditerranéen avec des influences continentales. Les hivers sont généralement froids, avec des chutes de neige fréquentes sur les hauteurs, tandis que les étés sont chauds et secs. En ce qui concerne les ressources en eau, la wilaya possède plusieurs rivières et oueds, dont l'oued El Abid. Les problèmes d'approvisionnement en eau dans certaines zones rurales restent un défi, en particulier en période de sécheresse prolongée.

I.2.7 Sismicité de la région

La wilaya de Batna, comme une grande partie de l'est de l'Algérie, est située dans une zone sismique active. Bien que les tremblements de terre majeurs soient relativement rares, la région a connu plusieurs secousses au cours des dernières décennies, avec des conséquences parfois graves pour les infrastructures et les populations. La gestion de la sismicité est donc un enjeu important dans la planification et la construction des infrastructures de la région, pour minimiser les risques en cas de séisme.

I.3 Description du projet

Le projet de pénétrante autoroutière reliant Batna à l'autoroute Est-Ouest couvre une section allant du PK 1+600 au PK 11+600, soit une longueur de 10 km. Ce projet a pour objectif de faciliter l'accès à l'autoroute Est-Ouest depuis la ville de Batna et d'améliorer la fluidité du trafic entre la wilaya de Batna et le reste du réseau autoroutier national

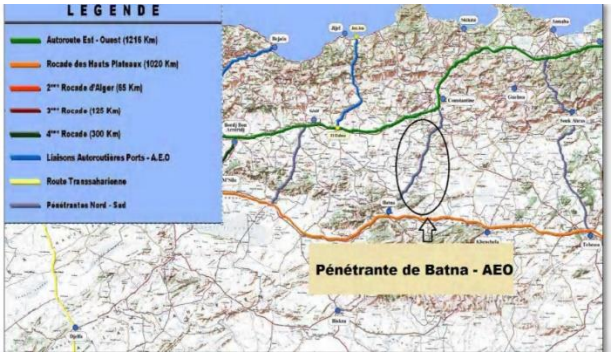


Figure I.4-Position de la pénétrante par rapport SDRA2025

Il comprend la construction de routes, de ponts, ainsi que la conception d'un échangeur stratégique, permettant une connexion directe et sécurisée avec l'autoroute Est-Ouest. Ce projet s'inscrit dans une dynamique de désenclavement et de développement régional, en améliorant

l'accessibilité à la ville et en réduisant les temps de trajet. Il joue également un rôle clé dans l'optimisation du réseau routier et la promotion des échanges économiques et sociaux entre les différentes régions de l'Algérie.

I.4 Impact et bénéfice du projet

Le projet de pénétrante autoroutière reliant Batna à l'autoroute Est-Ouest présente plusieurs avantages importants pour la région et le pays dans son ensemble :

- **Amélioration de l'accessibilité :** Ce projet facilite l'accès à l'autoroute Est-Ouest, permettant ainsi des déplacements plus rapides et directs entre Batna et d'autres grandes villes du pays. Cela réduit les distances et les temps de trajet pour les usagers.
- **Désenclavement de la région :** En reliant Batna à l'autoroute Est-Ouest, ce projet contribue à désenclaver cette wilaya montagneuse, en facilitant la circulation des personnes et des marchandises, ce qui est essentiel pour le développement économique de la région.
- **Développement économique :** Une meilleure connectivité avec l'autoroute Est-Ouest stimule les échanges commerciaux, attire les investissements et encourage le développement des industries locales. Cela favorise la croissance des secteurs économiques tels que le commerce, l'agriculture et le tourisme.
- **Réduction des embouteillages et fluidité du trafic :** L'amélioration de la connexion entre Batna et l'autoroute permettra de désengorger les routes locales et de fluidifier le trafic, notamment pendant les périodes de pointe, ce qui contribuera à améliorer la sécurité routière.
- **Sécurité routière :** La conception moderne de l'infrastructure, y compris les échangeurs et les normes de construction adaptées, garantit une circulation plus sûre, en réduisant les risques d'accidents liés aux intersections non sécurisées.
- **Optimisation du transport de marchandises :** Ce projet facilite le transport de biens, en particulier pour les industries locales, en permettant une meilleure liaison avec les grands axes commerciaux du pays. Cela peut également stimuler l'exportation de produits agricoles et industriels.
- **Amélioration du cadre de vie :** L'amélioration des infrastructures de transport a également un impact sur la qualité de vie des habitants en réduisant le temps passé dans les trajets quotidiens, ce qui permet de mieux profiter de leur environnement local.

- **Attraction touristique** : L'amélioration des infrastructures routières peut favoriser le tourisme dans la région, en permettant un accès plus facile aux sites historiques et naturels des Aurès, connus pour leur patrimoine culturel et leurs paysages montagneux.

En résumé, ce projet a des impacts positifs à la fois sur le développement économique, l'amélioration des infrastructures de transport, la sécurité, et la qualité de vie des habitants de Batna et des régions environnantes.

Chapitre II : Paramètres de base.

II. Chapitre II : PARAMETRES DE BASE.

II.1 INTRODUCTION :

Pour réaliser une étude technique d'un projet autoroutier, il y a lieu de fixer les normes et les règles nécessaires à la définition des paramètres à appliquer dans la phase de la conception géométrique du projet.

Le présent chapitre vise à présenter les critères géométriques appliqués lors de la conception du tracé de la pénétrante. Les critères de conception proposés sont principalement ceux décrits dans les Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL 2000).

II.2 Choix de catégorie de la route :

L'ICTAAL propose deux types de catégories appelées « L1 » associée aux régions de plaine ou vallonnée où les contraintes de relief sont modérées, et « L2 » associée aux sites de relief plus difficiles.

Le tracé autoroutier du présent projet ne rencontre pas de grandes contraintes (le terrain est plat, les villes sont dispersées, etc.), la catégorie d'autoroute sera de classe L1 avec une vitesse de référence de 130 km/h.

II.3 Visibilité

Les niveaux élevés de sécurité et de confort impliquent de bonnes conditions de visibilité permettant au conducteur d'anticiper les événements survenant sur l'autoroute.
Le tableau ci-dessous récapitule les principales distances de visibilité et les valeurs de la décélération moyenne en situation de freinage d'urgence selon la vitesse :

Tableau II.1-Principale distance de visibilité (m) et valeur de la décélération (γ)

Vitesse (km/h)	50	70	90	110	130
Décélération moyenne γ (g)	0.36	0.44	0.40	0.32	0.32
Distance d'arrêt en palier da (p=0)	50	85	130	195	280
Distance de manœuvre en sortie dms (6.v)	85	120	150	185	220

II.4 Paramètres géométriques :

Les paramètres géométriques adoptés pour notre projet sont résumés dans le tableau ci-dessous, d'après l'ICTAAL 2000 :

Tableau II.2-Paramétres géométriques (ICTAAL 2000)

Désignation des paramètres	Symbole unité	Catégorie	Valeur
Vitesse maximale	V (km/h)	L1	130
Rayon minimum absolu	Rm (m)	L1	600
Rayon minimum non déversée	Rnd (m)	L1	1000
Rayon minimal sans courbe de transition	R (m)	L1	1500
Déclivité maximum	P (%)	L1	5
Déclivité minimum	P (%)	L1	0.5
Rayon minimal de raccordement convexe	Rv (m)	L1	12500
Rayon minimal de raccordement concave	Rv (m)	L1	4200
Nombre de voie de chaque chaussée	N	L1	2 à 4
Largeur de voie	L (m)	L1	3.5
Devers minimum	d (%)	L1	-2.5
Devers maximum	d (%)	L1	+7

Chapitre III : Etude de Trafic.

III. CHAPITRE III : Etude de Trafic

III.1 INTRODUCTION

L'étude du trafic est essentielle car elle permet d'analyser les patterns de déplacement des personnes et des marchandises, d'anticiper les besoins en infrastructures, d'améliorer la sécurité routière et de créer des villes plus efficaces et durables. Le calcul du trafic s'appuie sur les données actuelles en tenant compte de divers paramètres (TJMA, trafic de poids lourds, durée de vie de la route, etc.) afin de déterminer le nombre de voies nécessaires pour garantir la fluidité de la circulation et prévenir la congestion. Cette étude prend également en considération l'évolution du trafic sur toute la durée de vie de la route prévue.

III.2 Analyse de Trafic :

Elle se fait par différents procédés complémentaires :

- Comptages manuels.
- Comptages automatiques.
- Comptages semi-automatiques.
- Les enquêtes.

III.3 Calcul de la Capacité :

La capacité d'une route correspond au nombre maximal de véhicules pouvant circuler de manière optimale sur une voie, que ce soit dans une seule direction ou dans les deux. Elle est généralement exprimée en termes de débit horaire.

III.4 Connaissance du Trafic :

a. Les comptages (technique n'identifiant pas les véhicules)

- Comptages manuels.
- Comptages automatiques.
- Comptages directionnels.
- Comptage directionnel par numéro de voiture.

b. Les enquêtes simplifiées

- Enquêtes par relève minéralogique.
- Enquêtes par cartes.
- Enquêtes papillons.

c. Les enquêtes complètes

- Enquêtes par interview le long de la route.
- Enquête par interview à domicile ou enquêtes ménages.

III.5 Différents types de Trafic :

Il y a quatre types de trafic :

- Trafic normal : C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre compte du nouveau projet.
- Trafic dévié : C'est le trafic dévie sur d'autre itinéraire suite au faible niveau de service offert par la route avant aménagement.
- Trafic induit : est le nouveau trafic attiré suite à l'amélioration du niveau de service de la route aménagée.

- Trafic total : Le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévie.

III.6 Capacité des Voies :

La capacité pratique est le débit horaire moyen à saturation (congestion significative). C'est le trafic horaire au-delà duquel le plus petit incident risque d'entraîner la formation de bouchons.

La capacité dépend :

- Des conditions de trafic.
- Des conditions météorologiques.
- Le type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire.
- Des distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des conducteurs variables d'une route à l'autre).
- Des caractéristiques géométriques de la section considérée (nombre et largeur des voies).

III.7 Détermination de nombres de Voies :

Le choix du nombre de voie résulte de la comparaison entre l'offre et la demande, c'est à dire le débit admissible et le trafic prévisible à l'année d'exploitation. Le Trafic Moyen Journalier Annuel (T.M.J.A) égal au trafic total de l'année divisé par le nombre de jour ; on l'exprime en véhicules/jour.

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

Le Trafic Moyen Journalier Annuel (T.M.J.A) égal au trafic total de l'année divisé par le nombre de jour ; on l'exprime en véhicules/jour.

III.7.1 Trafic à un horizon donné « TJMAh »

Le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est donné par la formule suivante :

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

Avec :

- **TJMAh** : le trafic a l'année horizon.
- **TJMA0** : le trafic a l'année de référence.
- **τ** : taux d'accroissement du trafic.
- **n** : nombres d'année.

III.7.2 Calcul de trafic effectif

C'est le trafic traduit en unités de véhicules particuliers (uvp) en fonction de type de routes et de l'environnement (en plaine, vallonné ou montagneux). La formule qui donne le trafic effectif est :

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

Avec :

- **Teff** : trafic effectif à l'année horizon en (u.v.p).
- **Z** : pourcentage de poids lourds(%).
- **P** : coefficient d'équivalence pour le poids lourds.

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

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

III.7.3 Débit de pointe horaire normal

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

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

Avec :

- **Q** : débit de pointe horaire (uvp /h).
- **n** : nombre d'heure (**n**=8 heures) ; donc 1/**n** : coefficients de pointe prise égale 0.12.

III.7.4 Débit horaire Admissible

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

$$Qadm = K1.K2.Cth$$

- **Qadm** : débit admissible (uvp/h).
- **K1** : coefficient lié à l'environnement.
- **K2** : coefficient de réduction de capacité.
- **Cth** : La capacité théorique pour des conditions normales de trafic.

Tableau III.2-valeurs de $K1$

Environnement	E1	E2	E3
K_1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Tableau III.3-valeurs de $K2$

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

III.7.5 Calcul du nombre de voies :

- **Cas d'une chaussée bidirectionnelle**

On compare **Q** à **Qadm** en prend le profil permettant d'avoir :

$$\mathbf{Q \leq Qadm}.$$

- **Cas d'une chaussée unidirectionnelle**
  Le nombre de voie par chaussée est le nombre entier :

$$\mathbf{n = S \times Q / Qadm}$$

Avec :

S : coefficient traduisant la dissymétrie dans la répartition du trafic, en général égale à **2/3.**

III.8 Application au projet :

D'après les résultats de trafic qui nous ont été fournis par le service spécialisé de l'agence nationale des autoroutes ANA qui sont les suivants :

- Le trafic journalier moyen annuel à l'année 2014= 11367v/j
- Année de mise en service=2025
- Le pourcentage de poids lourds=20%
- Coefficient d'accroissement annuel=3.5%
- Durée de vie =20 ans
- Environnement =E1
- Catégorie de la route=C1

III.8.1 Calcul de TJMA année de mise en service

$$\mathbf{TJMA2025 = (1+\tau)^{n} \times TJMA2014}$$

TJMA2025 = (1+0.035)^11×11367=16595v/j

$$\mathbf{TJMA2025=16595v/j}$$

III.8.2 Calcul de TJMA horizon 2045

TJMA2045= (1+τ)^ n × TJMA2025

TJMA2045= (1+0.035)^20×16595=33021v/j

$$\mathbf{TJMA2045=33021\ v/j}$$

III.8.3 Calcul des trafics effectifs

Teff = [(1- Z) + P×Z] T J M Ah

On a :

P=2 (route de bonne caractéristique, E1)

Z=20%

Teff= [(1-0.2) + 2×0.20] ×33021=39625.2 uvp/j

Teff=39625.2 **uvp/j**

III.8.4 Débit de pointe horaire normal

Q= 1/ n ×Teff

Q=0.12×39625.2 =4755uvp/j

Q=4755uvp/j

III.8.5 Débit admissible

Qadm=K1×K2×CT

Avec :

Catégorie C1→K1=0.75

Environnement E1→K2=1

Cth=1800uvp/h (route a chaussée séparé, B40)

Qadm=0.75×1×1800=1350 uvp/h

Qadm=1350 uvp/h

III.8.6 Détermination du nombre de voie :

n= 2/3× $Q/\ Q$adm =2/3 × 4755/1350 =2.3

n= 2 voies/sens

III.8.7 Calcul de l'année de saturation : 2×2 voies

n Débit de saturation : Qsaturation = 8 × 1350 = 10800 uvp/h

n = [ln(Qsaturation) - ln(Q2025)] / ln(1 + t)

n ≈ 24ans → Année de saturation ≈ 2049

Chapitre IV :
Étude Géométrique.

IV. Chapitre IV : Etude Géométrique

IV.1 Tracé en Plan :

IV.1.1 Introduction

Le tracé en plan désigne une suite de segments rectilignes reliés par des courbes de transition. Il constitue la projection de l'axe de la route sur un plan horizontal, représenté sous forme de carte topographique ou de schéma de relief à l'aide de courbes de niveau. Les différents éléments qui composent ce tracé doivent garantir aux usagers de la voie rapide un parcours confortable et sécurisé. Cette sécurité et cette stabilité sont définies conformément aux recommandations des guides routiers, prenant en compte la vitesse de référence ainsi que le coefficient de frottement de la chaussée.

IV.1.2 Règles à respecter pour un tracé en plan

Un tracé en plan conforme aux normes et optimisé doit observer les principes suivants :

- Adapter le tracé au relief naturel pour limiter les travaux de terrassement massifs.
- Utiliser de grands rayons de courbure, lorsque le terrain le permet.
- Veiller à une bonne connexion avec le réseau routier existant.
- Éviter autant que possible les zones habitées et les terres à vocation agricole.
- Réduire les franchissements d'oueds afin de limiter le recours aux ouvrages d'art, pour des raisons économiques.
- Augmenter l'angle d'intersection avec les routes et les cours d'eau afin de réduire, voire supprimer, le besoin en ouvrages d'art.
- Écarter les zones présentant des risques géologiques ou géotechniques.

IV.1.3 Composantes du tracé en plan

L'axe d'un tracé en plan est formé par une suite ordonnée d'alignements, de courbes de transition et d'éléments géométriques. Il se présente généralement sous une forme schématique respectant les critères suivants :

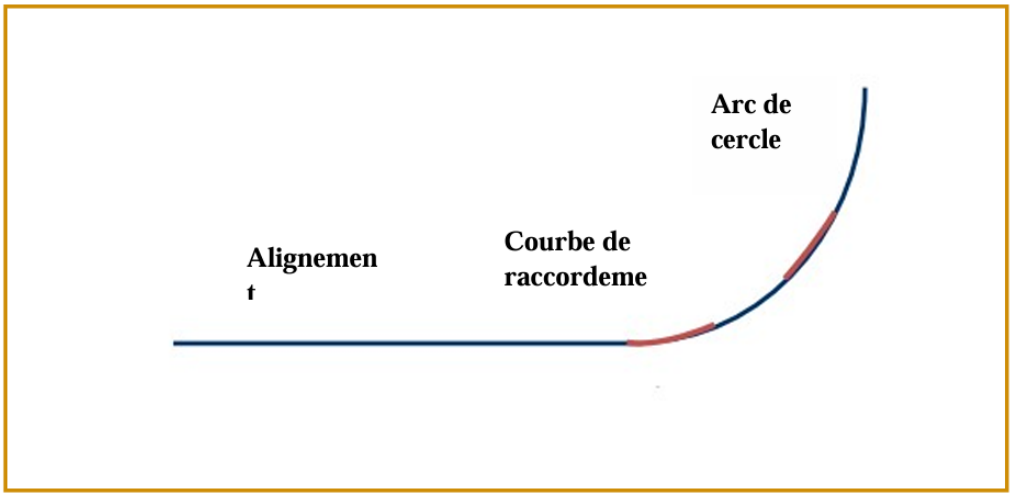


Figure IV.1-Eléments du tracé en plan

IV.1.3.1 Les alignements

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

IV.1.3.2 Les rayons en plan

Les valeurs des rayons en plan préconisée par l'ICTAAL 2000 sont données dans le tableau ci-après et sont les seuils à respecter pour les valeurs minimales des rayons :

Tableau IV.1-Valeurs minimales des rayons du trace en plan (source : JCTAAL2000)

Vitesse de base	$\mathbf{V_B(km/h)}$	130
Rayon minimal	$\boldsymbol{R_m\ (m)}$	600
Rayon minimal non déversé	$\boldsymbol{R_{nd}\ (m)}$	1000
Rayon minimal sans courbe de transition	$\mathbf{1.5}\ \boldsymbol{R_{nd}\ (m)}$	1500

IV.1.4 APPLICATION AU PROJET:

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

Tableau IV.2-Valeurs des rayons choisis

Rayon	R1	R2	R3
Valeurs(m)	3000	2500	2000

- **Cas d'un raccordement sans clothoïde :**

Pour R1 :

R=3000m>1500m alors d = - 2.5% et le calcule se fait sans clothoïde.

Tableau IV.3-Résultats de R1

Pt	X	Y
A	257289.3664	3956511.423
B	256564.8264	3957273.1373
S	256994.8741	3956956.7459

Calcul des gisements :

- $\Delta X_{AS} = Xs - X_A = 256994.8741 - 257289.3664 = -294.4923$
- $\Delta Y_{AS} = Ys - Y_A = 3956956.7459 - 3956511.423 = 445.3229$

$$G_{AS} = 200 + arctg\left(\frac{|\Delta X_{AS}|}{|\Delta Y_{AS}|}\right) = 200 + arctg\left(\frac{|-294.4923|}{|445.3229|}\right)$$

$$G_{AS} = 237.196\ grade$$

- $\Delta X_{BS} = Xs - X_B = \ 256994.8741\ -\ 256564.8264 = 430.0477$
- $\Delta Y_{BS} = Y_S - Y_B\ = \ 3956956.7459\ -\ 3957273.1373 = -316.3914$

$$G_{SB} = 200 + arctg\left(\frac{|\Delta X_{BS}|}{|\Delta Y_{BS}|}\right) = 200 + arctg\left(\frac{|430.0477|}{|-316.3914|}\right)$$

$$G_{SB} = 259.61\ grade$$

Calcul des angles :

$$\gamma = |G_{AS} - G_{SB}| = |237.196 - 259.61|$$

$$\gamma = 22.414\ grade$$

Calcul de la tangente :

$$T = tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \times R\ \text{, Avec : } \gamma = 20.17\ degre$$

$$T = tan\left(\frac{20.17}{2}\right) \times 3000 = 533.57\ m$$

Calcul de la longueur d'arc :

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

$$L = 3000 \times \frac{\pi}{200} \times 22.414$$

$$L = 1056.23\ m$$

Calcul des coordonnées des points singuliers :

Pour le point C :

$$X_C = X_S - T\ sin(G_{AS}) = \ 256994.8741\ -\ 533.57\ sin(237.196) = 257024.423$$

$$Y_C = Y_S - T\ cos(G_{AS}) = 3956956.7459\ -\ 533.57\ cos(237.196) = 3957401.804$$

Tableau IV.4-Résultats du point C

X_C	Y_C
257024.423	3957401.804

Pour le point D :

$$X_D = X_S + T\ sin(G_{AS}) = 256994.8741 + \ 533.57\ sin(237.196) = 256700.5604$$

$$Y_D = Y_S + T\ cos(G_{AS}) = 3956956.7459 + \ 533.57\ cos(237.196) = 3956511.6881$$

Tableau IV.5-Résultat du point D

X_D	Y_D
256700.5604	3956511.6881

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

IV.1.4.1 Les courbes de raccordement progressif

Les courbes de rayon inferieur à $\mathbf{1.5}\,\boldsymbol{R_{nd}}$ sont introduites par des raccordements progressifs (clothoïdes). Leur longueur est au moins égale à la plus grande des deux valeurs :

$\{\mathbf{14}|\Delta\boldsymbol{\delta}|\ \mathbf{et}\ \mathbf{R/9}\}$ (ICTAAL 2000). Où :

- **R** : le rayon de courbure en mètre (m).
- $\boldsymbol{\delta}$ **(%)** : la différence des pentes transversales des éléments du tracé raccordés.

Tel que : $|\Delta\boldsymbol{\delta}| = |\boldsymbol{\delta 1} - \boldsymbol{\delta 2}|$

Avec :

- $\boldsymbol{\delta 1}$: la pente transversale initiale.
- $\boldsymbol{\delta 2}$: le dévers de la courbe.

IV.1.5 . Recommandations pour I 'enchainement des éléments du tracé en plan

Des courbes circulaires de rayon modéré $(< \mathbf{1.5}\,\boldsymbol{R_{nd}})$ ne peuvent être utilisées qu'en respectant les règles d'enchainement du tracé en plan ci-après :

- Introduire de telles courbes sur une longueur de 500 à 1000 (m) à l'aide de courbes de plus grand rayon, dans ce cas, deux courbes successives doivent satisfaire la condition $\mathbf{R_1 = 1.5.\ R_2}$, ou $\mathbf{R_1}$ est le rayon de la première courbe rencontrée et $\mathbf{R_2}$ $(< \mathbf{1.5}\,\boldsymbol{R_{nd}})$ celui delà 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.
- Séparer deux courbes successives par un alignement droit d'au moins 200m, sauf, pour deux courbes de sens contraire introduites par des raccordements progressifs.
- Il est conseillé de remplacer les longs alignements droits par de grands rayons.
- Il est souhaitable d'employer des rayons supérieurs ou égaux à $\mathbf{1.5}\,\boldsymbol{R_{nd}}$.

IV.1.6 Les contraintes traversées par le projet

IV.1.6.1 Les principaux axes routiers croisés

Bien que le réseau routier soit peu développé dans la zone du projet, une route sera croisée, pour laquelle des solutions telles que des passages supérieurs, inférieurs ou sous viaducs seront envisagées afin de garantir sa continuité.

Le principal axe routier croisé pour notre section d'étude est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau IV.6-Principaux axes routiers croisés

	Croisement	Commentaire
Route d'accès a l'aéroport Mustapha Ben Boulaid	PK 5+615	Echangeur
RN75	PK 2+440	Echangeur RN75

IV.1.6.1.1 Pistes agricoles traverses par le projet

Dans cette section, le tracé projeté est prévu de traverse diverses contraintes telles que les habitations communes dispersées, les terres agricoles, les fibres optiques, les pistes agricole... etc. Le tableau ci-dessous recapitule les contraintes traverse par la section de projet:

Tableau IV.7-Contraintes prises en compte pour l 'optimisation du tracé

Section (PK)	Contraintes
PK 3+285	Piste agricole
PK 4+175	Piste agricole
PK 9+320	Piste agricole

- **Recommandation**

Les pistes agricoles traversées par la section du projet seront franchi par des passages supérieurs ou inferieurs.

IV.1.6.1.2 Réseaux électriques

Une attention particulière a été apportée dans la conception de la pénétrante autoroutière afin que celle-ci n'interfère pas avec les lignes électriques de moyennes tension (MT) et les lignes de basse tension (BT).

Ces lignes sont notamment localisées dans les secteurs suivants :

Tableau IV.8-Coordonnées des pylônes MT et BT a proximité ou à 'intérieur de l 'emprise du tracé

Section (PK)	Type	Coordonnées	Commentaire
3+465	**BT**	**Poteau D X =256118.748 Y=3957653.075 Poteau G X=265026.288 Y=3957525.776**	**Poteaux à déplacer, car ils situent dans l'emprise de l'autoroute**
4+025	**MT**	**Poteau D X=255650.818 Y=3957987.765 Poteau G X= 255651.114 Y=3957881.130**	**Surélévation**
4+300	**BT**	**Poteau D X=255514.596 Y= 3958112.104 Poteau G X=255349.521 Y=3958127.140**	**Poteaux à déplacer, car ils situent dans l'emprise de l'autoroute**

- **Recommandation**

La construction de l'autoroute requiert le déplacement de nombreuses lignes de moyenne tension (MT) et de (BT), Le déplacement de ces lignes électriques sera réalisé par les administrations concernées.

