

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2020



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2020

Mémoire de Master

Filière : TRAVAUX PUBLICS

Spécialité : VOIES ET OUVRAGES D'ART

Thème

**ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE LA RN28 DU
PK 92+000 AU PK 99+000 SUR 7KM
(BELAIBA- EL DJEZZAR)**

Nom et Prénom de l'étudiant :
Nouis Lazhar

Encadreur : *Dr: REMADNA M . saddek*

Année universitaire : 2019 - 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

*Je tiens à remercier en premier lieu et avant tout **ALLAH** le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir mon travail dans les meilleures conditions.*

Je remercie ma famille la source de toutes ma force .

*Je tiens à remercier chaleureusement mon encadreur **Dr.REMADNA** pour son aide que m'a fait aimer mon travail grâce à les grandes efforts qu'il effectuer pour suivi et guide ce travail*

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Je remercie mes amies et collègues de la promotion filière de 2^{ème} mastère Travaux Publics option voies et ouvrages d'art pour leur collaboration et soutien morale



DEDICACE

En premier apport, Je dédie ce travail à mes chers parents aussi à mes sœurs et mes chères tantes et oncles ,à ma petite famille (ma femme et mon fils NAZIM) qui a partagé avec tous les moments de malaises et aussi de bonheurs.

En deuxième apport, je dédie à tous mes amis surtout mon ami d'étude DJELOUL MOHAMED qui m'a beaucoup aidé pour la dernière minute et mes amis d'enfance HAMZA ,MOHAMED et NOUR EDDIN.... , mes collègues

Et tous qui me donne leurs encouragements et Leurs soutiens.

La tranche la plus importante dans ma vie c'est que j'ai connu des amis frères que j'en porte à jamais pour eux le bon qu'ils ont fait pour moi.

Je tiens à remercier l'ensemble des étudiants de la PROMO VOA-2020 et aussi toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire .

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
Chapitre 1 Présentation de projet	
Introduction.....	02
I. Localisation de la zone d'étude	02
II. Présentation de projet.....	03
III. Objectif de l'étude	04
Conclusion	05
Chapitre 2 Paramètre de base	
Introduction.....	06
I. Niveau de service.....	07
II. Classification de la route.....	07
III. Environnement de la route.....	08
1. La dénivelée cumulée moyenne (Km)	08
2. La sinuosité moyenne σ	09
IV. Vitesse de base (vitesse de référence).....	11
V. Paramètres cinématiques.....	11
1. Hauteur de l'œil et des obstacles.....	11
2. Temps de perception-réaction	12
3. Le coefficient de frottement longitudinal f_l	13
4. Le coefficient de frottement transversal f_t	13
5. Distance de freinage d_0	13
6. La distance d'arrêt d_1	13
7. La distance d'arrêt en courbe d_2	14
Conclusion	15
Chapitre 3 Etude géométrique	
Introduction.....	16
I. Levé topographique	16
A. Définitions.....	16
II. Tracé en plan	17
1 Définition	17
2 Règle à respecter dans le tracé en plan.....	17
3 Les éléments du tracé en plan.....	17
A. Les Alignements.....	18
B. Arcs De Cercle.....	19

a)	Stabilité En Courbe.....	19
b)	Rayon minimal absolu (RHm).....	20
c)	Rayon minimal normal (RHn).....	20
d)	Rayon au dévers minimal (RHd).....	20
e)	Rayon minimal non déversé (RHnd).....	21
f)	Sur largeur.....	21
C.	Les courbes de raccordement.....	21
a)	Rôle et nécessité des courbes de raccordement.....	22
b)	Types de courbe de raccordement.....	22
1)	Parabole cubique.....	22
2)	Lemniscate.....	22
3)	Clothoï.....	22
4	Les conditions de raccordement	23
A.	Condition de confort optique.....	24
B.	Condition de confort dynamique.....	24
C.	Condition de gauchissement.....	24
5.	Combinaison des éléments du tracé en plan.....	25
A.	Courbe en S.....	25
B.	Courbe à sommet.....	25
C.	Courbe en C.....	26
D.	Courbe en Ove.....	26
6.	Notion de dévers	26
A.	Devers en alignement.....	26
B.	Devers en courbe.....	27
C.	Rayon de courbure	27
D.	Calcul des devers.....	27
E.	Raccordement de devers.....	27
III.	Profil en long.....	28
1.	Définition.....	28
2.	Règle à respecter dans le tracé du profil en long.....	28
3.	Les éléments de la composition du profil en long	29
4.	Coordination du tracé en plan et profil en long	29
5.	Déclivité.....	29
a)	Déclivité minimum.....	29
b)	Déclivité maximum.....	30
6.	Raccordement en profil en long.....	30
A.	Raccordements convexes (angle saillant).....	30
a)	Condition de confort.....	31
b)	Condition de la visibilité	31
B.	Raccordements Concaves (Angle Rentrant).....	32
a)	Le confort dynamique.....	32
b)	La visibilité nocturne.....	32
c)	Condition esthétique.....	32
IV.	Profil en travers.....	33

1. Définition.....	33
2. Différent type de profils en travers.....	34
A. Profil en travers type.....	34
B. Profil en travers courants.....	34
3. Les éléments de composition des profils en travers.....	34
A. La chaussée.....	34
B. La largeur rouable.....	35
C. La plate-forme.....	35
D. Assiette.....	35
E. L'emprise.....	35
F. Les accotements.....	35
G. Le terre-plein central.....	35
H. Le fossé.....	35
I. Le talus.....	36
J. La largeur de la chaussée.....	36
K. Pente transversale.....	36
L. Point de rotation des dévers.....	36
4. Profil en travers de la RN28.....	37
Conclusion.....	37
V. Cubature.....	37
Introduction.....	37
1. Définition.....	38
2. Méthode de calcul des cubatures	38
3. Description de la méthode.....	38
4. Méthode classique.....	40
Conclusion.....	40

Chapitre 4 Etude de trafic

Introduction	41
I. Analyse trafic	42
II. Quantification des trafics	42
III. Différents types de trafics.....	42
1. Trafic normal	42
2. Trafic dévié	42
3. Trafic induit	42
4. Trafic total	42
IV. Modèles de présentation de trafic	43
1. Prolongation de l'évolution passée	43
2. Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques	43
3. Modèle gravitaire	43
4. Modèle de facteur de croissance	44

V.	Calcul de la capacité	44
1.	Procédure de détermination de nombre de voies	44
2.	Le trafic moyen journalier annuel TMJA (v/j).....	44
3.	Le trafic à un horizon donné	44
4.	Le trafic effectif (T_{eff})	45
5.	Débit de pointe horaire normal	45
6.	Débit horaire admissible	45
7.	Détermination de nombre de voie	46
VI.	Application au projet	47
1.	Les données de trafics	47
2.	Hypothèses de calcul	47
3.	Détermination de nombre des voies	47
A.	Calcul de trafic à l'année mise en service	47
B.	Calcul de trafic à l'année horizon	47
C.	Calcul de trafic effectif à l'année mise en service	47
D.	Calcul de trafic effectif à l'année horizon.....	48
E.	Calcul de débit de pointe horaire à l'année mise en service	48
F.	Calcul de débit de pointe horaire à l'année horizon	48
G.	Calcul le nombre de voies	48
H.	Calcul de l'année de saturation.....	48
	Conclusion	49

Chapitre 5 Dimensionnement corps de chaussée

	Introduction	50
I.	La chaussée	50
1.	La chaussée	51
A.	Au sens géométrique	51
B.	Au sens structurel	51
2.	Classification des chaussées	51
A.	Chaussée souple	51
a)	Couche de roulement (surface)	52
b)	Couche de base	52
c)	Couche de fondation	52
d)	Coche de forme	52
B.	Chaussée semi-rigide	53
C.	Chaussée rigide	53
3.	Les différents facteurs pour les études de dimensionnement	54
A.	Trafic.....	54
B.	Environnement.....	55
C.	Le sol support	55
D.	Matériaux.....	55
II.	Méthode de dimensionnement de corps de chaussée.....	55

1. Les méthodes théoriques.....	55
2. Les méthodes empiriques (classiques)	55
3. Les méthodes les plus utilisées en Algérie.....	56
A. Méthode CBR (Californien Bearing Ratio)	56
a) Détermination des épaisseurs des couches	56
b) Notion de l'épaisseur équivalente	57
B. Méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves.....	58
a) Détermination du type de réseau	59
b) Détermination de la classe de trafic	59
c) Détermination de la portance de sol support de chaussée.....	60
d) Plages probable de portance des sols	60
e) Portance de sols terrassés	60
f) Zones climatiques	60
g) Cas des sols sensible à l'eau	61
h) Sur classement des sols supports de chaussées	61
III. Application au projet.....	61
1. Méthode CBR.....	61
A. Calcul de l'épaisseur équivalente.....	62
B. Couche de roulement	62
a) Couche de base	62
b) Couche de fondation.....	62
2. Méthode de catalogue de dimensionnement des chaussées neuves	
«CTTP»	63
A. Détermination de type de réseau principal	63
B. Classe de la portance du sol	63
C. Classification des Roseaux principaux.....	63
D. Amélioration de la portance du sol support	63
3. Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol	
support (alizer III).....	64
A. La vérification : $\epsilon_t < \epsilon_{tadm}$ et $\epsilon_z < \epsilon_{zadm}$	
B. Application	
a) Principe du programme ALIZE.....	65
b) Application par logiciel	66
Conclusion.....	68

Chapitre 6 Etude géotechnique

Introduction.....	69
I. But de l'étude géotechnique.....	70
1. La séismicité de la région.....	70
2. Objectifs	
3. Les moyens de la reconnaissance	71

4.	Les différents essais en laboratoire	72
II.	Les essais d'identification.....	73
1.	Teneur en eau	73
2.	La masse volumique des sols fins.....	73
3.	La masse volumique des particules solides des sols.....	74
4.	Equivalent de sable.....	75
5.	Analyse granulométrique.....	76
C.	Mode opération	77
6.	Limites d'Atterberg.....	78
7.	L'essai s'effectue en 2 phases.....	79
8.	Essai au bleu de méthylène	79
C.	Principe de la méthode	80
III.	Les essais mécaniques.....	81
1.	Essai de Proctor	81
C.	Mode opératoire.....	82
2.	Essai de CBR	83
C.	Matériels utilisé.....	84
3.	La résistance au choc : essai LOS AGELES (NF P 18-573).....	84
C.	Mode opératoire.....	85
4.	La résistance à l'usure en présence d'eau : essai MICRO-DEVAL (NF P 18-572).....	86
IV.	Le bitume.....	87
1.	Formulation de mélange bitumineux	87
2.	Les essais sur les matériaux de corps de chaussée.....	87
3.	Grave bitume 0/20.....	88
A.	Choix de la formule granulaire	88
4.	Essai de performances mécanique.....	89
V.	Application à notre Projet	89
1.	Au Laboratoire	89
2.	Mise en rapport	89
3.	Classes de portance	91
	CONCLUSION.....	91

Chapitre 7 Assainissement

Introduction.....	92
I. Objectif de l'assainissement.....	92

II.	Assainissement de la chaussée	93
1.	Fossé de pied du talus de déblai.....	93
2.	Fossé de crête de déblai.....	93
3.	Fossé de pied de talus de remblai.....	93
4.	Drain.....	94
5.	Descentes d'eau.....	94
III.	Définitions des termes hydrauliques.....	94
1.	Bassin versant.....	94
2.	Collecteur principal (canalisation).....	94
3.	Chambre de visite (cheminée).....	94
4.	Sacs.....	95
5.	Fossés de crêtes.....	95
6.	Décente d'eau.....	95
7.	Les regards.....	95
IV.	Dimensionnement du réseau d'assainissement à projeter.....	95
1.	Introduction.....	95
2.	Aperçu hydrographique.....	96
3.	Détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants.....	96
4.	Détermination des débits de crue.....	97
1.	Choix de la période de retour.....	97
2.	Le coefficient de ruissellement.....	97
3.	Intensité moyenne de pluie.....	98
4.	Le débit capable des ouvrages hydrauliques.....	98
5.	Section utile (Su).....	99
6.	Résultats de calcul et dimensionnement.....	100
1.	Assainissement transversal.....	100
	• Dimensionnement des buses.....	101
2.	Assainissement longitudinal.....	101
Chapitre 8 Signalisation et éclairage et Glissières de sécurité		
I.	Signalisation.....	102
1.	Introduction.....	102
A.	L'objectif de la signalisation routière.....	102
B.	Catégories de signalisation.....	102
C.	Règles à respecter pour la signalisation.....	102
D.	Types de signalisation	102

a.	Signalisation Verticale.....	102
1)	Signalisation avancée	102
2)	Signalisation de position	102
3)	Signalisation de direction	102
4)	Signaux de danger.....	103
5)	Signaux comportant une prescription absolue.....	103
6)	Signaux à simple indication.....	103
b.	Signalisation Horizontale.....	103
1)	Lignes continue.....	103
2)	Lignes discontinue.....	103
c.	Marquage transversal.....	104
1)	Lignes transversales continues.....	104
2)	Lignes transversales discontinues.....	104
d.	Autre marquage.....	104
1)	Flèche de rabattement.....	105
2)	Flèches de sélection.....	105
2.	APPLICATION AU PROJET.....	105
II.	Eclairage.....	108
1.	Introduction.....	108
2.	Catégories d'éclairage.....	108
3.	Paramètres de l'implantation des luminaires.....	109
4.	APPLICATION AU PROJET.....	109
III.	Glissières de sécurité.....	109
1.	Définition.....	109
2.	La murette de protection en béton armé.....	110
3.	APPLICATION AU PROJET.....	110

Chapitre 9 Aménagement de carrefour et ponts

I.	Aménagement de carrefour.....	111
1.	DEFINITION.....	111
2.	PRINCIPES GENERAUX DE CONCEPTION.....	111
A.	Visibilité.....	111
B.	Vitesse.....	111
C.	Sécurité.....	111
D.	Simplicité.....	111
E.	Sélectivités.....	111
F.	Signalisation.....	112

3. DETERMINATION DES CARRACTERISTIQUES GEOMETRIQUESAU	
CARREFOUR.....	112
A. Triangle de visibilité.....	112
B. La vitesse d’approche.....	113
C. LES ILOTS.....	113
a. Ilots séparateurs.....	113
b. Ilots directionnels.....	114
D. TYPES DE CARREFOURS.....	114
a. Carrefours Dénivelés (Echangeurs).....	114
b. Carrefours Plans.....	114
1) Carrefours plans ordinaires.....	114
2) Carrefours à sens giratoire.....	115
4. SIGNALISATION DU CARREFOUR.....	116
A. La signalisation de priorité.....	116
B. Les panneaux de prescription.....	116
5. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DU CARREFOUR	
GIRATOIRE.....	117
A. Avantages.....	117
B. Inconvénients.....	117
6. Application au projet	117
II. Aménagement de ponts.....	119
1. Généralités sur les ponts	119
A. Ponts courants	119
B. Classification des ponts	120
a. Selon la fonction du pont	120
b. Selon les matériaux de construction	120
1) Pont en maçonnerie.....	120
2) Pont en béton armé.....	120
3) Pont en béton précontraint.....	120
4) Pont métallique.....	121
5) Pont mixte.....	121
c. Selon la nature des éléments porteurs	121
1) Pont à poutres.....	121
2) Pont dalle.....	121

3) Pont en arc.....	121
4) Pont en poutre-caisson.....	121
5) Pont à câbles.....	121
d. Selon la position en plan	122
1) Ponts droits.....	122
2) Ponts biais.....	122
3) Ponts courbes.....	122
3. Eléments constitutifs d'un pont	122
A. Tablier.....	122
B. Appuis.....	122
C. Fondation.....	122
4. Données nécessaires pour un projet de pont	123
A. Données fonctionnelles	123
a. Le tracé en plan	123
b. Le profil en long	123
B. Données naturelles	123
a. Données géotechniques	123
b. Données hydrauliques	123
5. Choix de Projet	124
A. PRÉDIMENSIONNEMENT DES VARIANTES	124
B. Pont à poutres en béton précontraint par post-tension (variante N°1).....	125
a. Avantages.....	125
b. Inconvénients.....	125
c. Conception de l'ouvrage	125
C. Pont dalle en béton armé (variante N°2)	126
a. Avantages.....	126
b. Inconvénients.....	126
c. Conception de l'ouvrage	126
D. Variante N°3 : Pont mixte	126
a. Description de l'ouvrage.....	126
b. Caractéristiques géométriques.....	126
6. CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE (ANALYSE MULTICRITÈRES).....	127
7. Equipements du pont	127
8. Application au Projet.....	127

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la wilaya de Batna.....	3
Figure 2 : localisation de projet.....	3
Figure 3: Début De Projet Belaiba Pk 92+000.....	4
Figure 4: Fin De Projet El Djezzer Pk 99+000.....	4
Figure 5 : profil en long.....	9
Figure 6 : tracé en plan.....	10
Figure 7 .Exemple sur levé topographique.....	16
Figure 8 les éléments de tracé en plan	17
Figure 9 : stabilité en courbe.....	19
Figure 10 : l'élément de Clothoïde.....	23
Figure 11 Courbe en S.....	25
Figure 12 Courbe à sommet.....	25
Figure 13 Courbe en C.....	26
Figure 14 CourbeenOve.....	26
Figure 15 : Exemple sur profil en long.....	33
Figure 16 : leséléments de profil en travers.....	34
Figure 17 profil en long cas mixte avec profil fictif.....	39
Figure 18 .Exemple sur Profil en travers profil n°02.....	40
Figure 19 : les différentes couches de la chaussée.....	53
Figure 20 : types de chaussées.....	54
Figure 21 : la démarche de catalogue.....	58
Figure 22 : Classes TPLi.....	60
Figure 23 : Vérification avec alizé.....	66
Figure 24 : Vérification avec alizé.....	67
Figure 25 : différente couche de corps de chaussée.....	69
Figure 26: Méthode de l'éprouvette.....	75
Figure 27 : Les phases de l'essai d'équivalente de sable.....	76
Figure 28: les phases de l'essai analyse granulométrique.....	77

Figure 29 :Appareillage de mesure de VBS.....	79
Figure 30: les phases de l'essai Proctor.....	82
Figure 31 : les phases de l'essai CBR.....	84
Figure 32: les phases de l'essai de LOS ANGELOS.....	85
Figure 33: les phases de l'essai MICRO-DEVAL.....	87
Figure 37-A: Schéma de la zone du cours d'eau inondé pour le projet.....	96
Figure 37-B : La localisation du projet dans la topographie du cours d'eau.....	96
Figure 38 : Schéma d'un buse.....	101
Figure 39 : Schéma d'un fossé.....	101
Figure 40 : Signalisation Verticale.....	103
Figure 41 : les lignes « continue et discontinue ».....	104
Figure 42 : Flèches « rabattement et sélection ».....	105
Figure 43 : schéma de signalisation stop sur chaussée.....	107
Figure 44 : Les lignes de délimitation.....	108
Figure 45 : Paramètres de l'implantation des luminaires.....	109
Figure 46: Triangle de visibilité.....	113
Figure 47: Carrefours en (T).....	114
Figure 48: Carrefours en (Y).....	115
Figure 49: Carrefour en croix (x).....	115
Figure 50: Carrefours à sens giratoire.....	116
Figure 51 : Terminologie d'un carrefour giratoire.....	117
Figure 52 : giratoire à trois branches (l'intersection de RN28 et CW 12 notre projet).....	118
Figure 53 : giratoire à trois branches (l'intersection de RN28 et CW 35 notre projet).....	118
Figure 53. Pont-avion à l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle.....	120
Figure 54 Pont canal.....	120
Figure 55 Pont à poutres à travées indépendantes en béton armé.....	121
Figure 56. Pont à poutres à travées indépendantes en béton précontraint.....	121
Figure 57: joint de chaussée FT150-Freyssine.....	128
Figure 58: Appareil d'appui en élastomère fretté.....	128
Figure 59: Garde corps.....	128

Figure 60: Une glissière de sécurité.....	128
Figure 61 : Une illustration d'un site de pont.....	130
Figure 62 : LES JOINTS DE CHAUSSÉE.....	130
Figure 63 : Exemple sur profil en long de pont.....	131
Figure 64 : Coupe longitudinale du pont.....	131
Figure 65 : Vue latérale du pont du projet.....	132
Figure 66 : Image du début du pont du projet.....	132

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : différentes types de topographie.....	9
Tableau 2 : différentes types de sinuosité.....	10
Tableau 3 : types d'environnement (norme B40).....	10
Tableau 4: valeurs des vitesses de base selon B40.....	11
Tableau 5 : hauteur de l'œil et des obstacles.....	12
Tableau 6: temps de perception-réaction.....	12
Tableau 7 :Les valeurs des paramètres de base calculés et selon B40.....	15
Tableau 08: les rayons de tracé en plan.....	21
Tableau 09 Déclivité maximale Selon le B40.....	30
Tableau 10 les rayons de profil en long.....	33
Tableau 11 : les valeurs des différentes courbes calculés et selon le B40.....	37
Tableau 12 : coefficient d'équivalence (pl/uvp).....	45
Tableau 13 : valeurs de K_1 selon la classe de l'environnement.....	46
Tableau 14 : valeurs de K_2 selon l'environnement et la catégorie de la route.....	46
Tableau 15 : valeur de capacité théorique C_{th}	46
Tableau 16 : les résultats du comptage de trafic en 2017.....	47
Tableau 17 : récapitulatif les résultats de notre projet.....	49
Tableau.18: les valeurs du coefficient d'équivalence suivant le matériau utilisé.....	57
Tableau 19 : classe de portance des sols.....	60
Tableau 20:classification climatique.....	60
Tableau 21 : classe de sols support selon le module E.....	61
Tableau 22 : classification des réseaux principaux.....	63
Tableau 23 La structure étudié par la méthode de dimensionnement des chaussées neuves.....	64
Tableau 24 : Résultats.....	64
Tableau 25 : Valeur du coefficient d'agressivité A (fascicule N° 2).....	65
Tableau 26 : vérification Alizé.....	66
Tableau 27 : vérification Alizé.....	67

Tableau 28 : La structure finale par la méthode de dimensionnement des chaussée neuves...	68
Tableau 29 : Les puits d'exploration.....	72
Tableau 30 : coupes lithologiques.....	72
Tableau 31 La nature et la qualité du sable.....	76
Tableau 32 Classification des sols selon la valeur de VBS.....	81
Tableau 33. Les caractéristiques de la dame (PN, PM).....	82
Tableau 34 Les caractéristiques de deus essai (Proctor normal, Proctor modifie)....	83
Tableau 35 : Détermination du nombre de boules, de la masse de la charge et du nombre de rotation en fonction de la classe granulaire.....	85
Tableau 36 Détermination de type de granulat en fonction du coefficient de los angles.....	86
Tableau 37 : la formule granulaire de grave bitume 0/20	88
Tableau 38 : Formule de module de richesse K	89
Tableau 39 : Les essais de laboratoire.....	90
Tableau 40 : Résultats des essais physiques.....	90
Tableau 41 : Résultat des essais Teneur en eau naturelle	91
Tableau 42 données pluviométriques de la station d'Eldjazzar.....	98
Tableau 43 : Les valeurs des coefficients de rugosité (K)	99
Tableau 44 : Résultats de calcul Assainissement transversal.....	100
Tableau 45 : Résultats de calcul et dimensionnement des buses.....	100
Tableau 46 : Résultats de calcul et dimensionnement des faussée.....	101
Tableau 47 : modulations des lignes discontinues.....	104
Tableau 48 : La vitesse d'approche.....	113
Tableau 49 : Analyse multicritères.....	127

Introduction general:

Le réseau routier joue un rôle essentiel dans le développement d'un pays car il représente une base sur laquelle se fonde plusieurs secteurs tels que le transport des biens et des personnes ; donc il est le moyen vital de l'économie et du développement social d'un pays. Ainsi la croissance socio-économique impose au secteur des travaux publics l'extension de réseau routier

Le réseau routier de l'Algérie est l'un des plus important du Maghreb et d'Afrique d'une longueur de plus de 108302 km. répartie sur des routes nationale et des chemins de wilayas et des routes secondaires .l'Algérie a développé ce réseau grâce au programme de modernisation des transports routiers et ferroviaires qui prévoit le réalisation de l'Autoroute est-ouest de 1216km , l'Autoroute des hauts plateaux de 1330 km et la réalisation de 1900 km de routes ; ainsi que la finition de la route transsaharienne (nord-sud) .ce réseau atteint au total 112969 km à l'année 2014.

Au moment actuel l'Etat Algérien se confronte aux problèmes d'insuffisance dans le domaine de transport routier ; elle a adopté une stratégie pour décongestionner et fluidifier le trafic routier, l'Algérie verra la réalisation de près de 10000km de nouvelle liaisons routières à travers le territoire nationale donc plusieurs projets d'infrastructures routières sont en cours de réalisation dont y figure celui de la commune des Eucalyptus de la wilaya d'Alger

D'où l'importance de mon étude, qui consiste à faire la conception du dédoublement d'un tronçon routier de la route nationale 28 sur 7 km qui se situe dans la Wilaya de Batna.

La route nationale 28 a une importance stratégique, car elle constitue une liaison entre les régions hodna et haut plateau et Aurès (Batna-Msila), c'est une route passant par des zones pastorales.

Le projet est pour les buts suivants :

- Créer une liaison entre l'est et l'ouest du pays aux wilayas des haut plateaux.
- Réduire les accidents routiers.
- Faciliter l'écoulement du trafic routier.
- L'embellissement des agglomérations traversées.
- Permettre la circulation en toute saison, dans des conditions suffisantes et aussi durables que possible de confort et de sécurité.

En effet, la qualité d'un projet dépendra toujours en première ligne de la compétence et de l'expérience de l'ingénieur pour l'exécution de cette étude de réalisation de ce projet.

Pour atteindre ces objectifs, j'ai choisi de diviser cette mémoire en neuf chapitres selon le plan de travail indiqué au-dessus.

Chapitre 1

Présentation de projet

Introduction :

La route nationale RN28 présente un axe très important car elle relie les régions hodna, les hauts plateaux et Aurès (Batna-Msila), qui contient des grands centres économiques et des centres d'industrie lourde donc il présente un grand trafic qui soulève plusieurs problèmes. Pour cela, la direction des travaux publics de Batna a chargé des entreprises de travaux publics de Batna de réaliser le dédoublement de RN28 entre le daïra de Barika et Belaïba sur un linéaire total de 19.4Km

Ce présent mémoire a pour objet l'étude du dédoublement de la RN28 entre le PK 92+000 et le PK 99+000 sur un linéaire de 7 km.

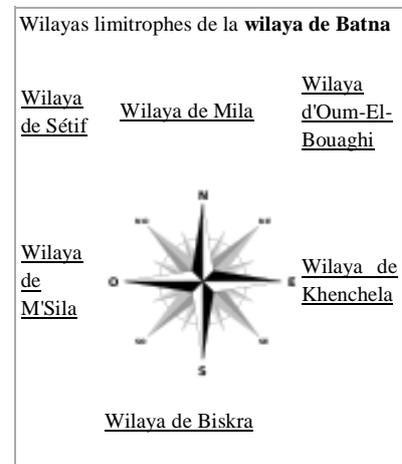
I. Localisation de la zone d'étude :

La wilaya de Batna se situe au nord-est d'Algérie, dans la région des Aurès, elle est située entre les longitudes 4°-7° et les latitudes 35°-7°.

Ayant une superficie de 12038.76km², est limité par :

- Au nord par : les wilayas de : Oum el bouaghi, Milla et Setif.
- A l'est par : la wilaya de Khenchela.
- Au sud par : la wilaya de Biskra.
- A l'ouest par : la wilaya de M'sila.

Le réseau routier de wilaya de Batna est passé de 495 km à l'indépendance à 3,500 km en 2012 dont 850 km de routes nationales.



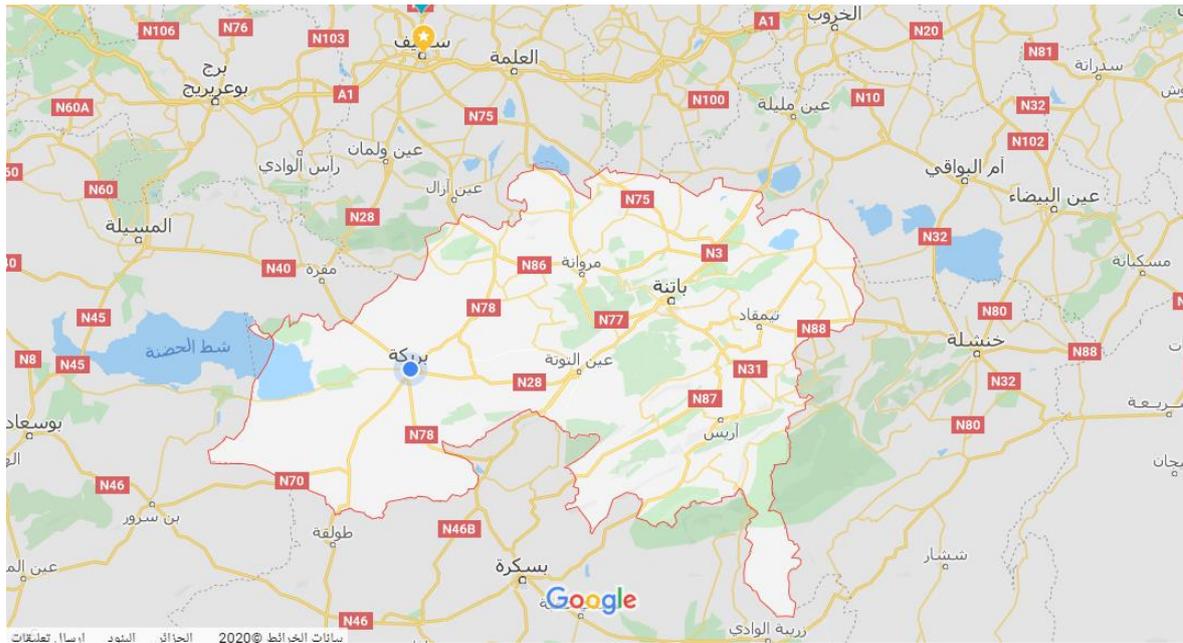


Figure 1 : Localisation de la wilaya de Batna

II. Présentation de projet :

Le projet objet de la présente étude est la route nationale 28 entre la limite de la ville de Belaiba (PK 92+000) et la ville Barika (PK 109+000).

Pour notre projet le tronçon de route objet de la présente étude sur un linéaire de 7 km entre le PK 92+000 (Belaiba) et le PK 99+000 (El Djezzar).



Figure 2 : localisation de projet

III. Objectif de l'étude :

Le projet consiste à transformer une route bidirectionnelle en route à deux chaussées unidirectionnelles (réaliser dédoublement) dans le but de :

- Faciliter l'écoulement du trafic routier
- Réduire les accidents routiers
- Assurer le confort de l'utilisateur
- L'embellissement des agglomérations traversées.



Figure 3: Début De Projet Belaiba Pk 92+000



Figure 4: Fin De Projet El Djezzer Pk 99+000

Conclusion :

Ce projet de dédoublement étant nécessaire, compte tenu de :

- L'importance de la route existante qui doit supporter l'intensité du trafic actuel.
- Les différentes activités économiques, commerciales et sociales de la région et la demande croissante en matière de transport de marchandises qui traverse cet axe.

Chapitre 2

Paramètre de base

Introduction :

Tout itinéraire peut être décomposé en tronçons se développant dans l'une des trois classes d'environnement E1 ; E2 et E3. Il est alors possible d'affecter à chacun de ces tronçons le niveau de service objectif correspondant au croisement de la catégorie socio-économique de l'itinéraire et de la classe d'environnement.

La connaissance de ce niveau de service objectif permet de fixer les valeurs seuils. La détermination des caractéristiques géométriques minimales admissibles, pour satisfaire à ces critères, nécessite le choix préalable des paramètres physiques (temps de réaction, visibilité ...) et économiques dont dépendent ces caractéristiques.

I. Niveau de service :

La route est caractérisée par des conditions minimales d'aménagement qui se traduisent par la définition d'un niveau de service.

Le niveau de service N_{ij} d'une route de catégorie C_i se développe dans un environnement E_j , est caractérisé par le respect de seuils relatifs aux critères suivants :

- Vitesse de circulation.
- Coût d'exploitation des véhicules.
- Confort et sécurité.
- Gabarit.
- Permanence de liaison.
- Incidence sur les régions traversées.

Les deux derniers critères ne sont appréciés que de façon qualitative .les autres sont rattachés à des paramètres fondamentaux tels que :

- Vitesse de base pour les véhicules légers.
- Vitesse de base pour les poids lourds.
- Vitesse à vide.
- Débit de pointe.
- Largeur des éléments du profil en travers.
- Devers maximal et minimal.
- Coefficients liés à géométries ou à la dynamique des véhicules et au comportement de l'usager.

II. Classification de la route :

La subdivision des routes en différentes classes indispensable pour l'étude des projets et pour les besoins de l'administration qui a la charge de la gestion et l'exploitation du réseau routier.

- Classification selon l'utilité publique.
- Classification administrative et juridique.
- Classification fonctionnelle.

Selon les normes B40, l'ensemble des itinéraires de l'Algérie peut être classé en cinq catégories fonctionnelles, correspondant aux finalités économiques et administratives assignées par la politique d'aménagement du territoire.

