



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCA/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTERACADEMIQUE

Filière : Travaux Publics

Spécialité : VOA

Thème

**ETUDE DE REHABILITATION DE LA CW24 (MOSTAGANEM) A LA COMMUNE
KHIER-EDDINE DU PK 25+200 AU PK 27+277 LOT SUR 2,077 KM**

Présenté par :

-Mr MAAMAR ABDE NOUR

Soutenu le 13/07/2021 devant le jury composé de :

Président: Mr MEBROUKI ABDELKADER

Examineur: Mr TALIA AHMED

Encadrant : Mme ELMASSACRI SETTI

Co-Encadrant : Mr BOUARFA ZOUHIR

Année Universitaire : 2020 / 2021

REMERCIEMENT

Tout d'abord, Nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Nos remerciements vont particulièrement à nos parents pour leur soutien et leurs encouragements. Nous tenons à remercier notre encadreur Mme **Mascari** pour son incroyable dévotion à parfaire notre travail et à nous aider par ses orientations et ses précieux conseils pour l'élaboration de cette étude.

Nos remerciements également à l'ensemble du corps enseignants de l'université ABDELHAMID IBN BADIS en générale et plus particulièrement à ceux du département Génie Civil pour avoir contribué à notre formation.

Nous adressons nos remerciements à notre pays hôte l'Algérie ainsi qu'à tous les collègues de notre promotion qui nous ont accompagnés depuis
2021

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont conseillées, qui se sont simplement intéressées à ce travail, et aussi celles qui, nous l'espérons me pardonneront de les avoir oubliées.

Dédécace

Nous dédions ce modeste travail, qui est le fruit récolté après tant d'années d'efforts :

A nos très chers parents qui nous ont soutenues & encouragés durant mes études, Eux qui nous ont toujours apporté leur soutien moral et matériel depuis nos premiers jours à l'université.

A nos très chers amis en témoignage de l'amitié sincère qui nous ont liées et des bons moments passés ensemble.

SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciement	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Présentation et contexte du projet

1-Contexte de projet.....	03
2 –Découpage administratif.....	03
3 –Infrastructure routier.....	04
4 –Infrastructure portuaires	04
5-Présentation et contexte du projet.....	04
6- Donnée de base	04
a-Levé topographique	05
b- Trafic.....	05
c-Catégorie de la route.....	05

Chapitre II : Etude des variantes

1-Tracé En Plan	08
A-Définition	08
B-Règles à respecter dans le tracé en plan	08
C-Les éléments de tracé en plan	08
-Alignement droit	09
- Règles concernant la longueur des alignements	09
- Arcs en cercle	09
D- Les variantes	10

- Calcul de gisement de distance et des angles au centre	10
- Détermination des éléments des raccordements circulaires.....	11
- Environnement de la route	12
- La vitesse de référence	12
- Courbes en plan	12
- Calcul des Cubatures Approchées	14
2- Etude des variantes.....	15
A- Etude de la variante 1	15
- Introduction	15
- Les coordonnées des sommets.....	16
- Calcul de gisements et des angles au centre	16
- Environnement de la route	16
B- Sinuosité	19
C-Environnement de la route	19
a- La vitesse de référence	19
b- Stabilité en courbe	19
c-Choix des rayons.....	21
D- Détermination des éléments des raccordements circulaire.....	21
E- Cubatures	22
3-Etude de la variante 2	23
A- les coordonnées des sommets	23
B- Calcul de gisements et des angles au centre	23
C-Le choix de la variante.....	24
4- Conclusion	27

Chapitre III : Etude du trafic

1- Introduction	26
2- Analyse des trafic existants	26
3- Mesure des trafics	26
4- L'inconvénient de cette méthode	27
5- Les enquêtes	27
A- Les enquêtes origines destination.....	27
B- Les enquêtes papillons ou distribution.....	27
6- Les avantages de la méthode.....	27

7- Les inconvénients de la méthode	27
8- Relevé des plaques minéralogie	27
9-Interview des conducteurs	28
10- Les enquêteurs à domicile – enquête ménage	28
11- Différents types des trafiques	28
-Trafic normal	28
-Trafic dévie	28
-Trafic induit.....	28
-Trafic total	29
12– Calcul de la capacité	29
A- Définition de la capacité.....	29
B- Projection future du trafic	29
C- Calcul de trafic effectifs	29
D- Débit de point horaire normal.....	30
E- Débit horaire admissible	30
F- Détermination nombres des voies.....	31
G- Les données de trafic.....	31
13- Conclusion	32

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée

1- Introduction	34
2- La chaussée	34
A-Définition	34
B-Différents types de chaussées	35
- Chaussée souple	35
- Chaussée semi-rigide	36
- Chaussée rigide	36
3- Les Différents Facteurs à prendre en compte pour le dimensionnement	37
A - Trafic	37
B – Environnement	37
C - Le Sol Support	37
D – Matériaux	38
4- Méthodes De Dimensionnement	38

A- Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio)	39
B- Méthode A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials)	40
C- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves	40
5- Application au Projet	41
A- Données de l'étude	41
B- Répartition de trafic	41
C- Calcul d'épaisseur	41
C- Epaisseur équivalente	42

Chapitre V : Paramètres cinématiques

1- Définition	44
2- Distance de freinage	44
A-Application	45
3- Temps de perception et de réaction	45
4- Distance d'arrêt	46
A- Application	47
5- Distance de perception	48
A- Application	48
6- Espacement entre deux véhicules	49
7- Distance de visibilité de dépassant et de manœuvre	51

Chapitre VI : Les raccords progressifs

1- Introduction	53
2- Définition de la Clothoïde	53
3- Les éléments de la clothoïde	53
4- Propriétés de la clothoïde	54
5- Les conditions de raccordement	54
A- Condition de confort optique	54
B- Condition de confort dynamique	55
C- Condition de gauchissement.....	55
D- La Vérification de non chevauchement	55

6- Notion de devers	56
A- Devers en alignement	56
B- Devers en courbe	56
C- Rayon de courbure	56
D- Calcul des devers	56
7- Application de projet	57
A- Calcul des dévers associés aux rayons de la variante choisie	57
B- Calcul de la longueur de Clothoïde et la vérification de non chevauchement	57
C- Calcul des paramètres des deux clothoïde	58

Chapitre VII : Profil en long

1- Définition	61
2- La ligne de projet (ligne rouge).....	61
3- Règles à respecter dans le tracé du profil en long	61
4- Les éléments de composition du profil en long	62
5- Coordination entre le tracé en plan et le profil en long	62
6- Déclivité	63
7- Les raccordements en profil en long	64
8- Eléments nécessaires au calcul du profil en long	66
9- Détermination pratique du profil en long	67
10- Application de projet	68

Chapitre VIII : Profil en travers

1- Définition	71
2- Types De Profil En Travers	71
A- profil en travers type	71
B- profil en travers courants	71
3- Les éléments de composition du profil en travers	71

Chapitre IX :Cubatures et mouvements des terres

1- Introduction	74
2- Cubatures terrassements	74
3- Méthode utilisée	74
A- Description de la Méthode	74
4- Mouvement des terres	76
A- Métré de terrassement	76
B- Foisonnement	76
C- Moment de transport	76
D- Distance moyenne de transport	76
E- Epure de LALANNE	76
F- Principe de l'épure de LALANNE	77
G- Etablissement de l'épure de LALANNE	77
H- Ligne de répartition des sens de transport	77
5- Calculs des cubatures	78

Chapitre X : Signalisation routière

1- Introduction	81
2- L'objectif de la signalisation routière	81
3- Règles à respecter pour la signalisation	81
4- Types de signalisations	81
5- Caractéristiques générales des marques	83
6- Application au projet	84
7- Eclairage	85
A- Introduction.....	85
B- Catégorie d'éclairage.....	85
C- Paramètre de l'implantation des luminaires.....	85
D- Application au projet.....	86
8- Conclusion	86

Chapitre XI : Estimation du Coût du Projet

Devis.....	88
Conclusion générale.....	89
Bibliographie	90

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Les coordonnées des sommets de l'axe de "variante 1"	16
Tableau 02: Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante 1"	16
Tableau 03: dénivelé de profil "variante 1 "	18
Tableau 04 : Classification de terrain et Dénivelée cumulée "variante 1 "	18
Tableau 05: Sinuosité "variante 1 "	19
Tableau 06 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité "variante 1 "	19
Tableau 07: VVL et VPL en fonction de la Cat et E sur B40. "Variante 1 "	20
Tableau 08: Devers en fonction de l'environnement.....	20
Tableau 09 : Valeur du coefficient ft	20
Tableau 10 : Valeur du coefficient « F' ».....	20
Tableau 11: Le rayon de variante 1.....	21
Tableau 12: Eléments des raccordements circulaires "variante 1 "	21
Tableau 13 : Cubatures approchées de la 'variante 1'	23
Tableau 14: Les coordonnées des sommets de l'axe de "variante2 "	23
Tableau 15 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante2"	24
Tableau 16: Le rayon de variante 2.....	24
Tableau 17 : Comparaison entre les deux variantes	24
Tableau 18 : coefficient d'équivalence	30
Tableau 19 : Valeur de K1.....	30
Tableau 20 : valeur de K2.....	30
Tableau 21 : valeur de la capacité théorique.....	30
Tableau 22 : résultats du calcul de trafic.....	32
Tableau 23 : la portance de sol en fonction de l'indice de CBR.....	38
Tableau 24 : Les classes de portance des sols.....	38
Tableau 25 : Coefficient d'équivalence.....	40
Tableau 26 : épaisseurs du corps de chaussée.....	42
Tableau 27: coefficient de frottement longitudinal fl en fonction de la vitesse (B40).....	44
Tableau 28: Distance de perception.....	49

Tableau 29 : les différentes distances selon les normes B40.....	51
Tableau 30: Devers.....	56
Tableau 31: Longueur de la clothoïde.....	58
Tableau 32 : Paramètres de clothoïde.....	59
Tableau 33 : Valeur de déclivité maximal.	63
Tableau 34: Rayons convexes.....	65
Tableau 35 : Rayons concaves (angle rentrant). Cat1, V80.....	66
Tableau 36 : Caractéristique des rayons verticaux.....	69
Tableau 37 : les valeurs de tangente et la flèche.....	69
Tableau 38 : cubatures détaillées	79
Tableau 39: signalisation verticale	84
Tableau 40: signalisation horizontale	40
Tableau 41 : Devis estimatif	88

Liste des figures

Figure01 : réseau routier de Mostaganem	03
Figure02 : début et fin de projet.....	04
Figure03 : levé topographique	05
Figure04 : Les éléments de tracé en plan.....	08
Figure05 : Détermination de l'angle au centre.....	11
Figure 06 Les éléments d'un raccordement circulaire.....	11
Figure 07 : Schéma représentant la surface entre profil	14
Figure 08: Calcul de surfaces cas de remblai.....	14
Figure 09: Calcul de surfaces cas de déblai.....	15
Figure 10: Structure type d'une chaussée souple.....	36
Figure 11 : La structure de chaussée.....	42
Figure 12 : Temps de perception-réaction.....	46
Figure 13 : Distance de perception.....	48
Figure 14: L'espacement entre deux véhicules.....	50
Figure 15 : Les éléments de la clothoïde.....	53
Figure 16 : La propriété de clothoïde.....	54
Figure 17 : Condition de gauchissement	55
Figure 18 : vérification de non chevauchement	55
Figure 19 : Profil en long.....	61
Figure 20 : Eléments du profil en long	67
Figure 21 : Pratiques du profil en long.....	67
Figure 22 : Les éléments d'une route.....	71
Figure 23 : profile en travers.....	72
Figure 24 : Schéma représentant la surface entre profil.....	75
Figure 25 : L'épure de LALANNE.....	77
Figure 26: Sens de transport.....	77
Figure 27 : Flèche de signalisation.....	83
Figure 28 : Paramètres de l'implantation des luminaires.....	86

RESUME

Pour mettre en application nos connaissances théoriques acquises pendant le cycle de notre formation on a choisi un thème de route et ceci rentrant dans le cadre de la préparation du diplôme de master voie et ouvrage d'art VOA.

C'est un sujet où on doit réhabiliter un tronçon de pris du chemin de wilaya CW24 de la wilaya de Mostaganem à la commune de Kheir-Eddine.

L'objectif de cette étude est :

- Amélioration le niveau de service de cette route.
- Assurer le confort, et la sécurité des usagers.
- Augmentation de la capacité de la route.
- Les Rectifications des virages.
- Le Renforcement de la chaussée
- L'élargissement de la route en évitant les grands remblais

Pour atteindre ces objectifs on étudiera en premier lieu la route existante en faisant ressortir les caractéristique géométriques de ce tronçon ne respectant pas les normes du B40 ce qui peut se traduire par l'absence de sécurité et confort pour l'utilisateur empruntant ce chemin. Et en second lieu on donnera à cette route les caractéristiques d'un chemin de wilaya en prenant en considération toutes les contraintes existantes. Ainsi que les opérations nécessaires au dimensionnement adéquat de la chaussée, des accotements et d'établir le type de renforcement répondant au trafic actuel afin d'assurer sécurité et confort.

ABSTRACT

To apply our theoretical knowledge acquired during the course of our study, we chose a road theme and this falling within the framework of the preparation of the master degree.

This is a subject where we must rehabilitate a section taken from the wilaya CW24 of the wilaya of Mostaganem connecting the commune of Kheir-Eddine.

The objective of this study is:

- Improvement of the service level of this route.
- Ensure the comfort and safety of users.
- Increase in road capacity.
- Correction of turns.
- Reinforcement of the roadway
- Widening of the road avoiding large embankments

To achieve these objectives, we will first study the existing road by highlighting the geometric characteristics of this section that does not meet B40 standards, which can result in the lack of safety and comfort for the user taking this path. And secondly we will give this road the characteristics of a wilaya path taking into account all the existing constraints. As well as the operations necessary for the adequate dimensioning of the roadway, shoulders and to establish the type of reinforcement responding to the current traffic in order to ensure safety and comfort.

مختصرة نبذة

لتطبيق معرفتنا النظرية المكتسبة خلال فترة تدريبنا ،اخترنا موضوع في مجال الطرقات وهذا يدخل في إطار إعداد درجة الماجستير في تخصص VOA

هذا موضوع يتطلب منا إعادة تأهيل مقطع طول 2,077 كيلو متر مأخوذ من المسار الولائي CW24 لولاية مستغانم لبلدية خير الدين..

الهدف من هذه الدراسة هي:

- تحسين مستوى الخدمة لهذا الطريق.
- ضمان راحة وسلامة المستخدمين.
- زيادة الطاقة الاستيعابية للطريق.
- تصحيح المنعرجات.
- تدعيم الطريق.
- اتساع الطريق.

لتحقيق هذه الأهداف سنقوم أولاً بدراسة الطريق الموجودة من خلال تسليط الضوء على الخصائص الهندسية لهذا الجزء من الطريق الذي لا تلبى معايير B40 ويمكن أن تؤدي إلى نقص الأمان والراحة للمستخدم الذي يسلك هذا المسار . وثانياً، سنعطي لهذا الطريق خصائص مسار ولائي مع مراعاة وأخذ بالاعتبار جميع القيود القائمة. و كذلك العمليات اللازمة لتحديد الأبعاد المناسبة للطريق وتحديد نوع التعزيز الذي يستجيب لحركة المرور الحالية من أجل ضمان السلامة والراحة.

INTRODUCTION

Actuellement la richesse d'un pays peut se mesurer à la puissance de ses moyens de communication. Notre pays a fourni, depuis l'aube de l'indépendance, un effort pour le développement du réseau routier.

La route reste donc un moyen de communication très important dans la vie économique, industrielle et même sociale.

Depuis des siècles, l'homme a pensé à ce moyen de communication et les tracés étaient différemment conçus selon les moyens de transports de chaque époque.

En prélude à la construction d'une route, différents types d'études sont menés simultanément comme des études géométriques de tracé, des études de structure de la chaussée, des études environnementales, faisant intervenir auprès des ingénieurs de nombreux experts : écologues, géographes, archéologues, sociologues, paysagistes, architectes ou naturalistes.

Les routes modernes doivent permettre une circulation commode et sûre des véhicules et en même temps une réalisation économique, à bon marché. Les conditions actuelles dans lesquelles se développe aujourd'hui la circulation sont caractérisées par certains facteurs de base (le trafic, la vitesse de circulation...). Ces éléments

Conditionnent les caractéristiques des véhicules et en même temps la conception et les structures des routes.

Toute route projetée doit satisfaire à certaines caractéristiques tout en respectant la réglementation existante ; elle doit également utiliser au mieux les ressources en matériaux disponibles à proximité.

D'où l'importance de notre étude, qui consiste à faire la réhabilitation d'un tronçon routier de chemin de wilaya CW 24 de Mostaganem a la commune de kheir-eddine Ce projet de réhabilitation étant nécessaire en respectant les normes du B40. Ces normes sont de deux ordres: sécurité des usagers et capacité des infrastructures à écouler le trafic qu'elles supportent.

Les études de conception vont permettre de mettre au point les modalités pratiques qui permettront sa construction. Elle impose bien des études préalables pour définir : nombre de voies, dimensions et structure de la chaussée, caractéristiques de la couche de surface.

La première partie sera consacrée à l'étude de la conception de la route en deux variantes seront étudiées. La deuxième partie sera consacrée à l'étude de la variante présentant le plus d'avantage.

Chapitre I
Présentation Et Contexte
Du Projet

1 : CONTEXTE DE PROJET :

Mostaganem est une ville de très grande importance par sa situation géographique. La zone d'étude est comprise dans la région Nord-Ouest du schéma national d'aménagement du territoire constituée des wilayas d'Oran, Tlemcen, Ain T'émouchent, Relizane, Mascara, Mostaganem, et au Nord centre, Chleff, Khemis Méliana, Blida et Alger.

Situé dans la zone de plaine littorale les plus riches, la vocation principale de la région reste agricole.

L'industrie dans l'ensemble de la région s'est développée grâce à la disponibilité de nombreux ports et d'infrastructures routières et ferroviaires. Les ressources humaines qualifiées ont été des facteurs favorables au développement industriels.

La ville de Mostaganem est reliée au reste du pays par les routes nationales RN 11, RN 90, RN 90A, RN 23 et RN 17.

La wilaya de MOSTAGANEM située dans l'ouest nord de l'Algérie, elle a une superficie de 2269 km² et une population de 723000 habitants.



Figure 01 : réseau routier de Mostaganem

2 - DECOUPAGE ADMINISTRATIF :

- ✓ 10 Daïras
- ✓ 32 Communes.
- ✓ 4 Subdivisons de travaux publics (STP).
- ✓ 7 Unités d'Intervention Routière (UIR).
- ✓ 4 Maisons cantonnières

3 - INFRASTRUCTURES ROUTIERES :

- ✓ RN : 332 km
- ✓ CW : 654 km
- ✓ CC : 840 Km
- ✓ Les ouvrages d'art sur RN : 36.
- ✓ Les ouvrages d'art sur CW : 24.

4 -INFRASTRUCTURES PORTUAIRES :

- ✓ 1 Phare.
- ✓ 1 port commercial.
- ✓ 3 ports de pêche.

L'objet de l'étude dans sa globalité est de chercher de nouvelles variantes de tracé plus proches des routes actuelles telles que la RN 90A et la RN 23. Et de s'approcher des grandes.

Agglomérations de la région capables d'attirer des volumes de trafic plus importants assurant ainsi une meilleure liaison entre Mostaganem et l'autoroute Est-Ouest.

5 -PRESENTATION ET CONTEXTE DU PROJET

La présentation d'un projet d'étude la réhabilitation de chemin de wilaya CW24 PK 25+200 au PK 27+277 de la longueur 2 Km ; d'un projet total de 5 Km reliant RN90 au CW7 du commune Khier-Eddine a Mostaganem.



