



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



Université Amar Telidji -Laghouat

FACULTÉ : GÉNIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT : GÉNIE CIVIL

Mémoire de master

Présenté par : BELGACEMI LEZHARI

ZEBBARI MOHAMED AMINE

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : TRAVAUX PUBLICS

OPTION : VOIES ET OUVRAGES D'ART

Thème :

Projet de mise à niveau de la route
nationale RN 01, Laghouat sur 5Km 400
entre le PK 488+600 et PK 494+000.

Jury de soutenance :

Nom et prénom	Grade	Qualité
<i>M^{me} Belemecheri Oum Habiba</i>	MAA	Président
<i>Mr Rachidi Nouari</i>	MCA	Examineur
<i>Mr Dehina Karim</i>	MCA	Encadreur
<i>Mr Mellel Rachid</i>	MCA	Co-encadreur

Promotion : juin – 2024

ملخص مذكرة ماستر: مشروعنا الختامي للدراسة يتعلق بقطاع البنى التحتية للمواصلات بشكل عام، وبالطرق بشكل خاص. تم تكليفنا بمهمة تطوير وتحسين الطريق الوطني رقم 01، الذي يمتد بين ولاية الأغواط وولاية غرداية، لمسافة 5 كيلومترات و400 متر، ابتداءً من النقطة الكيلومترية 488+600 وحتى النقطة الكيلومترية 494+600. الهدف من هذا العمل هو تقليل الازدحام المروري وضمان راحة وأمان مستخدمي الطريق.

يتكون هذا المشروع، في مراحله الرئيسية، من:

دراسة حركية.

تصميم هندسي للطريق (مقطع طولي، مقطع عرضي). باستخدام برنامج piste

دراسة جيوتقنية وتحجيم الطريق.

الكلمات المفتاحية: البنية التحتية، حركة المرور، توسعة، طريق.

Résumé: Notre projet final d'études concerne le secteur des infrastructures de transport en général, et des routes en particulier. Nous avons été chargés de développer et d'améliorer la route nationale numéro 01, qui s'étend entre la wilaya de Laghouat et la wilaya de Ghardaïa, sur une distance de 5 kilomètres et 400 mètres, à partir du point kilométrique 488+600 jusqu'au point kilométrique 494+600. L'objectif de ce travail est de réduire la congestion du trafic et d'assurer le confort et la sécurité des usagers de la route.

Ce projet, dans ses grandes phases, consiste en :

- ✓ Une étude cinématique ;
- ✓ Une conception géométrique de la route (Trace en plan, Profil en long et Profil en travers), en utilisant le logiciel piste ;
- ✓ Une Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée .

Mots clés : Infrastructure, Trafic, Dédoublement, Chaussée.

Abstract: Our final study project concerns the transport infrastructure sector in general, and roads in particular. We have been tasked with developing and improving national road number 01, which extends between the wilaya of Laghouat and the wilaya of Ghardaïa, over a distance of 5 kilometers and 400 meters, from kilometer point 488+600 to 'at kilometer point 494+600. The aim of this work is to reduce traffic congestion and ensure the comfort and safety of road users.

This project, in its major phases, consists of:

- ✓ A cinematic study.
- ✓ Geometric design of the road (Alignment, longitudinal section, and Cross section). Using the software piste.
- ✓ A geotechnical study and sizing of the road body

Keywords: Infrastructure, Traffic, Duplication, Broadway

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers Dieu, le Compatissant et le Miséricordieux, qui nous a accordé la santé et le courage nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Je souhaite également remercier chaleureusement mes superviseurs, M. Dehina Karim et M. Mellal Rachid, pour leur assistance efficace, leur disponibilité et leurs précieux conseils. Leur soutien a grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury, *M^{me} Belemecheri Oum* et M. Nouari Rachidi, qui ont pris la peine d'examiner notre mémoire. Leur expertise et leur évaluation sont inestimables.

Je n'oublie pas de remercier l'ensemble des professeurs du Département de génie civil de l'Université de Laghouat, dont les enseignements ont été essentiels pour mon parcours académique.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers DTP à Laghouat.

Que ce travail soit un hommage à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation, et que chacun puisse continuer à prospérer et à réussir.

Dédicace

Au nom d'Allah le Clément le Miséricordieux,

Je tiens à dédier ce modeste travail à mes chers parents, dont les mérites, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis d'atteindre ce jour. Les mots me manquent pour exprimer toute la reconnaissance, la fierté et l'amour profond que je vous porte pour les sacrifices consentis en vue de ma réussite. Que vous trouviez ici le témoignage de mon attachement, de ma gratitude et de mon respect. Que Dieu vous préserve, vous accorde une bonne santé et une longue vie. Tous mes sentiments de reconnaissance vous accompagnent.

Je n'oublie pas non plus mes frères et ma sœur, qui ont joué un rôle essentiel dans mon parcours. Grâce à leurs tendres encouragements et à leurs grands sacrifices, ils ont créé un climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Que Dieu leur accorde également une bonne santé et une longue vie. Je leur souhaite plein de bonheur et de réussite. Vous éclairez ma voie, et je vous aime.

Enfin, je salue tous les étudiants de la promotion 2023-2024, option VOA, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation. Leurs enseignements et leur soutien ont été inestimables.

Que ce travail soit un hommage à tous ceux qui ont joué un rôle dans mon parcours, et que chacun puisse continuer à prospérer et à réussir.

BELGACEMI LEZHARI.

Dédicace

Je rends grâce à Dieu avec amour, gratitude et reconnaissance.

Je n'aurais pas pu faire cela sans la grâce de Dieu... Alors, louange à Dieu pour le commencement et la conclusion. Je dédie le fruit de mon effort et ma joie tant attendue toute ma vie à mon père et l'amour de mon cœur, que Dieu ait son âme, qui a toujours rêvé de m'emmener à l'école. La lumière qui a éclairé mon chemin et la lampe dont la lumière ne s'éteint jamais dans mon cœur qui repose sous la terre avant qu'il ne réalise son souhait. Présent dans mon cœur, il ne disparaît jamais, que Dieu ait pitié de toi.

À la torche de mes jours et à l'éclat de ma vie, à ma compagne de route et mon premier soutien dans la vie qui a toujours inclus mon nom dans ses prières

(Ma mère, que Dieu la préserve pour moi)

À tous ceux qui m'ont enseigné une lettre parmi mes chers professeurs

et mes frères et compagnons des années, et à tous ceux qui ont été une aide et un soutien sur cette voie, je vous suis reconnaissante à tous. Je n'aurais pas pu y arriver sans votre faveur après celle de Dieu.

Je demande au Tout-Puissant de récompenser tout le monde du meilleur des récompenses dans cette vie et dans l'au-delà.

ZEBBARI MOHAMED AMINE.

Table des matières

REMERCIEMENTS

Dédicace

Dédicace

Liste de tableaux

Liste des figures

La liste des symboles

Introduction générale 1

Chapitre I. Présentation du Projet 4

I.1 Généralité sur la wilaya de Laghouat 4

I.2 La Wilaya de Laghouat est divisée en 10 daïras 4

I.3 Infrastructures routières 5

I.4 Présentation du projet 5

I.5 Aperçu géologique 6

I.6 Climatologie 6

I.7 Levé topographique du projet : 6

I.8 Objectif de l'étude 7

I.9 Localisation du projet : 8

Chapitre II. Etude cinématique 10

II.1 Etude du trafic 10

II.1.1 Introduction 10

II.1.2 Analyse de circulation (trafic) 10

II.1.3 Différents types de trafic 11

II.1.4 Modèles de présentation de trafic 11

II.1.5 Calcul de la capacité 11

II.1.6 Application au projet : 15

II.2 PARAMETRES DE BASES D'UN PROJET DE ROUTE : 18

II.2.1 Classifications des routes : 18

II.2.2 Vitesse de référence : 22

II.2.3 Paramètre cinématique de la route : 24

II.3 CONCLUSION: 31

Chapitre III : Etude géométrique 34

III.1. Le trace en plane 34

III.1.1 – Définitions 34

III.1.2 – Règles à égales à respecter dans le trace en plane 34

III.1.3 – Les éléments du tracé en plan	35
III. 1.3.1 – Les alignements.....	36
III.1.3.2 – Arcs De Cercle:	37
III.1.3.3 – Les courbes de raccordement.....	40
III.1.4 – Les conditions de raccordement.....	42
III.1.4.1. - Les conditions de confort optique	42
III.1.4.2. - Les conditions de confort dynamique :	43
III.1.4.3. La condition de gauchissement.....	43
III.1.5 – Les combinasin des éléments du tracé en plan	44
III.1.5.1. – le courbe à sommet.....	45
III.1.5.2. – le courbe en C.....	45
III.1.5.3. – le courbe en Ove	46
III.1.6 – Notion de devers.....	46
III.1.6.1. - Devers en alignement	47
III.1.6.2. - Devers en courbe	47
III.1.6.3. - Rayon de courbure.....	47
III.1.6.4. - Calcul des devers.....	48
III.1.7 - La vitesse de référence de base.....	49
III.1.7.1. - Choix de la vitesse de référence	49
III.1.7.2. - Vitesse de projet	49
III.1.8 – Paramètres fondamentaux	51
III.1.9 – Calcul d’axe	52
III.1.9.1 - Exemple de Calcul d’axe manuellement :	53
III.1.9.2 - Caractéristiques de la Courbe de raccordement :	53
III.2. Profil en long	58
III.2.1- Définition	58
III.2.2- Directives pour le traçage du profil en long	58
III.2.3- Coordination du trace en plan et du profil en long.....	59
III.2.4 – Déclivités.....	59
III.2.4.1 - Déclivité minimale :	59
III.2.4.2 – Déclivité maximale :	60
III.2.5 – Transitions dans le profil longitudinal.....	60
III.2.5.1- Raccordements convexes (avec un angle saillant) :	61
III.2.5.2- Raccordement concave (angle rentrant) :	62
III.2.6 – Détermination pratique du profil en long	62

II.2.6.1	Détermination de la position du point d'encontre (s) :	63
II.2.6.2	Calcul des points de tangente :	64
II.2.6.3	Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (J) :	64
III.2.7-	Application au projet	64
III.2.7.1-	Caractéristiques des rayons en long :	64
Chapitre III.3.	PROFIL EN TRAVERS	67
III.3.1 –	DÉFINITION:.....	67
III.3.2 -	DIFFERENTS TYPES DE PROFIL EN TRAVERS :	67
III.3.2.1 -	Profil type en travers :	67
III.3.2.2 -	profil en travers courants :	67
III.3.3 –	Les éléments de composition du profil en travers	67
a)	- Chaussée :	67
b)	- Largeur de roulement :	67
c)	- Plateforme :	68
d)	- Assiette :	68
e)	- L'emprise :	68
f)	- Accotements :	68
g)	- Terre-plein central :	68
h)	- Fossé :	68
III.3. 4 –	Application de projet	69
Chapitre IV :	Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée	71
IV.1.	Etude géotechnique.....	71
IV.1.1-	Introduction.....	71
IV.1.2-	Les différents essais en laboratoire.....	72
IV.1.2.1-	Définitions des Essais D'identification :	72
IV.1.2.2-	Définitions des Essais Mécaniques :	76
IV.1. 3 –	Condition d'utilisation des sols remblais	79
IV.1. 4 –	Conclusion.....	79
IV.2.	dimensionnement du corps de chaussée	80
IV.2.1 –	Introduction	80
IV.2.2 -	La chaussée.....	80
IV.2.2.1 -	Définition	80
IV.2.2.2 -	Différents types de chaussées :	81
IV.2.3 –	Les différents facteurs pour les études de dimensionnement.....	85
IV.2.3.1 -	Trafic :	85

IV.2.3.2 - Environnement :	86
IV.2.3.3 - Le Sol Support :	87
IV.2.3.4 - Matériaux :	87
IV.2.4 – Méthodes de dimensionnement	87
IV.2.4.1 - Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio):	88
IV.2.5 – Application au projet	91
IV.2.5.1 - Méthode de l'indice CBR	91
IV.2.5.2. Méthode de catalogue des chaussées Neuves (CTTP) :	92
IV.2.6 - Conclusion :	95
Chapitre V. Calcul des cubatures et assainissement	97
V.1. Calcul des cubatures	97
V.1.1- Introduction	97
V.1.2. – Cubatures des terrassements	97
V.1.3 - Méthode utilisée :	97
V.1.3.1 - Description de la Méthode :	98
V.1.4 - Méthode classique	99
V.1.5 –Conclusion	99
V.2. Assainissement	100
V.2.1 – Introduction	100
V.2.1.1- Pour les chaussées:	100
V.2.1.2- Pour les talus :	100
V.2.2 – Objectif de l'assainissement	101
V.2.3 – Assainissement de la chaussée	101
V.2.3.1. Fossé de pied du talus de déblai :	102
V.2.3.2. Fossé de crête de déblai :	102
V.2.3.3. Fossé de pied de talus de remblai :	102
V.2.3.4. Drain :	102
V.2.3.5. Descentes d'eau :	102
V.2.4 – Définitions des termes hydraulique:	103
a. Bassin versant:	103
b. Collecteur principal (canalisation) :	103
c. Chambre de visite (cheminée) :	103
d. Sacs :	103
e. Fossés de crêtes :	103
f. Décence d'eau :	103

g. Les regards :	104
V.2.5 – Application de notre projet	104
Conclusion générale.....	106
Conclusion générale.....	107
Reference bibliographique.....	109
Ouvrages :	109
Annexes.....	112
ANNEXE 01 : Etude géotechnique.....	112
Annexe 02 : Visite de chantier	113
Annexe 03 : Tabulation	114
ANNEXE 04 : Cubatures de terrassements	123

Liste de tableaux

Chapitre I. Présentation du projet

.....

Chapitre II. Etude cinématique

Tableau II. 1 : Coefficient d'équivalence	13
Tableau II.2: Valeurs du coefficient K1.....	14
Tableau II.3: Valeurs du coefficient K2.....	14
Tableau II.4: Valeurs de la capacité théorique.....	14
Tableau II.5 : Environnement de la route (B40) en fonction du relief et de la sinuosité.	22
Tableau II.6 : Vitesse de référence.	23
Tableau II.7: fl en fonction de l'état de la chaussée et des pneus.....	25
Tableau II.8: Coefficient de frottement longitudinal en fonction de vitesses.	26
Tableau II.9 : Distance de visibilité de dépassement minimale.....	31

Chapitre III : Etude géométrique

Tableau III. 1: rayons du tracé en plan.	50
Tableau III. 2: Paramètres fondamentaux.....	51
Tableau III. 3 : Les coordonnées des sommets et le rayon.	53
Tableau III. 4: valeur de I _{max} Selon le B40.	60
Tableau III. 5: Caractéristique des rayons verticaux.	65

Chapitre IV : Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée

Tableau IV. 1 : Les valeurs des coefficients d'équivalence	90
Tableau IV. 2: sur classement avec couche de forme en matériau non traité.	93

Chapitre V. Calcul des cubatures et assainissement

.Tableau V. 1 : Les ouvrages d'assainissement existants	105
--	-----

Liste des figures

Chapitre I. Présentation du projet

Figure I. 1: Situation géographique de wilaya de Laghouat.	4
Figure I. 2: Infrastructure routière de la wilaya de Laghouat.	5
Figure I. 3. Levé topographique du tronçon concerné par l'étude.	7
Figure I. 4: Photo Satellitaire de la zone du projet.	8

Chapitre II. Etude cinématique

Figure II. 1: Dénivelée cumulée.	20
Figure II. 2: Définition de la sinuosité.	21
Figure II. 3: Distance de freinage.	25
Figure II. 4: Distance d'arrêt.	28
Figure II. 5: Distance de sécurité.	29

Chapitre III : Etude géométrique

Figure III. 1: Les éléments du tracé en plan.	35
Figure III. 2: Stabilité En Courbe.	37
Figure III. 3: Zone de dérasement.	39
Figure III. 4: Courbe de raccordement parabole cubique.	41
Figure III. 5: Courbe de raccordement clothoïde	42
Figure III. 6: Courbe en S.	44
Figure III. 7: Courbe à sommet.	45
Figure III. 8: Courbe en C.	45
Figure III. 9: Courbe en ovale.	46
Figure III. 10: l'élément de la clothoïde.	52
Figure III. 11 : Extrait du tracé en plan	57
Figure III. 12: La courbe du profil en long.	63
Figure III. 13: Extrait du Profil en long 1.	65
Figure III. 14: Extrait du Profil en long 2.	66
Figure III. 15: Le profil en travers.	69
Figure III. 16 : Extrait du le profil en travers.	69

Chapitre IV : Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée

Figure IV. 1 : Figure d'Analyses granulométriques.....	73
Figure IV. 2 : Figure de Limites d'Atterberg.	75
Figure IV. 3 Essai PROCTOR	76
Figure IV. 4 : Figure de Essai C.B.R (California Bearing Ration).....	77
Figure IV. 5 :La constitution d'une chaussée.	81
Figure IV. 6: La chaussée souple.	83
Figure IV. 7: Les éléments du tracé en plan.	83
Figure IV. 8: Chaussée semi-rigide.	84
Figure IV. 9: Chaussée rigides.	85
Figure IV. 10: types de chaussées.....	85
Figure IV. 11: Revêtement : Béton bitumineux (BB),	90
Figure IV. 12: La structure de chaussée I.	92
Figure IV. 13: La structure de chaussée II.	94

Chapitre V. Calcul des cubatures et assainissement

Figure V.1: Profil adopté pour tracé en long.	98
Figure V. 2 : Assainissement de la plate-forme.	104
Figure V. 3 : Figure Les buses.....	105

La liste des symboles

❖ **d)**

- *do*: Distances de freinage (m)
- *d1* : Distances d'arrêt (m)
- *dm* : Distances de visibilité de dépassement minimale (m)
- *ds* : Distances de sécurité entre deux véhicules (M)
- *dmax* : Devers maximal
- *dmin* : Devers minimal

❖ **D)**

- Δd : variation de dévers.
- *Dmin*: Raccordement de devers

❖ **E/**

- *e* : Epaisseur équivalente (CM)

❖ **f)**

- *fl* : coefficient de frottement longitudinal
- *ft* : Coefficients de frottement transversal

❖ **R)**

- *RHM* : Rayon horizontal minimal absolu (km/h)
- *RHN* : Rayon minimal normal (km/h)
- *RHd* : Rayon au dévers minimal (km/h)
- *RHnd* : Rayon minimal non déversé (km/h)
- *R* : rayon de l'axe de la route.
- *RV* : Condition de visibilité
- *RVmin* : Condition de confort

❖ **I)**

- *I* : rampe en %

❖ **h)**

- *h / LAB*: Dénivelée cumulée moyenne
- *h1*= dénivelée cumulée sens1
- *h2*= dénivelée cumulée sens 2

❖ **L)**

- *Ls* : la longueur sinueuse.
- *LR* : longueur de la coube de rayon ≤ 200 .
- *L* = LAB (longueurs totales de l'itinéraire).
- *Lmax* : Longueur maximale
- *Lmin* : Longueur minimale
- *L* : longueur du véhicule (valeur Moyenne $L = 10m$)

❖ **T)**

- T_p : Temps de perception – (reaction) (S)
- T_n : Le trafic à l'année n. V/J
- T_0 : Le trafic à l'arrivée pour origine.
- $TJMA$: Trafic journalier moyen à l'année n. V/J

❖ **V)**

- V_r = La vitesse de référence (Km/h)
- V_B : La vitesse de base. (Km/h)
- V_r : La vitesse de référence. (Km/h)
- V : Le volume compris entre les deux profils en travers.
- VD : Volume de déblais.
- VR : Volume de remblai.

❖ **I/**

- IP : L'indice de plasticité.
- $ICBR$: Indice CBR (sol support).

❖ **K/**

- K_1 : Coefficient lié à l'environnement.
- K_2 : Coefficient de réduction de capacité.

❖ **S/**

- S : Coefficient de dissymétrie.
- S_r : La sur largeur.

❖ **Z/**

- Z : Le pourcentage moyen de poids lourds.

❖ **AUTRES CARACTERES :**

- σ : La sinuosité moyenne. (GR)
- τ : Taux de croissance. (GRADES)

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

On dit souvent que le chemin vers le progrès est pavé par le progrès des voies de communication. Les infrastructures de transport, notamment routières, se doivent d'être économiquement et socialement performantes. Elles constituent un axe central de communication et d'échanges entre les communautés, et sont cruciales pour l'intégration des activités économiques dans le tissu local. Néanmoins, la question centrale des projets d'infrastructure routière réside fréquemment dans la carence du réseau existant, que ce soit par obsolescence ou par congestion. Pour appréhender cette question, il est impératif de définir ses limites, d'élaborer des solutions adaptées et de mesurer avec exactitude ses éléments constitutifs. Cela nécessite la réalisation d'études approfondies en vue de leur expansion.

La wilaya de Laghouat à l'instar du reste d'Algérie, a adopté un programme très promoteur basant principalement sur le réaménagement de son réseau routier existant. Le dédoublement de la RN01 s'inscrit dans le même contexte, et qui fera l'objet de notre étude.

Les différentes phases d'étude de ce projet seront présentées et discutées en détails dans la suite de notre travail.

La construction des routes nécessite une attention particulière et une grande précision pour assurer un équilibre optimal entre une conception de qualité, la sécurité et le confort des utilisateurs, et d'autre part, la rentabilité économique.

Le réseau routier occupe une place stratégique dans notre système de transport, puisqu'il supporte plus de 85% du volume de transport de marchandises et de voyageurs. C'est, par conséquent, un élément fondamental dans le processus de développement du pays.

D'où l'importance de la présente étude, qui consiste à faire la conception de Deux voies d'un tronçon routier de la route RN 01 reliant la wilaya de Laghouat et La wilaya de Ghardaïa sur 5 KM 400 entre PK 488+600 et PK 490+000.

Pour concevoir de ce projet, on a utilisé les logiciels " piste (version 5.05)", "COVADIS version 16.0" et "AutoCAD 2018".

Introduction générale

Pour mener à bien notre travail, le présent manuscrit a été structuré comme suit: Après une introduction générale, l'essentiel du travail a été divisé en Cinq chapitres:

✚ *Chapitre I. Présentation du Projet*

✚ *Chapitre II. Etude cinématique*

✚ *Chapitre III : Etude géométrique*

✚ *Chapitre IV : Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée*

✚ *Chapitre V. Calcul des cubatures et assainissement*

✚ *Entéramine, par une conclusion générale.*

Chapitre I.
Présentation du
projet

Chapitre I. Présentation du Projet

I.1 Généralité sur la wilaya de Laghouat

La wilaya de Laghouat se situe au centre du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya s'étend sur une superficie de 25 000 km², avec une population qui avoisine 520 188 habitants (2010), soit une densité de 20 habitants par km².

Cette région algérienne, connue pour son pastoralisme, abrite aussi le plus vaste réservoir de gaz naturel du continent africain, dont les réserves sont évaluées à plusieurs milliards de mètres cubes.

Au plan administratif, la wilaya comporte 10 daïras et 24 communes.

I.2 La Wilaya de Laghouat est divisée en 10 daïras

Les daïras de Aflou, d'Aïn Madhi, Brida, El Ghicha, Gueltat Sidi Saad, Hassi R'mal, Ksar El Hirane, Laghouat, d'Oued Morra et la daïra de Sidi Makhoulouf. Comme le montre la figure I-1, elle est limitée géographiquement par :

- la wilaya de Djelfa au Nord.
- la wilaya de Djelfa à l'Est.
- les wilayas de Tiaret et El Bayadh à l'Ouest.
- la wilaya de Ghardaïa au Sud.

La figure de la carte de Laghouat est tirée du site suivant (voir figure I.1) :

https://d-maps.com/carte.php?num_car=189307&lang=ar

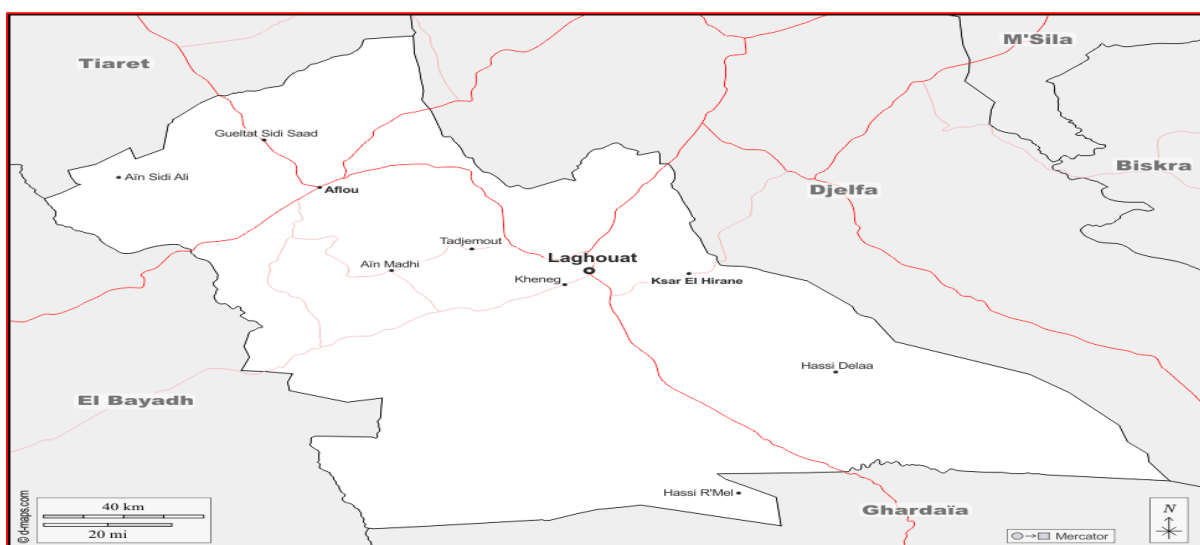


Figure I. 1: Situation géographique de wilaya de Laghouat.

I.3 Infrastructures routieres

- Route nationale: 403 Km
- Chemins de Wilaya: 394 Km
- Routes municipales : 513 Km
- Nombres d'ouvrages d'arts sur Route nationale : 47
- Nombres d'ouvrages d'arts sur Chemins de Wilaya : 10
- Nombres d'ouvrages d'arts sur Chemins communal : 05

La figure suivant (voir figure I.2) inclut les réseaux routiers de Laghouat et est tiré de la Direction des Travaux Publics de Laghouat.

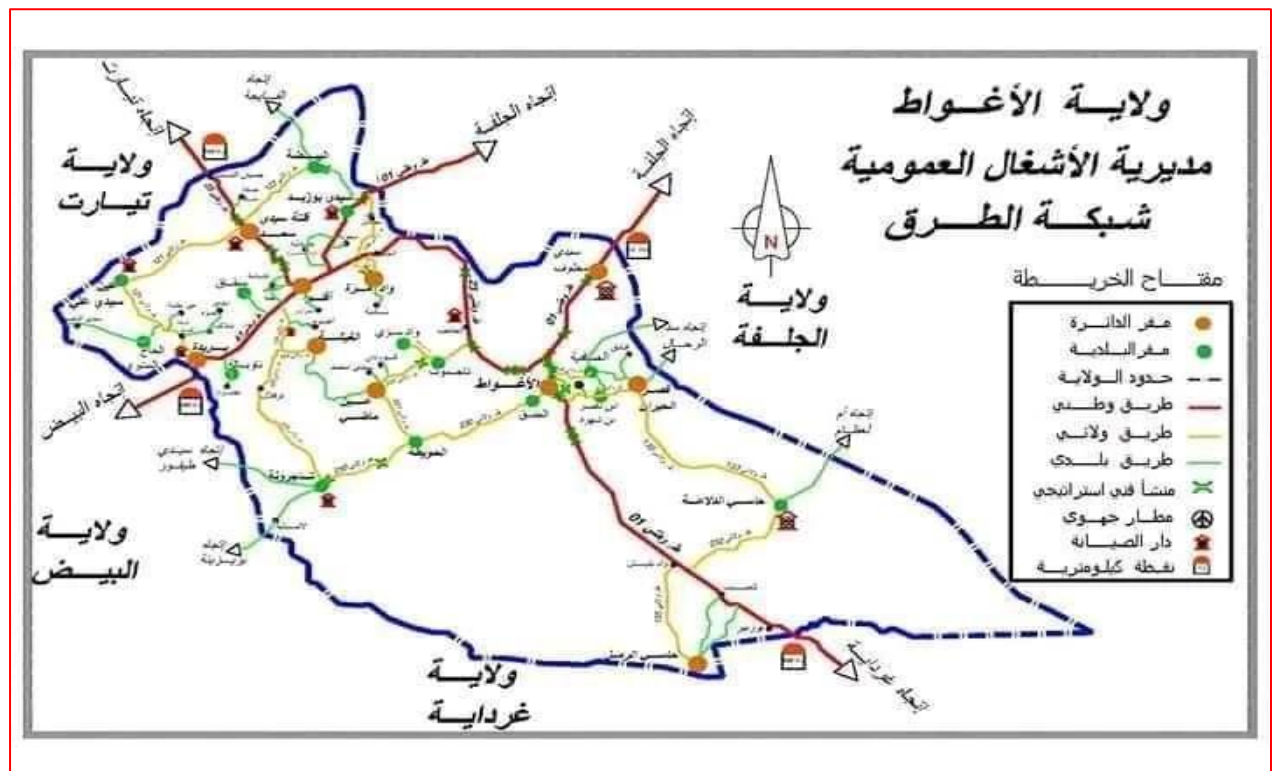


Figure I. 2: Infrastructure routière de la wilaya de Laghouat.

I.4 Présentation du projet

Ce projet d'étude s'inscrit dans le contexte de l'aménagement d'une autoroute à double voie reliant Blida à Laghouat, s'étendant sur une distance totale de 168 kilomètres, débutant à la frontière nord de la wilaya de Djelfa au PK 352+000 et la limite Sud avec la wilaya de Ghardaïa au PK 522+000, Notre étude est mise à niveau de la route nationale 01, Laghouat-Ghardaïa sur 5Km 400 limité entre PK 488+600 et PK 490+000.

1.5 Aperçu géologique

La région de Laghouat caractérisé par un relief simple, mais d'altitudes important, de l'Atlas, succède ici un paysage où l'horizontalité des lignes devient la règle à peu après absolue et où les traits géologique acquièrent simplicité est une monotonie incomparable.

Au sud de la barre turonienne de Laghouat la route de Ghardaïa se maintient tout d'abord, durant 05 à 10 km, sur un glacis en pente douce qui raccorde les derniers chaînons de l'Atlas à la grande plate-forme de la Hammada pliocène. Ce glacis est encore relativement raviné et montre de nombreux affleurement d'argiles sableuses rouges appartenant au Miocène Supérieur continental. On aborde ensuite une zone plus horizontale qui correspond à un élément de plate-forme pliocène détaché par l'érosion.

Cette sorte de grande butte témoin est limitée au sud par la dépression de Bordj-Bou-Terkfine où réapparaissent les formations rouges du miocène supérieur.

Après avoir franchi cette dépression, la route de Ghardaïa s'élève par une rampe assez durant après de 70 km.

1.6 Climatologie

La région d'étude est caractérisée par un climat de type continental au Nord-Ouest avec une pluviométrie réduite et irrégulier variant de 100 à 150 mm, des chutes de neige et des gelées blanches.

Les hivers sont caractérisés par des gelées blanches avec des moyennes de 8 °C de température, et les étés par une chaleur plus de 40 °C accompagnée de vents de sable

Durant l'année, les températures maximales mensuelles moyennes varient entre 20 et 37 degrés Celsius. Quant aux températures minimales mensuelles moyennes, elles oscillent entre 0 et 20 degrés Celsius.