Les caractéristiques principales relatives à chacun des 5 types de routes sont les suivantes :

- Catégorie1 : liaisons entre les grands centres économiques, les centres d'industrie lourde. Liaison assurant le rabattement des centres d'industrie de transformation sur ce réseau.
 - Catégorie2 : liaisons entre les centres d'industrie de transformation. Liaisons assurant le rabattement des pôles d'industrie légères diversifiées sur le réseau précédent.
 - Catégorie3 : liaison des chefs-lieux de daïra et de wilaya non desservis par le réseau précédent, avec le réseau des catégories 1et 2.
 - Catégorie4 : liaisons des centres de vie avec le réseau des catégories 1et 3.
 - Catégorie5 : routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes.
- Pour notre projet la catégorie est C1 : route nationale 28«tronçons Barika Belaiba» liaison entre grands centres économiques et des centres d'industrie lourde.

III. Environnement de la route :

L'environnement de la route définit l'état actuel de la route est caractérisé par deux (02) indicateur :

- La dénivelée cumulée moyenne.
- La sinuosité.

1. La dénivelée cumulée moyenne (Km) :

Permettant de mesurer la variation longitudinale du relief, avec :

$$DCM = \frac{h}{L}$$

$L = \sum l_i$: longueur total

$h = \sum h_i = \sum_{i>0} P_i \cdot l_i - \sum_{i<0} P_i \cdot l_i$: dénivelée total

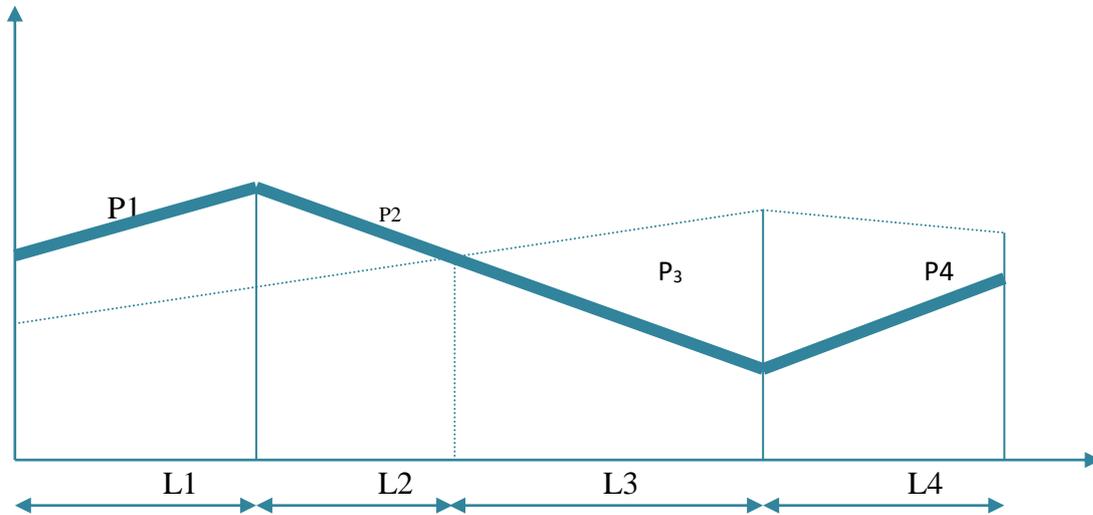


Figure 5 : profil en long

Les valeurs seuils suivantes permettent de caractériser trois types de topographie :

Classification	Dénivelée moyenne
Terrain plat	$DCM \leq 1.5\%$
Terrain vallonné	$1.5\% < DCM \leq 4\%$
Terrain montagneux	$DCM > 4\%$

Tableau 1 : différentes types de topographie

➤ Pour notre projet :

On a :

$$DCM = \frac{h}{L} = \frac{5306.644}{6800} = 0.78\% \leq 1.5\%$$

Donc le terrain est plat.

2. La sinuosité moyenne σ :

Est égale au rapport de la longueur sinueuse l_s sur la longueur total de l'itinéraire. La longueur sinueuse l_s est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égal à 200 m.

$$\sigma = \frac{l_s}{L_{AB}}$$

$$l_s = \sum l_{r < 200m} \quad : \text{Longueur sinueuse}$$

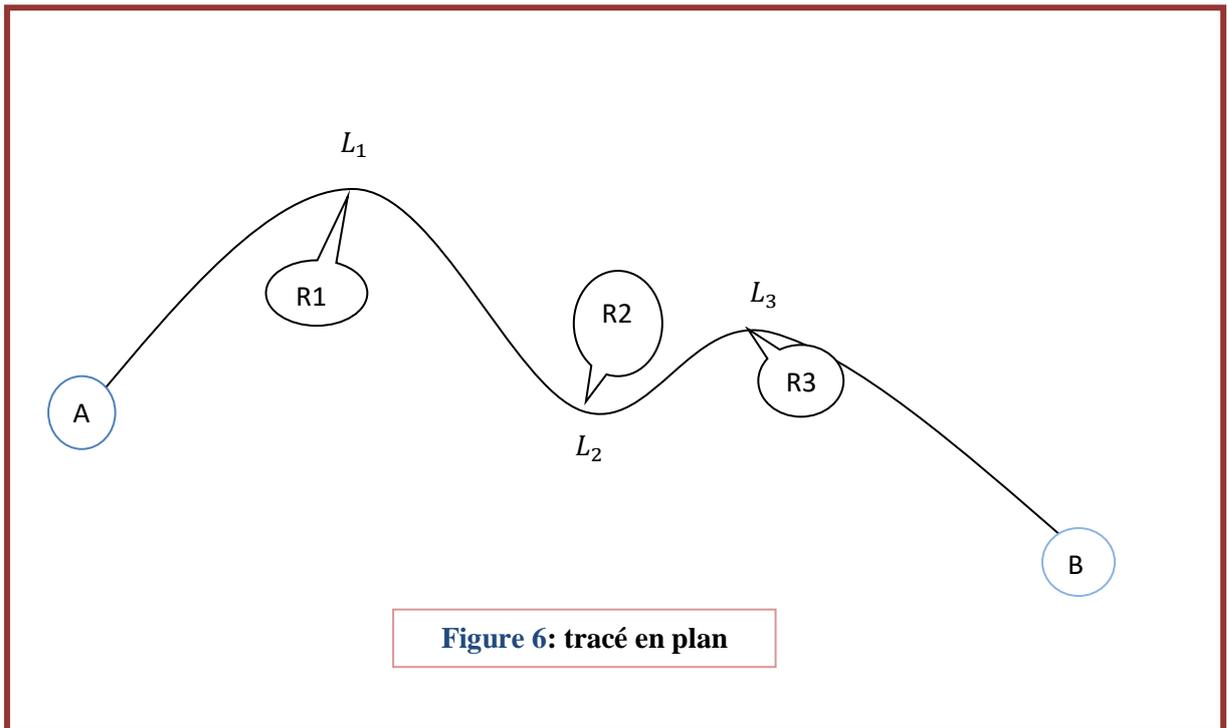


Figure 6: tracé en plan

Les valeurs seuils permettent de caractériser trois types de sinuosité :

Classification	Sinuosité moyenne
Sinuosité faible	$\sigma \leq 0.1$
Sinuosité moyenne	$0.1 < \sigma \leq 0.3$
Sinuosité forte	$\sigma > 0.3$

Tableau 2 : différents types de sinuosité

➤ Pour notre projet :

On a : $\sigma = \frac{l_s}{L_{AB}}$

$\sigma = 0$ Tout les courbes sont rayon supérieure de 200 m, donc la sinuosité est faible.

Trois types d'environnement sont caractérisés par le croisement des deux indicateurs précédent :

Sinuosité \ Relief	Faible	Moyenne	Forte
Plat	E1	E2	
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux		E3	E3

Tableau 3 : types d'environnement (norme B40)

➤ On déduit que nous sommes dans un environnement E1.

IV. Vitesse de base (vitesse de référence) :

La vitesse de référence (V_r) est une vitesse prise pour établir un projet de route, elle est le critère principale pour la détermination des valeurs extrêmes des caractéristiques géométrique et autre intervenants dans l'élaboration du tracé d'une route.

Pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes, un changement de celle-ci ne doit être admis qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible à l'utilisateur (traverse d'une ville, modification du relief...Etc.).

Le choix de vitesse de référence dépend de :

- Catégorie de la route.
- Environnement de la route.
- Importance et genre de trafic.
- Condition économique d'exécution d'exploitation.

Nous proposons d'adopter les valeurs données dans le tableau :

	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
Environnement facile	120/100/80	120/100/80	120/100/80	100/80/60	80/60/40
Environnement moyen	100/80/60	100/80/60	100/80/60	80/60	80/60
Environnement difficile	80/60/40	80/60/40	80/60/40	60/40	40

Tableau 4: valeurs des vitesses de base selon B40

➤ Remarque :

D'après les calculs nous sommes dans l'environnement E1 et catégorie C1, et selon le B40 on trouve la vitesse de référence :

$$V_R = 100Km/h$$

V. Paramètres cinématiques

1) Hauteur de l'œil et des obstacles :

Les hauteurs de l'œil et des obstacles sont des paramètres intervenant dans le calcul des distances de visibilité en point haut et bas. Elles définissent l'origine et l'extrémité du rayon visuel dans le plan vertical.

La hauteur de l'œil h_0 du conducteur au-dessus de la chaussée est prise égale à 1.10m.

Pour la détermination de la distance de visibilité d'arrêt, on prend en compte la hauteur d'un obstacle h_1 situé sur la chaussée.

Par contre pour la distance de visibilité de dépassement, on prend la hauteur d'un véhicule en sens inverse h_2

Le tableau résume les valeurs adoptées selon le B40 :

hauteur catégorie	Hauteur de l'œil (h_0)	Hauteur de l'obstacle (h_1)	Hauteur de l'obstacle (h_2)
Catégorie 1-2	1.10m	0.15m	1.20m
Catégorie 1-2-3	1.10m	0.20m	1.20m

Tableau 5 : hauteur de l'œil et des obstacles

➤ Pour notre cas :

$$h_0=1.10\text{m} \quad ; \quad h_1=0.15\text{m} \quad ; \quad h_2=1.20\text{m} \quad ;$$

2) Temps de perception-réaction :

Le temps de perception-réaction est le temps nécessaire au conducteur pour prendre en toute situation les mesures nécessaires à sa sécurité. Les temps de perception-réaction interviennent pour :

- Le freinage.
- Le dépassement.
- L'observation.

Le tableau résume les valeurs du temps de perception-réaction par rapport à la catégorie et l'environnement :

	E1	E2	E3
Catégorie 1-2	t=1.8s pour V>80Km/h t=2.0s pour V≤80Km/h	t=1.8s pour V>80Km/h t=2.0s pour V≤80Km/h	t=1.8s quelle que soit V
Catégorie 3-4-5	t=1.8s pour V>60Km/h t=2.0s pour V≤60Km/h		

Tableau 6: temps de perception-réaction

➤ Pour notre projet le temps de perception-réaction :

$$t_1=1.8 \text{ pour } V>80\text{Km/h}$$

3) Le coefficient de frottement longitudinal f_l :

Variable avec la vitesse, sert à définir les valeurs minimales de la distance de freinage et par conséquent les paramètres des projets qui sont liées (distance de visibilité, rayon minimal en point haut de profil en long et le dégagement latérale).

➤ Pour notre projet $f_l=0.36$, fonction de la vitesse référence et la catégorie.

4) Le coefficient de frottement transversal f_t :

Variable avec la vitesse et utilisé pour déterminer le rayon en tracé en plan associé à un divers donnée ou inversement.

➤ Dans notre cas ($V_R=100\text{Km/h}$, catégorie C1) on a $f_t=0.11$.

5) Distance de freinage d_0 :

Est la longueur parcourue par le véhicule pendant l'action de freinage pour annuler la vitesse.

a) Route palier :

$$d_0 = \frac{V_R^2}{260f_l} = \frac{100^2}{260 \times 0.36} = 106.83\text{m}$$

b) Route en déclivité :

$$d_0 = \frac{V_R^2}{260(f_l \pm i)}$$

On rampe :

$$d_0 = \frac{100^2}{260 \times (0.36 + 0.05)} = 93.80\text{m}$$

On pente :

$$d_0 = \frac{100^2}{260 \times (0.36 - 0.05)} = 124.06\text{ m}$$

6) La distance d'arrêt d_1 :

C'est la distance minimale parcourue par un véhicule entre le moment où l'obstacle devient visible et celui où le véhicule s'arrête.

a) On alignement :

$$d_1 = d_0 + \frac{V_R}{3.6} t_1 = 106.83 + \frac{100}{3.6} \times 1.8 = 156.83\text{m}$$

b) On déclivité :

$$d_1 = \frac{V_R^2}{260(f_l \pm i)} + \frac{V_R}{3.6} t_1$$

On rampe :

$$d_1 = 93.80 + 50 = 143.8\text{m}$$

On pente :

$$d_1 = 124.06 + 50 = 174.06\text{m}$$

7) La distance d'arrêt en courbe d_2 :

Pour le calcul de la distance d'arrêt en courbe ont majeur de 25% de d_0 (en doit freiné moins énergiquement quand en alignement) donc :

$$d_2 = d_1 + 0.25d_0 \quad \text{Si} \quad R \leq 5.V$$

$$d_2 = d_1 \quad \text{Si} \quad R > 5.V$$

$$R=600 \geq 5 \times 100=500$$

Donc :

$$d_2 = d_1 = 156.83\text{m}$$

Conclusion

- ✓ Pour une route de catégorie C1, environnement E1, les paramètres cinématiques sont résumés dans le tableau suivant :

Paramètre	symbole	Valeurs(B40)	Valeurs calculés
Vitesse de base(Km/h)	V_R	100	100
Temps de perception-réaction(s)	t_1	1.8	1.8
Coefficient de frottement longitudinal	f_l	0.36	0.36
Coefficient de frottement transversal	f_t	0.11	0.11
Distance de freinage(m)	d_0	111	106.83
Distance de freinage on rampe(m)	d_0		93.80
Distance de freinage on pente(m)	d_0		124.06
Distance d'arrêt(m)	d_1	161	156.83
Distance d'arrêt on rampe (m)	d_1		143.8
Distance d'arrêt on pente (m)	d_1		174.06
La distance d'arrêt en courbe d_2 (m)	d_2		156.83

Tableau 7 :Les valeurs des paramètres de base calculés et selon B40

Chapitre 3

Etude géométrique

Introduction :

L'élaboration de tout projet routier commence par la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration de terrain.

Le tracé en plan est la représentation sur un plan horizontal de l'axe de la route, il est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes ; il est caractérisé par la vitesse de référence appelé ainsi vitesse de base qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires a tout aménagement routier.

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes entre elles d'autre part ; elle se fait à l'aide de clothoïdes qui assurent un raccordement progressif par nécessiter de sécurité et de confort des usagers de la route.

I. Levé topographique :

1. Définitions :

- Projection de la route sur le plan horizontal
- Le plan topographique sert de support au tracé (échelle : 1/500ème à 1/100ème)
- On représente l'axe de la route
- On reporte la position des profils en travers.



Figure 7 .Exemple sur levé topographique.

II. Tracé en plan :

1. Définition :

Le tracé en plan d'une route est obtenu par projection de tous les points de cette route sur un plan horizontal, Il est constitué en général par une succession des alignements droits et des arcs reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

Ce tracé 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.

2. Règle à respecter dans le tracé en plan :

- Appliquer les normes du B40 si possible.
- Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles.
- Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum de constructions des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, si on n'a pas le choix on essaie de les franchir perpendiculairement.
- Adapter au maximum le terrain naturel.
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau.
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.
- Se raccorder sur les réseaux existants.
- S'inscrire dans le couloir choisi.
- Eviter les sites qui sont sujets a des problèmes géologiques.
- Il est recommandé que les alignements représentent 60% au plus de la longueur totale du trajet.
- En présence des lignes électriques aérienne prévoir une hauteur minimale de 10m.

3. Les éléments du tracé en plan :

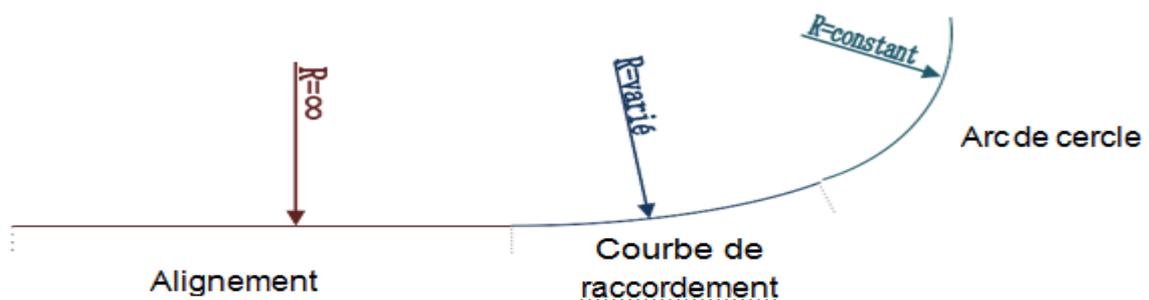


Figure 8 les éléments de tracé en plan

Le tracé en plan est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes, il est caractérisé par la vitesse de référence appelée ainsi vitesse de base qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

Le raccordement entre les alignements droits et les courbes entre elles d'autre part, elle se fait à l'aide des Clothoïdes qui assurent un raccordement progressif par nécessité de sécurité et de confort des usagers de la route.

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments:

- Des droites (alignements).
- Des arcs de cercle.
- Des courbes de raccordement progressives.

A. Les Alignements:

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

La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

- De nuit, éblouissement prolongé des phares.
- Monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents.
- Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés.
- Mauvaise adaptation de la route au paysage.

Il existe toutefois des cas où l'emploi d'alignement se justifie:

- En plaine où, des sinuosités ne seraient absolument pas motivées.
- Dans des vallées étroites.
- Pour donner la possibilité de dépassement.

Donc la longueur des alignements dépend de:

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

Règles concernant la longueur des alignements :

Une longueur minimale d'alignement 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.

$$L_{min} = 5 \times \frac{V_R}{3.6} = 5 \times \frac{100}{3.6} = 138.88 \text{ m}$$

V_R : vitesse de base en Km/h

Une longueur maximale est prise égale à la distance parcourue pendant soixante (60) secondes

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_R}{3.6} = 60 \times \frac{100}{3.6} = 1666.67 \text{ m}$$

B. Arcs De 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.

a. Stabilité En Courbe :

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

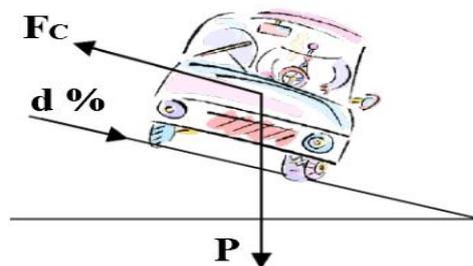


Figure 9 : stabilité en courbe

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

$$R \geq \frac{V_R^2}{g(f_t + d)}$$

Avec :

- V_R : vitesse de référence (m/s).
- g : gravitation (m/s²).
- f_t : coefficient de frottement transversal.
- d : dévers.

b . Rayon minimal absolu (RHm) :

C'est le rayon qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal.

Ce rayon est employé généralement dans les conditions les plus difficiles (régions montagneuses)

$$RHm = \frac{V_R^2}{127(f_t + d_{max})}$$

- f_t : coefficient de frottement transversal.

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

c . Rayon minimal normal (RHn) :

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

$$RHn = \frac{(V_R + 20)^2}{127(f_t + d_{max\ ass})}$$

d . Rayon au dévers minimal (RHd) :

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et telle que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_R serait équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Dévers associé :

$d_{min} = 2.5\%$ en catégorie **1 – 2**.

$d_{min} = 3\%$ en catégorie **3 – 4**

$$RHd = \frac{V_R^2}{127(2 + d_{min})}$$

e . Rayon minimal non déversé (RHnd):

C'est le rayon non déversé telle que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_R une courbe de devers égal à d_{min} vers l'extérieur reste inférieure à valeur limitée.

$$RHnd = \frac{V_R^2}{127 \times 0.035}$$

- Pour notre projet (dédoublage de la RN 28) situé dans un environnement E1, et classé en catégorie C1 avec une vitesse de référence de 100 Km/h, donc à partir du règlement B40 on peut avoir le tableau suivant:

Parameters	symbols	valeurs
Vitesse (km/h)	V_R	100
Rayon horizontal minimal (m)	RHm (7%)	437.4
Rayon horizontal normal (m)	RHn (5%)	708.66
Rayon horizontal déversé (m)	RHd (2.5%)	1574.8
Rayon horizontal non déversé (m)	RHnd (-2.5%)	2249.71

Tableau 08: les rayons de tracé en plan

f . Sur largeur:

Un long véhicule à deux (2) essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit.

Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une sur largeur par rapport à sa largeur normale en alignement.

$$S = \frac{L^2}{2R}$$

- L: longueur du véhicule (valeur moyenne $L = 10$ m)
- R: rayon de l'axe de la route.

C. Les courbes de raccordement :

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.

a. Rôle et nécessité des courbes de raccordement :

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

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

b. Types de courbe de raccordement :

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

- Parabole cubique
- Lemniscate
- Clothoïde

b-1 .Parabole cubique :

Cette courbe est d'un emploi très limité vu le maximum de sa courbure vite atteint (utilisée dans les tracés de chemin de fer).

b-2 . Lemniscate :

Cette courbe utilisée pour certains problèmes de tracés de routes « trèfle d'autoroute » sa courbure est proportionnelle à la longueur de rayon vecteur mesuré à partir du point d'inflexion.

b-3 . Clothoïde :

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

✓ Expression mathématique de la Clothoïde:

Courbure K linéairement proportionnelle à la longueur curviligne

$$K=C.L \text{ avec } K=\frac{1}{R} \rightarrow L.R=\frac{1}{C} \rightarrow \frac{1}{R}=C.L$$

$$\text{On pose : } \frac{1}{C}=A^2 \rightarrow L.R=A^2$$

✓ Eléments de la Clothoïde :

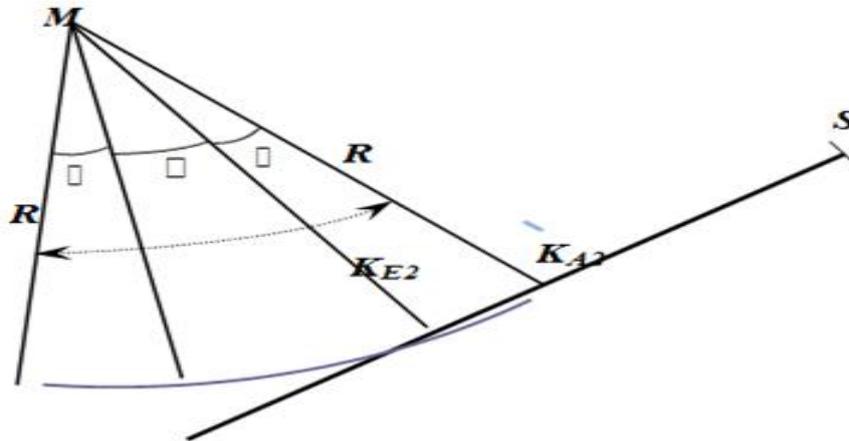


Figure 10 : l'élément de Clothoïde

- A : Paramètre de la clothoïde
- M : Centre de cercle
- R : Rayon de cercle
- KA : Origine de la clothoïde
- KE : Extrémité de la clothoïde
- L : longueur de la branche de la clothoïde
- ΔR : Mesure de décalage entre l'élément droit et 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
- S_L : Corde ($K_A - K_E$)
- σ : Angle polaire (angle de corde avec la tangente)

4. Les conditions de raccordement :

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes:

A. Condition de confort optique :

Cette condition permet d'assurer à l'utilisateur une vue satisfaisante de la route et de ses obstacles éventuels.

L'orientation de la tangente doit être supérieure à 3° pour être perceptible à l'œil.

$$\tau \geq 3^\circ \text{ soit } \tau \geq 1/18 \text{ rads}$$

$$\tau = L/2R > 1/18 \text{ rads} \rightarrow L > R/9 \text{ soit } A > R/3$$

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

Règle générale (B40) :

$$R \leq 1500m \Delta R = 1m (\text{éventuellement } 0.5m)$$

$$L_{r1} = \sqrt{24R\Delta R}$$

$$1500 < R \leq 5000m$$

$$L_{r1} = R/9$$

$$-R > 5000m \Delta R = 2.5m$$

$$L_{r1} = 7,25\sqrt{R}$$

B. Condition de confort dynamique :

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours Δt du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

Avec :

$$L_r = \frac{V_r^2}{18} \left[\frac{V_r^2}{127 \times R} - \Delta R \right]$$

- V_r : vitesse de référence (km/h).
- R : rayon en (m).
- Δd : variation de divers.

C. Condition de gauchissement :

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation de dévers, elle s'applique par rapport à son axe.

$$L_r \geq (l \cdot \Delta d \cdot v_r) / 50$$

- L_r : longueur de raccordement.

- L : distance axe de rotation –bord de chaussée.
- Δd : variation de dévers en %.
- V_r : vitesse de référence (km/h).

N.B:

La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique, peut se faire à l'aide d'une seule condition qui sert à limiter pendant le temps de parcours du raccordement, la variation par unité de temps, du dévers de la demie -chaussée extérieure au virage.

Cette variation est limitée à 2%.

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

5. Combinaison des éléments du tracé en plan:

La combinaison des éléments du tracé en plan donne plusieurs types de courbes, on cite:

A. Courbe en S:

Une courbe constituée de deux arcs de Clothoïde, de concavité opposée tangente en leur point de courbure nulle et raccordant deux arcs de cercle.

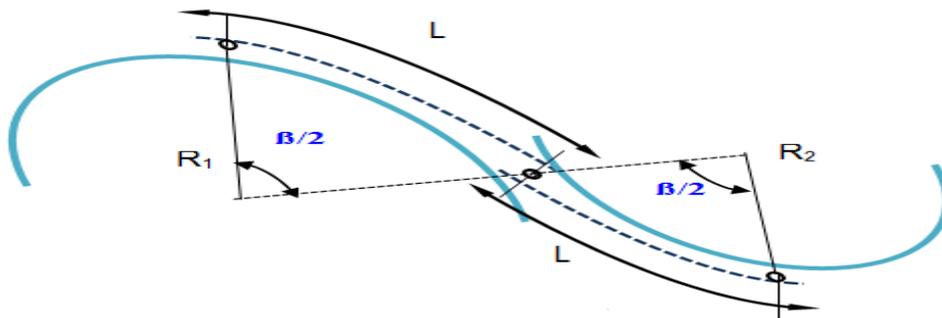


Figure 11 Courbe en S

B. Courbe à sommet :

Une courbe constituée de deux arcs de Clothoïde, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux alignements.

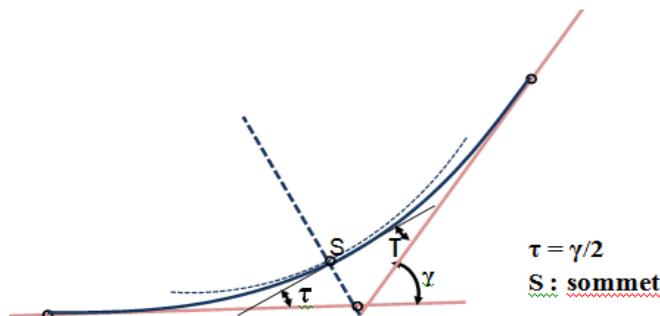


Figure 12 Courbe à sommet

C. Courbe en C:

Une courbe constituée de deux arcs de Clothoïde, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux arcs de cercles sécants ou extérieurs l'un à l'autre.

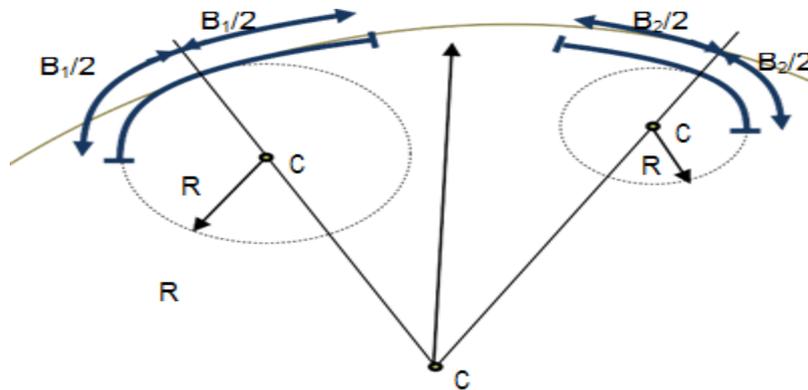


Figure 13 Courbe enC

D. Courbe enOve:

Un arc de **Clothoïde** raccordant deux arcs de cercles dont l'un est intérieur à l'autre, sans lui être concentrique.

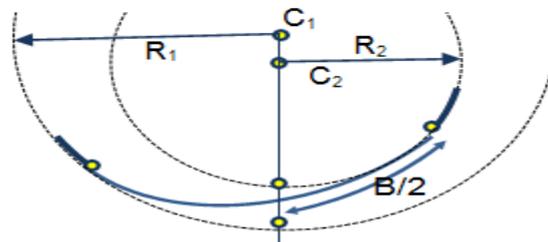


Figure.14.CourbeenOve

6. Notion de dévers :

Le dévers 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 dévers 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.

D. Calcul des devers :

Dans les alignements droits et dans les courbes de $R \geq R_{Hnd}$ le devers est égal à 2.5% et pour les courbes de rayon $R < R_{Hnd}$ un calcul de devers peut être fait par l'interpolation en « $1/R$ ».

$$R_{Hm} < R < R_{Hn} \text{ on a: } \frac{d(R) - d(R_{Hm})}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hm}}} = \frac{d(R_{Hm}) - d(R_{Hn})}{\frac{1}{R_{Hm}} - \frac{1}{R_{Hn}}}$$

$$R_{Hn} < R < R_{Hd} \text{ on a: } \frac{d(R) - d(R_{Hd})}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hd}}} = \frac{d(R_{Hn}) - d(R_{Hd})}{\frac{1}{R_{Hn}} - \frac{1}{R_{Hd}}}$$

Les rayons compris entre R_{Hd} et R_{Hn} sont au devers minimal mais des rayons supérieurs à R_{Hnd} peuvent être déversés s'il n'en résulte aucune dépense notable et notamment aucune perturbation sur le plan de drainage.

E. Raccordement de devers :

En alignement droit les devers sont de type unique et ont des valeurs constantes (2.5%), en courbe ils ont des valeurs supérieures (de 3 à 7%).

Le raccordement des alignements droits aux courbes se fait par des **Clothoïdes** :

- Dans le cas où les devers sont de même sens le raccordement sera progressif à partir du début de la **Clothoïde** jusqu'au début de l'arc de cercle.

- Dans le cas où les devers sont opposés, le problème se pose pour passer du devers d'alignement en général à une distance D_{min} .

$$D_{min} = \frac{5 \times \Delta d \times VR}{36} \text{ Appellée longueur de gauchissement.}$$

- Pour les courbes en **S**, il est souhaitable de prendre le devers nul au point d'inflexion.
- Pour les courbes de raccordement de devers entre deux courbes de même sens le
- Devers peut unique et peut être conserve.

III. Profil en long:

1. Définition :

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la route, développé et représentée sur un plan à une échelle. Ou bien c'est une élévation verticale dans le sens de l'axe de la route de l'ensemble des points constituant celui-ci.

2. Règle à respecter dans le tracé 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 certaines 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.
- Limité la déclivité pour une catégorie donnée ($i \leq i_{max}$)

3. Les éléments de la 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, etc....

4. Coordination du tracé en plan et profil en long :

Il est très nécessaire de veiller à la bonne coordination du tracé en plan et du profil en long en tenant compte également de l'implantation des points d'échange afin:

- D'avoir une vue satisfaisante de la route en sus des conditions de visibilité minimale.
- D'envisager de loin l'évolution du tracé.
- De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs, etc.) pour éviter les défauts résultats d'une mauvaise coordination tracé en plan et profil en long, les règles suivantes sont à suivre:
- D'augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan si le profil en long est convexe.
- D'amorcer la courbe en plan avant un point haut. Lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe.
- De faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celle du profil en long (porter les rayons de raccordement vertical à 6fois au moins le rayon en plan).

5. Déclivité :

On appelle déclivité d'une route la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec horizontale. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montés.

a) Déclivité minimum:

Dans un terrain plat on n'emploie normalement jamais de pente nulle de façon à ce que l'écoulement des eaux pluviales s'effectue facilement au long de la route au bord de la chaussée.

On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes :

- Au moins 0,5% et de préférences 1 %, si possible.
- $i_{min}=0,5\%$ dans les longues sections en déblai : pour que l'ouvrage d'évacuation des eaux ne soit pas trop profondément.

- $i_{min} = 0,5 \%$ dans les sections en remblai prévues avec des descentes d'eau

b) Déclivité maximum:

La déclivité maximale est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures 1500m, à cause 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.).

Donc, La déclivité maximale dépend de :

- Condition d'adhérence.
- Vitesse minimum de PL.
- Condition économique.