Figure 02: début et fin de projet

6- DONNES DE BASE :

a- Levé topographique :

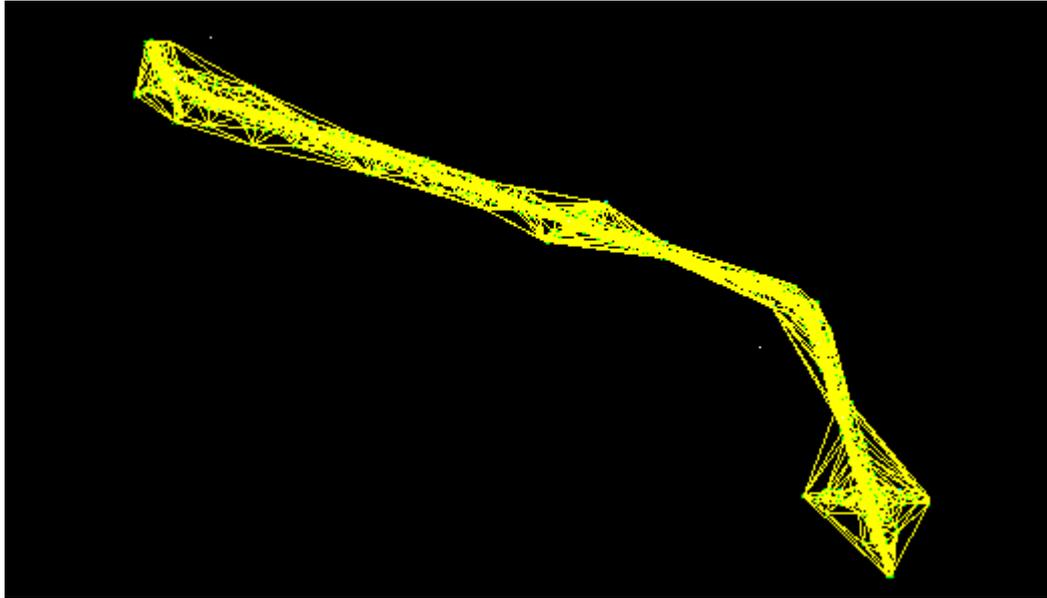


Figure 3 ; levé topographique

b-Trafic :

- ✓ Trafic Moyen Journalier Annuel **TJMA** (2019) = 1838 V/j
- ✓ Le pourcentage (%) des poids lourds **Z** = 18 %
- ✓ Taux de croissance annuel du trafic τ = 10 %
- ✓ Durée d'étude et d'exécution : **n= 2 ans**
- ✓ Durée de vie : 20 **ans**
- ✓ **CBR : I= 10**

c- Catégorie de la route :

La catégorie d'une route est définie suivant la nature des villes, suivant les activités socio-économiques et administrative situées sur les localités desservie par la route.

Les routes Algérienne sont classées en cinq (5) catégorie fonctionnelles et sont comme suit :

- ✓ **Catégorie 1** : Liaison entre les grands centres économiques et les centres industriels lourdes considérés deux à deux, et liaisons assurant le rabattement des centres d'industries de transformation vers réseau de base ci-dessus.
- ✓ **Catégorie 2** : Liaisons des pôles d'industries de transformations entre eux, et liaisons de raccordement des pôles d'industries légères diversifiées avec le réseau précédent.
- ✓ **Catégorie 3** : Liaison des chefs lieux de daïra et des chefs lieux de wilaya, non desservies par le réseau
- ✓ précédent, avec le réseau de catégories 1 et 2.

- ✓ **Catégorie 4 :** Liaison entre tous les centres de vie qui ne sont pas reliés au réseau de catégorie 1 – 2 et 3 avec le chef lieu de daïra, dont ils dépendent, et avec le réseau précédent.
- ✓ **Catégorie 5 :** routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes.

Chapitre II

Etude Des Variantes

1- TRACE EN PLAN :

A - Définition : Le tracé en plan d'une route est obtenu par projection de tous les points de cette route sur un plan horizontale. Le tracé en plan d'une route constitué en général par une succession des alignements droits et des arcs reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif. Le tracé en plan d'une route est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on pourra déterminer les caractéristiques géométriques de la route. Le tracé en plan d'une route doit permettre d'assurer de bonne sécurité et de confort.

B - Règles à respecter dans le tracé en plan :

Pour faire un bon tracé en plan, suivant les normes, on doit respecter certaines recommandations :

- ❖ Respecter les normes de l'ARP (l'aménagement des routes principales) ;
- ❖ Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières ;
- ❖ Adapter au maximum le terrain naturel pour éviter les terrassements importants ;
- ❖ Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau.
- ❖ Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques. Si on n'a pas le choix on essaie de les franchir perpendiculairement;
- ❖ Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- ❖ De recourir de préférence à des alignements droits (au moins 50 % du linéaire pour permettre l'implantation de carrefours et une visibilité de déplacement dans de bonnes conditions) alternant avec des courbes moyennes (de rayon supérieur au rayon minimal, et ne dépassant guère le rayon non déversée).

C - Les éléments de tracé en plan :

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments géométriques:

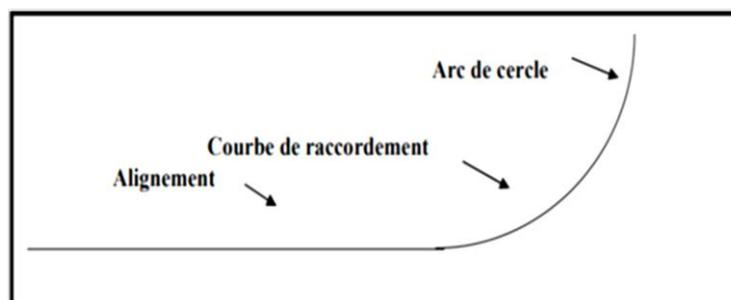


Figure 4 : Les éléments de tracé en plan.

- Alignement droit:

Bien que le principe de la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes modernes est restreint. La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

- ❖ Eblouissement causé par les phares ;
- ❖ Monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents ;
- ❖ Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés ;
- ❖ Mauvaise adaptation de la route au paysage.

La longueur des alignements dépend de :

- ❖ La vitesse de base, plus précisément de la durée du parcours rectiligne ;
- ❖ Des sinuosités avant et après l'alignement ;
- ❖ Du rayon de courbure de ces sinuosités.

C'est pour cela qu'il est préférable de remplacer les longs alignements droits par des successions d'alignements courts ou par des courbes à grands rayons. Le facteur le plus important est le pourcentage des alignements droits d'une section de route. Il est recommandé de limiter ce pourcentage de 40 à 80 %.

- Règles concernant la longueur des alignements :

Une longueur minimale d'alignement L_{\min} devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant **cinq (5) secondes** à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle.

- $L_{\min} = 5 \times \frac{VB}{3.6}$: vitesse de base en **km/h**

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

- $L_{\max} = 60 \times \frac{VB}{3.6}$

- Arcs en cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures:

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

Pour cela on essaie de choisir des rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous du rayon minimum préconisé.

D - Les variantes :

Les variantes sont en première approximation composées d'alignements droits raccordés par des arcs de cercles. Notre présente étude s'effectue sur les étapes suivantes :

- ❖ Détermination des coordonnées définissant l'axe de notre variante ainsi que les angles au centre des parties circulaires.
- ❖ L'environnement de la route.
- ❖ Dénivelée cumulée.
- ❖ Sinuosité.
- ❖ Vitesse de référence Vr.
- ❖ Les rayons en plan RHm, RHN, Rhd et RHnd.
- ❖ Choix des rayons.
- ❖ Détermination de tous les éléments des raccordements circulaires.
- ❖ Déclivités « profil en long ».
- ❖ Cubatures approchées.

- Calcul de gisement de distance et des angles au centre :

➤ Gisement :

Le gisement d'une direction est l'angle dans le sens topographique (des aiguilles d'une montre) compris entre l'axe des Y et la direction.

$$G_{S1S2} = \arctg \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \arctg \frac{X_{S2} - X_{S1}}{Y_{S2} - Y_{S1}}$$

• Cas exceptionnels pour le calcul de gisement :

GIS = gis si ($\Delta X > 0$ et $Y > 0$) (avec gis > 0)

GIS = 200 - gis si ($\Delta X > 0$ et $Y < 0$) (avec gis < 0)

GIS = 200 + gis si ($\Delta X < 0$ et $Y < 0$) (avec gis > 0)

GIS = 400 - gis si ($\Delta X < 0$ et $Y > 0$) (avec gis < 0)

➤ Distance :

La distance S1S2 est donnée par la relation :

$$S_1 S_2 = \sqrt{(X_{S2} - X_{S1})^2 + (Y_{S2} - Y_{S1})^2}$$

L'angle au centre :

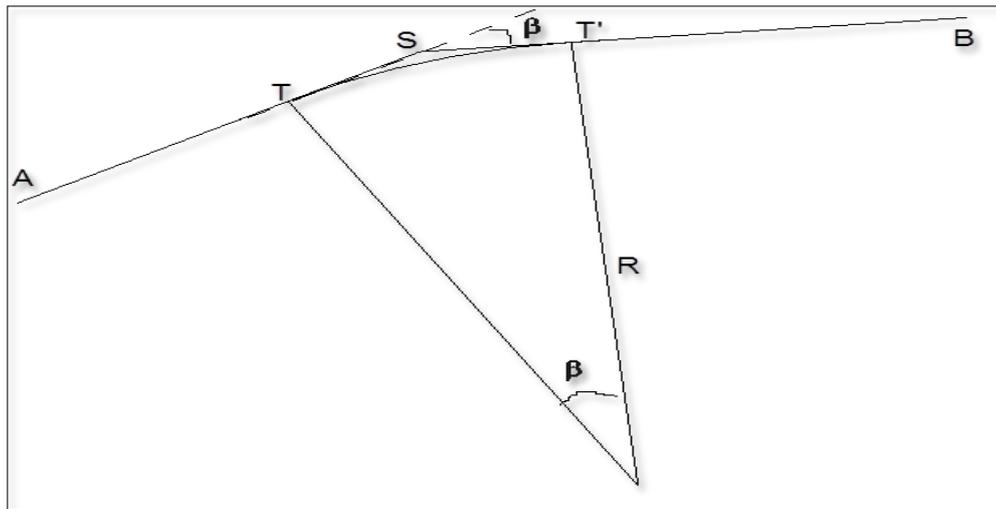


Figure 5 : Détermination de l'angle au centre.

D'après le cas de Figure. II.1, l'angle au centre β est donné par : $\beta = G_{SB} - G_{AS}$

- Détermination des éléments des raccordements circulaires :

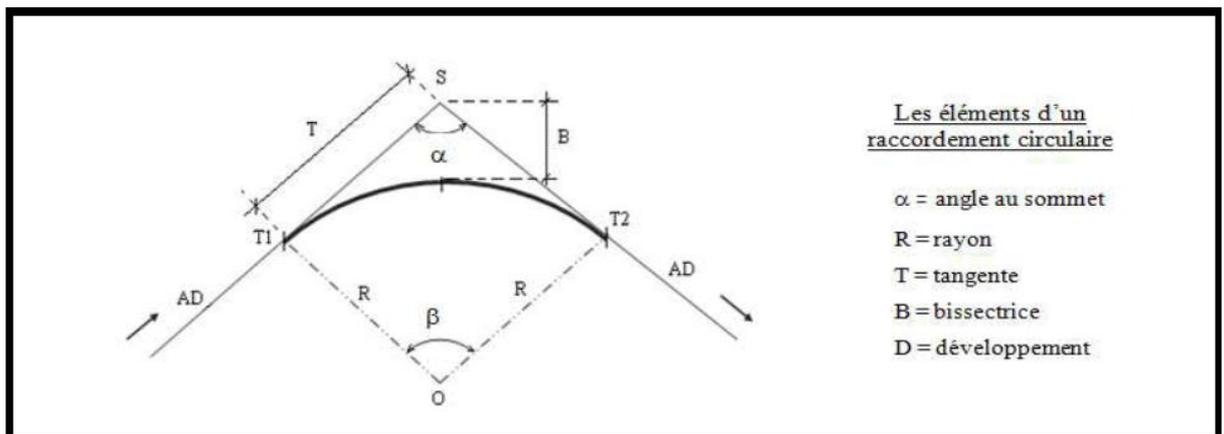


Figure 6 : Les éléments d'un raccordement circulaire.

➤ **angles de déviation au sommet α :**

Quand on prolonge les alignements droits confondus avec l'axe de route.

➤ **La tangente :**

$$ST = ST' = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

➤ **Bissectrice**

$$\text{Biss} = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\beta}{2}} - 1 \right)$$

➤ **La développée :**

$$D = \frac{\pi \cdot \beta^{\text{deg}} \cdot R}{180} = \frac{\pi \cdot \beta^{\text{Grad}} \cdot R}{200} = R \beta^{\text{rd}}$$

➤ **La flèche :**

$$F = R \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)$$

- Environnement de la route : « Ei »

Les deux indicateurs adoptés pour caractériser chaque classe d'environnement sont :

- La dénivelée cumulée moyenne.
- La sinuosité.

- La vitesse de référence :

La vitesse de référence est la vitesse de circulation des véhicules sur une route à circulation normale et au dessous de laquelle les véhicules rapides peuvent circuler normalement en dehors des pointes. Elle est déterminée en fonction de l'importance des liaisons assurées par la section de route et par les conditions géographiques. La vitesse est donc fonction de :

- La catégorie.
- L'environnement.

- Courbes en plan :

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

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

➤ **Le rayon horizontal minimal absolu (RHm) :**

C'est le plus petit rayon en plan admissible pour une courbe présentant un dévers maximal et parcourue par la vitesse de référence.

$$\text{RHm} = \frac{V_r^2 \text{ (Km/h)}}{127 (f_t + d_{\text{max}})}$$

➤ **Le rayon minimal normal (RHN) :**

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

$$\text{HRN} = \frac{(V_r + 20)^2 \text{ (Km/h)}}{127 (f_t + d_{\text{max}})}$$

➤ **Le rayon au devers minimal RHd :**

RHd est le rayon au deçà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et tel que l'effet centrifuge résiduel soit équivalent à celui subi par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit (devers : - d min %).

$$\text{RHd} = \frac{V_r^2 \text{ (Km/h)}}{127 (2 * d_{\text{min}})}$$

$D_{\text{min}} = 2.5\%$ en catégorie 1 – 2

$D_{\text{min}} = 3\%$ en catégorie 3–4

➤ **Le rayon non déversé RHnd :**

C'est le rayon tel que l'accélération centrifuge résiduelle que peut parcourir un véhicule roulant à la vitesse $V = V_r$ et présente un dévers vers l'extérieur.

$$\text{RHnd} = \frac{V_r^2 \text{ (Km/h)}}{127 (F'' - d_{\text{min}})}$$

- Calcul des Cubatures approchés :

➤ **Méthode de calcul approximatif :**

$$V_t = \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) d_1 + \left(\frac{S_2 + S_3}{2} \right) d_2 + \dots + \left(\frac{S_n + S_{n+1}}{2} \right) d_{n+1}$$

➤ **Par conséquent**

$$V_t = \left(\frac{d_1}{2} \right) S_1 + \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) S_2 + \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right) S_3 + \dots + \left(\frac{d_n + d_{n+1}}{2} \right) S_{n+1}$$

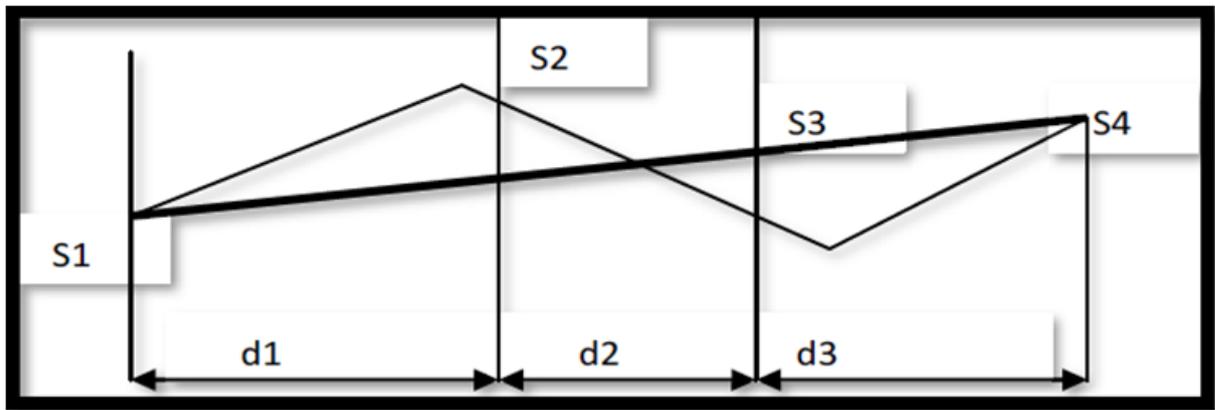


Figure 7 : Schéma représentant la surface entre profil.

➤ **Calcul des surfaces :**

• **En remblai :**

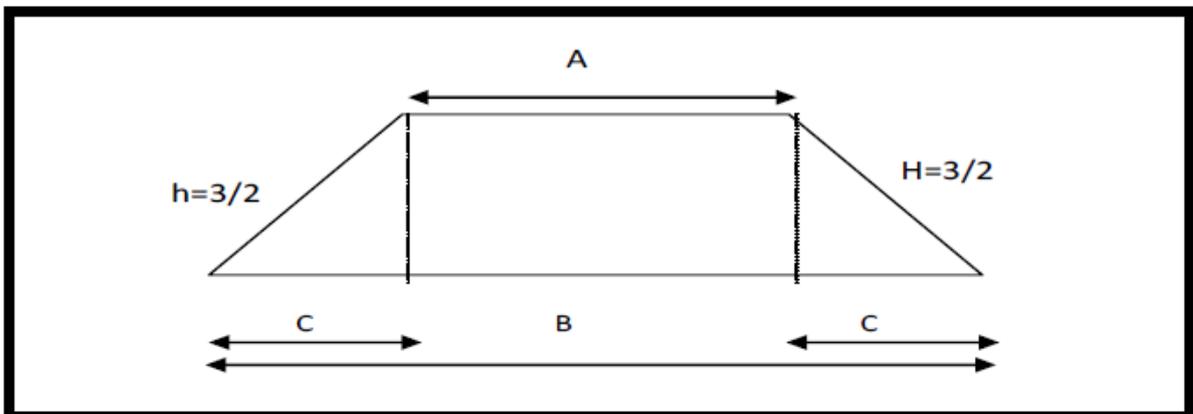


Figure 8: Calcul de surfaces cas de remblai.