Sur le revêtement routier durant la saison estivale, les températures peuvent s'élever à 40 degrés Celsius ou plus.

Lors de la saison hivernale, les températures matinales peuvent fluctuer autour de 2 degrés Celsius (avec des observations occasionnelles de 0 degré ou moins) et peuvent atteindre 20 degrés entre midi et 16 heures.

Les variations thermiques sont significatives, avec des écarts de température qui peuvent dépasser les 25 degrés.

Les vents, principalement de direction Nord-Nord-Est, sont extrêmement puissants, avec des vitesses pouvant varier de 60 à 130 km/h

1.7 Levé topographique du projet :

Un plan topographique constitue le document fondamental indispensable. Ce document cartographique doit reproduire avec précision les caractéristiques du terrain concerné (voir Figure I.3).

- Il détaille la configuration du sol ainsi que les éléments présents, reflétant ainsi la situation réelle du terrain avant le début de la conception.
- Le processus de nivellement, étape cruciale de ce relevé, fournit des altitudes précises pour les points de chaque section
- Ce plan est également essentiel pour établir un devis quantitatif précis.

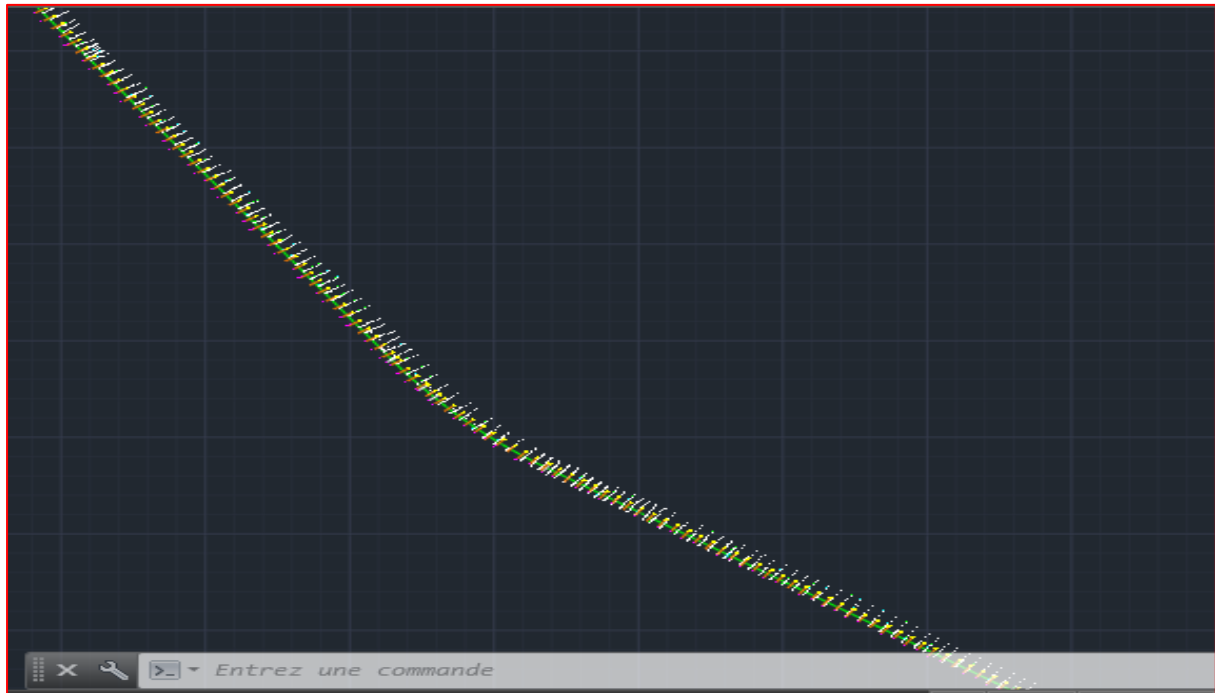


Figure I. 3. Levé topographique du tronçon concerné par l'étude.

I.8 Objectif de l'étude

Ce projet de mise à niveau vise à améliorer la sécurité et la fluidité de la circulation sur cette portion de la route nationale 1. Il s'agit d'une route stratégique qui relie les régions du nord et du sud de l'Algérie, et qui est empruntée par de nombreux véhicules de transport de marchandises et de passagers. Les travaux permettront de moderniser l'infrastructure routière et de répondre aux besoins croissants de mobilité dans cette région.

Améliorer la sécurité routière: L'objectif principal du projet est d'améliorer la sécurité routière le long de la route nationale 1 entre Laghouat et Ghardaïa, en particulier sur une distance de 5km 400 entre le PK 488+600 et PK 494+000. Cela implique la réduction des risques d'accidents et la protection des usagers de la route.

Optimisation de la fluidité de la circulation: Un autre objectif majeur est d'optimiser la fluidité de la circulation afin de réduire les embouteillages et d'améliorer l'efficacité du transport le long de cette section de la route nationale.

Renforcement de l'infrastructure existante: Le projet vise également à renforcer l'infrastructure routière préexistante, en garantissant sa durabilité et sa résistance aux conditions climatiques extrêmes de la région.

Tout cela se traduit par :

- Améliorer la sécurité.
- Réduire le temps de parcours.
- Améliorer les conditions de circulations.
- À réaliser un traitement architectural et environnemental

I.9 Localisation du projet :

Notre tronçon se situe dans la wilaya de Laghouat et débute du **PK488+600** au **PK494+000** (Figure I.4).



Figure I. 4: Photo Satellitaire de la zone du projet.

Chapitre II.
Etude
cinématique

Chapitre II. Etude cinématique

II.1 Etude du trafic

II.1.1 Introduction

L'analyse de la circulation est cruciale et préliminaire à toute considération d'aménagement adéquat et à la définition de ses spécificités, allant du nombre de voies à l'épaisseur des strates de matériaux formant la route.

Cette analyse est un outil essentiel pour capturer les flux majeurs à travers un pays ou une région, constituant un segment significatif des études de transport et une démarche fondamentale dans la planification des réseaux routiers.

Pour une étude d'infrastructure exhaustive, il est essentiel de :

- Établir les spécifications techniques pour chaque segment distinct,
- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretien

II.1.2 Analyse de circulation (trafic)

Afin de déterminer le volume et le type de circulation en un lieu et moment précis, il est indispensable d'effectuer un recensement. Ce processus requiert une logistique et une organisation spécifiques.

Les évaluations du trafic sur les différentes voies des réseaux routiers sont impératives pour concevoir des plans d'aménagement ou de modification de l'infrastructure, fixer les dimensions des routes et juger de la pertinence des travaux envisagés.

Les composantes de ces évaluations comprennent :

- ✓ Statistiques globales ;
- ✓ Recensements routiers (manuel, automatique) ;
- ✓ Sondages sur le trafic.

II.1.3 Différents types de trafic

Il existe quatre catégories de trafic :

- **Trafic normal** : Il s'agit du trafic préexistant sur l'ancien aménagement, sans tenir compte du trafic généré par le nouveau projet.
- **Trafic induit** : Il s'agit des flux de circulation générés par de nouveaux itinéraires empruntés par les usagers vers d'autres axes routiers.
- **Trafic dévié** : Il représente les volumes de trafic redirigés vers un nouvel aménagement routier. La redirection de la circulation se traduit simplement par un changement de parcours pour atteindre une destination identique.
- **Trafic total** : Cela correspond au volume de trafic annuel, déduction faite du trafic qui a été redirigé.

II.1.4 Modèles de présentation de trafic

Lors de l'analyse prévisionnelle du trafic, il est primordial d'identifier plusieurs courants de circulation qui forment des groupes cohérents en termes de développement ou de répartition.

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont :

- Prolongation de l'évolution passée.
- Relation entre le trafic et les indicateurs économiques.
- Modèle gravitaire.
- Modèle de facteur de croissance.

II.1.5 Calcul de la capacité

A. Définition de la capacité :

La capacité routière correspond au nombre maximal de véhicules pouvant traverser un point donné ou parcourir une portion de route standardisée (dans une ou deux directions), en tenant compte de ses spécificités géométriques et de circulation, sur une durée spécifique. Cette capacité est quantifiée par un volume de trafic par heure. Elle est influencée par :

- Les conditions de circulation (trafic).
- Les conditions climatiques.
- La familiarité des conducteurs avec le trajet.

- La capacité d'une route peut varier en fonction du type d'usagers qui l'empruntent. Par exemple, une route fréquemment utilisée par des conducteurs habitués peut avoir une capacité plus élevée, car ces conducteurs connaissent bien l'itinéraire et sont plus efficaces dans leur conduite.
- Les distances de sécurité entre les véhicules sont essentielles pour maintenir un trafic fluide et sûr. Le temps de réaction des conducteurs varie d'une route à l'autre, et il est important de tenir compte de ces différences. Des distances de sécurité adéquates permettent d'éviter les collisions et les ralentissements inutiles.
- Les caractéristiques géométriques de la section routière ont un impact sur sa capacité. Le nombre de voies et leur largeur influencent la fluidité du trafic. Par exemple, une route à plusieurs voies peut gérer plus de trafic qu'une route à une seule voie.

B. Projection future du Trafic :

Trafic journalier annuel moyen par an horizontal voici la formule:

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

Avec :

$TJMA_n$: Le trafic à l'année horizon.

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

N : nombre de jours dans l'année.

τ : D'accroissement du trafic (%).

C. Calcul du trafic effectif:

Il s'agit de la conversion du trafic en unités de véhicules légers (UVP), selon les catégories de routes et les conditions environnementales. On applique donc des coefficients d'équivalence pour transposer les poids lourds (PL) en UVP.

Le trafic effectif est donné par la formule ci-dessous :

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

Ainsi que:

T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon en UVP/j

Z : pourcentage de Poids lourd

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourd, il dépend de la nature de la route.

Tableau II. 1 : Coefficient d'équivalence

Routes	E1	E2	E3
2 Voies	3	6	12
3 Voies	2.5	5	10
4 Voies et plus	2	4	8

D. Débit de pointe horaire normal :

Le flux horaire maximal standard représente un segment du volume de trafic réel prévu pour l'avenir. Il est mesuré en unités de véhicules particuliers (UVP) et est calculé selon l'équation suivante :

$$Q = (1/n).T_{eff}$$

Ainsi que:

Q : débit de pointe horaire

n : nombre d'heure, (en général $n=8$ heures)

T_{eff} : Trafic effectif.

II.1.5.5 Débit horaire admissible :

La capacité maximale de flux horaire autorisée par voie est établie en appliquant la formule suivante :

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

Ainsi que:

$K1$: Coefficient lié à l'environnement.

$K2$: Coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : Capacité effective par voie.

Tableau II.2: Valeurs du coefficient K1

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.90-0.95

Tableau II.3: Valeurs du coefficient K2

Catégorie de la route					
Environnement	1	2	3	4	5
E1: facile	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2 : moyen	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3 : difficile	0.91	0.95	0.97	0.98	0.96

Tableau II.4: Valeurs de la capacité théorique

Type de voies	Capacité théorique (UVP/h)
Route à 2 voies de 3.5m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3.5m	2400 à 3200
Route à chaussée séparé	1500 à 1800

E. Détermination du nombre de Voies :

- Cas d'une chaussée bidirectionnelle : on compare Q à Q_{adm} et on opte le profil auquel correspond la valeur de Q_{adm} la plus proche à Q.
- Cas d'une chaussée unidirectionnelle : le nombre de voie à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport :

$$S.Q/Q_{adm}$$

Avec :

Q_{adm} : Débit admissible par voie

S : coefficient de dissymétrie, en général égale à 2/3

II.1.6 Application au projet :

➤ **Données sur le trafic :**

- Vitesse de référence : 100km/h
- Le taux d'accroissement annuel du trafic = 4%
- Le pourcentage du poids lourds PL = 45%
- L'année de mise en service sera 2024
- La durée de vie est de 20ans
- Le trafic à l'année 2023 $TJMA_{2023} = 12000v/j$ → La source de l'information est la Direction des Travaux Publics à Laghouat. D.T.P LAGHAOUAT

Applications :

➤ Calcul de TJMA de l'année de mise en service (2023) :

$$TJMA_{2024} = (1 + \tau)^n \times TJMA_{2023}$$

$$= (1 + 0.04)^1 \times 12000$$

$$TJMA_{2024} = 12480v/j$$

➤ Calcul de TJMA de l'année horizon (2044) :

$$TJMA_{2044} = (1 + \tau)^n \times TJMA_{2024}$$

$$= (1 + 0.04)^{20} \times 12480$$

$$TJMA_{2044} = 27345v/j$$

➤ Calcul du trafic effectif :

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

$$T_{eff} = [(1-Z) + P.Z] TJMA_{2044}$$

Ainsi que:

$$Z=45\%$$

$$P= 4PL/UVP \text{ (environnement facile et 2 voies)}$$

$$T_{eff} = (1-0.45+4 \times 0.45) \times 27345 = 64260 \text{ UVP/j}$$

$$T_{eff} = 64260 \text{ UVP/j}$$

➤ Débit de pointe horaire :

$$Q = (1/n).T_{eff}$$

Avec :

n : nombre d'heure, (en général n=8heures)

$$T_{eff} = 68362 \text{ UVP/j} \quad Q = (1/8) \times 64260 = 8032 \text{ UVP/h}$$

$$Q = 8032 \text{ UVP/h}$$

➤ Calcul du Débit admissible Q_{adm} :

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

K1: Coefficient correcteur pris égal à **0.85** pour **E2** (d'après le B40)

K2 : Coefficient correcteur pris égal à **0.99** pour environnement (**E2**) et catégorie (**C1**) (d'après le B40)

Avec :

C_{th} (UVP/h) Capacité théorique

On est dans le cas d'une route à chaussées séparées :

La capacité d'une chaussée dans ce cas est : **1500 < C_{th} < 2000 uvp/h**

Si on prend **C_{th} = 2000**, (d'après le B40 pour E2 , C1 et pour chaussée à 2 voies)

le débit horaire admissible sera donc :

$$Q_{adm} = 0.85 \times 0.99 \times 2000 = 1683 \text{ UVP/h}$$

$$Q_{adm} = 1683 \text{ UVP/h}$$

➤ Détermination du nombre de voies par sens :

Chaussée unidirectionnelle :

On compare Q à **Q_{adm}** pour les divers types de routes et on prend le profil permettant d'avoir :

$$Q_{adm} \leq Q \quad \xrightarrow{\text{blue arrow}} \quad 1683 \leq 8032$$

Alors, on a besoin 2 voies par sens au minimum

$$N = 2 \text{ voies/sens}$$

II.2 PARAMETRES DE BASES D ' UN PROJET DE ROUTE :**II.2.1 Classifications des routes :**

L'infrastructure routière représente une composante cruciale et stratégique pour la croissance économique d'une nation.

Du point de vue administratif, les voies de circulation peuvent être différenciées en fonction de leur appartenance domaniale, tandis que d'un point de vue technique, elles sont classifiées selon une vitesse de référence, qui est déterminée par les spécificités topographiques ou en fonction du volume de trafic qu'elles doivent gérer. Elles peuvent également être catégorisées selon leur rôle ou en fonction des diverses restrictions liées à l'environnement.

Les catégorisations routières les plus répandues se déclinent comme suit : **la classification administrative et la classification technique.**

II.2.1.1 Classification administrative :**A Les chemins communaux (C.C) :**

Les voies communales constituent la totalité des routes relevant du domaine public routier. Ces routes sont caractérisées par leur inaliénabilité et leur caractère imprescriptible. Elles assurent le raccordement des hameaux au réseau routier principal, peuvent se limiter à la juridiction d'une commune unique et sont maintenues par une autorité locale.

B Les chemins de wilaya (C.W) :

Les routes de wilaya, qui desservent exclusivement une wilaya, ou les routes départementales, qui connectent les réseaux de chemins communaux au réseau routier national, sont construites et entretenues sous la responsabilité de la wilaya.

C Les routes nationales (RN) :

Ces routes sont des axes majeurs de circulation et revêtent une importance nationale. Elles forment des corridors reliant différentes wilayas, capables de supporter un trafic dense, et sont financées par le budget national.

D Les Autoroutes :

Ces voies sont classées comme des routes nationales de catégorie spéciale et présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Destinées exclusivement à la circulation rapide** (vitesse minimale de 100 km/h).
- ✓ Accessibles uniquement à certains points spécifiquement aménagés.
- ✓ Dépourvues de tout croisement au même niveau, avec deux types de croisements existants : les croisements de plain-pied (ronds-points) et les croisements dénivelés (échangeurs).

Les autoroutes disposent généralement de deux voies unidirectionnelles séparées par un terre-plein central, sans aucun passage ni croisement au même niveau, facilitant ainsi un trafic dense dans d'excellentes conditions de circulation.

II.2.1.2 Classification technique :

La norme technique B40, relative à l'aménagement routier en Algérie, préconise d'atteindre les objectifs fixés tout en adaptant les infrastructures à la dynamique du trafic routier. Cette adaptation doit se faire en tenant compte des limitations budgétaires, en suivant une stratégie pragmatique de développement par étapes.

A Classification des routes selon la B40 :

En Algérie, le réseau routier est organisé en cinq (5) catégories distinctes, chacune reflétant l'objectif économique et administratif spécifique de la route concernée.

Catégorie 1 : Les liaisons entre les principaux pôles économiques et les centres d'industries lourdes, envisagés par paires, ainsi que les voies de desserte reliant les centres d'industrie de transformation au réseau routier principal, sont des éléments clés de l'infrastructure routière.

Catégorie 2 : Les liaisons entre les centres d'industrie de transformation et intégration des centres d'industrie légère diversifiée au réseau existant.

Catégorie 3 : Établissement de liaisons entre les capitales de DAIRA et les capitales de wilaya non incluses dans le réseau antérieur avec les réseaux de première et deuxième catégorie.

Catégorie 4 : Intégration de tous les centres de voie non liaisons aux réseaux de catégories 1, 2 et 3 aux capitales de DAIRA correspondantes et au réseau existant.

Catégorie 5 : Chemins et sentiers non inclus dans les classifications antérieures.

Les routes sont classées en cinq catégories selon leurs finalités économiques et administratives des itinéraires considérés.

La Route Nationale 1 (RN1), également connue sous le nom de **Route Transsaharienne**, est une route principalement algérienne qui s'étend sur **2335 km**. Elle relie Alger, la capitale, à Tamanrasset - In Guezzam. Le parcours inclut Alger, Blida, Médéa, Djelfa, Laghouat, Ghardaïa, El Menia, In Salah, Tamanrasset, In Guezzam donc ce qui classe notre route en catégorie1 (Cat1).

B Environnement de la route :

Dans la norme B40, il est suggéré de diviser les environnements en trois catégories distinctes (E1, E2, E3) en fonction des coûts associés à leur aménagement et à leur maintenance. Pour définir ces catégories, deux critères principaux ont été retenus.

- **Dénivelée cumulée moyenne au kilomètre :** ()
- **La sinuosité :** σ

B.1 Dénivelée cumulée moyenne :

Il s'agit du total des variations d'altitude accumulées tout au long du parcours existant, en proportion de la longueur de ce parcours, ce qui permet d'évaluer les fluctuations longitudinales du terrain (Voir Figure II.1).

$$\text{Relief} = \frac{\sum H_i}{\sum L_i} = \frac{\sum \text{dénivelées}}{\text{longueur développée}} = \frac{H}{L}$$

Le terrain peut être :

- Terrain plat $\frac{H}{L} \leq 1.5\%$;
- Terrain vallonné $1.5\% \leq \frac{H}{L} \leq 4\%$;
- Terrain montagneux $\frac{H}{L} \geq 4\%$.

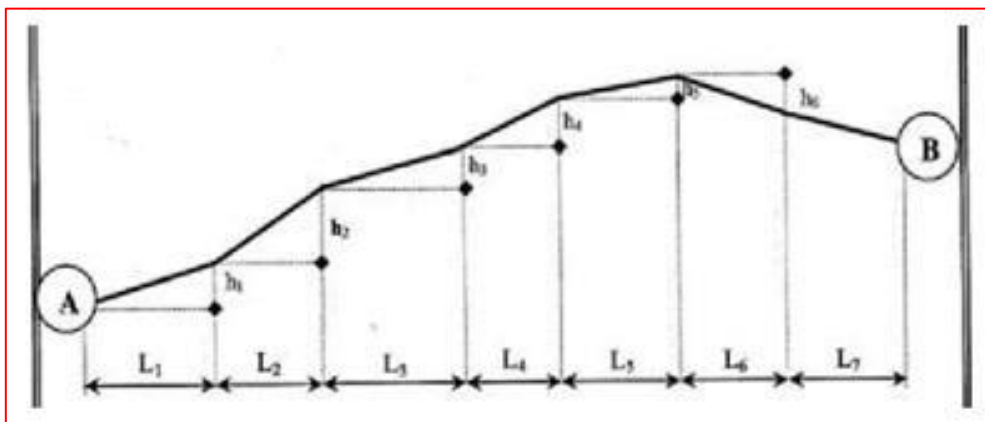


Figure II. 1:Dénivelée cumulée.

B.2 Sinuosité :

Le coefficient de sinuosité σ d'un parcours correspond au quotient de sa longueur sinueuse **Ls** par la longueur totale du parcours.

$$\sigma = \frac{Ls}{Lt}$$

Avec :

Ls : longueur sinueuse,

Lt : longueur totale.

La longueur sinueuse **Ls** représente la somme des longueurs de toutes les courbes dont le rayon horizontal est inférieur ou égal à 200 mètres. Ce rayon est le minimum standard pour maintenir une vitesse d'approximativement 60 km/h, conformément à la norme B40 (voir Figure II.2).

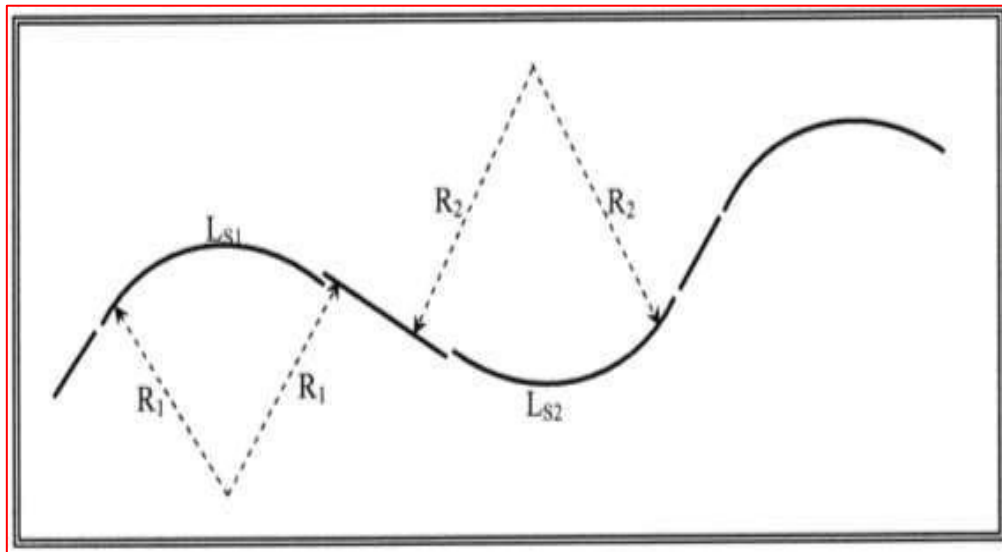


Figure II. 2: Définition de la sinuosité.

Si :

$\sigma \leq 0,1 \rightarrow$ Sinuosité faible ;

$0,1 \leq \sigma \leq 0,3 \rightarrow$ Sinuosité moyenne ;

$\sigma \geq 0,3 \rightarrow$ Sinuosité forte.

Selon les mesures de relief et de sinuosité précédemment établies, les catégories d'environnement sont déterminées comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.5 : Environnement de la route (B40) en fonction du relief et de la sinuosité.

Sinuosité	Faible ($\delta \leq 0.1$)	Moyenne ($0.1 \leq \delta \leq 0.3$)	Forte ($\delta \leq 0.3$)
Reliefs			
Plat ($\frac{N}{L} < 1.5\%$)	E1	E2	
Vallonné ($1.5\% < \frac{N}{L} < 4\%$)	E2	E2	E3
Montagneux ($\frac{N}{L} > 4\%$)		E3	E3

NB : nous allons évaluer deux variantes et retenir, celle qui répondra aux critères d'une bonne route.

Variante N°1 :

$$\frac{H}{L_{totale}} = \frac{994.819 - 872.582}{6558.371} = 1.86\%.$$

$$\Sigma \delta / L_{totale} = (96.922 + 6.328 + 90.647 + 26.905 + 202.461 + 167.110) / 6577.205 = 0.089$$

.

Variante N°2 :

$$\frac{H}{L_{totale}} = \frac{994.819 - 872.582}{6558.371} = 1.86\%.$$

$$\Sigma \delta / L_{totale} = 150.20 / 6558.371 = 0.023.$$

$$\frac{H}{L} = 1.86\% \leq 1.5\% \quad 1.5\% \leq \frac{H}{L} \leq 4\% ; \text{ Le terrain est donc Terrain vallonné}$$

Une sinuosité faible et un terrain vallonné, nous sommes donc en environnement E2.

II.2.2 Vitesse de référence :

La vitesse de base, également désignée sous le terme de vitesse de référence, correspond à la vitesse qui est réalisable en chaque emplacement de la section en question. Elle est déterminée par les secteurs ayant les contraintes géométriques les plus strictes, ce qui permet d'établir les exigences minimales pour l'aménagement de ces zones spécifiques.

Le choix de cette vitesse de référence est crucial car il influence grandement le coût global du projet. Cependant, la sélection de la vitesse de référence est influencée par plusieurs critères :

- Type de route ;
- L'importance et genre du trafic (volume, structure) ;
- La Topographie (degré de difficulté de terrain) ;
- Conditions économiques d'exécutions et d'exploitations.

Traditionnellement, elle sert à établir les caractéristiques de base pour l'aménagement de points spécifiques sur une route. Ces points spécifiques sont ceux dont les caractéristiques géométriques représentent les contraintes les plus importantes pour les conducteurs. Respecter les normes de vitesse associées assure la cohérence des caractéristiques d'un tronçon de route, ainsi que le confort et la sécurité de la conduite. En identifiant la caractéristique minimale présente sur la route à certains endroits, la vitesse de référence influence majoritairement le coût des travaux en ce qui concerne le tracé. La sélection des vitesses de référence dans une catégorie socio-économique spécifique résulte d'un compromis entre les facteurs suivants :

- L'ambition est de fournir à l'itinéraire des attributs aussi complets que possible, afin de garantir à l'utilisateur une circulation fluide et dans des conditions de confort et de sécurité de premier ordre, lui assurant ainsi un niveau de service des plus gratifiants.
- Il est primordial de modérer les dépenses d'investissement en prenant en compte les ressources économiques du pays. De ce fait, l'établissement des critères pour la vitesse de référence doit uniquement découler d'une évaluation économique qui compare les bénéfices procurés aux usagers face aux investissements engagés.

II.2.2.1 Choix des valeurs de la vitesse de référence :

Concernant les véhicules poids lourds, la norme algérienne B40 suggère l'adoption d'une unique valeur de vitesse de référence pour chaque niveau de service. Cette valeur résulte de la combinaison d'une catégorie socio-économique et d'un type d'environnement, comme l'illustre le tableau ci-après :

Tableau II.6 : Vitesse de référence.

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>
<i>1</i>	<i>120/100/80</i>	<i>100/80/60</i>	<i>80/60/40</i>
<i>2</i>	<i>120/100/80</i>	<i>100/80/60</i>	<i>80/60/40</i>
<i>3</i>	<i>120/100/80</i>	<i>100/80/60</i>	<i>80/60/40</i>
<i>4</i>	<i>100/80/60</i>	<i>80/60</i>	<i>60/40</i>

5	80/60/40	60/40	40
---	----------	-------	----

II.2.2.2. Vitesse du projet :

La vitesse de conception, notée V_p , représente la vitesse maximale qui peut être autorisée sur chaque segment de la voie, en prenant en compte les impératifs de sécurité et de confort sous des conditions routières standards.

NB : pour notre projet, nous avons une route de catégorie Cat1 et de l'environnement E1 et l'environnement E2 à une vitesse de base de 100km/h.

II.2.3 Paramètre cinématique de la route :

Il s'agit de paramètres associés à la prise en compte du flux véhiculaire, qui établissent les distances requises pour la conception du tracé du projet.

II.2.3.1. Distance de freinage :

La distance d_0 correspond au trajet effectué pendant le processus de freinage, où le véhicule réduit sa vitesse de V à zéro ($V = 0$). Cette distance est calculée et présentée à travers la formule suivante :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V^2}{f_l}$$

Dans le cas où le plan de freinage n'est pas horizontal, l'expression de d_0 s'écrit sous la forme :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V^2}{f_l \pm \sin \alpha}$$

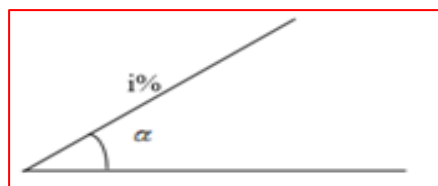


Figure II. 3: Distance de freinage.

Si i exprime la tangente de α et puisque α est petit dans le cas des routes ($\sin\alpha = \tan\alpha \approx i$) on aura :

$$d_0 = \frac{4}{1000} \times \frac{V^2}{f_l \pm i}$$

Avec :

f_l : Coefficient de frottement longitudinal

V : Vitesse du véhicule km/h

d_0 : Distance de freinage en m

i : Déclivité de la route en %

α : Angle d'inclinaison

Remarque :

Le facteur f_l fluctue en fonction de la condition des pneumatiques et de la surface de la route, et il est également susceptible de varier selon la vitesse du véhicule.

Tableau II.7: f_l en fonction de l'état de la chaussée et des pneus.

<i>État de la chaussée et des pneus</i>	<i>f_l</i>
<i>Chaussée sèche, pneus en bon état</i>	<i>état 0,8 à 0,9</i>
<i>Chaussée mouillée, pneus en bon état</i>	<i>0,6 à 0,8</i>
<i>Chaussée mouillée, pneus en moyen état</i>	<i>0,3 à 0,4</i>
<i>Chaussée mouillée, pneus usés</i>	<i>0,1 à 0,2</i>
<i>Verglas, boue, etc.</i>	<i>0,05 à 0,1</i>

Tableau II.8: Coefficient de frottement longitudinal en fonction de vitesses.

V (km/h)	40	60	80	100	120	140
Catégories 1-2	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30
Catégories 3-4-5	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	

II.2.3.2. Temps perception réaction :

Le délai de perception-réaction représente la durée dont le conducteur a besoin pour réagir et assurer sa sécurité dans diverses situations. Ce temps dépend des attributs spécifiques du conducteur et du véhicule. Les délais de perception-réaction sont pris en compte pour :

- Le freinage ;
- Le dépassement ;
- L'observation de la signalisation.

La durée nécessaire pour activer le système de freinage en cas d'événement inattendu nécessitant une décélération est appelée temps de perception-réaction.