Les conditions générales à respecter pour la traversée des lignes électriques MT et BT sont :

- Une distance minimale de 10 m entre le poteau et l'accotement de la route. Cette distance représente la hauteur moyenne du pylône Elle est préconisée du fait que lorsqu'il y a une chute éventuelle du poteau perpendiculairement sur la route, ce dernier ne doit pas constituer une gêne pour les usagers.
- Une hauteur minimale par rapport à la chaussée (gabarit) de 8 m pour les lignes de moyenne et basse tension et de 9,5 m pour les lignes de haute tension.

IV.2 Profil en Long

IV.2.1 Introduction

Le profil en long d'une route correspond à la coupe longitudinale réalisée par un plan vertical passant par son axe. Il se compose généralement d'alignements rectilignes reliés par des courbes circulaires. Les rayons verticaux étant suffisamment importants, l'introduction de courbes de raccordement progressif n'est pas nécessaire. Ce chapitre expose les conditions et normes à respecter pour l'élaboration du profil en long.

IV.2.2 Principes de tracé du profil en long

- La ligne de projet (trace rouge) ne doit pas être définie de façon arbitraire, mais répondre aux exigences de confort, de visibilité, de sécurité et d'évacuation des eaux pluviales. Conformément au règlement ICTAAL 2000, il convient notamment de :
- Déclivités et rayons
  Fixer les pentes minimale et maximale ainsi que les rayons minimaux en angle saillant et en angle rentrant.
- Adaptation au terrain
  Ajuster le profil au relief naturel pour réduire les travaux de terrassement coûteux.
- Équilibre des déblais/remblais
  Veiller à l'équilibre entre les volumes de matériaux en déblai et en remblai.
- Gestion des eaux
  Éviter l'apparition de points bas en déblai afin de prévenir tout obstacle à l'écoulement des eaux et d'éviter des difficultés de terrassement.
- Hauteurs de remblai
  Limiter les hauteurs de remblai excessives pour faciliter la stabilisation.

IV.2.3 Déclivités

IV.2.3.1 Déclivité minimale

- La pente transversale seule ne suffit pas à l'évacuation des eaux de pluie. Il importe de supprimer les paliers pour que l'eau accumulée s'écoule longitudinalement, via des fossés ou canalisations à pente suffisante.
- Déclivité minimale : i_{min} = 0,5 % (selon ICTAAL 2000).

IV.2.3.2 Déclivité maximale

- La pente maximale dépend notamment :
- Des conditions d'adhérence,
- De la vitesse minimale des poids lourds,
- Des contraintes économiques.
- En zone sinueuse (courbe en plan), il est recommandé de réduire la déclivité maximale pour garantir la sécurité et le confort.
- Déclivité maximale : i_{max} = 5 % (selon ICTAAL 2000).

IV.2.4 Raccordement en profil en long

Le changement des déclivités constitue des points particuliers au niveau du profil en long. A cet effet, le passage d'une déclivité a une autre doit être raccorde par une courbe de grand rayon qui doit satisfaire aux conditions de confort et de visibilité.

On distingue deux types de raccordement :

IV.2.4.1 Raccordements convexes (angle saillant)

Les rayons minimaux admissibles des raccordements paraboliques en angle saillant sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et de visibilité d'autre part.

Rayon minimal en angle saillant : 12500 m (ICTAAL).

IV.2.4.2 Raccordement concave (angle rentrant)

Dans un raccordement concave, les conditions de confort et de visibilité de jour ne sont pas déterminantes, par contre on a un problème de visibilité de nuit pour les routes non éclairées.

Rayon minimal en angle rentrant : 4200 m (lCTAAL).

IV.2.5 Valeurs limites du profil en long

Les valeurs limites du profil en long sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.9-Paramètres fondamentaux du profil en long

Catégorie	L_1
Déclivité maximale (%)	5
Déclivité minimale (%)	0.5
Rayon minimal en angle saillant	12500
Rayon minimal en angle rentrant	4200

N.B : Les rayons donnes en valeurs négatives correspondent à des rayons en angle rentrant, ceux en valeurs positives a des rayons en angle saillant.

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

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

- Associer un profil en long concave, même légèrement, a un rayon en plan impliquant un dégagement latéral important.
- Faire coïncider les courbes horizontales et vertical es, puis respecter la condition : R vertical > 6R horizontal, pour éviter un défaut d'inflexion.
- Supprimer les pertes de trace dans la mesure ou une telle disposition n'entraine pas de surcoût sensible lorsqu'elles ne peuvent être évitées, on fait réapparaitre la chaussée a une distance de 500 m aux mains, créant une perte de trace suffisamment franche pour prévenir les perceptions trompeuses.

❖ **Remarque**

Les calculs manuel et automatique sont joints en annexe.

IV.3 Profil en Travers

IV.3.1 Introduction

En conception routière, Le profil en travers d'une route est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la route. Le choix d'un profil en travers dépend essentiellement du trafic attendu sur la route projetée. On distingue deux types de profil :

- **Profils en travers courant** : Ce sont des profils dessines à des distances régulières qui dépendent du terrain naturel (accidente ou plat).
- **Profil en travers type : 11** contient taus les éléments constructifs de la future route dans toutes les situations (en remblai, en déblai, en alignement et en courbe).

IV.3.1.1 Les éléments de composition du profil en travers

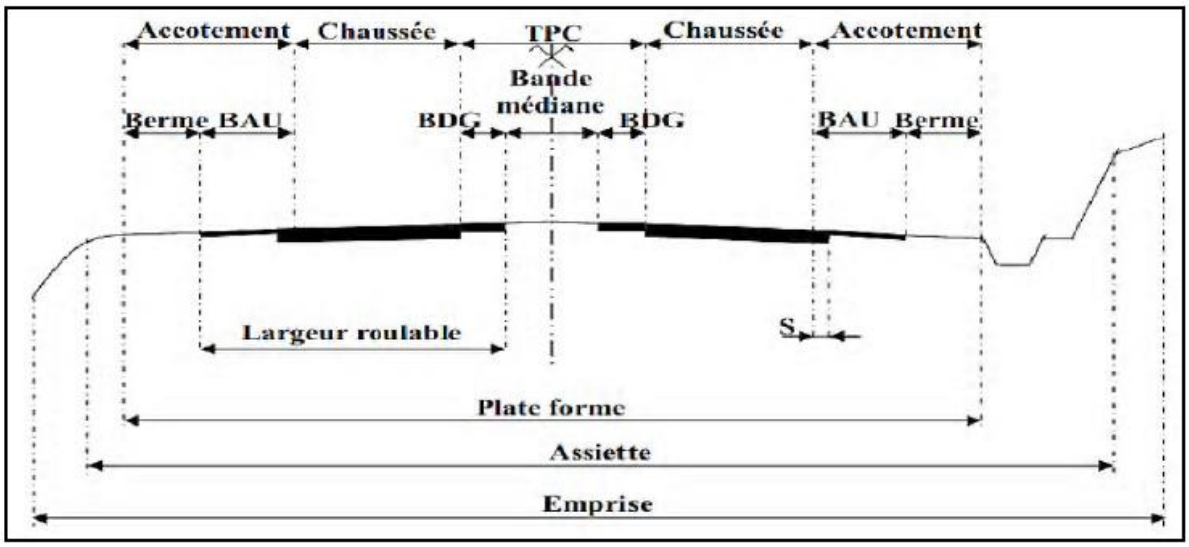


Figure IV.2-Description des éléments constitutifs du profit en travers en section courante

- **T.P.C** : Terre-plein Central.
- **B.A.U:** Bande d'Arrêt d'Urgence.
- **B.D.G** : Bande Dérasée de Gauche.

IV.3.2 Récapitulation du projet

Les différents éléments du profil en travers type et leurs dimensions du projet sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10-Dimensions des éléments du profil en travers

Description	Largeur(m)	Nombre	Largeur totale (m)
Voie de circulation 2 x2 Terre-plein central (T.P.C) Bande dérasée de gauche (B.D.G) Bande médiane (B.M) Accotement Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) La berme	3.5 3 1 1 4 3 1	4 1 2 1 2 2 2	14 3 2 1 8 6 2
Totale 25			
Zone de sécurité à I' extérieur des voies de circulation	10	2	20
Devers en section droite			
Chaussée. Bande dérasée gauche (B.D.G). Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U). Berme extérieure.	2,5 % vers l'extérieur. Identique à celle de la chaussée. Identique à celle de la chaussée. 8% vers l'extérieur.		
Devers en courbe			
Chaussée Bande dérasée de gauche (B.D.G) Bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)	2.5 % Identique à celle de la chaussée. Identique à celle de la chaussée.		

Le profil en travers type est représenté de manière détaillée dans la figure suivante :

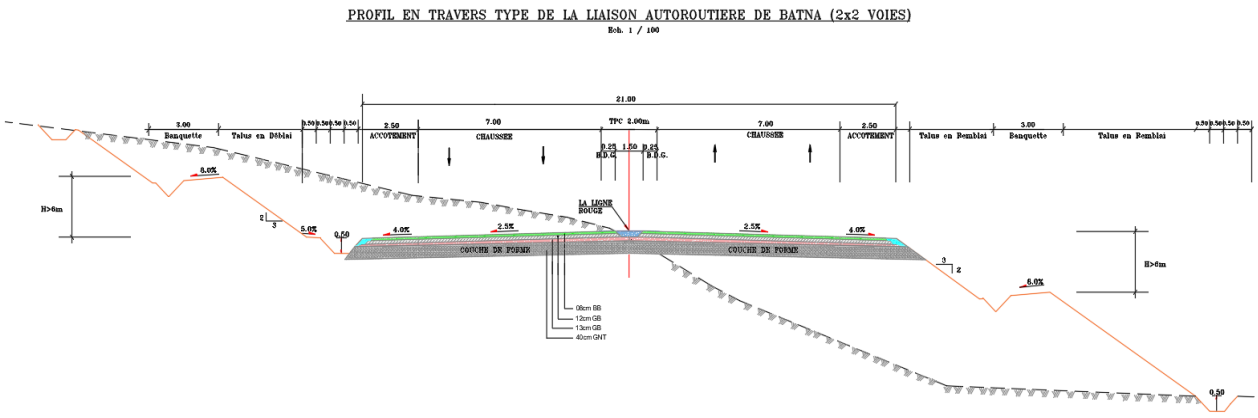


Figure IV.3-Profil en travers type de la pénétrante

Chapitre V : Étude Géotechnique.

V. Chapitre V : Etude Géotechnique

V.1 INTRODUCTION :

L'élaboration et la mise en œuvre de projets routiers en site vierge exigent une connaissance approfondie des terrains traversés. Pour cela, une reconnaissance géotechnique s'avère indispensable afin de fournir les informations nécessaires à toutes les phases de conception et de réalisation des infrastructures routières.

Cette reconnaissance permet notamment :

- À l'étape des études : d'optimiser le tracé, d'évaluer les volumes de terrassement et de choisir les matériaux adaptés ;
- À l'étape d'exécution : de limiter les imprévus et de définir les méthodes de mise en œuvre selon la nature des sols.

Dans le cadre de l'Avant-Projet Détaillé (APD) de la pénétrante autoroutière reliant la wilaya de Batna à l'autoroute Est-Ouest, une campagne de reconnaissance géotechnique a été menée, comprenant des essais in situ et en laboratoire. Cette campagne avait pour but de caractériser les paramètres géotechniques influençant la conception de la chaussée, afin d'identifier les contraintes pouvant affecter le tracé.

V.1.1 Aperçu géologique sur la zone d'étude

D'après les cartes géologiques à l'échelle 1:50 000 couvrant les régions de Ain El Ksar, Ain Yagout et Bourzhel, le tracé projeté traverse des formations post-nappes tectoniques du Miocène supérieur, du Quaternaire, ainsi que des terrains calcaires et dolomitiques.

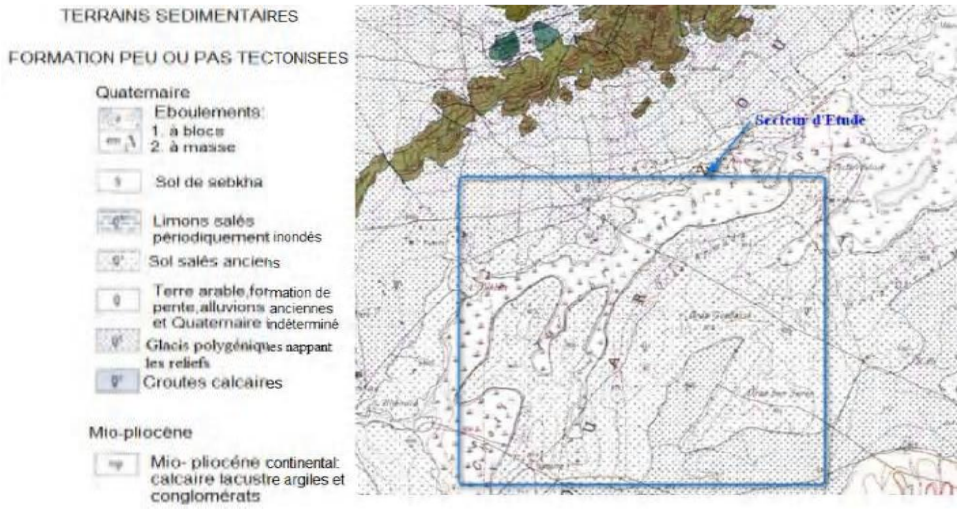


Figure V.1-Carte géologique de la zone d'étude

La géologie locale se distingue par plusieurs formations :

- Glacis polygéniques : reliefs caractéristiques des hautes plaines, formés de dépôts détritiques inclinés vers les plaines et de faible pente s'accentuant en direction des montagnes.
- Sols de sebkha : alluvions fines composées principalement de limons argileux et vaseux, souvent inondés, avec des traces de sel et de gypse.
- Sols salés anciens : étendues légèrement surélevées à végétation halophile, présentant des caractéristiques similaires aux sebkhas.
- Alluvions anciennes et formations de pente : dépôts fluviatiles contenant des limons, sables et graviers formant les terres arables de la région.
- Cours d'eau : tel que l'Oued El Maadher, identifié au PK 5+352, nécessitant un franchissement par ouvrage d'art.

V.2 Compagne d'investigation géotechnique

Des investigations ont été réalisées à la fois sur le terrain et en laboratoire afin de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sols de la zone étudiée. L'objectif était d'identifier les paramètres influençant la portance et le comportement des fondations.

V.2.1 Résultats des essais in-situ

V.2.1.1 Puits de reconnaissance géologique

Quarante puits ont été creusés entre le PK 1+600 et le PK 11+600, après décapage de la couche végétale. Les profondeurs ont varié entre 0,70 m et 5,40 m. Ces puits ont permis d'observer les caractéristiques des couches de sol rencontrées, leur humidité, la présence de nappe phréatique, ainsi que la compacité et nature des matériaux.

Les descriptions lithologiques des coupes issues de ces puits de reconnaissance fournissent les profils verticaux suivants :

Tableau V.1-Résultats des puits de reconnaissance

Puits	Pk	Profondeur (m)	Description des sols
PC-1	1+950	0+00 à 0.05	Terre végétale
		0.05 à 0.70	Encroutement calcaire
PC-2	2+925	0.00 à 0.40	Terre arable
		0.40 à 1.00	Argile brunâtre
		1.00 à 2.50	Limon argileux sableux brunâtre
PC-3	3+425	0.00 à 0.30	Terre arable
		0.30 à 1.60	Limon sableux
		1.60 à 4.60	Limon argileux encroute varies colore
PC-4	4+525	0.00 à 0.60	Terre arable
		0.60 à 2.30	Argile sableuse
		2.30 à 3.20	Limon compact (très encroute) varies colore
PC-5	5+437	0.00 à 0.30	Terre arable
		0.30 à 2.00	Limon argileux brunâtre légèrement humide et peu compacte
PC-6	6+015	0.00 à 0.40	Terre arable
		0.40 à 2.5	Argile limoneuse gypseuse brunâtre humide et compacte
PC-7	8+224	0.00 à 0.40	Terre agricole
		0.40 à 2.00	Limon argileux brunâtre légèrement humide et peu compacte
PC-8	9+988	0.00 à 0.40	Terre agricole
		0.40 à 2.00	Limon argileux brunâtre légèrement humide et peu compacte

V.2.1.2 Mesures piézométriques :

Tableau V.2-Profondeur de la nappe phréatique

Sondage N°	Pk	Profondeur de la nappe (m)
PR1	2+800	9
PR2	3+00	9

PR3	3+600	7
PR4	3+800	9
PR5	4+000	7
PR6	6+00	7

V.2.2 Résultats des essais en laboratoire

Les échantillons prélevés des sondages et des puits de reconnaissance ont été soumis aux essais géophysiques, leurs résultats sont présentés dans le tableau suivant :

V.2.2.1 Résultats des essais géophysique

Tableau V.3-Résultats des essais en laboratoire relatifs avec puits de reconnaissance

Puit N°	PK	Wn	Granulométrie (%)		VBS	Limites d'Atterberg			Proctor		CBR (%)
			$< 2(mm)$	$< 80(\mu m)$		W_L (%)	W_P (%)	IP	Y_{dmax} (t /m^3)	W_{opt}	
P1	1+950	13.5	65	49	3.66	57.53	19.06	18.91	1.72	12.2	12.44
P2	2+050	13.5	36	21	0.24	38.04	30.04	27.49	1.77	14.4	11.33
P3	3+625	21.2	98	76	1.66	42.05	20.76	12	1.68	17.2	6.33
P4	4+625	12.7	100	97	2	41.99	19.06	18.91	1.81	9.2	6.65
P5	5+300	14	90	68	2.66	40.00	18.76	21.23	1.71	12.68	5.90
P6	6+000	19.5	100	67	1.83	45.30	20.46	24.84	1.74	14.81	6.61
P7	8+600	15.7	95	74	2.66	40.00	20.3	31	1.70	12.1	5.79
P8	9+400	16.6	100	90	4	52.6	21.7	30.9	1.73	13.2	5.95

V.2.2.2 Résultats des analyses chimiques

Tableau V.4-Résultat des analyses chimiques du sol

PK	Profondeur (m)	% Insolubles	% carbonates $CaSO_3$	Gypses $CaSO_4$ $2H_2O$
1+950	0.05 à 0.70	29.79	65.00	Quelque trace de Gypses $CaSO_4$ $2H_2O$
2+050	0.00 à 1.50	35.98	63.00	
4+525	2.30 à 3.20	53.50	45.00	
6+000	0.60 à 3.00	53.88	45.00	
8+600	0.90 à 5.20	48.26	50.00	

V.2.2.3 Résultats des essais mécaniques

Tableau V.5-Résultats des essais mécaniques relatifs ance sondages carottés

SC N°	PK	Prof (m)	Œdométrique		Cisaillement		
			Pc (%)	Cc (%)	Cg (%)	$C_{uu}(KPa)$	$\emptyset_{uu}(°)$
SC1	5+360	2.10 à 2.50	137.0	0.21	0.03	53	11
		8.40 à 9.00	/	/	/	/	/
SC2	5+610	3.50 à 3.80	31.0	0.18	0.04	55	17
		7.40 à 8.00	/	/	/	/	/

V.2.3 Classification des sols

Tableau V.6-Résultats de la classification (GTR, Casagrande)

N° de Puits	Localisation	Classification GTR	Sous-classe	Classification de Casagrande (Nature du sol)
P1	1+950	A2	A2h	Sol organique très plastique
P2	2+050	C1A1	C1A1s	Argile peu plastique AP
P3	3+625	A1	21h	Argile peu plastique AP
P4	4+625	A2	A2m	Argile peu plastique AP
P5	5+300	A2	A2h	Argile peu plastique AP
P6	6+000	A2	A2h	Argile peu plastique AP
P7	8+600	A3	A3h	Argile peu plastique AP
P8	9+400	A3	A3h	Argile peu plastique AP

V.2.4 Conditions d'utilisation des matériaux en remblais

Sur la base de la classification GTR par les résultats des puits de reconnaissances, les sols déblayées peuvent être réutilisées ou pas en remblais à condition de satisfaire à certaines conditions prescrites dans le Guide des Terrassement Routier « GTR fascicule ».

Remarque : Celon le bureau d'études et les résultats de tableau ci-dessous ; on déduit que le pourcentage de matériaux déblai utilisables en remblai est estimé a 30% .

Le tableau suivant donne les conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai.

Tableau V.7-Condition d'utilisation des matériaux en remblais

Localisation (Pk1)		Longueur (m)	Sol GTR	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
1+600	1+950	350	A_2h	+	/	Non
				=	Utilisation en l'état	0 0 0 0 0 3 1
				-	Traitement	1 0 1 0 1 2 2

2+050	2+150	100	C_1A_{1S}	+	Extraction en couche	1 0 0 0 1 1 2
				=	Utilisation en l'état	1 0 0 0 0 1 1
2+250	2+725	475	A_1h	-	Humidification	0 0 4 0 1 2 0
3+625	3+925	300	A1h	+	/	Non
				=	Traitement	0 0 0 1 0 2 0
				-	Utilisation en l'état	0 0 0 0 0 3 1
4+025	4+725	700	A1m	+	E : extraction frontale C : compactage moyen	2 0 0 0 0 2 2
				=	C : compactage moyen	0 0 0 0 0 2 0
				-	Utilisation en l'état	0 0 0 0 0 1 2
5+300	7+600	700	A2h	+	/	Non
				=	Utilisation en l'état	0 0 0 0 0 3 1
				-	Traitement	1 0 1 0 1 2 2
7+850	10+00	950	A3h	+	C : compactage faible H : remblai de hauteur faible	0 0 0 0 0 3 1
				=	Traitement	0 0 0 2 0 2 0
				-	Aération	1 0 1 0 1 2 2

V.2.5 Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme

Tableau V.8-Condition d'utilisation des matériaux en couche de forme

Sol	Situation météorologique	Condition d'utilisation en couche de forme	Code GWTS
A1h	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange (sol + liant)	NON
	Pas de pluie	T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux	0 0 2 2
A1m	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange (sol + liant)	NON
	Pas de pluie	W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux. S : Application d'un enduit de cure gravillonnée éventuellement clouté.	0 1 2 2
A2h	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange (sol + liant)	NON
	Ni pluie ni évaporation	T : traitement mixte : chaux + liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonnée éventuellement cloute	0 0 3 2

	Evaporation importante	T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonnée éventuellement clouté	0 0 2 2
A3h	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange (sol + liant)	NON
	Pas de pluie	T : traitement à la chaux seule S : Application d'un enduit de cure gravillonnée éventuellement clouté	0 0 3 2
C_1A_{1S}	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange (sol + liant)	NON
	Pas de pluie	G : Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol avec le (ou les liant(s). W : humidification pour changer l'état hydraulique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	2 2 1 1

V.2.6 Zone d'emprunt des matériaux.

Le matériau provenant du gite N°1 situé à proximité de la RN75, au PK 2+000 environ, a fait l'objet d'un prélèvement pour caractérisation et classification en laboratoire.

Les deux tableaux suivants récapitulent les résultats des essais effectués sur ce matériau :

Tableau V.9-Résultats des essais de laboratoire sur le matériau du Gite N°1

Provenance	Granulométrie (%)			Limites d'Atterberg			Proctor normal		VBS	Teneur en eau (%)	Classe GTR
	D_{max} (mm)	< 2 (mm)	< 80 (µm)	W_L	W_P	IP	W OPN (%)	δ_d OPN (t/m³)			
TUF Gite PK 2+00	>50	44	34	37.7	19.26	18.5	12.4	1.811	1.27	59.34	C1B5

Tableau V.10-Résultats des essais mécaniques matériau du Gite N°

Designation	Proctor normal		Cisaillement rectiligne	
	W OPN (%)	δ_d OPN (t/m³)	Angle de frottement (°)	Cohésion (MPa)
TUF Gite PK 2+00	12.4	1.811	27	0.105

- **Conclusion**

❖ Les résultats obtenus ont permis d'identifier un matériau appartenant à la sous-classe C1B5, conformément aux règles du GTR.

❖ Compte tenu de sa teneur en carbonate de calcium ($CaCO_3$) de 59 % et de son indice de plasticité de 18,5 %, ce matériau est classé comme un tuf. Il présente l'avantage d'allier un frottement comparable à celui des sables ($\varphi = 27°$) à une cohésion similaire à celle des argiles ($c = 0{,}105$ MPa).

❖ Par conséquent, son emploi en remblai est particulièrement recommandé.

V.3 Interprétation des résultats

- **Lithologie**
  Sur le plan lithologique, le sol se compose principalement d'argile fine, pouvant être parfois sableuse ou marneuse, avec des secteurs présentant une combinaison de gros éléments associés à des matériaux fins.
- **Présence d'eau**
  Les relevés effectués sur les piézomètres installés indiquent que la nappe phréatique se situe entre 7 et 10 mètres de profondeur. Aucune présence d'eau n'a été observée à la surface, les mesures ayant été réalisées durant la période estivale.
- **Classe des sols**
  La synthèse des résultats des analyses granulométriques, des limites d'Atterberg et des dosages au bleu de méthylène a permis de classifier les matériaux selon la nomenclature du GTR :
  - Classe « A » (sols fins) : dans les sous-classes A1, A2, A3.
  - Classe « C » (sols comportant des fines et des gros éléments) : dans la sous-classe C1A1.
- **Portance des sols**
  - Les essais CBR ont été effectués par poinçonnement après quatre (4) jours d'imbibition, (traitement considéré comme étant le cas le plus défavorable).
  - Les résultats de l'indice portant donnent des valeurs qui varient entre 12.44 à 11.33% pour la section 1 (du PK 1+600 au PK 2+050) et 6.65 à 5.79 % pour la section 2 (du PK 3+625 au PK9+400)
  - La valeur de l'indice de portance CBR à retenir est de : 5.79 %, soit un sol support de classe S3.
- **Classe de la plateforme, PST, AR**
  - E = 28.95 MPa, Soit une plate-forme support de chaussée de classe PF1, la réalisation d'une couche de forme d'au moins 40 cm permet un reclassement en PF2,
  - Selon le GTR la catégorie de la PST est PST n°2, Soit une classe de portance de l'arase : AR1.
- **Caractéristiques des sols réutilisables**

- Les classes des sols extraits lors des déblais sont CIA1, A2, A1 et A3. Ces sols sont utilisables en remblai sous réserve de respecter des conditions techniques strictes, notamment un traitement in situ par addition de chaux et de ciment afin d'améliorer leur portance.
- Pour le présent projet, la solution retenue consiste à utiliser les matériaux provenant du gisement situé à proximité, au PK 2+000. Les déblais n'ayant pas été employés comme matériaux de remblai seront donc stockés en dépôt définitif.
- Par la suite, ces matériaux, ou tout autre matériau de nature similaire, mélangés à la terre végétale décapée, pourront être utilisés pour le revêtement des talus, qu'ils soient en déblai ou en remblai.