Avec :

- **A** : largeur de la chaussée les 2 Accotements.
- **Tg $\alpha = P = 2/3 = h/c$**
- **$c = 3h / 2$**
- **h** : différence de niveau entre la côte de projet et la côte terrain naturel
- **$B = A + 2c = A + 3h$**

D'où : $S = (A + B) h/2 \Rightarrow \mathbf{SR = Ah + 3 h^2/2}$

• **En déblai :**

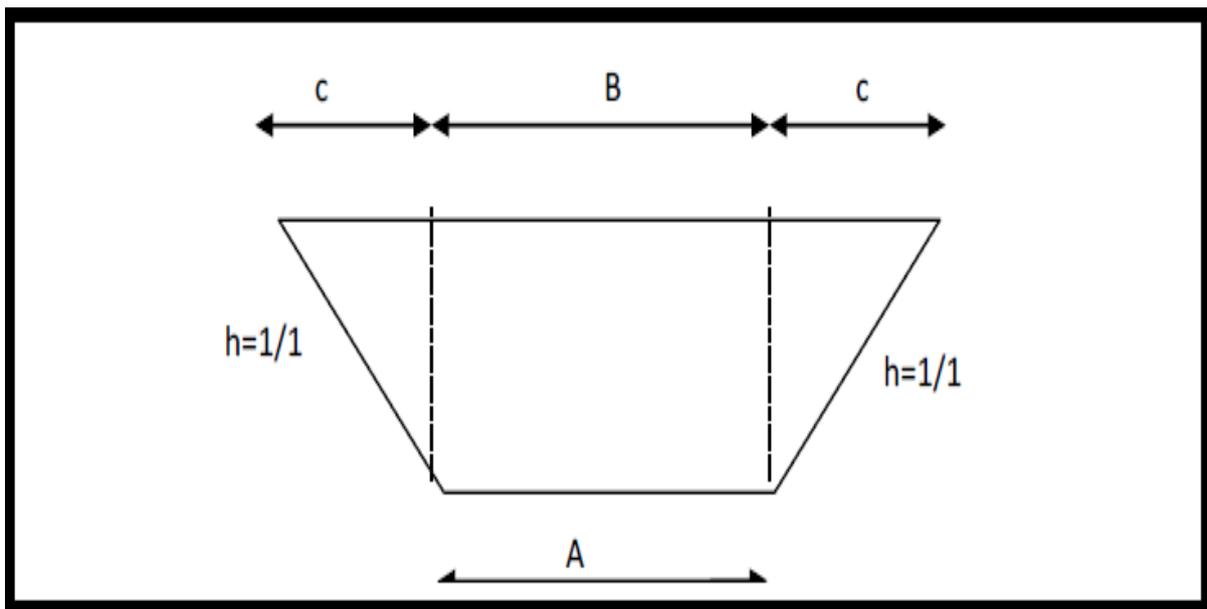


Figure 9: Calcul de surfaces cas de déblai.

Avec :

- **h** : différence entre C.T.N et C.P.
- **A** : largeur de la chaussée + 2 accotements
- **$SD = Ah + h^2$**

2 - Etude des variantes :

A - Etude de la variante 1 :

- Introduction :

La variante une est composée des alignements droits AS1, S1S2 et S2 B raccordés par des arcs de cercle de Rayon R1et R2 .

- Les coordonnées des sommets :

	X	Y
A	50029.9152	39834.1024
S1	49753.5053	40437.7112
S2	48497.6272	40926.2241
B	48486.8441	40949.6286

Tableau 1: Les coordonnées des sommets de l'axe de "variante 1 "

- Calcul de gisements et des angles au centre :

Tableau 2 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante 1".

Direct	X et Y (m)	Gisements (gr)	Bitas (gr)	Distances (m)
A-S1	X =-276,4099	372,2979	25,1312	655,7149
	Y =594,6088			
S1-S2	X=-1255,8781	397,4291	24,9145	1347,5439
	Y=488,5129			
S2-B	X=-10,7831	372,5146		25,7690
	Y=23,4045			

Tableau 02: Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante 1

- Environnement de la route :

A)- Dénivelée moyenne cumulée « H/L » :

Profil n°	Abscisse	Point d'axe		Altitudes (m)	DH (m)
		X	Y		
P1	0	50029,915	39834,102	798,682	0
P2	50	50015,189	39881,885	799,392	0,71
P3	100	50000,463	39929,667	799,827	0,435
P4	150	49985,736	39977,449	800,028	0,201
P5	200	49971,01	40025,231	800,005	-0,023
P6	250	49956,284	40073,013	800,828	0,823
P7	300	49941,557	40120,795	801,797	0,969

P8	350	49926,831	40168,578	801,651	-0,146
P9	400	49912,105	40216,36	802,107	0,456
P10	450	49897,379	40264,142	802,737	0,63
P11	487,827	49886,238	40300,291	804,161	1,424
P12	500	49882,626	40311,916	804,419	0,258
P13	550	49864,453	40358,428	804,096	-0,323
P14	577,96	49849,388	40381,929	803,952	-0,144
P15	600	49834,125	40397,786	803,509	-0,443
P16	600,407	49833,816	40398,051	803,516	0,007
P17	650	49791,452	40423,471	804,855	1,339
P18	690,541	49753,505	40437,711	806,422	1,567
P19	700	49744,568	40440,809	806,329	-0,093
P20	750	49697,325	40457,185	806,764	0,435
P21	800	49650,083	40473,56	807,233	0,469
P22	850	49602,84	40489,935	807,544	0,311
P23	900	49555,598	40506,311	807,221	-0,323
P24	950	49508,355	40522,686	806,205	-1,016
P25	1000	49461,113	40539,061	805,472	-0,733
P26	1050	49413,871	40555,437	805,034	-0,438
P27	1100	49366,628	40571,812	804,774	-0,26
P28	1150	49319,386	40588,187	804,651	-0,123
P29	1200	49272,143	40604,563	804,293	-0,358
P30	1250	49224,901	40620,938	803,766	-0,527
P31	1300	49177,658	40637,313	803,06	-0,706
P32	1350	49130,416	40653,689	802,094	-0,966
P33	1400	49083,173	40670,064	801,268	-0,826
P34	1450	49035,931	40686,439	800,549	-0,719
P35	1500	48988,689	40702,815	799,786	-0,763
P36	1550	48941,446	40719,19	799,037	-0,749
P37	1600	48894,204	40735,565	797,838	-1,199
P38	1650	48846,961	40751,941	796,545	-1,293
P39	1700	48799,719	40768,316	795,394	-1,151
P40	1750	48752,476	40784,691	794,565	-0,829

P41	1800	48705,234	40801,067	793,808	-0,757
P42	1850	48657,991	40817,442	792,83	-0,978
P43	1895,146	48615,335	40832,228	791,85	-0,98
P44	1900	48610,75	40833,819	791,838	-0,012
P45	1950	48564,439	40852,558	790,911	-0,927
P46	1985,28	48535,024	40871,888	790,035	-0,876
P47	2000	48524,469	40882,134	789,708	-0,327
P48	2021,861	48511,295	40899,542	789,392	-0,316
P49	2050	48498,406	40924,534	788,896	-0,496
P50	2051,86	48497,627	40926,224	788,914	0,018
P51	2077,63	48486,844	40949,629	788,527	-0,387
Somme	LT = 2077,63 m		DH = 10,155		

Tableau 3 : dénivelé de profil "variante 1".

C'est la somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées le long de l'itinéraire. Le rapport de la dénivelée cumulée total H à la longueur total de l'itinéraire L permet de mesurer la variation longitudinale du relief.

$$D_c = \frac{|\sum_{P_i > 0} P_i L_i + \sum_{P_i < 0} P_i L_i|}{L}$$

P : pente du terrain.

L : longueur de l'itinéraire ($L=L_1+L_2+L_3+\dots L_n$).

➤ **Dénivelée cumulée moyenne :**

Cette dénivelée cumulée moyenne nous permet de connaître la nature du terrain le tableau ci-après nous donne la dénivelé moyen cumulé de chaque profil :

$$D_c = \frac{\sum \Delta H}{\sum Distance} = \frac{10,155}{2077,63} = 0.004877 \quad \Rightarrow \quad D_c = 0,48 \%$$

Les valeurs seuils déterminées par l'analyse de plusieurs itinéraires en Algérie, permettent de caractériser trois types de topographie.

N°	Classification du Terrain	Dénivelée Cumulée
1	Plat	Dc 1.5%
2	Terrain Vallonné	1.5% < DC 4%
3	Terrain montagneux	Dc > 4%

Tableau 4 : Classification de terrain et Dénivelée cumulée "variante 1 ".

B)-Sinuosité :

Pour le choix des rayons on optera pour des valeurs supérieures à 200 m

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

N°	N° Classification	Sinuosité
1	Sinuosité faible	$\sigma < 0.10$
2	Sinuosité moyenne	$0.10 < \sigma < 0.30$
3	Sinuosité forte	$\sigma > 0.30$

Tableau 5: Sinuosité "variante 1 ".

$$\sigma = \frac{120+120}{2077,63} = 0,115$$

A partir du tableau ci-dessus, nous pouvons conclure que notre variante est de **Sinuosité moyenne**.

C) Environnement de la route :

Les trois types d'environnement résultent du croisement des deux paramètres précédents.

Sinuosité et relief	Faible	Moyenne	Forte
Plat	E1	E2	/
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux	/	E2	E3

Tableau 6 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité "variante 1 ".

a- La vitesse de référence :

La vitesse est donc fonction de :

- La catégorie
- L'environnement

Le tableau ci-dessous nous permet de déterminée la vitesse de référence.

Environnement Catégorie	E1	E2	E3
Catégorie 1	120-100-80	100- 80 -60	80-60-40
Catégorie 2	120-100-80	100-80-60	80-60-40
Catégorie 3	120-100-80	100-80-60	80-60-40
Catégorie 4	100-80-60	80-60-40	60-40
Catégorie 5	80-60-40	60-40	40

Tableau 7 : VVL et VPL en fonction de la Cat 1 et E sur B40. "Variante 1".

Vitesse $V_r = 80 \text{ km/h}$

b- Stabilité en courbe :

➤ **Détermination des dévers d_{\max} et d_{\min} :**

	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
d_{\min}	-2,50%	-2,50%	-3%	-3%	-4%
d_{\max}	7%	7%	8%	8%	9%

Tableau 8: Devers en fonction de l'environnement.

➤ **Détermination du coefficient transversal f_t :**

V_r	40	60	80	100	120	140
Cat 1-2	0.22	0.16	0.13	0.11	0.1	0.1
Cat 3-4-5	0.22	0.18	0.15	0.125	0.11	/

Tableau 9 : Valeur du coefficient f_t .

➤ **Détermination du coefficient F'' en fonction de la catégorie :**

Catégories	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5
F''	0.06	0.06	0.07	0.075	0.075

Tableau 10 : Valeur du coefficient « F'' ».

➤ **Tableau récapitulatif :**

Vitesse réf	d_{\max}	d_{\min}	$d=d_{\max}-2\%$	F_t	f''
80 km/h	7%	.5%	5%	0.13	0.06

➤ **Détermination des rayons en plan :**

1. Le rayon horizontal minimal absolu (RHm) :

$$RHm = \frac{80^2}{127 (0,13 + 0,07)} \longrightarrow \boxed{RHm = 252 \text{ m}}$$

2. Le rayon minimal normal (RHN) :

$$\mathbf{RHN} = \frac{(80+20)^2}{127 (0,11 + 0,05)} \longrightarrow \mathbf{RHN = 492 \text{ m}}$$

3. Le rayon au devers minimal RHd :

$$\mathbf{RHd} = \frac{80^2}{127 * 2 * 0,025} \longrightarrow \mathbf{RHd = 1008 \text{ m}}$$

Le rayon non déversé RHnd :

$$\mathbf{RHnd} = \frac{80^2}{127 (0,06 - 0,025)} \longrightarrow \mathbf{RHnd = 1440 \text{ m}}$$

c-Choix des rayons:

Pour une route de catégorie donnée, Il n'y a aucun rayon inférieur au rayon minimum absolu RHm. On utilisera, autant que possible des valeurs de rayons supérieures ou égales au rayon minimum normal RHN.

Rayons Choisis(m)	
R1	120
R2	120

Tableau 11 : Le rayon de variante 1

D- Détermination des éléments des raccordements circulaire:

Virage	Tangente (m)	Bissectrice (m)	Flèche (m)	Développée (m)
1	23,9980	2,3760	2,3299	47,3711
2	23,7857	2,3346	2,2900	46,9627

Tableau 12: Eléments des raccordements circulaires "variante 1".

• **Longueur totale des alignements droits : Lad**

$$\mathbf{Lad} = AT1 + T'1T2 + T'2B$$

$$\mathbf{Lad} = 641,7169 \text{ m} + 1299,6553 \text{ m} + 1,9833 \text{ m} \longrightarrow \mathbf{Lad} = 1943,3555 \text{ m}$$

• **Longueur totale des arcs de cercles : Lc**

$$\mathbf{Lc} = D1 + D2$$

$$\mathbf{Lc} = 47,3711 \text{ m} + 46,9627 \text{ m} \longrightarrow \mathbf{Lc} = 94,3338 \text{ m}$$

• **Longueur totale du tronçon : LT**

$$\mathbf{LT} = Lad + Lc$$

$L_T = 1943,3555 \text{ m} + 94,3338 \text{ m}$



$L_T = 2077,63 \text{ m}$

Lad = 95,4 %

Lc = 4,6 %

E- Cubatures :

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application	Déblais					Remblais				
			Surf. G (m²)	Surf. D (m²)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)	Surf. G (m²)	Surf. D (m²)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)
P1	0.000	25.000	0.03	0.00	0.03	0.763	0.763	0.84	0.62	1.46	36.483	36.483
P2	50.000	50.000	0.07	0.03	0.10	4.957	5.721	1.45	1.86	3.31	165.467	201.950
P3	100.000	50.000	0.12	0.00	0.13	6.350	12.071	1.32	2.31	3.63	181.440	383.390
P4	150.000	50.000	0.69	0.11	0.80	40.025	52.095	0.04	0.48	0.52	25.760	409.150
P5	200.000	50.000	0.02	0.11	0.13	6.735	58.830	1.82	1.15	2.97	148.701	557.851
P6	250.000	50.000	0.03	0.10	0.13	6.565	65.395	1.43	0.97	2.40	120.215	678.066
P7	300.000	50.000	0.08	0.06	0.14	7.066	72.461	0.48	0.41	0.89	44.393	722.458
P8	350.000	50.000	0.02	0.05	0.07	3.406	75.868	2.01	1.62	3.64	181.868	904.326
P9	400.000	50.000	2.78	2.67	5.45	272.509	348.377	0.00	0.00	0.00	0.000	904.326
P10	450.000	43.913	0.12	0.09	0.21	9.149	357.526	0.94	1.05	1.99	87.250	991.576
P11	487.827	25.000	0.70	0.11	0.81	20.192	377.719	0.08	0.43	0.51	12.636	1004.212
P12	500.000	31.087	1.23	0.00	1.24	38.492	416.211	0.05	2.60	2.65	82.517	1086.730
P13	550.000	38.980	0.00	0.00	0.00	0.000	416.211	4.21	3.06	7.28	283.732	1370.461
P14	577.960	25.000	0.50	0.23	0.72	18.096	434.307	0.07	0.19	0.26	6.504	1376.966
P15	600.000	11.224	0.10	1.75	1.85	20.746	455.053	0.62	0.02	0.65	7.258	1384.224
P16	600.407	25.000	0.09	1.82	1.91	47.682	502.735	0.64	0.02	0.65	16.280	1400.503
P17	650.000	45.067	8.92	9.95	18.87	850.479	1353.213	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P18	690.541	25.000	15.51	13.30	28.80	720.106	2073.319	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P19	700.000	29.730	13.98	12.26	26.24	780.171	2853.490	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P20	750.000	50.000	11.24	9.10	20.34	1016.969	3870.460	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P21	800.000	50.000	6.15	5.80	11.96	597.832	4468.292	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P22	850.000	50.000	3.83	0.58	4.41	220.253	4688.545	0.00	0.03	0.03	1.266	1401.769
P23	900.000	50.000	1.02	0.02	1.03	51.733	4740.277	0.14	1.47	1.60	80.150	1481.919
P24	950.000	50.000	0.32	0.02	0.34	16.923	4757.200	1.01	2.09	3.09	154.653	1636.573
P25	1000.000	50.000	0.17	0.06	0.23	11.681	4768.881	0.50	1.25	1.74	87.218	1723.791
P26	1050.000	50.000	0.81	1.21	2.02	101.082	4869.963	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P27	1100.000	50.000	2.09	2.72	4.81	240.450	5110.413	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P28	1150.000	50.000	2.14	2.56	4.70	235.175	5345.589	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P29	1200.000	50.000	1.56	1.38	2.94	146.984	5492.572	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P30	1250.000	50.000	0.05	0.14	0.19	9.636	5502.208	1.47	0.91	2.38	119.134	1842.925
P31	1300.000	50.000	0.00	0.03	0.03	1.648	5503.856	2.46	1.79	4.25	212.516	2055.441
P32	1350.000	50.000	0.00	0.02	0.02	1.067	5504.923	3.30	2.04	5.33	266.680	2322.121
P33	1400.000	50.000	0.08	0.01	0.10	4.879	5509.802	1.36	1.74	3.11	155.267	2477.389
P34	1450.000	50.000	0.43	0.32	0.75	37.616	5547.417	0.10	0.11	0.21	10.563	2487.952
P35	1500.000	50.000	1.52	1.18	2.70	134.934	5682.351	0.00	0.00	0.00	0.000	2487.952
P36	1550.000	50.000	2.94	1.96	4.90	244.886	5927.237	0.00	0.00	0.00	0.000	2487.952
P37	1600.000	50.000	1.42	0.41	1.83	91.484	6018.720	0.00	0.00	0.00	0.000	2487.952
P38	1650.000	50.000	0.07	0.05	0.12	6.125	6024.845	1.24	1.37	2.60	130.246	2618.198
P39	1700.000	50.000	0.00	0.02	0.02	0.968	6025.813	2.94	2.32	5.26	263.038	2881.236
P40	1750.000	50.000	0.01	0.05	0.06	2.914	6028.727	2.08	1.74	3.82	190.770	3072.007
P41	1800.000	50.000	0.02	0.07	0.09	4.479	6033.206	1.48	0.69	2.17	108.321	3180.328
P42	1850.000	47.573	0.01	0.09	0.09	4.402	6037.608	1.58	0.76	2.34	111.088	3291.416
P43	1895.146	25.000	0.04	0.07	0.11	2.738	6040.347	1.54	1.36	2.91	72.683	3364.099
P44	1900.000	27.427	0.08	0.07	0.16	4.253	6044.599	1.07	1.07	2.14	58.752	3422.852
P45	1950.000	42.640	0.10	0.10	0.21	8.821	6053.421	1.01	0.90	1.91	81.347	3504.199
P46	1985.280	25.000	0.04	0.05	0.09	2.168	6055.589	2.17	1.90	4.07	101.727	3605.926
P47	2000.000	18.290	0.02	0.04	0.06	1.083	6056.672	1.82	2.13	3.95	72.179	3678.105
P48	2021.861	25.000	0.01	0.06	0.07	1.832	6058.504	1.83	1.73	3.56	89.003	3767.108
P49	2050.000	15.000	0.03	0.13	0.16	2.371	6060.875	1.66	1.11	2.77	41.550	3808.658

P50	2051.860	13.815	0.03	0.14	0.17	2.353	6063.228	1.57	0.94	2.52	34.773	3843.431
P51	2077.630	12.885	0.00	0.00	0.00	0.000	6063.228	0.00	0.00	0.00	0.000	3843.431

Tableau 13: Cubatures approchées de la 'variante 1'.

- **Volume de déblai total :** 6063.228 m³.
- **Volume de remblai total :** 3843.431 m³.
- **Excès de déblai :** 2219.797 m³.