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

Tableau 09 Déclivité maximale Selon le B40

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

6. Raccordement 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 raccords :

A. Raccordements convexes (angle saillant) :

Les rayons minimums admissibles des raccords paraboliques en angles saillants sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et de visibilité d'autre part.

a. Condition de confort :

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

Limitation de l'accélération verticale :

$g/40$ pour catégorie 1-2

Le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à:

$V_r^2/R_v < g/40$ Pour $g=10\text{m/s}$

$$R_{v \min} = \begin{cases} 0,3.V_r^2 \text{ pour cat}(1 - 2) \\ 0,23.V_r^2 \text{ pour cat}(3 - 4 - 5) \end{cases}$$

Dans notre cas $R_{v \min} = 0,3V_r^2$

Avec:

- R_v : rayon vertical (m)
- V_r : vitesse de référence (Km/h)

b. Condition de la visibilité :

Elle intervient seulement dans le raccordement des points hauts comme condition supplanterai a celle de condition confort.

Il faut deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir a une distance double de la distance d'arrêt au 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_1 : Distance d'arrêt (m)
- h_0 : Hauteur de l'œil (m)
- h_1 : Hauteur de l'obstacle (m)

Dans le cas d'une route bidirectionnelle: $h_0 = 1.1 \text{ m}$, $h_1 = 0.15 \text{ m}$

On trouve : $R_v = 0,24.D_1^2$

B. Raccordements Concaves (Angle Rentrant):

a. Le confort dynamique:

En angle rentrant, le problème de visibilité ne se pose pas, mais il y a apparition d'une accélération importante (accélération centrifuge) qui influence sur le confort des véhicules.

On distingue deux types de rayon verticaux :

- R_{Vm} : Rayon minimal absolu calculé pour une vitesse V_r .
- R_{Vn} : Rayon minimal normal calculé pour une vitesse $V_r + 20$.

Pour assurer le confort dynamique des véhicules, on admet qu'une telle accélération est supportable si elle ne dépasse pas :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{g}{40} \text{ (g: lapesanteur) pourcat(1 - 2)} \\ \frac{g}{30} \text{ pourcat(3 - 4 - 5)} \\ \gamma_c \leq \frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30} \Leftrightarrow \frac{V^2}{Rv} \leq \frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30} \Leftrightarrow R'v \geq \frac{V^2}{\left(\frac{g}{40} \text{ ou } \frac{g}{30}\right)} \end{array} \right.$$

Si on prend $g=10 \text{ m/s}^2$ et V_r en (km/h) :

- $R'v > 0,3.V^2$ Pour les catégories 1 et 2
- $R'v > 0,25.V^2$ Pour les catégories 3, 4 et 5

b. La visibilité nocturne :

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.
- d_1 : distance d'arrêt.

c. 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 ($L > 50\text{m}$) pour des devers $d < 10\%$ (spécial échangeur).

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

Avec :

- Δd : variation de dévers.
 - R_{vmin} : rayon vertical minimal.
- Pour le cas de la RN28, on a respecté les paramètres géométriques concernant le tracé de la ligne rouge, et sont donnés par le tableau suivants (selon le B40):

Categories		$C1$
Environnement		$E1$
Vitesse de référence (Km/h)		100
Rayon en angle saillant RV	Route unidirectionnelle : (2x2 voies)	
	R_{vm1} (minimal absolu) en m	6000
	R_{vn1} (minimal normal) en m	12000
Rayon en angle rentrant RV	Route unidirectionnelle : (2x2 voies)	
	R'_{vm} (minimal absolu) en m	3000
	R'_{vn} (minimal normal) en m	4200

Tableau 10 les rayons de profil en long

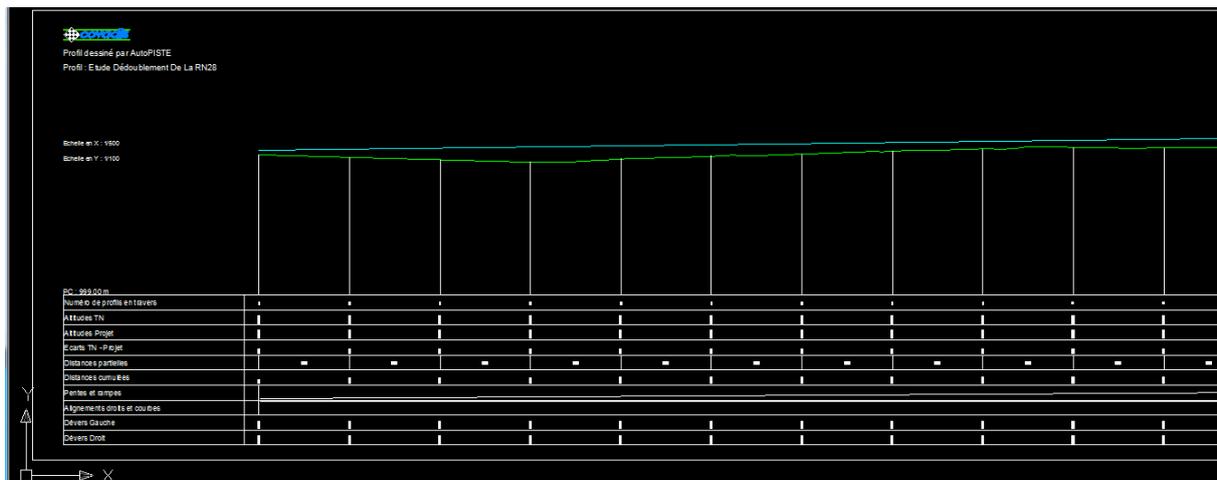


Figure 15 : Exemple sur profil en long

IV. Profil en travers

1. Définition :

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 eauxetc.).

2. Différent type de profils 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).

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 des profils en travers:

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

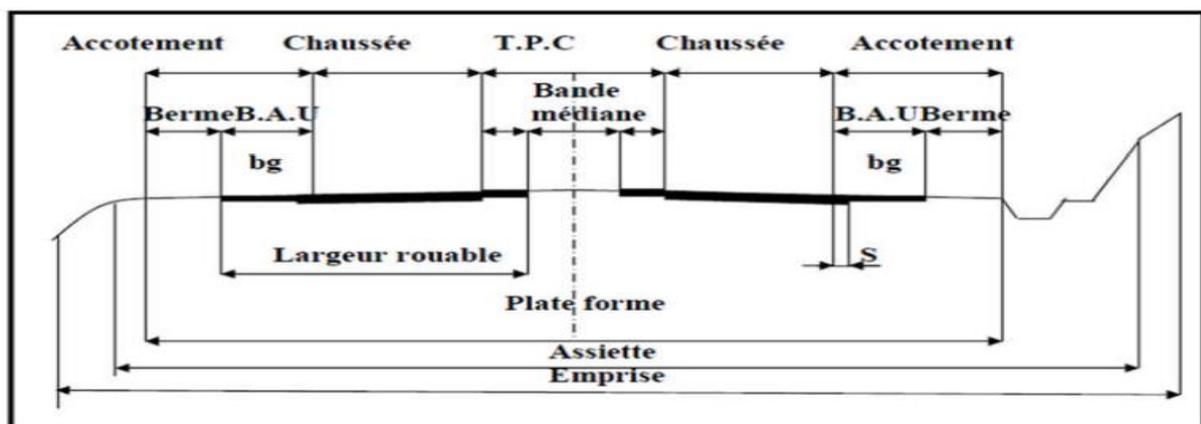


Figure 16 : les éléments de profil en travers

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 des 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 (talus, chemins de désenclavement, exutoires, etc....), 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.

G. Le terre-plein central:

Le T.P.C assure la séparation des deux sens de circulation, 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.

I. Le talus:

Le talus est l'inclinaison de terrain qui dépend de la cohésion des sols qui le constitue. Cette inclinaison exprimé par une fraction (A/B) telle que :

A : la distance sur la base du talus.

B : la hauteur du talus.

En terre de moyenne cohésion, l'inclinaison de talus est de (3/2) pour les remblais et (1/1) pour les déblais.

J. La largeur de la chaussée :

La largeur de la chaussée dépend surtout de l'importance de la circulation à écouler.

La largeur du gabarit des véhicules étant de 2.50 m, cette même largeur constitue un minimum pour la largeur d'une voie. Sur les routes à circulation intense et rapide, une largeur de voie de 2.50m est insuffisante, il faut au moins 3 m et mieux encore 3.50 m pour que les véhicules de tous gabarits qui puissent se croiser et se dépasser en toute sécurité.

La largeur de voie peut être réduite à 3m (exceptionnellement 2.50 m) sur les routes peu fréquentées.

K. Pente transversale :

La pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface de la chaussée, en alignement droit le profil en travers de la chaussée est caractérisé par une pente transversal varie de 2% à 5% vers l'extérieur.

En courbe, la pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de $1/R$, cette variation de la pente transversale s'appelle : « le dévers »

Les dévers doivent rester constants tout au long de la partie circulaire des virages car $1/R$ est constant.

L. Point de rotation des dévers :

Le choix du point de rotation des dévers dépend essentiellement de la disposition des lieux.

Lorsque le T.P.C est revêtu, le point de rotation des dévers se situe habituellement sur l'axe de la plateforme, sinon le point de rotation des dévers de chaque chaussée se situe sur le bord de la chaussée.

4. Profil en travers de la RN28 :

Après dédoublement la **RN28** est constituée de:

- Deux chaussées de deux voies de 7.5m chacune. : $2 \times (3.75 \times 2) = 15.00\text{m}$
Avec surlargeur de 0,50 m côté TPC et de 0,25 m côté accotement
- Un terre-plein central de (TPC) = 2.00 m.
- Un accotement de 1.75m à chaque côté droit de la chaussée.
- Fossé forme trapézoïdale : 0,50m x 0,50m x 0,50m
- Talus remblai : 3/2
- Talus déblai : 1/1

Conclusion :

Dédoublement la RN28 est constituée de :

$$-L_{min} = 138.88 \text{ m}$$

$$-L_{max} = 1666.6 \text{ m}$$

	Calcul	B40
RHm (m) (7%)	437.4	450
RHn (m) (5%)	708.66	650
RHd (m) (2.2%)	1574.8	1600
RHnd (m) (-2.5)	2249.71	2200
RVn1 (m)	12000	12000
R'Vn (m)	4200	4200

Tableau 11 : les valeurs des différentes courbes calculés et selon le B40

V. Cubature :

Introduction :

La réalisation d'un ouvrage génie civil nécessite toujours une modification du terrain naturel sur lequel l'ouvrage va être implanté.

Pour les voies due circulation ceci est très visible sur les profils en longs et les profils en travers. Cette modification s'effectue soit par apport de terre sur le sol du terrain naturel, qui lui servira de support remblai.

Soit par excavation des terres existantes au dessus du niveau de la ligne rouge : déblai.

Pour réaliser ces voies il reste à déterminer le volume de terre qui se trouve entre le tracé du projet et celui du naturel. Ce calcul s'appelle (les cubatures des terrassements).

1. Définition :

Les cubatures de terrassement, c'est l'évolution des cubes de déblais et remblais que comporte le projet à fin 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 en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points différents les moins possible de la ligne du terrain qu'il représente

2. Méthode de calcul des cubatures :

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 marges 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.

3. Description de la méthode :

Nous calculons les surfaces SD et SR de déblai et de remblais pour chaque profil en travers.

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

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

Où : h, S_1 , S_2 et S_0 désignant respectivement :

- La hauteur entre deux profils.
- Les surfaces des profils en travers.
- La surface limitée à mi-distance des profils.

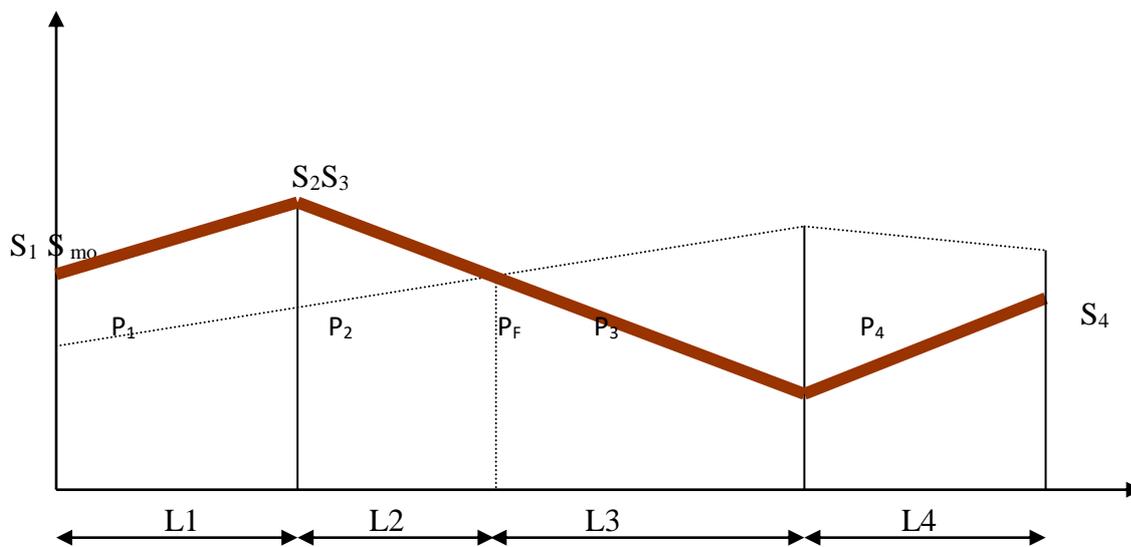


Figure 17 profil en long cas mixte avec profil fictif

Le volume compris entre les deux profils en travers P1 et P2 de section S_1 et S_2 sera égale à :

$$V_1 = \frac{l_1}{6} (S_1 + S_2 + 4S_{moy})$$

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

$$S_{moy} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

Ceci donne :

$$V_1 = \frac{l_1}{2} (S_1 + S_2)$$

Donc les volumes seront :

- Entre P1 et P2 : $V_1 = \frac{l_1}{2} (S_1 + S_2)$
- Entre P2 et PF : $V_1 = \frac{l_2}{2} (S_2 + 0)$
- Entre PF et P3 : $V_1 = \frac{l_3}{2} (0 + S_3)$

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

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

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. Méthode classique :

Dans cette méthode on distingue deux différentes sous méthodes de calcul dont la première est celle dite de GULDEN où les qualités des profils sont multipliées par la longueur d'application au droit de leur centre de gravité, prenant en compte la courbure au droit de profil.

Mais dans l'autre méthode classique les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application à l'axe (indépendant de la courbure).

Conclusion :

Les cubatures calculées par le logiciel covadis-autopiste sont comme suit :

- Volume de déblais est 40732 m³
- Volume de remblais est 115838 m³

A Noter : que le logiciel covadis-autopiste a inclus les calculs du quantités de déblais et de remblais de la section d'oued ou se trouve le projet du réalisation d'un pont du (Pk 95+165 – PK 95+310) entre le profil (106 et 111)

- Volume de déblais (pont) est 10 m³
- Volume de remblais (pont) est 6528 m³

En conséquence, il est recommandé de déduire le volume du quantités au chapitre terrassement au niveau de cette section donc pour que le profil prend sa taille réel et pour avoir une cubature aussi réel du volume total de terrassement après déduction les quantités deviennent comme suit :

- Volume de déblais **40722 m³**
- Volume de remblais **109310 m³**

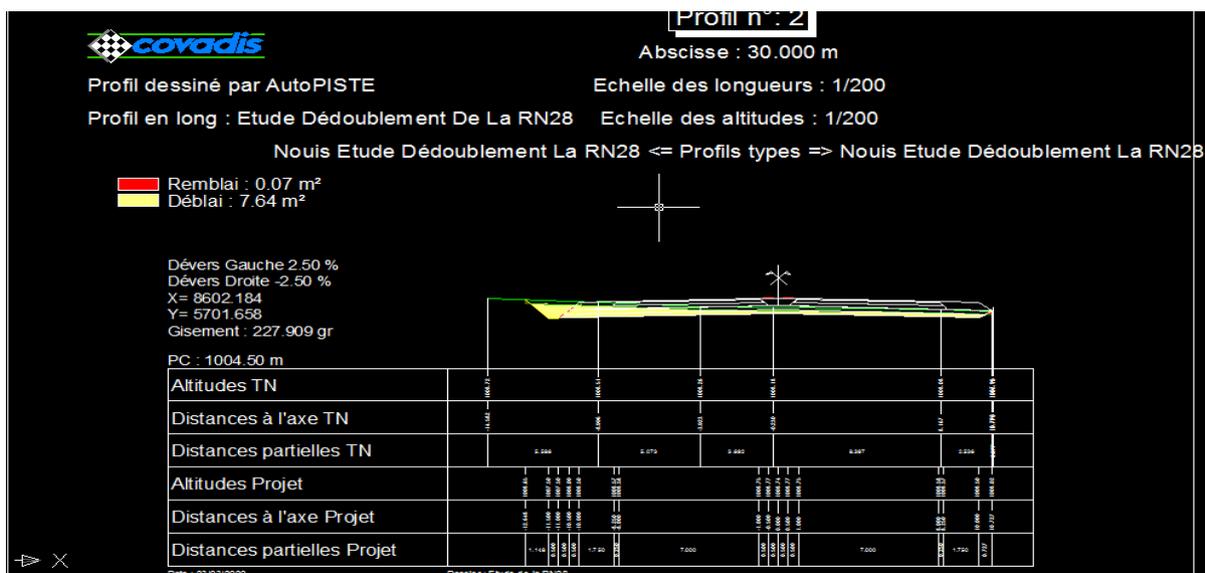


Figure 18 Exemple sur Profil en travers profil n°02

Chapitre 4

Etude de trafic

Introduction :

L'étude du 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, pour 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 tracés.

Ces données nous permettront de définir les caractéristiques techniques de notre chaussée (nombre de voies et dimensionnement du corps de chaussée).

I. Analyse trafic :

L'étude de trafic est une étape très 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, condition de circulation, saturation, origine, et destination). Cette étude débute par le recueil des données.

II. Quantification des trafics :

1. Les comptages : ils permettent de quantifier le trafic (le comptage manuel, le comptage automatique).
2. Les enquêtes : elles permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs.

III. Différents types de trafics :

On distingue quatre types de trafics :

1. Trafic normal :

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

2. 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 le différent moyen d'atteindre la même destination.

3. 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.

4. Trafic total :

Le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié.

IV. Modèles de présentation de trafic :

Dans l'étude des projections des trafics, la première opération consiste à définir un certain nombre de flux de trafic qui constitue des ensembles homogènes, en matière d'évolution ou d'affectation.

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

- Prolongation de l'évolution passée.
- Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques.
- Modèles gravitaire.
- Modèle de facteur de croissance.

1) Prolongation de l'évolution passée :

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir, l'évolution des trafics observés dans le passé. On établit en général un modèle de croissance du type exponentiel.

Le trafic T_n à l'année n sera :

$$T_n = T_0(1 + \tau)^n$$

Avec :

- T_0 : est le trafic à l'arrivée pour origine.
- τ : est le taux de croissance.

2) Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques :

Elle consiste à rechercher dans le passé une corrélation entre le niveau de trafic d'une part et certains indicateurs macro-économiques :

- Produit national brut (PNB).
- Produit des carburants, d'autres part, si on pense que cette corrélation restera à vérifier dans le taux de croissance du trafic, mais cette méthode nécessite l'utilisation d'un modèle de simulation, ce qui sort de cadre de notre étude.

3) Modèle gravitaire :

Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, mais il se prête mal à la projection.

4) Modèle de facteur de croissance :

Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine-destination.

La méthode la plus utilisée est celle de FRATAR qui prend en considération les facteurs suivants :

- Le taux de motorisation des véhicules légers et utilisation.
- Le nombre d'emploi.
- La population de la zone.

Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie de la zone à étudier.

➤ Remarque :

Pour notre cas, nous utilisons la première méthode, c'est-à-dire la méthode « prolongation de l'évolution passée » vu sa simplicité et parce qu'elle intègre l'ensemble des économique de la région.

V. Calcul de la capacité :

La capacité d'une route est le flux horaire maximum de véhicules qui peut passer en un point ou s'écoule sur une section de route uniforme pendant un temps donné. La capacité dépend :

- Des conditions de trafic.
- Des caractéristiques géométriques de la section considérée.

1. Procédure de détermination de nombre de vois :

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

Pour cela il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour année d'exploitation.

2. Le trafic moyen journalier annuel TMJA (v/j) :

Egale au trafic total de l'année divisé par le nombre du jour.

3. Le trafic à un horizon donné :

Du fais de la croissance annuelle du trafic, le TMJA évalue d'une année à l'autre.

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

$$TMJA_n = TMJA_0(1 + \tau)^n$$

- $TMJA_n$: Trafic journalier à l'année n.
- $TMJA_0$: Trafic journalier à l'année 0.
- τ : taux d'accroissement annuel.
- n : nombre d'année à partir de l'année d'origine.

4. Le trafic effectif (T_{eff}) :

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (uvp) en fonction de l'environnement (plaine, vallonné, montagneux).

Pour cela on utilise des coefficients pour convertir les poids lourds en (uvp).

Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

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

- T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon en (uvp/j) .
- Z : pourcentage de poids lourd.
- P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds, il dépend de la nature de la route.

Valeurs de P :

Routes	E1 : facile (plaine)	E2 : moyen (vallonné)	E3 : difficile (montagneux)
2 voies	3	6	12
3 voies	2,5	5	10
4 voies	2	4	8

Tableau 12 : coefficient d'équivalence (pl/uvp).

5. 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 suivante :

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

Avec :

- T_{eff} : Trafic effectif.
- Q : débit de pointe horaire normale.
- $1/n = 0.12$ (coefficient de pointe).

6. Débit horaire admissible :

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

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$$

- Q_{adm} : Débit horaire admissible.
- K_1 : Coefficient dépendant de l'environnement.
- K_2 : Coefficient réducteur de capacité traduisant la différence entre caractéristique réelle et idéale de circulation.
- C_{th} : La capacité effective de profil en travers.

Valeurs de K_1 :

Environnement	E1	E2	E3
Valeur de K_1	0.75	0.85	0.90 à 0.95

Tableau 13 : valeurs de K_1 selon la classe de l'environnement.

Valeurs de K_2 :

Environnement	Catégorie de la route				
	1	2	3	4	5
E1	1	1	1	1	1
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.98	0.98

Tableau 14 : valeurs de K_2 selon l'environnement et la catégorie de la route.

Valeurs de C_{th} :

La route	La capacité théorique
Route à 2 voies de 3.5 m	1500 à 2000 (uvp/h)
Route à 3 voies de 3.5 m	2400 à 3200 (uvp/h)
Route à chaussée séparé	1500 à 1800 (uvp/h)

Tableau 15 : valeur de capacité théorique C_{th} .

7. Détermination de nombre de voie :

A. Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

S'il s'agit de chaussée bidirectionnelle on compare Q à Q_{adm} est on adopte le profil au quelle correspond la valeur de Q la plus proche de Q_{adm} : $Q \leq Q_{adm}$

B. Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

S'il s'agit d'une chaussée unidirectionnelle le nombre de voie pour chaque une de chaussée est le nombre entier le plus proche de : $s \times \frac{Q}{Q_0}$

Avec :

- S : coefficient traduisant la dissymétrie du trafic dans les deux sens pris égale à $\frac{2}{3}$

- Q_0 : Le débit admissible par voie : $Q_0 = K_1 \times K_2 \times C_0$

Avec : $C_0 = 1500 \div 1800$ (uvp/h)

VI. Application au projet :

1. Les données de trafics :

Cette donnée est déterminée essentiellement pour connaître l'agressivité des véhicules lourds (PL) circulant sur la voie la plus chargée. Les résultats du comptage de trafic routier effectué en 2017 sont récapitulés dans le tableau suivant :

Section	$TMJA_{2017}$	%PL
PK 92+000 au PK 99+000	9000	20

Tableau 16 : les résultats du comptage de trafic en 2017

2. Hypothèses de calcul :

- Année de comptage : 2017
- $TJMA_{2017} = 9000$ (V/J)
- Année de mise en service : 2020
- Durée de vie : 20 ans
- Année horizon : 2040
- Pourcentage poids lourds : 20%
- Taux d'accroissement annuel de trafic : 4%

3. Détermination de nombre des voies :

A. Calcul de trafic à l'année mise en service :

$$TMJA_{2020} = (1 + \tau)^n TMJA_{2017}$$

$$TMJA_{2020} = (1 + 0.04)^3 \times 9000$$

$$TMJA_{2020} = 10124 \text{ (V/J)}$$

B. Calcul de trafic à l'année horizon :

$$TMJA_{2040} = (1 + \tau)^n TMJA_{2020}$$

$$TMJA_{2040} = (1 + 0.04)^{20} \times 10124$$

$$TMJA_{2040} = 22183 \text{ (V/J)}$$

C. Calcul de trafic effectif à l'année mise en service :

$$T_{eff(2020)} = [(1-Z) + P \times Z] \times TMJA_{2020}$$

$$T_{eff(2020)} = [(1-0.20) + 2 \times 0.20] \times 10124$$

$$T_{eff(2020)} = \mathbf{12149 \text{ (uvp/J)}}$$

D. Calcul de trafic effectif à l'année horizon :

$$T_{eff(2040)} = [(1-Z) + P \times Z] \times TMJA_{2040}$$

$$T_{eff(2040)} = [(1-0.20) + 2 \times 0.20] \times 22183$$

$$T_{eff(2040)} = \mathbf{26620 \text{ (uvp/J)}}$$

E. Calcul de débit de pointe horaire à l'année mise en service :

$$Q = (1/n) \times T_{eff(2020)} \quad \text{avec : } (1/n) = 0.12$$

$$Q = (0.12) \times T_{eff(2020)}$$

$$Q = (0.12) \times 12149$$

$$Q = \mathbf{1458 \text{ (uvp/h)}}$$

F. Calcul de débit de pointe horaire à l'année horizon :

$$Q = (0.12) \times T_{eff(2040)}$$

$$Q = (0.12) \times \mathbf{26620}$$

$$Q = \mathbf{3195 \text{ (uvp/h)}}$$

G. Calcul le nombre de voies :

$$n = s \times \frac{Q}{Q_0} \quad \text{avec : } s = 2/3$$

$$n = \frac{2 \times 3195}{3 \times 0.75 \times 1 \times 1600} = \mathbf{1.78}$$

➤ Donc le nombre de voies est **2 voies** par sens.

H. Calcul de l'année de saturation :

L'année de saturation correspond à $Q_{eff} = Q_{saturation}$ Avec :

$$Q_{saturation} = 4 \times Q_{adm} ;$$

$$Q_{adm} = K_1 K_2 C_{th};$$

$$Q_{adm} = 0.75 \times 1 \times 1600 ;$$

$$Q_{adm}=1200 \text{ uvp/h.}$$

$$Q_{saturation} = 4 \times Q_{adm} = 4 \times 1200 = 4800$$

D'autre part :

$$Q = (1/n) \times T_{eff(2020)} \quad \text{avec : } (1/n) = 0.12$$

$$Q = (0.12) \times T_{eff(2020)}$$

$$Q = (0.12) \times 12149$$

$$Q_{2020} = 1458 \text{ (uvp/h)}$$

$$4800 = 1458 \times (1+0.04)^n$$

$$(1+0.04)^n = 4800/1458 = 4;$$

$$\text{Alors } n = \ln 4 / \ln 1.04 = 35 \text{ ANS (2055)}$$

Conclusion :

D'après les calculs, on constate que se profil en travers de la route est une chaussée unidirectionnelle à 2 voies par sens (2×2) de largeur (7.5×2), avec des accotements de 2 m et TPC de 2 m.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

$TMJA_{2017}$ (V/J)	$TMJA_{2020}$ (V/J)	$TMJA_{2040}$ (V/J)	$T_{eff(2040)}$ (uvp/J)	Q (uvp/h)	N (voies)	Largeur de chaussée (m)	Largeur des accotements (m)	TPC (m)
9000	10124	22183	26620	3195	2×2	2x7,5	2x1.75	1

Tableau 17 : récapitulatif les résultats de notre projet

Chapitre 5

Dimensionnement du corps de chaussée

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, verglas etc..... 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.

I. La chaussée :

1. Définition :

A. Au sens géométrique :

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

B. Au sens structurel :

C'est l'ensemble des couches de matériaux superposées et mises en œuvre de façon à permettre la reprise des charges extérieures.

2. Classification des chaussées :

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

- Chaussée souple
- Chaussée semi-rigide
- Chaussée rigide

A. 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.

La chaussée souple est constituée de deux éléments constrictifs :

- Les sols et matériaux pierreux granulométrie étalée ou serrée.
- Les liants hydrocarbonés qui donnent de la cohésion en établissent des liassions souples entre les grains de matériaux pierreux.

La chaussée souple se compose généralement de trois couches différentes :

- ✓ Couche de roulement (surface).
- ✓ Couche de base.
- ✓ Couche de fondation.
- ✓ Couche de forme.:

a. Couche de roulement (surface) :

Cette couche est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures, elle est composée d'une couche de roulement et d'une couche de liaison.

Le rôle de couche de roulement :

- Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.
- D'imperméabiliser la surface de la chaussée.
- D'assurer la sécurité (adhérence) et le confort des usagers (bruit et uni).

La couche de liaison a pour rôle essentiel d'assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

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

b. Couche de base :

C'est une couche intermédiaire, permet le passage progressif entre couche de roulement et couche de fondation. Elle reprend les efforts verticaux et répartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

L'épaisseur de la couche de base est entre 10 et 20 cm.

c. Couche de fondation :

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

L'épaisseur de cette couche est entre 15 et 60

La couche de fondation et la couche de base forment « corps de chaussée ».

d. Coche de forme :

Employé lorsque le terrain nature présente des caractéristiques particulièrement médiocres et hétérogènes (nature de sol support).

Elle est prévue pour reprendre à certains objectifs à court terme

Sol rocheux : joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface.

Sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée) : elle assure une portance suffisante à court terme aux engins de chantier de circuler librement.

Actuellement, on tient de plus en plus compte du rôle de portance à long terme apporté par la couche de forme dans le dimensionnement et l'optimisation des structures de chaussées.

Eventuellement, une couche drainante ou anti-contaminant peut être intercalée entre la couche de forme et la couche de fondation s'appelle « sous-couche».

Anti-contaminant : écran contre la remontée d'éléments argileux ou limoneux dans la chaussée.

Anticapillaire : écran contre les remontées d'eau dans le corps de chaussée, sous l'action des forces capillaires.

Antigel : réalisée en matériaux insensibles au gel, pour accroître l'épaisseur totale de la chaussée jusqu'à une profondeur voisine de la pénétration maximale de gel.

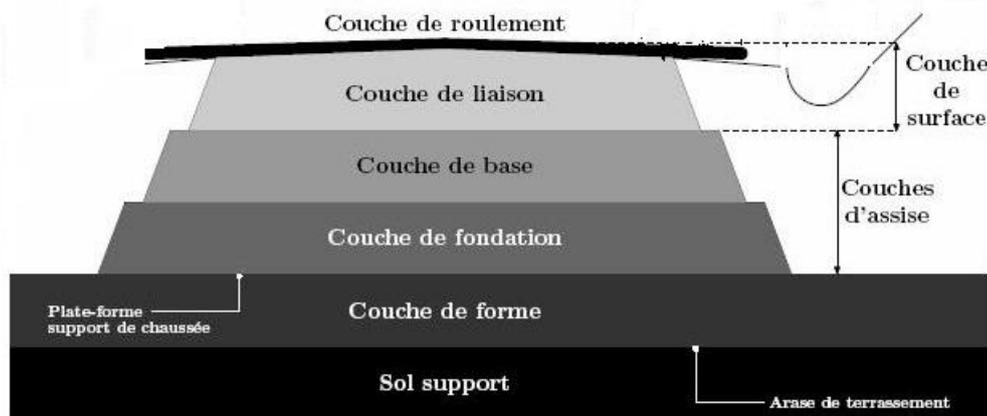


Figure 19 : les différentes couches de la chaussée

B. Chaussée semi-rigide :

On distingue :

Les chaussées comportant une couche de base (quelque 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 cm. Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie.

La chaussée comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux.

C. Chaussée rigide :

Elle est constituée d'une dalle de béton, éventuellement armé (correspondant à la couche de surface de chaussée souple) reposant sur une couche de fondation qui peut être un grave stabilisé mécaniquement, une grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques. Ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie.