Sur une voie de catégorie Cat1 et dans un environnement E2, les valeurs suivantes sont établies :

- Pour une vitesse (V) égale ou supérieure à 100 km/h, (theta) θ est de 1.8 secondes. $\theta=1.8s$ pour $V \geq 100 \text{ km/h}$
- Pour une vitesse (V) inférieure à 100 km/h, (theta) θ est de 2 secondes. $\theta=2s$ pour $V < 100 \text{ km/h}$

Selon les catégories et l'environnement dans **B40**, le temps perception-réaction est :

- **Catégories 1-2, Environnement (E1) et (E2) :**

$$t = 1,8 \text{ s} \quad \text{pour } V > 80 \text{ km/h}$$

$$t = 2 \text{ s} \quad \text{pour } V \leq 80 \text{ km/h}$$

- **Catégories 1-2, Environnement (E3) :**

$$t = 1,8 \text{ s} \quad \text{quelle que soit } V$$

- **Catégories 3-4-5 :**

$$t = 1,8 \text{ s} \quad \text{pour } V > 60 \text{ km/h}$$

$$t = 2 \text{ s} \quad \text{pour } V \leq 60 \text{ km/h}$$

La moyenne de réaction est de 0,9 s mais en pratique on prend toujours :

$$t = 2 \text{ s} \quad \text{cas des vitesses } (V \leq 100 \text{ km/h}) \text{ conducteur peu concentré}$$

$$t = 1,8 \text{ s} \quad \text{cas des vitesses } (V > 100 \text{ km/h}) \text{ conducteur concentré.}$$

La distance de réaction $d\theta$:

C'est la distance parcourue pendant le temps de perception-réaction est donnée par :

$$d_{\theta} = V \times t$$

Avec :

$d\theta$: distance de réaction qui s'exprime en m

V : la vitesse qui s'exprime en km/h

T : temps de perception-réaction qui s'exprime en s

II.2.3.3. Distance d' arrêt :

Il s'agit de la distance minimale requise pour immobiliser un véhicule circulant à une vitesse de référence, afin d'éviter un obstacle sur son chemin (voir Figure II.4). Cette distance est déterminée en considérant la somme des deux distances suivantes :

- ✓ La distance $d\theta$ représente le chemin effectué depuis l'instant où l'objet est détecté jusqu'à l'instant où le freinage est initié.
- ✓ La distance d_0 est celle nécessaire pour immobiliser le véhicule une fois que le freinage a été activé.

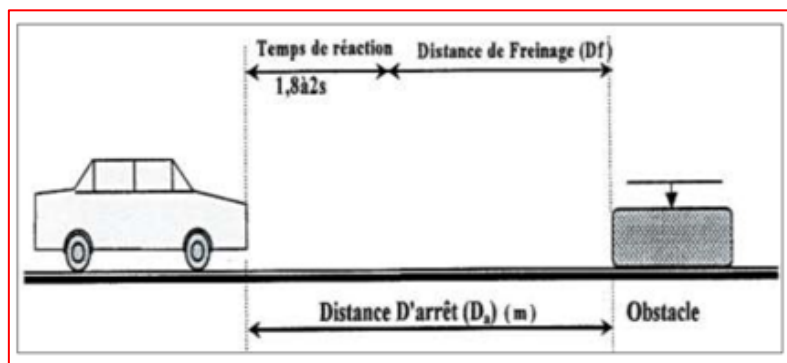


Figure II. 4: Distance d'arrêt.

$$d_a = d_0 + d_\theta$$

d_a : La distance d'arrêt en m

d_0 : La distance de freinage en m

d_θ La distance de réaction en m.

II.2.3.3.1 En alignement droit :

- Pour $V \leq 100 \text{ km/h}$ et quand $t = 2 \text{ s}$ alors $d_a = d_0 + (0,55 \times V)$
- Pour $V > 100 \text{ km/h}$ et quand $t = 1.8 \text{ s}$ alors $d_a = d_0 + (0,50 \times V)$

II.2.3.3.2 En courbe :

Lors des manœuvres dans les courbes, le freinage doit être modéré pour maintenir la maîtrise du véhicule, entraînant ainsi une augmentation de 25% de la distance de freinage nécessaire.

- Pour $V \leq 100 \text{ km/h}$ et quand $t = 2 \text{ s}$ alors $d_a = 1,25 \times d_0 + (0,55 \times V)$
- Pour $V > 100 \text{ km/h}$ et quand $t = 1.8 \text{ s}$ alors $d_a = 1,25 \times d_0 + (0,50 \times V)$

II.2.3.4. Distance de sécurité entre deux véhicules :

La distance de sécurité, notée d_s , représente l'intervalle nécessaire entre deux véhicules, désignés A et B, afin que dans l'éventualité où le premier véhicule initie un freinage d'urgence, le second puisse également s'immobiliser sans provoquer de collision. En théorie, cette condition est remplie si les deux véhicules maintiennent une vitesse identique, requièrent la même distance pour s'arrêter complètement et ce, dans un intervalle de temps équivalent.

L'intervalle de sécurité doit correspondre à la distance que le véhicule B parcourt durant le temps de perception-réaction, noté t .

$$d_s = (V \times t) + L$$

Ainsi que:

L : Longueur moyenne des deux véhicules en **m**

t : Temps de perception-réaction en **s**

V : La vitesse en **km/H**

d_s : La distance de sécurité en **m**

Le code de la route impose un signal arrière lumineux déclencher dès la mise en action des freins ce qui correspondant à la circulation en attention concentrée, **$t = \frac{3}{4} \text{ s}$** ; **$L = 8 \text{ m}$**

$$d_s = \frac{V}{3.6} \times \left(L + \frac{3}{4} \right) = 0.2 \times V + L$$

$$d_s \cong \frac{1}{5} \times V + 8 \rightarrow \text{La forme théorique}$$

En pratique, la distance de sécurité, désignée par d_s , est augmentée car lorsque le conducteur du véhicule B observe l'activation des feux de stop du véhicule A, il ne peut déterminer la force avec laquelle A freine, ce qui peut entraîner une hésitation avant de commencer à freiner.

$$d_s = 8 + 0.2 \times V + 0.003 \times V^2$$

Nous avons sur la (figure II.5) suivante la distance de sécurité entre deux véhicules

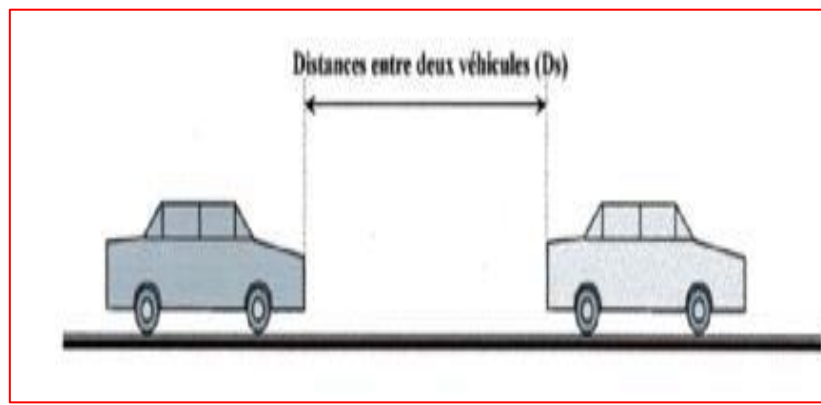


Figure II. 5: Distance de sécurité.

II.2.3.5. Distance de dépassement :

Il s'agit de la distance nécessaire sur une route bidirectionnelle pour qu'un véhicule B, se déplaçant à la vitesse V_1 et suivant un véhicule A allant à la vitesse V_2 , puisse effectuer en toute sécurité la manœuvre de dépassement, y compris le retour dans sa voie initiale. Durant le temps de dépassement t_{dep} , le véhicule B couvre une distance de dépassement d_{dep} égale à $V_1 \times t_{dep}$, tandis que le véhicule A parcourt une distance équivalente à $V_2 \times t_{dep}$. On distingue deux catégories de distances de visibilité :

II.2.3.5.1. Distance de visibilité de dépassement minimal D_m :

La distance correspondante est celle que le véhicule parcourt pendant une manœuvre de dépassement rapide. Cette manœuvre dure généralement entre 7 et 8 secondes pour les véhicules ayant une puissance de réserve adéquate. La valeur D_m est estimée pour une durée d'environ 15 secondes et peut être approximée par la relation suivante :

$$D_m(m) = 4 \times V_r \text{ (km /h)} \rightarrow V_r \leq 90 \text{ km/h}$$

Pour $V_r = 140 \text{ km/h}$ il est proposé d'adopter :

$D_m = 5V_r$ avec la possibilité d'interpolation linéaire pour $90 < V_r < 140$.

En retenant que la valeur de D_m sert au calcul du rayon en profil en long RV_m (Rayon verticalement).

II.2.3.5.2. Distance de visibilité de dépassement normal D_n :

Cette distance est celle réalisée pendant une manœuvre de dépassement standard, qui prend approximativement 10,8 secondes pour des vitesses inférieures à 90 km/h. Au-delà de cette vitesse, la durée de la manœuvre augmente de manière linéaire, atteignant environ 12,8 secondes à 140 km/h. Le temps total estimé pour la manœuvre est donc de $(2 \times 11 \text{ à } 12 \text{ secondes})$, ce qui équivaut à :

$$D_n = 6V_r \text{ pour } V_r \leq 90 \text{ km/h}$$

A 140 km/h : $D_n = 7V_r$

On note ainsi une majoration de l'angle de 50% par rapport à la distance de visibilité de dépassement normale D_n .

D'après la norme **B40** les distances sont données dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Distance de visibilité de dépassement minimale.

V	40	60	80	100	120
(km/h)					
Dn	250	350	500	625	800
Dm	150	250	325	425	550

➤ **Application au projet :**

V=100km/h

Donc :

$$Dn = 6 \times 100 = 600m$$

$$Dm = 4 \times 100 = 320m$$

Selon la B40 nous avons :

$$Dn = 625m$$

$$Dm = 425m$$

II.3 CONCLUSION:

D'après les résultats, on en conclut que ce tronçon de la RN01 nécessite un dédoublement immédiat en 2x2 voies de 3,5 mètres de largeur, avec des accotements de 1,2 mètre de chaque côté pour supporter le trafic dans les prochaines années. Il est essentiel de prendre en compte les facteurs climatiques et environnementaux lors de la conception de cette route, en particulier étant donné le type de sol et les conditions de circulation spécifiques.

Chapitre III :
Etude
géométrique

Chapitre III : Etude géométrique

III.1. Le tracé en plane

III.1.1 – Définitions

Le tracé en plan d'une route consiste à projeter tous les points de cette route sur un plan horizontal. Il est généralement constitué d'une succession d'alignements droits et d'arcs reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif. Ce tracé est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on peut déterminer les caractéristiques géométriques de la route. L'objectif du tracé en plan est d'assurer une bonne sécurité et un confort optimal pour les usagers de la route.

III.1.2 – Règles à égales à respecter dans le tracé en plane

- Éviter de traverser les terrains agricoles autant que possible.
- Éviter les passages à gué pour minimiser la construction d'ouvrages d'art, principalement pour des raisons économiques. Si aucune autre option n'est disponible, privilégier un franchissement perpendiculaire.
- Adapter au maximum le tracé à la topographie naturelle du terrain.
- Appliquer les normes du B40 si cela est faisable.
- Utiliser de grands rayons de courbure lorsque l'état du terrain le permet.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Respecter la pente maximale et s'inscrire autant que possible dans une même courbe de niveau.
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si cela est possible.
- Se raccorder aux réseaux existants.
- Suivre le couloir choisi pour le tracé.
- Éviter les zones sujettes à des problèmes géologiques.
- Il est recommandé que les alignements droits ne représentent pas plus de 60 % de la longueur totale du trajet.

- En présence de lignes électriques aériennes, prévoir une hauteur minimale de 10 mètres.

III.1.3 – Les éléments du tracé en plan

Le tracé en plan d'une route est composé d'alignements droits reliés par des courbes. Il est caractérisé par la vitesse de référence, également appelée vitesse de base, qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes se fait à l'aide de clothoïdes. Ces courbes spéciales assurent un raccordement progressif, garantissant la sécurité et le confort des usagers de la route.

En résumé, un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments principaux :

- 1. Droites (alignements) :** Ils forment la structure de base du tracé.
- 2. Arcs de cercle :** Ils permettent de suivre les contours du terrain et d'assurer des transitions fluides entre les alignements droits.
- 3. Courbes de raccordement progressives :** Les clothoïdes assurent un passage en douceur entre les alignements droits et les courbes.

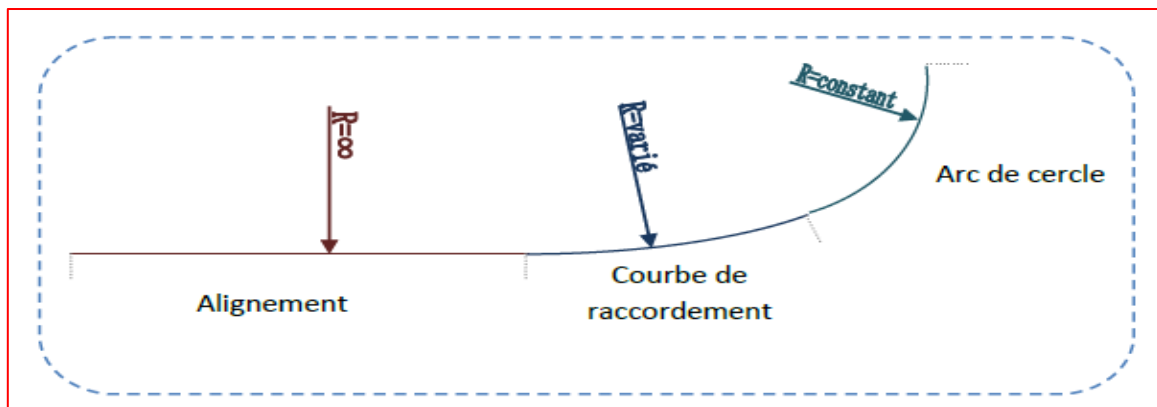


Figure III. 1: Les éléments du tracé en plan.

III. 1.3.1 – Les alignements

Bien que la ligne droite soit l'élément géométrique le plus simple, son utilisation dans le tracé des routes est limitée. Cela s'explique par plusieurs inconvénients, notamment :

- Éblouissement prolongé des phares la nuit.
- Monotonie de conduite, pouvant entraîner des accidents.
- Difficulté à évaluer les distances entre véhicules éloignés.
- Mauvaise adaptation de la route au paysage.

Cependant, il existe des situations où l'utilisation d'alignements droits est justifiée :

- En plaine, lorsque des sinuosités ne sont pas du tout nécessaires.
- Dans des vallées étroites.

Pour permettre les dépassements, la longueur des alignements droits dépend de plusieurs facteurs:

- La vitesse de base, plus précisément la durée du parcours rectiligne.
- Les sinuosités précédentes et suivantes par rapport à l'alignement.
- Le rayon de courbure de ces sinuosités.

En ce qui concerne les règles concernant la longueur des alignements :

Une longueur minimale d'alignement (notée L_{min}) doit séparer deux courbes circulaires de même sens. Cette longueur est équivalente à la distance parcourue pendant cinq (5) secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle.

$$L_{min}=5 \times \frac{V_B}{3.6}$$

V_B : vitesse de base en **km/h**

Une longueur maximale L_{max} est prise égale à la distance parcourue pendant **soixante (60) secondes**

$$L_{max}=60 \times \frac{V_B}{3.6}$$

III.1.3.2 - Arcs De Cercle:

Pour limiter les courbures, trois éléments interviennent :

- Stabilité : Sous la sollicitation centrifuge des véhicules circulant à grande vitesse.
- Visibilité en courbe.
- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

Dans cette optique, on privilégie le choix de rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous du rayon minimum recommandé.

III. 1.3.2.1 - Stabilité En Courbe:

Dans un virage de rayon R, un véhicule est soumis à l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système. Pour réduire cet effet, on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage, ce qui permet d'éviter le phénomène de dérapage. Cette inclinaison est appelée dévers et est exprimée par sa tangente.

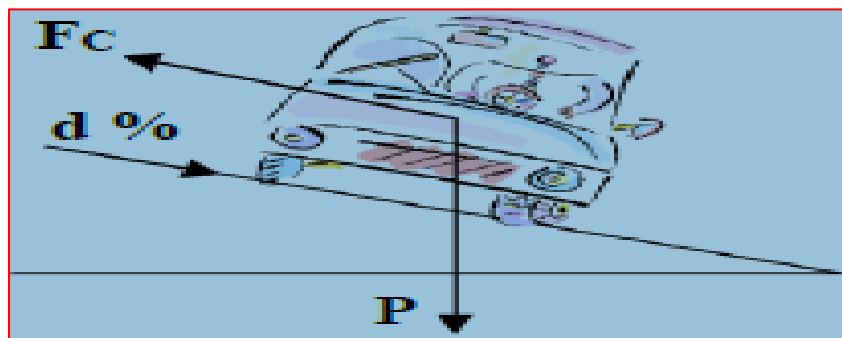


Figure III. 2: Stabilité En Courbe.

L'équilibre des forces agissant sur le véhicule nous amène à la conclusion suivante :

a. - Rayon horizontal minimal absolu (RHM) :

Il est défini comme étant le rayon au devers maximal :

$$RH \min = \frac{Vr^2}{127(ft + dmax)}$$

f_t : Coefficient de frottement transversal

Ainsi pour chaque V_r on définit une série de couple (R, d) .

b. - Rayon minimal normal (RHN) :

Le rayon minimal normal doit permettre à des véhicules dépassant V_r de 20km/h de rouler en sécurité.

$$RHN = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f + d_{max})}$$

c. - Rayon au dévers minimal (RHd) :

Le rayon au dévers minimal correspond au point où les chaussées sont inclinées vers l'intérieur du virage. Au-delà de ce point, l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_r serait équivalente à celle subie par un véhicule circulant à la même vitesse en ligne droite.

Dévers associé

- $d_{min} = 2.5\%$ en catégorie 1 - 2
- $d_{min} = 3\%$ en catégorie 3 - 4

$$RHd = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{min}}$$

d. - Rayon minimal non déversé (RHnd) :

Le rayon au dévers minimal correspond au point où les chaussées sont inclinées vers l'intérieur du virage. Au-delà de ce point, l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_r serait équivalente à celle subie par un véhicule circulant à la même vitesse en ligne droite.

Avec :

$f' = 0.06$ cat 1 et 2

$f' = 0.07$ cat 3 et 4 E1

$f' = 0.075$ cat 4 -5 E2 E3

$$RHnd = \frac{V_r^2}{127(f' + d_{min})}$$

e. - Visibilité masquée dans une sinuosité :

Lorsqu'un virage d'une route est masqué du côté intérieur de la courbe par le talus du déblai (dans le cas d'une route en tranchée), par une construction ou un boisement, il est nécessaire de reculer le talus ou d'abattre les obstacles sur une largeur à déterminer. Cette mesure vise à assurer une visibilité étendue pour les conducteurs de véhicules.

$$S = L^2 / 2R$$

Plutôt que d'augmenter le rayon du virage jusqu'à ce que la visibilité soit bonne, une autre solution consiste à déraser l'intérieur du virage. En termes de planification, la limite de ce dérasement est déterminée par la projection verticale de la courbe enveloppe des rayons visuels, en partant de l'œil du conducteur.

Le niveau de dérasement tient compte du niveau acceptable pour la vision de l'œil du conducteur ou des obstacles à percevoir, tels que les objets ou les véhicules. Il est également important de prévoir une marge pour la végétation. La largeur de dérasement est mesurée à partir de l'axe de la route, mais les calculs se font au niveau de la trajectoire des véhicules du côté intérieur du virage.

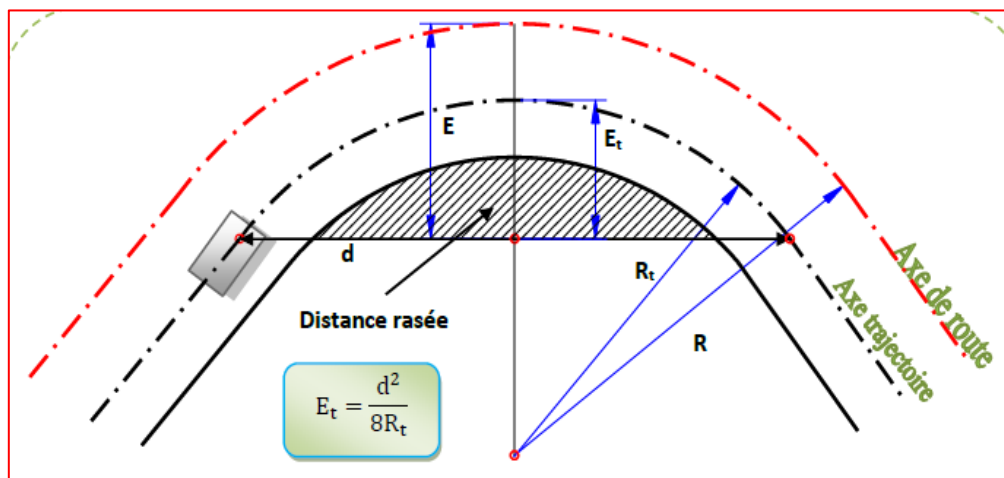


Figure III. 3: Zone de dérasement.

Pour déterminer les distances de visibilité, nous utilisons les notations suivantes :

- d : longueur de visibilité (Md pour une chaussée bidirectionnelle).
- R_t : rayon au dévers minimal, égal à $R - 2,50$ m.
- $d = d_{arrér} = d_1$ (pour une chaussée unidirectionnelle).
- $E_t = E + 2,50$ m.

Il est important de noter que ces distances devraient idéalement être mesurées le long de l'arc de trajectoire, mais pour simplifier, nous pouvons admettre (comme le fait la norme) qu'elles sont mesurées sur la corde de l'arc.

f. - Sur largeur:

Lorsqu'un long véhicule à deux essieux circule dans un virage, il balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit. Pour éviter que sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on accorde à la voie parcourue par ce véhicule une sur largeur par rapport à sa largeur normale en alignement.

L : longueur du véhicule (valeur moyenne **L = 10 m**)

R : rayon de l'axe de la route.

III.1.3.3 - Les courbes de raccordement

Lorsqu'on raccorde un alignement droit à une courbe circulaire, il est essentiel d'utiliser des courbures progressives qui permettent d'introduire le dévers tout en garantissant le confort et la sécurité.

La clothoïde est la courbe de raccordement la plus couramment utilisée. Elle présente des particularités, notamment son accroissement linéaire des courbures. La clothoïde assure à la voie un aspect satisfaisant, en particulier dans les zones de variation du dévers (condition de gauchissement). Elle permet l'introduction du dévers et de la courbure tout en respectant les conditions de stabilité et de confort dynamique, limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules.

III.1.3.3.1 - Rôle Et Nécessité Des Courbes De Raccordement :

L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre conditions suivantes :

- Stabilité transversale du véhicule.
- Confort des passagers du véhicule.
- Transition de la forme de la chaussée.
- Souple, fluide, tracé élégant, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

III.1.3.3.2 - Types De Courbe De Raccordement :

Parmi les courbes mathématiques qui satisfont à la condition souhaitée d'une variation continue de la courbure, nous avons choisi les trois courbes suivantes :

- Parabole cubique
- Lemniscate
- Clothoïde

a) - Parabole cubique :

En effet, la clothoïde est une courbe d'emploi très limité, principalement utilisée dans les tracés de chemins de fer. Sa courbure atteint rapidement un maximum, ce qui la rend moins adaptée pour les routes.

Equation générale : $Y = \text{constant} \cdot X^3$

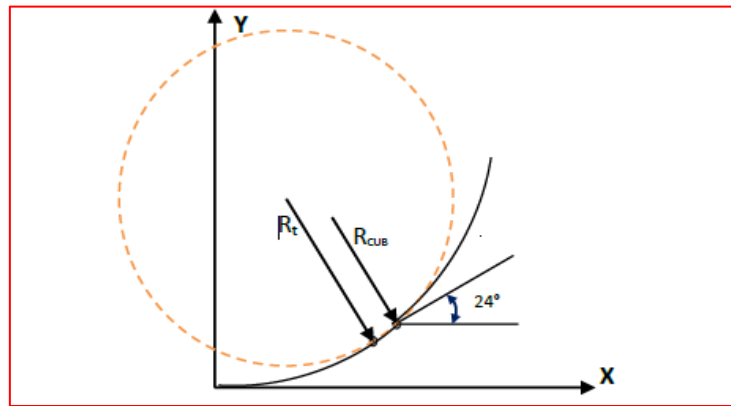


Figure III. 4: Courbe de raccordement parabole cubique.

b) Lemniscate :

La courbe que vous mentionnez est utilisée dans certains problèmes de tracé de routes, notamment pour les échangeurs autoroutiers en forme de trèfle. Sa courbure est proportionnelle à la longueur du rayon vecteur mesuré à partir du point d'inflexion.

c) Clothoïde :

La clothoïde est une courbe en forme de spirale, dont le rayon de courbure diminue de manière continue depuis l'origine (où il est infini) jusqu'au point asymptotique où il devient nul. La particularité de la clothoïde réside dans le fait que sa courbure est linéaire par rapport à la longueur de l'arc.

Lorsqu'elle est parcourue à vitesse constante, la clothoïde maintient une variation constante de l'accélération transversale. Cela est très avantageux pour le confort des usagers.

c).1 - Expression mathématique de la Clothoïde:

Courbure **K** linéairement proportionnelle à la longueur curviligne **L**.

$$K = C \cdot L$$

On pose: $1/C = A_2 \Rightarrow$

$$L \times R = A^2$$

c).2 - Eléments de la Clothoïde :

γ : Angle entre alignement.

T : Grande tangente.

ΔR : Ripage.

KA: Début de clothoïde.

KE : Fin de clothoïde.

σ : Angle polaire.

X_m : Abscisse du centre de cercle.

X : Abscisse de KE.

Y : Ordonnée de KE.

α : Angle d'arc de cercle.

τ : Angle de tangente.

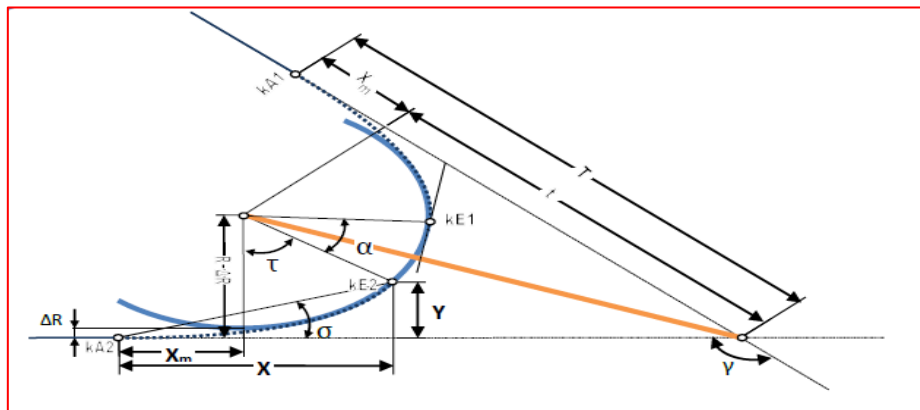


Figure III. 5: Courbe de raccordement clothoïde

III.1.4 – Les conditions de raccordement

La longueur de raccordement progressif est essentielle pour garantir des transitions en douceur entre les éléments de tracé d'une route. Voici quelques points clés à retenir :

III.1.4.1. - Les conditions de confort optique

La clothoïde est une courbe de transition utilisée pour faciliter la transition entre les alignements droits et les courbes circulaires sur une route. Voici les points clés à retenir

La clothoïde doit aider à la lisibilité de la route on amorce le virage, la rotation de la tangente
Pour que l'œil humain puisse le percevoir, l'angle doit être supérieur ou égal à 3 degrés."

Règle générale (B40) :

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

✓ $R \leq 1500 \text{ m}$

$\Delta R = 1 \text{ m}$

$$L = \sqrt{24RA\Delta R}$$

$$\checkmark \quad 1500 < R \leq 5000 \text{ m}$$

$$L \geq R/9$$

$$\checkmark \quad R > 5000 \text{ m}$$

$$\Delta R = 2.5 \text{ m}$$

$$L = 7.75$$

III.1.4.2. - Les conditions de confort dynamique :

Cette condition vise à limiter, pendant la durée du raccordement (Δt), la variation de l'accélération transversale par unité de temps. En d'autres termes, elle garantit une transition en douceur entre les éléments de tracé de la route, minimisant les changements brusques pour les conducteurs.

$$L = \frac{Vr^2}{18} \left(\frac{Vr^2}{127R} - \Delta d \right)$$

Vr : Référence de vitesse en km/h.

R : Rayon en (m).

Δd : Variation de dévers.

III.1.4.3. La condition de gauchissement

Cette condition vise à garantir que la voie ait un aspect satisfaisant, en particulier dans les zones de variation des dévers. Elle est liée à l'axe de la route et à son profil en travers. En d'autres termes, elle concerne l'aspect visuel de la chaussée pour les usagers, en tenant compte des dévers et des variations de pente.

$$L \geq l. \Delta d. VR$$

L : Longueur de raccordement.

l : largeur de la chaussée.

Δd : Variation de dévers.

Nota: La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique peut être simplifiée en utilisant une seule condition. Celle-ci limite, pendant la durée du raccordement, la variation par unité de temps du dévers de la demi-chaussée extérieure au virage. Limitée à 2 %. En d'autres termes, cette condition assure une transition en douceur du dévers pendant le virage, garantissant le confort et la sécurité des conducteurs.

$$L \geq \frac{5 \times \Delta d \times V_r}{36}$$

III.1.5 – Les combinaisons des éléments du tracé en plan

Types de Courbes dans le Tracé en Plan.

Le tracé en plan d'une route est essentiel pour assurer la sécurité, le confort et l'intégration harmonieuse dans le paysage. Il se compose de plusieurs éléments, dont les alignements droits, les arcs de cercle et les courbes de raccordement. Voici quelques types de courbes résultant de la combinaison de ces éléments : - le courbe S (ou à inflexion):

La description que vous avez donnée correspond à une spirale de transition. Elle est formée de deux arcs de clothoïde de concavité opposée, tangents en leur point de courbure nulle, et elle relie deux arcs de cercle. Cette spirale permet une transition en douceur entre les alignements droits et les courbes circulaires sur une route. Elle est essentielle pour la sécurité et le confort des conducteurs.

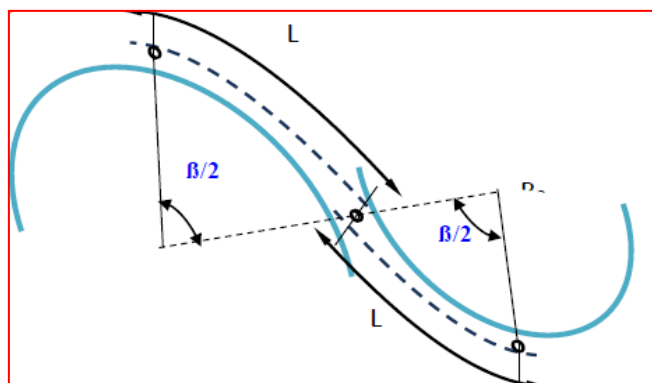


Figure III. 6: Courbe en S.

III.1.5.1. – le courbe à sommet

La description que vous avez donnée correspond à une spirale de transition. Elle est formée de deux arcs de clothoïde de concavité opposée, tangents en leur point de courbure nulle, et elle relie deux alignements. Cette spirale permet une transition en douceur entre les alignements droits et les courbes circulaires sur une route. Elle est essentielle pour la sécurité et le confort des conducteurs.

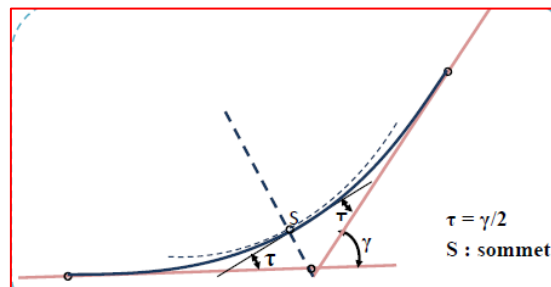


Figure III. 7: Courbe à sommet.