V.4 Stabilité des talus

Pour des raisons de vérification, on a mené une étude de stabilité visvis au glissement des talus de remblais et de déblais avec le logiciel **Slide 5.0.**

V.4.1 Analyse de stabilité du remblai

Nous allons vérifier la stabilité vis-à-vis au glissement du talus de remblais à savoir du PK5+480 au PK5+820, cette hauteur est de 4 m.

V.4.1.1 Données de calculs

- **Caractéristiques géotechniques des sols**

Tableau V.11-Les paramètres géotechniques des sols en remblai

Couches	Densité		Cohésion	Angle de frottement	Module de Young
	$\gamma s\ [KN/m^3]$	$\gamma h\ [KN/m^3]$	$C'\ [KN/m^3]$	$\emptyset'\ [°]$	$E'\ [MPa]$
Remblai	16	17	105	27	50

- **Charge d'exploitation**

La charge d'exploitation est de l'ordre de Q = 20 KN/m² (surcharge routière).

- **La nappe phréatique**

Une nappe phréatique est enregistrée à 7m de profondeur.

- **Calcul des coefficients sismiques**

Les coefficients sismiques pour les calculs de stabilité des talus sont donnés comme suit :

Zone sismique et Groupe des ouvrages : **Zone I, Groupe IA**

- Coefficient d'accélération **(A) : 0,15**
- Coefficient sismique : Coefficient sismique horizontal **kh = 0.075**
- Coefficient sismique vertical **kv = 6.0225**

V.4.1.2 Calcul de Facteur de sécurité du talus

La stabilité du talus est appréciée par rapport à un facteur de sécurité admissible. Si Fs = 1.0, la stabilité est théoriquement assurée, mais en considérant l'incertitude de la conception et de la réalisation du talus, nous avons appliqué le facteur de sécurité admissible Fs > 1.15 afin de favoriser la sécurité permanente du talus.

Tableau V.12-Les paramètres géotechniques des sols en remblai

Remblai	Hauteur (m)	Pente appliqué	Facteur de sécurité sous charge normal	Facteur de sécurité sous séisme
Du PK 5+480 au PK 5+820	4	3H/2V	2.716	2.340

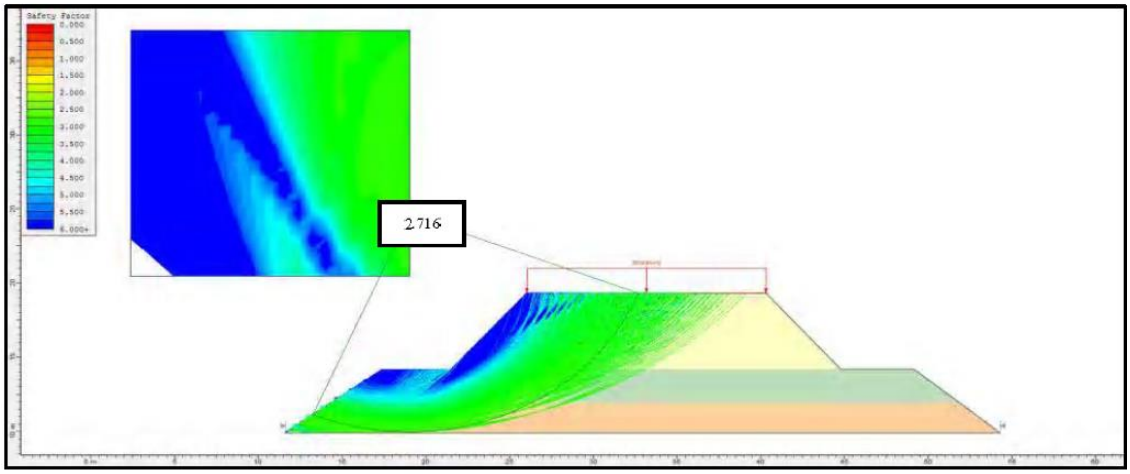


Figure V.2-FS sous les charges normales (logiciel Slide)

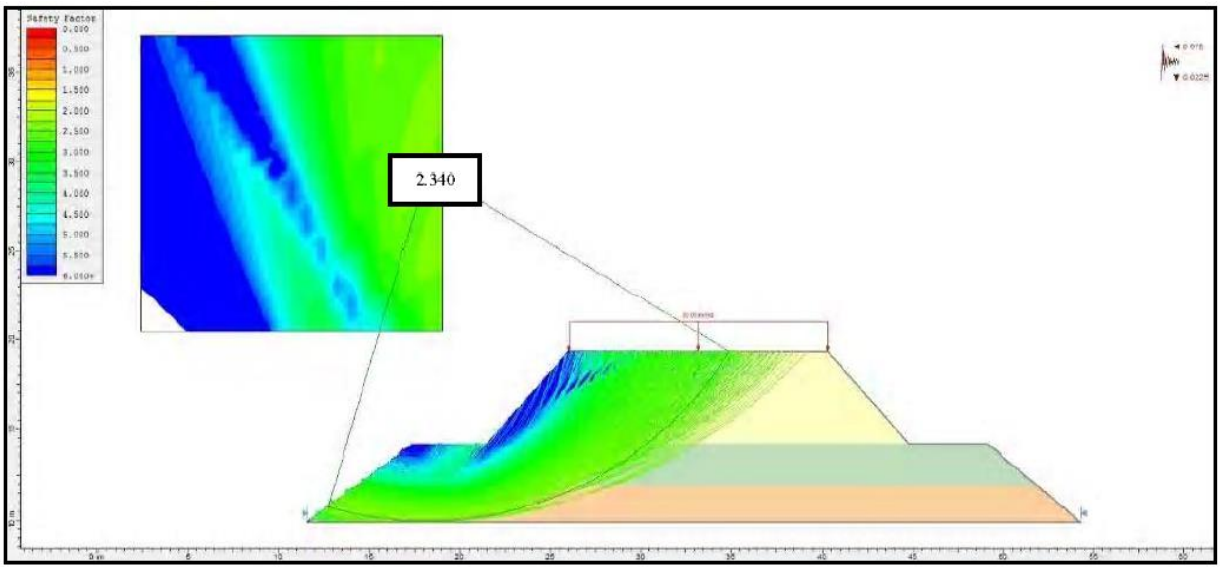


Figure V.3-FS sous les charges sismiques (logiciel Slide)

Au vu des résultats des calculs prévisionnels, le coefficient de sécurité Fs > 1.15, le remblai est stable vis-à-vis au glissement rotationnel.

V.4.2 Analyse de stabilité du déblai

Nous allons vérifier la stabilité vis-à-vis au glissement du talus de déblai à savoir du PK 6+020au PK6+360, cette hauteur est de 2.08m.

V.4.2.1 Données de calcul

Tableau V.13-Les paramètres géotechniques des sols en déblai

Type de sol	Profondeur (m)	Densité (KN/m²)	Cohésion (KN/m²)	Angle de frottement (°)
A2	0.40 à 1.00	17	30	25
A3	1.00 à 2.50	16	40	26

V.4.2.2 Calcul de Facteur de sécurité des talus

Tableau V.14-Résultats de calculs

Déblai	Pente appliqué	Fs sous les charges normales	Fs sous les charges sismiques
Du PK6+020 au PK6+360	2H/1V	1.753	1.555

Au vu des résultats des calculs prévisionnels, le coefficient de sécurité est faible Fs > 1.15, le déblai analysé est stable vis-à-vis au glissement rotationnel.

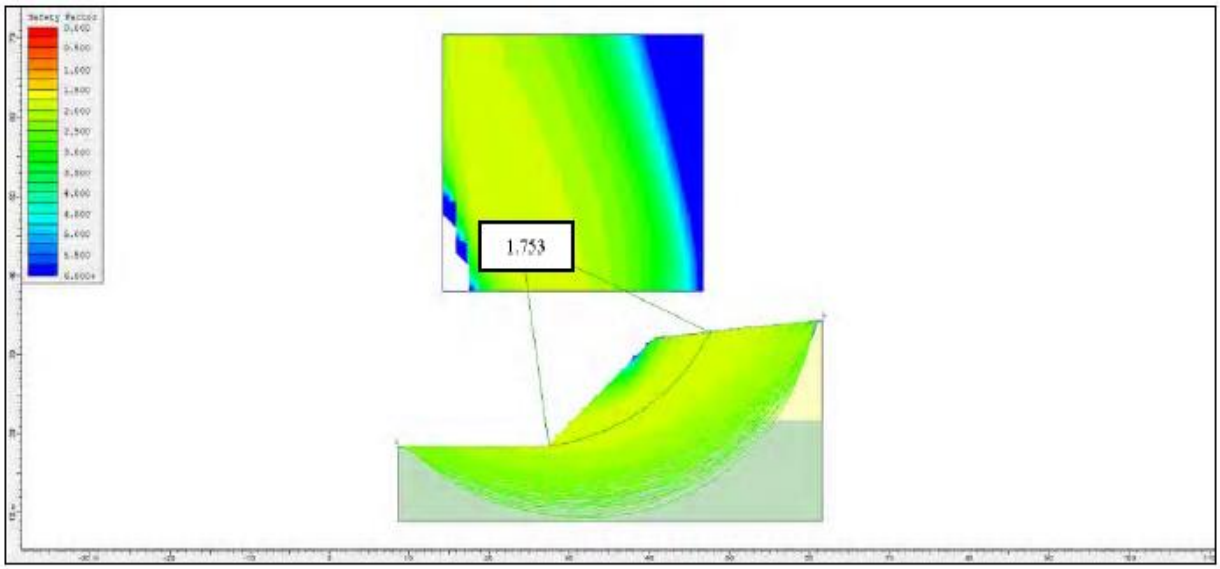


Figure V.4-FS sous les charges normales (logiciel Slide)

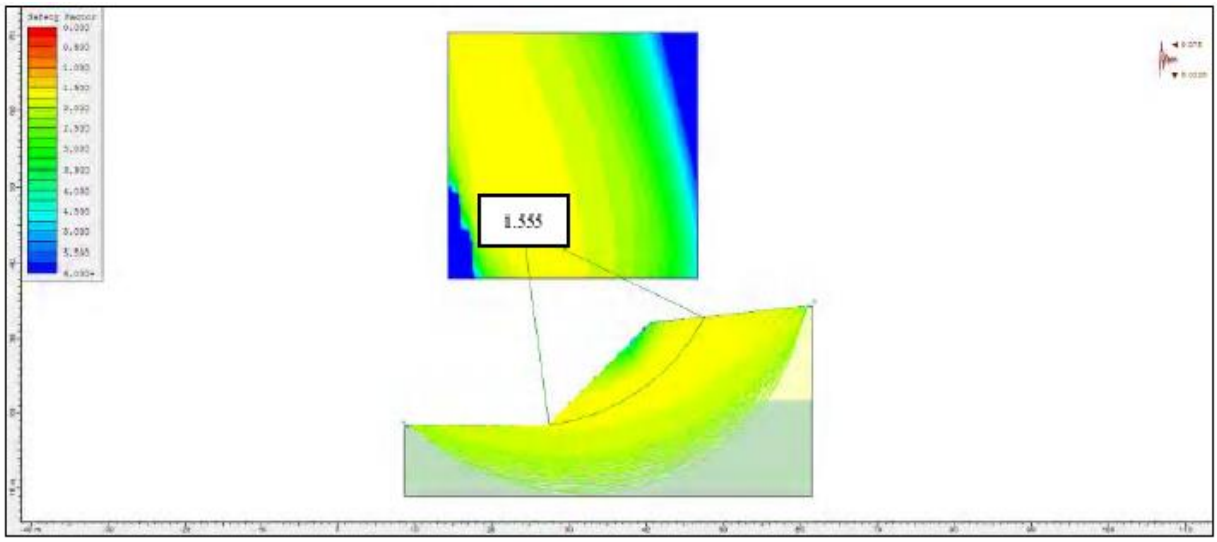


Figure V.5-FS sous les charges sismiques (logiciel Slide)

V.5 Conclusion et recommandation

- Les talus en remblai de cette section, dont la hauteur maximale ne dépasse pas 4 m, doivent être réalisés avec une pente de 3/2 (horizontal/vertical).

- Les talus en déblai, dont la hauteur maximale est inférieure à 3 m, seront exécutés selon une pente de 2/1 (horizontal/vertical).
- Compte tenu des faibles hauteurs des talus (maximum 4 m pour les remblais et 3 m pour les déblais), le risque de glissement de ces talus est négligeable.
- Afin d'assurer la stabilité et la durabilité des remblai, il est recommandé de :
- Mettre en place un système efficace de drainage des eaux de ruissellement en amont des talus.
- Assurer un drainage approprié au niveau des talus, tant en amont qu'en aval des remblais, afin de faciliter l'évacuation des eaux de ruissellement et prévenir les risques de ravinement ainsi que l'infiltration des eaux de surface.
- Installer un tapis drainant en grave 40/60 d'une épaisseur de 60 cm à la base des remblais.
- Les tassements, tant à court qu'à long terme, des remblais seront acceptables si leur mise en œuvre respecte les normes en vigueur, les essais physiques n'ayant pas révélé la présence de sols fortement compressibles.

Chapitre VI : Corps de Chaussée.

VI. Chapitre VI : Dimensionnement du corps de chaussée

VI.1 INTRODUCTION :

Le réseau routier occupe une place essentielle dans le développement économique d'un pays, ce qui rend l'état de ses infrastructures particulièrement déterminant. En effet, une route mal construite ou insuffisamment entretenue se détériore rapidement. Le dimensionnement de la chaussée dépend étroitement de la politique de gestion du réseau routier, elle-même définie par le maître d'ouvrage selon la hiérarchisation de ce réseau.

Le corps de chaussée est conçu pour résister à la circulation pendant une période donnée. Il correspond à l'ensemble des couches de matériaux mis en œuvre, dont l'épaisseur est déterminée en fonction des charges à supporter. Pour assurer sa durabilité, il est indispensable de tenir compte non seulement du trafic actuel, mais également de l'évolution future de la circulation, en estimant notamment le taux d'accroissement du trafic et le type de véhicules appelés à emprunter la route.

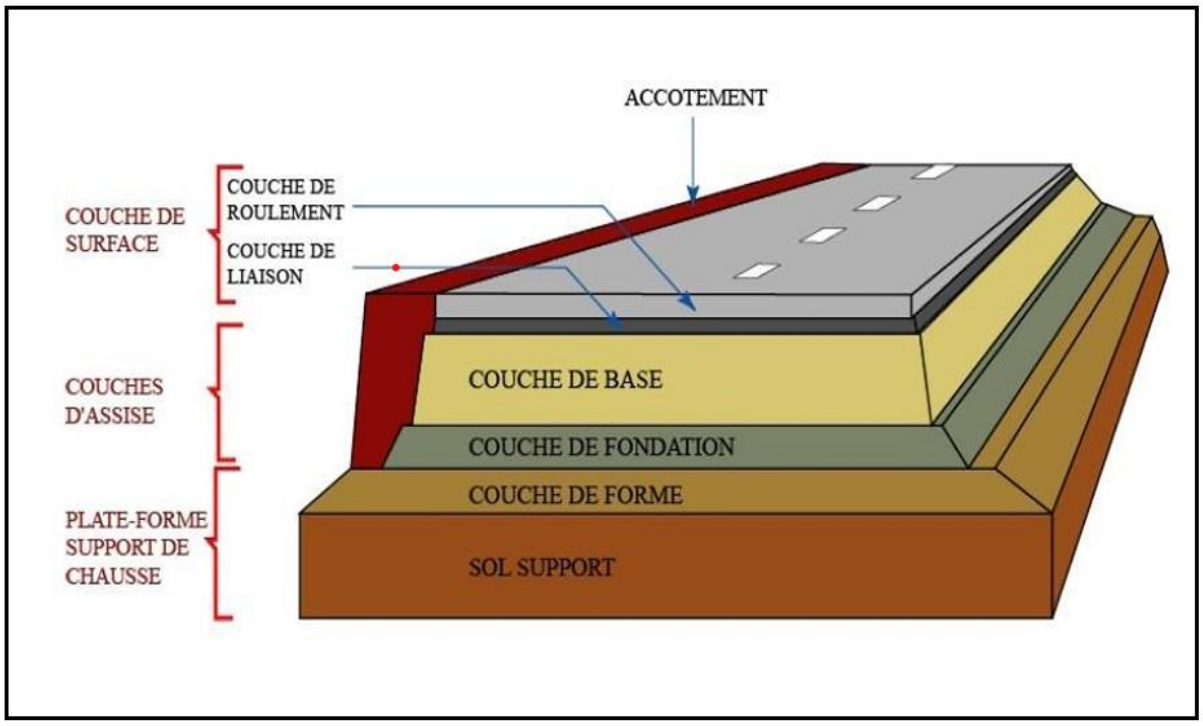


Figure VI.1-Différentes couches de corps de chaussée

VI.2 Méthodes de dimensionnement :

On distingue généralement deux grandes approches dans le dimensionnement des chaussées :

- **L'approche empirique**, issue d'études expérimentales portant sur les performances observées des structures de chaussée en service.
- **L'approche rationnelle**, fondée sur une analyse théorique du comportement mécanique des différentes couches de la chaussée sous l'effet du trafic et des sollicitations.

Parmi les méthodes de dimensionnement les plus couramment utilisées, on peut citer :

- **La méthode CBR (California Bearing Ratio)**, basée sur la portance du sol support ;
- **La méthode du catalogue algérien de dimensionnement**, qui propose des structures types adaptées aux conditions locales ;
- **La méthode du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)**, qui repose sur une modélisation plus poussée du comportement des matériaux.

VI.3 Méthode de CBR (California-Bearing-Ratio):

Année de comptage : 2014

- Le trafic à année de mise en service : TJMA2025=16595 v/j

- Le trafic à l'année 2045 : TJMA2045 = 33021 v/j

- Pourcentage du poids lourds : PL = 20 %

- La charge par roue P (essieu 13t) : P= 6.5t

-CBR= 5.79%

VI.3.1 Application au projet

$N=TPL_{2045}=TJMA_{2045}\times Z$

$N=TPL_{2045}=33021\times 20/100=6604.2PL/j/sens$

Alors :

$$e=\frac{100+\sqrt{6.5}\left(75+50log\frac{6604.2.}{10}\right)}{5.79+5}=60.30\approx 61cm$$

VI.3.1.1 L'épaisseur équivalente

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$E_{eq} = a_1e_1 + a_2e_2 + a_3e_3$

Avec:

- e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

- a1, a2, a3: coefficients d'équivalence des matériaux.

Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau retenu sont:

Tableau VI.1-Coefficient d'équivalence pour chaque matériau

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	a1 = 2.00
Grave bitume	a2 = 1.5
Grave non traite	a3 = 1.00

Pour proposer le dimensionnement de la structure de notre chaussée, il faut résoudre l'équation suivante : $a_1e_1 + a_2e_2 + a_3e_3 = 55cm$

Pour résoudre cette équation on fixe 2 épaisseurs et on calcule la 3ème

- Couche de roulement en béton bitumineux (B.B): $a_1e_1 = 2\times 6$ cm

- Couche de base en grave bitume (G.B): $a_2e_2 = 1.5\times 12$ cm

Donc l'épaisseur de la couche de fondation e_3 en (GNT) est:

$$e_3 = \frac{61-a1e1-a2e2}{a3}$$

$$e_3 = \frac{61-12-18}{1}$$

$e_3 = 31$ cm

Épaisseur réelle :

Eréel =18+12+31=61cm

Notre structure de chausse par la méthode de CBR est :

- ✓ Couche de roulement en béton bitumineux : **6BB.**
- ✓ Couche de base en grave bitume : **12GB.**
- ✓ Couche de fondation en grave non traité : **31GNT.**

6BB + 12Gb + 31GNT

VI.4 La Méthode du catalogue Algérien 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.4.1.1 Les données climatiques :

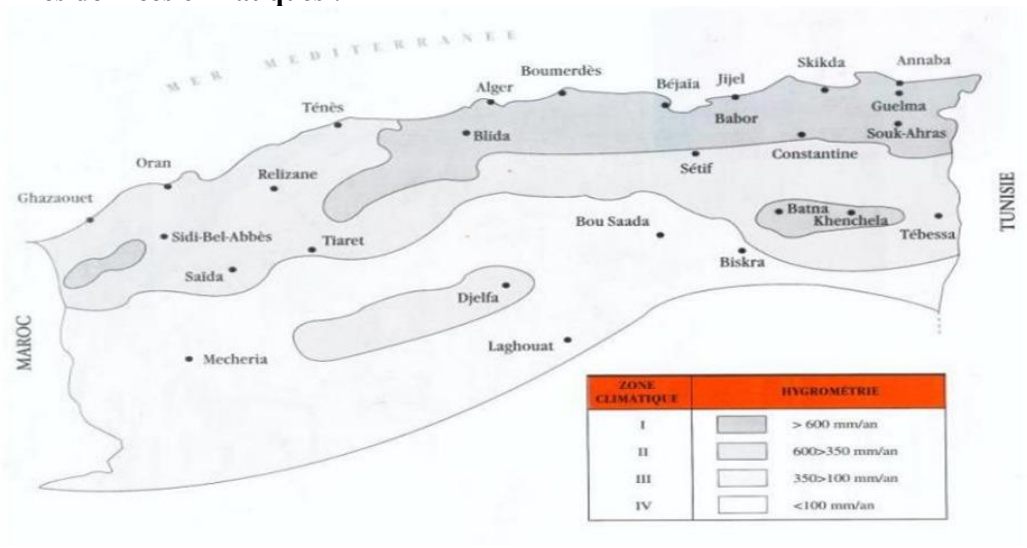


Figure VI.2-Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie (Fascicule 1)

VI.4.1.2 Température équivalente

Tableau VI.2-Température équivalente

Zone climatique	I et II	III	IV
Température équivalente **θ**eq	20°C	25°C	30°C

Notre projet de **zone** I ⟹ **θ**eq = **20°C**

VI.4.1.3 Les données de trafic :

Tableau VI.3-Choix de type de réseau principal

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

<1500 v/j	Rp2

TJMA2045 =33021v/j>1500 v/j.

Donc :

Notre Réseau principale est : **Rp1**

VI.4.1.4 Détermination la classe de trafic TPL :

Les caractéristiques de trafic sont les suivant :

- Pourcentage de poids lourds 20%.
- La durée vie est de 20 ans.
- Taux de croissance de poids lourds τ= 3.5%.
- TJMA2014 = 11367v/j.
- TJMA2025 = 16595v/j
- TPL2025=TJMA2025*Z

On a : répartition transversale sur la voie la plus chargée : on a 90% du trafic PL sur la voie lente de droite .

TPL2025= 16595×0.2 × 0.9 × 2/3= 1991.4 PL/j/sens.

La classe de trafic TPLi est déterminé à partir du trafic poids lourds par jour par sens sur la voie la plus chargée à l'année de référence.

Tableau VI.4-Classe TPL pour Rp1

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

Fascicule 1 D'après la classification du catalogue de dimensionnement nous sommes dans un réseau principal de classe TPL6 pour un TPL=1991 pl/j/sens entre (1500 et 3000).