3- Etude de la variante 2 :

A- Les coordonnées des sommets :

	X	Y
A	48486.0470	40949.2353
S1	48601.0379	40824.2490
S2	48831.2932	40759.4520
S3	49094.5758	40661.6823
S4	49786.3891	40424.0119
S5	49844.5698	40384.9080
S6	49869.2141	40348.7117
B	50031.8095	39830.9542

Tableau 14: Les coordonnées des sommets de l'axe de "variante2 "

B - Calcul de gisements et des angles au centre :

Direct	X et Y (m)	Gisements (gr)	Bita (gr)	Distances (m)
A-S1	114,9909	164.2690	48,0375	169,8366
	-124,9863			
S1-S2	230,2553	116.2315	6,5348	239,1989
	-64,7970			
S2-S3	263,2862	122.7663	2,1161	280,8532
	-97,7697			
S3-S4	691,8133	120.6502	12,4559	731,5015
	-237,6740			
S4-S5	58,1807	133.1061	22,9233	70,1007
	-39,1039			
S5-S6	24,6443	156.0294	24,5992	43,7894
	-36,1963			

S6-B	162,5954	180.6286		542,6878
	-517,7575			

Tableau 15 : Valeurs des gisements, distances et des angles au centre "variante2".

Nombre	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Rayon (m)	60	813	800	412	81	50

Tableau 16 : Le rayon de variante 2

C - Le choix de la variante :

Pour le choix de la variante, on adresse un tableau comparatif des avantages et inconvénients des deux solutions étudiés.

Ce tableau tient compte plusieurs paramètres fort importants pour nous faciliter le choix de la variante qui répond aux conditions du projet.

Critères	Unité	Variante N°1	Variante N°2	V1	V2
Longueur totale de l'itinéraire	m	2077,6300	2085.6621	+	-
Nombre de Rayons Choisis ≥ 100 (m)	/	2	3	+	-
Nombre de Rayons Choisis < 100 (m)	/	0	3	+	-
La somme				3	0

Tableau 17 : Comparaison entre les deux variantes

4- CONCLUSION :

Après la comparaison entre les critères des deux variantes, on a opté pour la variante plus avantageuse qui est **la variante N°1** car elle présente plus d'avantages que deuxième variante

Chapitre III

Etude Du Trafic

1- Introduction :

L'étude de trafic est un élément essentiel qui doit être préalable à tout projet de réalisation ou d'aménagement d'infrastructure de transport, elle permet de déterminer le type d'aménagement qui convient et, au-delà les caractéristiques à lui donner depuis le nombre de voie jusqu'à l'épaisseur des différentes couches de matériaux qui constituent la chaussée.

L'étude de trafic constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers.

Cette conception repose, sur une partie « stratégie, planification » sur la prévision des trafics sur les réseaux routiers, qui est nécessaires pour :

- Apprécier la valeur économique des projets.
- Estimer les coûts d'entretiens.
- Définir les caractéristiques techniques des différents tronçons.

2- L'analyse des trafics existants :

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise au point d'un projet routier et consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route (volume, composition, conditions de circulation, saturation, origine et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

3 - La Mesure Des Trafics :

Cette mesure est réalisée par différents procédés complémentaires:

- **Les comptages**
- **Les enquêtes**

Les Comptages

C'est l'élément essentiel de l'étude de trafic, on distingue deux types de comptage .:

a- Les comptages manuels :

Ils sont réalisés par les agents qui relèvent la composition du trafic pour compléter les indicateurs fournis par les comptages automatiques. Les comptages manuels permettent de connaître le pourcentage de poids lourds et les transports communs.

Les trafics sont exprimés en moyenne journalière annuelle (**T.M.J.A**).

b- Les comptages automatiques :

Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers de la chaussée.

On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires :

c- Les comptages permanents : sont réalisés en certains points choisis pour leur représentativité sur les routes les plus importantes : réseau autoroutier, réseau routier national et le chemin de Wilaya les plus circulés.

d- Les comptages temporaires : s'effectuent une fois par an durant un mois pendant la période où le trafic est intense sur les restes des réseaux routiers à l'aide de postes de comptages tournant.

4- L'inconvénient de cette méthode : est que tous les matériels de comptage actuellement utilisés ne détectent pas la différence entre les véhicules légers et les poids lourds.

5- Les Enquêtes :

A- Les Enquêtes Origine Destination :

Il est plus souvent opportun de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux, on peut recourir en fonction du besoin, à diverse méthodes, lorsque l'enquête est effectuée sur tous les accès à une zone prédéterminée (une agglomération entière, une ville ou seulement un quartier) on parle d'enquête cordon.

Cette méthode permet en particulier de recenser les flux de trafic inter zonaux, en définissant leur origine et destination. Il existe plusieurs types d'enquêtes :

B -Les Enquêtes papillons ou distributions :

Le principe consiste à délimiter le secteur d'enquête et à définir les différentes entrées et sorties, un agent colle un papillon sur le pare-brise de chaque véhicule (ou on distribue une carte automobiliste), sachant que ces papillons et sont différents à chaque entrée, un autre agent identifie l'origine des véhicules en repérant les papillons ou en récupérant les cartes.

6- Les avantages de la méthode : sont la rapidité de l'exploitation et la possibilité de pouvoir se faire de jour comme de nuit.

7-Les inconvénients de la méthode : c'est que l'enquête ne permet pas de connaître l'origine et la destination exacte des véhicules, mais seulement les points d'entrées et de sortie du secteur étudié.

8- Relevé des plaques minéralogiques :

On relève, par enregistrement sur un magnétophone, en différents points (à choisir avec soin) du réseau, les numéros minéralogiques des véhicules ou au moins une (de l'ordre de

quatre à chiffres ou lettres), la comparaison de l'ensemble des relevés permet d'avoir une idée des flux.

Cette méthode permet d'avoir des résultats sans aucune gêne de la circulation, par contre, le relevé des numéros est sujet à un risque d'erreur non négligeable.

9-Interview des conducteurs :

Cette méthode est lourde et onéreuse mais donne des renseignements précis, on arrête (avec l'aide des forces de gendarmerie pour assurer la sécurité) un échantillon de véhicules en

10-Les enquêteurs à domicile – Enquête ménage :

Un échantillon de ménages sélectionné à partir d'un fichier fait l'objet d'un interview à son domicile par une personne qualifiée, le temps n'étant plus limité comme dans le cas des interviews le long des routes, on peut poser un grand nombre de questions et obtenir de nombreux renseignements, en général, ce type d'enquête n'est pas limité à l'étude d'un projet particulier, mais porte sur l'ensemble des déplacements des ménages dans une agglomération.

11- Différents types de trafic :

-Trafic normal :

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre compte du nouveau projet.

-Trafic dévié :

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans investissement, d'autres routes ayant la même destination, la dérivation de trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination.

-Trafic induit :

C'est le trafic qui résulte de :

Des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations.

Une augmentation de production et de vente grâce à l'abaissement des coûts de production et de vente due à une facilité apportée par le nouvel aménagement routier.

-Trafic total :

C'est Le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévie.

12-Calcul de la capacité :

A - Définition de la capacité :

La capacité d'une route est le flux horaire maximum des véhicules qui peuvent raisonnablement passer en un point ou s'écouler sur une section de route uniforme (ou deux directions) avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminer.

La capacité dépend :

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

B -Projection Future Du Trafic :

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

$$\mathbf{TMJA_h = TMJA_0 (1+\tau)^n}$$

Avec : **TMJA_h** : le trafic à l'année horizon.

TMJA₀ : le trafic à l'année de référence.

n : nombre d'année.

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

C -Calcul de trafic effectif :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (**uvp**), en fonction de type de route et de l'environnement. Pour cela on utilise des coefficients à d'équivalence pour convertir les PL en (**uvp**).

Le trafic effectif est donné la relation suivante :

$$T_{\text{eff}} = [(1-z) + p.z] \text{ TMJA}h$$

Avec : **Teff** : trafic effectif à l'année horizon en (uvp).

Z : pourcentage de poids lourd.

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds il dépend

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

Tableau 18 : coefficient d'équivalence

D -Débit De Point Horaire Normal :

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

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

Avec : **Q** : débit de pointe horaire

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

Teff : trafic effectif

E -Débit Horaire Admissible :

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par application de la formule:

$$d = K_1 K_2 C_{th}$$

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.90 à 0.95

Tableau 19: Valeur de K1

Environnement	1	2	3	4	5
E1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau 20 : valeur de K2

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

Tableau 21 : valeur de la capacité théorique

F -Détermination Nombre Des Voies :

Cas d'une chaussée bidirectionnelle : on compare **Q** à **d** et on opte le profil

- auquel correspond la valeur de **d** 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/d**

Avec : **d** : débit admissible par voie

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

G -Les données de trafic :

$$T_{JMA} = T_{2019} = 1838 \text{ v/j}$$

Le taux d'accroissement annuel du trafic noté $\tau = 10 \%$

Le pourcentage de poids lourds **%PL = 18 %**

La durée de vie estimée de **20 ans**

Durée d'étude et d'exécution : 2 ans

CAT 1 ; E2

-Trafic à l'année de mise :

$$T_1 = T_0 (1 + \tau)^1 = 1838(1 + 0.01)^1 = 2224 \text{ V/J}$$

-Le trafic de l'année horizon à la 20ème année « durée de vie »:

$$T_n = T_1 (1 + \tau)^n = 2224 (1 + 0.01)^{20} = 14962 \text{ VPL/J}$$

$$T_{20} = 14962 \text{ UVP/J}$$

$$T_{\text{eff}} = [(1 - Z) + P \cdot Z] \times T_{20}$$

Les valeurs de P « coefficient d'équivalence » sont données par le tableau des normes B40.

Pour notre cas : P = 6 (Environnement 2)

$$T_{\text{eff}} = [(1 - 0.18) + 6 \times 0.18] \times 14962$$

$$T_{\text{eff}} = 13250 \text{ V/j}$$

$$Q = 0.12 T_{\text{eff}}$$

$$Q = 0.12 \times 13250 = 1590$$

$$Q = 1590 \text{ V/h}$$

-Débit admissible « d »:

$$d = K_1 \cdot K_2 \cdot C_{th}$$

Les valeurs de K1 sont données par le tableau B40, elles sont en fonction du niveau de service (environnement 1, catégorie 1).

K1 : coefficient dépendant de l'environnement

K2 : coefficient de réduction

Les valeurs de K1 sont les suivants :

Catégorie 1 et Environnement 2 \longrightarrow K1 = 0.85, K2 = 0,99

Pour la chaussée bidirectionnelle : Cth = Q Horizon

Cth = 2000 UVP/h

$d = 0.85 \times 0,99 \times 2000 = 1683$ UVP/J

d = 1683 UVP/J

-Nombre de voie :

$$N = (2/3) \times \left(\frac{d}{Q_{adm}} \right)$$

$$N = \left(\frac{2}{3} \right) \times \left(\frac{1590}{1683} \right) = 0,94 \text{ Donc : } N = 1 \text{ (bidirectionnelle) .}$$

Les résultats de calculs sont récapitulés dans le tableau suivant :

TJMA₂₀₁₉ (v/j)	TJMA₂₀₂₁ (v/j)	TJMA₂₀₄₁ (v/j) Teff	Teff 2041 (uvp/j)	Q (uvp/h)	N
1838	2224	14962	13250	1590	1

Tableau 22 : résultats du calcul de trafic

13 - CONCLUSION :

Le profil en travers retenu pour notre projet est défini comme suit :

La Chaussée bidirectionnelle (1× 2) de 3,50 m des accotements de 1,50 m.

Chapitre IV
Dimensionnement du
corps de chaussée

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. En effet une fois réalisée, la route devra résister aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation : action des essieux des véhicules et notamment les poids lourds.

Et aussi des gradients thermiques, pluie, neige, verglasetc. Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques lui permettant de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie.

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial. Celle-ci passe d'abord par une bonne connaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à réaliser.

Le dimensionnement des structures de chaussée constitue une étape importante de l'étude. Il s'agit en même temps de choisir les matériaux nécessaires ayant des caractéristiques requises et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée.

Tout cela en fonction de paramètres très fondamentaux suivants :

- ❖ Le trafic.
- ❖ L'environnement de la route (le climat essentiellement).
- ❖ Le sol support.

2- LA CHAUSSEE :

A - Définition :

D'après l'exécution 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.

A la suite, la chaussée est appelée à :

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

Pour accomplir son devoir, c'est-à-dire assurer une circulation rapide et confortable, la chaussée doit avoir une résistance correspondante et une surface constamment régulière.

Au sens structurel, la chaussée est définie comme un ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges appliquées par le trafic.

B - Différents types de chaussées:

Du point de vue constructif les chaussées peuvent être groupées en trois grandes catégories :

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

- Chaussée souple :

Les chaussées souples constituées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction.

Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformable que les couches inférieures.

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée, ayant chacune un rôle aussi bien défini.

En principe une chaussée peut avoir en ordre les 03 couches suivantes :

a)- Couche de roulement (surface) :

La couche de surface constituant la chape (couche de surface) de protection de la couche de base par sa dureté et son imperméabilité et devant assurer en même temps la rugosité, la sécurité et le confort des usagés.

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.

La couche de liaison joue un rôle transitoire avec les couches inférieures les plus rigides.

L'épaisseur de la couche de roulement en général varie entre 6 et 8 cm.

b)- Couche de base:

La couche de base joue un rôle essentiel, elle existe dans toutes les chaussées, elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet de trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

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

c)- Couche de fondation:

Complètement en matériaux non traités (en Algérie), elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic.

Assurer un bon uni et bonne portance de la chaussée finie, et aussi, elle a le même rôle que celui de la couche de base.

d)- Couche de forme:

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

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

- Chaussée semi-rigide :

On distingue :

- Les chaussées comportant une couche de base (quelques fois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, granulat,...).
- La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelque fois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé strictement minimale doit être de 15 mm.
- Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie.
- Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

- Chaussée rigide :

Comportant des dalles en béton (correspondant à la couche de surface de la chaussée souple) qui, en fléchissant élastiquement sous les charges, transmettent les efforts à distance et les répartissent ainsi sur une couche de fondation qui peut être une grave stabilisé mécaniquement : elle peut être traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques.

Ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie (sauf pour les chaussées aéronautiques).



Figure 10 : Structure type d'une chaussée souple.

3- LES DIFFERENTS FACTEURS A PRENDRE EN COMPTE POUR LE DIMENSIONNEMENT:

Le nombre des couches, leurs épaisseurs et les matériaux d'exécution, sont conditionnées par plusieurs facteurs parmi les plus importants sont :

A - Trafic :

Le trafic de dimensionnement est essentiellement le poids lourds (véhicules supérieur a 3.5 tonnes) .il intervient comme paramètre d'entrée dans le dimensionnement des structures de chaussées et le choix des caractéristiques intrinsèques des matériaux pour la fabrication des matériaux de chaussée.

Il est apparu nécessaire de caractériser le trafic à partir de deux paramètres :

De trafic poids lourds « T » à la mise en service, résultat d'une étude de trafic et de comptages sur les voies existantes.

B - Environnement :

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations, ainsi :

La variation de la température intervient dans le choix du liant hydrocarboné, et aussi les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support. Donc, l'un des paramètres d'importance essentielle dans le dimensionnement ; la teneur en eau des sols détermine leurs propriétés, propriétés des matériaux bitumineux et conditionne.

C - Le Sol Support :

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate – forme support de chaussée» constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme.

Les plates formes sont définies à partir :

- De la nature et de l'état du sol ;
- De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

Les sols support sont, en général, classés selon leur portance, elle même fonction de l'indice CBR.

Portance	1	2	3	4
CBR	<3	3 à 6	6 à 10	10 à 20

Tableau 23 : la portance de sol en fonction de l'indice de CBR.

Détermination de la classe du sol:

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à la teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante.

Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils suivants:

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

Tableau 24: Les classes de portance des sols.

D - Matériaux :

Les matériaux utilisés doivent résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois (le passage répété des véhicules lourds).

4- METHODES DE DIMENSIONNEMENT :

Nous avons deux grandes familles de méthodes :

- Celle qui utilise la structure de la chaussée à travers un modèle mécanique pour la détermination des contraintes et déformations, cette méthode est dite rationnelle.

- L'autre qui consiste à observer le comportement sous trafic des chaussées (réelles ou expérimentales) et d'en déduire les règles pratiques du dimensionnement, et c'est la méthode empirique.

Cette dernière contient elle-même les méthodes suivantes :

A - Method C.B.R (California – Bearing – Ratio):

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (90° à 100°) de l'optimum Proctor modifié sur une épaisseur d'eau moins de 15cm.

La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après:

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

Avec:

e: épaisseur équivalente

I: 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:

$$e_{eq} = a1 \times e1 + a2 \times e2 + a3 \times e3$$

a1 × e1 : couche de roulement

a2 × e2 : couche de base

a3 × e3 : couche de fondation

Où: c1, c2, c3 : coefficients d'équivalence.

e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.

Coefficient d'équivalence :

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.0
Grave ciment – grave laitier	1.50.

Grave bitume	1.20 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.5 à 0.75

Tableau 25 : Coefficient d'équivalence.

B - Method A.A.S.H.O (American Association of State Highway Officials):

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales.

Chaque section reçoit environ un million des charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.
- L'influence des charges et de leur répétition.

C - Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

Le dimensionnement par la méthode du catalogue de dimensionnement (méthode rationnelle) passe par la détermination des contraintes et déformations admissibles des matériaux sous l'effet du trafic considéré et la durée de vie escomptée.

Les sollicitations subies par les matériaux sous l'effet du trafic seront ensuite calculées et comparées aux sollicitations admissibles. Le développement de l'outil informatique a fait que les méthodes de dimensionnement rationnelles sont devenues plus accessibles. Avec la facilité de résolution des équations multiples à dérivées partielles, des logiciels comme Alizé.

C'est un logiciel qui modélise les structures multicouches et calcule les contraintes transversales et radiales ainsi que les déformations à travers les couches de chaussées. Pour cela, il faut :

- Le type de poids lourd et la charge standard.
- Le nombre de couches composant la chaussée, leur épaisseur et le mode de liaison entre ces différentes couches.

- Les caractéristiques pour chaque matériau composant la chaussée : le module de Young E et le coefficient de Poisson.

5- APPLICATION AU PROJET :

A - Données de l'étude :

Chaussée unidirectionnelle à 1 voie

- Le trafic à l'année 2019 : $TJMA_{2019} = 1838 \text{ v/j}$.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté $\tau = 10 \%$
- Le pourcentage moyen de poids lourds $Z = 18 \%$
- La durée de vie estimée de 20 ans
- ICBR = 10 (ce sol appartient à la classe (S3))

B - Répartition de trafic :

- Calcul du trafic du VPL a l'année de mise en service :

$$TPL_{2019} = TMJA_{2019} \times \% PL$$

$$TPL_{2019} = 1838 \times 0.18 = 331 \text{ V/j}$$

$$TPL_{2021} = TPL_{2019} \times (1 + \tau)^2$$

$$TPL_{2021} = 331 \times (1 + 0.1)^{20}$$

$$TPL_{2021} = 401 \text{ VPL/j}$$

- Calcul du trafic du VPL a l'année horizon :

$$TPL_{2041} = TPL_{2021} \times (1 + \tau)^{20}$$

$$TPL_{2041} = 401 \times (1 + 0.1)^{20}$$

$$TPL_{2041} = 2698 \text{ VPL/j}$$

C - Calcul d'épaisseur:

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5} (75 + 50 \log \frac{2698}{10})}{10 + 5}$$

$e = 40 \text{ cm}$

D - Epaisseur équivalente :

$$e \text{ équivalente} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 + a_4 \times e_4$$

- e1: épaisseur réelle de la couche de surface.
- e2: épaisseur réelle de la couche de base.
- e3: épaisseur réelle de la couche de fondation
- e4: épaisseur réelle de la couche d'assise (support)

On a proposé les matériaux suivants de chaque couche :

- ✓ Couche de roulement en béton bitumineux à module élevé (BB) : $a_1 \times e_1 = 2 \times 6 =$

12 cm

- ✓ Couche de base en Grave bitumineux (GB) : $a_2 \times e_2 = 09 \times 1,5 = 13.5 \text{ cm}$

- ✓ Couche de fondation en Tuf : $a_4 \times e_4 = 25 \times 0.6 = 15 \text{ cm}$

Après la vérification, la structure proposée est comme suit :

Les couches	Matériaux utilisés	Epaisseur réelle (cm)	Epaisseur équivalente (cm)
couche de roulement	BB	6	12
couche de base	GB	09	13.5
couche d'assise (support)	TUF	25	15
	Somme	40	40.5

Tableau 26: épaisseurs du corps de chaussée

Notre structure comporte : **6 BB + 9 GB + 25 TUF**

La figure suivante récapitule les résultats de la méthode CBR que nous avons utilisée :

	6 BB
	9 GB
	25 TUF

Figure 11 : La structure de chaussée.