III.1.5.2. – le courbe en C

La description que vous avez donnée correspond à une spirale de transition. Elle est formée de deux arcs de clothoïde de même concavité, tangents en un point de même courbure, et elle raccorde deux arcs de cercles sécants ou extérieurs l'un à l'autre. Cette spirale permet une transition en douceur entre les alignements droits et les courbes circulaires sur une route. Elle est essentielle pour la sécurité et le confort des conducteurs.

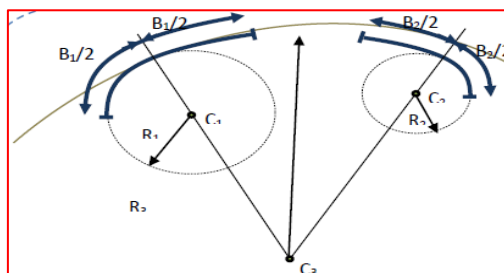


Figure III. 8: Courbe en C.

III.1.5.3. – le courbe en Ove

L'arc de clothoïde que vous décrivez est utilisé comme courbe de raccordement progressif entre deux tronçons circulaires. Voici les cas possibles :

1. Arc en œuf ou en "ove" : Si les deux cercles sont intérieurs l'un à l'autre et parcourus dans le même sens, une seule clothoïde peut raccorder les deux cercles. Cette configuration forme un arc en forme d'œuf.
2. Arc à inflexion ou en "S" : Si les deux cercles sont extérieurs l'un à l'autre et parcourus en tournant à droite sur l'un et à gauche sur l'autre (courbures opposées, rayons de signes contraires), l'arc de clothoïde comprendra le point d'inflexion. Cela crée une forme en "S".
3. Arc en C ou en "anse de panier" : Si les deux cercles sont sécants ou extérieurs l'un à l'autre et parcourus dans le même sens, le raccordement nécessitera deux arcs de clothoïde de même sens de courbure. Ils se raccordent en un point C où ils ont le même rayon de courbure. En parcourant le tracé en C, la variation linéaire de la courbure ne s'arrête pas comme lors d'un raccordement à un cercle, mais s'inverse, ce qui peut ne pas être confortable. Dans ce cas, il est conseillé d'insérer un arc de cercle entre les deux rayons de clothoïde²³.

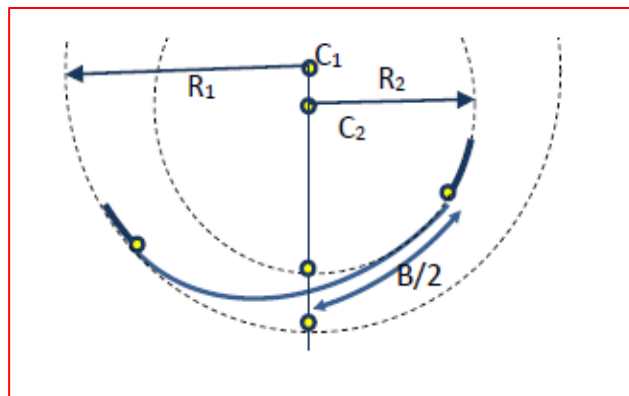


Figure III. 9: Courbe en ovale.

III.1.6 – Notion de devers

Le dévers est la pente transversale de la chaussée. Il joue un rôle essentiel dans la sécurité et le confort des conducteurs. Voici quelques points importants à retenir :

1. Évacuation des eaux pluviales: Le dévers permet l'évacuation efficace des eaux de pluie vers les bords de la chaussée. Cela réduit le risque d'aquaplanage et améliore la visibilité.
2. Stabilité des véhicules en courbe: En courbe, le dévers compense la force centrifuge et assure la stabilité des véhicules. Il évite également que les véhicules glissent vers l'intérieur de la courbe.

3. Compromis entre instabilité et écoulement des eaux : Le choix de la pente transversale est un compromis entre limiter l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre et favoriser un écoulement rapide des eaux de pluie.

En somme, le dévers est un élément clé de la conception des routes, garantissant à la fois la sécurité et la fonctionnalité.

III.1.6.1. - Devers en alignement

En alignement, le dévers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée. Conformément à la norme SN 640 075 «Espace de circulation sans obstacles», le dévers ne doit pas dépasser 2 % afin d'assurer la maniabilité des fauteuils roulants et des déambulateurs à roulettes. Si un dévers plus important est indispensable pour des raisons d'évacuation des eaux en raison du revêtement choisi, ce dernier doit être aussi faible que possible. Des dévers jusqu'à un maximum de 7 % sont admis localement pour les abaissements de trottoirs aux traversées, pour les accès aux immeubles, etc.

$$d_{min} = 2.5\%$$

III.1.6.2. - Devers en courbe

En courbe, le dévers joue un rôle essentiel. Voici comment il contribue à la conception des routes :

1.Écoulement des eaux superficielles: Le dévers permet l'évacuation rapide des eaux de pluie vers les bords de la chaussée. Cela réduit le risque d'aquaplanage et assure une surface sèche pour les véhicules.

2. Stabilité dynamique des véhicules: En courbe, le dévers compense une fraction de la force centrifuge. Il empêche les véhicules de glisser vers l'intérieur de la courbe, assurant ainsi leur stabilité.

3. Guidage optique: Le dévers améliore le guidage visuel pour les conducteurs. Il permet de percevoir plus clairement la trajectoire à suivre dans les virages.

En somme, le dévers est un élément clé pour la sécurité et le confort des usagers sur les routes courbes.

III.1.6.3. - Rayon de courbure

En effet, pour assurer la stabilité des véhicules et réduire l'effet de la force centrifuge dans les courbes, il est nécessaire d'incliner la chaussée transversalement vers l'intérieur. Cette inclinaison est appelée dévers et est exprimée par sa tangente. Le rayon de courbure de la route est étroitement lié à cette pente de dévers.

III.1.6.4. - Calcul des dévers

Dans les alignements droits et dans les courbes de rayon supérieur ou égal à RHnd, le dévers est égal à 2,5 %. Pour les courbes de rayon inférieur à RHnd, on peut calculer le dévers par interpolation en "1/R". En d'autres termes, le dévers varie en fonction du rayon de courbure de la route, assurant ainsi la stabilité et le confort des véhicules.

RHm < R < RHn on a:

$$\frac{d(R) - d(RHm)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHm}} = \frac{d(RHm) - d(RHn)}{\frac{1}{RHm} - \frac{1}{RHn}}$$

RHn < R < RHd on a:

$$\frac{d(R) - d(RHd)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd}} = \frac{d(RHn) - d(RHd)}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}}$$

En effet, les rayons de courbure compris entre RHd et RHnd sont associés au dévers minimal. Cependant, pour les rayons supérieurs à RHnd, un dévers peut être appliqué, à condition qu'il n'entraîne aucune dépense notable et, surtout, qu'il ne perturbe pas le drainage. L'équilibre entre stabilité, confort et efficacité de l'écoulement des eaux est essentiel dans la conception des routes.

Raccordement de dévers :

- ✓ Dévers en alignement droit : Les dévers sont constants et ont une valeur de 2,5 %. Ils assurent l'évacuation des eaux superficielles et la stabilité des véhicules.
- ✓ Dévers en courbe : Dans les courbes, les dévers ont des valeurs supérieures, allant de 3 % à 7 %. Ils compensent la force centrifuge et améliorent le guidage optique.
- ✓ Raccordement des alignements droits aux courbes :
- ✓ Si les dévers sont de même sens, le raccordement se fait progressivement de la clothoïde au début de l'arc de cercle.
- ✓ Si les dévers sont opposés, il faut passer par un dévers nul, généralement à une distance Dmin (appelée longueur de gauchissement). Pour les courbes en "S", il est souhaitable de prendre le dévers nul au point d'inflexion.
- ✓ Pour les courbes de raccordement de dévers entre deux courbes de même sens, le dévers unique peut être conservé.

En somme, ces considérations garantissent une transition fluide entre les éléments de tracé de la route.

III.1.7 - La vitesse de référence de base

Tout à fait ! La vitesse de référence (V_r) est cruciale lors de la conception d'un projet routier. Voici quelques points importants à retenir :

1. Critère principal : La vitesse de référence sert de base pour déterminer les caractéristiques géométriques de la route, telles que les rayons de courbure, les dévers et les pentes.
2. Confort et sécurité : Pour assurer le confort et la sécurité des usagers, il est essentiel que la vitesse de référence ne varie pas sensiblement entre différentes sections de la route. Tout changement doit être perceptible pour les conducteurs (par exemple, lorsqu'ils traversent une ville ou rencontrent un changement de relief).

En somme, la vitesse de référence guide la conception de la route pour répondre aux besoins des usagers tout en garantissant leur sécurité.

III.1.7.1. - Choix de la vitesse de référence

Le choix de la vitesse de référence dépend de:

- ✓ Topographie.
- ✓ Importance et genre de trafic.
- ✓ Type de route.
- ✓ Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

III.1.7.2. - Vitesse de projet

La vitesse de projet (V_r) est la vitesse théorique la plus élevée pouvant être admise en chaque point de la route, compte tenu de la sécurité et du confort dans les conditions normales. Ces conditions normales incluent :

1. Route propre et sèche : La chaussée ne doit pas être enneigée ou glacée. Une surface propre et légèrement humide est idéale.
2. Trafic fluide : Le trafic doit être de débit inférieur à la capacité admissible de la route. Cela garantit une circulation sans congestion excessive.
3. Véhicule en bon état de marche : Le véhicule doit être en bon état mécanique, avec des freins, des pneus et d'autres composants fonctionnant correctement.
4. Conducteur en bonnes conditions normales: Le conducteur doit être attentif, sobre et en bonne santé.

En somme, la vitesse de projet est soigneusement déterminée pour assurer la sécurité et le confort des usagers sur la route.

Remarque :

La vitesse de référence dans notre projet (donnée DTP de LAGHOUAT) et de $V_r = 100 \text{ Km/h}$.

Pour notre projet, situé dans un environnement (**E2**), et classé en catégorie (**C1**) avec une vitesse de base de **100km/h**, donc à partir du règlement **B40** on peut avoir le tableau suivant:

Tableau III. 1: rayons du tracé en plan.

Paramètres	symboles	valeurs
Vitesse (km/h)	V	100
Rayon horizontal minimal (m)	RHm (7%)	450
Rayon horizontal normal (m)	RHN (7%)	650
Rayon horizontal déversé (m)	RHd (2.5%)	1600
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd (2.5%)	2200

III.1.8 - Paramètres fondamentaux

D'après le règlement des normes algériennes **B40**, pour un environnement **E2** et une catégorie **C1**, avec une vitesse de base de **100km/h**, on définit les paramètres suivants :

Tableau III. 2: Paramètres fondamentaux.

Paramètres	symboles	valeurs
Vitesse (km/h)	V	100
Longueur minimale (m)	Lmin	111
Longueur maximale (m)	Lmax	1333
	Dmin	2.5
Devers maximal (%)	Dmax	7
Temps de perception réaction (s)	t1	2
Frottement longitudinal	fL	0.39
Frottement transversal	Ft	0.13
Distance de freinage (m)	d0	65
Distance d'arrêt (m)	d1	109
Distance de visibilité de dépassement minimale (m)	dm	425
Distance de visibilité de dépassement normale (m)	dn	625
Distance de visibilité de manoeuvre de dépassement (m)	Dmd	300

III.1.9 - Calcul d'axe

Dans le cadre d'un calcul d'axe, la partie essentielle concerne la courbe de clothoïde (représentée dans la figure III-1). Cette courbe géométrique spécifique est définie par des formules mathématiques approximatives. Elle joue un rôle crucial dans la conception et la modélisation des routes, permettant des transitions en douceur entre les alignements droits et les courbes circulaires. Si vous avez besoin de détails spécifiques sur les formules de la clothoïde, n'hésitez pas à me le demander !

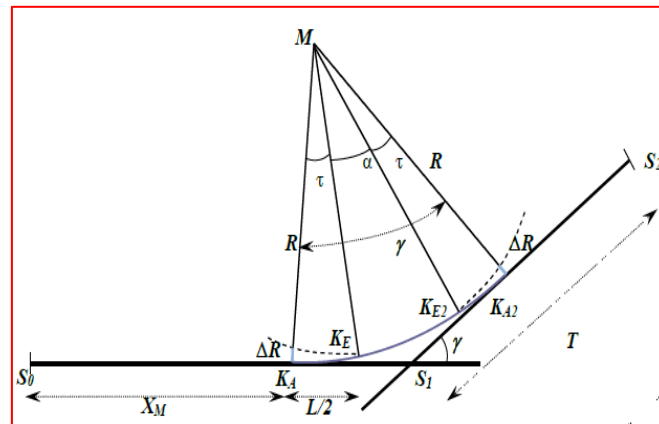


Figure III. 10: l'élément de la clothoïde.

L'opération de calcul d'axe n'aura lieu qu'après avoir déterminé le couloir par lequel passera la voie. Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît les coordonnées, et il doit suivre les étapes suivantes :

- Calcul des gisements.
- Calcul de l'angle γ entre les alignements.
- Calcul de la tangente T.
- Calcul de la corde SL.
- Calcul de l'angle polaire σ .
- Vérification de non-chevauchement.
- Calcul de l'arc de cercle.
- Calcul du kilométrage des points particuliers.

III.1.9.1 - Exemple de Calcul d'axe manuellement :

Pour illustrer notre travail de calcul d'axe, il nous semble intéressant de détailler au moins un calcul d'une liaison de notre axe. Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont les suivants :

Tableau III. 3 : Les coordonnées des sommets et le rayon.

Vr = 80Km/h	X (m)	Y (m)	R (m)
S0(P1)	866368.47	10033387.36	
S1(P2)	866562.47	10032690.71	1600
S2(P3)	867206.74	10031734.5	

III.1.9.2 - Caractéristiques de la Courbe de raccordement :

III.1.9.2.1. Calcul du paramètre A :

On sait que :

$$A^2 = L \times R$$

III.1.9.2.2. Détermination de L :

III.1.9.2.2.1. Condition de confort dynamique et de gauchissement :

- $RHd \leq R \leq RHnd$

$\Delta d = ?$

$d = d_{min} = 2.5\%$

$\Delta d = 2.5 - (-2.5) = 5\%$

$L \geq \frac{5}{36} \times 5 \times 100 = 69.444 \text{ m} \dots\dots\dots(1)$

$$L \geq \frac{5}{36} \Delta d V_r$$

III.1.9.2.2.2. Condition confort optique :

$\frac{R}{3} \leq A \leq R$ D'où $533 \leq A \leq 1600$

$$L \geq R/9$$

$1600 < R \leq 4800 \text{m} \quad L \geq R/9$

$$L \geq 1600 / 9 = 177.77 \text{ m} \dots \dots \dots (2)$$

De (1) et (2) on aura : $L \geq 178 \text{ m}$

$$L = A^2/R \Rightarrow A = LR = (177.77 \times 1600)^{\frac{1}{2}} = 533.33 \text{ m}$$

On prend: $A = 600 \text{ m}$ $L = A^2/R$ donc $L = 225 \text{ m}$.

Calcul de ΔR :

$$\Delta R = L^2 / 24R = 225^2 / (24 \times 1600) = 1.318 \text{ m} \quad \Delta R = 1.318 \text{ m}$$

III.1.9.2.3. Calcul des Gisements :

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

$$S_0 S_1 \begin{cases} |\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = 194 \text{ m} \\ |\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = 696.65 \text{ m} \end{cases}$$

$$S_1 S_2 \begin{cases} |\Delta X_1| = |X_{S2} - X_{S1}| = 644.27 \text{ m} \\ |\Delta Y_1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = 956.16 \text{ m} \end{cases}$$

D'où:

$$G_{s0}^{s1} = 200 - \arctan \frac{|X|}{|Y|} = 182.710 \text{ grades}$$

$$G_{s1}^{s2} = 200 - \arctan \frac{|X_i|}{|Y_i|} = 166.028 \text{ grades}$$

$$G_{s0}^{s1} = 182.710 \text{ grades} = 164.439^\circ$$

$$G_{s1}^{s2} = 162.253 \text{ grades} = 146.028^\circ$$

III.1.9.2.3.1. Calcul de l'angle γ :

$$\gamma = |G_{s0}^{s1} - G_{s1}^{s2}| = 20.457 \text{ Grades}$$

III.1.9.2.3.2. Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi} = \frac{225}{2 \times 1600} \times \frac{200}{3.14} = 4.48 \text{ Grades}$$

III.1.9.2.3.3. Vérification de non chevauchement :

$$\tau = 4.48 \text{ Grades}$$

$$\gamma / 2 = 20.457 / 2 = 10.229 \text{ grades}$$

D'où :

$$\tau < \gamma / 2 \Rightarrow \text{pas de chevauchement.}$$

III.1.9.2.3.4. Calcul des distances

$$S_1 S_0 = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} = 723.158 \text{ m}$$

$$S_2 S_1 = \sqrt{(\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2)} = 1152.964 \text{ m}$$

III.1.9.2.4. Caractéristiques de la courbe de raccordement**III.1.9.2.4.1. Calcule de l'abscisse du centre du cercle :**

$$X_m = \frac{A^2}{2.R} = \frac{L}{2} = 113 \text{ m.}$$

III.1.9.2.4.2. Abscisse de KE :

$$x = L \left(1 - \frac{L^2}{40.R^2} \right) = 225 \text{ m.}$$

III.1.9.2.4.3. Origine de KE :

$$y = \frac{L^2}{6.R} = 5.27 \text{ m.}$$

III.1.9.2.4.4. Calcule de la tangente :

$$T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma}{2} \right) = 401.959 \text{ m.}$$

III.1.9.2.4.5. Calcul des Coordonnées SL :

$$SL = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{225^2 + 5.27^2} = 225.062 \text{ m.}$$

III.1.9.2.4.6. Calcul de σ :

$$\sigma = \operatorname{arctg} \left(\frac{Y}{X} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{5.27}{225} \right) = 1.342 \text{ gr.}$$

III.1.9.2.4.7. Calcul de l'arc :

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 20.457 - (4.84 \times 2) = 10.777 \text{ gr.}$$

$$\widehat{K_{E1}}\widehat{K_{E2}} = \frac{R \cdot \pi \cdot \alpha}{200} = \frac{1600 \times \pi \times 10.777}{200} = 270.718m.$$

III.1.9.2.4.8. Calcul coordonnées des points singuliers :

$$K_{A1} \begin{cases} X_{KA1} = X_{S0} - (S_0 S_1 - T) X \sin (G_{S0}^{S1} - 200) \\ Y_{KA1} = Y_{S0} - (S_0 S_1 - T) X \cos (G_{S0}^{S1} - 200) \end{cases}$$

$$K_{A1} \begin{cases} X_{KA1} = 866377.23 \text{ m} \\ Y_{KA1} = 10033359.2 \text{ m} \end{cases}$$

$$K_{E1} \begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} + S_L X \sin (G_{S0}^{S1} - \sigma) \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L X \cos (G_{S0}^{S1} - \sigma) \end{cases}$$

$$K_{E1} \begin{cases} X_{KE1} = 866371.85 \text{ m} \\ Y_{KE1} = 10033134.2 \text{ m} \end{cases}$$

$$K_{A2} \begin{cases} X_{KA2} = X_{KA1} + S_L X \sin (200 - G_{S0}^{S1}) \\ Y_{KA2} = Y_{KA1} + S_L X \cos (200 - G_{S0}^{S1}) \end{cases}$$

$$K_{A2} \begin{cases} X_{KA2} = 866808.56 \text{ (m)} \\ Y_{KA2} = 10022372.8 \text{ (m)} \end{cases}$$

$$K_{E2} \begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} - S_L X \sin (G_{S0}^{S1} + \sigma) \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} - S_L X \cos (G_{S0}^{S1} + \sigma) \end{cases}$$

$$K_{E2} \begin{cases} X_{KE2} = 866744.9 \text{ (m)} \\ Y_{KE2} = 10032588.7 \text{ (m)} \end{cases}$$

Les résultats de calcul d'axe sont joints en annexe

Note :

Dans ce tronçon l'axe de dédoublement est projeté du coté gauche de la chaussée existante.

Avec un TPC de 5 m.

Dans ce tronçon aucune intersection rencontrée sur toute la longueur du tronçon.

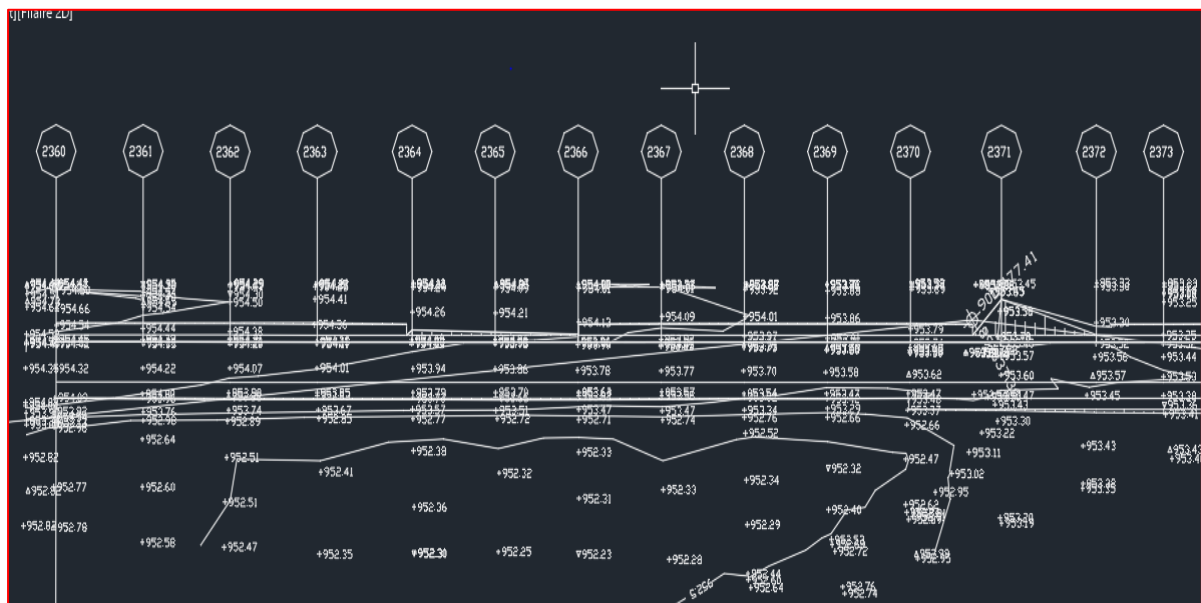


Figure III. 11 : Extrait du tracé en plan

III.2. Profil en long

III.2.1- Définition

Le profil en long se définit comme une coupe verticale le long de l'axe de la route, représentée sur un plan à une échelle donnée. Il peut également être décrit comme une élévation verticale suivant l'axe de la route, regroupant l'ensemble des points constituant cet axe. En général, il s'agit d'une succession de segments droits (rampes et pentes) reliés par des courbes circulaires. Pour chaque point du profil en long, il est nécessaire de déterminer :

- L'altitude du terrain naturel
- L'altitude du projet
- La déclivité du projet, etc.

III.2.2- Directives pour le traçage du profil en long

Respecter les valeurs des paramètres géométriques prescrites par les normes en vigueur :

- Éviter les angles entrants en déblai pour prévenir la stagnation de l'eau et garantir un bon écoulement.
- Un profil en long avec un léger remblai est préférable à un léger déblai, car ce dernier complique le drainage et isole la route du paysage environnant.
- Pour un bon écoulement de l'eau, placer les zones de dévers nul sur une pente du profil en long.
- Assurer un équilibre entre les volumes de remblais et de déblais dans les nouvelles sections du tracé.
- Éviter des hauteurs excessives en remblai.
- Garantir une coordination harmonieuse entre le tracé en plan et le profil en long ; la combinaison des alignements et des courbes dans le profil en long doit suivre des règles spécifiques.
- Éviter les lignes brisées composées de nombreux segments de pentes voisines ; les remplacer par un cercle unique ou par une combinaison de cercles et d'arcs à courbure progressive avec un grand rayon.
- Remplacer deux cercles contigus de même direction par un cercle unique.

- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage naturel.

III.2.3- Coordination du tracé en plan et du profil en long

Il est crucial de garantir une harmonisation adéquate entre le tracé horizontal et le profil vertical, tout en considérant l'implantation stratégique des points d'échange pour :

- Assurer une visibilité optimale de la route, dépassant les exigences de visibilité minimales.
- Permettre une anticipation précoce des modifications du tracé.
- Distinguer avec précision les configurations des points singuliers (intersections, échangeurs, etc.).
- Pour prévenir les erreurs dues à une coordination insuffisante entre le tracé horizontal et le profil vertical, il est impératif d'adopter les directives suivantes :
- Dans le cas où le profil vertical présente une convexité, il est nécessaire d'augmenter le déport lors de l'introduction d'une courbe horizontale.
- Initier la courbe horizontale avant d'atteindre un sommet.
- Quand le tracé horizontal et le profil vertical comportent des courbes simultanément.
- Il est préférable de synchroniser les raccordements du tracé horizontal avec ceux du profil vertical (en portant les rayons de raccordement vertical à un minimum de six fois le rayon horizontal).

III.2.4 – Déclivités

La pente d'une route est définie comme la tangente de l'angle formé par le profil longitudinal et l'horizontale. Elle est exprimée en pourcentage et diffère pour les descentes (pentes) et les montées (rampes).

III.2.4.1 - Déclivité minimale :

Sur un terrain plat, il est courant d'éviter une pente nulle afin de faciliter l'écoulement des eaux de pluie le long de la route et en bordure de chaussée. Les pentes longitudinales minimales généralement adoptées sont :

- Au moins 0,5 %, et de préférence 1 %, si possible.

- $I_{min} = 0,5 \%$ dans les longues sections en déblai : pour éviter que les structures d'évacuation des eaux ne soient trop profondes.
- $I_{min} = 0,5 \%$ dans les sections en remblai équipées de descentes d'eau.

III.2.4.2 – Déclivité maximale :

La pente maximale est acceptée, en particulier sur de courtes distances inférieures à 1500 m, en raison de :

- La réduction de la vitesse et l'augmentation conséquente des coûts de circulation (dans le cas de rampes maximales).
- L'effort de freinage important des poids lourds, entraînant une usure significative des pneumatiques (dans le cas de pentes maximales). Ainsi, la pente maximale dépend de :
- Les conditions d'adhérence.
- La vitesse minimale des poids lourds (PL).
- Les conditions économiques.

Tableau III. 4: valeur d' I_{max} Selon le B40.

VR Km/h	40	60	80	100	120	140
$I_{max} \%$	8	7	6	5	4	4

Pour notre cas la vitesse $VR=100 \text{ Km/h}$ donc la pente maximale $I_{max} = 5\%$.

III.2.5 – Transitions dans le profil longitudinal

Les variations de pente sont des éléments critiques dans le profil longitudinal. Ces transitions doivent être adoucies par des raccordements circulaires qui répondent aux exigences de visibilité et de confort.

Il existe deux catégories principales :

III.2.5.1- Raccordements convexes (avec un angle saillant) :

Les rayons minimaux acceptables pour les raccordements paraboliques en angle saillant sont calculés en tenant compte de la position de l'œil humain et des obstacles, ainsi que des distances d'arrêt et de la visibilité.

III.2.5.1.1. Critère de confort :

Cela implique de limiter l'accélération verticale subie par les véhicules lorsqu'ils traversent une section du profil longitudinal présentant une courbure convexe prononcée.

Limitation de l'accélération verticale :

$g/40$: pour C 1 -2 $g/30$: pour C 3- 4- 5

$$\frac{V_R^2}{RV} < \frac{g}{40}$$

$$RV_{min} = \begin{cases} 0.3 V_R^2 \text{ pour C 1 - 2} \\ 0.23 V_R^2 \text{ pour C (3 - 4 - 5)} \end{cases}$$

Pour : $g = 10 \text{ m/s}^2$

Dans notre cas :

$$RV_{min} = 0.3 V_R^2$$

Avec :

RV : rayon vertical (m).

V_R : Vitesse référence (km/h)

III.2.5.1.2. - Condition de visibilité :

Elle n'intervient que dans les raccordements des sommets des points hauts comme condition supplémentaire à celle de confort.

Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent se voir à une distance au moins double de la distance d'arrêt.

Le rayon de raccordement est donné par l'expression :

$$RV = \frac{d_0^2}{2} (h_0 + h_1 + 2\sqrt{h_0 \times h_1})$$

III.2.5.2- Raccordement concave (angle rentrant) :

Lors du raccordement aux points les plus bas, l'importance n'est pas accordée à la visibilité de jour. Cependant, il est crucial durant la nuit de vérifier que l'éclairage des phares est suffisant pour permettre au conducteur de repérer un obstacle à distance. La visibilité est assurée pour une portée qui respecte la relation requise.

$$R'V = \frac{d_0^2}{(1.5 + 0.035 \times d_0)}$$

Condition esthétique

Il est primordial de prévenir l'apparence sinusoïdale du profil longitudinal en modifiant la pente sur de courtes distances. Afin d'éviter cet effet, une distance minimale est requise ($b > 50$) pour un dévers inférieur à $d < 10\%$ (notamment pour les échangeurs spéciaux).

$$RV_{min} = 100 \times \frac{50}{\Delta d(\%)}$$

III.2.6 – Détermination pratique du profil en long

Dans les études de projets, nous assimilons à l'équation d'un cercle :

$$X^2 + Y^2 - 2RY = 0$$

A l'équation de la parabole

$$X^2 - 2RY = 0 \rightarrow \frac{X^2}{2R}$$

Pratiquement le calcul de raccordement se fait de la façon suivante :

- Le donnée les coordonnées (abscisse, altitude) les point A, D.
- La donnée la pente P_1 de la droite (AS).
- La donnée la pente P_2 de la droite (DS).
- La donnée le rayon R.

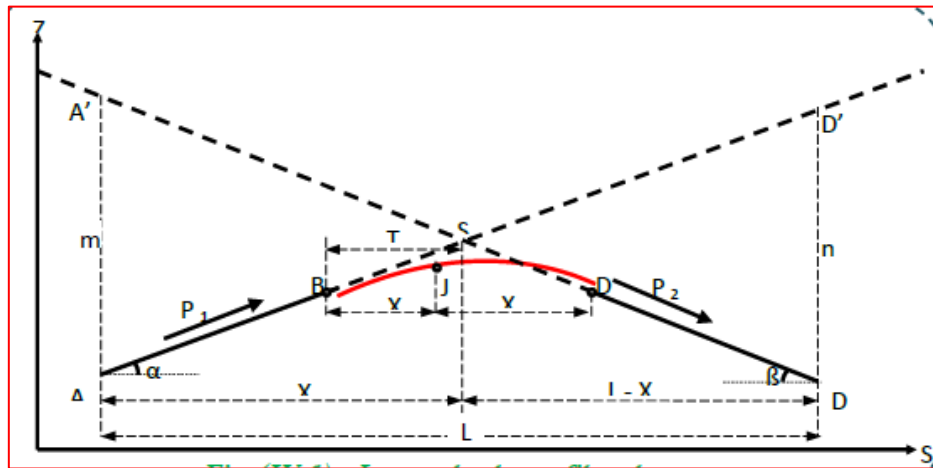


Figure III. 12: La courbe du profil en long.