La figure ci-dessous représente les différents corps de chaussée pour chaque classe de chaussée :

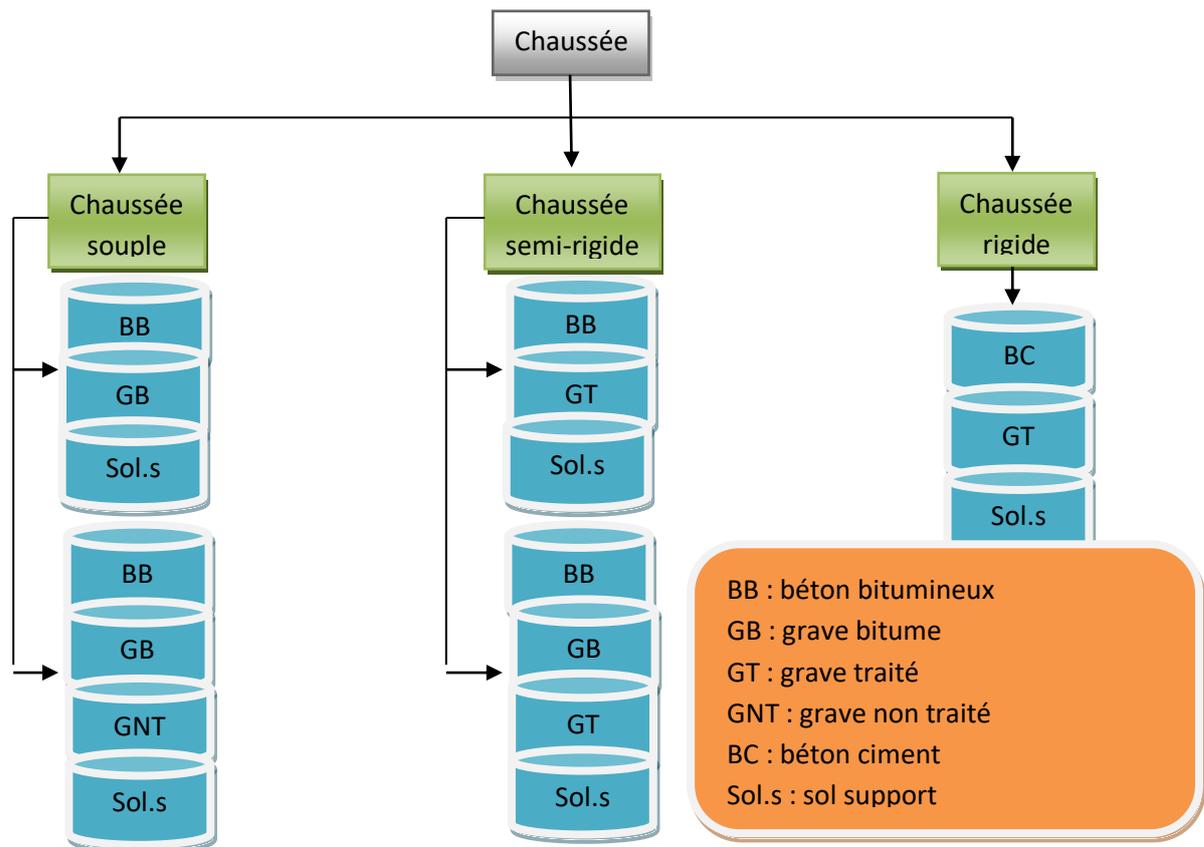


Figure 20 : types de chaussées

3. Les différents facteurs pour les études de 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 à 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 à la mise en service, résultat d'une étude de trafic et de comptages sur les voies existantes.
- De trafic cumulé sur la période considérée.

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 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 des matériaux bitumineux et conditionne leur utilisation.

C. Le sol support :

Les structures de chaussée 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 ;

D. Matériaux :

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

II. Méthode de dimensionnement de corps de chaussée :

On distingue deux familles de méthodes de dimensionnement qui sont :

1. Les méthodes théoriques :

Ces méthodes assimilent la chaussée à un corps justiciable des procédés de l'élasticité ces méthodes qui sont peu utilisées en pratique servent de base aux travaux de recherche entreprise dans ce domaine elles peuvent se borner à l'étude élastique des systèmes multicouches soumis à des charges statiques (EX : Bousinessq, Burmister, Hogg ,Jeuffroy, ...etc.)

2. Les méthodes empiriques (classiques) :

Ces méthodes basées des connaissances technologiques expérimentales et des constatations sur les comportements des chaussées (EX : méthode de steel, méthode de l'aviation civil américaine, etc....).

3. Les méthodes les plus utilisées en Algérie :

Ces méthodes combinent les résultats des études théoriques et des essais constatations faites sur la chaussée, ces méthodes sont les plus répandues et les plus rationnels et les plus utilisée.

On peut citer :

A. Méthode CBR (Californien Bearing Ratio) :

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

Le CBR retenu finalement est la valeur la plus basse obtenue après immersion de cet échantillon.

Les abaques qui donner l'épaisseur «e» des chaussées en fonction de l'indice CBR, la pression de gonflable des pneus, des nombres de répétions et de charge correspondant approximativement à la formule suivantes :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{\text{CBR}} + 5}$$

- e : épaisseur totale (cm).
- I_{CBR} : Indice CBR.
- P : charge par roue ; P= 6.5 t
- P : charge par essieu ; P= 13 t

On tenant compte de l'influence de trafic, la formule précédente devient :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log_{10} \frac{N}{10})\sqrt{P}}{I_{\text{CBR}} + 5}$$

- N : désigne le nombre moyen de camion de plus de 1500 Kg à vide.
- Log : logarithme décimale.

a. Détermination des épaisseurs des couches :

Après avoir calculé l'épaisseur totale de la chaussée faite en matière de grave propre, on répartie cette épaisseur sur toute les couche par l'utilisateur d'un coefficient d'équivalence «a»pour chaque type de matériau de façon suivante :

- Calculer l'épaisseur totale de la chaussée.
- Fixation des épaisseurs de couche de surface et couche de base.

- On calcul l'épaisseur de la couche de fondation on utilisant la formule suivante :

$$e = e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2 + e_3 \times a_3$$

e_1, e_2, e_3 : Les épaisseurs réelles des couches

b. Notion de l'épaisseur équivalente :

La notion de l'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques des différentes couches et l'épaisseur équivalente d'une couche est égale à son épaisseur réelle multipliée par un coefficient numérique « a » appelé coefficient d'équivalence. L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs équivalentes des couches :

$$e = \sum a_i \times e_i = e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2 + e_3 \times a_3$$

- $e_1 \times a_1$: couche de roulement.
- $e_2 \times a_2$: couche de base.
- $e_3 \times a_3$: couche de fondation.

Les valeurs usuelles du coefficient d'équivalence suivant le matériau utilisé sont données dans le tableau suivant :

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence (a)
Béton bitumineux B.B	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
G.C ou G.N.T	1.00
Tuf	0.7 à 0.8
Grave roulée – grave sableuse (T.V.O)	0.75
Sable	0.50
Grave bitumineux	1.20 à 1.70

Tableau.18: les valeurs du coefficient d'équivalence suivant le matériau utilisé

Couche de fondation (CF) : ne dépasse pas 60cm :

- G.C=15-25 cm G.N.T=15 à 25 cm T.V.O=30 cm et plus

Couche de base (CB) varie entre :

- G.B=10 à 20 cm

Couche de roulement (CR) varie entre :

- B.B=6 à 8 cm

B. Méthode de catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

L'utilisation de catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement des chaussées : trafic, matériaux, sol support, environnement.

Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction de cela on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée.

La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelle qui se base sur deux approches :

- Approche théorique.
- Approche empirique.

La démarche de catalogue :

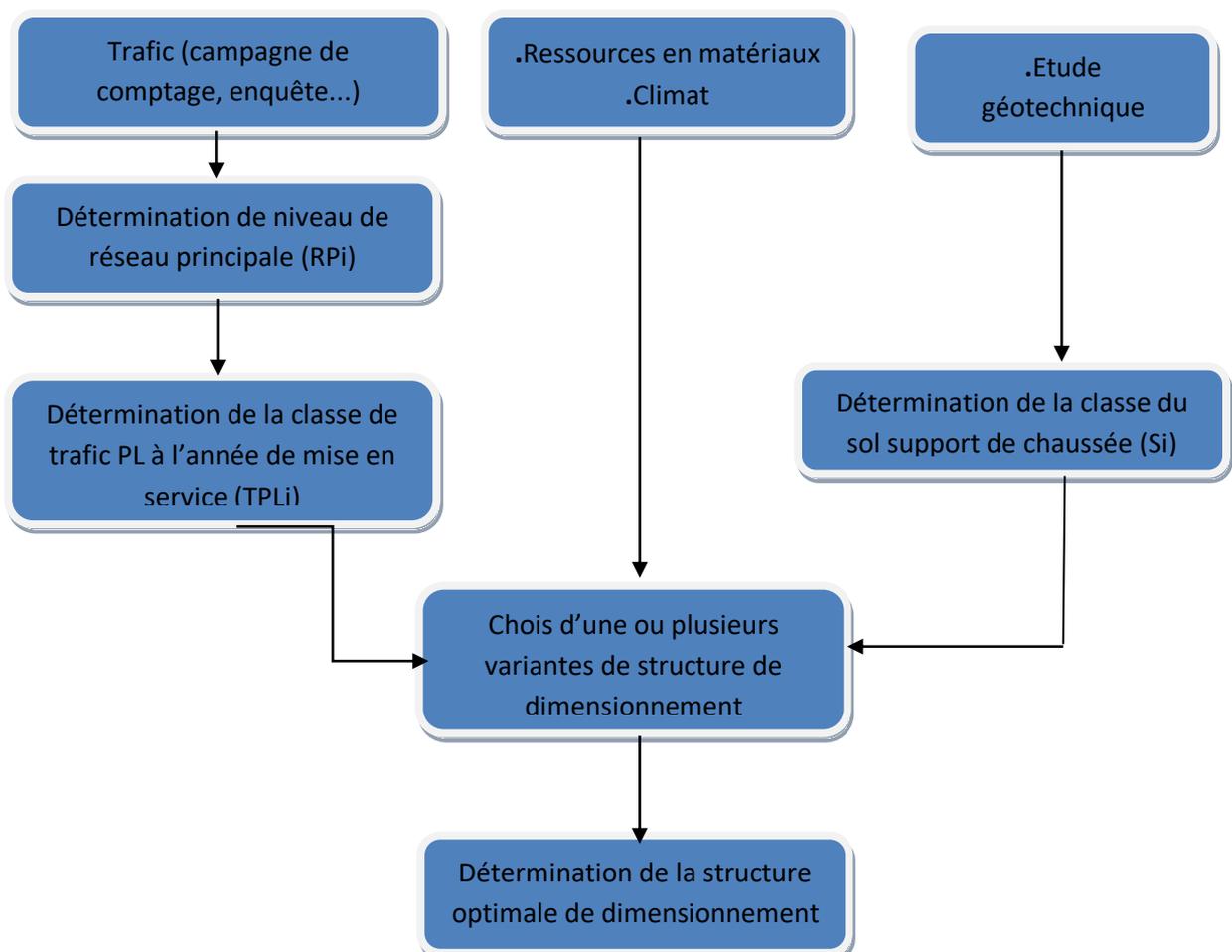


Figure 21 : la démarche de catalogue

Il présente se la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données :

- Trafic cumulé de poids lourds aux 15 ans T_j .
- Les caractéristiques de sol.

Cette méthode se base essentiellement sur quatre paramètres :

- Le trafic.
- La portance du sol support de la chaussée.
- Zone climatique.
- Les matériaux.

Les principes de méthode :

a. Détermination du type de réseau :

Réseau principale notée RP :

Il se compose de route reliant :

- Le chef lieux de wilaya.
- Les ports, les aéroports et les postes frontaliers.
- Les principales importantes zones industrielles agglomérations.

Ce réseau principal se décompose en deux niveaux :

- RP1 ($T > 1500$ V/J) : RN, autoroute, CW.
- RP2 ($T < 1500$ V/J) : RN, CW.

Le linéaire total de réseau principal RP est d'ordre de 18.400 Km.

Le réseau secondaire RS :

Il se compose du reste des routes qui ne sont pas en RP, son linéaire total de 7.900Km.

b. Détermination de la classe de trafic :

La classe de trafic (TPL_i) est donnée en nombre de poids lourds par jour et par sens sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service.

Les classes de trafic (TPL_i) adoptée dans les fiches structures de dimensionnement sont données, pour chaque niveau de réseau principal (RP1 et RP2), en nombre de PL par jour et par sens à l'année de mis en service.

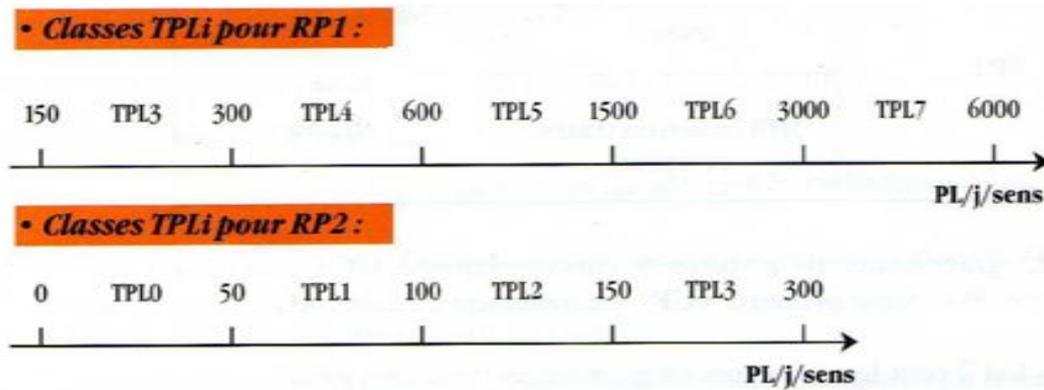


Figure 22 : Classes TPLi

c. Détermination de la portance de sol support de chaussée :

Classes de portance des sols Si :

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

Tableau 19 : classe de portance des sols

d. Plages probable de portance des sols :

Argiles, limons : S4, S3, S2.

Sable, grave : S3, S2, S1, S0.

e. Portance de sols terrassés :

Importance du rapport géotechnique «l'étude géotechnique est nécessaire, car elle permettra d'identifier et de classer les sols».

f. Zones climatiques :

Les différentes zones climatiques de l'Algérie sont mentionnées dans le tableau suivant :

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	Teq (°)	Région
I	> 600	Très humide	20	Nord
II	350 - 600	Humide	20	Nord, haut plateaux
III	100 - 350	Semi-aride	25	Haut plateaux
IV	< 100	Aride	30	Sud

Tableau 20:classification climatique.

g. Cas des sols sensible à l'eau :

L'essai CBR à prendre en compte sera fonction de la zone climatique considérée :

- CBR imbibé à 4 jour pour les zones climatiques I et II.
- CBR immédiat pour les zones climatiques III et IV.

Pour les sols insensibles à l'eau (sables et graves propres, sils grossiers) la portance est déterminée à partir des essais de chargement à la plaque (module EV2).

– Classe de portance de sol-supports :

$$E \text{ (MPa)} = 5 \cdot \text{CBR}$$

Classes de sols supports	S3	S2	S1	S0
Module (MPa)	25 - 50	50 - 125	125 - 200	> 200

Tableau 21 : classe de sols support selon le module E

h. Sur classement des sols supports de chaussées :

Lorsque des cas de sols de faible portance (inf à S4 en RP2, inf à S4 et S3 en RP1) sont rencontrés, le recours à une couche de forme de forme devient nécessaire.

L'utilisation d'une couche de forme permet un sur classement de portance du sol terrassé.

III. Application au projet :

Pour le dimensionnement de corps de chaussée on va utiliser les deux méthodes précédentes qui sont la méthode CBR et la méthode du catalogue des chaussées neuves « CTTP ».

On a :

$$PL=20 \%$$

$$TJMA_{2017} = 9000 \text{ (V/J)}$$

$$\tau=4\%$$

Année de mise en service : 2020

$$\text{CBR de sol} = \underline{5} \text{ (donnée du bureau d'étude)} \quad \text{Durée de vie : 20 ans}$$

1. Méthode CBR :

$$TJMA_{2020} = (1 + 0.04)^3 \times 9000$$

$$TJMA_{2020} = 10124 \text{ (V/J)}$$

$$PL_{2020} = 10124 \times 0.20 \times 0.5 = 1012 \text{ (PL/J/sens)}$$

$$PL_{2040} = 1012 \times (1 + 0.04)^{20} = 2219 \text{ (PL/J/sens)}$$

A. Calcul de l'épaisseur équivalente :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log \frac{N}{10}) \sqrt{p}}{I_{CBR} + 5}$$

- I_{CBR} : Indice CBR=5(donnée par le bureau d'étude)
- P : charge par roue ; P= 6.5 t
- P : charge par essieu ; P= 13 t
- N : désigne le nombre moyen de camion de plus de 1500 Kg à vide=4437(PL/J/sens)

Donc :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \log \frac{2219}{10}) \sqrt{6.5}}{5 + 5} = 59.029 \approx 60 \text{ cm}$$

B. Couche de roulement :

$e_1=7$ cm en béton bitumineux $a_1=2$

a) Couche de base :

$e_2=14$ cm en grave bitume $a_2=1.5$

b) Couche de fondation :

e_3 =épaisseur en grave concassée $a_3=1$

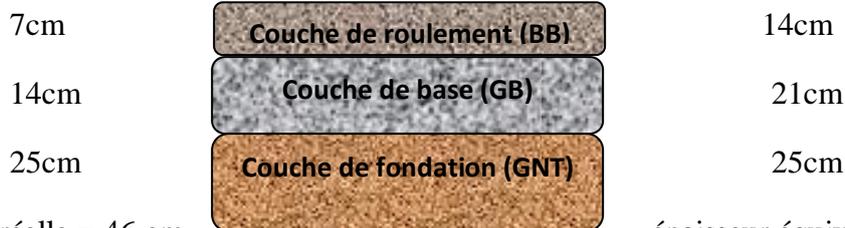
$e_3 = 38 - 24 = 24.5$ cm

On prend 25 de GNT.

$e = e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2 + e_3 \times a_3 \rightarrow (7 \times 2) + (14 \times 1.5) + (25 \times 1) = 60$ cm

Epaisseur réelles est de

$7(\text{BB}) + 14(\text{GB}) + 25(\text{GNT}) = 60$ cm



Epaisseur réelle = 46 cm

épaisseur équivalente = 60 cm

- On prend pour la couche de forme $e=30$ cm.

2. Méthode de catalogue de dimensionnement des chaussées neuves « CTTP » :

A. Détermination de type de réseau principal :

$$TJMA_{2017} = 9000 \text{ (V/J)}$$

$$TJMA_{2020} = 10124 \text{ (V/J)}$$

Donc le réseau principal est RP1.

B. Classe de la portance du sol

- $E \text{ (MPa)} = 5 \times \text{CBR} = 5 \times 5 = 25 \text{MPa}$
- Classe S3 + 40 Cm → S2

C. Classification des Roseaux principaux

On a:

Réseau principale	Trafic (véhicule / jour)
RP1	> 1500
RP2	< 1500

Tableau 22 : classification des réseaux principaux

- Donc : $10124 \text{ (V/j)} > 1500 \text{ (V/j)}$ le réseau principal est **RP1**.
- $TPL_i = 10123 * 0.20 * 0.9 * 0.5 = 912 \text{ pl/j/sens.} \ll (600 < 912 < 1500) \text{ pl/j/sens} \gg$

Donc la classe TPL pour RP1 (fascicule N01) La classe de trafic est : « **TPL5** »

D. Amélioration de la portance du sol support :

Pour améliorer la portance d'un sol, on a recours aux couches de formes. Le (CTTP) a fait des recherches sur la variation du **CBR** selon les différentes épaisseurs des couches de formes, le mode de sa mise en place (nombre de couches) et la nature du matériau utilisé (les plus répandus en Algérie) pour la réalisation de la CF. Les résultats de ces recherches sont résumés dans le tableau suivant :

Dans notre cas on a **un sol à faible portance S3**, alors l'utilisation d'une couche de forme d'épaisseur **40cm**, en 2 couches de TVO permet un sur classement de portance du sol qui sera d'une **classe S2**.

Nous sommes dans le réseau principal (**RP1**), la zone climatique **II**, durée de vie de **20 ans**, taux d'accroissement (**4%**), portance du sol (**S2**) et une classe du trafic (**TPL5**). Avec toutes ces données, le catalogue Algérien (**fascicule 3**) propose la structure suivante :

La structure finale par la méthode de dimensionnement des chaussées neuves sera donc :

Couche de surface	BB	6.0 cm
Couche de base	GB	20.0 cm
Couche de Fondation	GNT	30.0 cm
Couche de forme	TVO	40.0 cm

Tableau 23 La structure étudié par la méthode de dimensionnement des chaussée neuves

Tableau Récapitulatif :

	TJMA2020 (V/J/sens)	TPL (PL/J/sens)
2*2	10124	912

Tableau 24 : Résultats.

3. Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support (alizer III):**A. La vérification : $\epsilon_t < \epsilon_{tadm}$ et $\epsilon_z < \epsilon_{zadm}$** **Donnée d'après le B40 on a**

- $\epsilon_6(10^\circ\text{c}, 25\text{HZ})$: déformation limite détenue au bout de 106 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz.
- K_θ : facteur lié à la température.
- K_{ne} : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.
- K_r : facteur lié au risque et aux dispersions.
- K_c : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement absorbé sur la chaussée.
- b : pente de la droite de fatigue ($b < 0$).
- $E(10^\circ\text{c})$: module complexe du matériau bitumineux à 10°C.
- $E(\theta_{eq})$: module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est en fonction de la zone climatique considérée.
- SN : dispersion sur la loi de fatigue.
- Sh : dispersion sur les épaisseurs.
- C : coefficient égal à 0.02.
- t : fractale de la loi normale qui est en fonction du risque adopté ($r\%$).

A : coefficient d'agressivité de poids lourd par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes.

En fonction de réseau principal R_{pi} .

Niveau de réseau principal (Rpi)	Types de matériaux et structures	Valeurs de A
RP1	Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GC, GB/TUF, GB/GC	0.6
	Chaussées à matériaux traités aux liants hydrauliques : GL/GL, BC/GC	1

Tableau 25 : Valeur du coefficient d'agressivité A (fascicule N° 2)

B. Application

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

a) **Calcul $\epsilon z, adm$:** « $\epsilon z, adm = 22 \times 10^{-3} \times (TCEi)^{-0.235}$ »

$$\triangleright TCEi = TCI \times A = TPLi \times 365 \times \frac{(1+\tau)^n - 1}{\tau} \times A = 912 \times 365 \times \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04} \times 0.6 = 5.94 \times 10^6$$

b) **Calcul $\epsilon t, adm$:** « $\epsilon t, adm = \epsilon_6(10^\circ C, 25He) \times K_{ne} \times K_\theta \times K_r \times K_c$ »

✓ **$k_c = 1.3$**

$$\checkmark \frac{-1}{b} = 6.84 \Rightarrow b = \frac{-1}{6.84} = -0.146, \quad t = -1.282, \quad c = 0.02$$

$$\checkmark k_{ne} = \left(\frac{TCEi \times 10^7}{10^6} \right)^{-b} \Rightarrow \left(\frac{5.94 \times 10^6}{10^6} \right)^{-0.146} = 0.77$$

$$\checkmark k_r = 10^{-tb\delta}$$

$$\text{Avec : La dispersion } \delta = \sqrt{SN^2 + \left(c \times \frac{Sh}{b} \right)^2} \quad \delta = \sqrt{0.45^2 + \left(0.02 \times \frac{3}{-0.146} \right)^2} = 0.609$$

$$\checkmark k_r = 10^{-(1.282 \times -0.146 \times 0.609)} = 0.769$$

$$\checkmark k_\theta = \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}} = \sqrt{\frac{12500}{7000}} = 1.34$$

Finalemment

$$\diamond \epsilon z, adm = 22 \times 10^{-3} \times (5.94 \times 10^6)^{-0.235} = 563.09 \times 10^{-6}$$

$$\diamond \epsilon t, adm = 100 \times 10^{-6} \times 0.77 \times 1.34 \times 0.769 \times 1.3 = 103.14 \times 10^{-6}$$

C. Résultats de calcul par alizé LCPC

a) Principe du programme ALIZE

ALIZE III est un programme mis au point au laboratoire central des ponts et chaussée paris (1975).il permet de déterminer à partir d'un modèle multicouche, élastique et linéaire fondé sur l'hypothèse de BURIMESTER, les contraintes et les déformations aux différentes interfaces de la structure ayant jusqu'à six couches supposées infinies en plan.

b) Application par logiciel :

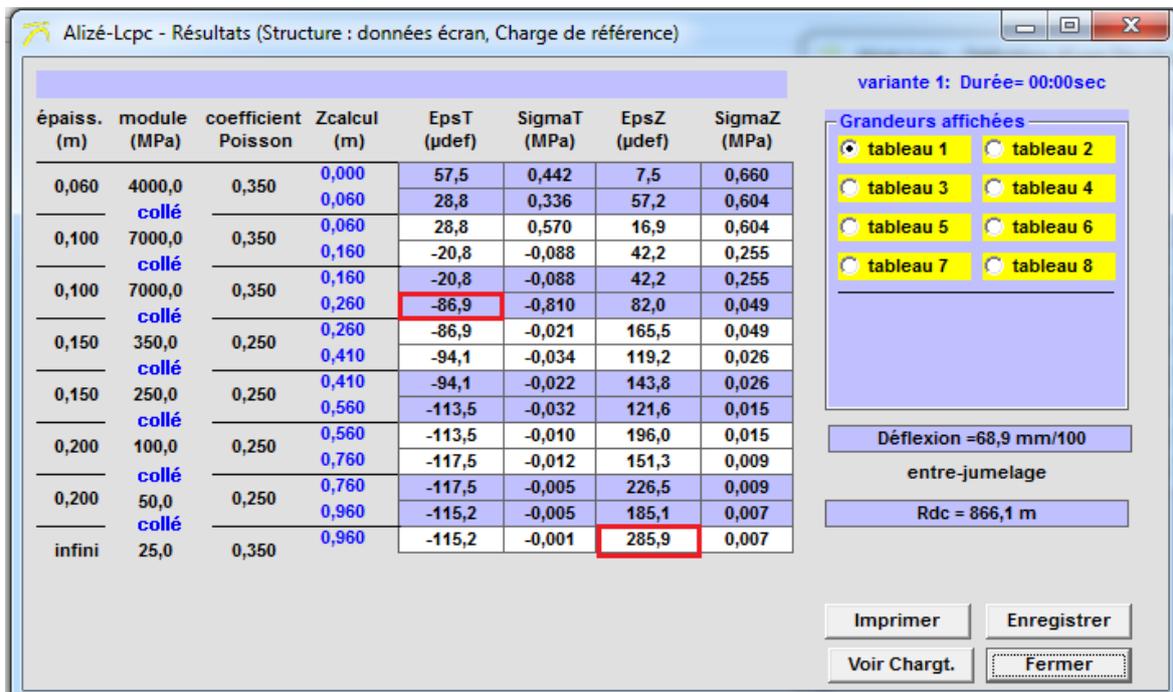


Figure 23 : Vérification avec alizé

	Déformations admissibles	Déformations calculées
εz sol support	563.09×10^{-6}	285.9
εt de GB	103.14×10^{-6}	86.9

Tableau 26 : vérification Alizé.

La structure de chaussée à adopter pour vérifier les déformations admissibles de la GB est : 6BB+10GB+10GB+30GNT+30TVO est vérifié lorsque :

- ϵ_z calculée < ϵ_z admissible.
- ϵ_t calculée < ϵ_t admissible.

Le calcul avec ALIZE montre que les valeurs admissibles sont vérifiées largement. Par ailleurs il faut peut-être, optimiser l'épaisseur de GB avec -4cm , BB avec +01 cm

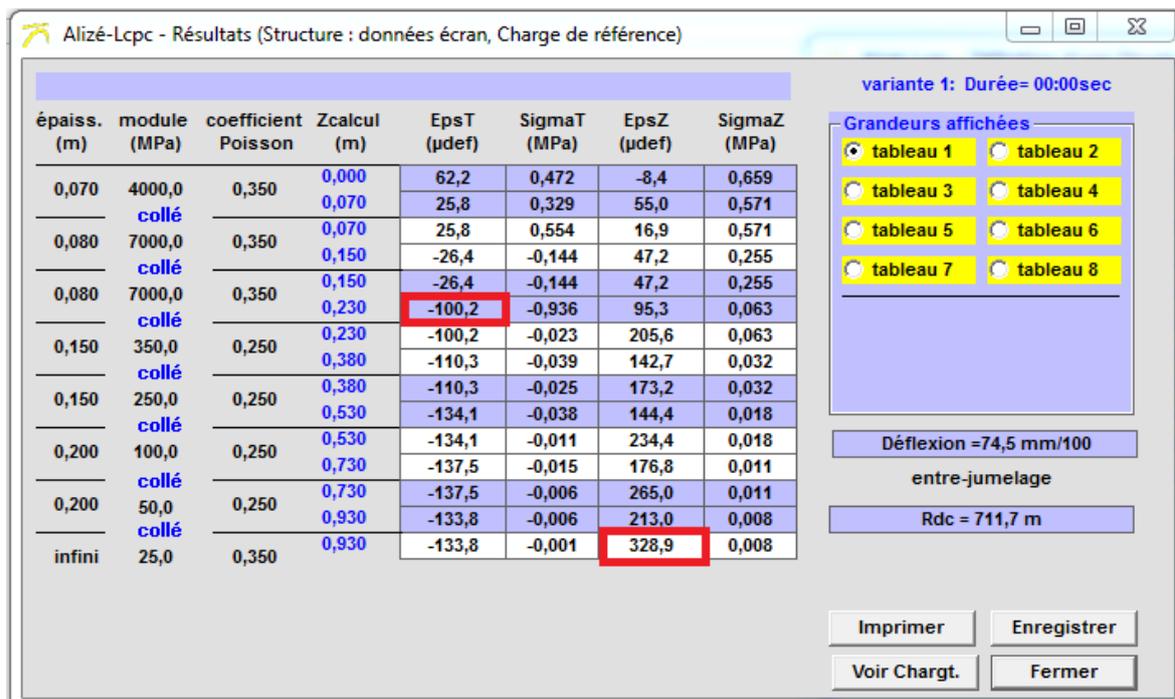


Figure 24 : Vérification par alizé

	Déformations admissible	Déformations calculées
ϵ_z sol support	563.09×10^{-6}	328.9
ϵ_t de GB	103.14×10^{-6}	100.2

Tableau 27 : vérification Alizé.

Conclusion

A la lumière de résultats obtenus par les deux méthodes, on adopte pour la totalité des travaux neufs les épaisseurs obtenues à travers la méthode CTTT .

Couche de surface	BB	7.0 cm
Couche de base	GB	16.0 cm
Couche de fondation	GNT	30.0 cm
Couche de forme	TVO	40.0 cm

Tableau 28 : La structure finale par la méthode de dimensionnement des chaussée neuves.

Chapitre 6

Étude géotechnique

Introduction :

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée.

Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs et intérieurs.

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol.

L'exécution d'un projet routier nécessite une bonne connaissance des terrains traversés ce qui exige des reconnaissances géotechniques.

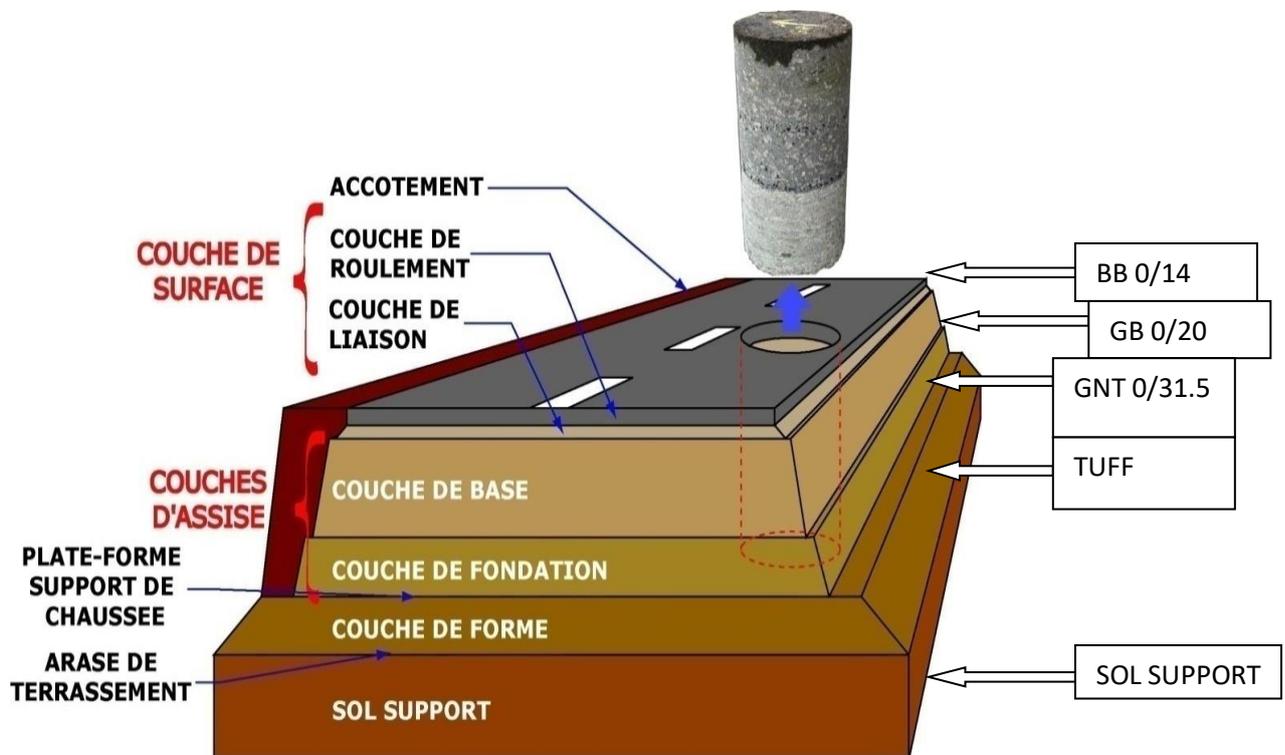


Figure 25 : différente couche de corps de chaussée

I. But de l'étude géotechnique :

La géotechnique a pour but d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support qui sert d'assise pour la structure de la chaussée.

Pour l'élaboration et l'exécution d'un projet, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés. Pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensables, car elle permet :

- En phase d'étude : de bien définir le projet (dimensionnement du corps de chaussée et choix des matériaux).
- En phase d'exécution : elle permet de réaliser les travaux avec un minimum de risques possibles (choix des moyens et des matériaux adaptés à la nature des sols).
- Détecter des zones d'emprunts de matériaux de construction pour les remblais et le corps de la chaussée.