Chapitre V
Paramètres
Cinématiques

1- DEFINITION :

Ce sont des paramètres relatifs à la considération du mouvement des véhicules dans le projet de construction de la route. Ces paramètres sont :

2- DISTANCE DE FREINAGE :

Les possibilités de freinage sont limitées, du fait du jeu de l'adhérence, il existe une distance minimum pour obtenir l'arrêt complet du véhicule.

La distance de freinage d_0 est la distance parcourue pendant l'action de freinage pour annuler la vitesse dans la condition conventionnelle de la chaussée mouillée. Elle varie suivant la pente longitudinale de la chaussée.

$$d_0 = 0.04 \times \frac{V_r^2}{g(fr \pm i)}$$

Avec :

V_r : vitesse de référence $V_r=80 \text{ Km/h}$.

i : déclivité.

f_{rl} : coefficient de frottement longitudinal qui dépend de la vitesse V_r .

	V(Km/h)	40	60	80	100	120	140
CAT 1-2	f_1	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30
	d_0	14	34	65	111	175	269
CAT 3-4-5	f_{12}	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36	/
	d_0	13	31	59	100	160	/

Tableau 27 : coefficient de frottement longitudinal f_l en fonction de la vitesse (B40).

Pour notre projet on a :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Catégorie 1} \\ \\ V_r=80 \text{ km/} \end{array} \right\} f_l=0,39$$

❖ En alignement droit :

$$d_0 = 0.04 \times \frac{V_r^2}{g(f_l)}$$

❖ **En rampe :**

$$d_0 = 0.04 \times \frac{Vr^2}{g(fl + i)}$$

❖ **En pente :**

$$d_0 = 0.04 \times \frac{Vr^2}{g(fl - i)}$$

A - Application :

❖ En alignement droit : i = 0;	$d_0 = 65,64 \text{ m}$
❖ En Rampe avec : i = 1,752	$d_0 = 68,73 \text{ m}$
❖ En pente avec i= -0,331%	$d_0 = 66,20 \text{ m}$
❖ En Rampe avec : i = 1,512%	$d_0 = 39,19 \text{ m}$
❖ En Pente avec i= -1,095 %	$d_0 = 67,54 \text{ m}$
❖ En Rampe avec : i =3,286 %	$d_0 = 60,54\text{m}$
❖ En Pente avec : i = -2,590 %	$d_0 = 70,31 \text{ m}$
❖ En Rampe avec : i= 1 ,888 %	$d_0 = 62,61\text{m}$
❖ En Pente avec : i= -1 ,743 %	$d_0 = 68,71 \text{ m}$
❖ En Pente avec : i= -0,259 %	$d_0 = 66,08 \text{ m}$

3- TEMPS DE PERCEPTION ET DE REACTION :

Souvent l'obstacle est imprévisible et le conducteur a besoin d'un temps pour réaliser la nature de l'obstacle ou du danger qui lui apparait.

Ce temps est en général appelé temps de perception du conducteur, il diffère d'une personne à une autre et varie en fonction de l'état psychique et physiologique.

Sa durée conditionnée par des caractéristiques de conducteur et le véhicule. Il intervient pour :

- ❖ Le freinage.
- ❖ Le dépassement.
- ❖ L'observation de signalisation.

De nombreuses études faites sur le comportement des conducteurs, ont montré que le temps de perception et de réaction est en moyenne :

- **Dans une attention concentrée :**

- **t = 1.2 s** pour un obstacle imprévisible.
- **t = 0.6 s** pour un obstacle prévisible.

En moyenne on peut prendre 0.9 s, mais en pratique on prend toujours :

- **t = 1.8 s** pour des vitesses > 80 Km/h.
- **t = 2 s** pour des vitesses ≤ 80 Km/h.

Dans la distance parcourue pendant le temps de réaction et de perception est :

$$d_1 = v \times t \text{ Avec } V= 80 \text{ Km/h } t=2 \text{ s}$$

4- DISTANCE D'ARRÊT :

La distance parcourue par le conducteur entre le moment dans lequel l'œil du conducteur perçoit l'obstacle et l'arrêt effectif du véhicule est désigné sous le nom de **distance d'arrêt**

$$d = d_1 + d_0$$

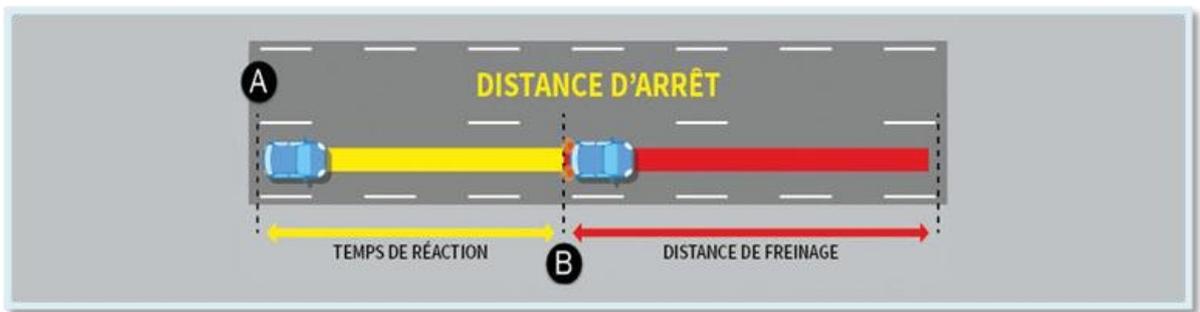


Figure 12 : Temps de perception-réaction.

a- En alignement droit :

$$\text{Si } \left\{ \begin{array}{ll} t = 1.8 \text{ s} : & d = d_0 + 0.50 \times Vr \\ t = 2 \text{ s} : & d = d_0 + 0.55 \times Vr \end{array} \right.$$

b- En courbe :

On doit majorer la distance de freinage de 25% car le freinage est moins énergique afin de ne pas perdre le contrôle du véhicule.

$$\text{Si } \left\{ \begin{array}{ll} t = 1.8 \text{ s} : & d = 1.25 \times d_0 + 0.50 \times Vr \\ t = 2 \text{ s} : & d = 1.25 \times d_0 + 0.55 \times Vr \end{array} \right.$$

- Application :

a-En alignement droit :

$$V_r = 80 \text{ Km/h} \quad t = 2 \text{ s} \Rightarrow d = d_0 + 0.55V_r$$

$$d = 65,64 + (0.55 \times 80) = 109,64 \text{ m}$$

❖ **En rampe avec : i= 1,752 %**

$$d = 68,73 + (0.55 \times 80) = 112,73 \text{ m}$$

❖ **En pente avec i= -0,331 % :**

$$d = 60,20 + (0.55 \times 80) = 104,2 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : i = 1,512 % :**

$$d = 39,19 + (0.55 \times 80) = 83,19 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec i= -1,095 % :**

$$d = 67,54 + (0.55 \times 80) = 111,54 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : i = 3,286 %**

$$d = 60,54 + (0.55 \times 80) = 104,54 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : i= -2,590 %**

$$d = 70,31 + (0.55 \times 80) = 114,31 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : i= 1,888 %**

$$d = 62,61 + (0.55 \times 80) = 106,61 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : i= -1,743 %**

$$d = 68,71 + (0.55 \times 80) = 112,71 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : i= -0,259 %**

$$d = 66,08 + (0.55 \times 80) = 110,08 \text{ m}$$

b- En courbe:

$$V_r = 80 \text{ Km/h} \quad t = 2 \text{ s} \Rightarrow d = 1.25 \times d_0 + 0.55 \times V_r$$

$$\text{En palier : } d_p = 126,05 + (6/3,6) \times 80 = 259,38 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : i=1,752%**

$$d = (1,25 \times 68,73) + (0.55 \times 80) = 129,91 \text{ m}$$

❖ **En pente avec : i=-0,331%**

$$d = (1,25 \times 60,20) + (0.55 \times 80) = 119,25 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : i=1,512%**

$$d = (1,25 \times 39,19) + (0.55 \times 80) = 92,99 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : $i=-1,095\%$**

$$d = (1,25 \times 67,54) + (0,55 \times 80) = 128,43 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : $i=3,286\%$**

$$d = (1,25 \times 60,54) + (0,55 \times 80) = 119,68 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : $i=-2,590\%$**

$$d = (1,25 \times 70,31) + (0,55 \times 80) = 131,89 \text{ m}$$

❖ **En Rampe avec : $i=1,888\%$**

$$d = (1,25 \times 62,61) + (0,55 \times 80) = 122,26 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : $i=-1,743\%$**

$$d = (1,25 \times 68,71) + (0,55 \times 80) = 129,89 \text{ m}$$

❖ **En Pente avec : $i= -0,259\%$**

$$d = (1,25 \times 66,08) + (0,55 \times 80) = 126,6 \text{ m}$$

5- DISTANCE DE PERCEPTION :

Le temps nécessaire pour effectuer une manœuvre d'arrêt, une manœuvre de changement de file ou une manœuvre d'insertion est de 6 s.

On appelle distance de perception d_p , la somme de la distance d'arrêt d et la distance parcourue en 6s.

$$d_p = d + \frac{6}{3,6} V_r \quad V_r \text{ est en Km/h}$$

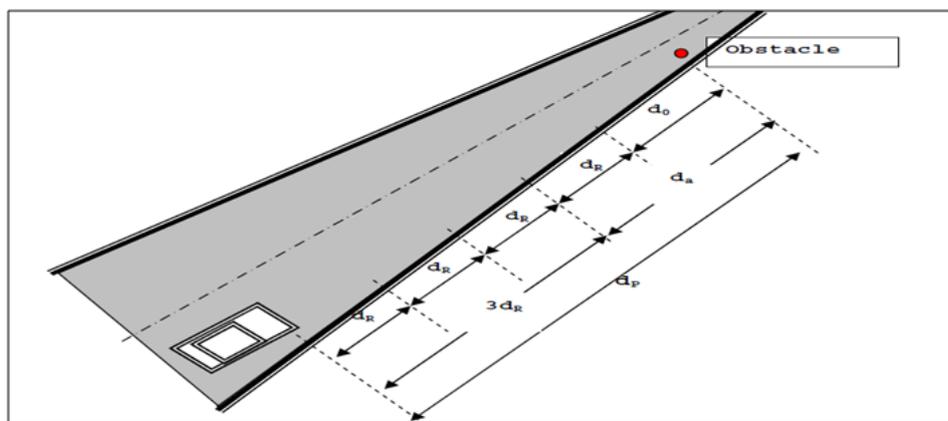


Figure 13 : Distance de perception.

- Application :

a- En alignement droit :

En rampe: $d_p = 112,73 + (6/3,6) \times 80 = 246,06 \text{ m}$

En pente: $d_p = 104,2 + (6/3,6) \times 80 = 237,53 \text{ m}$

En rampe: $dp = 83,19 + (6/3,6) \times 80 = 216,52 \text{ m}$

En pente: $dp = 111,54 + (6/3,6) \times 80 = 244,87 \text{ m}$

En rampe: $dp = 104,54 + (6/3,6) \times 80 = 237,87 \text{ m}$

En pente: $dp = 114,31 + (6/3,6) \times 80 = 247,64 \text{ m}$

En rampe: $dp = 106,61 + (6/3,6) \times 80 = 239,94 \text{ m}$

En pente: $dp = 112,71 + (6/3,6) \times 80 = 246,04 \text{ m}$

En pente: $dp = 110,08 + (6/3,6) \times 80 = 243,41 \text{ m}$

b- En courbe :

En rampe: $dp = 129,91 + (6/3,6) \times 80 = 263,24 \text{ m}$

En pente: $dp = 119,25 + (6/3,6) \times 80 = 252,58 \text{ m}$

En rampe: $dp = 92,99 + (6/3,6) \times 80 = 226,32 \text{ m}$

En pente: $dp = 128,43 + (6/3,6) \times 80 = 261,76 \text{ m}$

En rampe: $dp = 119,68 + (6/3,6) \times 80 = 253,01 \text{ m}$

En pente: $dp = 131,89 + (6/3,6) \times 80 = 265,22 \text{ m}$

En rampe: $dp = 122,26 + (6/3,6) \times 80 = 255,59 \text{ m}$

En pente: $dp = 129,89 + (6/3,6) \times 80 = 263,22 \text{ m}$

En pente: $dp = 126,6 + (6/3,6) \times 80 = 259,93 \text{ m}$

P (%)	dp: En alignement droit	dp: En courbe
Rampe = 1,752	246,06	263,24
Pente = -0,331	237,53	252,58
Rampe = 1,512	216,52	226,32
Pente = -1,095	244,87	261,76
Rampe = 3,286	237,87	253,01
Pente = -2,590	247,64	265,22
Rampe = 1,888	239,94	255,59
Pente = -1,743	246,04	263,22
Pente = -0,259	243,41	259,93

Tableau 28 : Distance de perception

6- ESPACEMENT ENTRE DEUX VEHICULES :

Supposons que deux véhicules circulent dans le même sens sur la même voie et la même vitesse. Et Nus recherchons l'espacement entre les deux véhicules se telle Facon que si le premier véhicule est obligé d'amorcer un freinage au maximum pour éviter un obstacle

quelconque, cet espacement doit permettre au second véhicule de s'arrêter sans risque de collision.

La distance de freinage ne change pas et reste d_0 , mais par contre la distance parcourue pendant le temps de perception et de réaction de second véhicule un feu arrières de stop de premier véhicule.

L'espacement sera donc théoriquement :

$$d'_2 = d_2 + v \times t' + l$$

d_2 : distance parcourue pendant temps de perception et de réaction du premier véhicule

L : longueur moyenne d'un véhicule

En général, on prend $t' = 0.75$ s

En pratique, on prend $t = 3$ s

Distance de sécurité sera donc :

$$d'_2 = d_2 + v \times (t + t') + l \quad (t \text{ en s et } v \text{ en m/s})$$

Soit E l'espacement supplémentaire de sécurité :

$$E = v \times t' + l$$

Sachons que $v = \frac{v \text{ (km/h)}}{3.6}$ et $t' = 0.75$ s $\Rightarrow E_s = \frac{V}{5} + l$

Avec :

V : la vitesse en km/h

L : la longueur de véhicule on prend généralement 5m.

Pour plus de sécurité on est souvent amené à augmenter la distance « E_s », en prenant un créneau temps de sécurité entre deux véhicules T_s égale à 1,2 secondes.

$$E_s = 1,2.v \text{ ou } E_s = \frac{V}{3}$$

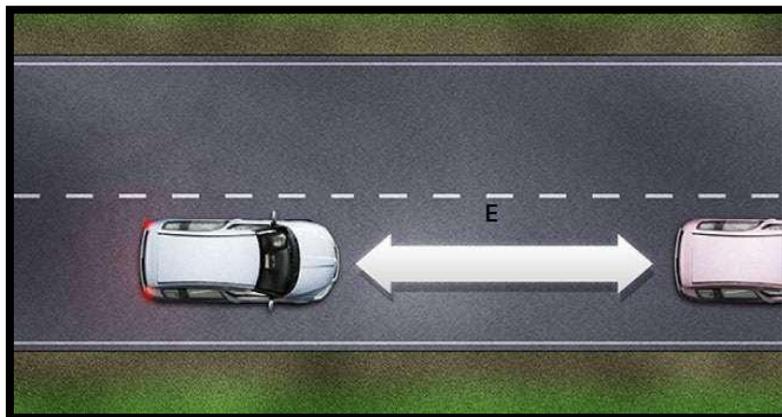


Figure 14 : L'espacement entre deux véhicules.

7- DISTANCE DE VISIBILITES DE DEPASSANT ET DE MANŒUVRE:

Cette dernière représente la distance nécessaire telle que si un véhicule rapide apparaît en sens inverse du véhicule effectuant le dépassement à l'instant où celui-ci amorce sa manœuvre il ne croise le véhicule inverse qu'après l'exécution de la manœuvre.

Le tableau suivant résume selon les normes B40 les distances de visibilité de la manœuvre et de dépassement et d'arrêt :

- **dvdm** : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement moyenne.
- **dvdn** : Distance de visibilité et de manœuvre de dépassement normale.
- **dmd** : Distance de visibilité de manœuvre et de dépassement.

Vr(Km/h)	40	60	80	100	120	140
dvdm	4v	4v	4v	4.2v	4.6v	5v
	160	240	320	420	550	700
dvdN	6v	6v	6v	6.2v	6.6v	7v
	240	360	480	620	790	980
Dmd	70	120	200	300	425	/

Tableau 29 : les différentes distances selon les normes B40

D'après le tableau des normes de B40, on tire les valeurs de **dvdm**, **dvdn** et **dmd** en fonction de la vitesse.

Application : $V_r = 80 \text{ Km/h}$

$$\mathbf{dvdm} = 320\text{m}$$

$$\mathbf{dvdN} = 480 \text{ m}$$

$$\mathbf{dmd} = 200\text{m}$$

Chapitre VI
Les Raccordements
Progressif

1- INTRODUCTION :

Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des courbures progressives permettant l'introduction du devers et la condition du confort et de sécurité.

La courbe de raccordement la plus utilisée est la **Clothoïde** grâce à ses particularités, c'est-à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules.

2- DEFINITION DE LA CLOTHOÏDE :

La Clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbe décroît d'une façon continue de l'origine ou il est infini jusqu'au point asymptotique ou il est nul.

La courbure de la Clothoïde est linéaire par rapport à la longueur de l'arc. Parcourue à vitesse constante, la Clothoïde maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.

3- Les éléments de la clothoïde :

- A** : Paramètre de la clothoïde.
- M** : Centre de cercle.
- R** : Rayon de cercle.
- K_A** : Origine de la clothoïde.
- K_E** : Extrémité de la clothoïde.
- L** : longueur de la branche de la clothoïde.
- ΔR**: Mesure de décalage entre l'élément droit de l'arc du cercle (le ripage).
- X_m** : Abscisse du centre du cercle.
- τ** : Angle des tangentes.
- X** : Abscisse de K_E.
- Y** : Origine de K_E.
- T_K** : tangente courte.
- T_L** : tangente longue.

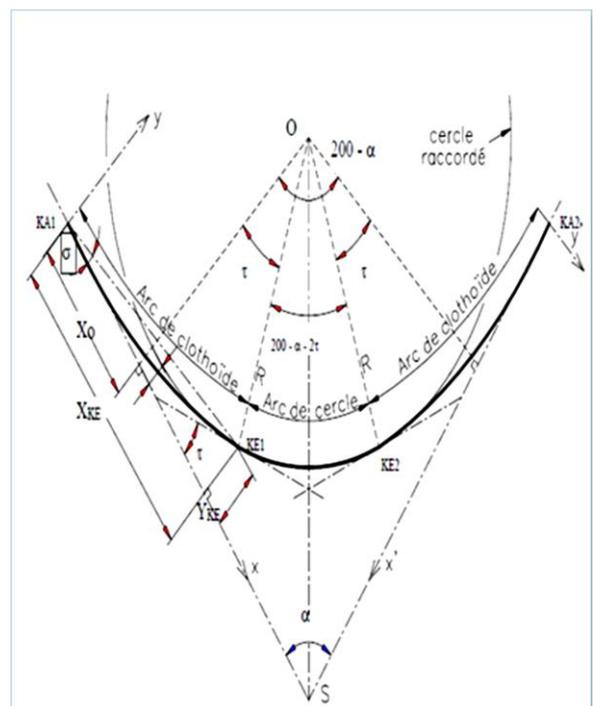


Figure 15 : Les éléments de la clothoïde.