VI.4.1.5 Le trafic cumule de poids lourds (TCi) :

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

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

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

$$TCi = 365 \times 1991.4 \times \frac{(1+0.035)^{20} - 1}{0.035}$$

$$TCi = \mathbf{20.55} \times 106\mathbf{PL}.$$

VI.4.1.6 Trafic cumulé équivalent TCEi

TCEi correspond au nombre cumulé d'essieux équivalent à 13 tonnes pour la durée de vie considérée.

$$TCEi = TCi \times A.$$

A : coefficient d'agressivité de poids lourd par rapport à l'essieu de référence de13 tonnes. En fonction du réseau principal **Rpi.**

Tableau VI.5-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

Notre choi de Chaussées à matériaux traites au bitume : ⟹ **A=0.6**

Donc : **TCEi = 0.6 × TCi = 12.33× 10^6 PL**

TCEi = 12.33$10^6$ PL

VI.4.1.7 Détermination du risque de calcul :

D'après le catalogue de dimensionnement algérien :

Tableau VI.6-Le risque de calcul R%

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

Fascicule 2

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

VI.4.1.8 Détermination de la portance du sol support :

Tableau VI.7-Les classe de portance du sol

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

On a CBR=5.79 > 5 donc la portance du sol est : **S3**

VI.4.1.9 Sur classement avec couche de forme en matériaux non traité

Tableau VI.8-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

Fascicule 1

Donc il faut faire une amélioration par **deux couches de matériau non traité MNT** (40cm) pour atteindre à la classe de portance **S2** (deux couches de tufs 20cm pour chacune)

VI.5 Choix des différentes couches constituantes de la chaussée

VI.5.1 Les structures possibles de chaussée d'après le catalogue :

VI.5.1.1 Les structures concernant Rp1

Tableau VI.9-Les structure 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.5.1.2 Choix de dimensionnement du corps de chaussée

Nous sommes dans le réseau principal (**RP1**), la zone climatique I, durée de vie de 20 ans, la classe de trafic **TPL6** et un taux d'accroissement moyen **(3.5%).**

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		
300 TPL3 150			

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

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

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

Choi final de la structure chaussée : **8BB + 12GB + 13GB.**

Et nous avons choisi aussi pour la couche de forme le matériaux non traite 40cm (20cm par couches) **TUF.**

VI.5.2 Calcul de la déformation admissible

VI.5.2.1 Calcul de la déformation admissible (εz, adm.) du sol support

$$\varepsilon z,adm = 22\times10^{-3}\times TCEi^{-0.235}$$

Application numérique : $\varepsilon z,adm = 22\times10^{-3}\times (12.33 \times 10^{6})^{-0.2}$

VI.5.2.2 Calcul de la déformation admissible de traction εt, adm

$$\varepsilon_{z,adm} = 839.9\times10^{-6}$$

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

$$\varepsilon t,adm = \varepsilon 6\ 10°c,\ 25Hz \times kne \times k\theta \times kr \times kc$$

ε6 (10°c, 25hZ) : déformation limite détenue au bout de 106 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz **(essai de fatigue).**

- K**θ** : 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 :

$$K_{ne} = \left(\frac{10^6}{TEC}\right)^b \qquad K_r = 10^{-tb\delta} \qquad K_\theta = \sqrt{\frac{E(10°C)}{E(\theta_{eq})}}$$

Avec :

- b : pente de la droite de fatigue (b<0).
- E **(**10°c**) :** module complexe du matériau bitumineux à 10°C.
- E (θeq) : module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.
  - δ : La dispersion $\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{C}{b}.Sh\right)^2}$
  - SN : dispersion sur la loi de fatigue.
  - Sh : dispersion sur les épaisseurs.
  - C : coefficient égal à 0.02.
  - t : fractile de la loi normale qui est en fonction du risque adopté (r%).

Tableau VI.10-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.5.2.3 Performances mécaniques des matériaux bitumineux

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

Tableau VI.11-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=5%).
- c : coefficient égal 0.02
- t : fractile de loi normale, en fonction du risque adopté donc (t = -1.654).

Application numérique :

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

$$\varepsilon_{t-adm} = \varepsilon_6(10℃, 25Hz).K_{ne}.K_\theta.K_r.K_c$$

$$\varepsilon_{t-adm} = 80\ \mu def$$

VI.5.2.4 Vérification de la fatigue des structures et de la déformation du sol support

Pour la vérification il faut vérifier que les déformations **εt** et **εz** de la structure calculée à l'aide d'Alizé-LCPC, sont inférieurs aux valeurs admissibles (**εt, adm** et **εz, adm)** calculées

εz < εz,adm Et **εt < εt,adm**

VI.5.2.5 ALISÉ-LCPC

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

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

épaiss. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdéf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdéf)	SigmaZ (MPa)
0.080	4000.0	0.350	0.000	42.6	0.334	19.6	0.657
	collé		0.080	17.1	0.270	66.9	0.568
0.120	7000.0	0.350	0.080	17.1	0.441	28.9	0.568
	collé		0.200	-20.0	-0.109	36.1	0.193
0.130	7000.0	0.350	0.200	-20.0	-0.109	36.1	0.193
	collé		0.330	-78.9	-0.777	73.9	0.016
infini	50.0	0.350	0.330	-78.9	0.003	266.9	0.016

Figure VI.4-Les résultats de calcul qui obtient par Alizé-LCPC

$\varepsilon z = 266{,}9*10^{-6} < \varepsilon z,adm = 839.9*10^{-6}$ vérifier

$\varepsilon t = 78.9*10^{-6} < \varepsilon t,adm=80*10^{-6}$ vérifier

VI.5.2.6 Les résultats des deux méthodes

Tableau VI.12-Les résultats des deux méthodes

Méthode	CBR	Catalogue
Structure chaussée	6BB + 12GB + 31 GNT	8BB + 12GB + 13GB+40TUF

VI.6 Conclusion

D'après les résultats dans le tableau ci-dessus on remarque que les épaisseurs de la méthode de catalogue ils sont très importants que les autres de méthode de CBR.

Donc, la structure retenue est celle nous déterminera par la méthode du catalogue :

8BB + 12GB + 13GB+40TUF

Chapitre VII : Cubatures.

VII. Chapitre VII : Cubatures

VII.1 INTRODUCTION :

La cubature est une méthode utilisée pour déterminer le volume d'un objet en trois dimensions. Ce procédé a de nombreuses applications dans les secteurs de l'ingénierie et de la construction, notamment pour estimer la quantité de matériaux nécessaires à la réalisation d'un projet spécifique. Le calcul de cubature est essentiel pour les travaux de terrassement, ainsi que pour déterminer la capacité d'un réservoir ou évaluer les matériaux à utiliser. Ce domaine joue un rôle fondamental dans la planification et l'exécution des projets, permettant une gestion optimisée des ressources et des coûts.

Les éléments clés qui rendent cette évolution possible sont les suivants :

- Les profils longitudinaux.
- Les profils transversaux.
- Les distances entre ces profils.

VII.2 Les méthodes de calcul :

Il existe plusieurs méthodes pour calculer les volumes de remblais et de déblais. Parmi celles-ci, nous pouvons citer :

- La méthode de la longueur applicable.
- La méthode approchée.
- La méthode de la moyenne des aires (méthode exacte).

Parmi les différentes méthodes de calcul des cubatures de terrassement, nous avons opté pour la méthode de la moyenne des aires, car elle est la plus simple. Cependant, cette méthode présente un inconvénient : les résultats obtenus comportent une marge d'erreur. Pour compenser ce problème, il est nécessaire de majorer les résultats de 10 % pour des raisons de sécurité.

VII.3 Description de la méthode :

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

$V = (Hm / 6) \times (S1 + S2 + 4S)$

- Hm : Distance moyenne entre deux profils.

- S1, S2 : les surfaces verticales des profils en travers P1 et P2.

- S : surface limitée à mi-distances des profils.

VII.4 Exemple de calcul :

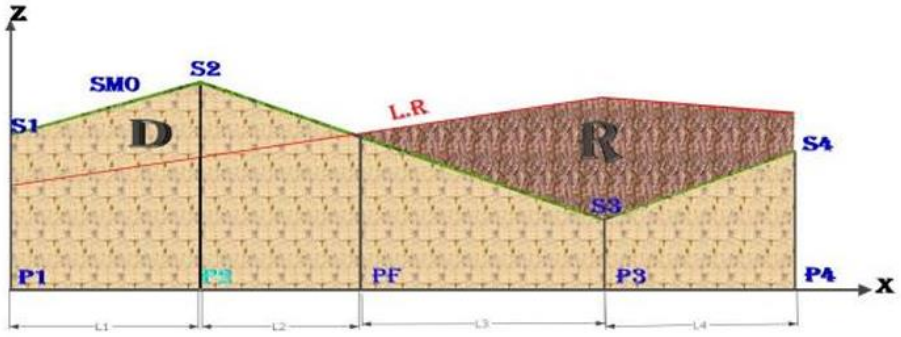


Figure VII.1-Positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné

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

V = (L1 / 6) × (S1 + S2 + 4Sm)

Pour éviter un calcul très long, on considère que : Sm = (S1 + S2) / 2.

Donc les volumes seront :

- Entre P1 et P2 : V1 = (L1 / 2) × (S1 + S2).

- Entre P2 et PF : V2 = (L2 / 2) × (S2 + 0).

- Entre PF et P3 : V3 = (L3 / 2) × (0 + S3).

- Entre P3 et P4 : V4 = (L4 / 2) × (S4 + S3).

Le volume total : VT = V1 + V2 + V3 + V4.

V = (L1 / 2) × S1 + (L1+L2 / 2) × S2 + (L2+L3 / 2) × 0 + (L3+L4 / 2) × S3 + (L4 / 2) × S4.

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

VII.5 Calcul des cubatures de projet :

Pour notre projet, le calcul des cubatures a été effectué à l'aide de logiciel AutoCAD, Civil 3d 2024.

Tableau : Valeurs des remblais et déblais (logiciel AutoCAD Civil 3d 2024)
Donc on a trouvé que :

VII.4.1 Les valeurs obtenues à partir de civil 3D

La valeur de Déblai total est : 114133.5 **m3**

La valeur de Remblai total par logiciel est : 362485.2 **m3**.

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

VII.5.1 Calcul de la nouvelle valeur de remblai :

Le calcul se fait par cette méthode :

La valeur finale de remblai = **La valeur obtenue par logiciel civil 3D** - **La valeur des remblais qui été remplacé par les ouvrages**

La valeur finale de remblai :

$$V = 310471.8 m^3$$

Chapitre VIII : Etude Hydraulique et Assainissement.

VIII. Chapitre VIII : Etude Hydraulique et Assainissement

VIII.1 INTRODUCTION

L'assainissement des voies de circulation regroupe l'ensemble des dispositifs conçus pour collecter et évacuer les eaux superficielles ainsi que les eaux souterraines. Cela inclut principalement :

- Le ruissellement de surface, assuré par des pentes transversales et longitudinales appropriées, ainsi que par des aménagements tels que les fossés, les caniveaux et autres ouvrages de surface.
- Le drainage profond, réalisé à l'aide d'ouvrages enterrés (tranchées drainantes, drains tubulaires, etc.) destinés à capter et évacuer les eaux infiltrées ou souterraines.
- Les réseaux de canalisations, comprenant les conduites, chambres de visite, regards et autres éléments, assurant l'évacuation contrôlée des eaux pluviales.
- La présence d'eau au niveau de la chaussée peut engendrer de nombreux désordres, notamment : des inondations, des glissements de terrain, de l'érosion, l'instabilité des talus et une dégradation prématurée de la structure de la chaussée.
- L'évaluation des débits d'eaux pluviales repose sur une analyse hydrologique détaillée de la zone concernée. Cette étude permet ensuite de définir un système de drainage adéquat, en s'appuyant sur les principes de l'hydraulique routière.

De manière générale, l'assainissement routier regroupe l'ensemble des mesures visant à évacuer efficacement les eaux afin de préserver la durabilité et la sécurité de l'infrastructure.

VIII.2 Conception Technique des Ouvrages :

L'assainissement routier englobe plusieurs aspects essentiels visant à garantir la pérennité et la sécurité de l'infrastructure. Il s'articule autour des volets suivants :

- **Le rétablissement des écoulements naturels**, en veillant à ne pas perturber les régimes hydrauliques existants lors de la construction de la route.
- **La collecte et l'évacuation des eaux superficielles** présentes dans l'emprise de la chaussée, afin d'éviter l'accumulation d'eau à la surface et les risques associés.
- **Le drainage des eaux internes**, c'est-à-dire la collecte et l'évacuation des eaux souterraines susceptibles d'affaiblir la structure de la route.
- **La prévention et la réduction de la pollution d'origine routière**, en intégrant des dispositifs permettant de limiter le transfert de polluants vers le milieu naturel.

VIII.3 Estimation du débit de crue :

Le débit de projet représente le débit de pointe associé à une période de retour spécifique, servant de base au dimensionnement de l'ouvrage hydraulique.

VIII.3.1 Formule rationnelle :

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

Avec :

Q_a : 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 (t_C).

A : surface totale de bassin versant en km².

VIII.3.2 Temps de concentration :

- Il s'agit du temps nécessaire pour qu'une particule d'eau, issue du point le plus éloigné du bassin versant, atteigne l'exutoire. Ce temps de concentration est généralement estimé à l'aide de formules empiriques couramment utilisées.

- Ventura pour des superficies inférieures à 5 km².

- **Formule de Ventura (S < 5 Km²) :**

$$T_c = 0.27 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$$

Avec :

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) :**

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

Avec :

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) :**

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

Avec :

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)= $\frac{Hmax+Hmin}{2}$.

Hmax : altitude maximale (m).

Hmin : altitude minimale (m).

VIII.3.3 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 :

C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

Tableau VIII.1-Coefficient C1

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

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

Tableau VIII.2-Coefficient C2.

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

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

Tableau VIII.3-Coefficient C3.

Couverture végétale	C3
Rocheux	0.22≤C3≤0.30
Prairie	0.17≤C3≤0.25
Champs	0.07≤C2≤0.15
Foret et territoire sableux	0.03≤C2≤0.05

VIII.3.4 Intensité de pluie I(t) :

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

Avec :

I : intensité de pluie exprimée en mm/h.

T : période de retour exprimé en ans (elle dépend de l'ouvrage à réaliser)

tc : temps de concentration en heures.

a et **b :** paramètres de Montana.

VIII.4 ETUDE HYDROLOGIQUE :

L'étude hydrologique vise à déterminer les débits de projet aux différents exutoires des bassins versants traversés par le tracé de l'autoroute.

Dans le cadre d'une approche analytique du comportement hydrologique de ces bassins lors d'événements pluvieux, les bassins versants ont été délimités aux emplacements critiques identifiés le long de la rocade, objet de la présente étude.

Les coefficients de Montana (a, b), spécifiques à chaque station pluviométrique et correspondant à différentes périodes de retour, sont présentés dans le tableau ci-après.

VIII.5 Caractéristiques physiques des bassins versants :

Tableau VIII.4-Caractéristique des bassins versant

BV	PK(Km)	A(Km^2)	H MAX (m)	H MIN (m)	L(Km)	Cr	i (%)
BV1	02+960	1.330	705	479	2.445	0.415	9.24
BV2	04+450	0.178	726	569	0.213	0.330	13.7
BV3	05+480	16.770	537	482	0.501	0.410	10.97
BV4	06+440	0.023	610	536	0.160	0.25	3.34
BV5	06+600	0.058	630	535	0.200	0.25	1.87
BV6	08+070	0.139	706	539	0.375	0.25	10.63
BV7	08+710	0.264	771	584	0.289	0.25	16.70
BV8	10+760	0.229	818	622	0.286	0.25	15.53

A : surface du bassin versant (km²).

H : H_{max} - H_{min} (m)

L : longueur du cours d'eau principal (km).

i : pente moyenne du bassin versant (m/m).

VIII.6 calcul de debit d'apport:

- POUR LE BASSIN VERSANT **(BV1) :**

On a une surface de **A = S= $1.33\ Km^2$ < 5 Km²**

$$\mathbf{T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{p}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{1.33}{0.0924}} = 0.481\ h}$$

- **Calcul d`intensité :**

Pour une période de retour de **100ans :**

a = 29

b = 0.77

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

$$\mathbf{I\ (t, 100) = 29 \times 0.481^{-0.77} = 53.28\ mm/h}$$

Pour un coefficient de ruissellement **:**

$$\mathbf{Cr = C_1 + C_2 + C_3 = 0.08 + 0.155 + 0.18 = 0.415}$$

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

$$\mathbf{Q_a\ (100) = 0.278 \times 0.415 \times 53.28 \times 1.33 = 8.17\ m^3/s}$$

- **Calcul du débit critique :**

Méthode de DELORME :

Pour les buses :

$$\mathbf{Qc = 2.464 \times R \times D^{1.5}}$$

Pour les dalots :

$$\mathbf{Qc = 1.5 \times B \times H^{\frac{4}{3}}}$$

VIII.7 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 VIII.5-débit des bassins versants pour la période 100ans.

BV	PK(Km)	A(Km²)	Tc	I_{100}	Qa_{100}
BV1	02+960	1.330	0,481	53.28	8.17
BV2	04+450	0.178	0,0624	167,35	2.73
BV3	05+480	16.770	2.64	20.55	39.28
BV4	06+440	0.023	0,028	260,50	0.416
BV5	06+600	0.058	0,044	202,57	0.816

BV6	08+070	0.139	0,070	155,75	1.504
BV7	08+710	0.264	0.75	147,38	2.704
BV8	10+760	0.229	0,073	152,81	2.432

VIII.8 Étude hydraulique :

Le franchissement des cours d'eau par l'autoroute nécessite la mise en place d'ouvrages hydrauliques appropriés, dimensionnés pour assurer l'évacuation des débits de crue aux différents points d'exutoire. Pour un même débit de crue, les caractéristiques de l'ouvrage (ouverture, typologie) peuvent varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs : la présence ou non d'un lit bien défini, la possibilité de stockage temporaire des pointes de crue, ainsi que la configuration altimétrique de la plateforme autoroutière (proximité du terrain naturel ou implantation en remblai important).

VIII.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.

VIII.8.2 Les types des ouvrages

VIII.8.2.1 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.

VIII.8.2.2 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.

VIII.8.2.3 Capacité de débit des ouvrages hydrauliques :

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

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

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)

VIII.8.3 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques :

VIII.8.3.1 Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) :

VIII.8.3.1.1 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 : $Pm = \pi d$

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

Donc

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

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

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

o Vérification de conditions suivantes :

$\rightarrow Q100 < QPS$

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

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

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

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

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

• Application de ce projet : on prend le bassin versant n°04

On a Q100 = 1.24 m3/s, K = 80 (en beton), i = 0.01 = 1% (déterminé à partir du site)

Formule	Application numérique	Résultat

$$d = \left(\frac{Q100 \times 4^{\frac{5}{3}}}{K \times \pi \times \sqrt{i}} \right)^{\frac{3}{8}} \qquad d = \left(\frac{0.416 \times 4^{\frac{5}{3}}}{80 \times \pi \times \sqrt{0.01}} \right)^{\frac{3}{8}} \qquad d = 0.655\ m$$

$$Alors\ on\ choisit\ \Phi = 1000\ mm = 1.0\ m\ , \boldsymbol{Sm} = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}\ et\ \boldsymbol{Pm} = \pi \times \Phi$$

Formule	Application numérique	Résultat
$Qps = \frac{K \times \pi \times (\Phi)^2}{4} \times \left(\frac{\Phi}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$	$QPS = \frac{80 \times \pi \times (1.0)^2}{4} \times \left(\frac{(1.0)}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{0.01}$	$= 2.493\ m3/s$

- **Vérification des conditions d'autocurage :**

Tableau VIII.6-Vérification des conditions d'autocurage

N BV	Q_{a100} (m^3/s)	Dimension calculée	Dimension d'ouvrage	Q_{ps} (m/S)	V_{ps}	$V=V_{ps}\times0.64$	Vérification V < 0.6m/s	$V=V_{ps}\times0.32$	Vérification V < 0.3m/s
BV4	0.416	655	1000	2.49	3.17	2.03	Vérifier	1.01	Vérifier
BV5	0.816	991.9	1000	2.49	3.17	2.03		1.01	
BV6	1.504	1248.9	1500	7.34	4.15	2.66		1.33	

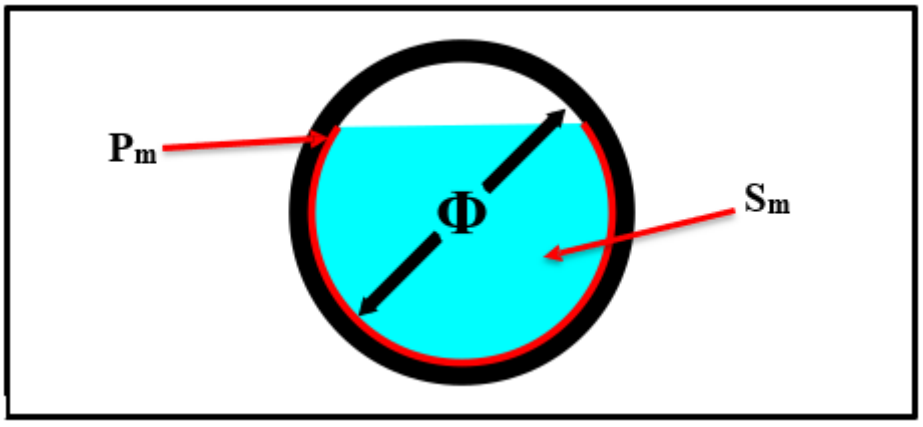


Figure VIII.1-Schéma de la Buse

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.

Pour K=70 (Buses en béton armé).

VIII.8.3.1.2 Les dalots :

Les dalots sont généralement choisis pour des débits Q moyens . 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 :

$\rightarrow\ Q100 < QPS$

$\rightarrow\ V < 4\frac{m}{s}$ $(Avec\ Rq = \frac{Q100}{QPS} = \frac{Q}{Qps}\ Et\ puis\ d'après\ le\ tableau\ dans$ ANNEXE 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 × H

Périmètre mouillé : Pm = B + (2 × 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°01

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

- **Vérification des conditions d'autocurage :**

Tableau VIII.7-Vérification des conditions d'autocurage

N BV	Q_a (m^3/s)	Dimension calculée B×H	Dimension d'ouvrage B×H	V (m/S)	Vérification V < 4m/s	Hc (m)	Vérification Hc < H	Nbr de Fraude	NbrF<1 Régime fluvial
BV1	8.17	1.41×2	1.5×2	3.49	Vérifier	1.7	Vérifier	0.78	Vérifier
BV2	2.73	1.31×1.5	1.5×1.5	3.16		1.3		0.81	
BV7	2.704	1.24×2	1.5×2	3.27		1.62		0.73	
BV8	2.423	1.46×1.5	1.5×1.5	3.32		1.36		0.85	

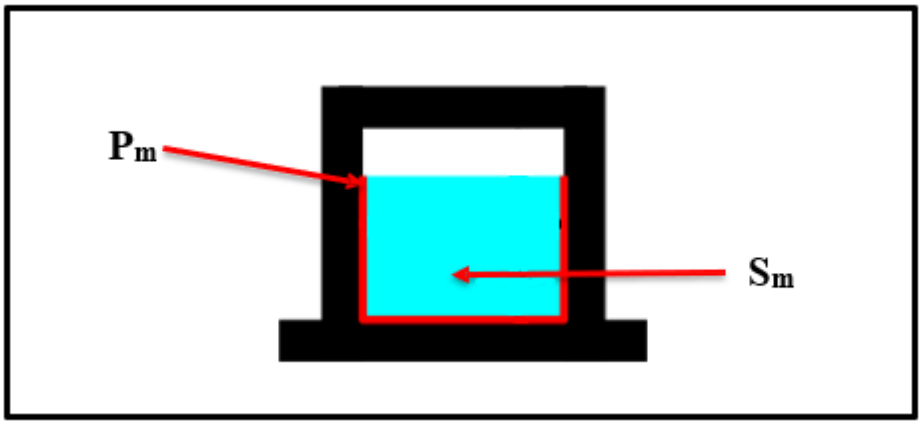


Figure VIII.2-Schéma d'un dalot 2 m × 1.5 m

VIII.9 Résultats de dimensionnement :

Tableau VIII.8-Résultats de dimensionnement

BV	PK(Km)	A(Km^2)	H MAX (m)	H MIN (m)	L(Km)	Cr	i (%)	Tc	I_{100}	Qa_{100}	$Q_{critique}$	Type-Ouvrage	Dim-cal (mm)	Dim-OUV (mm)
BV1	02+960	1.330	705	479	2.445	0.415	9.24	0,481	53,28	8.17	12.723	Dalot	2.5×1.61	2.5×2.5
BV2	04+450	0.178	726	569	0.213	0.330	73.7	0,0624	167,35	2.73	3.863	Dalot	1.5×1.31	1.5×1.5
BV3	05+480	16.77	537	482	0.501	0.410	10.97	2.64	20.55	39.28	-	Ouvrage	-	-
BV4	06+440	0.023	610	536	0.160	0.25	3.34	0,028	260,50	0.416	1.232	Buse	769.54	1000
BV5	06+600	0.058	630	535	0.200	0.25	1.87	0,044	202,57	0.816	1.232	Buse	991.9	1000
BV6	08+070	0.139	706	539	0.375	0.25	10.63	0,070	155,75	1.504	3.394	Buse	1248.9	1500
BV7	08+710	0.264	771	584	0.289	0.25	64.70	0.75	147,38	2.704	5.15	Dalot	2×1.24	2×1.5
BV8	10+760	0.229	818	622	0.286	0.25	68.53	0,073	152,81	2.432	3.863	Dalot	1.5×1.46	1.5×1.5

VIII.10 Système de drainage longitudinal :

Pour le dimensionnement des fossés l'estimation du débit de pointe on a les hypothèses de calcul suivantes :

- La période de retour pour le dimensionnement du réseau d'assainissement de la plateforme est égale à 10 ans.
- Les bassins versants sont de petites superficies (inferieurs à 5 km^2).

VIII.10.1 Dimensionnement du fossé

Le dimensionnement des fossés dépend du profil en long et les points de refoulement (un drain ou un oued), donc on dimensionne les fossés selon leurs départs et fins.

Pour le cas de notre projet le terrain est pratiquement plat donc les fossés droits et gauches sont de même dimensionnement. Entre PK 1+620 et PK 2+020 avec une longueur de L= 400 m et de pente Ip= 0.61%.

Tableau VIII.9-les caractéristiques des sous bassins versants concernés

	Largeur (m)	Surface (km²)	Pente (%)
Chaussée+BDG+BAU	14.5	0.0058	2.5
Berme	1	0.0004	08
Talus en déblai	4.11	0.001645	50

VIII.10.1.1 Détermination du temps de concentration :

Pour la chaussée : A < 5km² : donc on applique la formule de Ventura :

$$t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{p}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.0058}{0.025}} = 0.061 \text{ heure}$$

Pour la berme : A < 5km² : donc on applique la formule de Ventura :

$$t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{p}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.0004}{0.08}} = 0.0089 \text{ heure}$$

Pour le talus : A < 5km² : donc on applique la formule de Ventura

$$t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{p}} = 0.127 \times \sqrt{\frac{0.001645}{0.5}} = 0.00728 \text{ heure}$$

VIII.10.1.2 Calcul de l'intensité :

(Pour T=10 ans a= 38.747)

- Pour la chaussée : I10 = 274.477mm/h
- Pour la berme : I10 = 1056mm/h
- Pour le talus : I10 = 1215.47mm/h

VIII.10.1.3 Coefficient de ruissellement :

Les valeurs du coefficient de ruissellement sont données dans le tableau suivant :

Tableau VIII.10-Les valeurs du coefficient de ruissellement

Type de chaussée	Valeur de C	Valeurs prises
Chaussée revêtement en enrobés	0.80 à 0.95	0.95
Berme : sol légèrement perméable	0.10 à 0.40	0.40
Talus	0.10 à 0.30	0.30

Calcul du débit d'apport Qa :

$$Qa = QC + QB + QT$$

QC = K × CC × I10 × Ac : débit d'apport de la chaussée.