Cette étude doit aussi permettre de localiser les différentes couches, donner les renseignements de chaque couche, les caractéristiques mécaniques et physiques de sol support.

La géotechnique routière est la branche de la géotechnique qui traite des problèmes intéressant la route, dans toutes ses parties. Elle étudie notamment les remblais, les fondations de chaussée, la construction des diverses couches de la chaussée.

L'étude géotechnique a été réalisée en tenant compte des différentes couches du corps de chaussées représentées sur la figure suivante :

1. La séismicité de la région

La région de la wilaya de Batna est classée dans la zone sismique I (zone à faible fréquence sismique) d'après le document technique réglementaire D.T.R-BC.2.4.8 des règles parasismiques algériennes R.P.A 99-version 2003.

2. Objectifs :

La géotechnique routière a pour objectif :

- De définir les caractéristiques des sols qui serviront d'assise pour le corps de chaussée.
- Établir le projet de terrassement.
- Détecter des zones d'emprunts de matériaux de construction pour les remblais et le corps de la chaussée.

3. Les moyens de la reconnaissance :

Les moyens de la reconnaissance d'un tracé routier sont essentiellement :

- L'étude des archives et documents existants.
- Les visites de site et les essais «in-situ ».
- Les essais de laboratoires.

Les essais in situ et au laboratoire effectués sont nécessaires afin de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sols de la section d'étude.

A. L'étude des archives et documents existants :

Les études antérieures effectuées au voisinage du tracé sont source précieuse d'informations préliminaires sur la nature des terrains traversés.

Les cartes géologiques et géotechniques de la région, lorsqu'elles existent, peuvent aussi apporter des indications assez sommaires mais tout aussi précieuses pour avoir une première idée de la nature géologiques et géotechniques des formations existantes.

B. Sur site :

Les visites sur site permettent de vérifier et de préciser les informations déjà recueillies sur les documents précédemment cités. Dépendant, la connaissance précise des caractéristiques des sols en présence nécessite des investigations «in-situ » permettant :

- Soit la mesure de certaines caractéristiques en place.
- Soit le prélèvement d'échantillons pour les besoins d'essais de laboratoire.

Dans la plupart des cas, ces deux éléments sont combinés.

L'investigation géotechnique sur site porte principalement sur la réalisation du programme géotechnique remis par le bureau d'étude chargé de l'affaire.

Au total, Cinq puits d'exploration, ont été réalisés à l'aide d'une pelle Mécanique marque Caterpillar, à des profondeurs de 1,5m. Ces puits ont permis au Laboratoire BAGDIM d'établir les coupes géologiques des faciès traversés, de prélever des échantillons qui vont servir à la détermination des caractéristiques intrinsèques de ces sols.

C. Résultats des essais : Puits de reconnaissance

Les puits de reconnaissance sont réalisés pour connaître les coupes lithologiques et les caractéristiques de compactage d'un sol pour les sites prévus en remblai et déblai. Les forages de puits sont exécutés à la profondeur de 4m et l'emplacement de tous ces puits est figuré sur le plan d'implantation ci-après et leurs résultats sont présentés dans le tableau :

Les puits d'exploration sont repérés aux PK et profondeur suivant :

Puits n°	01	02	03	04	05
Pk	93+000	96+000	100+000	102+500	107+000
Prof	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m

Tableau 29 : Les puits d'exploration

La réalisation des puits à la pelle mécanique sous chausse et sous accotement ont permis de relever les coupes lithologiques suivantes :

PUITS N°	PROFONDEUR (m)	LITHOLOGIE
1	0.30 – 1.50	Argile Sableuse
2	0.70 – 1.50	TUFF Argileux
3	0.50 – 1.50	Argile Sableuse
4	0.40 – 1.50	Argile Sableuse
5	0.50 – 1.50	Argile Sableuse

Tableau 30 : coupes lithologiques

4. Les différents essais en laboratoire :

Les essais réalisés en laboratoire pour les échantillons prélevés de notre projet sont :

- Des essais d'identification
- Des essais mécaniques

✓ Les essais d'identification :

- Teneur en eaux (NF P 94- 050).
- Masse volumique des sols fins (NF P 94-053).
- Masse volumique des particules solides des sols (NF P 94-054).
- Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056).
- Analyse granulométrique par sédimentation (NF P 94-057).
- Limites d'Atterberg (NF P 94-051).
- Equivalent de sable (NF P 18-598).
- Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068).

✓ Les essais mécaniques :

- Essai Proctor
- Essai CBR
- Essai LOS ANGELOS
- Essai MICRO- DEVAL
- Masse volumique des gravillons
- Masse volumique réelle des sables

- ✓ **Les essais sur les bitumes :**
 - Pénétration à l'aiguille à 25°C
 - Point de ramollissement billes et anneaux
 - Densité relative à 25°C
 - ❖ Autre essais :
 - Essai de performance mécanique (essai MARSHALL)

II. Les essais d'identification :

1. Teneur en eau :

A. Définition :

La teneur en eau pondérale d'un sol (w) est le rapport de la masse de l'eau interstitielle (m_w) par la masse des grains solides (m_d)

$$W = m_w / m_d$$

B. Principe de la méthode :

Cette méthode permet, avec d'autres paramètres d'apprécier l'état dans lequel se trouve le sol. Elle consiste en la mesure de la perte d'eau d'un échantillon de matériau provoquée par étuvage. Les masses de l'échantillon et de l'eau évaporée sont mesurées par pesage.

C. Méthode d'analyse

La perte d'eau d'un échantillon de sol est déterminée par étuvage. L'échantillon est pesé avant et après l'avoir étuvé et le calcul de la différence des masses humide et sèche est effectué afin d'obtenir la masse d'eau libérée. L'étuvage est réalisé pendant 24h dans une étuve à 105°C dans le cas d'un sol insensible à la chaleur, ou à 50°C dans le cas d'un sol sensible à la chaleur (sol gypsifère, sol contenant des matières organiques etc.). L'échantillon est soumis à 2 pesées, séparées par un intervalle de 4h à 105°C ou de 8h à 50°C. Il est considéré sec lorsque la différence entre les deux pesées est inférieure à 2‰.

2. La masse volumique des sols fins :

A. Définition :

La masse volumique des sols est un paramètre d'état c'est-à-dire qu'elle définit l'état des sols. Combinée avec la teneur en eau, elle permet de déterminer l'indice des vides, la porosité, le degré de saturation ainsi que la masse volumique du sol sec.

La masse volumique d'un sol (ρ) est le rapport de la masse (m) du sol par son volume total (V_t) occupé.

$$\rho = m / V_t$$

B. Principe de la méthode :

L'essai consiste à mesurer successivement les paramètres masse et volume qui caractérisent un même échantillon de sol.

La masse de l'échantillon est mesurée par pesage. On cherche à déterminer le volume par Des deux méthodes suivantes :

- a. **Méthode géométrique** : le volume est calculé à partir des données géométriques de la trousse coupante ou du moule qui contient l'échantillon.
- b. **Méthode par pesées** : le volume est déduit de pesées dont un est faite après immersion de l'échantillon dans l'eau.
- c. **Méthode d'analyse** : L'échantillon soumis à essai doit avoir une forme simple afin de pouvoir être paraffiné facilement. Il sera au besoin taillé afin d'avoir une masse comprise entre 0,1 et 0,5 kg.
On mesure la masse de la prise d'essai humide (m_1), et après paraffinage, on mesure sa masse (m_2).
L'échantillon est alors immergé dans l'eau en mesurant sa masse (m_3).

3. La masse volumique des particules solides des sols :**A. Définition :**

La masse volumique des particules solides du sol ρ_s est le rapport de la masse de ces particules solides m_s par leur volume V_s

$$\rho_s = m_s / V_s$$

B. Principe de la méthode :

La masse des particules solides est obtenue par pesage et leur volume est mesuré au pycnomètre.

C. Procéder de 2 manières :

- méthode de l'éprouvette graduée.
- méthode de pycnomètre (très précise que la méthode de l'éprouvette gradué).

D. Méthode d'analyse :

La prise d'essai de l'échantillon est de 50g, préalablement passée au tamis d'ouverture de maille carrée = 2mm. On procède ensuite au séchage en mettant la prise d'essai à l'étuve au-delà de 12h, jusqu'à ce que la différence de masse entre deux pesées successives (à 4h d'intervalle si $T=105^\circ\text{C}$ ou 8h si $T=50^\circ\text{C}$) ne dépasse pas 2‰. La prise d'essai est divisée par deux puisqu'on effectue deux essais par échantillon.
On introduit chaque prise d'essai dans un pycnomètre et on note la masse totale avant désaéragé (m_2). Il est à noter que le pycnomètre a été préalablement étalonné par pesage, étant vide avec son bouchon (m_1).

On remplit le ballon du pycnomètre d'eau distillée, en prenant soin de chasser les bulles D'air, puis on le met dans une cloche sous vide pendant au moins 30min, jusqu'à

disparition complète de tout dégagement gazeux. Après remise à la pression atmosphérique du ballon et de son contenu, on contrôle visuellement qu'après agitation, aucune bulle de gaz ne se dégage. Si ce n'est pas le cas, le processus est renouvelé.

Une fois le dégazage terminé, on remet le bouchon à sa place et on remplit, à l'eau distillée, le tube du bouchon jusqu'au repère et on mesure la masse (m_3).

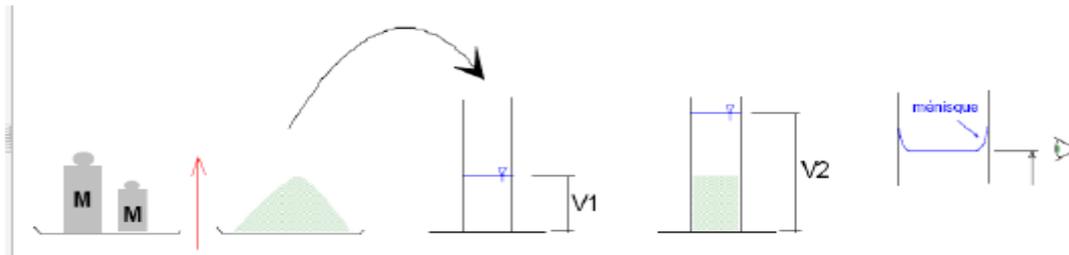


Figure 26: Méthode de l'éprouvette

4. Equivalent de sable :

A. Définition :

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté d'un sable, il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

Cet essai s'applique aux sols sableux contenant très peu de particules fines. Il est donc surtout utilisé pour les granulats routiers et les sables pour béton.

B. Matériels utilisés

- Eprouvettes en plexiglas avec deux traits repères, et leur bouchon.
- Entonnoir pour introduction du sable.
- Bonbonne de 51 pour la solution la vente avec son bouchon le siphon et tube souple de 1.5 m.
- Tube laveur métallique plongeant.
- Machine agitatrice ;
- Règle métallique pour la mesure des hauteurs de sable et flocculat.
- Piston taré à masse coulissant de 1 kg pour la mesure d'ES.

C. Mode opératoire

- Peser 120g de sable 0/5mm.
- Remplir l'éprouvette jusqu'à 1^{er} repère.
- Verser la quantité dans l'éprouvette à l'aide d'entonnoir et on éliminer les bailles d'air.
- L'essai repose 10 min et mettre le bouchon.
- Mettre l'éprouvette dans l'agitateur régler 175 v₀ et vient 45 secondes.
- L'appareille s'arrête automatiquement puis on lave et on remplir l'éprouvette jusqu'à 2^{ème} repères.
- L'essai repose 20 min son vibration
- Mesurer H₁ (hauteur flocculat) et H₂ (hauteur de sable).



Figure 27 : Les phases de l'essai d'équivalente de sable

ES au piston	Nature et qualité du sable
ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
$60\% \leq ES < 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$70\% \leq ES < 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES $\geq 80\%$	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Tableau 31 La nature et la qualité du sable

5. Analyse granulométrique :

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

A. Principe d'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis et passoirs reposants sur un fond de tamis un matériau en plusieurs classes de tailles décroissantes.

B. But de l'essai :

C'est un essai qui a pour objet de la détermination en poids des éléments d'un sol (matériau) suivant leurs dimensions (cailloux, gravier, gros sable, sable fin, limon et argile).

C. Mode opération :

- Avant d'entreprendre l'essai on sélectionne les tamis en fonction de la dimension maximale des grains du sol étudié.
- On lave le contenu du tamis en projet de l'eau pluie à faible débit en brossant les matériaux jusqu'à ce qu'il ne reste que les éléments propres.
- Pèse la quantité de l'échantillon de chaque sable masse = $0.2 * D$
- Versé la quantité de sable sur le tamis supérieure ,même le couvercle en haut et le fond en bas.
- Réglé la tamiseuse 40(amplitude),le temps 20min et mette la série sur la tamiseuse puis le faire marché dans l'ordre mailles décroissantes et agiter manuellement cette colonne de tamis cette colonne est constituée par l'emboitement des tamis en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes.
- Agiter manuellement cette colonne ,puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle , on agite chaque tamis en donnant à la main des coups régulière sur le tamis immédiatement.
- Peser le refus du tamis ayant la plus grand maille, soit R1 la masse de ce refus.
- Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inferieur, ajouter le refus obtenus à R1 et peser l'ensemble.
- Soit R2 la masse des deux refus cumulés.
- Pour suivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses, des différents refus R3, R4,...Rn
- Peser s'il y en a, le tamisât au dernier tamis soit Tn sa masse.
- En fin les calcules :
 - o Les résultants des déférentes pèses cumulées sont portés sur une feuille d'essai
 - o Calculé les refus cumules (GR), refus cumule(%),tamisat (%).
 - o Tracer la courbe granulométrique pour chaque série (sable) puis la comparée avec le fuseau de sable 0/5 pour voir le type de sable.

Pourcentage massique de refus : $100 - P = 100 R/m_s$

Où : **R** : refus cumulés ;

m_s : masse totale initiale de l'échantillon de sol sec. $P = 100 (1 - R/m_s)$



Figure 28: les phases de l'essai analyse granulométrique

6. Limites d'Atterberg :

A. Définitions :

sont des teneurs en eau pondérales, caractéristiques du sol. Elles correspondent à des comportements particuliers de celui-ci sous l'action des variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400 μ m.

On note :

✓ **La limite de liquidité (wl)** : est une valeur de teneur en eau qui indique le passage du sol à l'état liquide, elle est obtenue théoriquement par une fermeture correspondant à N=25chocs.

$$W_l = W_x(N/25)^{0.021}$$

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

N: nombre de coups.

✓ **La limite de plasticité (wp)**: teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide - le sol est durcit et se fissure.

✓ **Indice de plasticité (Ip)**: est une caractéristique du sol, indépendante de sa teneur en eau (cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité),

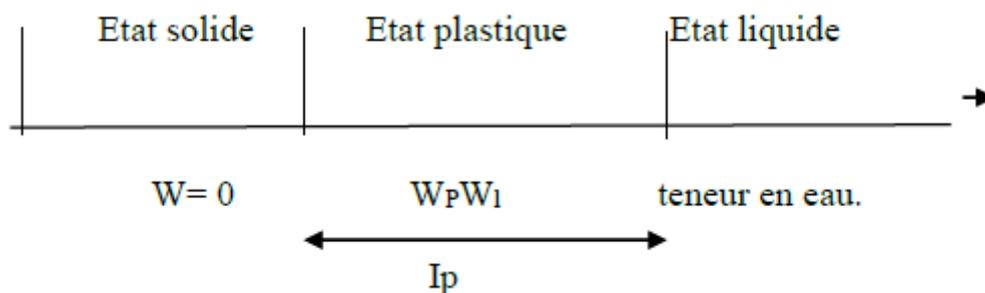
$$I_p = W_l - W_p$$

✓ **Indice de consistance(I_c)** : On appelle indice de consistance I_c le rapport

$(\omega_l - \omega) / I_p$,

$$I_c = (\omega_l - \omega) / I_p$$

ω : étant la teneur en eau du sol à l'état naturel.



Ces limites sont très utiles pour identifier et classer un sol.

7. L'essai s'effectue en 2 phases:**A. principe de l'essai:**

- recherche de la teneur en eau w_i pour laquelle une rainure de dimension normalisée, pratiquée dans le sol disposé dans la coupelle de Casagrande, se ferme sous l'action de 25 chocs appliqués de manière normalisée. Recherche de la teneur en eau w_p pour laquelle un cylindre de sol de diamètre 3 à 4mm et de 10 à 15cm de longueur.
- confectionné manuellement, se fissure lorsqu'on le soulève.

B. Matériels :

Etuve, balance 400 gr, Appareil de Casa grande, plaque de marbre.

C. But de l'essai :

Cet essai permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action de la teneur en eau, il se fait uniquement sur les éléments fins du sol (caractériser les sols fins).

D. Domaine d'application :

L'essai s'applique aux sols fins pendant les opérations de terrassement dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de forme).

8. Essai au bleu de méthylène :**A. Définition :**

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) constitue un paramètre d'identification qui mesure globalement la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans un sol ou un matériau rocheux.



Figure 29 :Appareillage de mesure de VBS.

B. Principe de la méthode :

Cet essai consiste à mesurer la quantité et l'activité argileuse d'un sol par dosage de la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur la prise d'essai. Cette valeur est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur au bleu du sol est directement liée à la surface des particules constituant le sol, laquelle est régie par l'importance et l'activité des minéraux argileux présents dans la fraction fine du sol.

La VBS correspond à la quantité de bleu de méthylène absorbée par 100g de particules fines. L'absorption est considérée réalisée lorsqu'apparaît autour de la tache sombre une auréole claire persistante.

C. Méthode d'analyse :

Après avoir déterminé la teneur en eau de l'échantillon, on sépare, de celui-ci, par tamisage, la fraction 0/5mm et on détermine la proportion C de cette fraction contenue dans la fraction 0/50mm. On récupère ensuite une masse m_{h1} allant de 30 à 60g dans le cas des sols très argileux à argileux et de 60 à 120g dans le cas des sols moyennement à peu argileux. On introduit la prise d'essai dans un bêcher de 3000ml et où on ajoute 500ml d'eau distillée. La solution est homogénéisée par agitation mécanique pendant 5min à 700rpm. Après, on verse à l'aide du dispositif de dosage 5ml de la solution de bleu de méthylène. Au bout d'une minute, on prélève, à l'aide d'une baguette en verre, une goutte de suspension et on la dépose sur un papier filtre. La tache apparaît colorée en bleu sombre entouré d'une zone humide incolore. Il faut répéter l'opération avec des injections successives et des prélèvements de taches chaque minute, et ce jusqu'à apparition d'une auréole bleue autour de la tache bleue sombre. L'essai est considéré comme terminé quand l'auréole persiste, si elle disparaît avant la 5ème minute, on procède par injection de 2ml de bleu de méthylène chaque minute jusqu'à ce que l'auréole persiste durant les 5min.

Les valeurs de bleu (exprimé en grammes de bleu pour 100g de matériau sec) sont comme suit :

Pour $D_{max} > 5 \text{ mm}$

$$\text{VBS} = 100.B/m_0$$

Pour $D_{max} < 5 \text{ mm}$

$$\text{VBS} = 100.B.C/m_0$$

B : masse de la solution du bleu utilisée ($B = V \cdot 0,01$) g ;

V : volume totale de la solution du bleu utilisée cm^3 ;

m_0 : masse sèche de la prise d'essai ($m_0 = m_{h1}/(1+w)$) ;

m_{h1} : masse humide de l'échantillon constituant la prise d'essai ;

C : la proportion de la fraction 0/5mm contenue dans la fraction 0/50mm du matériau sec.

Le résultat, VBS, s'exprime en grammes de bleu pour 100 g de sol.

Remarques : Les ordres de grandeur sont les suivants :

VBS	Type de sol
VBS < 0,2	sols sableux
0,2 < VBS < 2,5	sols limoneux
2,5 < VBS < 6	sols limono argileux
6 < VBS < 8	sols argileux
VBS > 8	sols très argileux

Tableau 32 Classification des sols selon la valeur de VBS.

III. Les essais mécaniques :

- **Les essais sur le sol support :**

Pour connaître les caractéristiques physiques du sol de projet routier il faut définir plusieurs essais, nous avons fait deux essais sont :

- L'essai CBR
- L'essai Proctor modifié

1. Essai de Proctor

Les remblais posent à l'ingénieur routier un certain nombre de problèmes, d'où on peut citer :

- La stabilité des talus.
- La résistance des talus à l'érosion.
- Le tassement.
- Le compactage.

L'étude du compactage s'effectue à l'aide d'un damage normalisé connu sous le nom de « l'essai Proctor »

A. But de l'essai

L'essai Proctor a pour but de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximum. La teneur en eau ainsi déterminée est appelée « teneur en eau optimum Proctor ».

B. Matériels utilisés

- L'étude pratique de cet essai nécessite l'usage du matériel suivant :
 - Un moule Proctor : qui est un tube métallique cylindrique, ouvrable en deux demi-coquilles que l'on peut fixer sur une base, et muni d'une hausse.
- . **Dame** : Deux dames sont utilisées en fonction de l'intensité de compactage désiré :

la dame P.N. pour l'essai PROCTOR NORMAL.

la dame P.M. pour l'essai PROCTOR MODIFIÉ.

- Une roteuse métallique amovible.
- Dame dite : « dame Proctor normal » constituée d'un mouton cylindrique de $(51 \pm 0,1 \text{ mm})$ de diamètre.
- Une règle à araser constituée par une lame en acier.
- Une balance.



Figure 30: les phases de l'essai Proctor

Type	Diamètre ϕ (mm)	Masse (g)	Hauteur de chute (mm)
P.N	50	2490	305
P.M	50	4535	457

Tableau 33. Les caractéristiques de la dame (PN, PM).

C. Mode opératoire

- Prendre environ 5.5 kg de notre matériau ;
- Ajouter pour chacun des matériaux une quantité d'eau pour avoir les teneurs en eau (4%,6%, 8%, 10%, 12% et 14%...);
- Placer la rehausse sur le moule en 5 couches et donner 55 coups pour chaque couche
- Compacter le sol en trois 05 couches de marnes la dernière couche déborde légèrement sur le haut du moule ;

- Enlever la rehausse et araser soigneusement le haut du moule ;
- Peser le moule avec le sol ;
- Prendre de chaque côté du moule (au-dessus et au-dessous) de ce moule une quantité de sol pour la détermination de la teneur en eau ;
- Répéter l'essai pour des teneurs en eau croissante ;
- Mettre les tares dans l'étuve de 105°C pendant 24 heures.

Caractéristique de l'essai	Essai Proctor normal (Moule PROCTOR)	Essai Proctor modifié (moule C.B.R.)
Masse de la dame (kg).	2,490	4,535
Hauteur de chute (mm).	305	457
Nombre de couches pour le remplissage du moule.	3	5
Nombre de coups par couches.	25	55
Diamètre du moule (mm).	101,6	152

Tableau 34 Les caractéristiques de deux essais (Proctor normal, Proctor modifié).

2. Essai de CBR

A. Principe de l'essai :

On compacte avec une dame standard dans un moule standard, l'échantillon de sol recueilli sur le site, selon un processus bien déterminé, à la teneur en eau optimum (Proctor modifié) avec trois énergies de compactage. 25 c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre jours. Les passants sur le tamis inférieur à 20 mm dans le moule CBR.

B. But de l'essai :

L'essai CBR est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.

Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (IPI, CBR) qui permettent :

- D'établir une classification des sols (GTR)
- D'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI)
- Déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente \Rightarrow épaisseur diminue)

C. Matériels utilisé

- Etuve.
- Balance 35 kg.
- Balance 400 g.
- Dame Proctor.
- Moule CBR complet avec surcharge.
- plateau de gonflement.
- comparateur.
- Bac d'immersion.
- Presse CBR.
- Anneau dyn. 30 kN.
- Anneau dyn 60.



Figure 31 : les phases de l'essai CBR en laboratoire :

- **Identification des constituants granulaires :**
- ❖ **Caractéristiques intrinsèques :**

Les caractéristiques intrinsèques ont concernés :

3. La résistance au choc : essai LOS ANGELES (NF P 18-573) :

A. But de l'essai :

Mesure de la résistance d'une fraction granulaire à la fragmentation par chocs.

B. Matériels utilisé:

- Machine Los Angeles.
- Boulets.
- Etuve.
- Balance 15 kg .
- Tamis 1.6 mm

C. Mode opératoire :

Un échantillon de fraction d/D mm et de masse sèche à 5000g est placé dans un tambour contenant 11 boulets d'acier.

Au cours de l'essai, le tambour effectue 500 tours à une vitesse de rotation comprise entre 31 et 33 tours/min.

La friction des granulats entre eux et des granulats contre les boulets et les parois du tambour provoque leur dégradation plus ou moins accrue.

Le Coefficient Los Angeles (LA) est un pourcentage en masse du rapport des éléments passant au tamis de 1.6 mm séchés après lavage et la masse sèche initiale des granulats intacts.



Figure 32: les phases de l'essai de LOS ANGELOS

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge(g)	Nombre de rotations
4 – 6.3	7	3080	500
6.3 – 10	9	3960	500
10 – 14	11	4840	500
14 – 25	11	4840	500
16 - 31.5	12	5280	500
25 - 50	12	5280	1000

Tableau 35 : Détermination du nombre de boules, de la masse de la charge et du nombre de rotation en fonction de la classe granulaire.

Finalement, le refus est lavé puis séché à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.

Expression des résultats :

Le coefficient Los Angles est calculé à partir de la formule suivante :

$$LA = (m/M) \times 100$$

Avec : $m = M - m$

m: masse sèche de la fraction de matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm.

Le résultat est arrondi à l'unité la plus proche.

Coefficient de los angles	granulats
LA < 20	très dures
20 < LA < 25	dures
25 < LA < 30	asse dures
30 < LA < 40	Mais dures
40 < LA < 50	Tender

Tableau 36 Détermination de type de granulat en fonction du coefficient de los angles

4. La résistance à l'usure en présence d'eau : essai MICRO-DEVAL(NF P 18-572) :

A. But de l'essai:

Il a pour but de mesurer la résistance à l'usure par frottement des matériaux.

Une fraction d/D du matériau est soumise à une usure produite par frottements réciproques des grains en présence d'eau et d'une charge de billes dans un cylindre en rotation.

Cet essai peut être réalisé par voie sèche ou humide.

B. Matériels utilisés :

- Machine MICRO DEVAL.
- Billes d'acier.
- Etuve.
- Balance 15 kg .
- Tamis 1.6 mm

C. Mode opératoire

- Prise d'essai de 500 g lavée et séchée.
- Mise en place dans un tambour avec 5000 g de billes métalliques calibrées et 2.5 litres d'eau.
- Appliquer une rotation de 12 000 tours au tambour à la vitesse de 100 tours/minute.
- Retirer alors la prise d'essai, pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.6 mm.

- Peser le refus à ce tamis après séchage (M, exprimé en g).
 - La résistance à l'usure de l'échantillon est exprimée par un coefficient dit : «coefficient Deval».
- Le coefficient Micro-Deval MDE est égal à :

$$\text{MDE} = (\text{masse seche (g) du tamisat à 1.6mm après essai}) / 500 \text{ en \%}$$

MDE :est l'un des indicateurs permettant d juger la résistance au trafic de chantier des matériaux granulaire non traités utilises en couche de forme.



Figure 33: les phases de l'essai MICRO-DEVAL

IV. Le bitume :

L'analyse du bitume au laboratoire a concerné les caractéristiques suivantes :

- Pénétrabilité à l'aiguille à 25° c (norme T 66-004)
- Point de ramollissement billes et anneaux (norme T 66-008)
- Densité relative à 25°c (norme T 66-007)

1. Formulation de mélange bitumineux :

La démarche suivie est suivante :

- Choix de la formule granulaire.
- Détermination des teneurs en bitume.
- Essai de performances mécaniques.

2. Les essais sur les matériaux de corps de chaussée :

Pour le corps de chaussée nous avons fait une étude de formulation de béton bitumineux 0/14(couche de roulement) et grave bitume 0/20 (couche de base)

Cette étude de formulation permet de connaître le dosage des différents composants de granulat et de liant tout en assurant les performances permettant d'avoir un compromis entre la maniabilité (évolution de pourcentage du vide), la compacité, l'adhésivité, la rugosité, et surtout la résistance à l'orniérage.

A. Les matériaux granulaires :

Constituants
Gravillon 15/25
Gravillon 8/15
Gravillon 3/8
Sable 0/3

3. Grave bitume 0/20 :

A. Choix de la formule granulaire :

L'objectif visé est de maîtriser la disposition granulaire du squelette minérale et choisir une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait conférer une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné.

Donc, nous avons choisi d'étudier un grave bitume (0/20 catégorie C) qui sera utilisée en couche de base.

Il s'agit d'un mélange composé de quatre classes granulaires. Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/20.

- La composition obtenue est la suivante :

Fraction granulaire	Pourcentage pondérale (%)
15/25	20.0
8/15	20.0
3/8	20.0
0/3	40.0
/	/

Tableau 37 : la formule granulaire de grave bitume 0/20

La courbe granulométrique du mélange issu de cette formule s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique d'un grave bitume (0/20).

La disposition granulaire du squelette minérale est donnée dans l'annexe.

- Détermination des teneurs en bitume :

Les teneurs en bitume sur lesquelles porte l'étude sont évaluées à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ liant} = k.a.5.\sqrt{\Sigma}$$

Avec : Σ : surface spécifique conventionnelle

Dont : $\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135 f$ en m^2/fg avec les proportions pondérales suivantes :

G = est la proportion des éléments supérieur à 6.3 mm

S = est la proportion des éléments compris entre 6.3 et 0.315

s = est la proportion des éléments compris entre 0.315 et 0.08

f = est la proportion des éléments passants au tamis de 0.08

k = module de richesse (pour grave bitume 0/20 varient entre 2.45 et 2.90)

α : coefficient correcteur ; dont $\alpha = 2.65 / MVRg$

Surface spécifique en $m^2/kg = 11.16$

Formule	A	B	C
K	2.45	2.6	2.75
% de liant	3.96	4.2	4.44

Tableau 38 Formule de module de richesse K

4. Essai de performances mécanique :

D'après l'analyse des caractéristiques obtenues en fonction de la variante du teneur en liant, il ressort que la valeur optimale est de **4.2** ; l' toléré de **5%**.

Les résultats des **essais MARSHALL** regroupés dans le tableau situé en annexe

V. Application à notre Projet :

• Résultats des essais

1. Au Laboratoire :

La réalisation des essais en laboratoire, cités plus haut ont été effectuée conformément au programme établi et transmis par le bureau d'étude.

2. Mise en rapport

Le rapport de puits d'exploration présente les renseignements obtenus sur le site ainsi qu'une indication sur la profondeur des échantillons sur lesquels les différents essais de laboratoire ont été effectués.

Les échantillons acheminés au laboratoire ont été soumis à des :

Teneur en eau naturelle	$W_{nat.}$
Densité humide	γ_h
Densité sèche	γ_d
Degré de saturation	S_r
Analyse granulométrique	D_{max} ; % < 2 μm % < 80 μm
Limites d'Atterberg	W_l ; L_l ; I_p
Essai Proctor modifié	γ_{dmax}
Essai CBR	I_{CBR}

Tableau 39 : Les essais de laboratoire.

- **Résultats des essais physiques**

Puits N°	Profondeur (m)	Granulométrie (%)			Limites d'Atterberg		Classification (GTR)
		D_{max}	< 2 mm	< 80 μm	W_l	I_p	
1	0.30 – 1.50	31.5	90	59	33.91	17.24	A ₂
2	0.70 – 1.50	25	89	55	33.95	17.29	A ₂
3	0.50 – 1.50	20	88	59	35.22	15.85	A ₂
4	0.40 – 1.50	40	89	58	35.69	22.77	A ₂
5	0.50 – 1.50	25	90	63	33.29	12.58	A ₂

Tableau 40 : Résultats des essais physiques

Le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme (juillet 2000, 2^{ème} Edition) classe ces sols en classe A₂ (I_p entre 12 et 25), soit des sols fins et des sables argileux.

Puits	Profondeur (m)	W_{nat} (%)	γ_h (t/m ³)	γ_d (t/m ³)	S_r (%)
1	0.30 – 1.50	9.14	1.97	1.80	49.51
2	0.70 – 1.50	9.58	1.96	1.79	51.05
3	0.50 – 1.50	10.25	1.95	1.77	52.72
4	0.40 – 1.50	9.72	1.78	1.62	39.41
5	0.50 – 1.50	9.84	1.85	1.68	43.93

Tableau 41 : Résultat des essais Teneur en eau naturelle

- **Résultats des essais mécaniques**

Puits N°	Profondeur (m)	Proctor Densité maximale Pd (t/m ³)	Proctor W _{opt} (%)	Indice CBR	Gonflement relatif (%)
1	0.30 – 1.50	1.81	12.35	4	0.70
2	0.70 – 1.50	1.83	12.2	6	0.78
3	0.50 – 1.50	1.78	10.4	6	0.52
4	0.40 – 1.50	1.85	12.5	5	0.35
5	0.50 – 1.50	1.83	14.25	6	2.26

Tableau 41 : Résultat des essais mécaniques

3. Classes de portance : Le sol-support de chaussée à l'étude est classés selon la portance à long terme basée sur la valeur CBR Donc on a :

- **S4:** CBR < 5.
- **S3:** $5 \leq \text{CBR} < 10$.
- **S2:** $10 \leq \text{CBR} < 25$.
- **S1:** $25 \leq \text{CBR} < 40$.
- **S0:** $40 \leq \text{CBR}$.