II.2.6.1 Détermination de la position du point d'entente (s) :

Nous avons:

$$Z_{A'} = Z_D + L \cdot P_2 \quad , \quad m = Z_{A'} - Z_D$$

$$Z_{D'} = Z_A + L \cdot P_2 \quad , \quad n = Z_{D'} - Z_A$$

Les deux triangles (A'SA) et (SDD') sont semblables donc :

$$\frac{m}{n} = \frac{X}{(L-X)} \Rightarrow X = \frac{mL}{(n+m)}$$

$$S_S = S_A + X$$

$$Z_S = Z_A + X \cdot P_1$$

II.2.6.2 Calcul des points de tangente :

$$T = \frac{R}{2} (|P_1| \mp |P_2|)$$

- ✓ Nous appliquons un signe positif (+) quand les inclinaisons sont opposées.
- ✓ On prend (-) lorsque les deux pentes sont de même sens.
- ✓ La tangente (T) permet de position les pentes de tangente B et C.

$$B \begin{cases} S_B = S_S - T \\ Z_B = z_s - T \cdot P_1 \end{cases} \quad C \begin{cases} S_C = S_S - T \\ Z_C = z_s - T \cdot P_2 \end{cases}$$

II.2.6.3 Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (J) :

- Le point j est le point le plus élevé sur la tangente horizontale.

$$X_1 = R \times P_1$$

$$X_2 = R \times P_2$$

$$J \begin{cases} S_J = S_B - X_1 \\ Z_J = z_B + X_1 \times P_1 - X_1^2 (2R) \end{cases}$$

Lorsque les pentes sont orientées dans la même direction, le point j se situe hors de la ligne du projet et n'offre aucun intérêt particulier. En revanche, pour des pentes de directions opposées, identifier le point j s'avère pertinent, surtout pour l'assainissement dans les zones d'extraction. Le partage des eaux de ruissellement s'effectue à partir de ce point j, signifiant que les pentes des fossés se divisent en direction de j(A) et j(D).

III.2.7- Application au projet**III.2.7.1- Caractéristiques des rayons en long :**

Dans le cadre de notre projet, les paramètres géométriques relatifs au dessin de la ligne rouge sont présentés dans le tableau ci-après (conformément à la norme B40).

Tableau III. 5: Caractéristique des rayons verticaux.

Catégorie		C1
Environnement		E2
Vitesse (km/h)		100
Rayon en angle saillant	Route bidirectionnelle (2x2voies)	
RV 	Rvm2 (minimal absolu) en m	10000
	RVN2 (minimal normal) en m	20000
Rayon en angle rentrant	Route bidirectionnelle (2x2voies)	
RV 	Rvm2 (minimal absolu) en m	3000
	RVN2 (minimal normal) en m	4000
Déclivité maximale lmax (%)		5

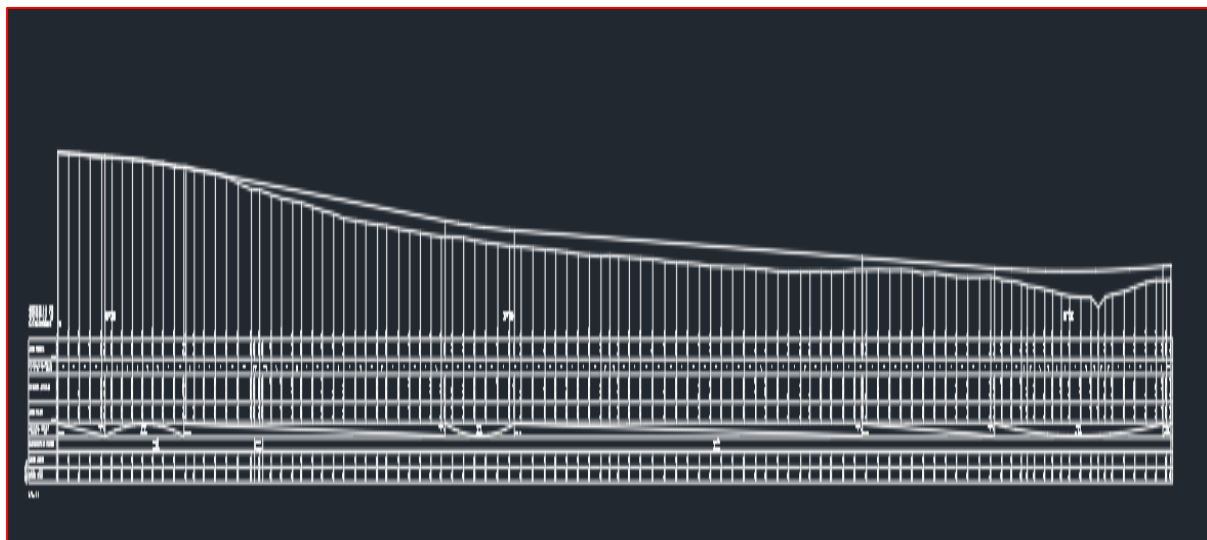


Figure III. 13: Extrait du Profil en long 1.

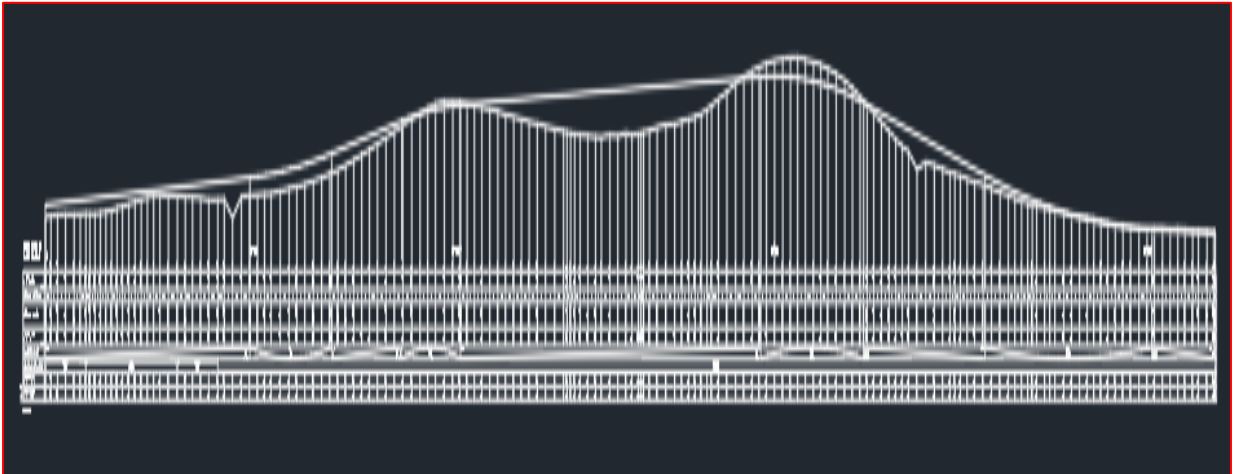


Figure III. 14: Extrait du Profil en long 2.

Chapitre III.3. PROFIL EN TRAVERS

III.3.1 – DÉFINITION:

Le profil en travers d'une chaussée est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route qui englobe l'ensemble des points définissant sa surface sur un plan vertical. Un projet routier comprend le dessin de nombreux profils en travers. Pour éviter de reporter sur chacun d'eux leurs dimensions, on établit d'abord un profil type appelé « Profil en travers type » qui contient toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, des chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et des talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux, etc.).

III.3.2 - DIFFERENTS TYPES DE PROFIL EN TRAVERS :

Lors de la conception d'un projet routier, l'ingénieur est tenu de concevoir deux types de profils transversaux, Dans une étude d'un projet de route l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers :

III.3.2.1 - Profil type en travers :

Ce profil intègre tous les composants de construction de la route envisagée pour toutes les configurations possibles (que ce soit en remblai, en déblai, en ligne droite ou en courbe).

III.3.2.2 - profil en travers courants :

Il s'agit de profils établis à intervalles réguliers en fonction de la topographie naturelle (qu'elle soit accidentée ou plane).

III.3.3 – Les éléments de composition du profil en travers

a) - Chaussée :

C'est l'espace aménagé pour la circulation habituelle des véhicules. La route peut comporter une seule voie de circulation ou des voies séparées par un terre-plein central.

b) - Largeur de roulement :

Elle inclut les élargissements de la voie, la voie elle-même et la bande d'urgence. L'élargissement structurel de la voie supporte le marquage latéral.

c) - Plateforme :

C'est la partie de la route située entre les fossés ou les sommets des talus de remblai, incluant une ou les deux voies de circulation et les bas-côtés, ainsi que les terre-pleins centraux et les bandes d'urgence si présents.

d) - Assiette :

C'est la surface du sol effectivement occupée par la route, délimitée par les pieds des talus en remblai et les crêtes des talus en déblai.

e) - L'emprise :

C'est la portion de terrain naturel appartenant à la collectivité, dédiée à la route et à ses infrastructures annexes, coïncidant généralement avec le domaine public.

f) - Accotements :

Ce sont les zones situées sur les côtés de la plateforme, en bordure externe de la voie de circulation, pouvant être au niveau du sol ou surélevées.

Ils comprennent généralement :

- ✓ Une bande de guidage.
- ✓ Une bande d'arrêt d'urgence.
- ✓ Un accotement extérieur.

g) - Terre-plein central :

Il s'étend entre les limites intérieures des voies de circulation et peut inclure :

- Les élargissements de la voie (bande de guidage).
- Une zone centrale pouvant être gazonnée, stabilisée ou pavée.

h) - Fossé :

C'est une structure hydraulique conçue pour collecter les eaux de ruissellement de la route et des talus, ainsi que les eaux pluviales.

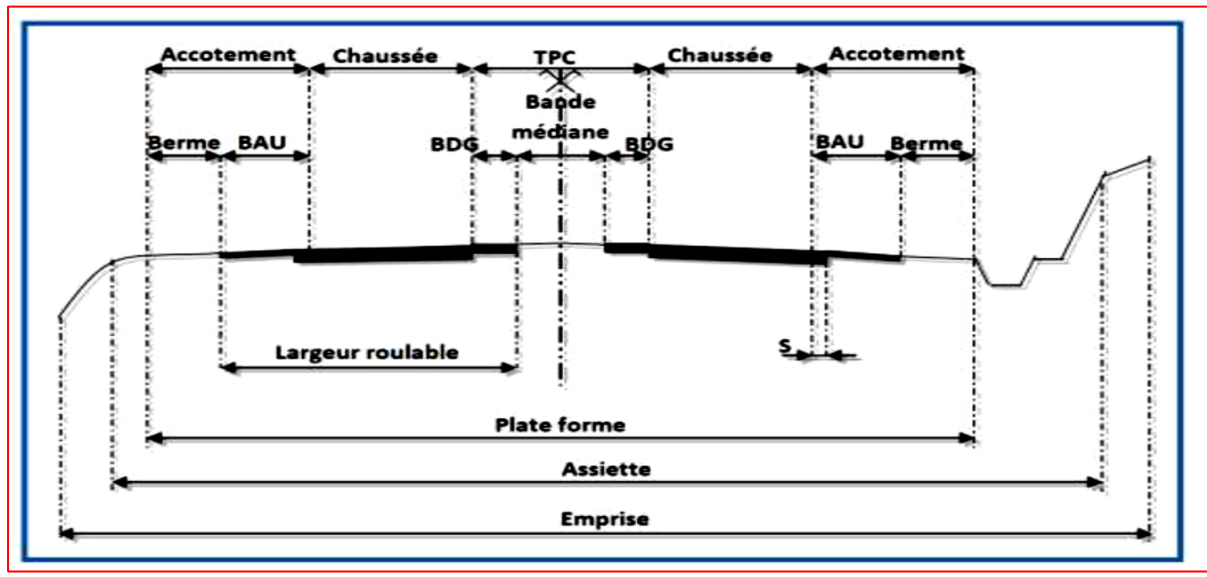


Figure III. 15: Le profil en travers.

Les composants suivants (Figure III. 15) doivent constituer le profil transversal :

T.P.C : Terre-Plein Central

B.A.U : Bande d'Arrêt d'Urgence

B.D.G : Bande Dérasée de Gauche

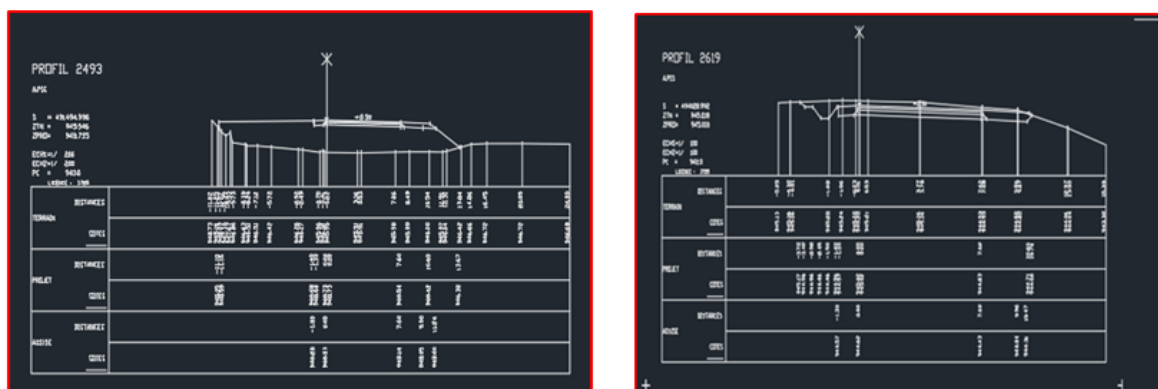


Figure III. 16 : Extrait du le profil en travers.

III.3. 4 – Application de projet

Le calcul s'effectue à l'aide de logiciel ((PISTE 5.05

***CHAPITRE IV : ETUDE
GEOTECHNIQUE ET
DIMENSIONNEMENT DU
CORPS DE CHAUSSEE***

Chapitre IV : Etude géotechnique et dimensionnement du corps de chaussée

IV.1. Etude géotechnique

IV.1.1- Introduction

La géotechnique routière est une discipline qui se penche sur les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui serviront de fondation pour la structure de la chaussée. Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures, soumises à l'effet des charges extérieures et intérieures.

Voici quelques points importants concernant la géotechnique routière :

Localisation des couches : L'étude géotechnique doit d'abord permettre de localiser les différentes couches du sol. Ces couches peuvent inclure le sol de surface, les couches de remblai, les couches de fondation, etc.

Caractéristiques mécaniques et physiques : Pour chaque couche identifiée, il est essentiel de recueillir des informations sur ses caractéristiques mécaniques et physiques. Cela inclut des propriétés telles que la résistance à la compression, la perméabilité, la densité, la plasticité, etc.

Reconnaissances géotechniques : L'exécution d'un projet routier nécessite une bonne connaissance des terrains traversés. Cela signifie qu'il est crucial de réaliser des reconnaissances géotechniques approfondies. Ces reconnaissances comprennent des études de sol, des essais en laboratoire et des investigations in situ.

Facteurs à prendre en compte : Lors de la conception d'une route, il est important de considérer les facteurs climatiques, les charges de trafic, les conditions du sol et les propriétés géotechniques. Par exemple, un sol argileux réagira différemment à un sol sableux en termes de portance et de stabilité.

En somme, la géotechnique routière joue un rôle essentiel dans la conception et la construction de routes sûres et durables. Elle permet de prendre des décisions éclairées en

matière de dimensionnement des couches de chaussée, de drainage, de stabilité et de sécurité.

IV.1.2- Les différents essais en laboratoire

Les essais réalisés en laboratoire pour les échantillons prélevés dans notre projet sont essentiels pour évaluer les propriétés mécaniques et physiques du sol. Voici quelques-uns des essais couramment effectués :

➤ Des essais mécaniques.

➤ Des essais d'identification.

✚ Les essais mécaniques :

✚ Essai PROCTOR et PROCTOR MODIFIÉ.

✚ Essai CBR imbibé.

✚ Les essais d'identification:

✚ Analyses chimiques sommaires.

✚ Analyse granulométrique.

✚ Limites d'Atterberg.

IV.1.2.1- Définitions des Essais D'identification :

IV.1.2.1.1 Analyses chimiques sommaires :

L'objectif des essais chimiques est de déterminer les différents pourcentages des composants suivants dans les matériaux du sol de support :

Insolubles : Les essais chimiques permettent d'évaluer la quantité d'éléments insolubles présents dans le sol. Ces éléments peuvent inclure des minéraux non solubles dans l'eau, des particules organiques et d'autres substances.

Gypse : Le gypse est un minéral soluble dans l'eau. Sa présence dans le sol peut affecter sa stabilité et sa capacité portante. Les essais chimiques permettent de mesurer la teneur en gypse.

Calcaire : Le calcaire est également soluble dans l'eau et peut être présent dans le sol. Il est important de connaître sa concentration, car il peut influencer la réaction chimique avec l'eau et la résistance du sol.

Chlorures : Les chlorures sont des ions présents dans certains minéraux et sels. Leur concentration peut varier en fonction de la composition du sol. Des niveaux élevés de chlorures peuvent avoir des effets néfastes sur les matériaux de construction et la corrosion des armatures métalliques.

Ces essais chimiques sont essentiels pour comprendre la composition du sol et prendre des décisions éclairées lors de la conception et de la construction de la route.

IV.1.2.1.2. Analyses granulométriques :

Les résultats des analyses granulométriques sont représentés par des courbes granulométriques. Ces courbes sont construites graphiquement et sont basées sur une série de tamis utilisés pour trier les particules du sol en fonction de leur taille.

Voici comment cela fonctionne :

Prélèvement d'échantillons : Tout d'abord, des échantillons de sol sont prélevés sur le site. Ces échantillons sont ensuite soumis à des essais de granulométrie.

Tamissage : Les échantillons sont passés à travers une série de tamis de différentes mailles (ou ouvertures). Chaque tamis retient les particules dont la taille est supérieure à sa maille. Les tamis sont empilés du plus gros au plus fin.



Figure IV. 1 : Figure d'Analyses granulométriques.

Pesée des fractions : Après le tamissage, les particules retenues par chaque tamis sont pesées. Cela permet de déterminer la proportion de chaque fraction granulométrique dans l'échantillon.

Construction de la courbe : En utilisant les données de poids et de taille des particules, on trace une courbe granulométrique. L'axe horizontal représente la taille des particules (généralement en micromètres ou millimètres), tandis que l'axe vertical représente la proportion de chaque fraction.

Interprétation : La courbe granulométrique permet de visualiser la distribution des tailles de particules dans le sol. Elle peut révéler si le sol est principalement composé de sable, de limon, d'argile ou d'une combinaison de ces éléments. Cette information est cruciale pour la conception des matériaux de chaussée, le drainage et la stabilité.

En somme, l'analyse granulométrique fournit des informations essentielles pour comprendre la composition du sol et adapter la conception de la route en conséquence.

IV.1.2.1.2.1.Principe d'essai :

L'essai de granulométrie est une procédure courante en géotechnique et en génie civil. Voici comment cela fonctionne en détail :

Prélèvement d'échantillons : Tout d'abord, des échantillons de sol sont prélevés sur le site. Ces échantillons sont ensuite soumis à des essais de granulométrie.

Tamissage : Les échantillons sont passés à travers une série de tamis de différentes mailles (ou ouvertures). Chaque tamis retient les particules dont la taille est supérieure à sa maille. Les tamis sont empilés du plus gros au plus fin.

Pesée des fractions : Après le tamissage, les particules retenues par chaque tamis sont pesées. Cela permet de déterminer la proportion de chaque fraction granulométrique dans l'échantillon.

Construction de la courbe : En utilisant les données de poids et de taille des particules, on trace une courbe granulométrique. L'axe horizontal représente la taille des particules (généralement en micromètres ou millimètres), tandis que l'axe vertical représente la proportion de chaque fraction.

Interprétation : La courbe granulométrique permet de visualiser la distribution des tailles de particules dans le sol. Elle peut révéler si le sol est principalement composé de sable, de limon, d'argile ou d'une combinaison de ces éléments. Cette information est cruciale pour la conception des matériaux de chaussée, le drainage et la stabilité.

IV.1.2.1.2.2.But de l'essai :

L'objectif de ce test est de déterminer la masse des différents composants d'un échantillon de sol (matériau), classés selon leur taille (galets, graviers, sable grossier, sable fin, limon et argile).

IV.1.2.1.2.3.Domaine d'utilisation:

Le domaine d'application de cette méthode est la classification granulométrique des sols, qui est essentielle pour déterminer leur adéquation à divers usages.

IV.1.2.1.3.Limites d'Atterberg :**IV.1.2.1.3.1.Limite de plasticité (Wp) :**

La limite de plasticité (Wp) est un indicateur qui décrit la transition d'un sol de l'état solide à l'état plastique. Cette valeur peut s'étendre de 0% à 100%, cependant, elle est habituellement moins de 40%.



Figure IV. 2 : Figure de Limites d'Atterberg.

IV.1.2.1.3.2.Limite de liquidité (WL) :

La limite de liquidité (WL) est définie comme le seuil où le sol passe de l'état plastique à l'état liquide. La teneur en eau (ω) est mesurée au moment où l'essai requiert un nombre spécifique de coups (N) pour s'écouler. L'indice de plasticité (IP) est calculé comme la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

ω : teneur en eau au moment de l'essai donnant n coups

N: nombre de coups

IP : L'indice de plasticité

$$WL = \omega (N/25)^{0.121}$$

$$IP = WL - WP$$

IV.1.2.1.3.3.Principe de l'essai :

L'évaluation des limites de liquidité (WL) et de plasticité (WP) fournit une estimation des caractéristiques du matériau analysé, facilitant sa classification à l'aide du diagramme de plasticité de Casa grande.

IV.1.2.1.3.4.But de l'essai :

Cet essai est conçu pour anticiper la réaction des sols lors des travaux de terrassement, notamment en réponse à la variation de la teneur en eau. Il est spécifiquement réalisé sur les particules fines du sol afin de caractériser les sols fins.

IV.1.2.1.3.5.Domaine d'application:

Cet essai est pertinent pour les sols fins utilisés lors des opérations de terrassement en génie civil, y compris pour les fondations de chaussées et les couches structurales

IV.1.2.2-Définitions des Essais

Mécaniques :

IV.1.2.2.1.Essai PROCTOR :

L'essai Proctor, qui est une méthode de compactage, se réalise avec l'utilisation d'un moule standard ou d'un moule modifié. Cela permet d'évaluer la densité maximale qu'un sol peut atteindre sous des conditions contrôlées de compactage.



Figure IV. 3 Essai PROCTOR

IV.1.2.2.1.1.Principe de l'essai :

L'essai Proctor vise à déterminer la densité sèche d'un sol en le disposant en trois couches successives dans un moule de volume défini, connu sous le nom de moule Proctor. Chaque couche est compactée à l'aide d'une dame Proctor. L'essai est effectué à plusieurs reprises, en modifiant la teneur en eau de l'échantillon à chaque fois, tout en maintenant constante l'énergie de compactage. Ce processus permet de déterminer la teneur en eau optimale qui confère au sol la meilleure capacité portante. Les particules de sol qui passent à travers un tamis de 5 mm sont celles qui sont compactées dans le moule Proctor.

IV.1.2.2.1.2.But de l'essai :

L'essai Proctor permet d'analyser l'impact du compactage sur un sol, c'est-à-dire la diminution de son volume par la réduction des espaces aériens, ainsi que l'influence de la teneur en eau. Il vise à déterminer la teneur en eau idéale et la densité sèche maximale pour obtenir un sol bien compacté avec une capacité portante satisfaisante.

IV.1.2.2.1.3.Domaine d'utilisation:

Cet essai est employé principalement dans les études de remblais pour les travaux de terrassement, notamment pour évaluer les sols destinés aux fondations, comme celles des routes et des pistes d'aérodromes. Il permet de déterminer les caractéristiques de compactage nécessaires pour assurer la stabilité et la solidité requises.

IV.1.2.2.2.Essai C.B.R (California Bearing Ration):

On réalise en général trois essais :

« CBR standard », « CBR immédiat », « CBR imbibé ».

On s'intéresse actuellement au « CBR imbibé ».

Figure IV. 4 : Figure de Essai C.B.R (California Bearing Ration)**IV.1.2.2.2.1.Principe de l'essai :**

L'essai consiste à compacter un échantillon de sol, prélevé sur le terrain, dans un moule standard à l'aide d'une dame standard. Le processus suit une procédure précise pour atteindre la teneur en eau optimale (selon le Proctor modifié), en appliquant trois niveaux d'énergie de compactage : 25 coups/couche, 55 coups/couche, et 10 coups/couche. L'échantillon est ensuite saturé pendant quatre heures ou quatre jours. Les particules de sol qui traversent un tamis de moins de 20 mm sont utilisées dans le moule CBR (California Bearing Ratio).

IV.1.2.2.2.2.But de l'essai :

L'objectif de l'essai est d'identifier la teneur en eau optimale pour un niveau de compactage spécifique, ce qui aide à évaluer la capacité portante du sol en mesurant sa résistance au poinçonnement. Cela permet de garantir que le sol a les propriétés nécessaires pour supporter les structures qui seront construites dessus.

IV.1.2.2.2.3.Domaine d'utilisation:

Cette épreuve sert à calibrer les structures routières et à diriger les opérations de terrassement

Les Résultats des essais :

À partir des échantillons collectés le long du projet, il est possible de déceler les informations ci-après

1- Encrouement calcaire

Ce matériau est alterné avec des couches de calcaire sur le plateau. Ses propriétés géotechniques sont les suivantes :

-  Un pourcentage des fines (<0.08 mm) allant de 16 % à 37 %.
-  Une indice de plasticité (IP : entre 7.92 et 23.84 %).
-  Analyse chimique :

- ✓ % d'insoluble : entre 8.7 et 46 %.
- ✓ % SO₃₂ : entre 00 et 7.75 %
- ✓ % CA CO₃ entre 45 et 82 %.

✚ Les caractéristiques mécaniques :

- ✓ $\gamma_d \text{ max} = 1.64 - 1.90 \text{ t/m}^3$.
- ✓ $W_{OPM} = 9.2 - 14\%$.
- ✓ CBR = 8.79 - 56.52 % (imbibé a 4 heures).

2- Sable limoneux :

Les prélèvements effectués sur cette formation géologique révèlent les caractéristiques géotechniques suivantes :

✚ Un pourcentage des fines (<0.08 mm) allant de 30 % à 50 %.

✚ Une indice de plasticité (IP : entre 11.16 et 18.45 %).

✚ Analyse chimique :

- ✓ % d'insoluble : entre 77 et 84 %.
- ✓ % SO₃₂ : 00.
- ✓ % CA CO₃ entre 02 et 16 %.

✚ Les caractéristiques mécaniques :

- ✓ $\gamma_d \text{ max} = 1.87 - 1.98 \text{ t/m}^3$.
- ✓ $W_{OPM} = 9.60 - 10.90 \%$.
- ✓ CBR = 4 - 8.20 % (imbibé à 4 heures) (faible).

3- Sol support rocheux (dalle calcaire) :

Aucun examen n'a été réalisé sur les strates calcaires, étant donné qu'elles constituent une excellente base pour la chaussée et ne requièrent pas de mesures spécifiques. Cependant, il est à noter que cette couche est particulièrement résistante et exige l'utilisation de machines robustes, telles que des brise-roches, pour les opérations de déblaiement.

Classification des matériaux :

D'après la classification R.T.R (Recommandations pour les Terrassements Routiers), les matériaux extraits des puits axiaux sont répartis dans les catégories suivantes :

Classe A : surtout la sous-classe A2

Classe B : surtout les sous-classes B5 et B6

Classe C : surtout la sous-classe C1

IV.1. 3 – Condition d'utilisation des sols remblais

Les matériaux utilisés pour les remblais doivent provenir des excavations ou des emprunts. Ils ne doivent pas contenir de :

-  Pierres de dimensions supérieures à 80 mm.
-  Matériaux plastiques avec un indice de plasticité (IP) supérieur à 20% ou de nature organique.
-  Matériaux susceptibles de geler.
-  Il est préférable d'éviter les sols riches en argile.

Les remblais doivent être nivelés et compactés avec soin sur la zone d'application.

Ils seront disposés en couches d'une épaisseur moyenne de 32 cm avant compactage. Chaque couche ne doit être mise en place et compactée que lorsque la couche inférieure a été contrôlée et validée après vérification de son compactage.

IV.1. 4 – Conclusion

L'analyse du sol destiné à accueillir le projet a révélé que les strates constituant la base de la route ne requièrent pas de mesures de précaution particulières. Globalement, la capacité de support est satisfaisante, la sensibilité à l'humidité est négligeable, et les travaux de terrassement ne nécessitent pas de ressources exceptionnelles.

IV.2.dimensionnement du corps de chaussée

IV.2.1 – Introduction

La qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. Une fois réalisée, la route doit résister aux agressions extérieures et aux surcharges d'exploitation, notamment celles causées par les essieux des véhicules, en particulier les poids lourds. Elle doit également faire face aux variations thermiques, à la pluie, à la neige, au verglas, etc. Pour cela, il est essentiel de garantir à la route non seulement de bonnes caractéristiques géométriques, mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de supporter toutes les charges pendant toute sa durée de vie.

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial. Elle dépend d'abord d'une bonne connaissance du sol de support et d'un choix judicieux des matériaux à utiliser. Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude. Il s'agit de choisir les matériaux nécessaires ayant les caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée. Tout cela doit être fait en tenant compte de paramètres fondamentaux tels que le trafic et l'environnement de la route (notamment le climat) ainsi que les propriétés du sol de support.

IV.2.2 - La chaussée

IV.2.2.1 - Définition

D'après la réalisation des terrassements, y compris la forme, la route commence à se profiler sur le terrain comme une plate-forme dont les déclivités sont semblables à celles du projet initial.

Ensuite, la chaussée doit remplir les fonctions suivantes :

- ✓ Supporter la circulation des véhicules de toute nature.
- ✓ Reporter le poids sur le terrain de fondation.

Pour remplir son rôle, qui est d'assurer une circulation rapide et confortable, la chaussée doit posséder une résistance adéquate et une surface uniforme en permanence.

D'un point de vue structurel, la chaussée est définie comme un ensemble de couches de matériaux superposées de manière à supporter les charges imposées par le trafic.

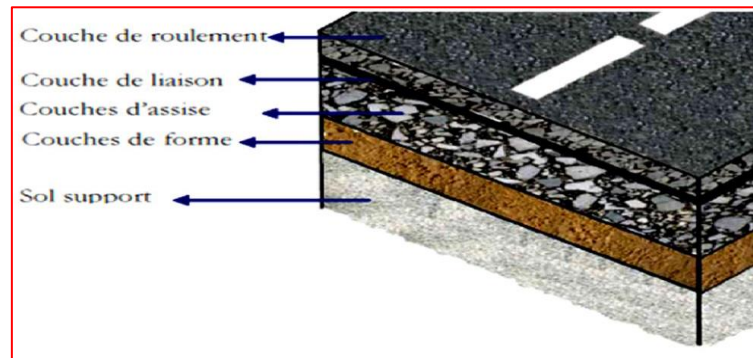


Figure IV. 5 : La constitution d'une chaussée.

IV.2.2.2 - Différents types de chaussées :

D'un point de vue constructif, les chaussées peuvent être regroupées en trois grandes catégories :

-  Chaussée souple.
-  Chaussée semi-rigide.
-  Chaussée rigide.

IV.2.2.2.1 - Chaussée souple(ou flexibles) :

Ces chaussées sont principalement constituées d'asphalte (ou de béton bitumineux). Elles sont flexibles et s'adaptent aux mouvements du sol. Les couches supérieures sont conçues pour résister aux charges de circulation et aux variations de température.

Les chaussées souples sont constituées de couches superposées de matériaux qui ne sont pas particulièrement résistants à la traction. En général, les couches supérieures sont plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures.