QB = K × CB × I10 × AB : débit d'apport de la berme.

QT = K × CT × I10 × AT : débit d'apport du talus.

Avec : K = 0.278

$$Qa = QC + QB + QT = 1.96\ m^3/S$$

Tableau VIII.11-Le débit équivalent des bassins versants

	A (km²)	C	I (%)	tc (heure)	I10 (mm/h)	Q10 (m³/s)	Qtotal (m³/s)
Chaussée+BDG+BAU	0.0058	0.95	2.5	0.061	274.477	0.4204	0.634
Berme	0.0004	0.4	8	0.0089	1056	0.0469	
Talus de déblai	0.001645	0.3	50	0.00728	1215.47	0.1667	

- **A partir de la formule de Manning – Strickler :**

$$H = \left[\frac{Qa}{Kst \times b \times \sqrt{I}}\right]^{\frac{3}{5}} \times \left[\frac{1 + 2\sqrt{2} \times \frac{h}{b}}{1 + \frac{h}{b}}\right]^{\frac{2}{5}}$$

Avec : I = 1%.

On prend b = 0.5 m et on tire la hauteur h par itération qui vérifie cette inégalité.

On aura : h = 0.306 m.

Nous optons pour un fossé trapézoïdal standard de hauteur h = 0.5 m, pour les raisons suivantes:

- Facilité d'exécution et terrassements à 45°.
- La sécurité des usagers.

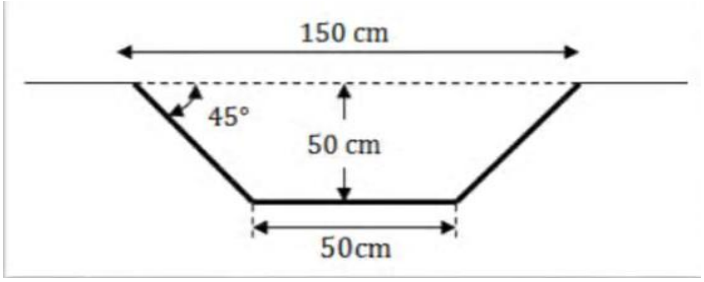


Figure VIII.3-Géométrie du fossé

Chapitre IX : Ouvrages d'Art.

IX. Chapitre IX : Ouvrages d'Art

IX.1 INTRODUCTION :

Lors de la conception de routes, divers obstacles naturels tels que les oueds, les rivières, les montagnes, ou encore les voies ferrées doivent être franchis. Pour cela, on met en place des ouvrages spécifiques appelés « Ouvrages d'Art ».

Ces ouvrages sont essentiels dans les réseaux de transport modernes, car ils garantissent une circulation fluide et sécurisée des véhicules. Leur conception demande une expertise technique avancée, mêlant théorie et pratique, ce qui fait de l'ingénieur un acteur clé dans leur réalisation. Le choix du type d'ouvrage dépend de plusieurs critères, notamment :

- La longueur et l'importance de l'ouvrage.
- La nature et l'agressivité du sol.
- La position et le nombre d'appuis.
- Les conditions d'exécution et d'accès au site.

IX.2 Choix de Type de Pont

IX.2.1 Varianté n°1 : Pont à Poutre en Béton Armé

IX.2.1.1 Avantages :

- ❖ Facilité de mise en œuvre et d'entretien.
- ❖ Bonne résistance aux efforts de compression.
- ❖ Réduction des besoins en échafaudage.
- ❖ Possibilité d'utiliser des éléments préfabriqués.

IX.2.1.2 Inconvénients :

- ❖ Portée limitée.
- ❖ Risque de fissuration.

IX.2.2 Variante n°2 : Pont à poutres en béton précontraint

IX.2.2.1 Avantages :

- ❖ Possibilité de franchir des portées plus importantes, réduisant ainsi le nombre d'appuis, souvent coûteux.
- ❖ Suppression des joints entre les travées, améliorant le confort d'usage.
- ❖ Utilisation d'éléments préfabriqués.

IX.2.2.2 Inconvénients :

- ❖ Déformations différées dues au fluage du béton et à la relaxation des armatures de précontrainte.
- ❖ Besoin d'un matériel de mise en place coûteux et de personnel hautement qualifié.
- ❖ Problèmes liés à l'échafaudage.

IX.3 Présentation des ouvrages choisis :

L`ouvrage est en précontrainte (post-tension), qui franchit **Oued el Maadher**

Tableau IX.1-Caractéristique d'ouvrage

	PK	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur de gabarit (m)	Hauteur totale (m)
PONT	5+480	40	10	6	7

Chapitre X : Échangeur

X. Chapitre X : Échangeur

X.1 INTRODUCTION :

Un échangeur routier est une infrastructure de circulation conçue pour assurer la connexion fluide entre plusieurs axes routiers ou autoroutiers. Il constitue un point stratégique de transition, permettant aux usagers de la route de changer de direction ou de voie sans interrompre la dynamique du trafic. Sa conception intègre généralement des ponts, des bretelles d'accès et de sortie, des rampes ainsi que des systèmes de signalisation et de marquage, assurant un guidage clair et sécurisé. Ces aménagements jouent un rôle fondamental dans l'amélioration de la fluidité du trafic, la réduction des embouteillages et le renforcement de la sécurité sur les axes à forte densité de circulation.

X.2 Avantages d'un échangeur :

Un échangeur routier présente de nombreux atouts sur les plans technique, économique et fonctionnel. Parmi les principaux avantages, on peut citer :

- **Fluidité du trafic** : en éliminant les croisements à niveau, l'échangeur assure une circulation continue, sans interruption, même aux heures de pointe.
- **Réduction de la congestion** : il facilite la répartition du trafic entre routes principales et secondaires, ce qui diminue les embouteillages.
- **Renforcement de la sécurité routière** : grâce à la séparation claire entre les voies d'entrée et de sortie, le risque d'accident est considérablement réduit.
- **Amélioration de la mobilité** : il offre aux usagers un accès plus rapide et plus direct à plusieurs directions ou axes routiers.
- **Gain de temps et d'énergie** : en limitant les arrêts et les ralentissements, l'échangeur permet de réduire la consommation de carburant et les délais de parcours.
- **Impact économique positif** : en facilitant le transport des personnes et des marchandises, il contribue au développement local et régional, et encourage les investissements.

X.3 Inconvénients d'un échangeur :

Bien que les échangeurs routiers présentent de nombreux avantages, leur mise en œuvre comporte également certaines contraintes :

- **Coût élevé** : leur construction et leur entretien nécessitent des investissements financiers importants, en raison de la complexité des ouvrages et des matériaux requis.
- **Occupation de l'espace** : les échangeurs, notamment ceux à grande capacité, exigent des emprises foncières étendues, ce qui peut poser problème en zone urbaine ou densément peuplée.

Les échangeurs se classent en plusieurs catégories, selon leur configuration, leur capacité et le type de voies qu'ils relient. On distingue principalement deux grandes familles : **les échangeurs majeurs** et **les échangeurs mineurs**.

❖ **Échangeurs majeurs**

Ces types d'échangeurs sont conçus pour relier entre elles deux voies rapides ou autoroutes, en assurant une fluidité maximale du trafic.

- **Échangeur en trèfle complet** : composé de quatre bretelles en boucle, il permet tous les mouvements directionnels sans interruption du flux.
- **Échangeur en Y (bifurcation)** : souvent utilisé pour les séparations ou jonctions d'autoroutes, il assure une divergence fluide entre deux directions principales.

❖ **Échangeurs mineurs**

Ils sont généralement utilisés pour connecter une autoroute à une route secondaire ou à un réseau urbain.

- **Échangeur en demi-trèfle** : version simplifiée du trèfle complet, adapté aux intersections avec un trafic modéré.
- **Échangeur en trompette** : souvent utilisé en fin d'autoroute ou pour relier une voie rapide à une route secondaire.
- **Échangeur en losange** : configuration compacte, adaptée aux zones urbaines, avec feux de signalisation aux croisements à niveau.

X.4 Choix du type d'échangeur

Le choix du type d'échangeur à adopter dépend de plusieurs facteurs techniques et contextuels. Ces critères permettent d'assurer un aménagement cohérent, sûr et fonctionnel :

- **La nature des routes concernées** : qu'il s'agisse d'un croisement entre deux autoroutes, entre une autoroute et une route nationale, ou entre une voie rapide et une voirie urbaine, le type d'échangeur devra être adapté.
- **La topographie du site** : la configuration du terrain, les contraintes géologiques, et les obstacles existants (bâtiments, rivières, relief) influencent fortement le design.
- **Le volume du trafic** : le niveau de circulation actuel et futur prévu détermine la capacité requise de l'échangeur (nombre de bretelles, largeur des voies, etc.).

X.5 Les éléments constitutifs d'un échangeur

Quel que soit son type ou son importance, un échangeur se compose généralement de trois éléments fondamentaux qui assurent son bon fonctionnement :

X.5.1 Les carrefours plans

Ce sont des intersections à niveau qui apparaissent uniquement lorsqu'une autoroute est connectée à une route secondaire. Leur usage reste limité, car ils ne permettent pas toujours une séparation complète des flux de circulation.

X.5.2 Les ouvrages d'art (ponts)

Il s'agit de structures de franchissement, pouvant être en passage supérieur ou inférieur, qui permettent la connexion verticale entre les routes principales et les bretelles sans croisement à niveau. Ils jouent un rôle clé dans la fluidité et la sécurité de l'échange.

X.5.3 Les bretelles (ou rampes d'entrée et de sortie)

Les bretelles sont des voies d'accès aménagées pour permettre aux véhicules de rejoindre ou de quitter la route principale en douceur. Elles assurent le lien entre les axes routiers et l'échangeur proprement dit.

X.5.3.1 Les différents types de bretelles

On distingue généralement trois formes principales de bretelles, choisies en fonction de l'espace disponible, de la vitesse de circulation et du schéma global de l'échangeur :

- **Bretelle en boucle** : forme circulaire, utilisée lorsque l'espace est limité ou pour assurer un virage à 270°.
- **Bretelle en anse** : forme semi-circulaire ou en S, permettant une insertion plus progressive.
- **Bretelle diagonale** : tracée de manière directe, elle relie deux voies selon un angle ouvert, facilitant les changements de direction à haute vitesse.

X.5.3.2 Caractéristiques géométriques des bretelles

Conformément aux recommandations de l'**ECTAAL 2000**, les bretelles d'un échangeur peuvent être conçues avec une **ou deux voies de circulation**, en fonction du volume de trafic et de la configuration de l'échangeur.

❖ **Tracé en plan d'une bretelle :**

Tableau X.1-Valeurs limites des rayons du tracé en plan

Rayon	Une voie sortie	Une voie boucle
Rayon minimal Rm(m)	40 (7%) 100 (Le premier courbe rencontré en sortie)	40 (7%)
Rayon minimal non déversé Rnd(m)	300	/
Rayon maximal dans la boucle (m)	/	60
Dévers entre Rnd et Rm	d = (675/R) +0.25 entre 300 et 100	/

- **Enchaînement des éléments du tracé en plan**

L'enchaînement des courbes dans le tracé en plan d'une bretelle doit respecter certaines règles géométriques afin d'assurer le confort et la sécurité des usagers.

- Une **boucle** est généralement constituée d'un **arc de cercle principal**, encadré de **deux arcs de clothoïde** servant à la transition progressive entre les sections droites et courbes.
- Lorsqu'une bretelle comprend **deux courbes successives**, qu'elles soient de **même sens** ou de **sens opposé**, la relation entre les rayons de courbure doit satisfaire la condition suivante :

$R_1 < 2 \times R_2$, où R_1 est le rayon de la première courbe rencontrée dans le sens de circulation, et R_2 celui de la seconde. Cette règle peut être assouplie si $R_2 \geq 1{,}5 \times Rdn$ (rayon de référence) et $R_1 > R_2$.

- Par ailleurs, dans le cas de **deux courbes successives de même sens** avec des rayons **inférieurs à 1,5 × Rdn**, il est obligatoire d'insérer entre elles **un tronçon rectiligne d'une longueur correspondant à au moins 3 secondes de parcours** à la vitesse autorisée (hors zones de clothoïde). Cette condition peut être levée si $R_1 < R_2$.

Tableau X.2-Enchaînement des éléments du tracé en plan

Les éléments du tracé	R1<R2	R1 < 2R2
Courbes de même sens	AD 3s Ove L=7 (d2-d1) Courbe en C	AD 3s
Courbe de sens contraire	Courbe en S	Courbe en S

- **Raccordement progressif**

Dans un tracé en plan, toute courbe circulaire doit être **précédée et suivie par deux arcs de clothoïde**, permettant une transition progressive entre la ligne droite et la courbure. La longueur de chaque arc de clothoïde doit être au minimum égale à la plus grande des deux valeurs suivantes :

- $6 \times R^{0.4}$
- $7 \times |\Delta\delta|$
- où :
- **R** représente le **rayon de courbure** en mètres ;
- **Δδ** désigne la **différence de dévers** (ou de pentes transversales) exprimée en pourcentage entre les deux segments à raccorder.
- Ces longueurs constituent des **valeurs minimales réglementaires**. Il est toutefois déconseillé d'utiliser des longueurs excessivement élevées, car cela pourrait nuire à la **perception visuelle de la courbure finale** pour le conducteur, rendant l'anticipation et l'adaptation de la trajectoire plus difficiles.

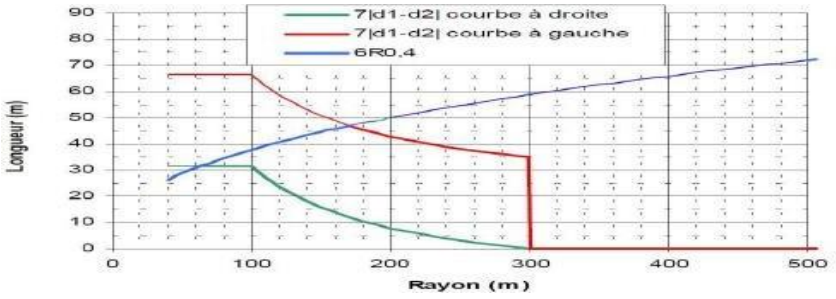


Figure X.1-La longueur de clothoïde en fonction du rayon (ICTAVRI)

❖ **Profil en long d'une bretelle :**

Tableau X.3-Les valeurs limites des paramètres du profil en long sont les suivantes

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

Au carrefour de raccordement avec la voirie ordinaire, on peut utiliser des rayons inférieurs sur de faibles développées

❖ **Profil en travers d'une bretelle**

La chaussée est bordée de part et d'autre par une bande dérasée de même structure qu'elle, et par une berme qui peut être intégrée au dispositif d'assainissement.

Tableau X.4-Les largeurs des composantes du profil en travers sont les suivantes :

Chaussée unidirectionnelle	**3,50 m**
Bidirectionnelle	**7,00 m**
B.D.D.	**1,00 m**
B.D.G.	**0,50 m**

Si R<100m on ajoute une surlargeur en courbe (par voie) : **S = 50/R**

X.5.3.3 Pente transversale d'une bretelle

Le profil en travers d'une bretelle varie selon le sens de circulation de la chaussée :

- Pour une chaussée bidirectionnelle, le profil se compose de deux versants inclinés en direction opposée, reliés au niveau de l'axe central.
- Pour une chaussée unidirectionnelle, le profil comprend un seul versant incliné du côté extérieur.

Dans les deux cas, les bandes dérasées (ou accotements revêtus) adoptent la même pente transversale que la voie adjacente, assurant ainsi une continuité du drainage et du confort de roulement.

Tableau X.5-Pente transversale d'une bretelle

Élément	**Rayons (m)**	**Valeur du dévers**
Alignement ou rayon >= Rnd	300 < R < ∞	2.5 % orientés vers la droite
	100 < R < 300	Variation en 1/R entre 2.5 % (R300) et 7 % (R100)
Rayon déversé R < Rnd	R <100 m	7 %

X.5.4 Raccordement avec l'autoroute

Le raccordement d'une bretelle à l'autoroute s'effectue par deux dispositifs distincts :

- une **voie d'insertion** pour les entrées,
- une **voie de décélération** pour les sorties.

Ces éléments assurent une transition progressive et sécurisée entre les vitesses de circulation différentes des deux infrastructures.

X.5.4.1 Dispositif d'entrée

Le dispositif d'entrée est structuré en plusieurs segments successifs, conçus pour permettre au conducteur de s'insérer de manière fluide et sécurisée dans le flux autoroutier :

- **Une section d'accélération** : elle présente une inclinaison (obliquité) par rapport à l'axe autoroutier comprise entre **3 % et 5 %**. Sa longueur dépend du **rayon de la dernière courbe** de la bretelle. Cette section doit permettre au véhicule d'atteindre, au point de repère où **E = 1,00 m**, une **vitesse conventionnelle de 55 km/h**, en supposant une **accélération constante de 1 m/s²**.
- **Une section de manœuvre** : adjacente à la chaussée principale de l'autoroute, elle mesure **200 mètres de long** et **3,50 mètres de large**. Elle permet au conducteur de s'adapter progressivement à la vitesse du trafic autoroutier avant la fusion des voies.
- **Un biseau de raccordement** : d'une longueur de **75 mètres**, il assure la transition géométrique entre la section de manœuvre et la voie principale.

X.5.4.2 Dispositif de sortie

Le dispositif de sortie d'une bretelle, destiné à permettre aux véhicules de quitter l'autoroute en toute sécurité, est composé de deux segments successifs :

- **Une section de manœuvre** : elle se présente sous forme d'un **biseau longitudinal**, accolé à la chaussée principale de l'autoroute. Cette section s'étend sur **150 mètres**, jusqu'au point où le **musoir de divergence atteint une largeur de 1 mètre**. Elle permet au conducteur d'anticiper et d'initier la sortie de l'autoroute.
- **Une section de décélération** : elle a pour objectif de réduire progressivement la vitesse du véhicule. Sa longueur est calculée de manière à permettre une décélération confortable à **1,5 m/s²**, en passant d'une **vitesse conventionnelle de 70 km/h** (valeur indicative pour un rayon de courbe inférieur à 120 m) à la **vitesse adaptée au rayon de la première courbe rencontrée** dans la bretelle.

X.5.4.3 Longueurs de décélération et d'accélération

- Longueurs de décélération/d'accélération en palier L_0 en fonction du rayon de la première/dernière courbe de la bretelle.

X.5.4.4 Visibilité à l'approche des points d'accès

X.5.4.4.1 Visibilité sur une entrée d'autoroute

La distance de visibilité sur véhicule entrant, positionne au niveau du point E.1.00 m du dispositif d'insertion est fixée, au minimum, a la distance d'arrêt pour la vitesse limite autorisée sur la chaussée réceptrice.

d_a= distance de freinage + distance de perception/réaction Pour R(m) < 5V (Km/h) : la distance de freinage est majorée de 25%.

$$d_a = 2V+V2/2g\ (\gamma(v) +p)$$

- **V** : la vitesse en m/s.
- **γ** (v) : décélération moyenne exprimée en fraction de g.
- **P** : la déclivité, en valeur algébrique.

X.5.4.4.2 Visibilité sur une sortie d'autoroute :

La distance de manœuvre en sortie d_{ms} est définie comme la distance parcourue à vitesse constante **V85**

- Pendant le temps nécessaire pour opérer, fixé à 6 secondes.
- Pour les deux voies de circulation les plus à droite de la chaussée, le conducteur doit à la fois percevoir à la distance d_{ms} du point dit "de sortie au plus tôt" (S = 1,50 m) :

- L'ensemble de la face du panneau de signalisation avancée placé au droit de ce point ;
- La balise signalant le musoir, que l'on suppose observée à une hauteur de 1 m, à l'endroit où le musoir atteint 5 m de large.

$$d_{ms} = 6V$$

Avec (V en m/s)

Tableau X.6-Les principales distances de visibilité (SETRA)

Vitesse (km/h)	110
Vitesse (m/s)	30.6
Décélération moyenne γ(v)	0.36
Distance d'arrêt en palier et en alignement droit da (en m)	195
Distance d'arrêt en courbe et en palier pour R<5V (en m)	230
Distance de manœuvre en sortie dms (en m)	185
Distance de visibilité sur marquage dvm (en m)	95
Distance de lecture lc (en m)	150
Distance de non-perturbation np (en m)	170

X.6 Application sur notre projet

X.6.1 Choix de notre échangeur

On une intersection avec RN75

Le type des échangeur choisis est :

- Echangeur en Trompète

X.6.2 La conception de notre Echangeur

La conception de l'Echangeur a été fait par logiciel **autocad**

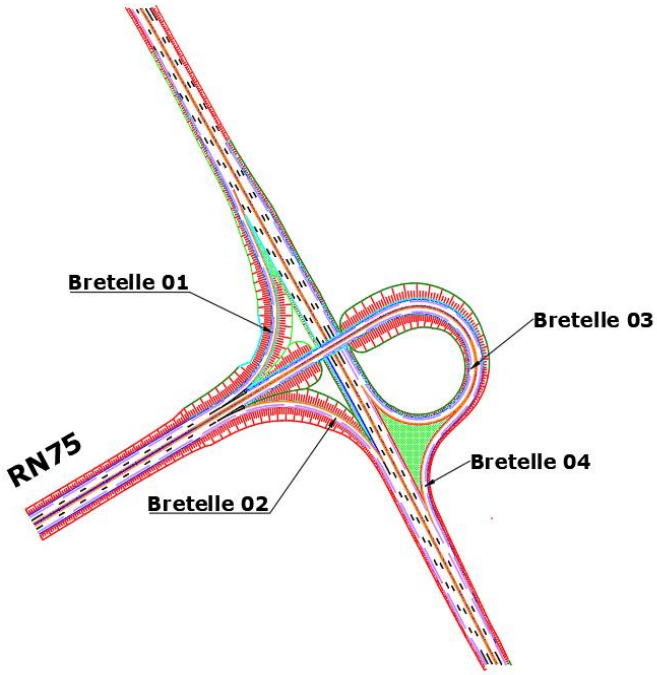


Figure X.2-conception de notre échangeur

Chapitre XI :
Signalisation Routière.

XI. Chapitre XI : Signalisation Routière

XI.1 INTRODUCTION

La signalisation routière est un moyen essentiel de communication avec les usagers de la route. Elle désigne l'ensemble des signaux conventionnels installés le long des routes pour assurer la sécurité des conducteurs, en fournissant des informations sur les dangers et les prescriptions relatives à la circulation. Elle inclut également des éléments pour aider à la prise de décisions et des repères pour guider les usagers dans leurs déplacements.

Elle se divise en deux grands ensembles :

- La signalisation routière verticale.
- La signalisation routière horizontale.

XI.2 Signalisation Horizontale :

La signalisation horizontale désigne les signaux conventionnels installés sur le domaine public de la route, et qui ont pour but de guider les usagers en leur fournissant quatre types d'informations : la délimitation des espaces de déplacement, les règles de conduite, le jalonnement, et les zones de stationnement. Période de retour de 10 ans pour le dimensionnement du système.

XI.2.1 Les Lignes Longitudinales

Les lignes longitudinales servent à délimiter les voies de circulation. Elles se répartissent comme suit :

- **Les lignes continues** : Ces lignes sont utilisées pour indiquer les sections de route où le dépassement est interdit, en raison de la visibilité insuffisante.
- **Les lignes discontinues** : Ces lignes marquent les séparations des voies sur les routes à sens unique, et aussi sur celles à double sens, où les dépassements sont autorisés. Ces lignes peuvent être de type T1, T2 ou T3 (ligne d'avertissement, ligne de rive).

Tableau XI.1-Caractéristiques des lignes de marquage longitudinales

Modulation	Désignation des marques	Largeur (cm)
Continue	Délimitation de terre-plein central	3U
	Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies, avec deux voies affectées à un sens de circulation et ligne oblique marquant un rétrécissement de route de trois à deux voies.	3U
T1	Ligne axiale ou de délimitation de voie	2U
T2	Délimitation des voies de décélération, d'insertion ou d'entrecroisement	5U
	Ligne de rive de chaussée	3U
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	3U

Type de marquage	Type de modulation	Longueur du trait (m)	Intervalle entre 2 traits successifs	Rapport plein/ vide	Couleur
Axial longitudinal	T1	3	10	1/3	Blanc
	T'1	1.5	5	1/3	Blanc
	T3	3	1.33	3	Blanc
Rive	T2	3	3.5	1	Blanc
	T'3	20	6	3	Blanc
	T4	39	13	3	Jaune

XI.2.1.1 Lignes transversales

- Ligne 'STOP', largeur de 50 cm.
- Ligne 'Cédez le Passage', largeur de T'2.

XI.2.1.2 Les flèches

- Flèches de rabattement.
- Flèches de sélection unidirectionnelle.
- Flèches de sélection bidirectionnelle.