❖ **CONCLUSION**

A la lumière des résultats obtenus au droit des essais au laboratoire et in situ, on peut classer le sol sous **classe A2, Argile peu plastique**. Généralement le sol a une faible portance sur toute la section d'étude, les valeurs CBR=5 utilisées pour la classification de sol-support sont basées sur les résultats des sondages de reconnaissance (puits), essais et analyses effectués dans la zone. L'analyse de ces données indique que les sols-supports sur lesquels sera construit le futur projet routier est de **type S3**.

chapitre-7

Assainissement

Introduction :

L'assainissement routier est une composante essentielle de la conception, de la réalisation et de l'exploitation des infrastructures linéaires.

L'eau est le premier ennemi de la route car elle pose des grands problèmes multiples et complexes sur la chaussée, Ce qui met en jeu la sécurité de l'utilisateur (glissance, inondation diminution des conditions de visibilité, projection des gravillons par désenrobage des couches de surface, etc.) et influe sur la pérennité de la chaussée en diminuant la portance des sols de fondation.

Les types de dégradation provoquée par les eaux sont engendrés comme suit :

Pour les chaussées :

- Affaissement (présence d'eau dans le corps de chaussées).
- Désenrobage.
- Nid de poule (dégel, forte proportion d'eau dans la chaussée avec un trafic important).
- Décollement des bords (affouillement des flancs).

Pour les talus :

- Glissement.
- Erosion.
- Affouillements du pied de talus.

Les études hydrauliques inventorieront l'existence de cours d'eau et d'une manière générale des écoulements d'eau en surface. Elles détermineront ensuite l'incidence du projet sur ces écoulements et les équipements à prendre en compte pour maintenir ces écoulements.

I. Objectif de l'assainissement :

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning).
- Le maintien de bonne condition de viabilité.
- Réduction du coût d'entretien.
- Eviter les problèmes d'érosions.
- Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers le corps de chaussée (danger de ramollissement du terrain sous jacent et effet de gel).

- Evacuation des eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme (danger de diminution de l'importance de celle-ci et l'effet de gel).

II. Assainissement de la chaussée :

La détermination du débouché à donner aux ouvrages tels que dalots, ponceaux, ponts, ...etc. dépend du débit de crue qui est calculé d'après les mêmes considérations. Les ouvrages sous chaussée les plus courants utilisés pour l'évacuation des petits débits sont les dalots et buses à section circulaire.

Parmi les ouvrages destinés à l'écoulement des eaux, on peut citer ces deux catégories :

- Les réseaux de canalisation longitudinaux (fossés, cuvettes, caniveaux).
- Ouvrages transversaux et ouvrages de raccordement (regards, décente d'eau, tête de collecteur et dalot).

Les ouvrages d'assainissement doivent être conçus dans le but d'assainir la chaussée et l'emprise de la route dans les meilleures conditions possibles et avec un moindre coût.

1. Fossé de pied du talus de déblai :

Ces fossés sont prévus au pied du talus de déblai afin de drainer la plate-forme et les talus vers les exutoires.

Ces fossés sont en terre et de section trapézoïdale. ils seront bétonnés lorsque la pente en profil en long dépasse les 3 %.

2. Fossé de crête de déblai :

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penchée vers l'emprise de la chaussée, afin de protéger les talus de déblais des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher ces eaux d'atteindre la plate-forme.

3. Fossé de pied de talus de remblai :

Le fossé est en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement).ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plate-forme et aussi de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée, en remblai, par l'intermédiaire des descentes d'eau.

4. Drain :

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainante longeant l'autoroute. Ce drain est constitué par un matériau graveleux comportant en son centre un tuyau circulaire en plastique perforé à sa génératrice supérieure à 150 mm de diamètre. Ce drain est positionné sous le fossé trapézoïdal et à la limite des accotements.

Les eaux collectées par le drain sont rejetées dans des regards de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet.

5. Descentes d'eau :

Dans les sections d'autoroute en remblai, lorsque la hauteur de ces remblais dépasse les 2.50 m, les eaux de ruissellement de la chaussée sont évacuées par des descentes d'eau.

Elles sont espacées généralement tous les 50 m lorsque la pente en profil en long est supérieure à 1%. Lorsque la pente est inférieure à 1 %, leur espacement est varié entre 30 m et 40 m.

III. Définitions des termes hydrauliques :

1. Bassin versant :

C'est un secteur géographique qui est limité par les lignes de crêtes ou lignes de partage des eaux. C'est la surface totale de la zone susceptible d'être alimentée en eau pluviale, d'une façon naturelle, ce qui nécessite une canalisation en un point bas considéré (exutoire).

2. Collecteur principal (canalisation) :

C'est la Conduite principale récoltant les eaux des autres conduites (dites collecteurs secondaires), recueillant directement les eaux superficielles ou souterraines.

3. Chambre de visite (cheminée) :

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre leur contrôle et le nettoyage.

Les chambres de visites sont à prévoir aux changements de calibre, de direction ou de pente longitudinale de la canalisation, aussi qu'aux endroits où deux collecteurs se rejoignent.

Pour faciliter l'entretien des canalisations, la distance entre deux chambres consécutives ne devrait pas dépasser 80 à 100 m.

4. Sacs :

C'est un ouvrage placé sur les canalisations pour permettre l'introduction des eaux superficielles. Les sacs sont fréquemment équipés d'un dépotoir, destiné à retenir des déchets solides qui peuvent être entraînés, par les eaux superficielles.

5. Fossés de crêtes :

C'est un outil construit à fin de prévenir l'érosion du terrain ou cours des pluies.

6. Décante d'eau :

Elle draine l'eau collectée sur les fossés de crêtes.

7. Les regards :

Ils sont constitués d'un puits vertical, muni d'un tampon en fonte ou en béton armé, dont le rôle est d'assurer pour le réseau des fonctions de raccordement des conduites, de ventilation et d'entretien entre autres et aussi à résister aux charges roulantes et aux poussées des terres.

IV. Dimensionnement du réseau d'assainissement à projeter :**1. Introduction**

Dans ce qui suit on présente les principaux paramètres hydrologiques nécessaires au dimensionnement des ouvrages projetés dans le cadre de : Etude de dédoublement de la RN 28 Sur 17 Kms du PK 92+000 Au PK 109+000.

L'étude hydrologique détaillée consiste à l'estimation des différents apports hydriques permettant le dimensionnement hydrotechnique des ouvrages hydrauliques arrêtés.

Cette étude tient compte des analyses morphologiques et des données pluviométriques sur la base desquelles sont déduits les différents facteurs, coefficients et paramètres qui sont indispensables pour l'étude.

Les supports cartographiques exploités pour cette étude sont les Cartes Apportées par le système SRTM.

2. Aperçu hydrographique

La section d'étude est traversée par un réseau hydrographique composé de plusieurs Chaabats à écoulement torrentiel temporaire.

Les bassins versants qui alimentent ces Chaabats se caractérisent par une morphologie pentue en amont et pratiquement plate en aval. Ces bassins sont principalement occupés par des terres de pâturage, terres agricoles et quelques zones hydro-morphes.

3. Détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants

La future route est projetée sur les cartes de système SRTM où seront délimités les bassins versants et déterminées les surfaces, les longueurs des talwegs et les déclivités en se servant du logiciel Globale Mapper.

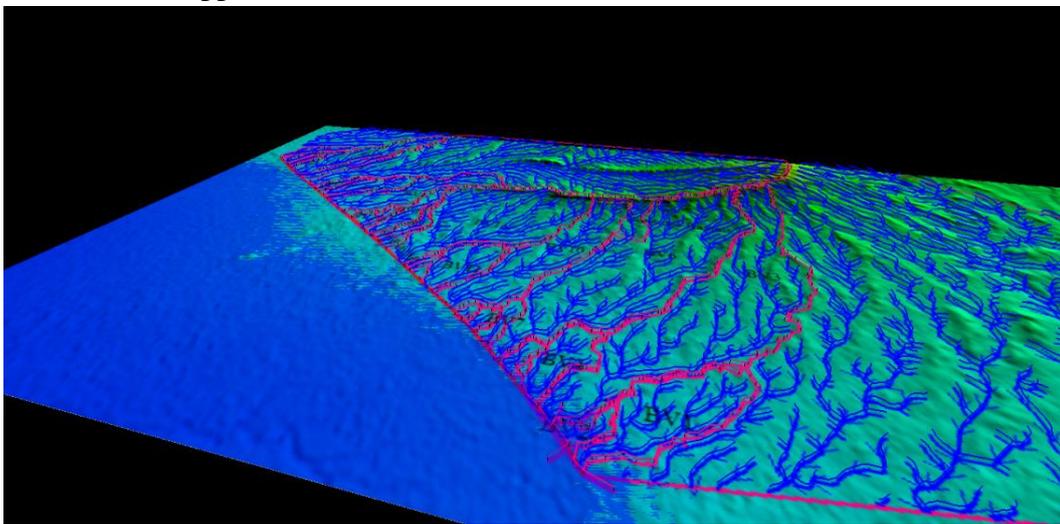


Figure 37 A Schéma de la zone du cours d'eau inondé pour le projet

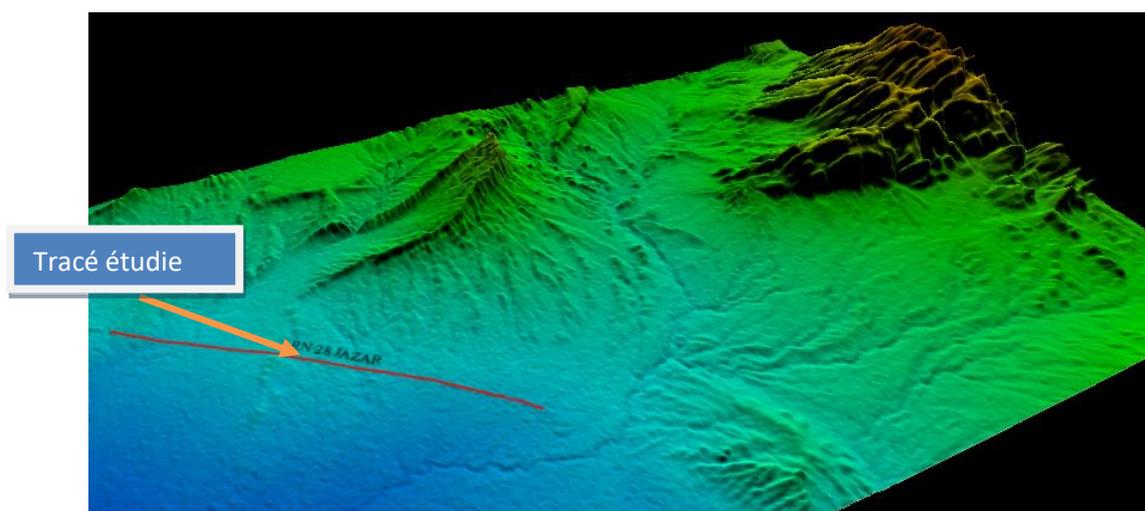


Figure 37 B : La localisation du projet dans la topographie du cours d'eau

4. Détermination des débits de crue

Les débits de crue sont calculés pour des bassins versants de superficie inférieure à 200 Km² au moyen de la méthode rationnelle dont l'expression usuelle est donnée par la formule :

$$Q = K \cdot C \cdot I \cdot A \quad \text{où}$$

Q₁₀ : Débits de crue de fréquence déterminée (en m³/s).

K : Coefficient dépend des unités retenues K = 0,278.

C : Coefficient de ruissellement.

I : Intensité moyenne de la précipitation en (mm/h).

A : Superficie du bassin versant (en km²).

A. Choix de la période de retour

La période de retour T à prendre en compte doit, faire l'objet d'une analyse mettant en regard le coût d'investissement de l'infrastructure avec les conséquences d'un débordement pour l'usager, les riverains, les ouvrages routiers (perturbations locales et temporaires de la circulation et situations à risques) et enfin l'impact sur le milieu naturel.

En l'absence de ce type d'analyse, il est recommandé d'adopter, une période de retour centennale (100 ans)

B. Le coefficient de ruissellement

Le coefficient C₁

Le coefficient C₁ dépend de la pente de talweg :

P < 3,5 %	0,01 – 0,03 – 0,05
3,5 % < P < 11 %	0,06 – 0,08 – 0,10
11 % < P < 35 %	0,17 – 0,16 – 0,20
P > 35 %	0,22 – 0,26 – 0,30

Les coefficients C₂ et C₃ :

Les coefficients C₂ et C₃, qui dépend de la nature du sol et de sa couverture végétale, sont homogènes pour de grand de zones. Leurs valeurs sont les suivantes :

C₂ dépend de la nature du sol :

- Imperméable	0,22 – 0,26 – 0,30
- Peu perméable	0,10 – 0,15 – 0,20
- Perméable	0,06 – 0,08 – 0,10
- Très perméable	0,03 – 0,04 – 0,05

C₃ dépend de la couverture végétale :

- Rocheux	0,22 – 0,26 – 0,30
- Prairie	0,17 – 0,21 – 0,25
- Labours – champs	0,07 – 0,11 – 0,15
- Forêts et territoire sableux	0,03 – 0,04 – 0,05

Le Coefficient de ruissellement est donné par la formule suivante :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

C. Intensité moyenne de pluie

La loi Intensité-durée est établie à partir des relevés des pluviographes, ensuite traitée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) par des méthodes statistiques.

L'ajustement de ces séries de données et les pluies journalières se fait avec la loi de Gumbel.

L'intensité $i(T, t_c)$ moyenne de la pluie sur le temps de concentration t_c pour une période de retour T est représentée par la formule suivante :

$$i(T, t_c) = \frac{P(t)}{P_{j_{max}}} = a \times t_c^{-b}$$

$P(t)$: Pluie de durée t (temps de concentration).

$P_{j_{max}}$: Pluie journalière maximale.

t_c : Temps de concentration.

a et b : Paramètres climatiques (coefficients de Montana).

La répartition statistique des précipitations temporelles est donnée par la relation :

$$Pt = P_{j_{max}} \left(\frac{t_c}{24} \right)^b$$

Les Eaux pluviales sont calculées à partir des données pluviométriques de la station d'Eldjazzar code 05-12.

STATION	CODE DE LA STATION	PRECIPIT-ANNUEL (P-A-M)	MOYENNE DES PLUIES JOURNALIER E PJ max	COEFF DE VARIATION (C.V)	EXPOSANT CLIMATIQUE (b)
ELDJEZZAR	05-12	299	31	0.37	0.24

Tableau 42 données pluviométriques de la station d'Eldjazzar

D. Le débit capable des ouvrages hydrauliques :

Il s'agit de choisir un ouvrage tel que ses caractéristiques géométriques, son implantation et son fonctionnement hydraulique assurent la transition du débit d'apport dans des conditions satisfaisantes: vitesse d'auto curage et la vitesse maximale vis-à-vis la durabilité des ouvrages.

Pour notre cas la formule de Manning-Strickler peut s'appliquer :

Avec :

$$Q_c = K \cdot R_h^{2/3} \cdot p \cdot S_m$$

Q_c : Débit capable en (m^3/s).

R_h : Rayon hydraulique en (m). Avec :

$$R_h = \frac{S_m}{p_m}$$

S_m : Section mouillée en (m²).

P_m : Périmètre mouillé en (m).

p : Pente du radier en (m/m).

K : Coefficient de rugosité de Manning.

Les valeurs des coefficients de rugosité (K) sont représentées dans le tableau suivant :

Ouvrage d'assainissement	En terre	Buses métalliques	maçonneries	Béton (Dalots)	Béton (Buses préfabriquées)
Coefficient de rugosité (k)	30	40	50	70	80

Tableau 43 : Les valeurs des coefficients de rugosité (K)

5. Section utile (S_u) :

Le taux de remplissage de l'ouvrage hydraulique pour le débit de projet ne doit pas excéder 0,8 pour laisser un tirant d'air correspond en toute rigueur à la hauteur libre entre la ligne d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage, Il doit être aménagé pour laisser le passage des corps flottants. Qui peuvent au passage sous un ouvrage hydraulique (pont, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.

S_u : Section utile de l'ouvrage $S_u = b \times H_u$ (m²)

b : Largeur de l'ouvrage (m).

H_u : Hauteur utile (m).

Avec :

Pour $H_t \leq 2,5$ m $\Rightarrow H_u = 80$ % de la hauteur totale (H_t).

Pour $H_t \geq 2,5$ m $\Rightarrow H_u =$ hauteur totale (H_t) - 0,50 m.

6. Résultats de calcul et dimensionnement

A. Assainissement transversal :

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Bassin versant N°	17	18	19	20	25	21	22	23
Position (PK)	97+600	96+800	96+025	95+200	94+300	93+625	92+650	92+100
Surface (km ²)	9,278	3,707	0,911	Pont	2,52	9,626	0,552	1,071
Périmètre (km)	18,946	8,846	4,979		10,23	18,33	4,016	5,163
Z max (m)	590	517	499		558	576	511	516
Z min (m)	482	480	480		477	474	482	481
Pente (%)	1,67	1,12	0,96		1,68	2,86	1,73	1,73
Z moy (m)	515,343	497,877	487,526		495,289	522,874	496,389	497,301
Plus long parcours (km)	8,29	3,5	1,58		4,02	8,48	1,26	1,56
Tc (h)	2,99	2,31	1,24		1,56	2,33	0,72	1,00
Pj max	31							
P(t) (mm)	18,81	17,68	15,22	Pont	16,08	17,71	13,35	14,46
I (mm/h)	6,28	7,65	12,30		10,33	7,60	18,61	14,47
C (coef de ruissellement)	0,3	0,3	0,3		0,3	0,3	0,3	0,3
Q (m ³ /s)	4,86	2,37	0,93		2,17	6,10	0,86	1,29
Diamètre des buses (m)	1,28	0,98	0,69		0,94	1,39	0,67	0,78
Diamètre normalisé	2 φ 1000	φ 1000	φ 1000		φ 1000	3 φ 1000	φ 1000	φ 1000
Qcap (m ³ /s)	4,88	2,44	2,44		2,44	7,32	2,44	2,44

Tableau 44 : Résultats de calcul Assainissement transversal

Buse	
D	1
I=	1,00%
K=	80
Sm=	0,67
Pm=	2,22
RH=	0,30
Qcap=	2,44
N°bre	2
Qcap=	4,88

Tableau 45 : Résultats de calcul et dimensionnement des buses

- Dimensionnement des buses :

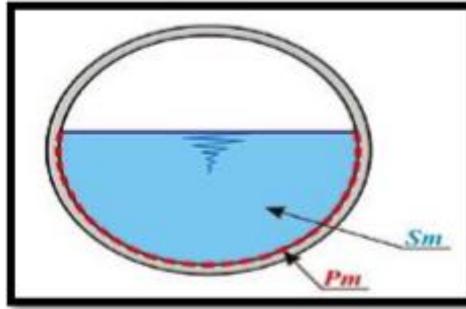


Figure 38 : Schéma d'un buse.

$$Q = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Surface mouillée $S_m = \pi \cdot R^2$

R_h =Rayon hydraulique = 0.5 R

K = 80

I =la pente de pose pour notre cas I=1%

B. Assainissement longitudinal :

Pour le dimensionnement de système d'assainissement longitudinal on choisit les faussés les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Faussée	
B=	0,5
H=	0,5
E=	0,5
Alpha	45°
I=	0,20%
K=	70
S _m =	0,5
P _m =	1,5
R _H =	0,33
Q _{cap} =	0,75

Tableau 46 : Résultats de calcul et dimensionnement des faussée

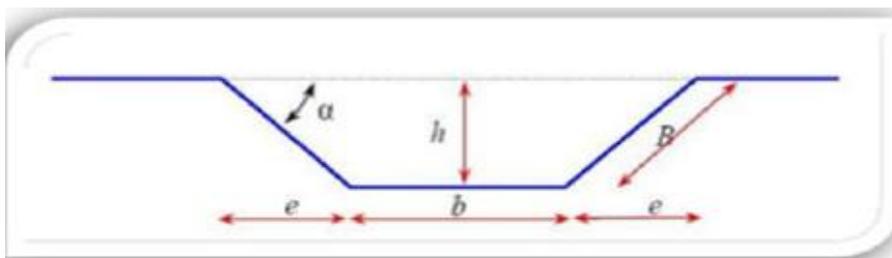


Figure 39 : Schéma d'un fossé

Chapitre 8
Equipement
Signalisation et
Eclairage et Glissière

Equipements

Signalisation, Eclairage et Glissières de sécurité

I. Signalisation :

1. Introduction :

La signalisation routière joue un rôle important dans la mesure où elle permet à la circulation de se développer dans de très bonnes conditions (vitesse, sécurité).

Elle doit être uniforme, continue et homogène afin de ne pas fatiguer l'attention de l'utilisateur par une utilisation abusive de signaux.

La signalisation routière comprend la signalisation verticale et la signalisation horizontale.

A. L'objectif de la signalisation routière :

- ✓ De rendre plus sûre et plus facile la circulation routière.
- ✓ De rappeler certaine prescription du code de la route.
- ✓ De donner des informations relatives à l'usage de la route.

B. Catégories de signalisation :

- ✓ La signalisation par panneaux.
- ✓ La signalisation par feux.
- ✓ La signalisation par marquage des chaussées.
- ✓ La signalisation par balisage.
- ✓ La signalisation par bornage.

C. Règles à respecter pour la signalisation :

- ✓ Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité).
- ✓ Cohérence avec les règles de circulation.
- ✓ 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.

D. Types de signalisation :

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 :

- 1) **Signalisation avancée** : Le signal A24 est placé à une distance de 150m de l'intersection. Le signal B3 accompagné dans tous les cas d'un panneau additionnel (modèle G5) est implanté sur la route prioritaire.
- 2) **Signalisation de position** : Le signal de type B2 « arrêt obligatoire » est placé sur la route où les usagers doivent marquer l'arrêt.
- 3) **Signalisation de direction** : L'objet de cette signalisation est de permettre aux usagers de suivre la route ou l'itinéraire qu'ils se sont fixés, ces signaux ont la

Chapitre 8 Signalisation et éclairage et Glissières de sécurité

forme d'un rectangle terminé par une pointe de flèche d'angle au sommet égal à 75°.

- Elles peuvent être classées dans quatre classes:

4) Signaux de danger :

L'objet de la signalisation routière de danger est d'attirer de façon toute spéciale l'attention des usagers de la route aux endroits où leur vigilance doit redoubler en raison de la présence d'obstacles ou de points dangereux.

5) Signaux comportant une prescription absolue :

- ✓ Signaux d'interdiction.
- ✓ Signaux d'obligation.
- ✓ Signaux de fin d'interdiction.
- ✓ Signaux de fin d'obligation.

6) Signaux à simple indication :

L'objet de la signalisation d'indication est de porter à la connaissance des usagers de la route des informations utiles à la conduite des véhicules. Les signaux sont des panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminés en pointe de flèche.

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

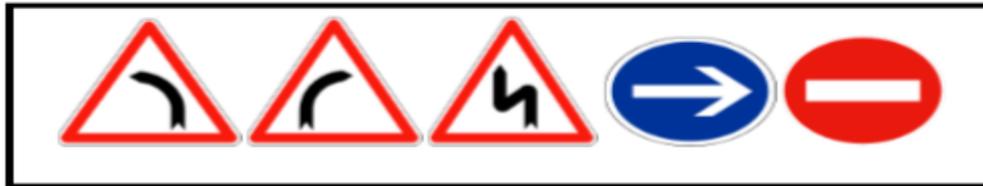


Figure 40 : Signalisation Verticale

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.

- 1) **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.
- 2) **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.
 - **Les lignes axiales** : ou lignes de délimitation de voies pour les quelles la longueur des traits est égale au tiers de leurs intervalles.

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



Figure 41 : les lignes « continue et discontinue »

Type de modulation	Longueur de trait (en m)	Intervalles entre 2 traits successifs (en m)	Rapport plein vide
T ₁	3.0	10.00	Environ 1/3
T' ₁	1.50	5.00	
T ₂	3.00	3.50	Environ 1
T' ₂	0.50	0.50	
T ₃	3.00	1.33	Environ 3
T' ₃	20.00	6.00	

Tableau 47 : modulations des lignes discontinues

c. Marquage transversal :

- 1) **Lignes transversales continues** : éventuellement tracées à la limite ou les conducteurs devaient marquer un temps d'arrêt. STOP
- 2) **Lignes transversales discontinues** : éventuellement tracées à la limite ou les conducteurs devaient céder le passage aux intersections.

La largeur des lignes : est définie par rapport à une largeur unité « U » différente suivant le type de route :

- U = 7.5cm sur autoroutes et voies rapides urbaines.
- U = 6 cm sur les routes et voies urbaines.
- U = 5 cm sur les autres routes.

d. Autre marquage :

- 1) **Flèche de rabattement** : une flèche légèrement incurvée signalant aux usagers qu'ils devaient emprunter la voie située du côté qu'elle indique.
- 2) **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 42 : Flèches « rabatement et sélection »

2. APPLICATION AU PROJET:

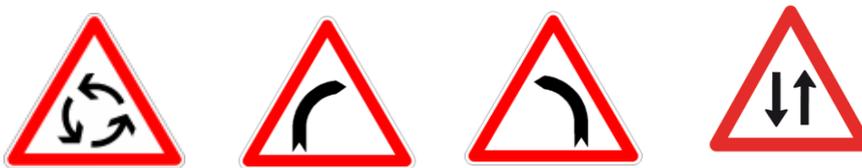
Les différents types de panneaux de signalisation utilisés pour notre étude sont les suivants :

- Panneaux de signalisation d’avertissement de danger (type A1a-A14a).
- Panneaux de signalisation d’interdiction de priorité (type B1 et B2).
- Panneaux de signalisation d’interdiction ou de restriction (type C1, C11a).
- Panneaux de signalisation d’obligation (type D2).
- Panneaux de signalisation de direction (type E3a).

En ce qui concerne l’unité de largeur des lignes de signalisation horizontale pour notre cas, elle est de : $U = 5 \text{ cm}$.

- **Signalisation verticale :**

- **Signaux d’Avertissement de danger :**



- **Signaux de priorité :**



- **Signaux d’Interdiction ou de Restriction :**



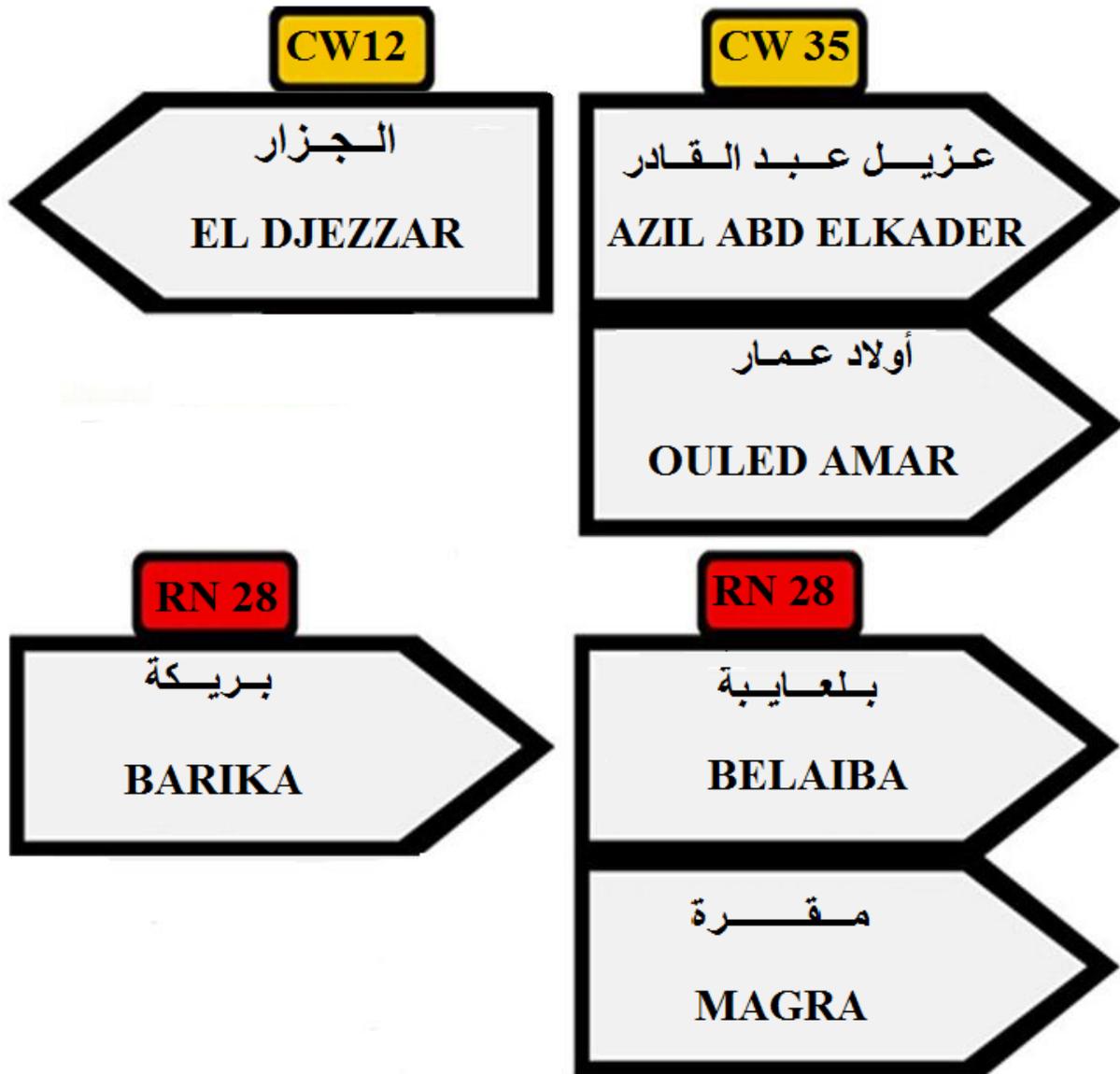
Panneaux pour le ralentissement



- Signaux d'obligation :



- Signaux de Direction :



• Signalisation horizontale :

Lignes discontinue

Lignes continue

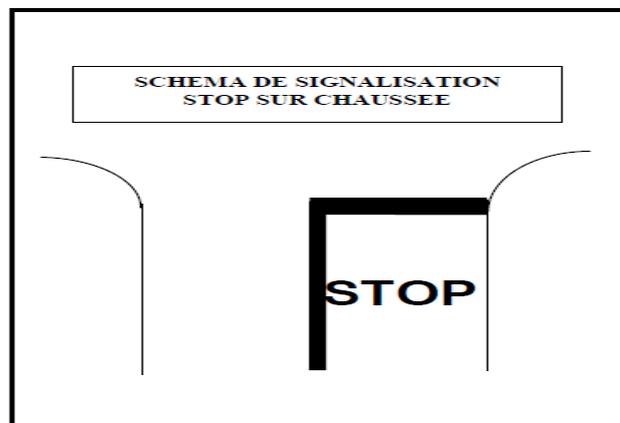
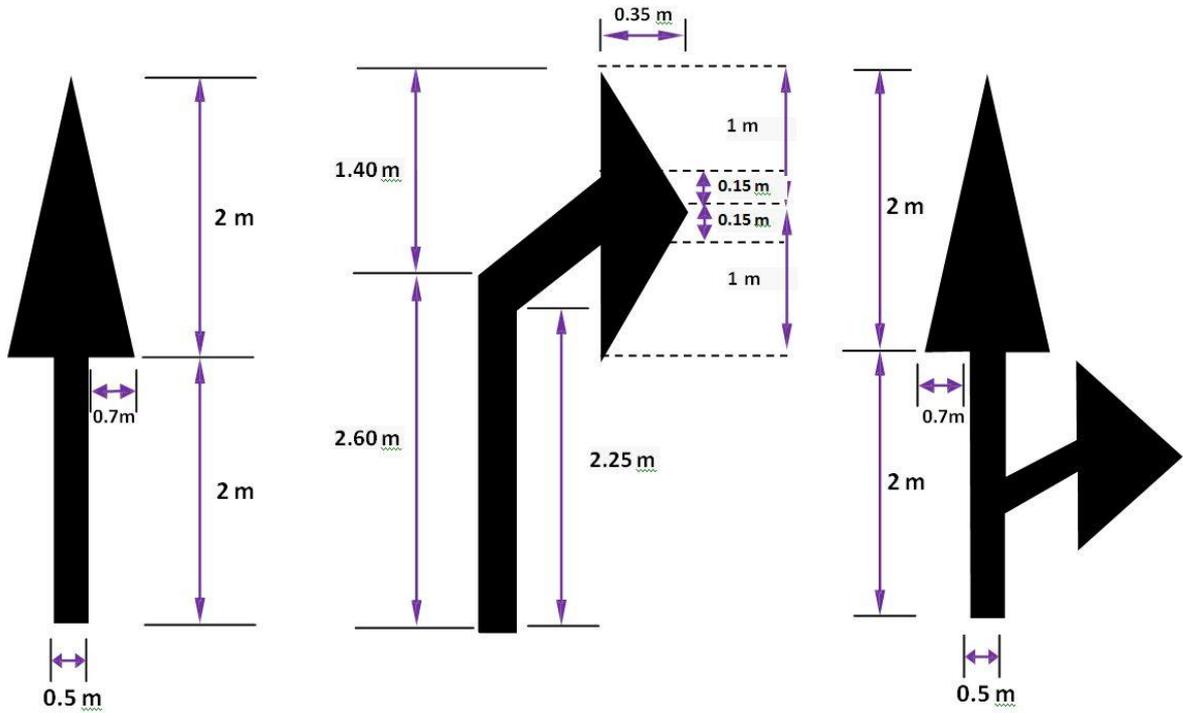


Figure 43 : schéma de signalisation stop sur chaussée

- **Les flèches de rabattement :**

Ces flèches légèrement incurvées signalent aux usagers qu'ils doivent emprunter la voie située du côté qu'elles indiquent.