Pour garantir une qualité optimale et un confort idéal, la construction d'une chaussée nécessite généralement plusieurs couches de matériaux différents, chacune ayant un rôle bien défini et une épaisseur spécifique.

En principe, une chaussée peut être composée des quatre couches suivantes :

A La couche de roulement (ou couche de surface) :

C'est la couche supérieure qui est en contact direct avec les pneus des véhicules. Elle doit être résistante à l'usure, offrir une bonne adhérence et une surface régulière pour une conduite confortable.

La couche de roulement, également appelée chape, constitue la couche de surface de protection au-dessus de la couche de base. Elle doit être à la fois dure et imperméable, tout en assurant la rugosité, la sécurité et le confort des usagers.

La couche de roulement est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle encaisse les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.

Quant à la couche de liaison, elle joue un rôle transitoire entre les couches inférieures, qui sont plus rigides.

L'épaisseur de la couche de roulement varie généralement entre 5 et 8 cm.

B La couche de base :

Située sous la couche de roulement, elle répartit les charges du trafic sur une plus grande surface. Elle doit avoir une résistance mécanique suffisante pour supporter ces charges.

La couche de base joue un rôle essentiel dans toutes les chaussées. Elle résiste aux déformations permanentes causées par le trafic et reprend les efforts verticaux, répartissant ainsi les contraintes normales sur les couches sous-jacentes.

L'épaisseur de la couche de base varie entre 10 et 25 cm.

C La couche de fondation (ou couche de support) :

C'est la couche la plus profonde, en contact avec le sol naturel. Elle doit être stable et capable de supporter le poids de la chaussée ainsi que les charges du trafic. Constituée entièrement de matériaux non traités (en Algérie), remplit partiellement le rôle du sol de support. Elle permet l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic. Son objectif est d'assurer une surface uniforme et une portance adéquate pour la chaussée finie. En outre, elle joue un rôle similaire à celui de la couche de base.

D Couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe qui permet d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques et thermiques requises pour optimiser les différentes couches de la chaussée.

En d'autres termes, la couche de forme joue un rôle essentiel dans la préparation du lit de chaussée en ajustant les propriétés du matériau de base pour garantir la stabilité, la résistance et la durabilité de la chaussée.

L'épaisseur de la couche de forme est en général entre 40 et 70 cm.

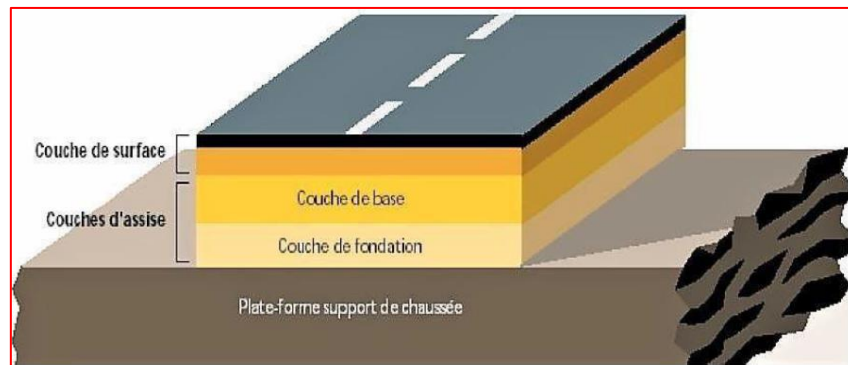


Figure IV. 6: La chaussée souple.

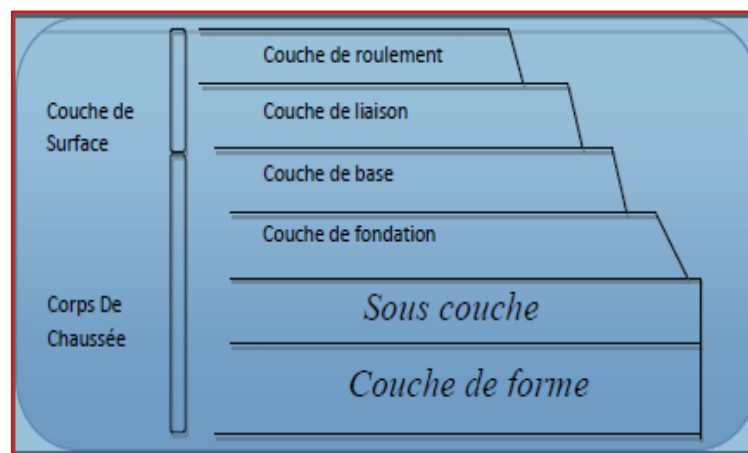


Figure IV. 7: Les éléments du tracé en plan.

IV.2.2.2.2 - Chaussée semi-rigide :

Ces chaussées combinent des caractéristiques des chaussées souples et rigides. Elles sont généralement composées d'une couche de béton hydraulique (béton de ciment) surmontée d'une couche d'asphalte. Elles offrent une bonne résistance tout en permettant une certaine flexibilité.

On distingue plusieurs types de chaussées en fonction de leur composition et de leur construction :

1. Chaussées avec couche de base traitée au liant hydraulique : Ces chaussées comportent une couche de base (parfois également une couche de fondation) qui est traitée avec un liant hydraulique tel que le ciment ou le granulat. Le liant hydraulique améliore la résistance et la stabilité de la couche de base.

2. Chaussées avec couche de roulement en enrobé hydrocarboné : La couche de roulement est constituée d'un enrobé hydrocarboné (asphalte). Parfois, elle repose sur une couche de

liaison, également en enrobé. L'épaisseur minimale de cette couche de roulement doit être de 15 mm

3. Chaussées expérimentales en Algérie : Ce type de chaussée n'existe actuellement qu'à titre expérimental en Algérie.

4. Chaussées avec couche de base ou couche de fondation en sable gypseux : Certaines chaussées sont construites avec une couche de base ou une couche de fondation composée de sable gypseux.

Chacun de ces types de chaussées a ses avantages et ses inconvénients, et le choix dépend des conditions locales, du trafic et des matériaux disponibles.

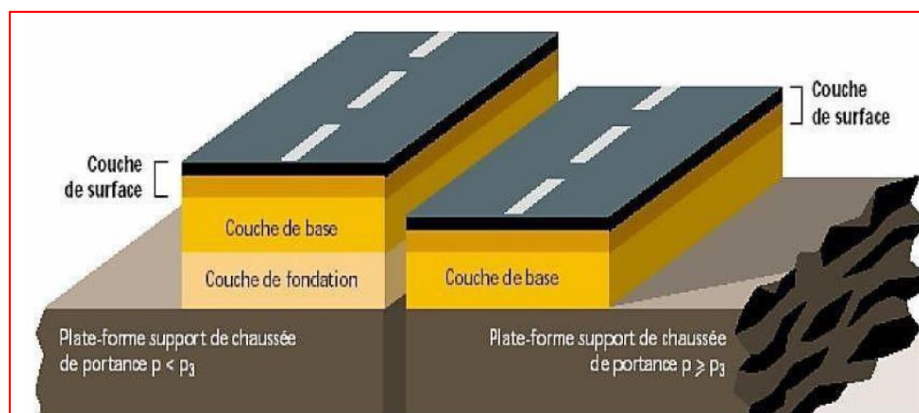


Figure IV. 8: Chaussée semi-rigide.

IV.2.2.2.3 - Chaussée rigide :

Ces chaussées sont principalement constituées de béton de ciment. Elles sont rigides et répartissent les charges de manière uniforme sur toute la surface. Les chaussées rigides sont durables mais nécessitent une construction plus complexe.

Les chaussées à dalles en béton correspondent à la couche de surface des chaussées souples. Ces dalles fléchissent élastiquement sous les charges et transmettent les efforts à distance, les répartissant ainsi sur une couche de fondation. Cette couche de fondation peut être constituée de grave stabilisée mécaniquement et peut être traitée avec des liants hydrocarbonés ou hydrauliques.

Il est important de noter que ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie, à l'exception des chaussées aéronautiques. (Figure IV.5).

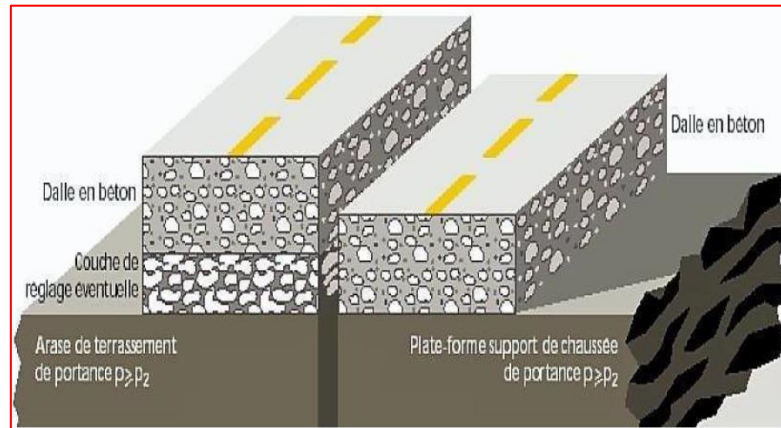


Figure IV. 9: Chaussée rigides.

Les différents types de chaussée sont groupés dans la figure IV.6 ci-dessous :

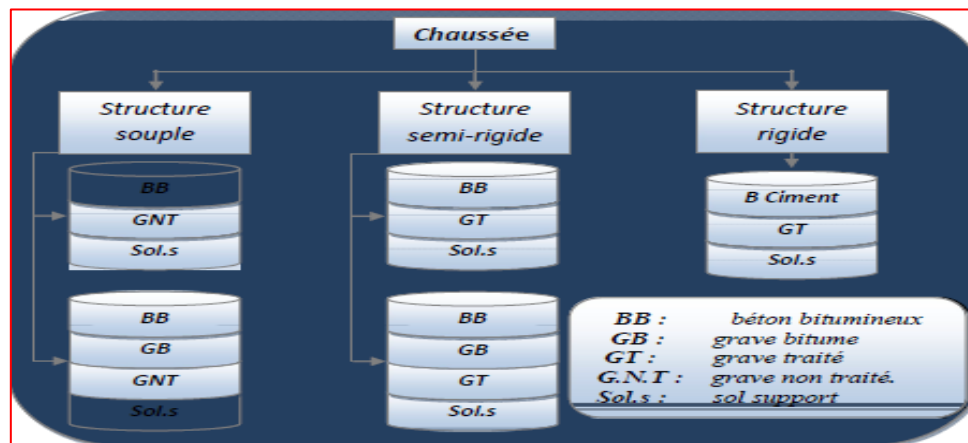


Figure IV. 10: types de chaussées.

IV.2.3 – Les différents facteurs pour les études de dimensionnement

Le nombre de couches, leurs épaisseurs et les matériaux utilisés sont conditionnés par plusieurs facteurs, parmi les plus importants :

IV.2.3.1 - Trafic :

Le volume et le type de trafic (véhicules légers, poids lourds, etc.) influencent les spécifications de la chaussée. Plus le trafic est intense, plus les couches doivent être robustes.

Le trafic de dimensionnement est principalement lié aux poids lourds (véhicules de plus de 3,5 tonnes). Il joue un rôle essentiel dans la conception des structures de chaussées

et dans le choix des caractéristiques intrinsèques des matériaux utilisés pour la construction des chaussées.

Il est nécessaire de caractériser le trafic en se basant sur deux paramètres :

1. Le trafic poids lourds à la mise en service (noté "T") : Ce paramètre résulte d'une étude de trafic et de comptages effectués sur les voies existantes. Il représente la charge imposée par les véhicules lourds sur la chaussée.

2. Le trafic cumulé sur la période considérée : Ce paramètre tient compte de l'ensemble du trafic pendant une période donnée. Il permet d'évaluer l'usure et la durabilité de la chaussée sur une période plus longue.

Ces caractéristiques de trafic sont essentielles pour concevoir des chaussées robustes et adaptées aux conditions spécifiques de chaque route.

Avec :

$$N = T.A.C$$

N : trafic cumulé.

A : facteur d'agressivité globale du trafic.

C : facteur de cumul :

Avec :

$$C = [(1 + \tau)^\rho - 1] / \tau.$$

\tau : Taux de croissance du trafic.

\rho : Nombre d'années de service (durée de vie) de la chaussée.

IV.2.3.2 - Environnement :

L'environnement : Le climat local (températures, précipitations, gel, etc.) a un impact sur la durabilité des matériaux. Par exemple, dans les régions froides, il est essentiel d'utiliser des matériaux résistants au gel.

Le climat et l'environnement ont une influence considérable sur la performance des chaussées en termes de résistance aux contraintes et aux déformations. Voici quelques points importants à prendre en compte :

- 1. Variation de la température :** Les fluctuations de température affectent le choix du liant hydrocarboné utilisé dans la construction des chaussées. Par exemple, dans les régions où les températures sont extrêmes, il est essentiel d'utiliser des matériaux résistants aux variations thermiques.
- 2. Précipitations et drainage :** Les précipitations et les conditions de drainage jouent un rôle crucial. Elles conditionnent la teneur en eau du sol de support. Un sol trop

humide peut compromettre la stabilité de la chaussée, tandis qu'un drainage efficace est essentiel pour éviter les problèmes d'infiltration d'eau.

- 3. Teneur en eau des sols :** La teneur en eau des sols détermine leurs propriétés mécaniques et influence également les caractéristiques des matériaux bitumineux utilisés dans la construction des couches de chaussée.

Il est donc essentiel de prendre en compte ces facteurs environnementaux lors du dimensionnement et de la conception des chaussées pour garantir leur durabilité et leur performance.

IV.2.3.3 - Le Sol Support :

La nature du sol sur lequel la chaussée est construite affecte les caractéristiques de la couche de base. Un sol plus faible nécessite une base plus solide.

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée. Cette plate-forme est constituée du sol naturel qui a été terrassé, éventuellement traité, et qui peut être surmonté d'une couche de forme si nécessaire.

La définition des plates-formes se fait en tenant compte de deux principaux facteurs :

- 1. La nature et l'état du sol :** Le type de sol et ses propriétés influencent la conception de la plate-forme. Certains sols nécessitent un traitement spécifique pour garantir la stabilité de la chaussée.
- 2. La nature et l'épaisseur de la couche de forme :** La couche de forme, qui peut être ajoutée au-dessus du sol naturel, joue un rôle essentiel dans la répartition des charges et la résistance de la chaussée.

Ces considérations sont essentielles pour assurer la durabilité et la performance des chaussées.

IV.2.3.4 - Matériaux :

Les matériaux utilisés doivent être capables de résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois, notamment en raison du passage fréquent de véhicules lourds.

IV.2.4 – Méthodes de dimensionnement

Il existe deux grandes familles de méthodes pour le dimensionnement des chaussées :

Méthode rationnelle : Cette approche utilise un modèle mécanique basé sur la structure de la chaussée pour déterminer les contraintes et les déformations. Elle est basée sur des principes scientifiques et de calcul.

Méthode empirique : Cette méthode repose sur l'observation du comportement réel des chaussées sous trafic (qu'il s'agisse de chaussées existantes ou d'essais expérimentaux). À partir de ces observations, des règles pratiques de dimensionnement sont déduites. Cette approche est plus pragmatique et repose sur l'expérience.

La méthode empirique elle-même comprend plusieurs sous-méthodes, chacune adaptée à des contextes spécifiques.

IV.2.4.1 - Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio):

Essai de poinçonnement : Cet essai est réalisé sur un échantillon du sol de support. On compacte les éprouvettes à un angle de 90° à 100° par rapport à l'optimum Proctor modifié.

Détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée : Pour un trafic en voiture particulier, l'épaisseur totale de la chaussée est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$TMJA \times 365 \times 1.5t < 100000t/an$$

- **TMJA** représente le trafic moyen journalier annuel (en nombre de véhicules).
- **365** est le nombre de jours dans une année.
- **1.5t** est la charge moyenne par essieu (en tonnes).
- **100000 t/an** est la limite de trafic annuel.

Si cette condition est satisfaite, l'épaisseur totale de la chaussée est considérée comme appropriée pour le trafic en question.

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (cm)$$

Pour un trafic en voiture particulière, l'épaisseur totale du corps de chaussée doit satisfaire à la condition suivante :

$$TMJA \times 365 \times 1.5t \geq 100000t/\text{an}$$

- **TMJA** représente le trafic moyen journalier annuel (en nombre de véhicules).
- **365** est le nombre de jours dans une année.
- **1.5t** est la charge moyenne par essieu (en tonnes).
- **100000 t/an** est la limite de trafic annuel.

Si cette condition est respectée, l'épaisseur totale de la chaussée est considérée comme appropriée pour le trafic en question.

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

Avec:

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

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$$e = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

Avec:

- *C1, C2, C3 : coefficients d'équivalence.*
- *e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.*

Coefficient d'équivalence :

Ces coefficients permettent de prendre en compte la résistance relative des différents matériaux dans le dimensionnement des chaussées.

Le tableau ci-dessous présente les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

Tableau IV. 1 : Les valeurs des coefficients d'équivalence

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave bitume	1.20 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60



Figure IV. 11: Revêtement : Béton bitumineux (BB).

IV.2.5 – Application au projet

IV.2.5.1 - Méthode de l'indice CBR :

IV.2.5.1.1 Données de l'étude :

- Le trafic à l'année 2023 $TJMA_{2023} = 12000$ v/j
- Le taux annuel d'augmentation du trafic, désigné par τ , est évalué à 4 %.
- Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 45$ %
- L'année de mise en service sera en 2024
- La durée de vie estimée de 20 ans

IV.2.5.1.2 Répartition de trafic :

- $TJMA_{2023} = 12000$ (V/j).
- $TJMA_{2023} = 6000$ (V/j/sens)
- $T_{PL2023} = 0,45 \times 6000 = 2700$ PL /j/sens
- $T_{PL2044} = (1 + \tau)^{20} \cdot PL_{2023} = (1 + 0,04)^{20} \times 2700 \approx 5916$ (PL/j/sens)

IV.2.5.1.3 Calcul d'épaisseur :

On a : C.B.R= 8 % La source de l'information est la Direction des Travaux Publics à Laghouat.

- $TMJA \times 365 \times 1.5t \geq 100000$ t/ans $\Rightarrow 12000 \times 365 \times 1.5 = 6570000$ (t/ans) > 100000 (t/ans)

$$\text{Donc : } e = \frac{100 + \sqrt{P} \left(75 + 50 \log \frac{N}{10} \right)}{I_{CBR} + 5} \Rightarrow e = \frac{100 + \sqrt{6.5} \left(75 + 50 \log \frac{5916}{10} \right)}{8 + 5} =$$

49.58 cm

L'épaisseur totale :

$$e = 49.58 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$e \text{ équivalente} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

IV.2.5.1.4. Epaisseur équivalente :

Pour dimensionner la structure de notre chaussée, nous devons résoudre l'équation suivante :

$$=a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 = 50 \text{ cm}$$

Pour résoudre l'équation précédente, on peut fixer deux épaisseurs et calculer la troisième. Voici comment procéder :

- ✓ Couche de roulement en béton bitumineux (B.B) : $a_1 \times e_1 = 8 \times 2 = 16 \text{ cm}$.
- ✓ Couche de base en grave bitume (G.B) : $a_2 \times e_2 = 12 \times 1.5 = 18 \text{ cm}$.
- ✓ Donc L'épaisseur de la couche de fondation e_3 en (GNT) est de : $a_3 \times e_3 = 20 \times 1 = 20 \text{ cm}$

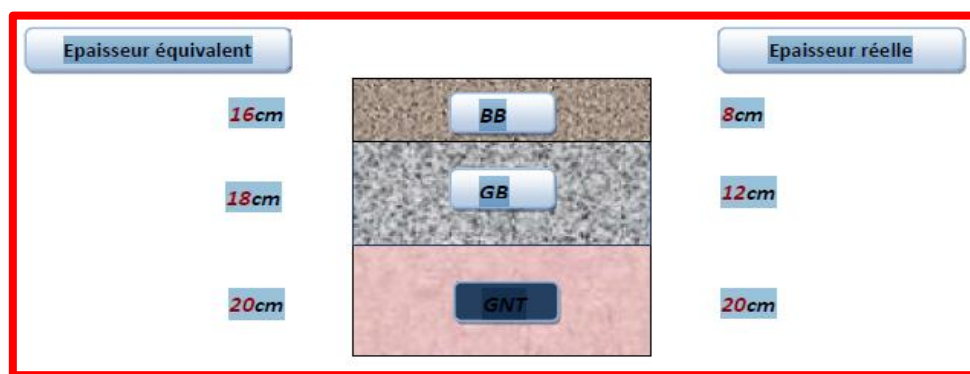


Figure IV. 12: La structure de chaussée I.

IV.2.5.2. Méthode de catalogue des chaussées Neuves (CTTP) :

Les paramètres utilisés dans la méthode du catalogue des chaussées sont essentiels pour la conception et la construction de routes. Voici une brève explication de chacun de ces paramètres :

IV.2.5.2.1. Détermination de la classe de trafic :

Réparation transversal de trafic

Chaussée unidirectionnel à deux voies : **90% DU TRAFIC PL** sur la voie lente de droit.

- ✓ $T_c = (5916 / 2) \times 0.9 = 2662.2$ $T_c \approx 2700 \text{ pl/j/sens}$
- ✓ Trafic poids lourds : **Tc est compris entre 1500 et 3000**
- ✓ Donc : la classe de trafic est : **TPL6**

IV.2.5.2.2. Détermination de la classe du sol :

- ✓ $I_{CBR} = 8 \rightarrow I_{CBR} (5 - 10)$
- ✓ Donc : Le sol est classé sur la classe S_3 .

D'après le catalogue des structures on trouve la structure suivante:

- ✓ Structure souple (s, fiche n°2) on a sol **S3 et trafic TPL6**
- ✓ on a besoin de faire une couche de forme de **40 cm** pour augmenter la portance de sol.

Tableau IV. 2: sur classement avec couche de forme en matériau non traité.

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

La route est classée dans la zone climatique III (Laghouat).

Dans votre situation, où la structure ne figure pas dans le catalogue des structures (fascicule 3 du catalogue algérien), vous pouvez utiliser la méthode du catalogue français. Cette méthode se base sur la nature de la plate-forme, les valeurs de portance du sol et le trafic. Voici ce que vous pouvez obtenir :

<i>Nature du sol support</i>	<i>Plat forme</i>	<i>TCi</i>	<i>structure</i>
Sable limoneux	PF2	TC6	8BB+14GB+14 GNT

- Revêtement : Béton bitumineux (BB) = 8 cm
- couche de base : Grave bitumineux (GB) = 14 cm
- Couche de fondation : Gravier non traité de (GNT) = 14 cm

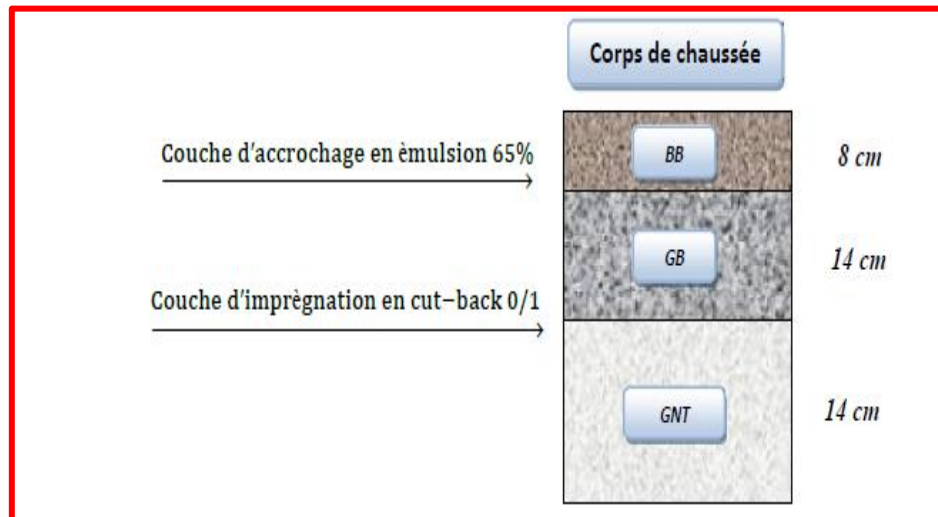


Figure IV. 13: La structure de chaussée II.

Résumé : L'application des deux méthodes nous donne les résultats suivants :

<i>Méthode</i>	<i>C.B.R</i>	<i>C.B.R Catalogue des structures</i>
Corps de chaussée	csée 8BB+12GB+20GNT	8BB+14GB+14GNT

Remarque :

Voici une reformulation de vos recommandations pour les travaux sur l'ancienne :

- **Fraisage des couches hydrocarbonées :**

Vous pouvez effectuer un fraisage des couches hydrocarbonées existantes sur une épaisseur de 12 cm. Le fraisage consiste à enlever la couche de revêtement existante pour préparer la surface.

- **Couche d'accrochage en émulsion cationique :**

Après le fraisage, il est recommandé de mettre en place une couche d'accrochage en utilisant une émulsion cationique. Cette couche favorise l'adhérence entre la nouvelle couche et la surface existante.

- **Couche de base en grave-bitume (GB) :**

Pour la base de la chaussée, vous pouvez mettre en œuvre une couche de base en grave-bitume d'une épaisseur de 12 cm. Le grave-bitume est un matériau composé de granulats et de liant bitumineux.

- **Nouvelle couche d'accrochage :**

Après la couche de base, appliquez une nouvelle couche d'accrochage en émulsion cationique pour assurer une bonne liaison avec la couche de roulement.

- **Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 :**

Enfin, pour la couche de roulement, utilisez un béton bitumineux 0/14 d'une épaisseur de 8 cm. Ce matériau offre une surface lisse et durable pour la circulation des véhicules.

IV.2.6 - Conclusion :

En fonction des résultats obtenus par les deux méthodes, nous choisissons d'adopter, pour l'ensemble des travaux neufs, les épaisseurs déterminées par la méthode CBR, principalement pour des raisons économiques. Cette approche permet d'optimiser les coûts tout en garantissant la stabilité et la durabilité des chaussées :

- Couche de roulement (BB) de 8 cm.
- Couche de base (GB) de 12 cm.
- couche de fondation en (GNT) de 20 cm.

Chapitre V.
Calcul des
cubatures et
assainissement

Chapitre V. Calcul des cubatures et assainissement

V.1. Calcul des cubatures

V.1.1- Introduction

Les volumes de terrassement représentent l'évolution des volumes de matériaux excavés nécessaires au projet pour créer une surface régulière et parallèle à la ligne de projet sous-jacente. Les éléments facilitant cette évolution sont :

- ✓ les profils longitudinaux,
- ✓ les profils transversaux,
- ✓ Les intervalles séparant chaque profil.

Il est essentiel que les profils longitudinaux et transversaux comportent un nombre de points suffisamment rapprochés pour que les lignes reliant ces points s'écartent le moins possible du relief naturel du terrain représenté.

V.1.2. – Cubatures des terrassements

Le terme cubage désigne le calcul des volumes de terre à excaver et à remblayer afin de respecter les profils prédéfinis en plan et en élévation, et ainsi établir le métré des travaux. Puisque notre terre est réutilisable, nous visons un équilibre entre les volumes à excaver et à remblayer. Un calcul exact est pratiquement impossible en raison de l'irrégularité des surfaces.

V.1.3 - Méthode utilisée :

Pour le calcul des volumes, diverses techniques existent. Nous privilégions la méthode des aires moyennes, reconnue pour sa simplicité. Cependant, elle a le désavantage de produire des estimations imprécises. Afin de se rapprocher d'une exactitude, il est conseillé d'augmenter les volumes calculés de 10 %. Cette majoration vise à garantir une marge de sécurité dans nos résultats.

V.1.3.1 - Description de la Méthode :

En appliquant la formule qui détermine le volume situé entre deux profils consécutifs,

Où 'h' représente la hauteur entre les profils, 'S1' et 'S2' les hauteurs des profils respectifs, et 'S0' la surface délimitée à mi-distance entre les profils, comme illustré dans la figure suivante pour des profils longitudinaux d'un parcours spécifié.

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

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

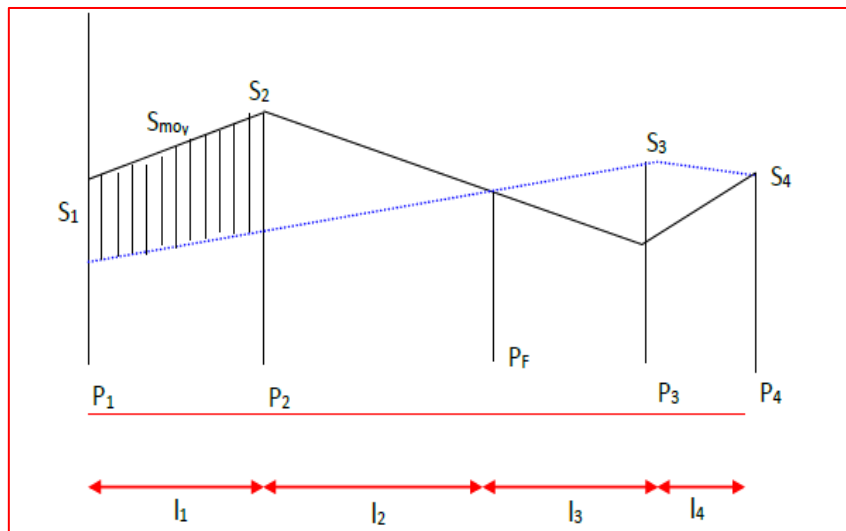


Figure V.1: Profil adopté pour tracé en long.

Le volume contenu entre les profils transversaux P1 et P2, ayant respectivement des sections S1 et S2, est calculé comme suit :

$$V = \frac{l_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_{moy})$$

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions S_{moy} et $\frac{(S_1+S_2)}{2}$

$$\text{Ceci donne : } V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

Les volumes calculés seront les suivants :

$$\text{Entre } P_1 \text{ et } P_2 \quad V_1 = \frac{1_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

$$\text{Entre } P_2 \text{ et } P_F \quad V_2 = \frac{1_2}{2} \times (S_2 + 0)$$

$$\text{Entre } P_F \text{ et } P_3 \quad V_3 = \frac{1_3}{2} \times (0 + S_3)$$

En procédant à l'addition terme à terme de ces expressions, nous obtenons le volume total des déblais.

$$V = \frac{1_1}{2} \times S_1 + \frac{1_1+1_2}{2} \times S_2 + \frac{1_2+1_3}{2} \times 0 + \frac{1_3+1_4}{2} \times S_3 + \frac{1_4}{2} \times S_4$$

L'intérêt de positionner les profils PF est qu'ils compensent, d'une certaine manière, une portion de la longueur du profil longitudinal, en résultant un volume nul.

Longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

V.1.4 - Méthode classique

Cette approche se divise en deux sous-méthodes distinctes pour le calcul des volumes. La première, connue sous le nom de méthode de GULDEN, consiste à multiplier les quantités des profils par la longueur d'application située au centre de gravité, en tenant compte de la courbure du profil. En revanche, la seconde méthode traditionnelle multiplie les quantités des profils par la longueur d'application centrée sur l'axe, sans considérer la courbure.

Dans notre processus automatisé de calcul des courbures avec le logiciel Piste 5.05, nous avons opté pour la méthode de GULDEN. Vous trouverez les détails des résultats en annexe. Cependant, voici les résultats finaux des volumes de déblais et de remblais :

- ✓ Volume de déblais : VD=17569 m3
- ✓ Volume de remblai : VR=70787 m3

Dans ce projet, le résultat du remblayage est supérieur à celui de l'excavation car il y a un ajustement en hauteur en fonction de la nouvelle route, (mise à niveau de la route)

V.1.5 -Conclusion

Dans cette partie d'étude, on s'est essentiellement intéressé à l'étude géométrique du tronçon de la route sur la base des normes du B40. Tous les calculs relatifs au tracé en plan, au profil en long et aux profils en travers ont été vérifiés à ceux obtenus à l'aide des logiciels de Covadis (PISTE 5.05) et d'AUTOCAD.