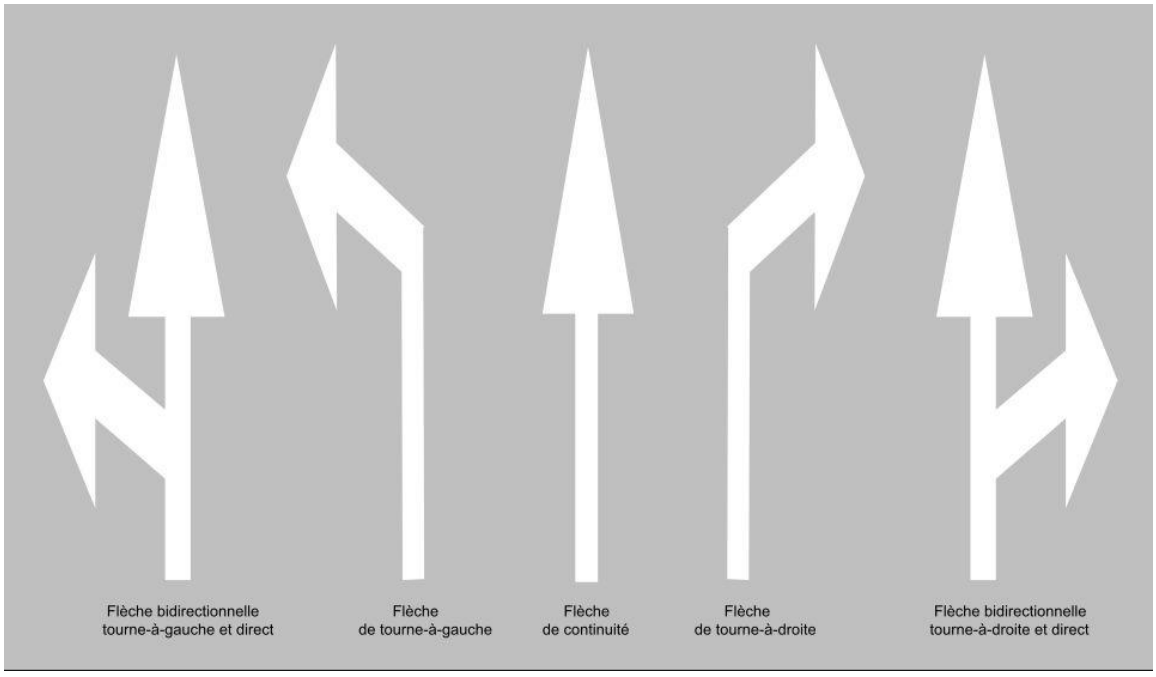


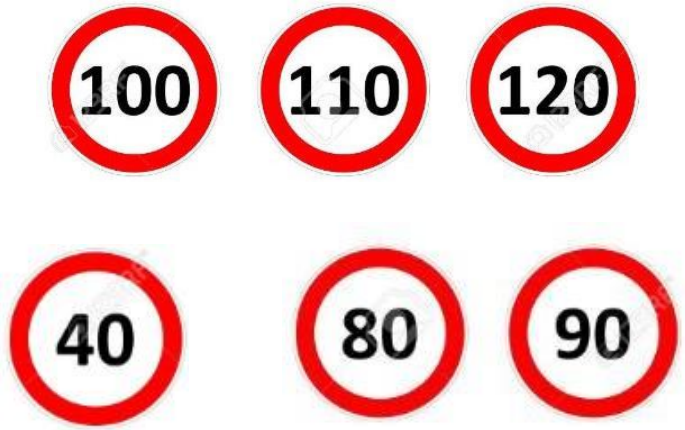
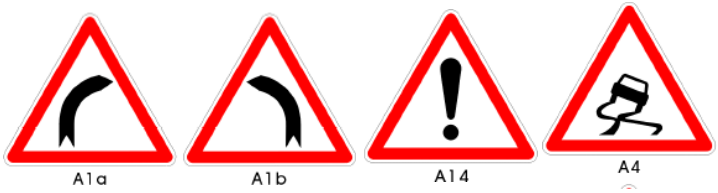
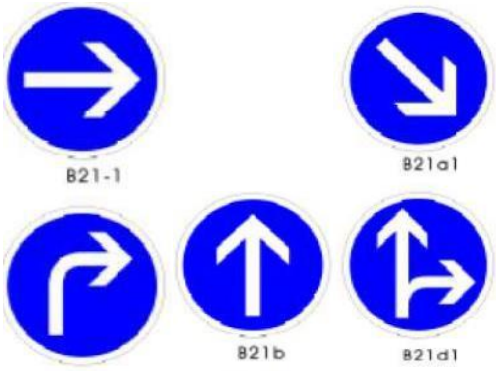
Figure XI.1-Flèche

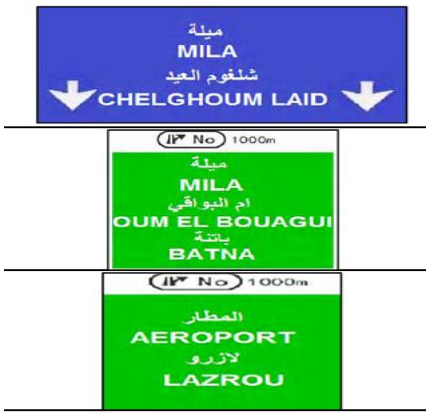
XI.2.2 Couleur des marques de chaussée

Les couleurs utilisées pour les marquages sur la chaussée sont le blanc et le jaune, dont le jaune est pour la BAU et le marquage temporaire, et le blanc pour d'autres marquages. Les caractéristiques des peintures et matériaux utilisés sont particulières, notamment la durabilité et le rétro-réfléchissement.

XI.3 Signalisations verticales :

Tableau XI.2-Signalisation Verticale

Nom de panneau	Schéma
Limitation de vitesse (B14)	
Signalisation de danger	
Signalisation d'intersection	
Signalisation d'obligation	

Signaux d'indication entrée/sortie de l'autoroute (C24a/E14/E150	
Signalisation de passage supérieure limitation de hauteur (C6)	
Signalisation temporaire	
Signalisation de direction	

Chapitre XII : Etude d'Impact sur l'Environnement.

XII. Chapitre XII : Etude d'Impact sur l'Envrionnement

XII.1 INTRODUCTION :

La route, en facilitant les déplacements de personnes, de biens et de produits, représente un équipement essentiel pour le développement des communautés et des territoires. Cependant, les promoteurs se concentrent souvent sur les avantages que procure la construction et l'exploitation des infrastructures sans tenir compte des impacts environnementaux, qui peuvent parfois compromettre les objectifs du projet routier.

Ce chapitre a pour objectif de faire le point sur les effets positifs et négatifs générés par la construction de la liaison autoroutière et son exploitation, divisant l'étude en trois sections : la première consacrée à l'identification des zones affectées par l'infrastructure, la deuxième à l'analyse des effets positifs et négatifs de cette infrastructure sur l'environnement de la région et de la zone d'influence, et enfin une troisième partie qui proposera des solutions pour atténuer les impacts.

XII.2 Description du Projet :

Dans le cadre de la construction de la pénétrante autoroutière Batna-Chelghoum Laid, une étude d'impact sur l'environnement est impérative pour assurer l'intégration du projet dans son milieu et minimiser les effets négatifs sur celui-ci. Le projet de cette autoroute fait partie du programme national d'aménagement du territoire, dans le cadre de la planification globale du pays pour 2025. Il constitue une continuité du réseau autoroutier algérien, permettant de relier la wilaya de Batna, ainsi que les régions environnantes, au port de Djendjen à Jijel. Cette infrastructure aura également un impact économique majeur sur la région des hauts plateaux.

XII.2.1 Principales étapes d'une étude d'impact sur l'environnement

Les principales étapes d'une étude d'impact environnemental sont les suivantes :

XII.2.1.1 Définition de la zone d'étude :

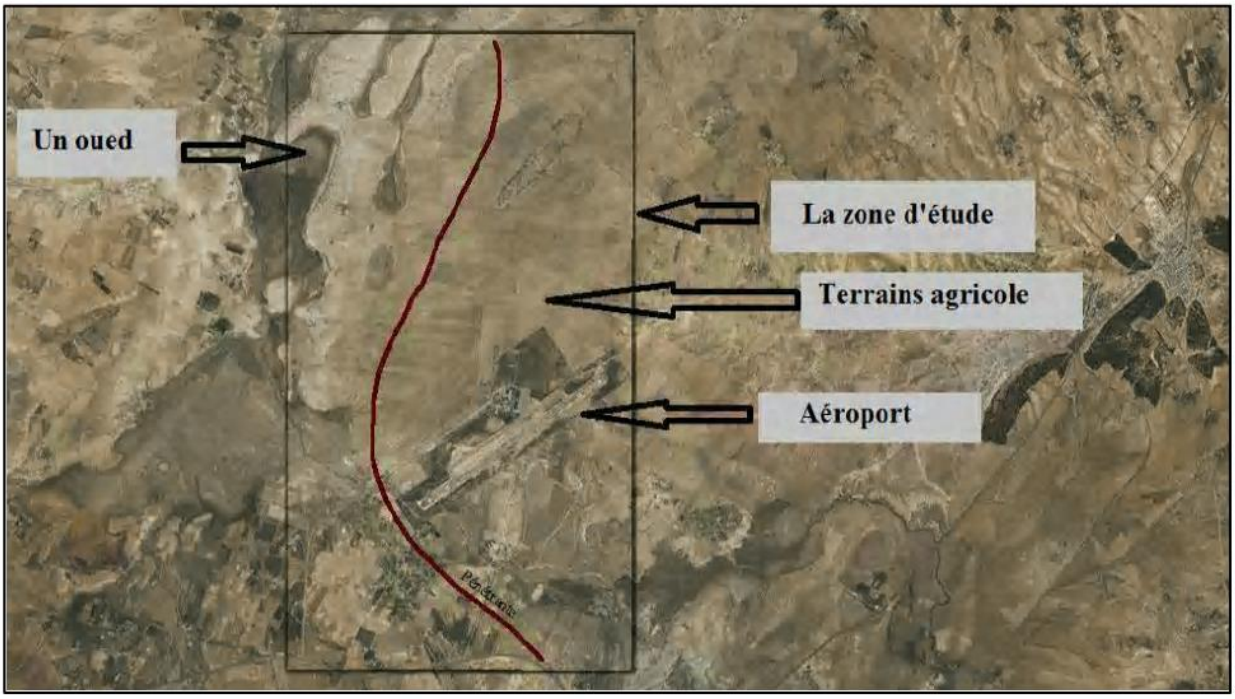


Figure XII.1-Délimitation de la zone influencée par le tracé routier (Global Mapper)

XII.2.1.2 Analyse de l'état initial

L'analyse de l'état initial est une étape cruciale pour la qualité et la pertinence de l'étude d'impact. Avant la mise en œuvre du projet, il est essentiel d'étudier les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées par ce projet. Cette phase permet de poser les bases des

prévisions d'impacts, bien qu'elle ne soit jamais exhaustive, et elle doit répondre à des critères de pertinence par rapport au problème posé.

Une analyse complète de l'état initial du site et de son environnement est nécessaire pour l'étude d'impact d'un projet autoroutier.

XII.2.2 Milieu physique

- **Relief** : Le tracé suit globalement un couloir relativement plat sur toute sa longueur.
- **Climatologie** : La wilaya de Batna est caractérisée par un climat semi-aride, avec une température moyenne de 4°C en janvier et 35°C en juillet. La pluviométrie annuelle moyenne est de 210 mm.
- **Géologie** : Les terrains traversés sont constitués d'argiles sableuses, parfois limoneuses, avec des zones de présence de gros éléments.

XII.2.3 Milieu biologique

- **Végétation** : La végétation dans la zone d'étude est principalement constituée de terrains agricoles et de zones boisées.
- **Biodiversité** : La faune et la flore sont inévitablement affectées par les travaux. La modification de l'habitat peut entraîner des conséquences notables, particulièrement lors des travaux près des rivières où l'eau est souvent contaminée par les poussières et les mouvements de terrains. Les espèces animales et végétales présentes dans la région comprennent des moutons, des chèvres, des vaches, des hérissons, des renards, des salamandres, de la lavande, des armoises, etc.

XII.2.4 Milieu humain

- **Activités agricoles** : L'agriculture est l'activité économique principale de la région. L'implantation de l'infrastructure entraînera des pertes de surfaces agricoles en raison de la destruction partielle des parcelles agricoles.



Figure XII.2-les terrains agricoles situés à proximité du tracé

Paysage et Patrimoine

- **Patrimoine archéologique et bâti** : La wilaya de Batna est reconnue pour son riche patrimoine, comptant un grand nombre de monuments et de sites historiques qui

témoignent de son histoire et de ses civilisations passées. Cependant, le tracé de la pénétrante autoroutière ne traverse aucune zone historique.

XII.3 Identification des impacts environnementaux du projet

La réalisation de la pénétrante autoroutière engendrera des effets tant positifs que négatifs sur l'environnement.

XII.3.1 Les impacts positifs

Dans le domaine social et économique, la majorité des effets sont positifs et concernent particulièrement les aspects suivants :

- La création de cette nouvelle infrastructure permettra à la wilaya de Batna de se développer sur le plan sécuritaire, économique et touristique.
- Le renforcement des liens sociaux grâce à l'amélioration de l'accessibilité des populations entre les différentes régions.
- La réduction du temps nécessaire pour se rendre à la capitale (Alger).
- La facilitation des échanges entre la région des hauts plateaux et le port de Djen-Djen.
- La promotion du tourisme dans la région de Batna.
- La création de nouveaux postes d'emplois pour la population.

XII.3.2 Les impacts négatifs

- L'expropriation des propriétés bâties ainsi que des terres situées dans l'emprise du projet.
- Les risques de pollution des oueds (Oued El Maahder) et des points d'eau situés à proximité du projet.
- Les coupures temporaires des réseaux (routes, eau, électricité).
- Les impacts négatifs sur l'agriculture.

De manière détaillée, on distingue les impacts en phase travaux et ceux en phase d'exploitation:

XII.3.3 Impacts pendant la phase de travaux

XII.3.3.1 Milieu physique :

Pendant la phase de construction, les impacts négatifs sur le milieu naturel sont principalement liés aux travaux classiques d'un chantier de construction d'autoroute :

- Le risque de perte du couvert végétal et la dégradation des sols suite à l'installation des chantiers.
- Les travaux de terrassement qui entraîneront la défiguration du paysage par l'apparition des déblais et des remblais.
- Les nuisances causées par les travaux de préparation et de construction, notamment dans la zone d'aéroport ou la population est dense.

XII.3.3.2 Milieu biologique :

- La destruction ou perturbation de sites favorables aux différentes espèces.

- La migration forcée des animaux à cause de la perturbation de leur habitat.

XII.3.3.3 Milieu humain

- Les terrains nécessaires à la construction seront expropriés, ce qui entraînera une réduction directe de la production agricole, impactant ainsi la diversité des cultures.
- Les nuisances sonores, les vibrations et les émissions générées auront des effets qui pourraient influencer la santé des riverains ainsi que celle des ouvriers travaillant sur le site.
- La circulation des camions et des engins de chantier pourrait également entraîner des accidents.



Figure XII.3-Tracé passant à travers des terrains à vocation agricole

XII.3.4 Pendant la phase d'exploitation

XII.3.4.1 Milieu physique

- Recalibrage et artificialisation des cours d'eau, entraînant une modification des bassins versants et une augmentation des risques d'inondation.
- Risques de pollution chronique, notamment liée aux eaux de ruissellement provenant de la chaussée.

XII.3.4.2 Milieu biologique

- Nuisances générées par la circulation des véhicules.
- Disparition de certaines zones écologiques sensibles, notamment les zones humides en vallées.
- Dégradation de la qualité des habitats de différentes espèces.

XII.3.4.3 Milieu humain

- L'impact sur l'homme n'est pas négligeable. Que ce soit pour les travailleurs du chantier ou pour les riverains, tout le monde est concerné par les travaux en cours.
- Risques d'accidents et de contamination des forages, puits ou adducteurs d'eau potable situés à proximité de l'autoroute.
- L'implantation de l'infrastructure autoroutière incitera les usagers à adopter des vitesses excessives, ce qui pourrait entraîner des accidents mortels.

XII.3.5 Récapitulatif des impacts

Tableau XII.1-Impacts négatifs du tracé sur l'environnement

N°	Activité	Impact engendré
1	Le tracé croise les réseaux électriques MT et BT tout au long du tracé.	Perturbations inévitables sur les activités et la qualité de vie de la population (Coupe d'électricité) (Figure XV.4).
2	Le tracé intercepte une zone où il y a présence de la conduite d'irrigation principale et plusieurs conduites secondaires notamment aux 4+200, 5+100 5+650, 6+600.	Problème de passage sur la conduite ou il y a un grand risque de destruction lors de la phase de réalisation.
3	Le tracé traverse des terrains et des pistes agricoles et des maisons notamment au PK 2+100, PK 3+300 Du PK 3+200 au PK 3+400, PK 4+450 Du PK 4+000 au PK 4+700, Pk 9+305.	Consommation d'espaces agricoles avec déboisements importants lors de la préparation du terrain en vue de la construction de l'autoroute et ses annexes.
4	Franchissement d'oued de Maadher et au Pk 5+352.	Problème de perturbation de l'écoulement naturel de l'oued qui va engendrer des problèmes pour l'espèce animale qui utilise l'oued comme source de vie (Figure XV.5).



Figure XII.4-Traversée de l'Oued El Maadher

XII.4 Mesures prises en compte

XII.4.1 Mesures de prévention et de compensation

Afin de limiter l'impact environnemental du projet, les mesures suivantes doivent être prises en compte :

- Revégétaliser les surfaces déboisées ou défrichées pendant les travaux situées à l'extérieur de l'emprise de la nouvelle route.
- Baliser les infrastructures publiques (comme les lignes électriques, les réseaux d'AEP et d'assainissement) situées dans les zones de travaux ou à proximité.
- Revégétaliser les sites d'empreintes par la mise en place de couvertures végétales appropriées (herbacées ou arbustives).
- Aménager des passages inférieurs pour la faune et la circulation de l'eau.
- Protéger les racines des arbres lors de l'installation de géotextiles.
- Installer des murs anti-bruit (écrans acoustiques) ou des merlons (bacs en terre) à proximité des agglomérations.
- Mettre en place des bassins de décantation.

XII.4.2 Mesures d'accompagnement

Pour atténuer les impacts négatifs évoqués précédemment, il est proposé de prendre certaines mesures, principalement axées sur le reboisement et la gestion de la végétation des talus, avec l'utilisation de terre végétale mise en réserve avant les travaux.

XII.5 Conclusion

Le réseau routier algérien est en pleine expansion et son développement aura un impact croissant sur le paysage et l'environnement. Afin de gérer cet impact, il est impératif de maîtriser les nuisances et les effets de cette infrastructure, ce qui nécessite une étude approfondie des impacts potentiels du projet sur l'environnement, avant même sa réalisation.

L'implantation de la pénétrante autoroutière de Batna vise à renforcer et améliorer le réseau routier de la wilaya. Toutefois, ce projet d'aménagement présente des risques significatifs de dégradation de l'environnement.

La construction de la nouvelle autoroute entraînera inévitablement des effets néfastes sur le milieu naturel durant les phases de chantier et d'exploitation.

Les impacts identifiés lors de la phase de réalisation sont temporaires et disparaîtront une fois les travaux terminés. Cependant, les impacts liés à l'utilisation de la route (pollution atmosphérique, bruit, déboisement, etc.) devront être compensés par un certain nombre de mesures d'atténuation. Si ces mesures sont rigoureusement appliquées, elles permettront de réduire efficacement les impacts environnementaux.

Chapitre XIII : Devis Estimatif et Quantitatif.

XIII. Chapitre XIII : Devis Quantitatif et Estimatif

Tableau des travaux

	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Prix Total (DA)
1	Installation du chantier				
1.1	Installation et repliement du chantier	Forfait	/		50 000 000,00
	Total partiel 1				50 000 000,00
2	Travaux préparatoires				
2.1	Déplacement des poteaux électriques MT et BT	U	4	350 000,00	1 400 000,00
2.2	Nettoyage complet ; retrait des débris ; nivellement grossier du sol prêt a recevoir les travaux de terassement	Ha	104,00	2 500 000,00	260 000 000,00
	Total partiel 2				261 400 000,00
3	Terrassement				
3.1	Décapage de la terre végétale (40 cm) y compris les frais de transport, fourniture, et mise en dépôt provisoires	M³	110 880,000	500,00	55 440 000,00
3.2	Remblai d'emprunts	M³	328 245,150	1 000,00	328 245 150,00
3.3	Déblai mis en dépôts définitif y compris les frais de transport, et mise en œuvre	M³	79 893,450	600,00	47 936 070,00
3.4	Déblai mis en remblai	M³	34 240.050	600,00	20 544 030,00
	Total partiel 3				452 165 250,00
4	Chaussée et accotement				
4.1	Mise en place d'une couche de forme en Tuf (40 cm)	M³	137 433,000	1 100,00	151 176 300,00
4.2	F/P d'une couche de fondation en grave bitume de 13 cm d'épaisseur	T	73 112,68	9 500,00	694 570 460,00
4.3	F/P d'une couche de base en grave bitume de 12 cm d'épaisseur, avec mise en œuvre à chaud	T	69 310,00	9 700,00	672 307 000,00
4.4	F/P d'une couche de roulement en béton bitumineux de 8 cm	T	57 600,00	9 000,00	518 400 000,00

	d'épaisseur, selon normes et plans d'exécution				
4.5	Couche d'accrochage dosée à 0,3 kg/m2	M²	462 000 ,00	50,00	23 100 000,00
4.6	Couche d'imprégnation 0,8 à 1,5 Kg/m²	M²	315 000,00	50,00	15 750 000,00
4.7	Fourniture, transport, mise en place et nivellement de terre végétale en couche de 20 à 30 cm d'épaisseur sur berme latérale, y compris réglage, compactage léger et toutes sujétions.	M³	3 716,500	2 000,00	7 433 000,00
	Total partiel 4				2 082 736 760,00
5	Assainissement				
5.1	Fossés trapézoïdaux en béton	Ml	8198.6	3500	28 695 100,00
5.2	Ouvrage d'entrée et de sortie de buse	U	5	130000	650 000
5.3	Buse Ø 1000 mm	Ml	64	30000	1 920 000,00
5.4	Buse Ø 1500 mm	Ml	22	42000	924 000,00
5.5	Dalots en béton armé dosé à 350 kg/m³	M³	576	30000	17 280 000,00
	Total partiel 5				49 469 100,00
6	Signalisation				
6.1	Ligne discontinue type T4 3u	Ml	16800	120	2 016 000,00
6.2	Ligne discontinue type T1 2u	Ml	33600	80	2 688 000,00
6.3	Ligne continue	Ml	16800	100	1 680 000,00
6.4	Signalisation verticale type A	U	16	13000	208 000,00
6.5	Signalisation verticale type B	U	18	17000	306 000,00
6.6	Signalisation verticale type C	U	12	17000	204 000,00
6.7	Signalisation verticale type D	U	4	17000	68 000,00
6.8	Signalisation verticale type E	U	14	13000	182 000,00
6.9	Séparateur en béton double	ML	8100	9800	79 380 000,00
6.10	Séparateur en béton simple	ML	16200	6000	97 200 000,00
	Total partiel 6				183 932 000,00
7	Ouvrages d'art				
7.1	Les 3 passages supérieurs	M²	858	400000	343 200 000,00

7.2	Ouvrage de oued El Maadher au Pk (5+480)	M²	750	400000	300 000 000,00
	Total partiel 7				643 200 000,00
8	Environnement et paysage				
8.1	Impact sur l'environnement (1% du total 3+4+5)	Forfait	/		25 843 821
	Total partiel 8				25 843 711
9	Echangeur				
9.1	Echangeur	Forfait	/		500 000 000,00
	Total partiel 9				500 000 000,00
10	Contrôle				
10.1	Bureau d'étude et laboratoire (2% du total 2+3+4)	Forfait	/		50 809 240
Total partiel 10					50 809 240
TOTAL GENERAL (H.T)					4 299 556 061
MONTANT TVA (19%)					816 915 651
MONTANT TOTAL (TTC)					5 116 471 712
CINQ MILLIARDS CENT SEIZE MILLIONS QUATRE CENT SOIXANTE-ONZE MILLE SEPT CENT DOUZE DINARS ALGÉRIENS.					
Prix par Km : 511 647 171 DA.					

Arrêté le montant du présent projet en toutes taxes comprises à la somme de :

CINQ MILLIARDS CENT SEIZE MILLIONS QUATRE CENT SOIXANTE-ONZE MILLE SEPT CENT DOUZE DINARS ALGÉRIENS.

Conclusion Générale

II. Conclusion générale

Au terme de ce travail de fin d'études, il convient de dresser un bilan global des efforts déployés tout au long de ce mémoire, tout en esquissant des perspectives utiles pour de futures orientations.

L'étude s'est concentrée sur la phase Avant-Projet Détaillé (APD), au cours de laquelle nous avons conçu le tracé géométrique de la route en intégrant les différentes contraintes du terrain et en respectant les normes techniques en vigueur. Cette phase nous a permis de nous familiariser avec la réglementation routière, qu'elle soit algérienne ou française, et d'en comprendre l'application concrète sur le terrain.

À partir des résultats de l'étude géotechnique, nous avons dimensionné le corps de chaussée en recourant à trois méthodes distinctes, afin de choisir la solution la plus appropriée pour résoudre les problèmes de faible portance du sol support.

Concernant l'assainissement, nous avons proposé des dispositifs adaptés pour assurer une collecte et une évacuation efficaces des eaux superficielles tout au long de l'emprise de la route.

Par ailleurs, bien que traitées de manière succincte, d'autres composantes du projet telles que les ouvrages d'art, la signalisation, l'étude d'impact environnemental ainsi que le devis quantitatif et estimatif, nous ont permis d'avoir un aperçu plus global des différents volets qui composent un projet routier complet.

Ce projet nous a également offert l'occasion de renforcer notre maîtrise de plusieurs outils informatiques et logiciels professionnels indispensables dans le domaine des travaux publics, notamment AutoCAD, Autopiste, Global Mapper, Slide 5.05, Alizé LCPC et Microsoft Excel.

En conclusion, la réalisation de ce projet s'est révélée particulièrement enrichissante, car elle nous a permis de mobiliser et de consolider les compétences acquises au cours de notre formation. Elle nous a également permis d'explorer une diversité d'aspects techniques essentiels que tout ingénieur en travaux publics se doit de maîtriser.