- **Les flèches de sélection:**

Ces flèches situées au milieu d'une voie signalent aux usagers, notamment à proximité des intersections, qu'ils doivent suivre la direction indiquée.

Les lignes de délimitation de voies sont de type T1 de largeur 2u :

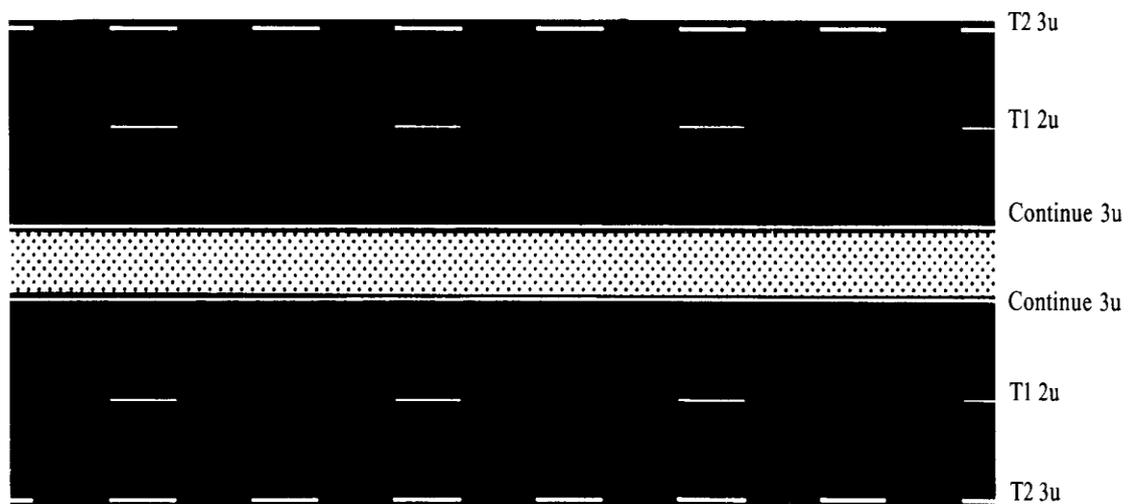


Figure 44 : Les lignes de délimitation

II. Eclairage :

1. 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.

2. Catégories d'éclairage :

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.

3. Paramètres de l'implantation des luminaires :

- L'espace (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.

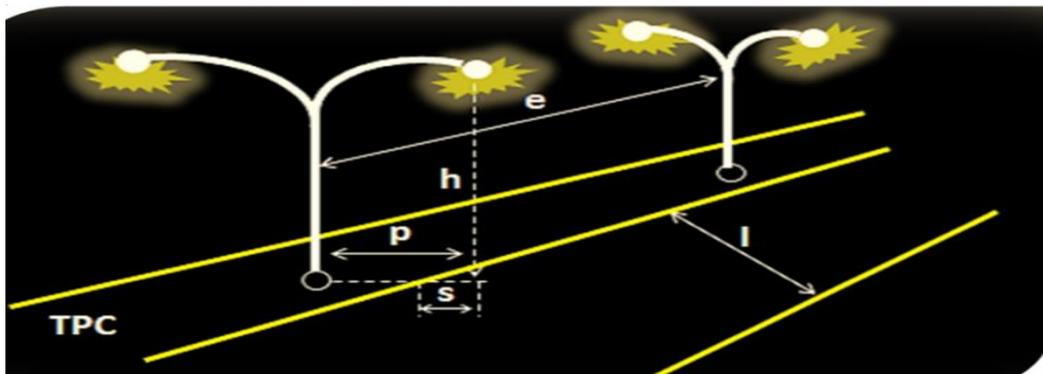


Figure 45 : Paramètres de l'implantation des luminaires

4. APPLICATION AU PROJET :

Eclairage de la voie :

La bordure du TPC doit être parfaitement visible, on adopte à cet effet des dispositifs lumineux en 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'espace des supports varie de 20 à 30 m de façon à avoir un niveau d'éclairage équilibré pour les deux sens de notre pénétrante.

III. Glissières de sécurité :

1. Définition:

Les dispositifs de retenues sont nécessaires pour assurer les bonnes conditions de sécurité aux usagers de la route, ils constituent :

A. **Glissières de niveau 1** : adoptées pour les routes principales.

B. **Glissières de niveau 2 et 3** : adoptées aux endroits où les vitesses appliquées sont faibles.

Eventuellement des glissières sur le T.P.C pour les routes à deux chaussées, et sur accotements en présence d'obstacles ou autre configuration agressive, ou le cas de grandes hauteurs de remblais.

2. La murette de protection en béton armé :

Envisagée lorsque le danger potentiel représenté par la sortie d'un véhicule lourd est important, comme :

- A. Une section de la route surplombe directement sur la mer.
- B. Lorsque la hauteur de la dénivellation est supérieure à 10m.

3. APPLICATION AU PROJET:

Parmi ces dispositifs, on a opté pour des glissières de sécurité de niveau 1 au vu de l'importance de la RN, et des glissières sur le T.P.C pour la retenue et la séparation.

Chapitre 9

Aménagement de carrefour et ponts

I. Aménagement de carrefour

1- DEFINITION:

Le carrefour est un espace situé à l'intersection des routes permettant de passer d'une route à l'autre. L'aménagement des carrefours tend à permettre que ces courants puissent se succéder :

- sans risque de collision (la sécurité).
- en réduisant au minimum la gêne de circulation (freinage accélération perte de temps etc....).

2- PRINCIPES GENERAUX DE CONCEPTION :

A. Visibilité :

Dans toute la zone d'approche de carrefour, on doit assurer d'excellente condition de visibilité entre véhicule et sur les îlots. En cas de visibilité insuffisante il faut prévoir :

- Une signalisation appropriée dont le but est soit d'imposer une réduction de vitesse soit de changer les régimes de priorité.
- Renforcer par des dispositions géométriques convenables (inflexion des tracés en plan, îlot séparateur ou débouché des voies non prioritaires).
- Assurer d'excellentes conditions de visibilité entre véhicule et sur îlots.
- Eviter les carrefours en courbe et en pente.

B. Vitesse :

Ralentir les véhicules en particulier pour les courants non prioritaires ayant un signal d'arrêt à respecter.

C. Sécurité :

- La convergence et la divergence des courants doivent s'effectuer tangentiellement
- Les cisaillements doivent s'effectuer sous un angle voisin de 90° ; Les véhicules du courant non prioritaire doivent trouver des zones de stockage de capacité suffisante.
- Localiser et séparer les points de conflit en canalisant la circulation dans des couloirs, généralement à sens unique, dans les carrefours importants.

D. Simplicité :

Pas d'aménagement complexe en cas de faible volume de circulation.

E. Sélectivités :

- Tracer des couloirs et des îlots rendant aisées les manœuvres permises et difficiles ou impossibles les manœuvres indésirables ou interdites.
- Favoriser les manœuvres de sorties.

- A partir de certains seuils, prévoir des voies de décélération et d'insertion sur l'itinéraire prioritaire.

F. signalisation:

- Soigner la signalisation horizontale et verticale, en particulier celle de nez d'îlots séparateur.
- D'être cohérent entre la signalisation et les hypothèses d'aménagement du carrefour.

3- DETERMINATION DES CARRACTERISTIQUES GEOMETRIQUES AU CARREFOUR:

A. Triangle de visibilité :

Un triangle de visibilité peut être associé à chaque conflit entre deux courants. Il a pour sommets :

- Le point de conflit
- Les points limites à partir desquels les conducteurs doivent apercevoir un véhicule adverse.
 - On peut distinguer deux natures de visibilité :
- La distance de visibilité nécessaire aux conducteurs pour voir l'aménagement qu'ils abordent (îlots nécessaires de la voie principale ou de la voie secondaire), est appelée distance de visibilité d'approche à vide.
- La distance de visibilité nécessaire au conducteur du véhicule non prioritaire pour franchir la voie principale.
 - La mesure de cette distance est appréciée en considérant que le point d'observation et le point observe répondent aux conditions suivantes :
- Pour la situation d'arrêt (panneau stop), le point d'observation est situé en retrait de 2.5 mètres par rapport à la ligne d'arrêt.
- Pour la situation de « cédez le passage » le point d'observation est situé en retrait de quinze a vingt mètre par rapport à la ligne de « cédez le passage ».

Le point observé est déterminé de la même façon que dans la situation d'arrêt.

- Le dessin ci-après montre comment se construisent les triangles de visibilité à partir des éléments précisés ci-dessous (lorsqu'il s'agit d'un carrefour en croix, et que la route principale est bidirectionnelle, on construit naturellement quatre triangles de visibilité suivant les modalités correspondant aux régimes de priorité envisagés).

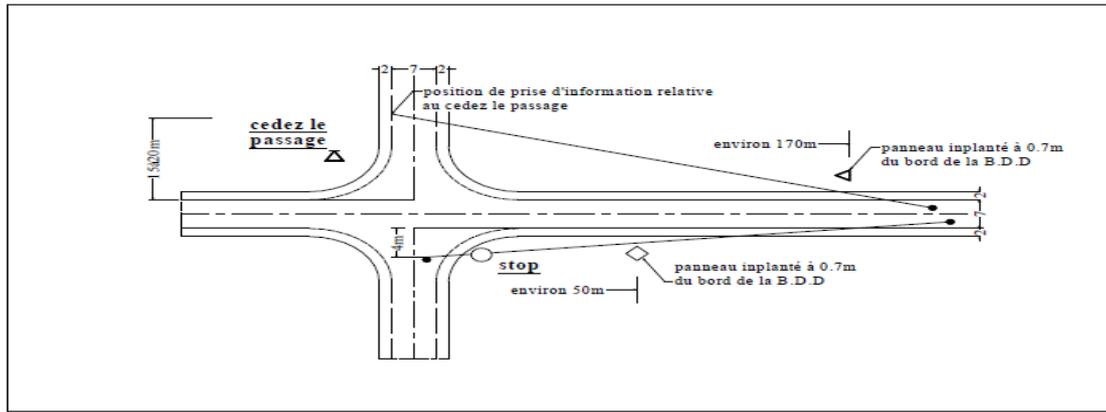


Figure 46: Triangle de visibilité

B. La vitesse d’approche :

La vitesse d’approche à vide V_0 dépend des caractéristiques réelles de l’itinéraire au point considéré et peut être plus élevée que la vitesse de référence.

Selon B40 : Elle est donnée par le tableau suivant :

Environnement	E1		E2		E3	
	Sur un alignement	Près d’un point particulier	Sur un alignement	Près d’un point particulier	Sur un alignement	Près d’un point particulier
Carrefour situé :						
Cat.1-2	120	100	100	100	80	60
Cat. 3	110	90	90	90	80	60
Cat. 4	100	80	80	80	60	60
Cat. 5	80	60	60	60	60	60

Tableau 48 : La vitesse d’approche

Donc pour notre projet : $V_0=100\text{km/h}$.

C. LES ILOTS :

Un îlot est un terre plein entre deux voies de circulation qui a pour objectif de séparer les points de conflits, protéger et stocker les véhicules. On distingue deux types d’îlots :

- a. **Îlots séparateurs** : ils ont une forme danger et séparent deux courants de véhicule qui circulent en sens inverse.

- b. **Ilots directionnels** : ils ont une forme triangulaire et séparent deux courants de circulation assurant soit une manœuvre de convergence, soit une manœuvre de divergence.

D. TYPES DE CARREFOURS : On distinguera deux grandes familles de carrefours.

a. **Carrefours Dénivelés (Echangeurs)**:

Dans ce type de carrefours les échanges sont séparés les uns des autres et gérés en dehors des axes principaux, pour limiter aux maximums des conflits, ce type de carrefours offre un niveau de sécurité élevé mais demande un coût très important pour le réaliser.

On peut citer comme exemple :

- ✓ Les échangeurs supérieurs.
- ✓ Les passages sous terrains.

b. **Carrefours Plans** :

Les échanges dans ce type de carrefours sont regroupés dans un même plan. A son tour, ce type de carrefour se divise en deux catégories.

1) **Carrefours plans ordinaires** :

Ce sont des carrefours simples, offrent un niveau de sécurité en moyenne peut élever par rapport à d'autres types de carrefours (Dénivelé, giratoire)

Les types fréquemment utilisés sont :

- **Carrefours en (T)** :

C'est un espace où se réunissent trois branches en formant la lettre (T).

Dans ce type de carrefours le courant direct domine, et les autres courants peuvent être aussi importants comme c'est présenté dans la figure ci-dessous :

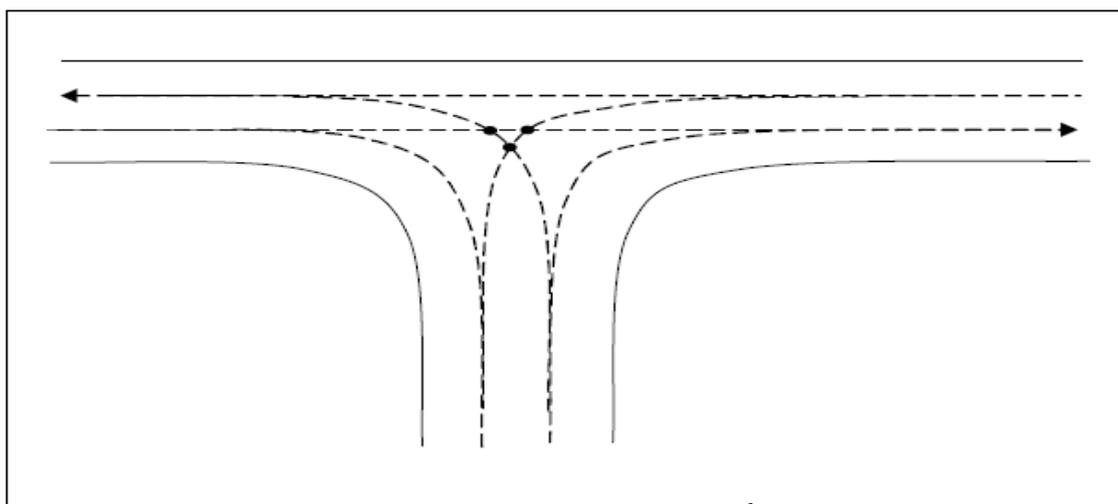


Figure 47: Carrefours en (T)

- **Carrefour en (Y) :**

C'est un carrefour qui assure l'intersection de trois rues qui forment l'allure de la lettre Y, Dans ce cas le trafic virant dans un angle aigu est nul ou insignifiant La figure ci-dessous montre un exemple des conflits existants sur un carrefour en Y.

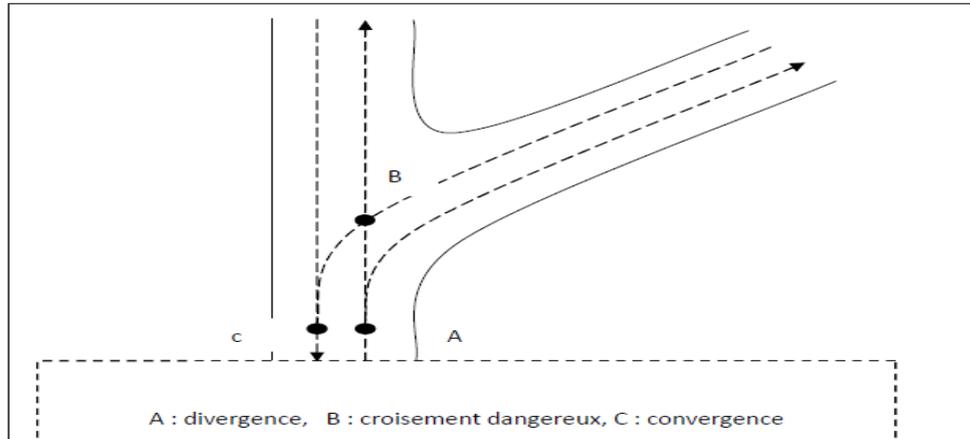


Figure 48: Carrefours en (Y)

- **Carrefour en croix (x) :**

Le carrefour en croix relie quatre branches qui se croisent formants un (X)

La figure ci-dessous donne une idée de l'allure de ce type de carrefour.

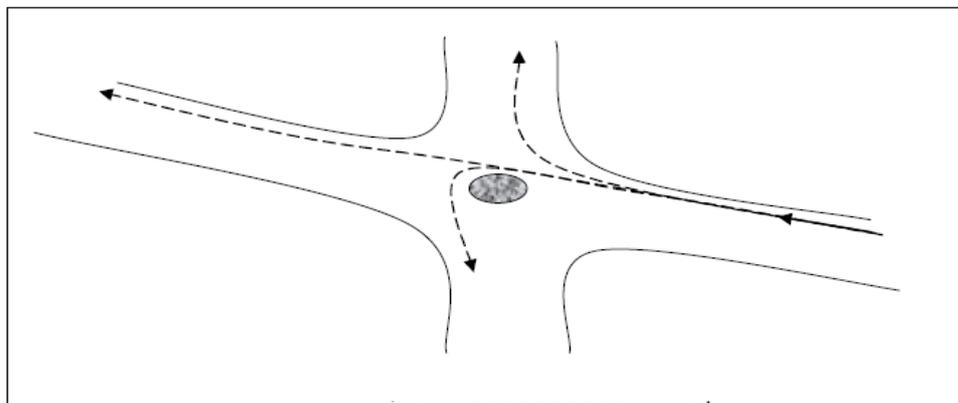


Figure 49: Carrefour en croix (X)

2) Carrefours à sens giratoire :

Un giratoire est un carrefour dans lequel certains courants empruntent une chaussée annulaire continue, ils ordonnent une circulation à sens unique, disposé autour d'un îlot central.

L'îlot central a un rayant souvent supérieure a douze mètre. La sortie de véhicule doit être plus grande que celle de la rentrée et ça pour faciliter la manœuvre pour le conducteur qui va quitter le carrefour et pour gêner les véhicules entrant et ça pour faire ralentir.

- On doit définir la géométrie d'ensemble du carrefour en ramenant à des tracés simples et connus, puis dimensionner les divers éléments.

Pour tracer général on prend en considération les principes généraux déjà énoncés :

- Condition de visibilité.
- Bonne compréhension (l'aménagement doit être clair).
- Cisaillement sous un angle de $90 \pm 20^\circ$

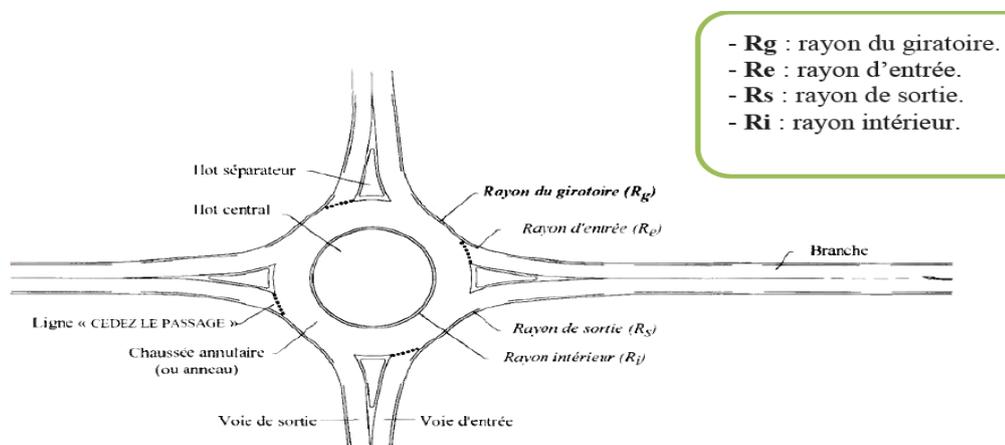


Figure 50: Carrefours à sens giratoire

4- SIGNALISATION DU CARREFOUR :

La signalisation du carrefour est composée de quatre éléments complémentaires :

A. La signalisation de priorité :

On trouve le panneau de route prioritaire Sur la route principale. La signalisation de direction. Le marquage au sol et les plots.

B. Les panneaux de prescription :

On trouve les panneaux de priorité de passage, Céder passage et Stop sur la route secondaire.



Figure 51 : Terminologie d'un carrefour giratoire.

5- LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DU CARREFOUR GIRATOIRE

A. Avantages :

Les avantages de carrefour giratoire:

- ✓ L'adaptation au trafic est automatique, par la priorité donnée aux véhicules déjà insérés.
- ✓ La vitesse est limitée par l'infrastructure, et la sécurité routière est donc améliorée.
- ✓ Il n'y a pas besoin de feux, donc pas besoin d'électrifier le carrefour, ce qui est intéressant en zone très rurale.
- Une forme qui identifie un lieu et qui caractérise de l'espace.
- Diminution des nuisances.
- Faciliter d'insertion d'un grand nombre des branches.
- Economie de régulation et d'exploitation

B. Inconvénients :

- Consommation d'emprise importante.
- Entretien de l'îlot central.
- Transport public non prioritaire.
- Absence de prise en charge correcte des piétons.
- Absence de régulation du trafic (non-respect du régime de priorité).

6. Application au projet :

- **Un premier carrefour giratoire à trois branches :**
C'est un carrefour giratoire situé entre (l'intersection de RN28 et CW 12 notre projet) aménagé avec un ilot central circulaire de rayon $R_g = 20$ m.
- **Un deuxième carrefour giratoire à trois branches :**
C'est un carrefour giratoire situé entre (l'intersection de RN28 et CW 35 notre projet) aménagé avec un ilot central circulaire de rayon $R_g = 20$ m.

Le listing du Carrefour est donné par logiciel (covadis10.1), les résultats sont joints en annexe

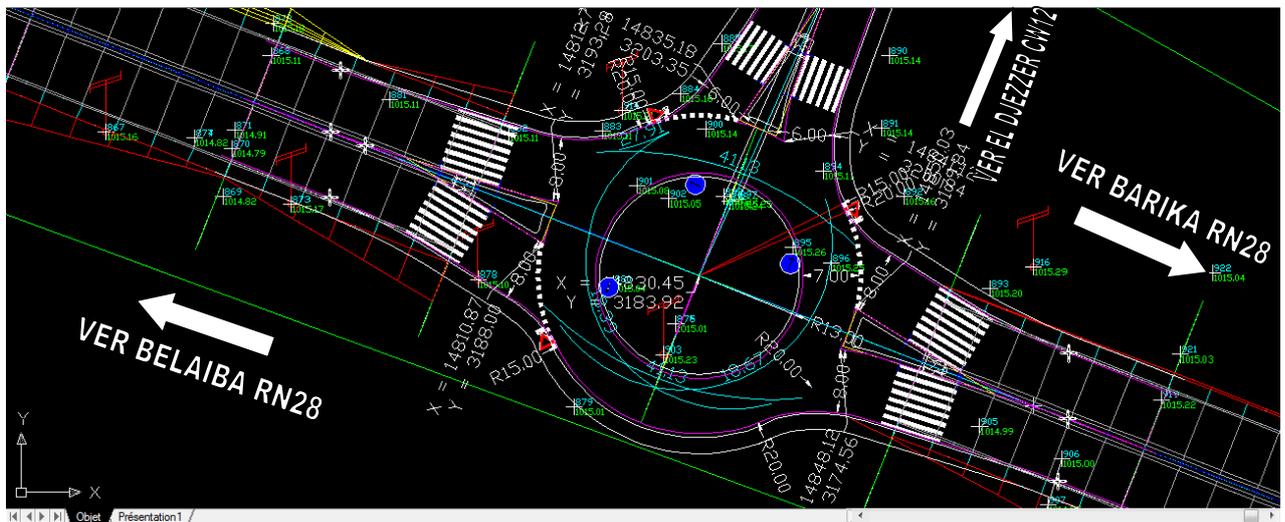


Figure 52 : giratoire à trois branches (l'intersection de RN28 et CW 12 notre projet)

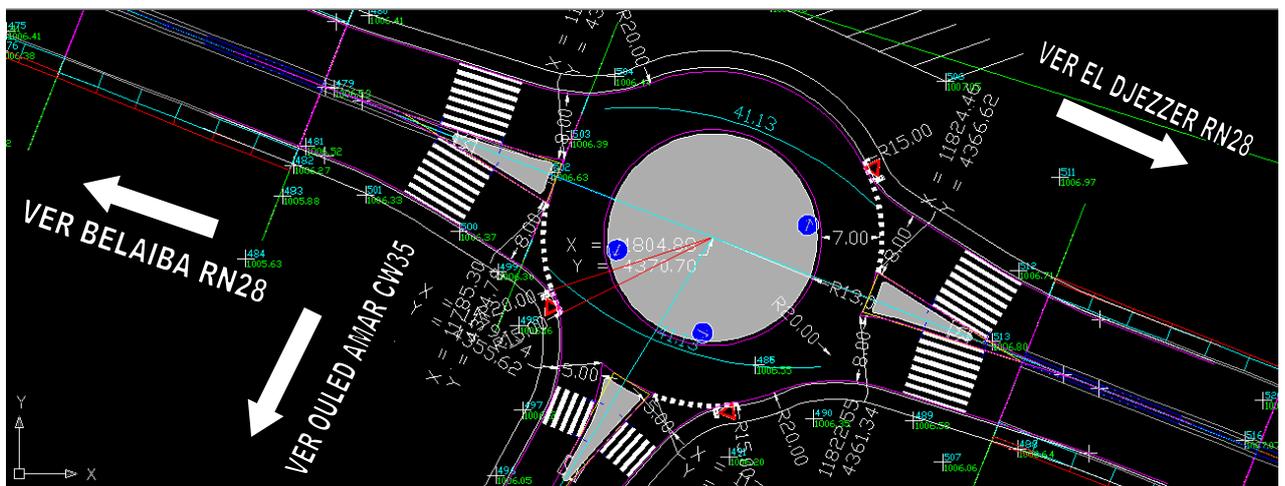


Figure 53 : giratoire à trois branches (l'intersection de RN28 et CW 35 notre projet)

II. Aménagement de ponts

1. Généralités sur les ponts :

- Un ouvrage d'art est une construction de grande importance entraînée par l'établissement d'une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale (ponts, tunnels) mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs de soutènement, digues) et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport (quais et autres ouvrages portuaires).
- De tels ouvrages sont qualifiés « d'art » parce que dans leur conception l'importance de l'aspect esthétique et architectural est majeure. En plus, leur réalisation fait intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur.

1. Ponts courants :

D'une façon générale, on appelle pont tout ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation. Cette définition est un peu imprécise dans la mesure où elle ne se réfère à aucune notion de dimension, de forme ou de nature d'ouvrage. Pour les petits ponts hydrauliques, on parle couramment de ponceaux ou de dalots. À l'inverse, on emploie de préférence le terme de viaduc lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de grande longueur possédant de nombreuses travées et généralement situé en site terrestre.

Les ponts courants désignent la majorité des ouvrages d'art ; ils sont définis généralement par complémentarité aux ponts non courants caractérisés eux-mêmes par :

- ✓ les ponts possédant au moins une travée de 40 m de portée,
- ✓ les ponts de longueur totale supérieure à 100 m,
- ✓ les ponts dont la surface totale du tablier dépasse 1 200 m²,
- ✓ Les ponts mobiles,
- ✓ les ponts canaux,
- ✓ les ouvrages se caractérisant par des difficultés particulières de dimensionnement, de conception ou de réalisation, relevant de techniques de construction innovantes, présentant des géométries complexes (biais ou courbure importants...), nécessitant des travaux de fondations spéciaux, des études particulières (effets dynamiques)

2. Classification des ponts :

Il est extrêmement difficile de classer les ponts en différentes catégories, car il existe de très nombreux critères de classement. On aura ci-dessous une liste non exhaustive de critères de classification avec quelques exemples illustrés.

a. Selon la fonction du pont :

La fonction d'un pont diffère d'un ouvrage à un autre. On peut trouver des :

- **Ponts route** : portant une route permettant la circulation des véhicules
- **Ponts rail**: supportant les chemins de fer
- **Passerelles à piétons** : réservées uniquement au passage des piétons
- **Ponts aqueduc** : permettent le passage des canalisations d'eau
- **Ponts canaux** : permettent à un cours d'eau navigable, généralement un canal, de franchir un obstacle en creux.
- **Ponts pour avions** : permettent aux avions de franchir un obstacle dans les aéroports.



Figure 53. Pont-avion à l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle



Figure 54 Pont canal

b. Selon les matériaux de construction :

Les ponts peuvent aussi se distinguer par leurs matériaux de construction :

- 1) **Pont en maçonnerie** : construit en pierre, ce pont ne travaille qu'en compression.
- 2) **Pont en béton armé** : ce type de ponts est couramment utilisé vu que le coût du béton armé est assez économique par rapport aux autres matériaux.
- 3) **Pont en béton précontraint** : les éléments porteurs sont munis de câbles précontraints. Cette technique aide à diminuer le nombre d'appuis.

- 4) **Pont métallique** : en Tunisie, les ponts métalliques ne sont pas très utilisés à cause du coût élevé de l'acier et de son entretien.
- 5) **Pont mixte** : ce type de pont présente en général des appuis en béton armé avec des éléments porteurs en charpente.

c. Selon la nature des éléments porteurs :

Les éléments porteurs ont pour fonction de réagir aux charges permanentes et d'exploitation du tablier en travaillant à la flexion. On peut trouver :

- 1) **Pont à poutres** : les poutres peuvent être en béton armé et dans ce cas elles ont une section rectangulaire simple. Pour les poutres en béton précontraint la section est modifiée avec un talon pour bien loger les câbles de précontrainte. Les poutres peuvent être à travées continues coulées sur place ou bien préfabriquées à travées indépendantes.



Figure 55 Pont à poutres à travées indépendantes en béton armé



Figure 56. Pont à poutres à travées indépendantes en béton précontraint

- 2) **Pont dalle** : les dalles ont une section d'aspect général rectangulaire qui peut avoir un encorbellement latéral ou des nervures.
- 3) **Pont en arc** : ce type est généralement parmi les anciens ponts en acier, en maçonnerie ou, en béton armé coulé sur place. Il nécessite un échafaudage et un cintre (étalement) important et souvent coûteux. En revanche, ces ponts sont très esthétiques.
- 4) **Pont en poutre-caisson** : c'est un pont dont le tablier est constitué par un assemblage de caissons.
- 5) **Pont à câbles** : ce type est employé dans le cas des portées importantes notamment en milieu marin. On distingue dans cette catégorie les ponts suspendus et les ponts à

haubans. Les premiers ont leur tablier attaché par l'intermédiaire de tiges de suspension verticales à un certain nombre de câbles flexibles ou de chaînes dont les extrémités sont reliées aux culées, sur les berges. Quant aux ponts haubanés, ils tiennent grâce à de nombreux câbles obliques partant d'un pylône supportant le tablier qui supportera en fin de compte tout le poids du pont.

d. Selon la position en plan :

La position en plan est la direction des appuis par rapport à celle du tablier. On distingue des :

- 1) **Ponts droits** : Ce sont les ponts dont les lignes d'appuis font un angle droit avec l'axe du pont.
- 2) **Ponts biais** : Ce sont les ponts dont les lignes d'appuis font un angle (différent de l'angle droit) avec l'axe du pont. Il faut limiter dans la mesure du possible l'angle de biais, il ne doit pas trop s'éloigner de l'angle droit.
- 3) **Ponts courbes** : Ce sont les ponts dont l'axe présente une courbure. Il faut éviter ce genre de pont dans la mesure du possible. Si cela est inévitable, il faut alors adopter une courbure constante.

3. Eléments constitutifs d'un pont :

- A. Tablier** : C'est la partie supportant la voie de circulation. Il comporte le revêtement, l'ossature et tous les autres équipements à savoir les dispositifs de retenue (garde-corps, glissière, séparateur) les joints de chaussée, les corniches, les trottoirs, les systèmes d'étanchéité et d'évacuation d'eau.
- B. Appuis** : Les appuis ont pour rôle de supporter l'ouvrage à partir du niveau de la surface du sol. On distingue les culées qui sont les appuis de rive et les appuis intermédiaires qui peuvent se présenter soit sous la forme de voiles ou bien de colonnes surmontées par un chevet.

Le rôle des appareils d'appui est de faire reposer le tablier sur les piles tout en permettant son léger déplacement horizontal et vertical sous l'effet des charges routières. Le modèle le plus courant des appareils d'appui utilisés est celui en élastomère fretté.

- C. Fondation** : La fondation d'un ouvrage permet la transmission des charges vers le sol. Le type d'une fondation varie selon la nature du sol ; si le bon sol n'est pas très profond on peut se contenter d'une fondation superficielle (semelles isolées ou filantes). Dans

l'autre cas il faut adopter une fondation profonde (pieux) qui serait surmontée d'une semelle de liaison.

4. Données nécessaires pour un projet de pont :

La conception d'un pont doit satisfaire à un certain nombre d'exigences puisqu'il est destiné à offrir un service à des usagers. On distingue les exigences fonctionnelles (ou données fonctionnelles) qui sont l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement, et les exigences naturelles (ou données naturelles) qui sont l'ensemble des éléments de son environnement déterminant sa conception.