V.2. Assainissement

V.2.1 – Introduction

L'assainissement des routes est un élément clé dans la planification, la construction et la gestion des infrastructures linéaires. L'eau représente le principal danger pour les routes, car elle entraîne de nombreux problèmes complexes affectant la surface de la route. Cela compromet la sécurité des usagers (glissades, inondations, réduction de la visibilité, éclaboussures de gravillons dues à l'érosion des couches superficielles, etc.) et a un impact sur la durabilité de la route en réduisant la capacité portante des sols de fondation. Les différents types de dégradations causées par l'eau se manifestent de la manière suivante :

V.2.1.1- Pour les chaussées:

1. **Affaissement** : cela se produit lorsque de l'eau s'infiltre dans le corps de la chaussée, entraînant un tassement du sol.
2. **Dés enrobage** : c'est le processus par lequel les agrégats se détachent de la liaison bitumineuse, souvent dû à l'action de l'eau.
3. **Nid-de-poule** : formé suite au gel et au dégel, aggravé par une forte présence d'eau dans la chaussée et un trafic routier intense.
4. **Décollement des bords** : érosion des côtés de la chaussée, souvent causée par le ruissellement des eaux qui affouille les flancs.

Ces phénomènes sont des indicateurs de problèmes d'assainissement et nécessitent une attention particulière lors de la conception et de l'entretien des routes pour assurer leur longévité et la sécurité des usagers.

V.2.1.2- Pour les talus :

1. **Glissement** : Mouvement de terrain causé par la déstabilisation du sol, souvent aggravé par la saturation en eau.
2. **Érosion** : Détérioration et transport du sol ou de la roche sous l'effet de l'eau courante.
3. **Affouillements au pied des talus** : Érosion à la base des pentes, résultant souvent du ruissellement de l'eau.

Les études hydrauliques recensent les cours d'eau existants et, de manière plus générale, les flux d'eau en surface. Elles évalueront par la suite l'impact du projet sur ces flux et identifieront les dispositifs nécessaires pour préserver ces écoulements. Ces études sont essentielles pour assurer la gestion de l'eau et prévenir les problèmes d'assainissement et de stabilité des infrastructures routières.

V.2.2 – Objectif de l'assainissement

L'assainissement des routes a pour objectifs essentiels :

- ✓ Garantir une évacuation rapide des eaux de pluie et des eaux ruisselant sur le revêtement pour prévenir les risques d'aquaplanage.
- ✓ Conserver de bonnes conditions de viabilité pour assurer une circulation sécuritaire.
- ✓ Diminuer les coûts d'entretien en prévenant les dégradations prématurées.
- ✓ Éviter les problèmes d'érosion qui peuvent endommager la structure de la route.
- ✓ Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers la structure de la chaussée, évitant le ramollissement du sol sous-jacent et les dommages dus au gel.
- ✓ Permettre l'écoulement des eaux infiltrant le terrain en amont de la plate-forme, réduisant ainsi l'affaiblissement de la structure et les effets néfastes du gel.
- ✓ Ces mesures sont cruciales pour la durabilité et la sécurité des infrastructures routières.

V.2.3 – Assainissement de la chaussée

La sélection des points de déversement influence la conception d'ouvrages tels que les dalots, ponceaux et ponts, qui dépendent du débit de crue calculé selon des critères uniformes. Les structures les plus fréquemment utilisées sous la chaussée pour drainer les faibles débits sont les dalots et les buses circulaires.

On distingue deux grandes catégories d'ouvrages pour la gestion des eaux :

- Les réseaux de canalisations longitudinaux : comprenant les fossés, les cuvettes et les caniveaux.
- Les ouvrages transversaux et de raccordement : tels que les regards, les descentes d'eau, les têtes de collecteurs et les dalots.

Les systèmes d'assainissement doivent être élaborés dans l'optique de purifier la chaussée et la zone d'emprise de la route de la manière la plus efficace et économique possible.

V.2..3.1. Fossé de pied du talus de déblai :

Les fossés conçus au pied des talus de déblai visent à assurer le drainage de la plate-forme et des pentes vers les points de sortie.

Ces fossés, de forme trapézoïdale et constitués de terre, seront consolidés par du béton si la pente longitudinale excède 3 % pour garantir une meilleure stabilité et efficacité du drainage.

V.2..3.2. Fossé de crête de déblai :

Ce genre de fossé, systématiquement construit en béton, est conçu pour les terrains dont la crête naturelle est inclinée vers la voie de circulation. Son objectif est de sauvegarder les talus de déblai contre l'érosion provoquée par le ruissellement des eaux pluviales et de prévenir l'arrivée de ces eaux sur la plate-forme routière.

V.2..3.3. Fossé de pied de talus de remblai :

Les fossés, qu'ils soient en terre ou en béton, dépendent de la vitesse d'écoulement des eaux. Ils sont conçus pour être situés là où les pentes des terrains avoisinants dirigent l'eau vers la plate-forme. Leur rôle est également de canaliser les eaux de ruissellement de la chaussée, notamment dans les zones en remblai, via des systèmes de descente d'eau.

V.2..3.4. Drain :

Le drainage sous la chaussée est réalisé grâce à une tranchée de drainage qui suit le tracé de l'autoroute. Ce système de drainage est composé d'un matériau granulaire, au centre duquel se trouve un tuyau circulaire en plastique perforé sur sa partie supérieure, d'un diamètre de 150 mm. Ce dispositif est installé sous le fossé en forme trapézoïdale et à la limite des accotements.

Les eaux captées par ce drain sont ensuite dirigées vers des chambres de visite pour le drainage, avant d'être finalement évacuées vers les points de rejet prévus.

V.2..3.5. Descentes d'eau :

Sur les tronçons d'autoroute construits en remblai, des systèmes de descente d'eau sont installés pour gérer les eaux de ruissellement lorsque la hauteur du remblai excède 2,50 mètres. Ces dispositifs sont généralement positionnés à intervalles réguliers de 50 mètres si la pente longitudinale est supérieure à 1%. En revanche, si la pente est inférieure à

1%, l'espacement entre les descentes d'eau varie de 30 à 40 mètres pour assurer une évacuation efficace.

V.2.4 – Définitions des termes hydraulique:

a. Bassin versant:

Il s'agit d'une zone géographique délimitée par les lignes de faite ou les lignes de partage des eaux. C'est l'étendue complète du territoire qui peut recevoir naturellement les eaux de pluie, nécessitant ainsi un système de canalisation vers un point bas spécifique (l'exutoire).

b. Collecteur principal (canalisation) :

Il s'agit du canal principal qui collecte les eaux des canalisations secondaires, également connues sous le nom de collecteurs secondaires, et qui capte directement les eaux de surface ou les eaux souterraines. Ce système est essentiel pour centraliser la gestion des eaux dans une infrastructure d'assainissement.

c. Chambre de visite (cheminée) :

Il s'agit d'une structure installée sur les réseaux de canalisations pour en faciliter l'inspection et le nettoyage. Des chambres de visite doivent être mises en place là où il y a des changements de diamètre, de direction ou de pente des canalisations, ainsi qu'aux jonctions de deux collecteurs.

Afin de simplifier la maintenance des canalisations, il est recommandé que la distance entre deux chambres de visite successives ne dépasse pas 80 à 100 mètres.

d. Sacs :

Il s'agit d'une installation mise en place sur les réseaux de canalisations pour faciliter l'acheminement des eaux de surface. Ces dispositifs sont souvent pourvus d'un piège à débris conçu pour retenir les matières solides susceptibles d'être emportées par les eaux de ruissellement.

e. Fossés de crêtes :

Il s'agit d'un dispositif conçu pour protéger le sol contre l'érosion pendant les précipitations.

f. Décante d'eau :

Elle évacue l'eau accumulée dans les fossés des crêtes.

g. Les regards :

Ils comprennent un puits vertical doté d'un couvercle en fonte ou en béton armé, qui assure plusieurs fonctions pour le réseau telles que le raccordement des tuyauteries, la ventilation, la maintenance, et qui est également conçu pour résister aux charges de circulation et à la pression latérale du sol.

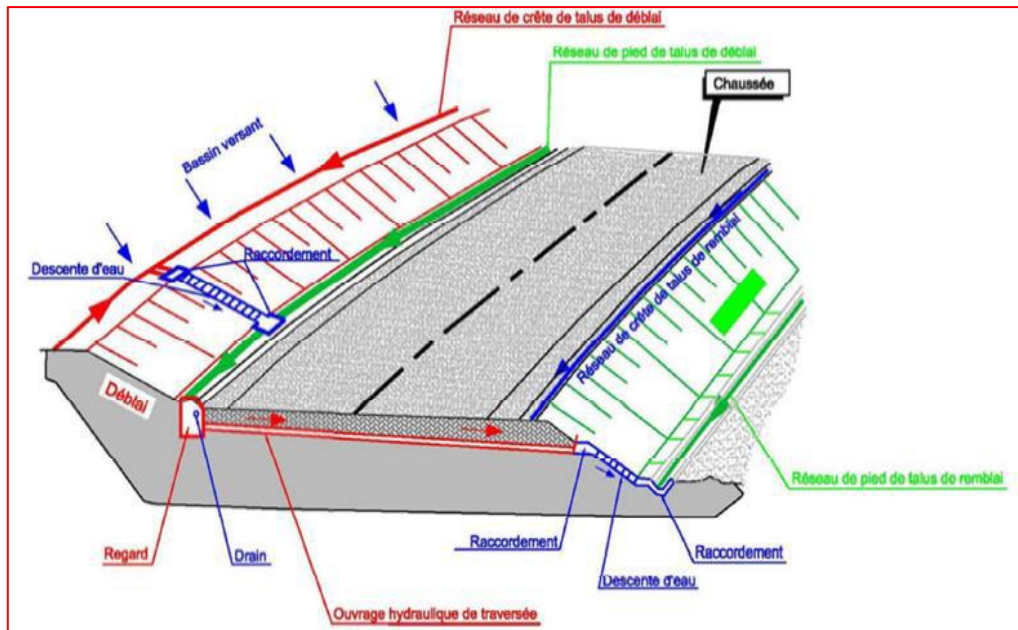


Figure V. 2 : Assainissement de la plate-forme.

V.2.5 – Application de notre projet

Dans l'ancienne route, les structures d'assainissement comprennent :

- Des passages à gué.
- Des passages canalisés.

Pour le nouveau projet, il est proposé de conserver la même méthode de construction, en particulier dans la zone de chebka (côté sud, emplacement du projet). Il est envisageable de concevoir des structures de type pont-cadre avec plusieurs travées dans les zones basses, tout en maintenant les passages à gué pour les traversées à fond plat.

En ce qui concerne l'assainissement transversal de la nouvelle structure (deux voies distinctes), nous avons prévu :

- D'étendre les structures existantes sous le terre-plein central et sous les nouvelles voies sur une longueur de 10 mètres.

Pour l'assainissement longitudinal de la nouvelle route à double voie, nous avons envisagé :

- Des fossés trapézoïdaux en terre et en béton légèrement armé, orientés vers les collecteurs situés sur les bas-côtés, afin de faciliter l'écoulement des eaux vers les structures d'assainissement.



Figure V. 3 : Figure Les buses.

.Tableau V. 1 : Les ouvrages d'assainissement existants .

PK	TYPE	DEMONSION	PROPOSITION
PK	Ouvrage d'art	2Ø1000	<i>Prolongement +curage+ construction des têtes des buses</i>
Profil 2457	buse		
PK	Ouvrage d'art	2Ø1000	//
Profil 2493	buse		
PK	Ouvrage d'art	1Ø1000	<i>Prolongement</i>
Profil 2585	Dalot		

Conclusion

générale

Conclusion générale

Pour nous, le projet final est une première expérience de vie professionnelle. Au cours de ce travail, nous avons apprécié l'importance des cours théoriques que nous avons suivis lors de notre cursus universitaire à l'Université Ammar Tliji de Laghouat dans le secteur des travaux publics, option routes et ouvrages d'art, avec les techniques de chantier, et de confronter les problèmes que l'on pourrait rencontrer dans cette région. Dans notre démarche d'étude, nous avons évité au maximum les contraintes existantes, à savoir la propriété privée, garantissant le confort et la sécurité des usagers ainsi que l'économie et l'environnement. En effet, notre étude est représentée dans le projet de préparation de la route nationale n°01, Laghouat-Ghardaia, à une distance de 5 km 400 entre le PK 488+600 et le PK 494+000, et ce projet a eu l'occasion d'appliquer les connaissances .

La théorie acquise au cours de la formation pour réduire les embouteillages qui Soumis à cette section de la RN1.

Cette étude a permis de rechercher des solutions à tous les problèmes techniques pouvant survenir. Présent lors de l'étude du projet routier. C'était l'occasion pour nous de bénéficier de l'expertise de personnes dans ce domaine. D'autre part, apprendre une méthodologie rationnelle qui doit être suivie pour développer un projet travaux publics.

De plus, cette étude a commencé par définir une géométrie capable d'accueillir et de supporter le trafic actuel et futur ce qui nous a donné une étude de mesure de la carrosserie qui a permis de calculer l'épaisseur des différentes couches et les résultats ont été les suivants :

-  Couche de roulement (BB) de 8 cm.
-  Couche de base (GB) de 12 cm.
-  couche de fondation en (GNT) de 20 cm.

Une étude d'ingénierie nous a permis d'obtenir de nombreuses informations à l'aide de utilisé les logiciels " piste (version 5.05)", "COVADIS version 16.0" et "AutoCAD 2018", et une bonne maîtrise de Word et Excel.

***Reference
bibliographique***

Reference bibliographique

Ouvrages :

1. Etude d'impact sur l'environnement dédoublement de la RNO1 sur 108KM GLADTP DE LA WILAYA DE LAGHOUAT, S.ET.Sétif: Système de Management de la Qualité (SMO) Certifié ISO 9001:2008
2. Etude géotechnique projet: dédoublement de la RN 01 sud du PK 417 AU PK 520 CLIENT: DTP LAGHOUAT UNITE GHARDAIA, N° de dossier: D/12/006/2011 , JUIN 2011,
3. Etude du dédoublement de la RNO1 SUR 108 KMS DU PK 412+000 AU PK 520+000, RAPPORT TECHNIQUE PHASE: APD,
4. Etude du dédoublement de la RN 01 ENTRE BLIDA-LAGHOUAT SUR 108 KM DU PK: 412+000 AU PK: 520+000, RAPPORT HYDROLOGIQUE ET HYDROLOQUE,
5. K.boukricha mohamed Amine, « ÉTUDE D'UN TRONÇON DE ROUTE « LAGHOUAT-AFLOU » DÉDOUBLEMENT DE LA RN23 (DU PK 285 AU PK 290 », Pour l'obtention du diplôme d'INGENIEUR.
6. M. Mohammed et O.AbdEllatif, « Etude d'un tronçon de dédoublement de la RN 01 entre le commun Bouzbayar et le cheffe lieu de Laghouat (du PK 516 au PK 522) Mémoire De FIN D'étude Pour l'obtention du diplôme de Master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2016.
7. LCPC - SETRA, Guide Technique de l'Assainissement Routier. SETRA, 2006.
8. LCPC -SETRA, Guide Technique de l'Assainissement Routier et protection de la ressource en eau. 2009.
9. Aménagement des routes principales (ARP).
- 10.B40 et B41 (Normes techniques d'aménagement des routes et trafic et capacité 1972).

- 11.**Fascicule 3 du catalogue algérien.
- 12.**Anciennes mémoires de fin d'étude (Etude de dédoublement de la RN 79 entre l'intersection des QUTRE chemins d'Ain el Bey et l'intersection d'El Guerrah sur 16KM écrire par MESMARI Abderrazak et BELHOUT Messaoud 2011).
- 13.**SETS (Société d'études technique Sétif).

Autres :

1. Aides mémoire Routes.
2. Wikipidia

Logiciels utilisés :

1. Autocad 2018
2. COVADIS version 16.0.
3. Autopiste, piste (version 5.05)",
4. Google Earth pro

ANNEXES

Annexes

ANNEXE 01 : Etude géotechnique

Le tableau suivant présente la description des terrains et la nature des sols supports rencontrés pour chaque section de la route étudiée :

<i>DU PK AU PK</i>	<i>Description</i>	<i>Nature de sol support</i>	<i>Observation</i>
Pk488+600 au pk490+000	Route traverse un terrain plat	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	
Pk490+000 au pk490+100	Route traverse une cour d'eau	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	
Pk490+100 au pk490+500	Route traverse un terrain plat	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	
Pk490+500 au pk491+100	Route traverse un terrain plat	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	
Pk491+100	Une bretelle vers la station de compression du Gaz	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	
Pk491+100 au pk492+300	Route traverse un terrain plat	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable	
Pk492+300 au Pk493+000	Route traverse un terrain plat	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	
Pk493+000 au pk493+100	Route traverse un relief élevé	Dalle calcaire	
pk493+100 au pk494+000	La descente de TILGHEMET	Dalle calcaire	
pk494+000	Embranchement de HASSI R'MEL (TILGHEMET)	Dalle calcaire recouverte par une couche de sable graveleux	

Annexe 02 : Visite de chantier

Nous sommes allés visiter les chantiers en cours d'achèvement et d'achèvement du PK 488 + 600 au PK 494, et lors de la visite, nous les avons retrouvés à la fin du projet de pose de la couche Roulement eu B.B 0/14 ép =08 m, et nous avons pu observer beaucoup de informations sur le projet mentionné ci-dessous :

Projet consiste à surélever le niveau de la route nationale à une distance de 05 km. Nous avons assisté aux travaux de terrassements et l'utilisation des engins de travaux publics comme la niveleuse, compacteurs.....etc.

Mise à niveau de la RN°01 sur 07 Km entre PK : 461 et PK : 469

Commune : Hassi Ramel

Entreprise : SARL BELHASROUF

Montant : 313.716.130 ,00 DA

Délai : (09) neuf mois

D.O.S : 05/10/2023

Maitre d'ouvrage : Ministère de travaux publics Représenté par *M^{er}* Le direction des travaux publics de la wilaya de Laghouat

Contrôle et suivi des travaux : LTP sud (Antenne de Laghouat), SET Sétif (Antenne de Laghouat)

Consistance de travaux :

1 .Travaux de terrassement

2 .Corps de chaussée :

- C, Fondation eu G.N.T 0/31.5 ép =20 m
- C, Basse eu G.B 0/20 ép =12m
- C, Roulement eu B.B 0/14 ép =08 m

3 .Travaux d'assainissement et Protection

Impacte du projet :

ANNEXES

1-Assurer un meilleur confort et sécurité des usagers de la RN 01 et sécurité.

2- De rendre au même Niveau le profil en travers et en long que le dédoublement déjà réalisé.



Figure : Une collection de figure de la visite de chantier.

Annexe 03 : Tabulation

Le 30/04/2024 à 22:49 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3725

E:\LOT15A~2\ETUDE\1\A1.PIS

TABULATION 01

N°	ABSCISSE	COTE	COTE	X	Y	ANGLE	DEV	DEV		
PROF	CURVILIGN	TN	PROJET	PROFIL		PROFIL	PROFIL	GAU	DRO	
2360	488700.000	954.415	954.450	892028.837		9016046.970	39.230g	2.50	-2.50	
2361	488721.997	954.356	954.390	892010.886		9016059.683	39.230g	2.50	-2.50	
2362	488744.000	954.331	954.329	891992.930		9016072.400	39.230g	2.50	-2.50	
2363	488765.997	954.166	954.269	891974.979		9016085.113	39.230g	2.50	-2.50	
2364	488789.996	954.073	954.203	891955.394		9016098.984	39.230g	2.50	-2.50	
2365	488810.998	954.116	954.143	891938.255		9016111.121	39.230g	2.50	-2.50	

ANNEXES

2366	488832.000	954.040	954.072	891921.116	9016123.260	39.230g	2.50	-2.50
2367	488852.995	953.980	953.992	891903.982	9016135.394	39.230g	2.50	-2.50
2368	488873.998	953.940	953.901	891886.843	9016147.532	39.230g	2.50	-2.50
2369	488894.999	953.754	953.799	891869.704	9016159.670	39.230g	2.50	-2.50
2370	488915.995	953.746	953.687	891852.570	9016171.805	39.230g	2.50	-2.50
2371	488938.999	953.477	953.552	891833.797	9016185.100	39.230g	2.50	-2.50
2372	488962.998	953.508	953.398	891814.212	9016198.970	39.230g	2.50	-2.50
2373	488979.996	953.310	953.286	891800.341	9016208.794	39.230g	2.50	-2.50
2374	488999.996	953.213	953.154	891784.019	9016220.353	39.230g	2.50	-2.50
2375	489022.999	953.068	953.002	891765.247	9016233.648	39.230g	2.50	-2.50
2376	489045.998	952.821	952.850	891746.478	9016246.941	39.230g	2.50	-2.50
2377	489069.998	952.397	952.691	891726.893	9016260.811	39.230g	2.50	-2.50
2378	489097.057	951.972	952.513	891704.811	9016276.450	39.230g	2.50	-2.50
2379	489114.187	951.931	952.400	891690.831	9016286.350	39.216g	2.50	-2.50
2380	489137.996	951.623	952.242	891671.397	9016300.104	39.208g	2.50	-2.50
2381	489158.995	951.378	952.104	891654.255	9016312.235	39.208g	2.50	-2.50
2382	489181.997	951.209	951.952	891635.480	9016325.523	39.208g	2.50	-2.50
2383	489199.999	951.084	951.833	891620.786	9016335.922	39.208g	2.50	-2.50
2384	489223.000	950.792	951.681	891602.010	9016349.209	39.208g	2.50	-2.50
2385	489242.998	950.573	951.549	891585.687	9016360.761	39.208g	2.50	-2.50
2386	489266.000	950.352	951.397	891566.911	9016374.049	39.208g	2.50	-2.50
2387	489287.000	950.032	951.258	891549.770	9016386.180	39.208g	2.50	-2.50
2388	489310.997	949.890	951.100	891530.182	9016400.043	39.208g	2.50	-2.50
2389	489331.997	949.758	950.961	891513.041	9016412.174	39.208g	2.50	-2.50
2390	489356.000	949.631	950.803	891493.448	9016426.040	39.208g	2.50	-2.50
2391	489374.996	949.534	950.677	891477.942	9016437.014	39.208g	2.50	-2.50
2392	489399.995	949.332	950.512	891457.536	9016451.455	39.208g	2.50	-2.50
2393	489421.996	949.217	950.367	891439.577	9016464.165	39.208g	2.50	-2.50
2394	489443.996	949.081	950.222	891421.620	9016476.874	39.208g	2.50	-2.50
2395	489465.997	948.936	950.076	891403.661	9016489.583	39.208g	2.50	-2.50
2396	489486.996	948.834	949.938	891386.520	9016501.714	39.208g	2.50	-2.50
2397	489509.998	948.815	949.789	891367.744	9016515.002	39.208g	2.50	-2.50

ANNEXES

2398	489533.000	948.742	949.655	891348.969	9016528.289	39.208g	2.50	-2.50
2399	489555.996	948.562	949.536	891330.198	9016541.574	39.208g	2.50	-2.50
2400	489578.998	948.430	949.431	891311.422	9016554.862	39.208g	2.50	-2.50
2401	489602.996	948.319	949.339	891291.834	9016568.724	39.208g	2.50	-2.50
2402	489626.999	948.214	949.263	891272.240	9016582.591	39.208g	2.50	-2.50
2403	489650.997	948.155	949.200	891252.652	9016596.453	39.208g	2.50	-2.50
2404	489675.000	948.059	949.139	891233.060	9016610.319	39.208g	2.50	-2.50
2405	489699.999	947.980	949.076	891212.654	9016624.761	39.208g	2.50	-2.50
2406	489722.000	947.904	949.020	891194.695	9016637.470	39.208g	2.50	-2.50
2407	489744.996	947.815	948.962	891175.924	9016650.755	39.208g	2.50	-2.50
2408	489767.998	947.677	948.903	891157.149	9016664.042	39.208g	2.50	-2.50
2409	489791.000	947.600	948.845	891138.373	9016677.330	39.208g	2.50	-2.50
2410	489814.997	947.544	948.784	891118.785	9016691.193	39.208g	2.50	-2.50
2411	489832.998	947.570	948.738	891104.091	9016701.592	39.208g	2.50	-2.50
2412	489850.999	947.510	948.692	891089.397	9016711.991	39.208g	2.50	-2.50
2413	489873.000	947.440	948.636	891071.439	9016724.700	39.208g	2.50	-2.50
2414	489895.996	947.393	948.578	891052.668	9016737.984	39.208g	2.50	-2.50
2415	489921.000	947.332	948.514	891032.258	9016752.429	39.208g	2.50	-2.50
2416	489945.999	947.204	948.451	891011.852	9016766.870	39.208g	2.50	-2.50
2417	489969.997	947.106	948.390	890992.264	9016780.733	39.208g	2.50	-2.50
2418	489992.999	947.057	948.331	890973.488	9016794.021	39.208g	2.50	-2.50
2419	490016.997	946.989	948.271	890953.900	9016807.884	39.208g	2.50	-2.50
2420	490039.999	946.855	948.212	890935.124	9016821.171	39.208g	2.50	-2.50
2421	490061.999	946.829	948.156	890917.166	9016833.881	39.208g	2.50	-2.50
2422	490084.995	946.790	948.098	890898.395	9016847.165	39.208g	2.50	-2.50
2423	490108.998	946.795	948.037	890878.802	9016861.031	39.208g	2.50	-2.50
2424	490132.996	946.687	947.976	890859.214	9016874.894	39.208g	2.50	-2.50
2425	490153.995	946.638	947.922	890842.072	9016887.025	39.208g	2.50	-2.50
2426	490177.998	946.537	947.861	890822.480	9016900.891	39.208g	2.50	-2.50
2427	490199.999	946.506	947.806	890804.521	9016913.600	39.208g	2.50	-2.50
2428	490224.998	946.507	947.742	890784.115	9016928.042	39.208g	2.50	-2.50
2429	490244.001	946.512	947.694	890768.604	9016939.019	39.208g	2.50	-2.50

ANNEXES

2430	490266.997	946.529	947.635	890749.833	9016952.303	39.208g	2.50	-2.50
2431	490287.996	946.490	947.582	890732.693	9016964.434	39.208g	2.50	-2.50
2432	490313.000	946.525	947.518	890712.282	9016978.879	39.208g	2.50	-2.50
2433	490335.997	946.604	947.460	890693.511	9016992.163	39.208g	2.50	-2.50
2434	490360.000	946.609	947.399	890673.919	9017006.029	39.208g	2.50	-2.50
2435	490383.998	946.629	947.338	890654.330	9017019.892	39.208g	2.50	-2.50
2436	490407.995	946.607	947.277	890634.742	9017033.755	39.208g	2.50	-2.50
2437	490430.997	946.611	947.218	890615.966	9017047.043	39.208g	2.50	-2.50
2438	490453.999	946.564	947.160	890597.190	9017060.331	39.208g	2.50	-2.50
2439	490476.995	946.376	947.101	890578.419	9017073.615	39.208g	2.50	-2.50
2440	490499.997	946.416	947.043	890559.644	9017086.903	39.208g	2.50	-2.50
2441	490523.000	946.288	946.984	890540.868	9017100.191	39.208g	2.50	-2.50
2442	490544.999	946.174	946.928	890522.910	9017112.900	39.208g	2.50	-2.50
2443	490567.996	946.141	946.870	890504.139	9017126.184	39.208g	2.50	-2.50
2444	490591.999	946.151	946.809	890484.545	9017140.051	39.208g	2.50	-2.50
2445	490614.995	946.185	946.750	890465.775	9017153.335	39.208g	2.50	-2.50
2446	490637.997	945.952	946.694	890446.999	9017166.623	39.208g	2.50	-2.50
2447	490657.995	945.872	946.651	890430.675	9017178.175	39.208g	2.50	-2.50
2448	490677.999	945.730	946.616	890414.347	9017189.730	39.208g	2.50	-2.50
2449	490689.998	945.554	946.597	890404.553	9017196.662	39.208g	2.50	-2.50
2450	490705.001	945.489	946.578	890392.306	9017205.329	39.208g	2.50	-2.50
2451	490726.000	945.320	946.557	890375.166	9017217.460	39.208g	2.50	-2.50
2452	490741.998	945.182	946.546	890362.107	9017226.701	39.208g	2.50	-2.50
2453	490759.999	944.993	946.539	890347.413	9017237.100	39.208g	2.50	-2.50
2454	490776.999	944.873	946.537	890333.537	9017246.921	39.208g	2.50	-2.50
2455	490799.995	944.792	946.542	890314.766	9017260.205	39.208g	2.50	-2.50
2456	490821.000	944.776	946.554	890297.620	9017272.339	39.208g	2.50	-2.50
2457	490835.997	944.132	946.567	890285.379	9017281.003	39.208g	2.50	-2.50
2458	490849.999	944.818	946.583	890273.950	9017289.091	39.208g	2.50	-2.50
2459	490864.996	944.968	946.604	890261.708	9017297.755	39.208g	2.50	-2.50
2460	490888.999	945.167	946.644	890242.115	9017311.621	39.208g	2.50	-2.50
2461	490911.000	945.469	946.690	890224.157	9017324.330	39.208g	2.50	-2.50

ANNEXES

2462	490933.996	945.767	946.746	890205.386	9017337.614	39.208g	2.50	-2.50
2463	490954.995	945.921	946.805	890188.245	9017349.745	39.208g	2.50	-2.50
2464	490976.000	945.916	946.872	890171.100	9017361.879	39.208g	2.50	-2.50
2465	490984.864	945.978	946.900	890163.864	9017367.000	39.208g	2.50	-2.50

Le 30/04/2024 à 22:58 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3725

E:\LOT15F~3\A.PIS

TABULATION 02

N°	ABSCISSE	COTE	COTE	X	Y	ANGLE	DEV	DEV	
PROF	CURVILIGN	TN	PROJET	PROFIL		PROFIL	PROFIL	GAU	DRO
2465	490984.860	945.977	946.900	890163.864		9017367.000	39.208g	2.50	-2.50
2466	490999.991	946.076	946.954	890151.516		9017375.745	39.274g	1.65	-2.66
2467	491017.991	946.171	947.019	890136.852		9017386.184	39.526g	0.64	-2.86
2468	491039.992	946.215	947.098	890119.010		9017399.055	40.088g	-0.60	-3.10
2469	491062.994	946.203	947.181	890100.509		9017412.722	40.975g	-1.90	-3.35
2470	491079.994	946.228	947.242	890086.976		9017423.012	41.827g	-2.85	-3.53
2471	491094.863	946.266	947.296	890075.264		9017432.173	42.710g	-3.69	-3.69
2472	491105.994	946.240	947.336	890066.584		9017439.141	43.418g	-3.69	-3.69
2473	491119.994	946.227	947.386	890055.779		9017448.042	44.310g	-3.69	-3.69
2474	491134.991	946.299	947.440	890044.342		9017457.743	45.264g	-3.69	-3.69
2475	491149.995	946.368	947.494	890033.047		9017467.620	46.219g	-3.69	-3.69
2476	491164.994	946.499	947.548	890021.906		9017477.661	47.174g	-3.69	-3.69
2477	491179.995	946.647	947.602	890010.915		9017487.870	48.129g	-3.69	-3.69
2478	491194.994	946.783	947.656	890000.079		9017498.241	49.084g	-3.69	-3.69
2479	491211.994	946.948	947.717	889987.988		9017510.191	50.166g	-3.69	-3.69
2480	491228.991	947.110	947.778	889976.104		9017522.343	51.249g	-3.69	-3.69
2481	491245.996	947.320	947.839	889964.423		9017534.700	52.331g	-3.69	-3.69
2482	491262.995	947.435	947.900	889952.957		9017547.250	53.413g	-3.69	-3.69
2483	491279.992	947.564	947.961	889941.707		9017559.991	54.495g	-3.69	-3.69
2484	491296.990	947.620	948.023	889930.676		9017572.922	55.577g	-3.69	-3.69
2485	491319.995	947.595	948.105	889916.098		9017590.719	57.042g	-3.69	-3.69
2486	491344.609	947.575	948.194	889900.960		9017610.126	58.609g	-3.69	-3.69