S_L : Corde ($K_A - K_E$).

σ : Angle polaire.

4- PROPRIETES DE LA CLOTHOÏDE :

Le rayon de courbure d'une Clothoïde varie progressivement d'une valeur infinie en O, point de tangence avec l'alignement Ox, à une valeur finie r , en un point donné P de la courbe.

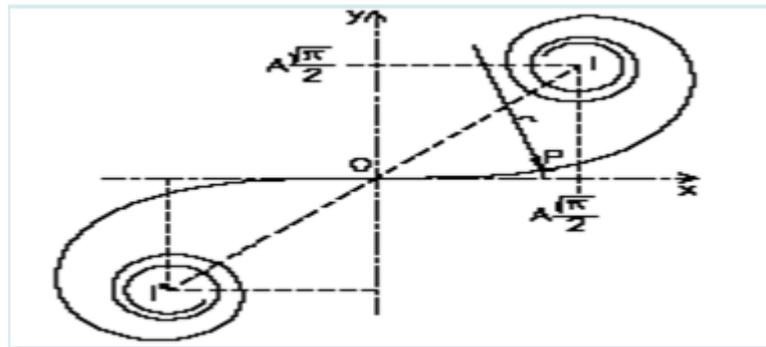


Figure 16 : La propriété de clothoïde.

Le rayon de courbure d'une clothoïde varie progressivement d'une valeur infinie en O, point de tangence avec l'alignement Ox, à une valeur finie, r , en un point donné P de la courbe. Un véhicule qui parcourt cette courbe voit donc le rayon de braquage de ses roues diminuer progressivement en passant par toutes les valeurs comprises entre l'infini et r . L'équation caractéristique est donnée par : $A^2 = R.L$

Le calcul des caractéristiques de ces raccords à courbure progressive permet de respecter les conditions de stabilité du véhicule, et de confort dynamique des usagers. Ces conditions tendent à limiter la variation de sollicitation transversale des véhicules. Dans la pratique, ceci revient à fixer une limite à la variation d'accélération tolérée par seconde.

5- LES CONDITIONS DE RACCORDEMENT :

A - Condition de confort optique :

Elle permet d'assurer à l'utilisateur une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels et pour cela la rotation de la tangente doit être supérieure à 3° .

$$\tau \geq 3^\circ \quad \text{soit} \quad \tau \geq 1/18 \text{ rad.}$$

$$\tau = L/2R > 1/18 \text{ rad} \Rightarrow L \geq R/9 \text{ soit } A \geq R/3.$$

$$R/3 \leq A \leq R$$

- Pour $R \leq 1500 \Rightarrow \Delta R = 1\text{m}$ (éventuellement 0.5m) d'où $L = (24.R.\Delta R)^{1/2}$
- Pour $1500 < R \leq 5000\text{m}$, $\tau = 3^\circ$ c'est-à-dire $L = R/9$
- Pour $R > 5000\text{m} \Rightarrow \Delta R$ limité à 2.5m soit $L = 7,75 (R)^{1/2}$

B - Condition de confort dynamique :

Cette condition consiste à éviter la variation trop brutale de l'accélération transversale, est imposé à une variation limitée.

$$L \geq \frac{V_B^2}{18} \left(\frac{V_B^2}{127.R} - \Delta d \right)$$

V_B : vitesse de base (Km/h).

R : le rayon (m).

Δd : la variation de divers ($\Delta d = d_{\text{final}} - d_{\text{init}}$)

C - Condition de gauchissement :

Elle se traduit par la limitation de la pente relative en profil en long du bord de la chaussée déversée.

$$L \geq (l \times \Delta d \times Vr)$$

L : Longueur de raccordement.

l : Largeur de la chaussée.

Δd : variation de dévers.

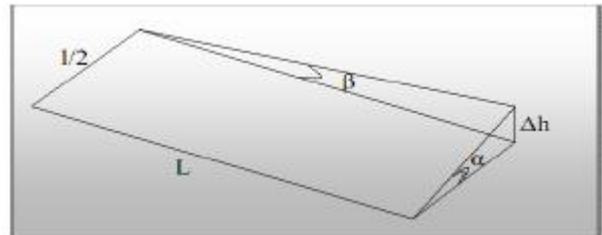


Figure 17 : Condition de gauchissement

D - La Vérification de non chevauchement :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } \tau = \frac{\beta}{2}$$

Clothoïde sans arc de cercle.

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : } \tau < \frac{\beta}{2}$$

Clothoïde avec arc de cercle.

3^{ème} cas :

Clothoïde impossible

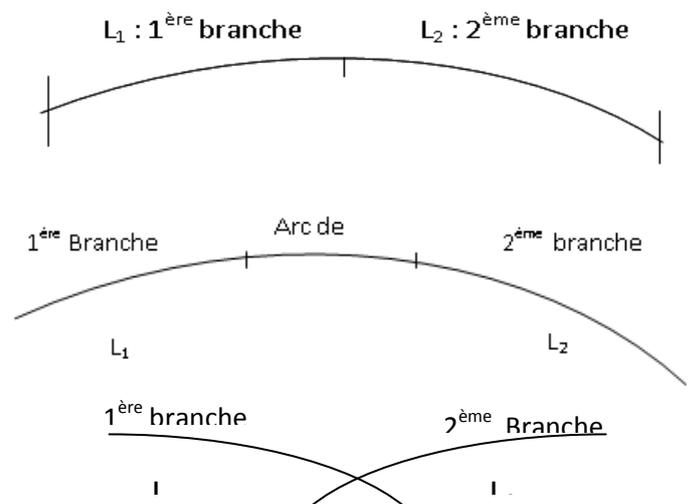


Figure 18 : vérification de non chevauchement

6- NOTION DE DEVERS :

Le devers est par définition la pente transversale de la chaussée, il permet l'évacuation des eaux pluviales pour les alignements droits et assure la stabilité des véhicules en courbe.

La pente transversale choisie résulte d'un compromis entre la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre et la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluies.

A - Devers en alignement :

En alignement le devers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée. Il est pris égal à: $d_{\min} = 2.5 \%$

B - Devers en courbe :

En courbe permet de :

- Assurer un bon écoulement des eaux superficielles.
- Compenser une fraction de la force centrifuge et assurer la stabilité dynamique des véhicules.
- Améliorer le guidage optique.

C - Rayon de courbure :

Pour assurer une stabilité du véhicule et réduire l'effet de la force centrifuge, on est obligé d'incliner la chaussée transversalement vers l'intérieur d'une pente dite devers, exprimée par sa tangente; d'où le rayon de courbure.

Les valeurs préconisées pour les normes algériennes sont les suivantes :

	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
d_{\min}	-2,50%	-2,50%	-3%	-3%	-4%
d_{\max}	7%	7%	8%	8%	9%

Tableau 30 : Devers.

D - Calcul des devers :

❖ 1er cas :

Le rayon choisi : $R \geq R_{HNd}$ → Le dévers associé « d » est celui de l'alignement droit.

❖ 2ème cas :

Le rayon choisi : $R_{Hd} \leq R \leq R_{HNd}$ → Le dévers associé est le dévers minimal de l'alignement droit.

❖ **3ème cas :**

Si $RHN \leq R \leq RHd$, le dévers associé « d » est calculé par interpolation entre le dévers associé à RHN et

celui associé à RHd.

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

❖ **4ème cas :**

Si $RHm < R < RHN$, la route est déversée à l'intérieur du virage et « d » est calculé par interpolation linéaire en $1/R$.

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

Les rayons compris entre **RHd** et **RHnd** sont au dévers minimal mais des rayons supérieur à **RHnd** peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépense notable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

7- APPLICATION DE PROJET :

A - Calcul des dévers associés aux rayons de la variante choisie :

Symboles	Valeurs calculées	Valeurs selon B-40
RHm (7 %)	252	250
RHN (5 %)	492	450
RHd (2.5 %)	1008	1000
RHnd (6 %)	1440	1400

- R1 et R2 dans le **1er cas** : Le dévers associé « d » est celui de l'alignement droit.

B - Calcul de la longueur de Clothilde et la vérification de non chevauchement :

a- Condition d'optique :

$$L_1 \geq \sqrt{24 \times R \times \Delta R} \quad \text{Donc} \quad R1 = R2 = 120 \text{ m} \leq 1500\text{m} \quad \Delta R = 1$$

$$L_1 \geq \sqrt{24 \times 120 \times 1} \quad \text{Donc} \quad L_1 \geq 21,90 \text{ m}$$

b- Condition de gauchissement : ($V_r = 80 \text{ Km/h}$)

$$L2 \geq L \cdot \Delta d \cdot V_r \quad \text{Avec : } \Delta d = df - di \Delta d = 5 - (-2,5) \Delta d = 9.5 \%$$

- Pour $R1 = 120 \text{ m}$ et $L = 7 \text{ m}$

- Pour R2 = 120 m et L=7 m

c- Condition dynamique :

$$L3 \geq \frac{80^2}{18} \left(\frac{80^2}{127 \times 120} - 0.095 \right) \quad L3 \geq 115,54 \text{ m}$$

N° Virages	Conditions							
	Optique	gauchissement	dynamique	Non Chevauchement		Lmax (m)	L choisie (m)	Remarques
	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)	τ (gr)	β/2 (gr)			
1	21,90	53,2	115,54	0,4833	12,5656	115,54	116	Non Chevauchement
2	21,90	53,2	115,54	0,4883	12,4573	115,54	116	Non Chevauchement

Tableau 31: Longueur de la clothoïde.

C: Calcul des paramètres des deux clothoïde

Paramètre de la clothoïde		Virage 1	Virage 2
R	Rayon (m)	120	120
L	Longueur de la clothoïde (m)	116	116
A	Paramètre de la clothoïde (m)	117,983	117,983
α	Angle au sommet (gr)	174,8688	175,0855
β	Angle au centre (gr)	25,1312	24,9145
τ	Angle des tangentes (gr)	0,4833	0,4833
γ	Angle au centre Partie circulaire (gr)	24,1646	23,948
XKE	Abscisse de l'extrémité de la clothoïde	113,290	113,290
YKE	Ordonnée de l'extrémité de la clothoïde	18,688	18,688
Θ	Angle Polaire (gr)	9,3669	9,3669
Lcercle	Long, de la partie circulaire (m)	188,789	188,789
SL	Longueur de la corde KA-KE (m)	114,821	114,821
X0	Abscisse du centre (m)	112,277	112,277

Y0	Ordonnées du centre (m)	138,683	138,683
KA0	Distance Ka-centre (m)	178,4351	178,4351
ΔR	Ripage (m)	4,6722	4,6722
D_{cercle}	Développée de cercle	45,5491	45,1409
DT	Développée totale (m)	277,5491	277,1409
TK	Tangente longue (m)	2215,51	2215,51
TL	Tangente courte (m)	94,6013	94,6013
Bissectrice	Bissectrice (m)	2,3760	2,3346

Tableau 32: Paramètres de clothoïde.

Chapitre VII

Profil En Long

1- DEFINITION :

C'est une coupe longitudinale de terrain suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il se compose de segments de droite de déclivité en rampe et en pente et de raccordements circulaires, ou parabolique. Ces pentes et rampes peuvent être raccordées entre elles soit par des angles saillants ou par des angles rentrants.

La courbe de raccordement les plus courants utilisés est le parabolique qui facilite l'implantation des points du projet.

Les principes paramètres du choix d'un profil en long sont :

- Un bon écoulement des eaux pluviales
- Une limitation des déclivités suivant norme
- Un rayon de courbure minimum (condition de confort pour les angles rentrants et condition de visibilité pour les angles saillants).

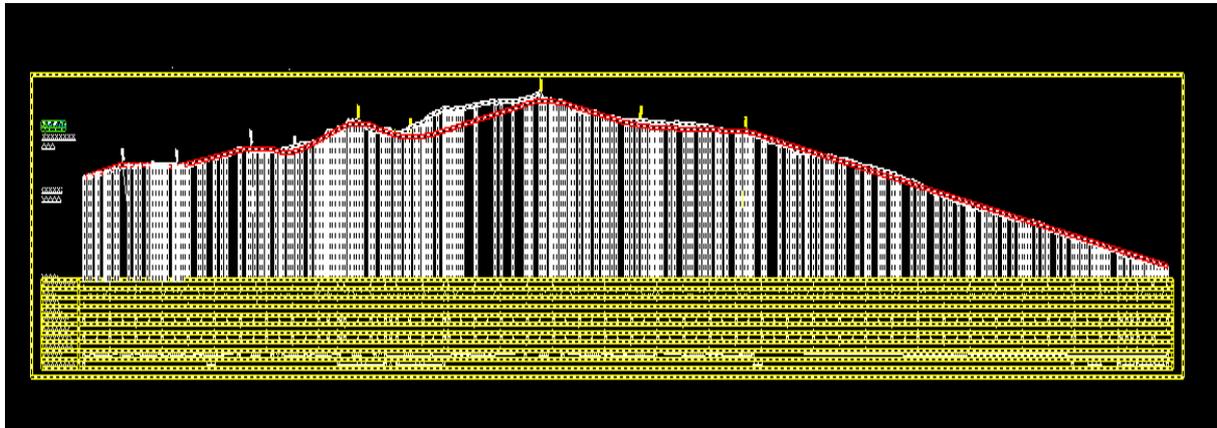


Figure 19 : Profil en long

2- LA LINGE DE PROJET (LIGNE ROUGE) :

Le profil en long donne une idée sur la forme du terrain naturel qui nous permis choisir la ligne du projet de façons a tenir en compte :

- Equilibrer les surfaces remblais et déblais et d'éviter les grands terrassements.
- Assurer une bonne visibilité
- Assurer un confort dynamique.
- Permettre l'évacuation des eaux en prenant des déclivités supérieurs ou égale 0.5%.

3- REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG:

Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur:

✓ Eviter les angles entrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.

✓ Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.

✓ Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des devers nuls dans une pente du profil en long.

✓ Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais dans la partie de tracé neuve.

✓ Eviter une hauteur excessive en remblai.

✓ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la

✓ Combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des règles notamment.

✓ Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison des cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.

✓ Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.

✓ Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

4- LES ELEMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG :

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires, pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

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

5- COORDINATION ENTRE LE TRACE EN PLAN ET LE PROFIL EN LONG :

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

➤ Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, puis respecter la condition :

$R_{vertical} > 6 \times R_{horizontal}$, pour éviter un défaut d'inflexion.

➤ Supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de coût sensible.

6- DECLIVITE :

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

A) Déclivité minimum :

Les tronçons de route absolument horizontaux, dits « en palier » sont si possible à éviter, pour la raison de l'écoulement des eaux pluviales.la pente transversale seule de la chaussée ne suffit pas, il faut encore que l'eau accumulée latéralement s'évacue longitudinalement avec facilité par des fossés ou des canalisations ayant une pente suffisante.

Il est conseillé d'éviter les pentes inférieures à 1% et surtout celle inférieur à 0.5 %, pour éviter la stagnation des eaux.

B)- Déclivité maximum :

La déclivité maximale est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures à 1500 m Elle dépend de :

- La réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (cas de rampe Max).
- l'effort de freinage des poids lourds est très important qui fait l'usure de pneumatique (cas de pente max.).
- Condition d'adhérence entre pneus et chaussée qui concerne tout les véhicules.
- Vitesse minimale du poids lourd.

Et selon (B40) elle doit être inférieure à une valeur maximale associée à la vitesse de base.

Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Déclivité max (%)	8	7	6	5	4	4

Tableau 33 : Valeur de déclivité maximal.

Pour notre cas la vitesse **Vr = 80km/h** donc la pente maximale **Imax =6%**.

Remarque : l'augmentation excessive des rampes provoque ce qui suit :

- ✓ Effort de traction est considérable.

- ✓ Consommation excessive de carburant
- ✓ Faibles vitesses.
- ✓ Gène des véhicules.

7- LES RACCORDEMENTS EN PROFIL EN LONG :

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

On distingue deux types de raccordements :

A)-Raccordements convexes (angle saillant) :

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

❖ Condition de confort :

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, les véhicules sont soumis à une accélération verticale insupportable, qu'elle est limitée à « $g/40$ (cat 1-2) et $g/30$ (Cat 3-4-5) », Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à :

$$v^2/Rv < g/40 \quad g = 10 \text{ (m/s}^2\text{)} \quad \text{et} \quad v = V/3.6$$

$$\text{D'OU : } \left\{ \begin{array}{l} Rv \geq 0,3 V^2 \quad (\text{cat. 1-2}). \\ Rv \geq 0,23 V^2 \quad (\text{cat 3-4-5}). \end{array} \right.$$

Dans notre cas $Rv \text{ min} = 0.3 V^2$

Tel que :

Rv: c'est le rayon vertical (m) et **V:** vitesse de référence (km /h).

❖ Condition de visibilité

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort.

Il faut deux véhicules circule en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt minimum.

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$R_v = \frac{D_1^2}{2(h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{(h_0 + h_1)})}$$

- **d** : Distance d'arrêt (m).
- **h₀** : Hauteur de l'oeil (m).
- **h₁** : Hauteur de l'obstacle (m).

Dans le cas d'une route unidirectionnelle :

$$h_0 = 1.1 \text{ m}, h_1 = 0.15 \text{ m}$$

On trouve:

- $R_v = a d^2 a = 0.24$ pour cat 1-2
- $R_v = 0.24 d^2$

Les rayons assurant ces deux conditions sont données par les normes en fonction de la vitesse de base et la catégorie, pour choix unidirectionnelle et pour une vitesse de base **V_b=80 (Km/h)** et pour la catégorie **1-2** on a :

Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	RVm1	4500
Min- normal	RVN1	10000
Dépassement	RVD	11000

Tableau 34 : Rayons convexes.

B)-Raccordements concaves (angle rentrant) :

Dans un raccordement concave, les conditions de visibilité du jour ne sont pas déterminantes, lorsque la route n'est pas éclairée la visibilité de nuit doit par contre être prise en compte.

Cette condition s'exprime par la relation :

$$R_v' = \frac{d_1^2}{(1.5 + 0.035d_1)}$$

Avec :

R_v' : rayon minimum du cercle de raccordement.

d₁ : distance d'arrêt.

$$\frac{g}{40} \text{ Pour la CAT 1-2.}$$

❖ **Rayon minimal absolu :**

$$R_{vm} = \frac{d_1^2}{0.035d_1 + 1.5}$$

$$R_{vm} (V_r) = (0.3 \times V_r)^2 = (0.3 \times 80)^2 = 2400 \text{ m}$$

Dans le cas d'une route unidirectionnelle :

$$h_0 = 1.1 \text{ m}, h_1 = 0.15 \text{ m}$$

❖ **Rayon minimal normal :**

Les rayons verticaux minimaux normaux en angle rentrant sont obtenus par application de la formule suivante :

$$R_{VN'} = R_{VM'} (v_r + 20).$$

$$R_{vn} = 0.3 (V_r + 20)^2$$

$$R_{vn} = 0.3 \times 10000 = 3000 \text{ m}$$

Les valeurs retenues pour les rayons absolus sont récapitulées dans le tableau suivant :

Rayon	Symbole	Valeur
Min-absolu	R' Vm	2400
Min -normal	R'VN	3000

Tableau 35 : Rayons concaves (angle rentrant). Cat1, V80.