Bibliographie

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

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

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

[4] ICTAAL : Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison, 12 Décembre 2000.

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

[6] GTR_Fascicule_1_Principes_Généraux, SETRA_LCPC, Juillet 2000.

[7] GTR_Fascicule_2_Annexes_Techniques, SETRA_LCPC, Juillet 2000.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Logiciels utilisés :

- Autocade 2018
- Alize LCPC Recherche
- Covadis
- Global Mapper 25.1

ANNEXE A
Listing de Tracé

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	371.36gr	383.059	1600.000	258243.740	3954942.516
Arc 1	Rayon	2000.000 m	268.764	1983.059	258077.158	3955287.458
	Centre X	256276.174 m				
	Centre Y	3954417.713 m				
Droite 2	Gisement	362.80gr	1187.511	2251.823	257944.395	3955520.908
Arc 2	Rayon	3000.000 m	1056.716	2839.333	257289.366	3956511.423
	Centre X	254787.036 m				
	Centre Y	3954856.630 m				
Droite 3	Gisement	340.38gr	1163.522	3496.050	256564.826	3957273.127
Arc 3	Rayon	-2500.000 m	1518.295	4959.572	255627.610	3957962.627
	Centre X	257109.103 m				
	Centre Y	3959976.375 m				
Droite 4	Gisement	29.97gr	2223.130	7577.867	254881.089	3961110.375
Droite 5	Gisement	29.97gr	878.604	9177.997	255889.501	3963091.640
Arc 4	Rayon	2000.000 m	2718.706	9800.601	256288.036	3963874.657
	Centre X	254505.625 m				
	Centre Y	3964781.857 m				
Droite 6	Gisement	343.43gr	1810.570	10398.307	255766.698	3966334.176
				11600.000	254361.406	3967475.806
Longueur totale de l'axe 10000.000 mètre(s)						

ANNEXE B
Listing de profil en long

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.57 %	291.052	1600.000	828.532
Parabole 1	Rayon	-15000.000 m	120.905	1891.052	826.885
	Sommet Absc.	1806.132 m			
	Sommet Alt.	827.125 m			
Pente 2	Pente	-1.37 %	331.690	2011.957	825.713
Parabole 2	Rayon	10000.000 m	82.709	2343.647	821.162
	Sommet Absc.	2480.864 m			
	Sommet Alt.	820.220 m			
Pente 3	Pente	-0.55 %	1189.137	2426.357	820.369
Parabole 3	Rayon	20000.000 m	209.015	3615.493	813.887
	Sommet Absc.	3724.509 m			
	Sommet Alt.	813.590 m			
Pente 4	Pente	0.50 %	955.123	3824.509	813.840
Parabole 4	Rayon	-12000.000 m	240.325	4779.632	818.616
	Sommet Absc.	4839.632 m			
	Sommet Alt.	818.766 m			
Pente 5	Pente	-1.50 %	472.284	5019.957	817.411
Parabole 5	Rayon	10000.000 m	215.140	5492.241	810.314
	Sommet Absc.	5642.512 m			
	Sommet Alt.	809.185 m			
Pente 6	Pente	0.65 %	1004.537	5707.381	809.395
Parabole 6	Rayon	-20000.000 m	229.737	6711.918	815.911
	Sommet Absc.	6841.655 m			
	Sommet Alt.	816.332 m			
Pente 7	Pente	-0.50 %	1280.971	6941.655	816.082
Parabole 7	Rayon	15000.000 m	153.627	8222.626	809.677
	Sommet Absc.	8297.626 m			
	Sommet Alt.	809.490 m			
Pente 8	Pente	0.52 %	963.843	8376.253	809.696
Parabole 8	Rayon	-18000.000 m	330.001	9340.095	814.748
	Sommet Absc.	9434.447 m			
	Sommet Alt.	814.995 m			
Pente 9	Pente	-1.31 %	456.906	9670.096	813.453
Parabole 9	Rayon	20000.000 m	400.072	10127.003	807.471
	Sommet Absc.	10388.835 m			
	Sommet Alt.	805.757 m			
Pente 10	Pente	0.69 %	532.086	10527.074	806.235
Parabole 10	Rayon	15000.000 m	193.724	11059.161	809.913
	Sommet Absc.	10955.481 m			
	Sommet Alt.	809.554 m			
Pente 11	Pente	1.98 %	347.116	11252.884	812.503
				11600.000	819.385
Longueur totale de l'axe 10000.000 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 10000.350 mètre(s)					

ANNEXE B
Listing de profil en long

ANNEXE C
Cubatures

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P81	1600.000	20.000	6.43	1.22	128.5	24.3	128.5	24.3
P82	1620.000	20.000	15.68	0.21	313.6	4.1	442.2	28.5
P83	1640.000	20.000	15.02	0.15	300.4	2.9	742.5	31.4
P84	1660.000	20.000	25.37	1.05	507.3	20.9	1249.8	52.3
P85	1680.000	20.000	29.93	0.10	598.6	2.0	1848.4	54.3
P86	1700.000	20.000	34.61	0.16	692.1	3.1	2540.5	57.4
P87	1720.000	20.000	37.12	0.11	742.4	2.1	3283.0	59.5
P88	1740.000	20.000	34.33	0.82	686.7	16.3	3969.6	75.8
P89	1760.000	20.000	36.76	0.43	735.2	8.6	4704.9	84.5
P90	1780.000	20.000	43.17	0.63	863.4	12.7	5568.3	97.1
P91	1800.000	20.000	36.59	0.11	731.8	2.2	6300.1	99.3
P92	1820.000	20.000	31.37	0.11	627.3	2.2	6927.4	101.5
P93	1840.000	20.000	25.56	0.20	510.4	4.1	7437.8	105.5
P94	1860.000	20.000	16.82	0.12	335.5	2.4	7773.3	107.9
P95	1880.000	20.000	12.60	0.16	251.5	3.2	8024.8	111.1
P96	1900.000	20.000	13.48	0.11	269.3	2.3	8294.1	113.4
P97	1920.000	20.000	14.03	0.11	280.4	2.3	8574.5	115.7
P98	1940.000	20.000	14.52	0.11	290.1	2.3	8864.5	118.0
P99	1960.000	20.000	14.30	0.11	285.9	2.3	9150.5	120.2
P100	1980.000	10.049	11.41	0.11	114.6	1.1	9265.1	121.4
P101	1980.097	10.000	9.23	0.04	92.3	0.4	9357.4	121.8
P102	2000.000	19.951	9.73	0.17	194.1	3.4	9551.6	125.2
P103	2020.000	20.000	11.64	0.13	232.9	2.6	9784.5	127.8
P104	2040.000	30.000	9.72	0.15	291.7	4.4	10076.2	132.2
P105	2060.000	10.000	9.60	0.00	96.0	0.0	10172.2	132.2
P106	2080.000	20.000	10.90	0.00	217.9	0.0	10390.1	132.2
P107	2100.000	20.000	13.86	0.00	277.2	0.0	10667.3	132.2
P108	2120.000	20.000	14.93	0.00	298.4	0.0	10965.7	132.2
P109	2140.000	20.000	14.08	0.00	281.5	0.0	11247.2	132.2
P110	2160.000	20.000	11.62	0.00	232.4	0.0	11479.5	132.2
P111	2180.000	20.000	15.87	0.00	317.3	0.0	11796.9	132.2
P112	2200.000	20.000	14.38	0.00	287.5	0.0	12084.3	132.2
P113	2220.000	11.949	12.10	0.00	144.5	0.0	12228.9	132.2
P114	2223.898	10.000	11.65	0.00	116.4	0.0	12345.3	132.2
P115	2240.000	14.112	10.39	0.00	146.6	0.0	12491.9	132.2
P116	2252.122	6.061	10.22	0.00	61.9	0.0	12553.8	132.2
P117	2260.000	17.878	11.75	0.00	210.0	0.0	12763.8	132.2
P118	2280.000	16.468	8.82	0.04	145.3	0.7	12909.1	132.9
P119	2292.936	10.000	8.67	0.04	86.7	0.4	12995.8	133.4
P120	2300.000	11.402	8.57	0.04	97.8	0.5	13093.6	133.9

ANNEXE C
Cubatures

P121	2315.739	7.870	11.24	0.04	88.5	0.3	13182.1	134.2
P122	2320.000	4.261	12.07	0.04	51.5	0.2	13233.5	134.4
P123	2340.000	30.000	14.28	0.34	428.1	10.2	13661.7	144.6
P124	2360.000	20.000	15.21	0.24	303.9	4.7	13965.6	149.4
P125	2380.000	20.000	10.90	0.07	217.8	1.4	14183.4	150.8
P126	2400.000	16.159	8.45	0.09	136.5	1.4	14319.9	152.2
P127	2406.159	6.921	7.44	0.09	51.4	0.6	14371.3	152.8
P128	2420.000	16.921	5.38	0.13	90.9	2.2	14462.2	155.0
P129	2440.000	20.000	3.34	0.68	66.6	13.6	14528.8	168.6
P130	2460.000	20.000	1.16	3.63	23.1	72.6	14551.9	241.2
P131	2480.000	20.000	0.49	6.85	9.8	137.0	14561.7	378.1
P132	2500.000	20.000	0.13	12.96	2.7	259.1	14564.3	637.3
P133	2520.000	20.000	0.13	17.83	2.6	356.4	14566.9	993.7
P134	2540.000	20.000	0.13	23.96	2.6	479.0	14569.5	1472.7
P135	2560.000	20.000	0.00	28.33	0.0	566.3	14569.5	2039.0
P136	2580.000	20.000	0.00	31.63	0.0	632.4	14569.5	2671.4
P137	2600.000	30.000	0.00	34.38	0.0	1031.2	14569.5	3702.6
P138	2620.000	10.000	0.00	33.87	0.0	338.7	14569.5	4041.3
P139	2640.000	20.000	0.00	37.45	0.0	749.1	14569.5	4790.4
P140	2660.000	20.000	0.00	41.64	0.0	832.8	14569.5	5623.2
P141	2680.000	20.000	0.00	43.92	0.0	878.3	14569.5	6501.5
P142	2700.000	20.000	0.00	46.26	0.0	925.3	14569.5	7426.9
P143	2720.000	20.000	0.00	47.23	0.0	944.7	14569.5	8371.6
P144	2740.000	20.000	0.00	47.97	0.0	959.4	14569.5	9331.0
P145	2760.000	20.000	0.00	49.45	0.0	989.1	14569.5	10320.1
P146	2780.000	20.000	0.00	49.27	0.0	985.5	14569.5	11305.6
P147	2800.000	30.000	0.00	50.41	0.0	1512.2	14569.5	12817.8
P148	2820.000	8.987	0.14	66.15	1.3	595.0	14570.8	13412.8
P149	2840.000	21.013	0.14	66.93	3.0	1407.6	14573.8	14820.4
P150	2860.000	20.000	0.14	67.09	2.9	1343.0	14576.7	16163.4
P151	2880.000	20.000	0.14	66.70	2.9	1335.1	14579.6	17498.5
P152	2900.000	24.245	0.14	68.24	3.4	1654.7	14583.1	19153.3
P153	2920.000	15.755	0.28	83.18	4.4	1310.5	14587.5	20463.8
P154	2940.000	20.000	0.28	81.32	5.6	1626.5	14593.1	22090.3
P155	2960.000	20.000	0.28	81.42	5.6	1628.5	14598.7	23718.8
P156	2980.000	20.000	0.28	77.66	5.6	1553.3	14604.3	25272.0
P157	3000.000	20.000	0.28	78.42	5.6	1568.4	14609.9	26840.4
P158	3020.000	20.000	0.28	78.24	5.6	1564.8	14615.5	28405.2
P159	3040.000	20.000	0.28	71.88	5.6	1437.5	14621.1	29842.7
P160	3060.000	20.000	0.28	64.92	5.6	1298.5	14626.7	31141.2
P161	3080.000	20.000	0.28	51.36	5.6	1027.1	14632.2	32168.3
P162	3100.000	20.000	0.29	30.30	5.8	605.9	14638.1	32774.2
P163	3120.000	20.000	0.28	22.21	5.6	444.2	14643.7	33218.4
P164	3140.000	20.000	0.73	10.17	14.6	203.3	14658.2	33421.7
P165	3160.000	20.000	2.38	2.43	47.6	48.6	14705.8	33470.3
P166	3180.000	20.000	10.12	0.11	202.4	2.3	14908.3	33472.6
P167	3200.000	20.000	15.21	0.11	304.2	2.3	15212.4	33474.9
P168	3220.000	20.000	17.00	0.32	339.9	6.4	15552.4	33481.3
P169	3240.000	20.000	30.76	0.13	615.2	2.7	16167.6	33484.0
P170	3260.000	20.000	48.48	0.14	969.7	2.7	17137.3	33486.7

ANNEXE C
Cubatures

P171	3280.000	20.000	74.09	0.13	1481.8	2.7	18619.1	33489.4
P172	3300.000	20.000	96.11	0.13	1922.1	2.7	20541.2	33492.0
P173	3320.000	20.000	107.57	0.14	2151.4	2.7	22692.7	33494.7
P174	3340.000	20.000	108.38	0.13	2167.6	2.6	24860.3	33497.4
P175	3360.000	20.000	95.15	0.13	1903.0	2.7	26763.2	33500.1
P176	3380.000	20.000	75.52	0.14	1510.5	2.7	28273.7	33502.8
P177	3400.000	20.000	62.23	0.13	1244.6	2.7	29518.3	33505.5
P178	3420.000	20.000	41.05	0.14	821.0	2.7	30339.3	33508.2
P179	3440.000	20.000	19.24	0.16	384.8	3.3	30724.1	33511.5
P180	3460.000	20.000	5.76	0.09	115.2	1.8	30839.3	33513.3
P181	3480.000	20.000	0.28	24.36	5.5	487.1	30844.8	34000.4
P182	3500.000	20.000	0.28	47.43	5.5	948.6	30850.3	34949.0
P183	3520.000	20.000	0.28	63.20	5.6	1264.0	30855.9	36213.0
P184	3540.000	20.000	0.28	74.41	5.6	1488.1	30861.5	37701.1
P185	3560.000	20.000	0.28	84.01	5.6	1680.2	30867.1	39381.3
P186	3580.000	20.000	0.28	91.82	5.6	1836.3	30872.7	41217.6
P187	3600.000	20.000	0.28	95.89	5.6	1917.8	30878.3	43135.5
P188	3620.000	20.000	0.28	99.07	5.6	1981.4	30883.9	45116.8
P189	3640.000	20.000	0.28	100.98	5.6	2019.7	30889.5	47136.5
P190	3660.000	20.000	0.28	99.89	5.6	1997.9	30895.1	49134.4
P191	3680.000	20.000	0.28	102.04	5.6	2040.7	30900.7	51175.1
P192	3700.000	20.000	0.28	103.17	5.6	2063.5	30906.3	53238.6
P193	3720.000	20.000	0.28	103.53	5.6	2070.7	30911.9	55309.3
P194	3740.000	20.000	0.28	104.37	5.6	2087.4	30917.5	57396.7
P195	3760.000	20.000	0.28	105.60	5.6	2111.9	30923.1	59508.6
P196	3780.000	20.000	0.28	105.64	5.6	2112.7	30928.8	61621.3
P197	3800.000	20.000	0.28	106.32	5.6	2126.4	30934.4	63747.7
P198	3820.000	20.000	0.28	108.37	5.6	2167.4	30940.0	65915.1
P199	3840.000	20.000	0.28	109.34	5.6	2186.7	30945.6	68101.9
P200	3860.000	20.000	0.28	108.93	5.6	2178.6	30951.2	70280.5
P201	3880.000	20.000	0.28	111.14	5.6	2222.9	30956.8	72503.3
P202	3900.000	20.000	0.29	106.96	5.7	2139.2	30962.5	74642.5
P203	3920.000	20.000	0.28	104.83	5.6	2096.6	30968.1	76739.1
P204	3940.000	20.000	0.28	109.01	5.7	2180.3	30973.8	78919.4
P205	3960.000	20.000	0.28	114.44	5.6	2288.7	30979.4	81208.1
P206	3980.000	20.000	0.28	116.49	5.6	2329.8	30985.0	83537.9
P207	4000.000	20.000	0.28	116.83	5.6	2336.6	30990.6	85874.5
P208	4020.000	20.000	0.28	115.58	5.6	2311.6	30996.2	88186.1
P209	4040.000	20.000	0.29	113.35	5.7	2266.9	31001.9	90453.0
P210	4060.000	20.000	0.28	117.31	5.6	2346.2	31007.5	92799.2
P211	4080.000	20.000	0.29	126.11	5.7	2522.2	31013.2	95321.5
P212	4100.000	20.000	0.28	133.09	5.6	2661.7	31018.7	97983.2
P213	4120.000	20.000	0.28	132.78	5.6	2655.6	31024.3	100638.7
P214	4140.000	20.000	0.27	131.32	5.5	2626.2	31029.8	103265.0
P215	4160.000	20.000	0.27	130.14	5.4	2602.6	31035.2	105867.6
P216	4180.000	20.000	0.26	128.08	5.3	2561.4	31040.5	108429.0
P217	4200.000	20.000	0.28	129.05	5.6	2580.9	31046.0	111009.9
P218	4220.000	20.000	0.26	131.74	5.2	2634.8	31051.2	113644.7
P219	4240.000	20.000	0.28	132.78	5.6	2655.6	31056.9	116300.3
P220	4260.000	20.000	0.28	133.49	5.6	2669.7	31062.5	118970.0

ANNEXE C
Cubatures

P221	4280.000	20.000	0.28	131.60	5.5	2632.0	31068.0	121602.0
P222	4300.000	20.000	0.28	132.55	5.6	2651.0	31073.6	124252.9
P223	4320.000	20.000	0.28	134.76	5.6	2695.1	31079.2	126948.0
P224	4340.000	20.000	0.28	135.27	5.6	2705.3	31084.8	129653.3
P225	4360.000	20.000	0.28	135.01	5.6	2700.1	31090.4	132353.4
P226	4380.000	20.000	0.28	131.66	5.6	2633.1	31096.0	134986.5
P227	4400.000	20.000	0.28	129.60	5.6	2591.9	31101.5	137578.4
P228	4420.000	20.000	0.29	128.01	5.7	2560.2	31107.3	140138.5
P229	4440.000	20.000	0.28	125.19	5.6	2503.7	31112.9	142642.2
P230	4460.000	20.000	0.28	125.35	5.5	2507.0	31118.4	145149.2
P231	4480.000	20.000	0.28	125.18	5.5	2503.7	31123.9	147652.9
P232	4500.000	20.000	0.28	121.83	5.6	2436.6	31129.6	150089.5
P233	4520.000	20.000	0.28	120.95	5.6	2419.0	31135.1	152508.5
P234	4540.000	20.000	0.28	117.91	5.6	2358.2	31140.7	154866.7
P235	4560.000	20.000	0.28	115.35	5.6	2307.2	31146.3	157173.9
P236	4580.000	20.000	0.27	111.65	5.4	2233.3	31151.6	159407.2
P237	4600.000	20.000	0.27	105.29	5.4	2106.1	31157.0	161513.3
P238	4620.000	20.000	0.28	98.28	5.5	1965.9	31162.5	163479.2
P239	4640.000	20.000	0.27	92.61	5.3	1852.5	31167.8	165331.7
P240	4660.000	20.000	0.28	89.20	5.6	1784.2	31173.5	167115.9
P241	4680.000	20.000	0.29	86.28	5.8	1725.9	31179.3	168841.8
P242	4700.000	20.000	0.29	90.85	5.7	1817.2	31185.0	170659.0
P243	4720.000	20.000	0.29	101.60	5.7	2032.2	31190.7	172691.2
P244	4740.000	20.000	0.28	113.92	5.7	2278.5	31196.4	174969.7
P245	4760.000	20.000	0.28	125.07	5.6	2501.6	31202.0	177471.3
P246	4780.000	20.000	0.28	133.52	5.6	2670.6	31207.6	180141.9
P247	4800.000	20.000	0.28	140.79	5.5	2815.8	31213.1	182957.7
P248	4820.000	20.000	0.28	144.28	5.6	2885.6	31218.7	185843.4
P249	4840.000	20.000	0.28	147.37	5.6	2947.5	31224.4	188790.9
P250	4860.000	20.000	0.28	150.12	5.6	3002.5	31230.0	191793.4
P251	4880.000	20.000	0.28	151.61	5.6	3032.3	31235.6	194825.7
P252	4900.000	20.000	0.28	152.68	5.6	3053.7	31241.1	197879.3
P253	4920.000	20.000	0.28	151.70	5.6	3033.9	31246.7	200913.3
P254	4940.000	20.000	0.28	149.09	5.7	2981.9	31252.4	203895.1
P255	4960.000	20.000	0.28	147.06	5.6	2941.3	31258.0	206836.4
P256	4980.000	20.000	0.28	141.33	5.7	2826.8	31263.7	209663.2
P257	5000.000	20.000	0.28	133.60	5.6	2672.1	31269.3	212335.3
P258	5020.000	20.000	0.28	120.64	5.7	2412.8	31275.0	214748.1
P259	5040.000	20.000	0.29	98.42	5.8	1968.5	31280.8	216716.6
P260	5060.000	20.000	0.29	77.54	5.9	1550.8	31286.7	218267.4
P261	5080.000	20.000	0.28	56.59	5.6	1131.7	31292.3	219399.1
P262	5100.000	20.000	0.28	35.71	5.6	714.1	31297.9	220113.2
P263	5120.000	20.000	0.28	14.82	5.6	296.3	31303.5	220409.5
P264	5140.000	20.000	9.77	0.16	195.3	3.2	31498.8	220412.6
P265	5160.000	20.000	27.98	0.13	559.6	2.6	32058.3	220415.3
P266	5180.000	20.000	25.62	0.13	512.2	2.6	32570.5	220417.9
P267	5200.000	20.000	15.52	0.17	310.4	3.4	32880.9	220421.3
P268	5220.000	20.000	10.04	0.09	200.7	1.8	33081.6	220423.1
P269	5240.000	20.000	1.20	2.31	24.0	46.1	33105.6	220469.2
P270	5260.000	20.000	0.31	9.93	6.2	198.6	33111.7	220667.8

ANNEXE C
Cubatures

P271	5280.000	20.000	0.29	10.11	5.9	202.2	33117.6	220870.0
P272	5300.000	20.000	0.43	8.41	8.6	168.3	33126.2	221038.3
P273	5320.000	20.000	2.08	0.80	41.7	15.9	33167.9	221054.2
P274	5340.000	20.000	11.37	0.34	227.6	6.7	33395.5	221060.9
P275	5360.000	20.000	17.66	0.23	353.6	4.6	33749.1	221065.5
P276	5380.000	20.000	14.94	0.24	299.0	4.7	34048.1	221070.2
P277	5400.000	20.000	7.68	0.14	153.7	2.8	34201.8	221073.0
P278	5420.000	20.000	1.82	5.08	36.6	101.3	34238.4	221174.4
P279	5440.000	20.000	0.29	17.72	5.7	354.1	34244.1	221528.5
P280	5460.000	20.000	0.28	28.56	5.5	571.0	34249.6	222099.5
P281	5480.000	20.000	0.26	24.68	5.2	493.5	34254.8	222593.0
P282	5500.000	20.000	0.04	57.63	0.8	1153.5	34255.7	223746.5
P283	5520.000	20.000	0.28	35.71	5.6	714.3	34261.3	224460.9
P284	5540.000	20.000	0.28	56.18	5.6	1123.6	34266.9	225584.5
P285	5560.000	20.000	0.29	61.04	5.8	1221.1	34272.6	226805.6
P286	5580.000	20.000	0.30	45.89	6.0	917.7	34278.6	227723.3
P287	5600.000	20.000	7.75	0.09	155.1	1.8	34433.8	227725.1
P288	5620.000	20.000	4.66	2.94	93.1	58.9	34526.8	227784.0
P289	5640.000	20.000	29.43	0.14	588.8	2.8	35115.6	227786.8
P290	5660.000	20.000	58.60	0.13	1172.1	2.7	36287.7	227789.5
P291	5680.000	20.000	78.82	0.13	1576.4	2.7	37864.0	227792.1
P292	5700.000	20.000	78.73	0.13	1574.2	2.7	39438.3	227794.8
P293	5720.000	20.000	63.73	0.13	1274.3	2.7	40712.6	227797.5
P294	5740.000	20.000	51.80	0.13	1035.6	2.7	41748.2	227800.2
P295	5760.000	20.000	46.96	0.14	938.6	2.7	42686.8	227802.9
P296	5780.000	20.000	46.94	0.14	938.2	2.7	43625.0	227805.6
P297	5800.000	20.000	53.16	0.13	1062.5	2.7	44687.5	227808.3
P298	5820.000	20.000	58.74	0.13	1174.0	2.7	45861.5	227811.0
P299	5840.000	20.000	52.34	0.13	1046.1	2.7	46907.7	227813.7
P300	5860.000	20.000	45.74	0.13	914.1	2.7	47821.8	227816.4
P301	5880.000	20.000	37.97	0.14	758.9	2.7	48580.6	227819.0
P302	5900.000	20.000	30.32	0.14	606.0	2.7	49186.6	227821.8
P303	5920.000	20.000	24.28	0.17	485.2	3.4	49671.8	227825.2
P304	5940.000	20.000	18.54	0.25	370.5	4.9	50042.3	227830.1
P305	5960.000	20.000	18.44	0.22	368.5	4.5	50410.8	227834.6
P306	5980.000	20.000	19.27	0.19	385.2	3.7	50796.0	227838.3
P307	6000.000	20.000	26.35	0.13	526.7	2.7	51322.7	227841.0
P308	6020.000	20.000	35.39	0.13	707.5	2.7	52030.1	227843.7
P309	6040.000	20.000	47.17	0.13	943.1	2.7	52973.2	227846.4
P310	6060.000	20.000	61.57	0.14	1231.3	2.7	54204.5	227849.1
P311	6080.000	20.000	70.03	0.14	1400.2	2.7	55604.7	227851.8
P312	6100.000	20.000	82.58	0.13	1651.1	2.7	57255.8	227854.5
P313	6120.000	20.000	92.66	0.14	1852.6	2.7	59108.4	227857.2
P314	6140.000	20.000	94.03	0.13	1879.6	2.7	60988.0	227859.9
P315	6160.000	20.000	75.12	0.14	1501.3	2.7	62489.2	227862.6
P316	6180.000	20.000	49.54	0.13	990.0	2.7	63479.2	227865.3
P317	6200.000	20.000	30.25	0.14	604.4	2.7	64083.6	227868.0
P318	6220.000	20.000	17.87	0.12	357.1	2.3	64440.6	227870.3
P319	6240.000	20.000	5.81	0.58	116.0	11.7	64556.6	227882.0
P320	6260.000	20.000	1.49	8.82	29.6	176.7	64586.2	228058.7