ANNEXES

2487	491365.997	947.501	948.271	889888.184	9017627.279	59.838g	-2.49	-3.46
2488	491385.991	947.466	948.343	889876.511	9017643.512	60.748g	-1.36	-3.24
2489	491407.993	947.417	948.422	889863.899	9017661.540	61.482g	-0.12	-3.00
2490	491429.991	947.285	948.501	889851.458	9017679.681	61.935g	1.11	-2.77
2491	491454.608	947.290	948.589	889837.638	9017700.053	62.110g	2.50	-2.50
2492	491471.994	947.319	948.652	889827.890	9017714.450	62.110g	2.50	-2.50
2493	491494.990	945.946	948.735	889814.998	9017733.492	62.110g	2.50	-2.50
2494	491518.995	947.499	948.821	889801.539	9017753.369	62.110g	2.50	-2.50
2495	491540.990	947.593	948.900	889789.208	9017771.582	62.110g	2.50	-2.50
2496	491562.992	947.659	948.988	889776.872	9017789.801	62.110g	2.50	-2.50
2497	491581.989	947.702	949.079	889766.222	9017805.532	62.110g	2.50	-2.50
2498	491599.994	947.721	949.179	889756.128	9017820.440	62.110g	2.50	-2.50
2499	491624.992	947.924	949.340	889742.112	9017841.141	62.110g	2.50	-2.50
2500	491648.990	948.093	949.517	889728.658	9017861.012	62.110g	2.50	-2.50
2501	491669.990	948.237	949.691	889716.884	9017878.401	62.110g	2.50	-2.50
2502	491691.993	948.416	949.893	889704.548	9017896.621	62.110g	2.50	-2.50
2503	491714.997	948.661	950.124	889691.651	9017915.669	62.110g	2.50	-2.50
2504	491737.993	948.909	950.376	889678.758	9017934.711	62.110g	2.50	-2.50
2505	491759.995	949.188	950.637	889666.423	9017952.930	62.110g	2.50	-2.50
2506	491781.989	949.478	950.912	889654.092	9017971.142	62.110g	2.50	-2.50
2507	491802.990	949.825	951.174	889642.318	9017988.532	62.110g	2.50	-2.50
2508	491824.992	950.191	951.450	889629.982	9018006.751	62.110g	2.50	-2.50
2509	491846.994	950.606	951.725	889617.647	9018024.970	62.110g	2.50	-2.50
2510	491867.995	950.975	951.987	889605.873	9018042.360	62.110g	2.50	-2.50
2511	491889.989	951.427	952.263	889593.542	9018060.572	62.110g	2.50	-2.50
2512	491912.993	951.844	952.550	889580.645	9018079.621	62.110g	2.50	-2.50
2513	491935.997	952.309	952.838	889567.748	9018098.669	62.110g	2.50	-2.50
2514	491958.993	952.767	953.125	889554.855	9018117.711	62.110g	2.50	-2.50
2515	491982.990	953.258	953.404	889541.401	9018137.581	62.110g	2.50	-2.50
2516	492005.994	953.644	953.636	889528.504	9018156.630	62.110g	2.50	-2.50
2517	492026.995	954.033	953.820	889516.730	9018174.020	62.110g	2.50	-2.50
2518	492047.995	954.350	953.976	889504.956	9018191.410	62.110g	2.50	-2.50

ANNEXES

2519	492071.992	954.538	954.121	889491.502	9018211.281	62.110g	2.50	-2.50
2520	492094.996	954.539	954.226	889478.605	9018230.329	62.110g	2.50	-2.50
2521	492113.994	954.517	954.287	889467.954	9018246.060	62.110g	2.50	-2.50
2522	492133.993	954.406	954.338	889456.741	9018262.620	62.110g	2.50	-2.50
2523	492153.992	954.250	954.388	889445.529	9018279.181	62.110g	2.50	-2.50
2524	492173.991	954.100	954.439	889434.316	9018295.741	62.110g	2.50	-2.50
2525	492195.994	953.947	954.495	889421.981	9018313.960	62.110g	2.50	-2.50
2526	492217.996	953.791	954.550	889409.645	9018332.179	62.110g	2.50	-2.50
2527	492238.997	953.576	954.603	889397.871	9018349.569	62.110g	2.50	-2.50
2528	492260.991	953.398	954.659	889385.540	9018367.781	62.110g	2.50	-2.50
2529	492281.991	953.241	954.712	889373.766	9018385.171	62.110g	2.50	-2.50
2530	492302.992	953.045	954.765	889361.992	9018402.561	62.110g	2.50	-2.50
2531	492324.994	952.896	954.820	889349.657	9018420.780	62.110g	2.50	-2.50
2532	492347.990	952.703	954.878	889336.764	9018439.821	62.110g	2.50	-2.50
2533	492372.989	952.527	954.941	889322.749	9018460.522	62.110g	2.50	-2.50
2534	492396.995	952.334	955.002	889309.290	9018480.400	62.110g	2.50	-2.50
2535	492405.993	952.271	955.025	889304.245	9018487.851	62.110g	2.50	-2.50
2536	492415.992	952.202	955.050	889298.639	9018496.131	62.110g	2.50	-2.50
2537	492426.993	952.119	955.078	889292.471	9018505.240	62.110g	2.50	-2.50
2538	492441.992	952.061	955.116	889284.062	9018517.661	62.110g	2.50	-2.50
2539	492462.993	951.994	955.169	889272.288	9018535.050	62.110g	2.50	-2.50
2540	492483.994	951.924	955.222	889260.514	9018552.440	62.110g	2.50	-2.50
2541	492499.995	951.906	955.262	889251.543	9018565.690	62.110g	2.50	-2.50
2542	492522.991	952.048	955.320	889238.650	9018584.731	62.110g	2.50	-2.50
2543	492544.993	951.973	955.376	889226.315	9018602.950	62.110g	2.50	-2.50
2544	492566.995	952.212	955.431	889213.979	9018621.169	62.110g	2.50	-2.50
2545	492582.996	952.038	955.472	889205.008	9018634.419	62.110g	2.50	-2.50
2546	492600.992	952.151	955.517	889194.919	9018649.321	62.110g	2.50	-2.50
2547	492607.995	952.204	955.535	889190.993	9018655.120	62.110g	2.50	-2.50
2548	492614.990	952.259	955.553	889187.071	9018660.911	62.110g	2.50	-2.50
2549	492630.991	952.390	955.593	889178.100	9018674.161	62.110g	2.50	-2.50
2550	492651.991	952.629	955.646	889166.326	9018691.551	62.110g	2.50	-2.50

ANNEXES

2551	492675.989	952.816	955.707	889152.872	9018711.422	62.110g	2.50	-2.50
2552	492699.995	952.869	955.767	889139.413	9018731.300	62.110g	2.50	-2.50
2553	492718.992	953.081	955.815	889128.762	9018747.031	62.110g	2.50	-2.50
2554	492737.989	953.231	955.863	889118.112	9018762.762	62.110g	2.50	-2.50
2555	492754.992	953.388	955.906	889108.579	9018776.841	62.110g	2.50	-2.50
2556	492771.994	953.624	955.949	889099.047	9018790.920	62.110g	2.50	-2.50
2557	492787.995	953.934	955.989	889090.076	9018804.170	62.110g	2.50	-2.50
2558	492799.990	954.248	956.020	889083.351	9018814.101	62.110g	2.50	-2.50
2559	492818.996	954.694	956.068	889072.695	9018829.839	62.110g	2.50	-2.50
2560	492841.991	955.264	956.126	889059.803	9018848.881	62.110g	2.50	-2.50
2561	492865.997	955.879	956.186	889046.344	9018868.759	62.110g	2.50	-2.50
2562	492887.991	956.386	956.242	889034.013	9018886.971	62.110g	2.50	-2.50
2563	492910.995	956.791	956.300	889021.116	9018906.020	62.110g	2.50	-2.50
2564	492929.992	957.087	956.348	889010.465	9018921.751	62.110g	2.50	-2.50
2565	492949.992	957.374	956.390	888999.253	9018938.311	62.110g	2.50	-2.50
2566	492971.994	957.572	956.406	888986.917	9018956.530	62.110g	2.50	-2.50
2567	492993.996	957.673	956.390	888974.582	9018974.749	62.110g	2.50	-2.50
2568	493014.997	957.795	956.344	888962.807	9018992.139	62.110g	2.50	-2.50
2569	493034.996	957.792	956.273	888951.595	9019008.699	62.110g	2.50	-2.50
2570	493055.996	957.630	956.171	888939.821	9019026.089	62.110g	2.50	-2.50
2571	493077.991	957.471	956.031	888927.490	9019044.301	62.110g	2.50	-2.50
2572	493097.990	957.251	955.876	888916.278	9019060.862	62.110g	2.50	-2.50
2573	493116.995	956.980	955.705	888905.622	9019076.599	62.110g	2.50	-2.50
2574	493139.991	956.584	955.465	888892.729	9019095.641	62.110g	2.50	-2.50
2575	493162.995	956.088	955.189	888879.832	9019114.690	62.110g	2.50	-2.50
2576	493183.996	955.554	954.907	888868.058	9019132.079	62.110g	2.50	-2.50
2577	493204.996	954.910	954.595	888856.284	9019149.469	62.110g	2.50	-2.50
2578	493223.994	954.287	954.291	888845.634	9019165.200	62.110g	2.50	-2.50
2579	493241.990	953.689	954.000	888835.544	9019180.101	62.110g	2.50	-2.50
2580	493262.991	953.011	953.660	888823.770	9019197.491	62.110g	2.50	-2.50
2581	493283.991	952.334	953.320	888811.996	9019214.881	62.110g	2.50	-2.50
2582	493301.995	951.753	953.029	888801.902	9019229.789	62.110g	2.50	-2.50

ANNEXES

2583	493319.992	951.207	952.738	888791.812	9019244.691	62.110g	2.50	-2.50
2584	493336.994	950.825	952.463	888782.280	9019258.770	62.110g	2.50	-2.50
2585	493359.990	949.518	952.091	888769.387	9019277.812	62.110g	2.50	-2.50
2586	493383.995	950.056	951.702	888755.929	9019297.689	62.110g	2.50	-2.50
2587	493406.991	949.821	951.330	888743.036	9019316.731	62.110g	2.50	-2.50
2588	493429.995	949.556	950.958	888730.139	9019335.779	62.110g	2.50	-2.50
2589	493449.994	949.295	950.634	888718.927	9019352.340	62.110g	2.50	-2.50
2590	493462.990	949.172	950.424	888711.641	9019363.101	62.110g	2.50	-2.50
2591	493477.989	949.039	950.181	888703.231	9019375.522	62.110g	2.50	-2.50
2592	493496.995	948.826	949.874	888692.575	9019391.260	62.110g	2.50	-2.50
2593	493516.995	948.582	949.550	888681.363	9019407.820	62.110g	2.50	-2.50
2594	493539.990	948.407	949.178	888668.471	9019426.861	62.110g	2.50	-2.50
2595	493562.994	948.115	948.811	888655.574	9019445.910	62.110g	2.50	-2.50
2596	493585.989	947.853	948.460	888642.681	9019464.951	62.110g	2.50	-2.50
2597	493608.994	947.624	948.126	888629.784	9019484.000	62.110g	2.50	-2.50
2598	493626.990	947.375	947.877	888619.694	9019498.902	62.110g	2.50	-2.50
2599	493644.994	947.190	947.638	888609.600	9019513.810	62.110g	2.50	-2.50
2600	493661.996	946.996	947.422	888600.068	9019527.889	62.110g	2.50	-2.50
2601	493673.990	946.890	947.275	888593.343	9019537.821	62.110g	2.50	-2.50
2602	493685.993	946.816	947.133	888586.614	9019547.760	62.110g	2.50	-2.50
2603	493707.995	946.671	946.884	888574.279	9019565.979	62.110g	2.50	-2.50
2604	493721.994	946.570	946.734	888566.430	9019577.570	62.110g	2.50	-2.50
2605	493735.991	946.435	946.590	888558.583	9019589.161	62.110g	2.50	-2.50
2606	493759.997	946.308	946.358	888545.124	9019609.039	62.110g	2.50	-2.50
2607	493780.989	946.131	946.171	888533.355	9019626.422	62.110g	2.50	-2.50
2608	493802.992	946.056	945.989	888521.019	9019644.641	62.110g	2.50	-2.50
2609	493823.993	945.978	945.831	888509.245	9019662.031	62.110g	2.50	-2.50
2610	493841.996	945.884	945.706	888499.151	9019676.939	62.110g	2.50	-2.50
2611	493860.994	945.711	945.586	888488.500	9019692.670	62.110g	2.50	-2.50
2612	493879.991	945.590	945.478	888477.849	9019708.401	62.110g	2.50	-2.50
2613	493899.991	945.440	945.376	888466.637	9019724.961	62.110g	2.50	-2.50
2614	493920.992	945.367	945.284	888454.862	9019742.351	62.110g	2.50	-2.50

ANNEXES

2615	493941.992	945.306	945.205	888443.089	9019759.740	62.110g	2.50	-2.50
2616	493964.996	945.211	945.135	888430.192	9019778.789	62.110g	2.50	-2.50
2617	493986.990	945.189	945.085	888417.861	9019797.001	62.110g	2.50	-2.50
2618	494006.989	945.195	945.051	888406.648	9019813.562	62.110g	2.50	-2.50
2619	494028.992	945.218	945.018	888394.312	9019831.781	62.110g	2.50	-2.50
2620	494049.992	945.108	944.986	888382.539	9019849.170	62.110g	2.50	-2.50
2621	494070.993	945.167	944.954	888370.764	9019866.560	62.110g	2.50	-2.50
2622	494089.990	945.103	944.925	888360.114	9019882.291	62.110g	2.50	-2.50
2623	494110.991	944.983	944.893	888348.339	9019899.681	62.110g	2.50	-2.50
2624	494126.992	945.006	944.869	888339.369	9019912.930	62.110g	2.50	-2.50
2625	494149.996	944.969	944.834	888326.471	9019931.979	62.110g	2.50	-2.50
2626	494167.992	944.915	944.807	888316.382	9019946.881	62.110g	2.50	-2.50
2627	494172.496	944.951	944.800	888313.857	9019950.610	62.110g	2.50	-2.50

ANNEXE 04 : Cubatures de terrassements

Le 30/04/2024 à 22:50 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3725

E:\LOT15A~2\ETUDE\1\A1.PIS

VOLUMES TERRASSEMENT 01

N°	ABSCISSE	REMBLAI	DEBLAI	DECAPAGE	PURGE
PROF	CURVILIGN	VOLUME	VOLUME	VOLUME	VOLUME
2360	488700.000	0.0	57.7	0.0	0.0
2361	488721.997	0.0	105.0	0.0	0.0
2362	488744.000	0.0	89.6	0.0	0.0
2363	488765.997	0.0	93.6	0.0	0.0
2364	488789.996	0.4	69.0	0.0	0.0
2365	488810.998	0.2	63.4	0.0	0.0
2366	488832.000	0.0	63.5	0.0	0.0
2367	488852.995	0.0	86.8	0.0	0.0
2368	488873.998	0.0	100.4	0.0	0.0
2369	488894.999	0.0	92.9	0.0	0.0

ANNEXES

2370	488915.995	0.0	151.6	0.0	0.0
2371	488938.999	11.0	166.3	0.0	0.0
2372	488962.998	0.0	200.8	0.0	0.0
2373	488979.996	0.0	185.8	0.0	0.0
2374	488999.996	0.0	244.2	0.0	0.0
2375	489022.999	0.0	248.8	0.0	0.0
2376	489045.998	31.9	202.5	0.0	0.0
2377	489069.998	104.1	127.9	0.0	0.0
2378	489097.057	104.0	2.9	0.0	0.0
2379	489114.187	58.0	0.1	0.0	0.0
2380	489137.996	130.1	4.8	0.0	0.0
2381	489158.995	149.9	0.0	0.0	0.0
2382	489181.997	155.5	0.7	0.0	0.0
2383	489199.999	161.7	0.0	0.0	0.0
2384	489223.000	206.1	0.0	0.0	0.0
2385	489242.998	255.0	0.0	0.0	0.0
2386	489266.000	294.2	0.0	0.0	0.0
2387	489287.000	359.8	0.0	0.0	0.0
2388	489310.997	358.8	0.0	0.0	0.0
2389	489331.997	349.4	0.0	0.0	0.0
2390	489356.000	333.7	0.0	0.0	0.0
2391	489374.996	318.6	0.0	0.0	0.0
2392	489399.995	370.6	0.0	0.0	0.0
2393	489421.996	349.2	0.0	0.0	0.0
2394	489443.996	350.4	0.0	0.0	0.0
2395	489465.997	304.0	0.0	0.0	0.0
2396	489486.996	284.0	0.0	0.0	0.0
2397	489509.998	260.1	0.0	0.0	0.0
2398	489533.000	241.5	0.0	0.0	0.0
2399	489555.996	248.3	0.0	0.0	0.0
2400	489578.998	279.1	0.0	0.0	0.0
2401	489602.996	266.7	0.0	0.0	0.0

ANNEXES

2402	489626.999	276.6	0.0	0.0	0.0
2403	489650.997	286.8	0.0	0.0	0.0
2404	489675.000	297.9	0.0	0.0	0.0
2405	489699.999	308.2	0.0	0.0	0.0
2406	489722.000	299.8	0.0	0.0	0.0
2407	489744.996	316.4	0.0	0.0	0.0
2408	489767.998	339.9	0.0	0.0	0.0
2409	489791.000	356.9	0.0	0.0	0.0
2410	489814.997	332.2	0.0	0.0	0.0
2411	489832.998	268.2	0.0	0.0	0.0
2412	489850.999	328.5	0.0	0.0	0.0
2413	489873.000	346.3	0.0	0.0	0.0
2414	489895.996	353.6	0.0	0.0	0.0
2415	489921.000	371.5	0.0	0.0	0.0
2416	489945.999	413.1	0.0	0.0	0.0
2417	489969.997	406.4	0.0	0.0	0.0
2418	489992.999	406.3	0.0	0.0	0.0
2419	490016.997	413.8	0.0	0.0	0.0
2420	490039.999	402.2	0.0	0.0	0.0
2421	490061.999	387.5	0.0	0.0	0.0
2422	490084.995	408.6	0.0	0.0	0.0
2423	490108.998	376.9	0.0	0.0	0.0
2424	490132.996	373.4	0.0	0.0	0.0
2425	490153.995	382.9	0.0	0.0	0.0
2426	490177.998	376.6	0.0	0.0	0.0
2427	490199.999	392.6	0.0	0.0	0.0
2428	490224.998	331.5	0.0	0.0	0.0
2429	490244.001	309.3	0.0	0.0	0.0
2430	490266.997	292.5	0.0	0.0	0.0
2431	490287.996	312.9	0.0	0.0	0.0
2432	490313.000	305.2	0.0	0.0	0.0
2433	490335.997	265.0	0.0	0.0	0.0

ANNEXES

2434	490360.000	213.4	0.0	0.0	0.0
2435	490383.998	158.3	0.0	0.0	0.0
2436	490407.995	143.3	0.0	0.0	0.0
2437	490430.997	113.8	6.9	0.0	0.0
2438	490453.999	164.9	0.0	0.0	0.0
2439	490476.995	178.0	0.0	0.0	0.0
2440	490499.997	168.2	0.0	0.0	0.0
2441	490523.000	150.7	0.0	0.0	0.0
2442	490544.999	170.8	0.0	0.0	0.0
2443	490567.996	144.7	0.0	0.0	0.0
2444	490591.999	171.4	0.0	0.0	0.0
2445	490614.995	136.3	0.0	0.0	0.0
2446	490637.997	166.7	0.0	0.0	0.0
2447	490657.995	178.7	0.0	0.0	0.0
2448	490677.999	180.5	0.0	0.0	0.0
2449	490689.998	177.2	0.0	0.0	0.0
2450	490705.001	272.5	0.0	0.0	0.0
2451	490726.000	330.5	0.0	0.0	0.0
2452	490741.998	332.4	0.0	0.0	0.0
2453	490759.999	424.0	0.0	0.0	0.0
2454	490776.999	514.1	0.0	0.0	0.0
2455	490799.995	642.5	0.0	0.0	0.0
2456	490821.000	544.0	0.0	0.0	0.0
2457	490835.997	821.4	0.0	0.0	0.0
2458	490849.999	425.7	0.0	0.0	0.0
2459	490864.996	501.5	0.0	0.0	0.0
2460	490888.999	508.5	0.0	0.0	0.0
2461	490911.000	365.7	0.0	0.0	0.0
2462	490933.996	288.7	0.0	0.0	0.0
2463	490954.995	246.3	0.0	0.0	0.0
2464	490976.000	178.3	0.0	0.0	0.0
2465	490984.864	51.7	0.0	0.0	0.0

ANNEXES

26441 2365 0 0

Le 30/04/2024 à 22:55 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 3725

E:\LOT15F~3\A.PIS

VOLUMES TERRASSEMENT 02

N°	ABSCISSE	REMBLAI	DEBLAI	DECAPAGE	PURGE
PROF	CURVILIGN	VOLUME	VOLUME	VOLUME	VOLUME
2465	490984.860	88.3 0.0	0.0	0.0	
2466	490999.991	191.9 0.0	0.0	0.0	
2467	491017.991	240.2 0.0	0.0	0.0	
2468	491039.992	276.5 0.0	0.0	0.0	
2469	491062.994	294.2 0.0	0.0	0.0	
2470	491079.994	240.8 0.0	0.0	0.0	
2471	491094.863	217.2 0.0	0.0	0.0	
2472	491105.994	233.2 0.0	0.0	0.0	
2473	491119.994	292.7 0.0	0.0	0.0	
2474	491134.991	305.0 0.0	0.0	0.0	
2475	491149.995	292.5 0.0	0.0	0.0	
2476	491164.994	268.7 0.0	0.0	0.0	
2477	491179.995	251.3 0.0	0.0	0.0	
2478	491194.994	241.4 0.0	0.0	0.0	
2479	491211.994	229.9 0.0	0.0	0.0	
2480	491228.991	182.4 0.0	0.0	0.0	
2481	491245.996	124.1 0.0	0.0	0.0	
2482	491262.995	154.7 0.0	0.0	0.0	
2483	491279.992	125.2 0.0	0.0	0.0	
2484	491296.990	139.4 0.0	0.0	0.0	
2485	491319.995	187.2 0.0	0.0	0.0	
2486	491344.609	204.2 0.0	0.0	0.0	
2487	491365.997	260.5 0.0	0.0	0.0	
2488	491385.991	300.8 0.0	0.0	0.0	
2489	491407.993	381.1 0.0	0.0	0.0	
2490	491429.991	463.2 0.0	0.0	0.0	

ANNEXES

2491	491454.608	465.1	0.0	0.0	0.0
2492	491471.994	446.9	0.0	0.0	0.0
2493	491494.990	1198.7	0.0	0.0	0.0
2494	491518.995	484.6	0.0	0.0	0.0
2495	491540.990	464.9	0.0	0.0	0.0
2496	491562.992	436.3	0.0	0.0	0.0
2497	491581.989	396.6	0.0	0.0	0.0
2498	491599.994	479.4	0.0	0.0	0.0
2499	491624.992	556.2	0.0	0.0	0.0
2500	491648.990	521.8	0.0	0.0	0.0
2501	491669.990	506.6	0.0	0.0	0.0
2502	491691.993	539.9	0.0	0.0	0.0
2503	491714.997	550.8	0.0	0.0	0.0
2504	491737.993	516.8	0.0	0.0	0.0
2505	491759.995	518.9	0.0	0.0	0.0
2506	491781.989	495.6	0.0	0.0	0.0
2507	491802.990	449.5	0.0	0.0	0.0
2508	491824.992	416.0	0.0	0.0	0.0
2509	491846.994	333.4	0.0	0.0	0.0
2510	491867.995	305.5	0.0	0.0	0.0
2511	491889.989	232.5	0.0	0.0	0.0
2512	491912.993	165.1	0.0	0.0	0.0
2513	491935.997	83.9	14.0	0.0	0.0
2514	491958.993	32.2	60.9	0.0	0.0
2515	491982.990	19.0	155.9	0.0	0.0
2516	492005.994	0.0	214.1	0.0	0.0
2517	492026.995	0.0	253.7	0.0	0.0
2518	492047.995	0.0	302.4	0.0	0.0
2519	492071.992	0.0	331.4	0.0	0.0
2520	492094.996	0.0	260.2	0.0	0.0
2521	492113.994	0.0	215.4	0.0	0.0
2522	492133.993	0.0	173.6	0.0	0.0

ANNEXES

2523	492153.992	15.1	95.2	0.0	0.0
2524	492173.991	27.4	45.1	0.0	0.0
2525	492195.994	60.2	8.6	0.0	0.0
2526	492217.996	144.9	0.0	0.0	0.0
2527	492238.997	252.3	0.0	0.0	0.0
2528	492260.991	351.1	0.0	0.0	0.0
2529	492281.991	405.0	0.0	0.0	0.0
2530	492302.992	522.9	0.0	0.0	0.0
2531	492324.994	638.5	0.0	0.0	0.0
2532	492347.990	771.7	0.0	0.0	0.0
2533	492372.989	911.2	0.0	0.0	0.0
2534	492396.995	689.5	0.0	0.0	0.0
2535	492405.993	407.1	0.0	0.0	0.0
2536	492415.992	462.8	0.0	0.0	0.0
2537	492426.993	581.2	0.0	0.0	0.0
2538	492441.992	857.6	0.0	0.0	0.0
2539	492462.993	1068.7	0.0	0.0	0.0
2540	492483.994	976.6	0.0	0.0	0.0
2541	492499.995	1036.9	0.0	0.0	0.0
2542	492522.991	1145.3	0.0	0.0	0.0
2543	492544.993	1142.4	0.0	0.0	0.0
2544	492566.995	942.1	0.0	0.0	0.0
2545	492582.996	882.8	0.0	0.0	0.0
2546	492600.992	683.5	0.0	0.0	0.0
2547	492607.995	393.2	0.0	0.0	0.0
2548	492614.990	618.9	0.0	0.0	0.0
2549	492630.991	867.1	0.0	0.0	0.0
2550	492651.991	970.1	0.0	0.0	0.0
2551	492675.989	977.2	0.0	0.0	0.0
2552	492699.995	810.0	0.0	0.0	0.0
2553	492718.992	688.8	0.0	0.0	0.0
2554	492737.989	617.9	0.0	0.0	0.0

ANNEXES

2555	492754.992	544.1	0.0	0.0	0.0
2556	492771.994	467.7	0.0	0.0	0.0
2557	492787.995	343.0	0.0	0.0	0.0
2558	492799.990	332.0	0.0	0.0	0.0
2559	492818.996	317.3	0.0	0.0	0.0
2560	492841.991	183.3	0.0	0.0	0.0
2561	492865.997	44.4	54.0	0.0	0.0
2562	492887.991	0.0	203.2	0.0	0.0
2563	492910.995	0.0	311.6	0.0	0.0
2564	492929.992	0.0	364.0	0.0	0.0
2565	492949.992	0.0	480.7	0.0	0.0
2566	492971.994	0.0	603.6	0.0	0.0
2567	492993.996	0.0	700.1	0.0	0.0
2568	493014.997	0.0	768.5	0.0	0.0
2569	493034.996	0.0	810.8	0.0	0.0
2570	493055.996	0.0	897.9	0.0	0.0
2571	493077.991	0.0	867.8	0.0	0.0
2572	493097.990	0.0	759.2	0.0	0.0
2573	493116.995	0.0	667.2	0.0	0.0
2574	493139.991	0.0	622.6	0.0	0.0
2575	493162.995	0.0	479.3	0.0	0.0
2576	493183.996	0.0	363.3	0.0	0.0
2577	493204.996	0.0	238.6	0.0	0.0
2578	493223.994	0.0	130.6	0.0	0.0
2579	493241.990	7.5	52.2	0.0	0.0
2580	493262.991	63.3	0.0	0.0	0.0
2581	493283.991	169.6	0.0	0.0	0.0
2582	493301.995	254.2	0.0	0.0	0.0
2583	493319.992	308.2	0.0	0.0	0.0
2584	493336.994	404.3	0.0	0.0	0.0
2585	493359.990	855.8	0.0	0.0	0.0
2586	493383.995	443.8	0.0	0.0	0.0

ANNEXES

2587	493406.991	399.7	0.0	0.0	0.0
2588	493429.995	316.3	0.0	0.0	0.0
2589	493449.994	207.9	0.0	0.0	0.0
2590	493462.990	160.7	0.0	0.0	0.0
2591	493477.989	181.4	0.0	0.0	0.0
2592	493496.995	171.7	0.0	0.0	0.0
2593	493516.995	159.2	0.0	0.0	0.0
2594	493539.990	112.7	0.0	0.0	0.0
2595	493562.994	72.2	0.0	0.0	0.0
2596	493585.989	45.4	0.2	0.0	0.0
2597	493608.994	26.3	5.8	0.0	0.0
2598	493626.990	12.5	15.0	0.0	0.0
2599	493644.994	9.4	24.2	0.0	0.0
2600	493661.996	4.3	24.7	0.0	0.0
2601	493673.990	2.2	24.2	0.0	0.0
2602	493685.993	2.5	44.2	0.0	0.0
2603	493707.995	0.6	64.7	0.0	0.0
2604	493721.994	0.0	71.0	0.0	0.0
2605	493735.991	0.0	106.4	0.0	0.0
2606	493759.997	0.0	170.0	0.0	0.0
2607	493780.989	0.0	171.7	0.0	0.0
2608	493802.992	0.0	199.0	0.0	0.0
2609	493823.993	0.0	175.1	0.0	0.0
2610	493841.996	0.0	162.6	0.0	0.0
2611	493860.994	0.0	162.0	0.0	0.0
2612	493879.991	0.0	149.6	0.0	0.0
2613	493899.991	0.0	147.9	0.0	0.0
2614	493920.992	0.0	140.0	0.0	0.0
2615	493941.992	0.0	148.7	0.0	0.0
2616	493964.996	0.0	150.3	0.0	0.0
2617	493986.990	0.0	141.1	0.0	0.0
2618	494006.989	0.0	154.8	0.0	0.0

ANNEXES

2619	494028.992	0.0	167.7	0.0	0.0
2620	494049.992	0.0	162.5	0.0	0.0
2621	494070.993	0.0	167.5	0.0	0.0
2622	494089.990	0.0	153.0	0.0	0.0
2623	494110.991	0.0	152.7	0.0	0.0
2624	494126.992	0.0	168.6	0.0	0.0
2625	494149.996	0.0	163.3	0.0	0.0
2626	494167.992	0.0	90.2	0.0	0.0
2627	494172.496	0.0	19.4	0.0	0.0
	44346	15204	0	0	