Condition esthétique :

Il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens de déclivités sur des distances courtes, pour éviter cet effet on imposera une longueur de raccordement minimale et **(b > 50)** pour des devers **d < 10%** (spécial échangeur).

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

8- ELEMENTS NECESSAIRE AU CALCUL DU PROFIL EN LONG :

Après la projection des pentes du profil en long on procède au calcul des coordonnées des points de tangence en coordonnées rectangulaires.

Avec :

A et B : extrémité du raccordement

G : milieu de raccordement situé sur la variante

- B** : bissectrice.
- P, Q** : deux points connus sur i_1, i_2
- Q** : centre du cercle de rayon R
- T** : tangente de part et l'autre du sommet
- X** : distance entre le sommet et un point P sur i_1
- S** : sommet ou point de changement de déclivité
- L** : distance entre les deux points

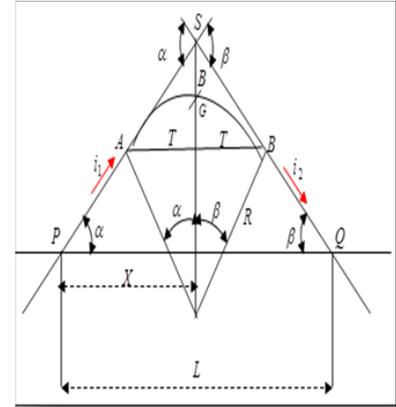


Figure 20 : Eléments du profil en long

9- DETERMINATION PRATIQUE DU PROFIL EN LONG :

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle : $X^2 + Y^2 - 2RY = 0$.

À l'équation de la parabole $X^2 - 2RY = 0 \Rightarrow Y = \frac{x^2}{2R}$

Pratiquement, le calcul des raccordements se fait de la façon suivante :

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

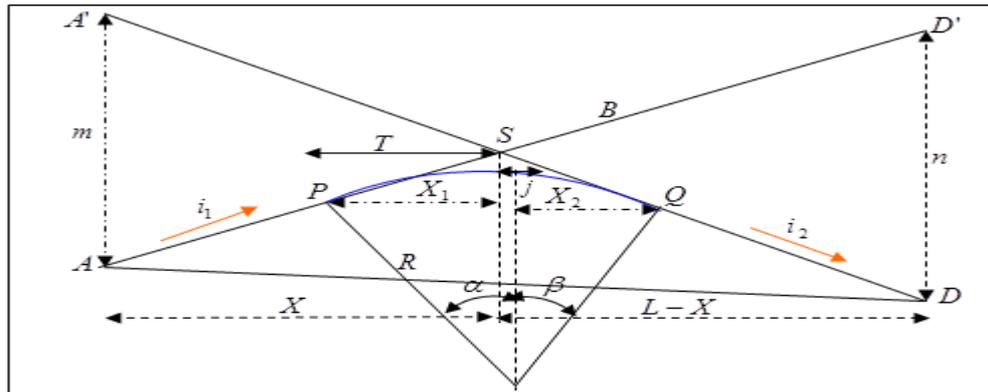


Figure 21 : Pratiques du profil en long.

❖ Détermination de la position du point de rencontre(s) :

On a :

$$Z_A = Z_{D'} + Lp_2m = Z_{A'} - Z_A$$

$$Z_D = Z_{A'} + Lp_1n = Z_D - Z_{D'}$$

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

$$m/n = x/(L-x) \Rightarrow x = m \cdot L / (n+m)$$

$$S \begin{cases} XS = X + XA \\ ZS = p_1X + Z_A \end{cases}$$

❖ **Calculs De La Tangente :**

- On prend (+) lorsque les deux pentes sont de sens contraires, on prend (-) lorsque les deux pentes sont de même sens.
- La tangente (T) permet de positionner les pentes de tangentes **B** et **C**.
- L'équation de la parabole est:

$$Y = \frac{X^2}{2R}$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{T}{AS} \Rightarrow T = AS \cdot \cos\alpha_1$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) = \frac{AS}{R} \Rightarrow AS = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)$$

D'ou $\alpha_1, \alpha_2 = 0 = p \cdot \cos\alpha_1$

$$T = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)$$

$$\operatorname{tg}\alpha_1 \quad \alpha_1 = p_1, \quad \operatorname{tg}\alpha_2 \quad \alpha_2 = p_2$$

$$T = R \cdot \left(\frac{p_1 + p_2}{2}\right)$$

finalement : $T = R \cdot \left|\frac{\Delta p}{2}\right|$

❖ **Projection Horizontale De La Longueur De Raccordement :**

$$LR = 2T$$

❖ **Calcul De La Flèche :**

$$H = T^2 / 2R$$

❖ **Calcul de la flèche Et de l'altitude d'un Point courant M Sur La courbe :**

$$M \quad \begin{aligned} HX &= X^2 / 2R \\ ZM &= ZB + Xp_1 - X^2 / 2R \end{aligned}$$

10- APPLICATION DE PROJET :

Catégorie	C1	
Environnement	E2	
Vitesse (km/h)	80	
Rayon en angle saillant RV 	Route unidirectionnelle :	(1×2 voies)
	RVm1 (minimal absolu) en m	4500
	RVn1 (minimal normal) en m	10000

Rayon en angle rentrant RV 	Route unidirectionnelle :	(1×2 voies)
	RVm1 (minimal absolu) en m	2400
	RVn1 (minimal normal) en m	3000
Déclivité maximale I_{max} (%)	6	

Tableau 36 : Caractéristique des rayons verticaux.

1. Calcul des tangentes :

Les positions de T et T' sont données par rapport à l'intersection des pentes :

$$T = T' = \frac{R}{2} |\Delta P|$$

- Dans le cas où les déclivités sont de sens contraire :

$$T = T' = \frac{R}{2} |P1 + P2|$$

- Dans le cas où les déclivités sont de même sens :

$$T = \frac{R}{2} |P1 - P2|$$

2- Calcul de la flèche :

$$F = \frac{T^2}{2R}$$

Elément Sommet	P1 P2	Nature du rayon	Les rayons (m)	T (m)	F (m)
S1	1,752 -0,331	saillant	4500	10,4150	0,054
S2	-0,331 1,512	rentrant	2400	13,8225	0,063
S3	1,512 -1,095	saillant	4500	32,5875	0,212
S4	-1,095 3,286	rentrant	2400	21,9050	0,239
S5	3,286 -2,590	saillant	4500	35,256	0,517
S6	-2,590 1,888	rentrant	2400	44,7800	0,501
S7	1,888 -1,743	saillant	4500	36,3100	0,329
S8	-1,743 -0,259	rentrant	2400	26,6800	0,088

Tableau 37: les valeurs de tangente et la flèche.

Chapitre VIII
Profile En Travers

1- DEFINITION:

Le profil en travers d'une chaussée est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de l'ensemble des points définissant sa surface sur un plan vertical.

Un projet routier comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d'abord un profil unique appelé « Profil en travers » contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc...).

2- TYPES DE PROFIL EN TRAVERS:

Dans une étude d'un projet de route l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers :

A - profil en travers type :

Il contient tous les éléments constructifs de la future route dans toutes les situations(en remblai, en déblai, en alignement et en courbe).

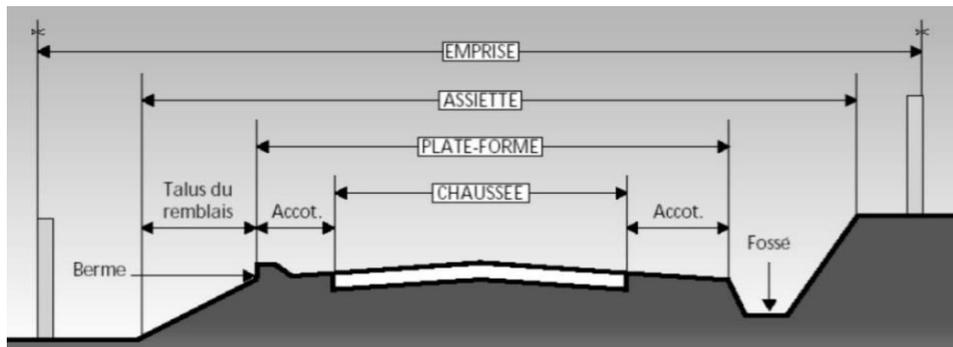


Figure22: Les éléments d'une route

B - profil en travers courants :

Se sont des profils dessinés à des distances régulières qui dépendent du terrain naturel (Accidenté ou plat).

3- Les éléments de composition du profil en travers:

Le profil en travers doit être constitué par les éléments suivants:

a) - La chaussée :

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules. La route peut être à chaussée unique ou à chaussée séparée par un terre-plein central.

b) - La largeur rouable:

Elle comprend les sur largeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt. Sur largeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive.

c) - La plate forme :

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes de talus de remblais, comprenant la ou les deux chaussées et les accotements, éventuellement les terre-pleins et les bandes d'arrêts.

d) - Assiette :

Surface de terrain réellement occupé par la route, ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai.

e) - L'emprise :

C'est la surface du terrain naturel appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances elle coïncidant généralement avec le domaine public.

f) - Les accotements :

Les accotements sont les zones latérales de la plate forme qui bordent extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasés ou surélevés.

Ils comportent généralement les éléments suivants :

- Une bande de guidage.
- Une bande d'arrêt.
- Une berme extérieure.

g) - Le terre-plein central :

Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il comprend : Les sur largeurs de chaussée (bande de guidage). Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.

h) - Le fossé :

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route et talus et les eaux de pluie.

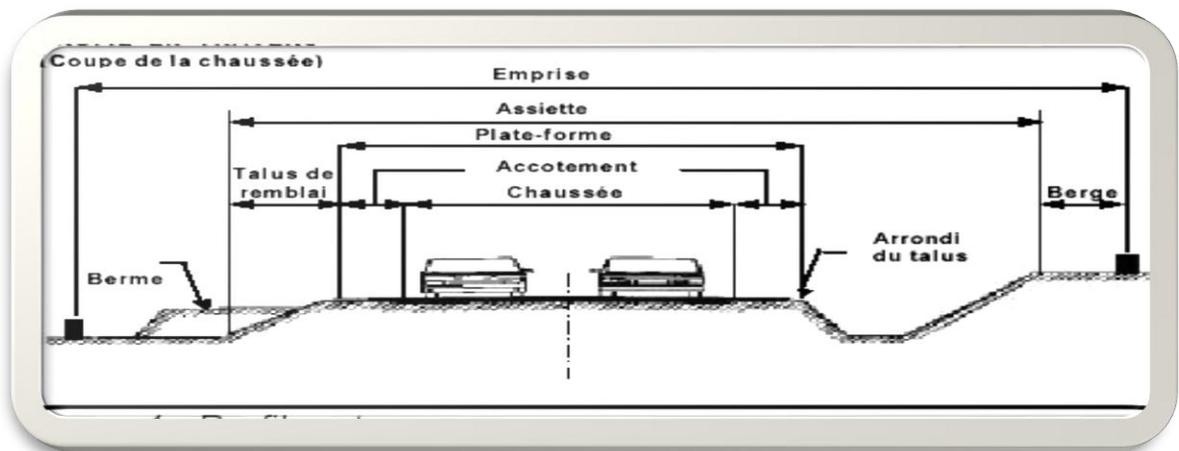


Figure23 : profile en travers

Chapitre IX
Cubatures Et Mouvements
Des Terres

1- INTRODUCTION:

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- les profils en long
- les profils en travers
- les distances entre les profils.

Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

2- CUBATURES TERRASSEMENTS :

On entend par cubature le calcul des volumes déblais remblais à déplacer pour respecter les profils en long et travers fixés auparavant et d'établir ainsi le mètre des travaux.

Comme notre est réutilisable, on cherche un équilibre entre les volumes déblais remblais. Le calcul exact est pratiquement impossible vu l'irrégularité des surfaces.

3- Méthode utilisée :

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

A - Description de la Méthode:

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

Où h , S_1 , S_2 et S_0 désignant respectivement :

- Hauteur entre deux profils.
- Hauteur des deux profils.

Surface limitée à mi-distances des profils ; ici à la figure ci-dessous on adopte pour des profils en long d'un tracé donnés.

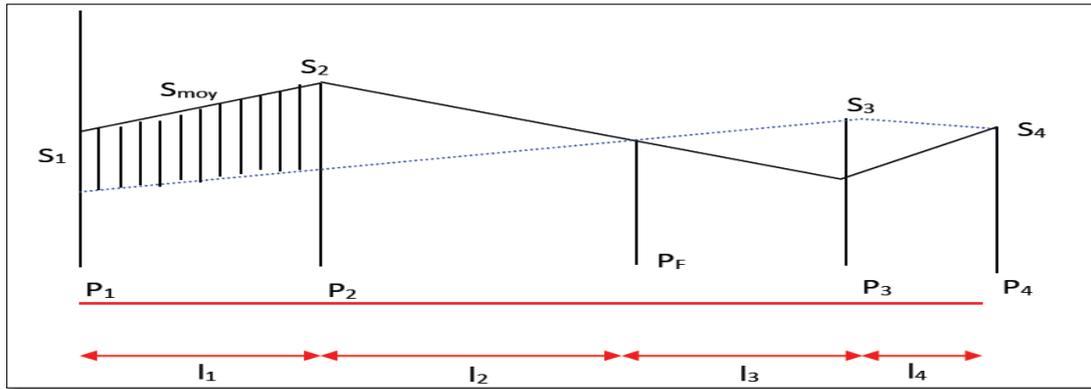


Figure 24 : Schéma représentant la surface entre profil.

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

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

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très

voisines les deux expressions S_{moy} et $\frac{S_1 + S_2}{2}$

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

Donc les volumes seront :

❖ Entre P1 et P2
$$V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

❖ Entre P2 et PF
$$V_2 = \frac{l_2}{2} \times (S_2 + 0)$$

❖ Entre PF et P3
$$V_3 = \frac{l_3}{2} \times (0 + S_3)$$

En additionnant membre à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V = \frac{l_1}{2} S_1 + \frac{l_1 + l_2}{2} S_2 + \frac{l_2 + l_3}{2} 0 + \frac{l_3 + l_4}{2} S_3 + \frac{l_4}{2} S_4$$

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

4- MOUVEMENT DES TERRES :

A - Métré de terrassement :

C'est une méthode quantitative qui consiste à évaluer les cubes du déblai et du remblai existant dans un projet, l'opération qui consiste à transporter les terres de déblais ou d'emprunt en remblai ou en dépôt dite mouvement des terres.

A cette opération deux facteurs interviennent :

- Les cubes des terres à transporter.
- Distance de transport.

A cet effet, on cherche toujours la distance minimale de transport :

- En évacuant l'excès de déblai aux dépôts les plus proches.
- En ramenant les terres des emprunts les plus proches.

B - Foisonnement :

On appelle la propriété que présente les sols d'augmenter le volume lorsqu'on les manipule, il se produit à ce moment par suite de la décompression de matériaux de vides partiels, entre les particules plus ou moins grosses et les cailloux.

Lorsqu'on remet en place les sols remaniés, ils ne représentent pas le volume qu'ils occupaient précédemment dans la majorité des cas.

Le foisonnement des matériaux est très variable. Suivant la nature du sol, on a pris le coefficient de foisonnement pour les terres qui seront transportées égale à 20%.

C - Moment de transport :

C'est le produit du volume transporté par la distance de transport $M = v \times d$

Avec :

v : volume transporté

d : distance de transport

Le but de l'étude des mouvements des terres est de trouver la distance moyenne minimale de transport pour minimiser le prix de ce dernier.

D - Distance moyenne de transport :

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

E - Epure de LALANNE :

Elle consiste à rechercher les transports des terres des plus économiques entre les déblais réutilisables, les dépôts, le remblai et les emprunts.

Dans le cas de profil mixtes (remblai et déblai), on ne prendra en compte que la cube de terre restant après compensation dans les profils.

Le but de l'épure consiste à obtenir la somme minimum des moments de transports qui dépend de la ligne horizontale dite de répartition choisie.

F - Principe de l'épure de LALANNE :

Il s'agit maintenant de déterminer le détail des transports des terres d'un profil a un autre et d'un ou plusieurs lieux d'emprunts à des profils ou depuis des profil vers des emprunts dans le cas d'un excès de remblai.

C'est pour cela qu'on établit l'épure de LALANNE.

G - Etablissement de l'épure de LALANNE :

L'épure de LALANNE est un moyen de représentation graphique des terrassements effectués, et s'établit de la façon suivante :

- On représente les volumes par des lignes verticales dont la longueur est proportionnelle aux cubes représentés
- On trace une ligne horizontale initiale appelé ligne des terres sur laquelle on porte l'échelle choisie l'emplacement des profile en travers.
- On porte les déblais de bas en haut et les remblais de haut en bas sautant d'un profil à un autre par un échelon horizontal en cumulant les cubes à chaque profil et comptant les déblais comme positif et les remblais comme négatif.

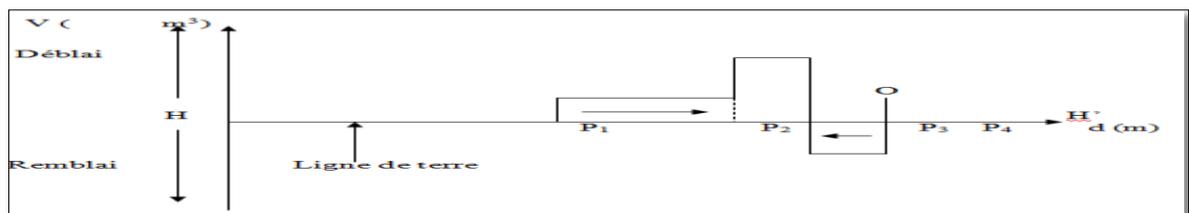


Figure 25 :L'épure de LALANNE.

H - Ligne de répartition des sens de transport:

On cherche à partager cette épure dans sa hauteur par une ligne horizontale qui pourra être différente ou non de l'horizontal (H, H'), et qui suivra la ligne de répartition, (LR) de la direction des transports ; ce ci devra se faire de gauche à droite pour les volumes situés au-dessus de cette ligne et de droite à gauche pour les volumes situés au-dessous de cette ligne.

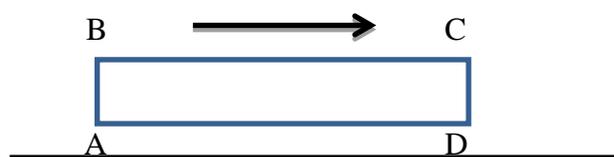


Figure 26 : Sens de transport.

La flèche indique qu'il conviendra de transporter le déblai AB pour combler le remblai CD, situé à la distance AD, le rectangle ABCD a pour surface le produit AB par la distance AD ; cette sur face est appelée moment de transport.