ANNEXE C
Cubatures

P321	6280.000	20.000	0.29	24.21	5.8	484.7	64592.0	228543.4
P322	6300.000	20.000	0.28	33.23	5.6	664.9	64597.6	229208.3
P323	6320.000	20.000	0.29	21.56	5.8	431.4	64603.4	229639.7
P324	6340.000	20.000	0.77	9.84	15.4	197.0	64618.8	229836.8
P325	6360.000	20.000	1.49	10.80	29.6	216.4	64648.4	230053.1
P326	6380.000	20.000	0.50	17.95	9.9	359.5	64658.3	230412.6
P327	6400.000	20.000	0.29	32.63	5.8	653.1	64664.1	231065.8
P328	6420.000	20.000	0.29	49.01	5.8	980.8	64669.9	232046.5
P329	6440.000	20.000	0.27	64.13	5.4	1283.3	64675.3	233329.8
P330	6460.000	20.000	0.28	52.66	5.7	1053.7	64681.0	234383.6
P331	6480.000	20.000	0.28	48.26	5.7	965.7	64686.7	235349.3
P332	6500.000	20.000	0.28	42.65	5.6	853.5	64692.3	236202.8
P333	6520.000	20.000	0.28	38.53	5.6	770.9	64697.9	236973.8
P334	6540.000	20.000	0.27	44.25	5.5	885.6	64703.3	237859.3
P335	6560.000	20.000	0.29	55.74	5.7	1115.2	64709.1	238974.5
P336	6580.000	20.000	0.28	74.08	5.6	1482.3	64714.7	240456.8
P337	6600.000	20.000	0.29	91.46	5.7	1830.1	64720.4	242286.9
P338	6620.000	20.000	0.28	88.22	5.5	1765.1	64726.0	244052.0
P339	6640.000	20.000	0.28	82.60	5.6	1652.2	64731.6	245704.2
P340	6660.000	20.000	0.29	67.08	5.9	1341.7	64737.4	247046.0
P341	6680.000	20.000	0.30	55.26	6.1	1105.5	64743.5	248151.5
P342	6700.000	20.000	0.29	51.95	5.8	1039.4	64749.3	249190.9
P343	6720.000	20.000	0.28	57.03	5.7	1141.1	64755.0	250332.0
P344	6740.000	20.000	0.28	61.02	5.6	1220.8	64760.6	251552.8
P345	6760.000	20.000	0.28	57.06	5.6	1141.3	64766.1	252694.1
P346	6780.000	20.000	0.28	49.72	5.6	994.5	64771.7	253688.6
P347	6800.000	20.000	0.28	40.85	5.6	817.0	64777.4	254505.6
P348	6820.000	20.000	0.28	33.35	5.6	667.1	64783.0	255172.8
P349	6840.000	20.000	0.28	27.38	5.6	547.6	64788.6	255720.4
P350	6860.000	20.000	0.28	23.01	5.6	460.3	64794.2	256180.7
P351	6880.000	20.000	0.28	20.47	5.6	409.5	64799.8	256590.2
P352	6900.000	20.000	0.28	18.15	5.6	363.1	64805.4	256953.3
P353	6920.000	20.000	0.28	18.00	5.6	360.1	64811.0	257313.4
P354	6940.000	20.000	0.28	16.83	5.6	336.6	64816.6	257649.9
P355	6960.000	20.000	0.28	15.72	5.6	314.4	64822.2	257964.3
P356	6980.000	20.000	0.28	16.38	5.6	327.6	64827.8	258291.9
P357	7000.000	20.000	0.28	18.12	5.6	362.3	64833.4	258654.2
P358	7020.000	20.000	0.28	21.34	5.6	426.8	64839.0	259081.0
P359	7040.000	20.000	0.28	25.83	5.5	516.6	64844.5	259597.6
P360	7060.000	20.000	0.28	28.08	5.5	561.7	64850.1	260159.3
P361	7080.000	20.000	0.28	34.66	5.5	693.2	64855.6	260852.5
P362	7100.000	20.000	0.28	39.75	5.5	795.1	64861.1	261647.5
P363	7120.000	20.000	0.28	43.45	5.6	869.0	64866.7	262516.5
P364	7140.000	20.000	0.28	46.49	5.5	929.9	64872.2	263446.5
P365	7160.000	20.000	0.28	48.30	5.5	966.1	64877.7	264412.5
P366	7180.000	20.000	0.28	47.82	5.5	956.4	64883.2	265369.0
P367	7200.000	20.000	0.27	48.88	5.5	977.6	64888.7	266346.6
P368	7220.000	20.000	0.28	47.31	5.5	946.1	64894.3	267292.8
P369	7240.000	20.000	0.28	43.82	5.6	876.5	64899.8	268169.3
P370	7260.000	20.000	0.28	40.09	5.6	801.8	64905.4	268971.1

ANNEXE C
Cubatures

P371	7280.000	20.000	0.28	36.98	5.6	739.6	64911.0	269710.8
P372	7300.000	20.000	0.28	34.80	5.5	696.0	64916.5	270406.7
P373	7320.000	20.000	0.28	32.05	5.5	641.0	64922.1	271047.7
P374	7340.000	20.000	0.28	29.80	5.5	596.0	64927.6	271643.8
P375	7360.000	20.000	0.27	26.03	5.5	520.5	64933.1	272164.2
P376	7380.000	20.000	0.28	22.78	5.6	455.5	64938.7	272619.8
P377	7400.000	20.000	0.28	21.60	5.6	432.0	64944.3	273051.8
P378	7420.000	20.000	0.28	20.25	5.6	405.1	64949.9	273456.8
P379	7440.000	20.000	0.28	18.11	5.6	362.2	64955.5	273819.1
P380	7460.000	20.000	0.28	17.06	5.6	341.3	64961.1	274160.4
P381	7480.000	20.000	0.28	18.35	5.5	367.0	64966.6	274527.4
P382	7500.000	20.000	0.28	15.82	5.6	316.6	64972.2	274844.0
P383	7520.000	20.000	0.32	13.37	6.4	267.5	64978.5	275111.5
P384	7540.000	20.000	0.43	9.97	8.5	199.5	64987.0	275310.9
P385	7560.000	20.000	0.59	7.87	11.7	157.5	64998.8	275468.4
P386	7580.000	20.000	0.79	7.15	15.9	143.1	65014.6	275611.5
P387	7600.000	20.000	1.06	6.92	21.2	138.3	65035.8	275749.8
P388	7620.000	20.000	0.41	13.82	8.2	276.3	65044.0	276026.1
P389	7640.000	20.000	0.28	22.05	5.5	441.0	65049.6	276467.2
P390	7660.000	20.000	0.28	22.51	5.6	450.3	65055.2	276917.4
P391	7680.000	20.000	0.28	25.16	5.6	503.2	65060.8	277420.7
P392	7700.000	20.000	0.28	31.78	5.6	635.7	65066.4	278056.4
P393	7720.000	20.000	0.28	37.60	5.7	752.1	65072.1	278808.4
P394	7740.000	20.000	0.28	37.56	5.6	751.1	65077.7	279559.6
P395	7760.000	20.000	0.28	35.39	5.6	707.8	65083.3	280267.3
P396	7780.000	20.000	0.28	32.67	5.6	653.3	65088.9	280920.7
P397	7800.000	20.000	0.28	29.33	5.6	586.6	65094.6	281507.2
P398	7820.000	20.000	0.28	29.53	5.6	590.7	65100.1	282097.9
P399	7840.000	20.000	0.28	30.20	5.6	604.1	65105.7	282702.0
P400	7860.000	20.000	0.28	34.64	5.6	692.8	65111.3	283394.8
P401	7880.000	20.000	0.28	40.79	5.6	815.8	65116.9	284210.5
P402	7900.000	20.000	0.28	45.99	5.6	919.8	65122.5	285130.4
P403	7920.000	20.000	0.28	51.46	5.7	1029.2	65128.2	286159.6
P404	7940.000	20.000	0.28	54.84	5.7	1096.8	65133.8	287256.4
P405	7960.000	20.000	0.28	57.29	5.6	1145.8	65139.5	288402.2
P406	7980.000	20.000	0.28	56.79	5.6	1135.9	65145.1	289538.0
P407	8000.000	20.000	0.28	56.16	5.6	1123.3	65150.7	290661.3
P408	8020.000	20.000	0.28	58.46	5.6	1169.2	65156.3	291830.5
P409	8040.000	20.000	0.28	59.82	5.6	1196.4	65161.9	293027.0
P410	8060.000	20.000	0.28	59.01	5.6	1180.2	65167.5	294207.2
P411	8080.000	20.000	0.28	57.47	5.5	1149.4	65173.0	295356.5
P412	8100.000	20.000	0.28	53.16	5.6	1063.1	65178.6	296419.7
P413	8120.000	20.000	0.28	48.86	5.6	977.2	65184.3	297396.9
P414	8140.000	20.000	0.28	45.23	5.6	904.6	65189.9	298301.5
P415	8160.000	20.000	0.28	42.38	5.6	847.6	65195.5	299149.1
P416	8180.000	20.000	0.28	39.29	5.7	785.8	65201.2	299934.9
P417	8200.000	20.000	0.28	38.66	5.6	773.1	65206.8	300708.0
P418	8220.000	20.000	0.28	33.73	5.6	674.6	65212.5	301382.6
P419	8240.000	20.000	0.28	27.96	5.6	559.2	65218.1	301941.8
P420	8260.000	20.000	0.28	22.59	5.6	451.9	65223.7	302393.7

ANNEXE C
Cubatures

P421	8280.000	20.000	0.42	16.48	8.3	329.6	65232.0	302723.2
P422	8300.000	20.000	0.84	9.31	16.8	186.1	65248.9	302909.4
P423	8320.000	20.000	2.00	4.34	40.0	86.7	65288.9	302996.1
P424	8340.000	20.000	4.03	0.23	80.5	4.7	65369.4	303000.8
P425	8360.000	20.000	10.00	0.16	200.0	3.1	65569.4	303003.9
P426	8380.000	20.000	13.21	0.20	264.1	4.1	65833.5	303008.0
P427	8400.000	20.000	21.00	0.14	420.1	2.7	66253.6	303010.7
P428	8420.000	20.000	21.93	0.14	438.6	2.7	66692.2	303013.4
P429	8440.000	20.000	22.66	0.14	453.2	2.7	67145.3	303016.1
P430	8460.000	20.000	21.23	0.13	424.7	2.7	67570.0	303018.8
P431	8480.000	20.000	10.88	0.25	217.7	5.1	67787.7	303023.8
P432	8500.000	20.000	2.06	2.13	41.2	42.6	67828.9	303066.4
P433	8520.000	20.000	0.28	15.02	5.6	300.5	67834.5	303366.9
P434	8540.000	20.000	0.28	30.16	5.7	603.1	67840.2	303970.1
P435	8560.000	20.000	0.28	46.72	5.6	934.5	67845.8	304904.5
P436	8580.000	20.000	0.28	57.59	5.6	1151.9	67851.4	306056.4
P437	8600.000	20.000	0.28	60.81	5.6	1216.3	67857.0	307272.7
P438	8620.000	20.000	0.28	65.20	5.7	1304.1	67862.7	308576.8
P439	8640.000	20.000	0.28	72.99	5.6	1459.7	67868.2	310036.5
P440	8660.000	20.000	0.28	79.54	5.6	1590.8	67873.9	311627.3
P441	8680.000	20.000	0.28	83.37	5.7	1667.4	67879.6	313294.7
P442	8700.000	20.000	0.28	89.65	5.6	1792.9	67885.1	315087.6
P443	8720.000	20.000	0.28	92.60	5.6	1851.9	67890.7	316939.5
P444	8740.000	20.000	0.29	90.15	5.8	1803.1	67896.5	318742.6
P445	8760.000	20.000	0.28	89.94	5.7	1798.8	67902.1	320541.4
P446	8780.000	20.000	0.28	87.94	5.7	1758.7	67907.8	322300.2
P447	8800.000	20.000	0.28	85.24	5.6	1704.8	67913.5	324005.0
P448	8820.000	20.000	0.28	79.67	5.6	1593.4	67919.1	325598.3
P449	8840.000	20.000	0.28	74.89	5.6	1497.8	67924.7	327096.1
P450	8860.000	20.000	0.28	73.04	5.6	1460.9	67930.3	328557.0
P451	8880.000	20.000	0.28	69.47	5.6	1389.4	67935.9	329946.4
P452	8900.000	20.000	0.28	61.56	5.6	1231.3	67941.6	331177.7
P453	8920.000	20.000	0.28	52.30	5.6	1046.1	67947.2	332223.7
P454	8940.000	20.000	0.28	39.57	5.6	791.4	67952.8	333015.1
P455	8960.000	20.000	0.28	27.21	5.6	544.1	67958.4	333559.2
P456	8980.000	20.000	0.33	15.71	6.5	314.2	67964.9	333873.4
P457	9000.000	20.000	0.76	6.84	15.3	136.7	67980.2	334010.2
P458	9020.000	20.000	3.16	0.64	63.3	12.8	68043.5	334023.0
P459	9040.000	20.000	7.70	0.20	153.9	4.1	68197.4	334027.1
P460	9060.000	20.000	12.65	0.20	252.9	4.0	68450.3	334031.2
P461	9080.000	20.000	19.38	0.13	387.6	2.7	68837.9	334033.9
P462	9100.000	20.000	22.18	0.14	443.6	2.7	69281.5	334036.6
P463	9120.000	20.000	24.21	0.13	484.3	2.7	69765.8	334039.2
P464	9140.000	20.000	21.85	0.14	437.1	2.7	70202.9	334041.9
P465	9160.000	20.000	19.09	0.14	381.7	2.7	70584.6	334044.6
P466	9180.000	20.000	16.55	0.17	331.0	3.3	70915.7	334048.0
P467	9200.000	20.000	15.11	0.18	302.3	3.5	71217.9	334051.5
P468	9220.000	20.000	14.09	0.18	281.8	3.6	71499.7	334055.1
P469	9240.000	20.000	12.57	0.21	251.5	4.1	71751.2	334059.2
P470	9260.000	20.000	11.92	0.23	238.3	4.5	71989.5	334063.7

ANNEXE C
Cubatures

P471	9280.000	20.000	11.60	0.24	232.1	4.8	72221.6	334068.5
P472	9300.000	20.000	9.70	0.29	194.0	5.9	72415.7	334074.3
P473	9320.000	20.000	10.33	0.28	206.6	5.6	72622.2	334079.9
P474	9340.000	20.000	8.79	0.21	175.9	4.3	72798.1	334084.1
P475	9360.000	20.000	7.58	0.09	151.6	1.8	72949.6	334085.9
P476	9380.000	20.000	6.01	0.09	120.2	1.8	73069.8	334087.7
P477	9400.000	20.000	6.32	0.09	126.4	1.8	73196.2	334089.5
P478	9420.000	20.000	5.56	0.09	111.3	1.8	73307.5	334091.4
P479	9440.000	20.000	7.28	0.09	145.6	1.8	73453.1	334093.2
P480	9460.000	20.000	8.45	0.20	168.9	3.9	73622.0	334097.1
P481	9480.000	20.000	10.36	0.16	207.2	3.2	73829.3	334100.3
P482	9500.000	20.000	10.89	0.26	217.7	5.2	74047.0	334105.6
P483	9520.000	20.000	11.49	0.25	229.8	5.0	74276.8	334110.6
P484	9540.000	20.000	12.73	0.23	254.6	4.6	74531.3	334115.2
P485	9560.000	20.000	12.99	0.23	259.8	4.6	74791.2	334119.7
P486	9580.000	20.000	13.67	0.22	273.5	4.4	75064.7	334124.1
P487	9600.000	20.000	14.51	0.22	290.2	4.3	75354.9	334128.4
P488	9620.000	20.000	14.92	0.21	298.3	4.2	75653.2	334132.7
P489	9640.000	20.000	15.87	0.20	317.4	4.0	75970.6	334136.7
P490	9660.000	20.000	16.74	0.19	334.8	3.8	76305.4	334140.5
P491	9680.000	20.000	17.00	0.18	339.9	3.7	76645.3	334144.2
P492	9700.000	20.000	15.23	0.21	304.5	4.2	76949.8	334148.4
P493	9720.000	20.000	13.46	0.24	269.3	4.7	77219.1	334153.1
P494	9740.000	20.000	11.60	0.11	232.0	2.3	77451.1	334155.4
P495	9760.000	20.000	7.76	0.17	155.1	3.3	77606.2	334158.7
P496	9780.000	20.000	6.80	0.17	136.1	3.4	77742.3	334162.1
P497	9800.000	20.000	8.33	0.13	166.7	2.6	77909.0	334164.8
P498	9820.000	20.000	9.74	0.11	194.9	2.3	78103.9	334167.0
P499	9840.000	20.000	13.15	0.11	263.0	2.3	78366.9	334169.3
P500	9860.000	20.000	15.18	0.28	303.7	5.6	78670.6	334174.9
P501	9880.000	20.000	22.95	0.17	459.0	3.3	79129.6	334178.2
P502	9900.000	20.000	27.01	0.14	540.3	2.7	79669.9	334180.9
P503	9920.000	20.000	29.72	0.14	594.4	2.7	80264.3	334183.7
P504	9940.000	20.000	30.49	0.14	609.9	2.7	80874.2	334186.4
P505	9960.000	20.000	26.75	0.14	535.0	2.7	81409.2	334189.1
P506	9980.000	20.000	21.38	0.15	427.7	3.0	81836.8	334192.1
P507	10000.000	20.000	14.66	0.26	293.2	5.2	82130.0	334197.3
P508	10020.000	20.000	12.31	0.11	246.1	2.3	82376.1	334199.6
P509	10040.000	20.000	14.13	0.11	282.6	2.3	82658.7	334201.9
P510	10060.000	20.000	15.04	0.28	300.8	5.6	82959.5	334207.5
P511	10080.000	20.000	14.58	0.26	291.6	5.1	83251.1	334212.6
P512	10100.000	20.000	13.39	0.28	267.8	5.7	83518.9	334218.3
P513	10120.000	20.000	12.27	0.28	245.3	5.6	83764.2	334223.9
P514	10140.000	20.000	9.75	0.14	194.9	2.8	83959.1	334226.7
P515	10160.000	20.000	6.54	0.19	130.8	3.9	84089.9	334230.6
P516	10180.000	20.000	6.64	0.21	132.8	4.2	84222.7	334234.8
P517	10200.000	20.000	6.20	0.22	124.0	4.4	84346.7	334239.1
P518	10220.000	20.000	7.48	0.20	149.6	4.1	84496.3	334243.2
P519	10240.000	20.000	9.07	0.18	181.4	3.6	84677.6	334246.9
P520	10260.000	20.000	9.55	0.35	190.9	6.9	84868.6	334253.8

ANNEXE C
Cubatures

P521	10280.000	20.000	12.39	0.22	247.8	4.4	85116.3	334258.2
P522	10300.000	20.000	14.85	0.19	297.1	3.7	85413.4	334261.9
P523	10320.000	20.000	17.16	0.17	343.2	3.3	85756.6	334265.2
P524	10340.000	20.000	20.99	0.14	419.9	2.7	86176.5	334267.9
P525	10360.000	20.000	22.27	0.14	445.5	2.7	86622.0	334270.6
P526	10380.000	20.000	23.93	0.14	478.6	2.7	87100.6	334273.3
P527	10400.000	20.000	28.00	0.14	560.0	2.7	87660.7	334276.1
P528	10420.000	20.000	32.66	0.14	653.2	2.7	88313.8	334278.8
P529	10440.000	20.000	42.05	0.14	841.0	2.7	89154.8	334281.5
P530	10460.000	20.000	49.20	0.14	984.0	2.7	90138.8	334284.2
P531	10480.000	20.000	57.13	0.14	1142.6	2.7	91281.4	334286.9
P532	10500.000	20.000	66.12	0.14	1322.5	2.7	92603.8	334289.6
P533	10520.000	20.000	74.58	0.14	1491.6	2.7	94095.5	334292.3
P534	10540.000	20.000	76.61	0.14	1532.2	2.7	95627.7	334295.0
P535	10560.000	20.000	73.00	0.14	1460.0	2.7	97087.8	334297.7
P536	10580.000	20.000	62.25	0.13	1244.9	2.7	98332.7	334300.4
P537	10600.000	20.000	39.01	0.14	780.2	2.7	99112.9	334303.1
P538	10620.000	20.000	16.30	0.14	326.0	2.8	99438.9	334305.9
P539	10640.000	20.000	0.73	5.37	14.6	107.3	99453.5	334413.2
P540	10660.000	20.000	0.28	28.16	5.6	563.2	99459.1	334976.4
P541	10680.000	20.000	0.28	42.54	5.6	850.9	99464.7	335827.3
P542	10700.000	20.000	0.28	50.15	5.6	1003.1	99470.3	336830.4
P543	10720.000	20.000	0.28	57.60	5.6	1152.0	99475.9	337982.5
P544	10740.000	20.000	0.27	65.48	5.5	1309.7	99481.4	339292.2
P545	10760.000	20.000	0.27	69.37	5.4	1387.5	99486.8	340679.7
P546	10780.000	20.000	0.28	71.37	5.6	1427.5	99492.4	342107.2
P547	10800.000	20.000	0.28	76.75	5.6	1535.1	99498.1	343642.4
P548	10820.000	20.000	0.28	81.40	5.6	1628.1	99503.7	345270.5
P549	10840.000	20.000	0.28	84.87	5.6	1697.6	99509.3	346968.1
P550	10860.000	20.000	0.28	86.19	5.6	1724.1	99514.9	348692.1
P551	10880.000	20.000	0.28	84.97	5.6	1699.7	99520.5	350391.9
P552	10900.000	20.000	0.28	83.61	5.6	1672.7	99526.0	352064.6
P553	10920.000	20.000	0.28	79.25	5.6	1585.6	99531.7	353650.2
P554	10940.000	20.000	0.28	74.18	5.6	1484.1	99537.3	355134.3
P555	10960.000	20.000	0.28	68.11	5.6	1362.9	99543.0	356497.2
P556	10980.000	20.000	0.28	61.21	5.6	1224.9	99548.6	357722.1
P557	11000.000	20.000	0.28	54.79	5.7	1096.4	99554.3	358818.5
P558	11020.000	20.000	0.28	48.67	5.6	974.1	99559.9	359792.6
P559	11040.000	20.000	0.28	40.09	5.6	802.5	99565.6	360595.1
P560	11060.000	20.000	0.28	33.44	5.6	669.4	99571.2	361264.6
P561	11080.000	20.000	0.28	25.64	5.6	513.4	99576.9	361777.9
P562	11100.000	20.000	0.60	17.13	11.9	343.1	99588.8	362121.1
P563	11120.000	20.000	2.28	8.18	45.3	164.1	99634.1	362285.1
P564	11140.000	20.000	2.71	4.12	54.0	82.5	99688.1	362367.7
P565	11160.000	20.000	4.18	2.03	83.3	40.8	99771.4	362408.5
P566	11180.000	20.000	5.53	0.53	110.2	10.7	99881.7	362419.2
P567	11200.000	20.000	9.18	0.11	183.3	2.3	100065.0	362421.5
P568	11220.000	20.000	12.00	0.11	239.7	2.3	100304.7	362423.8
P569	11240.000	20.000	15.90	0.36	317.6	7.3	100622.3	362431.1
P570	11260.000	20.000	16.13	0.23	322.3	4.7	100944.6	362435.8

ANNEXE C
Cubatures

P571	11280.000	20.000	15.69	0.24	313.5	4.9	101258.1	362440.6
P572	11300.000	20.000	17.30	0.22	345.6	4.4	101603.7	362445.0
P573	11320.000	20.000	19.18	0.19	383.2	3.8	101986.8	362448.8
P574	11340.000	20.000	26.29	0.13	525.4	2.7	102512.2	362451.5
P575	11360.000	20.000	31.45	0.14	628.4	2.7	103140.6	362454.2
P576	11380.000	20.000	34.76	0.14	694.7	2.7	103835.3	362456.9
P577	11400.000	20.000	40.40	0.14	807.3	2.7	104642.6	362459.7
P578	11420.000	20.000	49.71	0.13	993.5	2.7	105636.1	362462.3
P579	11440.000	20.000	58.49	0.13	1168.9	2.7	106805.1	362465.0
P580	11460.000	20.000	66.42	0.14	1327.4	2.7	108132.5	362467.7
P581	11480.000	20.000	70.30	0.13	1405.6	2.6	109538.1	362470.4
P582	11500.000	20.000	49.78	0.14	995.7	2.7	110533.8	362473.1
P583	11520.000	20.000	40.14	0.14	803.0	2.7	111336.8	362475.8
P584	11540.000	20.000	55.33	0.13	1106.9	2.6	112443.7	362478.4
P585	11560.000	20.000	46.98	0.14	940.6	2.7	113384.3	362481.1
P586	11580.000	20.000	29.99	0.14	600.5	2.9	113984.8	362484.0
P587	11600.000	20.000	14.84	0.12	148.7	1.2	114133.5	362485.2