5- Calculs des cubatures :

Le tableau ci-après représente le calcul des cubatures détaillées :

Profil n°	Abscisse	Longueur d'application	Déblais					Remblais				
			Surf. G (m ²)	Surf. D (m ²)	Surf. Tot (m ²)	Volume (m ³)	Cumul Vol. (m ³)	Surf. G (m ²)	Surf. D (m ²)	Surf. Tot (m ²)	Volume (m ³)	Cumul Vol. (m ³)
P1	0.000	25.000	0.03	0.00	0.03	0.763	0.763	0.84	0.62	1.46	36.483	36.483
P2	50.000	50.000	0.07	0.03	0.10	4.957	5.721	1.45	1.86	3.31	165.467	201.950
P3	100.000	50.000	0.12	0.00	0.13	6.350	12.071	1.32	2.31	3.63	181.440	383.390
P4	150.000	50.000	0.69	0.11	0.80	40.025	52.095	0.04	0.48	0.52	25.760	409.150
P5	200.000	50.000	0.02	0.11	0.13	6.735	58.830	1.82	1.15	2.97	148.701	557.851
P6	250.000	50.000	0.03	0.10	0.13	6.565	65.395	1.43	0.97	2.40	120.215	678.066
P7	300.000	50.000	0.08	0.06	0.14	7.066	72.461	0.48	0.41	0.89	44.393	722.458
P8	350.000	50.000	0.02	0.05	0.07	3.406	75.868	2.01	1.62	3.64	181.868	904.326
P9	400.000	50.000	2.78	2.67	5.45	272.509	348.377	0.00	0.00	0.00	0.000	904.326
P10	450.000	43.913	0.12	0.09	0.21	9.149	357.526	0.94	1.05	1.99	87.250	991.576
P11	487.827	25.000	0.70	0.11	0.81	20.192	377.719	0.08	0.43	0.51	12.636	1004.212
P12	500.000	31.087	1.23	0.00	1.24	38.492	416.211	0.05	2.60	2.65	82.517	1086.730
P13	550.000	38.980	0.00	0.00	0.00	0.000	416.211	4.21	3.06	7.28	283.732	1370.461
P14	577.960	25.000	0.50	0.23	0.72	18.096	434.307	0.07	0.19	0.26	6.504	1376.966
P15	600.000	11.224	0.10	1.75	1.85	20.746	455.053	0.62	0.02	0.65	7.258	1384.224
P16	600.407	25.000	0.09	1.82	1.91	47.682	502.735	0.64	0.02	0.65	16.280	1400.503
P17	650.000	45.067	8.92	9.95	18.87	850.479	1353.213	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P18	690.541	25.000	15.51	13.30	28.80	720.106	2073.319	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P19	700.000	29.730	13.98	12.26	26.24	780.171	2853.490	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P20	750.000	50.000	11.24	9.10	20.34	1016.96	3870.460	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P21	800.000	50.000	6.15	5.80	11.96	597.832	4468.292	0.00	0.00	0.00	0.000	1400.503
P22	850.000	50.000	3.83	0.58	4.41	220.253	4688.545	0.00	0.03	0.03	1.266	1401.769
P23	900.000	50.000	1.02	0.02	1.03	51.733	4740.277	0.14	1.47	1.60	80.150	1481.919
P24	950.000	50.000	0.32	0.02	0.34	16.923	4757.200	1.01	2.09	3.09	154.653	1636.573
P25	1000.000	50.000	0.17	0.06	0.23	11.681	4768.881	0.50	1.25	1.74	87.218	1723.791
P26	1050.000	50.000	0.81	1.21	2.02	101.082	4869.963	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P27	1100.000	50.000	2.09	2.72	4.81	240.450	5110.413	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P28	1150.000	50.000	2.14	2.56	4.70	235.175	5345.589	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P29	1200.000	50.000	1.56	1.38	2.94	146.984	5492.572	0.00	0.00	0.00	0.000	1723.791
P30	1250.000	50.000	0.05	0.14	0.19	9.636	5502.208	1.47	0.91	2.38	119.134	1842.925
P31	1300.000	50.000	0.00	0.03	0.03	1.648	5503.856	2.46	1.79	4.25	212.516	2055.441
P32	1350.000	50.000	0.00	0.02	0.02	1.067	5504.923	3.30	2.04	5.33	266.680	2322.121
P33	1400.000	50.000	0.08	0.01	0.10	4.879	5509.802	1.36	1.74	3.11	155.267	2477.389
P34	1450.000	50.000	0.43	0.32	0.75	37.616	5547.417	0.10	0.11	0.21	10.563	2487.952
P35	1500.000	50.000	1.52	1.18	2.70	134.934	5682.351	0.00	0.00	0.00	0.000	2487.952
P36	1550.000	50.000	2.94	1.96	4.90	244.886	5927.237	0.00	0.00	0.00	0.000	2487.952
P37	1600.000	50.000	1.42	0.41	1.83	91.484	6018.720	0.00	0.00	0.00	0.000	2487.952
P38	1650.000	50.000	0.07	0.05	0.12	6.125	6024.845	1.24	1.37	2.60	130.246	2618.198
P39	1700.000	50.000	0.00	0.02	0.02	0.968	6025.813	2.94	2.32	5.26	263.038	2881.236
P40	1750.000	50.000	0.01	0.05	0.06	2.914	6028.727	2.08	1.74	3.82	190.770	3072.007
P41	1800.000	50.000	0.02	0.07	0.09	4.479	6033.206	1.48	0.69	2.17	108.321	3180.328
P42	1850.000	47.573	0.01	0.09	0.09	4.402	6037.608	1.58	0.76	2.34	111.088	3291.416
P43	1895.146	25.000	0.04	0.07	0.11	2.738	6040.347	1.54	1.36	2.91	72.683	3364.099
P44	1900.000	27.427	0.08	0.07	0.16	4.253	6044.599	1.07	1.07	2.14	58.752	3422.852
P45	1950.000	42.640	0.10	0.10	0.21	8.821	6053.421	1.01	0.90	1.91	81.347	3504.199

P46	1985.280	25.000	0.04	0.05	0.09	2.168	6055.589	2.17	1.90	4.07	101.727	3605.926
P47	2000.000	18.290	0.02	0.04	0.06	1.083	6056.672	1.82	2.13	3.95	72.179	3678.105
P48	2021.861	25.000	0.01	0.06	0.07	1.832	6058.504	1.83	1.73	3.56	89.003	3767.108
P49	2050.000	15.000	0.03	0.13	0.16	2.371	6060.875	1.66	1.11	2.77	41.550	3808.658
P50	2051.860	13.815	0.03	0.14	0.17	2.353	6063.228	1.57	0.94	2.52	34.773	3843.431
P51	2077.630	12.885	0.00	0.00	0.00	0.000	6063.228	0.00	0.00	0.00	0.000	3843.431

Tableau 38: cubatures détaillées

Volume de déblai total : 6063.228 m³

Volume de remblai : 3843.431 m³

Excès de déblai : 2219 797 m³

Chapitre X

Signalisation Routière

1- INTRODUCTION :

La signalisation routière désigne l'ensemble des signaux conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route, soit en les informant des dangers et des prescriptions relatifs à la circulation ainsi que des éléments utiles à la prise de décisions, soit en leur indiquant les repères et équipements utiles à leurs déplacements. Elle comprend deux grands ensembles :

La signalisation routière verticale, qui comprend les panneaux, et la signalisation routière horizontale, constituée des marquages.

2- L'OBJECTIF DE LA SIGNALISATION ROUTIERE :

La signalisation routière a pour objet :

- De rendre plus sûre la circulation routière.
- De faciliter cette circulation.
- D'indiquer ou de rappeler diverses prescriptions particulières de police.
- De donner des informations relatives à l'usage de la route.

3- REGLES A RESPECTER POUR LA SIGNALISATION :

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation en respectant les règles suivantes:

- Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité).
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale.
- Eviter la publicité irrégulière.
- Simplicité qui s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatiguent
- l'attention de l'utilisateur.

4- TYPES DE SIGNALISATIONS :

Elles peuvent être classées dans quatre classes:

a- Signalisation Verticale :

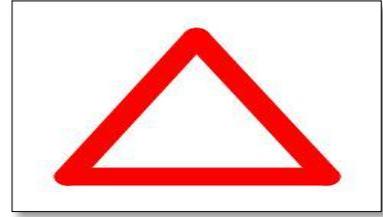
Elle se fait à l'aide de panneaux, qui transmettent un message visuel grâce à leur emplacement, leur type, leur couleur et leur forme, on distingue :

- Signalisation avancée.
- Signalisation de position.
- Signalisation de direction.

Elles peuvent être classées dans quatre classes:

❖ **Signaux de danger :**

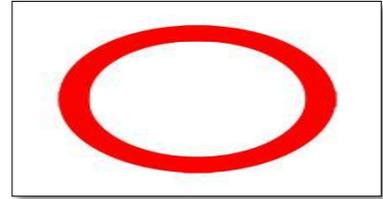
Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150 m en avant de l'obstacle à signaler (signalisation avancée).



❖ **Signaux comportant une prescription absolue :**

Panneaux de forme circulaire, on trouve :

- L'interdiction.
- L'obligation.
- La fin de prescription.



❖ **Signaux à simple indication :**

Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminés en pointe de flèche :

- Signaux d'indication.
- Signaux de direction.
- Signaux de localisation.
- aux divers.

❖ **Signaux de position des dangers :**

Toujours implantés en pré signalisation, ils sont un emploi peu fréquent en milieu urbain.

b- Signalisation Horizontale :

Ces signaux horizontaux sont représentés par des marques sur chaussées, afin d'indiquer clairement les parties de la chaussée réservées aux différents sens de circulation. Elle se divise en trois types :

✚ **Marquage longitudinal :**

• **Lignes continue :**

Les lignes continues sont annoncées à ceux des conducteurs auxquels il est interdit de les franchir par une ligne discontinue éventuellement complétée par des flèches de rabattement.

• **Lignes discontinue :**

Les lignes discontinues sont destinées à guider et à faciliter la libre circulation et on peut les franchir, elles se différencient par leur module, qui est le rapport de la longueur des traits sur celle de leur intervalle.

Lignes axiales ou lignes de délimitation de voie pour lesquelles la longueur des traits est environ égale ou tiers de leur intervalles.

Lignes de rive, les lignes de délimitation des voies d'accélération et de décélération ou d'entrecroisement pour les quelles la longueur des traits est sensiblement égale à celle de leur intervalles.

Ligne d'avertissement de ligne continue, les lignes délimitant les bandes d'arrêt d'urgence, dont la largeur des traits est le triple de celle de leurs intervalles.

✚ Marquage transversal :

- **Lignes transversales continue :**

Éventuellement tracées à la limite ou les conducteurs devraient marquer un temps d'arrêt.

- **Lignes transversales discontinue :**

Éventuellement tracées à la limite ou les conducteurs devaient céder le passage aux intersections.

➤ **Autre mmarquage :**

- **Flèche de rabattement :** Une flèche légèrement incurvée signalant aux usagers qu'ils devaient emprunter la voie située du côté qu'elle indique.
- **Flèches de sélection :** Flèches situées au milieu d'une voie signalant aux usagers, notamment à proximité des intersections, qu'ils doivent suivre la direction indiquée.



Figure 27 : Flèche de signalisation.

5- CARACTERISTIQUES GENERALES DES MARQUES :

- Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages sur chaussée définitive et l'orange pour les marques provisoires.
- La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité « U » différente suivant le type de route, à savoir :

U = 7.5cm sur les autoroutes et voies rapides urbaines.

U = 6cm sur les routes et voies urbaines.

U = 5cm pour les autres routes.

6- APPLICATION AU PROJET :

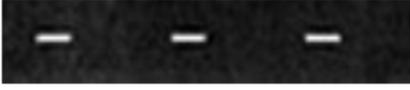
Les différents types de panneaux de signalisation utilisés pour notre étude sont les suivants :

+ Signalisation Verticale :

			
A1b Virage à gauche	A1a Virage à droite	AB3a Céder le passage à l'intersection. Signal de position	
			
AB6 Indication du caractère prioritaire d'une route	Passage piéton	AB25 Carrefour à sens giratoire	B6d Arrêt et stationnement interdits

Tableau 39 : signalisation verticale.

+ Signalisation horizontale :

	Ligne continue : Infranchissable, dépassement et changement de voie interdits. Il est également interdit de la traverser perpendiculairement (pour sortir ou rentrer dans une rue, une cour, un garage).
	Ligne discontinue : Dépassement et changement de voie autorisés.
	Ligne de dissuasion : Sur des routes étroites ou sinueuses, la ligne de dissuasion remplace une ligne continue, seul le dépassement de véhicules roulant très lentement est autorisé (tracteur agricole, voiturette, cycle...).

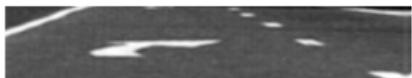
	Ligne d'avertissement : Annonce une ligne continue. Des flèches de rabattement avertissent le conducteur qu'il va rencontrer une ligne continue.
	Flèches de rabattement : Indiquent la voie dans laquelle il faut se rabattre.
	Ligne mixte : Peut être franchie par le conducteur situé du côté de la ligne discontinue.
	Ligne de rive trait : Sépare la chaussée et l'accotement, peut être franchi pour s'arrêter ou stationner. Dans les sens uniques, la ligne de rive à gauche est continue.
	Hachurage : Sur le nez d'îlot.

Tableau 40: signalisation horizontale

7- ECLAIRAGE:

A- INTRODUCTION :

Dans un trafic en augmentation constante, L'éclairage public et la signalisation nocturne des routes jouent un rôle indéniable en matière de sécurité. Leurs buts est de permettre aux usagers de la voie de circuler la nuit avec une sécurité et confort aussi élevé que possible.

B -CATEGORIES D'ECLAIRAGE:

On distingue quatre catégories d'éclairages publics :

- Eclairage général d'une route ou une autoroute, catégorie A.
- Eclairage urbain (voirie artérielle et de distribution), catégorie B.
- Eclairage des voies de cercle, catégorie C.
- Eclairage d'un point singulier (carrefour, virage...) situé sur un itinéraire non éclairé, catégorie D.

C-PARAMETRES DE L'IMPLANTATION DES LUMINAIRES:

- L'espacement (e) entre luminaires: qui varie en fonction du type de voie.
- La hauteur (h) du luminaire: elle est généralement de l'ordre de 8 à 10 m et par fois 12

m pour les grandes largeurs de chaussées.

- La largeur (l) de la chaussée.
- Le porte-à-faux (p) du foyer par rapport au support.
- L'inclinaison, ou non, du foyer lumineux, et son surplomb (s) par rapport au bord de la chaussée.

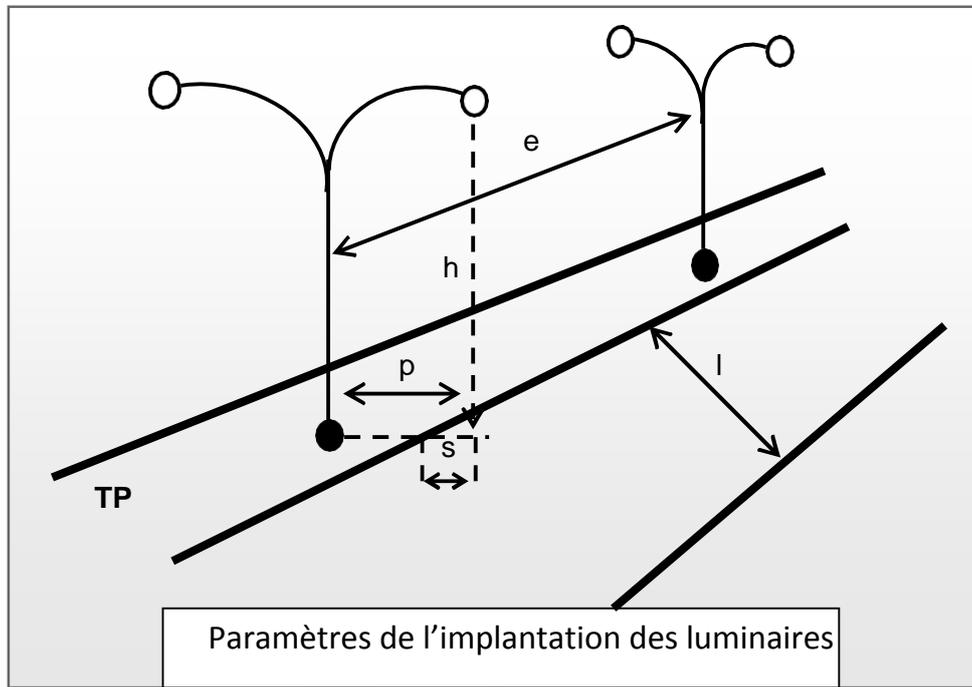


Figure 28 : Paramètres de l'implantation des luminaires

D- APPLICATION AU PROJET:

Eclairage de la voie (le long de la Pénétrante) :

La bordure du TPC doit être parfaitement visible, on adopte à cet effet des dispositifs lumineux on place. Ensuite, les foyers doivent être suffisamment rapprochés pour que les plages d'éclairage se raccordent sans discontinuité. La hauteur des foyers est en général de 8 à 12m, ainsi l'espacement des supports varie de 20 à 30 m de façon à avoir un niveau d'éclairage équilibré.

8- CONCLUSION :

La signalisation routière acquiert une grande importance dans un notre projet suivant tous le long de l'itinéraire qui rend la circulation plus faciles sure aux usagers.

L'éclairage serve à garantir aux usagers de la voie de circuler de nuit avec une sécurité et un confort aussi élevé que possible car la situation de projet.

Chapitre XI
Estimation Du Coût
Du Projet

1 : ESTIMATION DU COUT DU PROJET

Selon les prix mis à notre disposition le calcul du devis estimatif du projet portera essentiellement sur :

- Décapage de la plate-forme.
- Déblai et Remblai.
- Corps de chaussée.
- Séparateurs.

2 : Calcul du cout du projet :

N°	Désignation	Unité	Quantité	PU (DA)	MONTANT
1	Déblais	m ³	6063,228	325	1970549,1
2	Remblais	m ³	3483,431	500	1741715,5
Corps de chaussée					
3	F/mise en œuvre de la couche en béton bitumineux 0/10 sur une ép : de 06 cm y compris couche d'imprégnation 0/1 et toute sujétions de mise en œuvre.	T	2137,881	9400	20096081,4
4	F/mise en œuvre de la couche en Grave Bitumineux 0/14 sur une ép : de 9 cm	T	3289,283	9400	30919260,2
5	Rechargement de la plate-forme en TUF sur une ép : de 25 cm y compris arrosage, compactage et toutes sujétions de mise en œuvre	T	22438,404	1350	30291845,4
Assainissement					
6	Fossé en béton	ML	3850,00	2500	
Signalisation					
7	Ligne axiale de séparation de voies	ML	3850,00	170	654500
8	Ligne de rive de chaussée (Limite BAU)	ML	7700,00	170	1309000
9	Ligne continue (Rive DBA)	ML	3850,00	170	654500
MONTANT EN H T					97262451,6
TVA 19%					18479865,8
MONTANT EN TTC					115742317,4

Tableau 41 : Devis estimatif

CONCLUSION

Ce présent travail de fin d'étude était l'occasion pour perfectionner nos modestes connaissances dans le domaine des routes.

C'est un travail de base qu'on vient de réaliser, il est d'une utilité incontestable parce qu'il nous a confrontés à certains problèmes et nous a permis entre autre de tirer profit des expériences des personnes qualifiées dans le domaine.

On a essayé de faire le maximum pour respecter les normes du B40 afin d'assurer un meilleur tracé permettant le confort et la sécurité de l'utilisateur car toute négligence peut être fatale.

On était limité par le temps, la documentation ainsi que le manque de salles de dessin et de calculs mais cela ne nous a pas empêché pour venir à bout de ce travail grâce aux orientations de nos professeurs.

Nous espérons acquérir plus dans notre vie professionnelle et toucher les grands projets et surtout voir tout cela de près c'est-à-dire sur terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- ✚ B40 (Normes techniques d'aménagement des routes et trafic et capacité des routes).
- ✚ Documentation (DTP de Mostaganem).
- ✚ Cours de routes 3^{eme} année licence (Mr. N. BOUHAMOU).
- ✚ Cours de routes 1^{eme} année master (Mr. N. BOUHAMOU. Mr S. RAOUM).
- ✚ Signalisation routière.
- ✚ Anciennes thèses de fin d'études.

SITES INTERNET :

www.autoroutes.fr

www.setra.fr

www.ana.org.dz

www.mtp-dz.com

www.almohandiss.com

www.fr.scribd.com