A. Données fonctionnelles : Les données fonctionnelles pour un projet de pont sont :

- a. **Le tracé en plan :** est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, dessinée sur un plan de situation et repérée par les coordonnées de ses points caractéristiques. Cet axe n'est pas forcément l'axe de symétrie de la structure ou de la chaussée.
- b. **Le profil en long :** est la ligne située sur l'extrados de l'ouvrage (couche de roulement mise en œuvre) définissant, en élévation, le tracé en plan. Il doit être défini en tenant compte de nombreux paramètres liés aux contraintes fonctionnelles de l'obstacle franchi ou aux contraintes naturelles, et en fonction du type prévisible de l'ouvrage de franchissement.

B. Données naturelles :

- a. **Données géotechniques :** Les données géotechniques sont évidemment fondamentales dans l'étude d'un ouvrage. Non seulement elles déterminent le type de fondation des appuis, mais elles constituent l'un des éléments du choix de la solution pour le franchissement projeté. Elles sont obtenues à partir d'une reconnaissance qui doit donner les informations désirées sur le terrain naturel, le niveau de la nappe et les niveaux possibles des fondations.
- b. **Données hydrauliques :** Lorsqu'un ouvrage franchit un cours d'eau ou un canal, un certain nombre de renseignements sont nécessaires. En dehors du relevé précis de la topographie du lit, il convient de connaître les niveaux de l'eau qui influent sur la conception générale du franchissement et son implantation dans l'espace. Les principaux renseignements sont les niveaux correspondant aux PHEC (plus hautes eaux connues), PHEN (plus hautes eaux navigables). Le niveau des PHEC permet de caler le profil en long de l'ouvrage.

5. Choix de Projet :

Dans ce qui suit, on va présenter le travail réalisé pour la conception de notre pont. D'après cette conception on va choisir la solution la plus économique et la plus avantageuse pour notre ouvrage. Nous avons proposé deux variantes différentes qui sont :

Variante N°1 : Pont à poutres préfabriquées en béton précontraint

Variante N°2 : Pont dalle en béton armé

Variante N°3 : Pont mixte

A. PRÉDIMENSIONNEMENT DES VARIANTES :

La conception d'un pont est un long travail d'étude visant à concilier diverses contraintes dont l'importance et l'ordre prééminence varient selon les projets :

Données naturelles de franchissement, données fonctionnelles de la voie portée, procédés de construction, insertion dans l'environnement, coûts, délais ...

L'objectif ici est de déterminer le type d'ouvrage le plus économique capable de satisfaire le mieux possible à toutes les conditions imposées.

Le critère principal permettant de choisir entre les différents types de ponts est la portée principale. Mais il est évident que d'autres critères interviennent dans le choix comme par exemple :

- Les conditions aux sites
- La nature du terrain.
- Le profil en long.
- La position possible pour les appuis.
- Le gabarit à respecter.
- Portée de l'ouvrage.
- Délais de réalisation.
- Durée de l'utilisation.

B. Pont à poutres en béton précontraint par post-tension (variante N°1) :

Le pont à poutres préfabriquées en béton précontraint par post-tension est généralement économique pour des portées de longueur comprise entre 30 et 50 m.

a. Avantages :

- La préfabrication permet de diminuer le délai d'exécution de l'ouvrage
- Les ponts à poutres ne nécessitent pas beaucoup d'entretien
- Possibilité de franchir des grandes portées
- Béton toujours comprimé qui limite la fissuration
- Bonne protection des armatures d'acier
- La possibilité d'assembler des éléments préfabriqués sans échafaudage ni bétonnage
- le fonctionnement isostatique de ce type de structure, la rend insensible aux tassements différentiels des appuis et aux effets du gradient thermique.

b. Inconvénients :

- La nécessité de fabriquer du béton plus résistant principalement avant 28 jours.
- La nécessité de qualification de la main d'œuvre pour l'exécution de la précontrainte (pré tension et post tension) au même temps la vérification de la pose des gaines et câbles et pour la mise en tension des câbles.
- surcoût de transport des poutres préfabriquées si le chantier est loin du site de fabrication.

c. Conception de l'ouvrage :

L'ouvrage projeté c'est un pont à projeter, sera de type pont à poutres en béton précontraint par post-tension, isostatique il est composé par 06 travées simples de 24.70m de portée, soit 140 m de longueur totale (jusqu'aux murs en retour) et d'une largeur de 9.50 m. L'ouvrage est implanté en plan avec un angle de biais de 100.00 grade. La structure attendue se compose de, 01 structure parallèle avec une ancienne structure d'une largeur de 10,00 m et identique (mêmes dimensions) à l'ancienne structure de sorte que la largeur totale de la surface est de 20,00 m.

C. Pont dalle en béton armé (variante N°2) :

Les dalles élégies sont des dalles dont on réduit le poids propre en disposant à l'intérieur du coffrage, des buses longitudinales réalisées en matériaux divers (fibrociment, béton comprimé, bois, polystyrène expansé, feuillard métallique). Ces élargissements diminuent assez sensiblement les efforts de poids propre sans modifier notablement l'intensité de la section droite puisqu'on enlève de la matière dans la zone de la fibre moyenne. Les dalles élégies permettent de franchir des portées déterminantes allant jusqu'à 25m en hauteur constante et jusqu'à 35 m avec inertie variable au voisinage des appuis intermédiaire.

a. Avantages :

- Minceur et légèreté relatives.
- Liberté dans la conception des formes.
- Structure robuste et relativement souple.
- Construction simple.
- Sensibilité modérée aux tassements d'appui.

b. Inconvénients :

- La limitation du biais.
- L'extrados en toit.

c. Conception de l'ouvrage :

La même démarche utilisée précédemment pour le pont en BP par post-tension a été reconduite pour cet ouvrage. On a choisi des travées indépendantes de longueur identique de 28 m pour les 2 travées centrales et de 25 m de longueur pour les 4 autres travées.

D. Pont mixte (Variante N°3) :**a. Description de l'ouvrage :**

L'ouvrage est composé de cinq (05) travées isostatiques et identiques de 28.00 m de longueur pour chacune, le tablier est constitué de quatre (04) poutres métalliques (PRS) surmontées d'une dalle en béton armé de 25 cm d'épaisseur.

L'infrastructure est composée de six piles et de deux culées, reposant sur des semelles connectées au bon sol par des pieux de diamètres 1200 mm.

b. Caractéristiques géométriques :

- Longueur de l'ouvrage 140.00 m.
- Largeur du tablier 10.00 m.

- Longueur d'une travée 28.00 m
- Hauteur de la poutre 1.10 m.
- Nombre de poutres/Travée 4 U.
- Largeur de la chaussée (7.00 m+2.00m).
- Largeur des trottoirs 1.50 m.

6. CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE (ANALYSE MULTICRITÈRES) :

L'analyse multicritères est une méthode de comparaison quantitative et qualitative de solutions pour un projet ouvrage d'art qui constitue une aide à la décision pour le choix d'une ou plusieurs solutions. Après avoir éliminé la solution pont mixte, les résultats de la comparaison entre les deux autres solutions, sont présentés dans le tableau suivant :

Critères	Notations	
	Pont à poutre en béton précontraint	Pont dalle en béton armé
Difficultés techniques de réalisation (/20)	15	10
Coût de réalisation (/20)	15	10
Qualité architecturale (/20)	10	10
Longévité (/15)	10	10
Maintenance (/15)	10	10
Impact sur l'environnement (/10)	5	5
Total (/100)	65	55

Tableau 49 : Analyse multicritères

D'après l'analyse multicritères, la variante N°1 la plus avantageuse pour notre projet (pont à poutre en béton précontraint). Cette variante sera donc retenue pour la suite de notre étude.

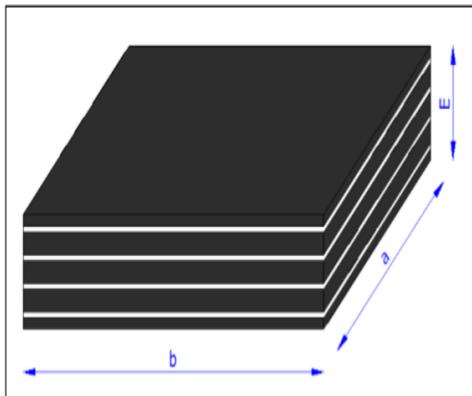
7. Equipements du pont :

A. LES JOINTS DE CHAUSSEE :



Figure 57: joint de chaussée FT150-Freyssine

B. LES APPAREILS D'APPUI :



- a : dimension en plan du coté // à l'axe transversal.
- b : dimension en plan du coté // à l'axe longitudinal.
- t : épaisseur d'un feuillet élémentaire de l'élastomère.
- t_s : épaisseur d'une frette intermédiaire.
- n : nombre de feuillets d'élastomère.
- T : épaisseur totale de l'élastomère $T = n \times t$
- E : épaisseur totale de l'appareil d'appui $E = n \times (t + t_s)$

Figure 58: Appareil d'appui en élastomère fretté

C. Gard et glissières de sécurités :



Figure 59 : Garde corps

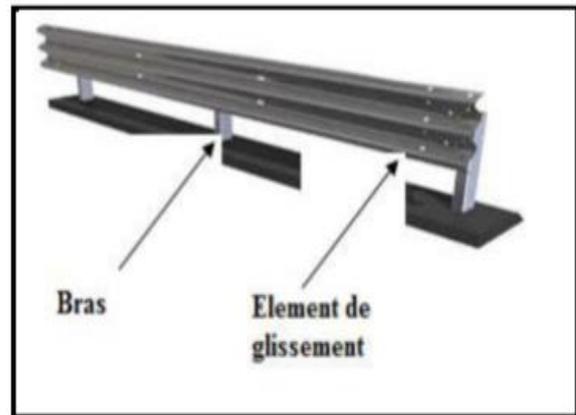


Figure 60 : Une glissière de sécurité

8. Application au Projet :

A. TABLIER :

Le tablier comporte six (06) poutres de 1.30m de hauteur espacées de 1.60m, d'un hourdis de 20cm d'épaisseur coulé sur place, d'une chape d'étanchéité type monocouche de 4 mm d'épaisseur et d'une couche de revêtement en béton bitumineux de 7 cm d'épaisseur.

Le tablier à une largeur carrossable de 9.50 m, est encadré par deux bordures de 1,20 m coté gauche et de 0.70m coté droite, bordées par un dispositif de retenue de type garde-corps métallique tubulaire et des glissières de sécurités

B. LES APPUIS :**a. Les culées :**

Les deux (2) culées à envisager sont des culées remblayées, constituées de mur garde-grève, de murs de front, de murs en retour, d'une dalle de transition et d'un corbeau arrière avec une semelle de 10 x 7.00 x 1,50 m.

L'ouvrage projeté est composée par 02 culées parallèles identiques (les mêmes dimensions)

Les hauteurs respectives des appuis entre la face supérieure de la semelle et la face inférieure du sommier sont les suivantes :

	C1(coté BELAIBA)	C2(coté DJEZZAR)
Hauteur moyenne (m)	2.45	2.10

C. Les piles :

Les piles à envisager sont des piles à fûts, chacune est composée par un (01) chevêtre parallélépipédique porté par trois (03) fûts avec une semelle de 9.50 x 5.60 x 1,50 m d'épaisseur.

La poutre repose sur des appareils d'appuis en élastomère fretté dont la vérification fera l'objet d'une note de calcul à part.

Les dimensions des appareils d'appui sont : sous la poutre de : **300 × 400 × 5 (10+3)** avec un dispositif anti cheminement, conformément à la norme NE 1337-3.

D. Les poutres :

Six (06) poutres de 25,70 m en béton précontraint (pose-tension) sont adoptées pour le tablier du présent ouvrage.

Les poutres sont en forme de (T) d'une hauteur de 1,30 m et un espacement de 1,60 m, elles sont surmontées d'un hourdis en béton armé de 20cm d'épaisseur.

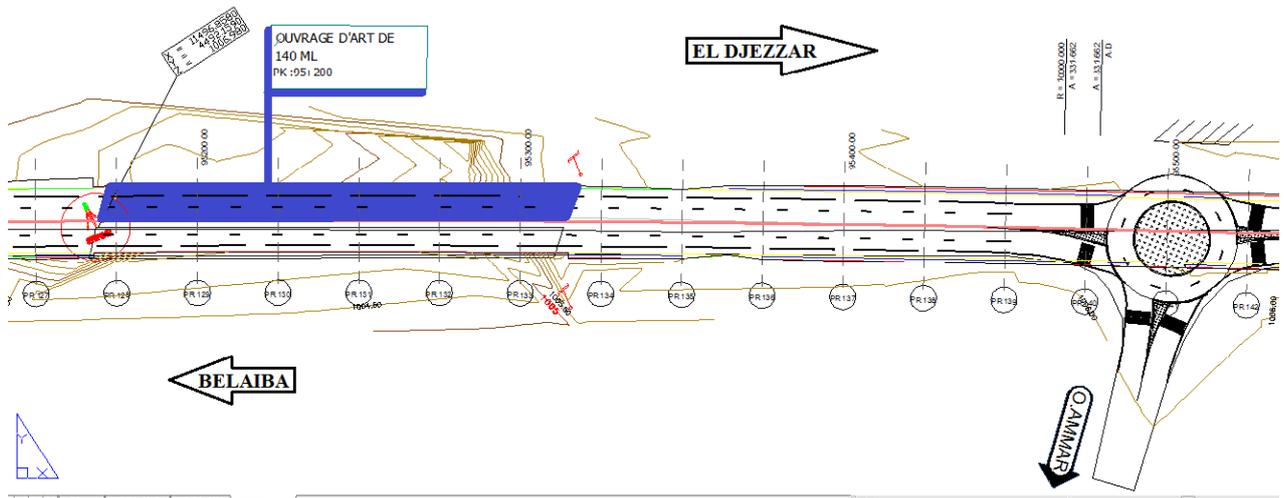


Figure 61 : Une illustration du site du pont

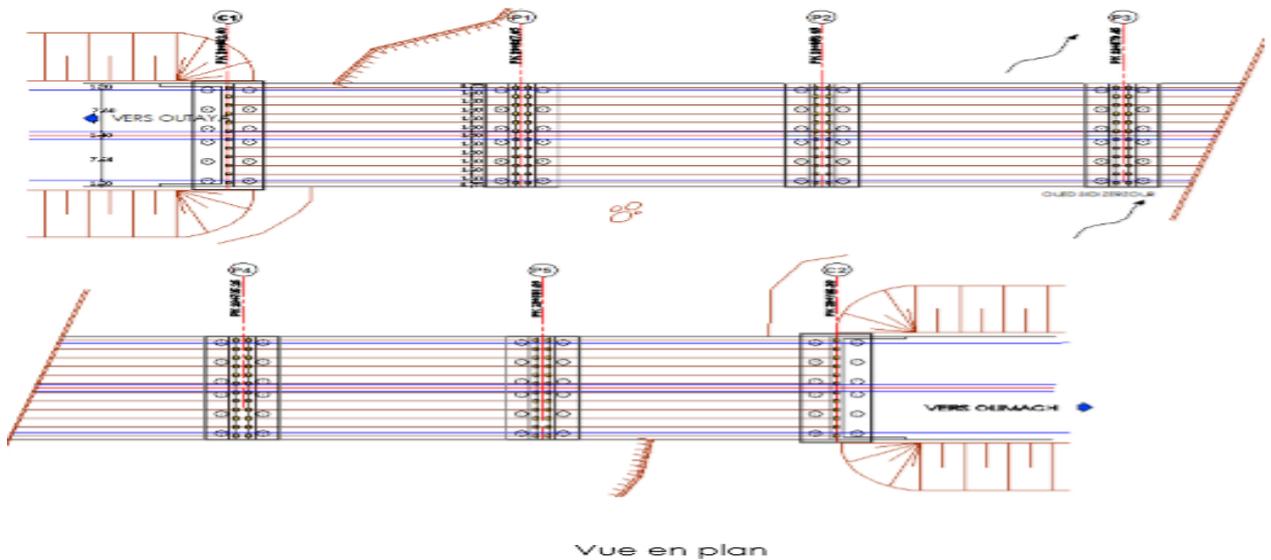


Figure 62 : LES JOINTS DE CHAUSSEE

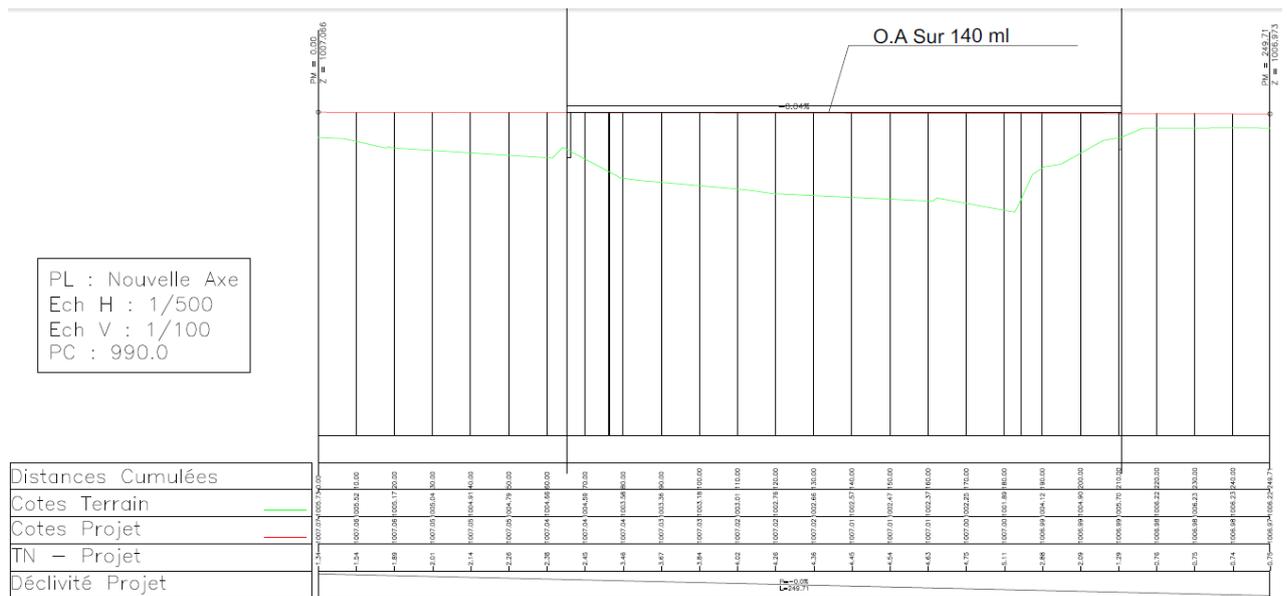




Figure 65 : Vue latérale du pont du projet



Figure 66 : Image du début du pont du projet

Conclusion General

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans une étude nous avons essayés de respecter toute les contraintes et les normes existantes qu'on ne peut pas les négliger et on prend en considération, le confort, la sécurité des usagers ainsi bien que l'économie et l'environnement, et nous avons suivi le tracé de la route existante avec modification des points noir.

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour mettre en application les connaissances théoriques acquises pendant le cycle de formation afin de pouvoir diminuer la congestion que subit la RN28.

Cette étude a permis de chercher des solutions à tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter lors d'une étude d'un projet routier.

Il était pour nous une part l'occasion de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet des travaux publics.

De plus une occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence le logiciel de **covadi-autopiste**

Devis Quantitatif et Estimatif

Devis Quantitatif et Estimatif RN 28

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

DETAIL QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Lot 01: Etude Du Contournement De La Ville De Biskra Est liaison RN28 7Kms

Lot 01: Terrassements, chaussées et assainissement

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1	Travaux de terrassements				
1,1	Décapage de la terre végétale y/c évacuation des terres à la décharge publique	M3	33 913	200,00	6 782 600,00
1,2	Déblais des terres y/c évacuation à la décharge publique	M3	40 732	500,00	20 366 000,00
1,3	Remblai en matériaux sélectionnés y/c transport et mise en œuvre en couches successives et toutes sujétion de bonne exécution	M3	115 838	700,00	81 086 600,00
1,4	fraisage de la couche de roulement sur 5 cm y/c nettoyage et transport parc DTP , et toutes sujétion de bonne exécution	M2	60 116	150,00	9 017 400,00
II	Travaux de chaussée				
2,1	Fourniture et mise en œuvre d'une couche de forme en TVO. Epaisseur = 40 cm	M3	65 353	600,00	39 211 800,00
2,2	Fourniture et mise en œuvre d'une couche de forme en GNT. Epaisseur = 30 cm	M3	21 230	900,00	19 107 000,00
2,3	Couche d'imprégnation au cut back 0/1	M2	106 104	120,00	12 732 480,00
2,4	Fourniture et mise en œuvre de la grave bitume sur une épaisseur de 16 cm y compris couches d'accrochage entre couche successives	T	48 358	4 500,00	217 612 350,00
2,5	Fourniture et mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux de 07 cm épaisseur y compris couche d'accrochage	T	19 006	5 000,00	95 028 000,00
2,6	Matériaux sélectionnés pour rechargement d'accotement en TVO.	M3	7 536	600,00	4 521 720,00
2,7	Rechargement d'accotement en utilisons la fraisa dégagée dans l'article N°1,4 amandé en sable de carrière 30% y/c toutes sujétions de bo,,e exécution, Epaisseur = 23 cm	M3	5 635	700,00	3 944 500,00
3	Travaux d'assainissement				
3,1	Ouvrage d'assainissement en buse de diamètre 1000 y compris enrobage, têtes d'ouvrage en béton armé	ml	200,00	30 000,00	6 000 000,00
3,2	Fossé bétonnés dimensions 0,5 x 1,5 x 0,5	ML	3 200	3 000,00	9 600 000,00
				TOTAL HT 01	525 010 450,00

Devis Quantitatif et Estimatif RN 28

Lot02:Signalisation Horizontale

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1	Signalisation horizontale				
1,1	Marquage par hachures	M2	700	500,00	350 000,00
1,2	Marquage en ligne continues (U= 18 cm)	ML	14000	150,00	2 100 000,00
1,3	Marquage en ligne discontinues (axe 0,15)	ML	3630	150,00	544 444,44
1,3	Marquage en ligne discontinues (Rive 0,18)	ML	6462	150,00	969 230,77
1,4	Flèches de direction	Unité	15	1 500,00	22 500,00
1,5	Fleche de rabattement	Unité	10	1 500,00	15 000,00
1,6	F/ pose des plots en verre réfléchissants trompé, y compris toute sujétion de bonne exécution	Unité	2800	2 200,00	6 160 000,00
TOTAL HT 02					10 161 175,21

Lot 03 :Signalisation Verticale

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1	Signalisation verticale				
1,1	Type A - Panneaux de danger	U	22	8 000,00	176 000,00
1,2	Type AB - Panneaux d'intersection et de priorité	U	15	8 000,00	120 000,00
1,3	Type B - Panneaux de prescription	U	15	8 000,00	120 000,00
1,4	Type C - Panneaux d'interdiction et de restriction	U	5	8 000,00	40 000,00
1,5	Type D - Panneaux d'obligation	U	11	8 000,00	88 000,00
1,6	Borne kilométrique	U	7	2 000,00	14 000,00
TOTAL HT 03					558 000,00

Lot 04 :Réalisation d'un mur séparateur en béton

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1,1	Réalisation d'un mur séparateur symétrique par coffrage glissant en béton dosé à 350 Kg/m3 /CPA et toutes sujétions de bonne exécution	ML	14000	3 200,00	44 800 000,00
1,2	Remplissage en terre vigitale pour TPC avec toute soujestion de bonne exécution	M3	4700	500,00	2 350 000,00
TOTAL HT 04					47 150 000,00

Devis Quantitatif et Estimatif RN 28

LOT 05 : ECLAIRAGE PUBLIC EN ENERGIE SOLAIRE.

N°	Désignations	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1	Construction d'un socle en béton (0,60*0,60*0,90) ciment HTS dosé à 350kg/m ³ et toute sujétion de la bonne exécution.	U	226	400,00	90 400,00
2	Fourniture et pose d'un candélabre (acier galvanise thermolaque trite contre la corrosion ,hauteur de 7m) avec crosse double et toute sujétion de la bonne exécution.	U	226	35 000,00	7 910 000,00
3	Fourniture et pose d'un lampadaire LED LUMEN 7000lm (puissance supérieure au égale 60W) à énergie solaire avec panneau solaire (puissance 18V80 silicium monocristallin a haute efficacité) et capteur crépusculaire et de mouvement ,batterie interne en lithium(12.8V 64AH batterie liFePO4 durée de vie 5ans)et toute sujétion de la bonne exécution.	U	452	140 000,00	63 280 000,00
TOTAL HT 05					71 280 400,00

LOT 06 : REALISATION D'UN CARFFOUR Giratoire El Djeddar RN28

N°	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1	Travaux de terrassements				
1,1	Décassement de la chaussée existante y compris évacuation à la décharge	m ³	1 123	400,00	449 328,00
1,2	Remblai en matériaux sélection y compris transport et mise en œuvre	m ³	2 779	1 000,00	2 778 948,00
2	Travaux de chaussée				
2,1	Couche de forme en Tuf ou TVO y compris transport et mise en œuvre	m ³	1 380	600,00	827 813,62
2,2	Couche de fondation en grave concassée y compris transport et mise en œuvre	m ³	781	1 800,00	1 405 468,26
2,3	Couche de base Grave bitume y compris transport et mise en œuvre	T	949	4 500,00	4 272 623,50

Devis Quantitatif et Estimatif RN 28

2,4	Couche de roulement Béton bitumineux y compris transport et mise en œuvre	T	423	5 000,00	2 113 407,82
2.5	Béton poreux teinté ep=10cm pour trottoirs, ilots avec une couche en gravier 7/15 ep=15cm y/c pose d'une gaine de réservation en PVC Ø 90 et toutes sujétions bonne exécution	M2	600	1 600,00	960 000,00
3	Divers				
3,1	Fourniture et pose de bordure T2 avec peinture et toute soujestion de bonne exécution	MI	323	1 000,00	322 583,66
4	Eclairage public				
4,1	F/P des candélabres H = 8 m type phermolaqué ,l'exécution des fouille en tranchée, des massifs en béton/P du câble, raccordement Y/C toutes sujétions de bonne exécution	U	10	50 000,00	500 000,00
4,2	F/P crose simple avec luminaire LED 100 W Y/C toutes sujétions de bonne exécution	U	4	50 000,00	200 000,00
4,3	F/P crose double avec deux luminaire LED 100 W Y/C toutes sujétions de bonne exécution	U	6	100 000,00	600 000,00
				Total HT 06	14 430 172,87

LOT 07 : REALISATION D'UN CARFFOUR Giratoire Ouled Amar RN28

N°	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
1	Travaux de terrassements				
1,1	Décaissement de la chaussée existante y compris évacuation à la décharge	m ³	532	400,00	212 674,00
1,2	Remblai en matériaux sélection y compris transport et mise en œuvre	m ³	7	1 000,00	7 090,00
2	Travaux de chaussée				
2,1	Couche de forme en Tuf ou TVO y compris transport et mise en œuvre	m ³	1 472	600,00	883 040,97
2,2	Couche de fondation en grave concassée y compris transport et mise en œuvre	m ³	815	1 800,00	1 467 710,21
2,3	Couche de base Grave bitume y compris transport et mise en œuvre	T	992	4 500,00	4 461 839,04

Devis Quantitatif et Estimatif RN 28

2,4	Couche de roulement Béton bitumineux y compris transport et mise en œuvre	T	441	5 000,00	2 207 001,28
2.5	Béton poreux teinté ep=10cm pour trottoirs, ilots avec une couche en gravier 7/15 ep=15cm y/c pose d'une gaine de réservation en PVC Ø 90 et toutes sujétions bonne exécution	M2	600	1 600,00	960 000,00
3	Divers				
3,1	Fourniture et pose de bordure T2 avec peinture et toute sujestion de bonne exécution	MI	366	1 000,00	365 923,68
4	Eclairage public				
4,1	F/P des candélabres H = 8 m type phermolaqué ,l'exécution des fouille en tranchée, des massifs en béton/P du câble, raccordement Y/C toutes sujétions de bonne exécution	U	10	50 000,00	500 000,00
4,2	F/P crose simple avec luminaire LED 100 W Y/C toutes sujétion de bonne exécution	U	4	50 000,00	200 000,00
4,3	F/P crose double avec deux luminaire LED 100 W Y/C toutes sujétion de bonne exécution	U	6	100 000,00	600 000,00
				Total HT 07	11 865 279,18

LOT: 08 OUVRAGE d'art (Pont à poutres en béton précontraint)

1	OPERATIONS PRELIMINAIRES				8 600 000,00
2	TERRASSEMENTS				3 730 000,00
3	OUVRAGE				189 300 000,00
4	EQUIPEMENTS				30 000 000,00
				Total HT 08	231 630 000,00
				Total HT 1+2+3+4+5+6+7+8	912 085 477,26
				TVA 19 %	173 296 240,68
				TOTAL TTC	1 085 381 717,94

arrêté le présent devis à la somme en TTC de:

Un milliard quatre vingt cinq millions trois cent quatre vingt et un mille sept cent dix sept DA, 94 cts

LE DIRECTEUR

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. Webographie

- Wikipédia.
- Google Earth.
- Formation sur Udemy + YouTube (AUTOCAD + COVADIS).
- www.geo-media.com.

2. Outils informatiques

- Logiciel Covadis 10.1.
- AutoCAD 2008.
- Alizé LCPC.
- Microsoft PowerPoint.
- Microsoft Word.

3. Cours

- Cours de routes de 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} année Travaux Publics.
- Les cours des routes + Mini Projet M₁ avec (MR. MED REMADNA).

4. Documents

- B40 (Normes techniques d'aménagement des routes et trafic et capacité des routes).
- Fascicule 1 (Notice d'utilisation).
- Fascicule 2 (Hypothèses Et Données De Dimensionnement).
- Fascicule 3 (Fiches Techniques De Dimensionnement).
- Documents depuis le bureau d'étude LBAGDIM.
- Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (C.T.T.P).
- ARP : Aménagement des routes principales.

ANNEXE

ANNEXE

Axe En Plan

Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 127.9095 g	1171.570	0.000	8575.021	5714.393
Clothoïde 1	Paramètre 133.000	17.689	1171.570	9635.798	5217.071
Arc 1	Rayon 1000.000 m Centre X 10068.304 m Centre Y 6118.760 m	50.518	1189.259	9651.836	5209.609
Clothoïde 2	Paramètre -133.000	17.689	1239.777	9698.276	5189.739
Droite 2	Gisement 123.5673 g	1909.016	1257.466	9714.748	5183.290
Arc 2	Rayon -1000.000 m Centre X 11132.646 m Centre Y 3560.358 m	4.642	3166.482	11494.442	4492.615
Droite 3	Gisement 123.8628 g	141.675	3171.124	11498.766	4490.926
Arc 3	Rayon 1000.000 m Centre X 11996.724 m Centre Y 5369.623 m	1.030	3312.800	11630.604	4439.056
Droite 4	Gisement 123.7972 g	3676.316	3313.829	11631.563	4438.679
			6990.146	15054.008	3096.230
Longueur totale de l'axe 6990.146 mètre(s)					

Profil En Long Projet

Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 0.24 %	684.015	0.000	1008.682
Parabole 1	Pente 0.24 % Rayon -6000.000 m Sommet Absc. 698.364 m Sommet Alt. 1010.335 m Pente -0.96 %	71.971	684.015	1010.318
Pente 2	Pente -0.96 %	785.833	755.985	1010.059
Parabole 2	Pente -0.96 % Rayon 3000.000 m Sommet Absc. 1570.629 m Sommet Alt. 1002.373 m Pente 0.25 %	36.364	1541.818	1002.512
Pente 3	Pente 0.25 %	5411.902	1578.182	1002.383
			6990.084	1016.009
Longueur totale de l'axe 6990.084 mètre(s)				

ANNEXE

Récapitulatif des Cubatures des Matériaux (compensé)

Accotement

Matériau	Volume Cumulé
TVO Accote	13171.20

Chaussée

Matériau	Volume Cumulé
BETON BITUMINEUX	7918.22
GB	20577.94
GNT	21695.66

F.D.F

Matériau	Volume Cumulé
TVO	66838.79

T.P.C

Matériau	Volume Cumulé
TERRE VEGETALE	4805.97

CARREFOUR GIRATOIRE

- Carrefour giratoire : Giratoire El Djezzer RN28

Géométrie de l'anneau	
Coordonnées du centre	X= 14830.446 m Y= 3183.922 m
Rayon extérieur	20.000 m
Rayon intérieur	13.000 m
Largeur d'anneau	7.000 m
Surlargeur franchissable	0.000 m
Distance marquage extérieur	0.500 m
Distance marquage intérieur	0.500 m

Géométrie de la branche 'Ver El Djezzer ' (1)			
Point de référence	X= 14830.446 m	Angle	26.362 gr
	Y= 3183.922 m		
Triangle de construction		Ilot central	
Hauteur	20.000 m	Rayon de raccord	0.400 m
Base	5.000 m	Distance de l'anneau	1.000 m
Déport	0.450 m	Distance de marquage	0.500 m
Caractéristiques des voies		Entrée	Sortie
Rayon de raccord sur anneau		15.000 m	20.000 m
Largeur voie sur anneau		6.000 m	6.000 m
Largeur voie courante		5.750 m	5.750 m
Rayon de raccord sur voie courante		80.000 m	80.000 m
Terre-plein		0.000 m	0.000 m
Distance départ passage piéton		5.750 m	5.750 m
Largeur passage piéton		5.750 m	5.750 m
Branche(s) en conflit			
Conflit avec : Ver barika			
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y
Ver Belaiba	27.905 m	14814.435 m	3227.137 m
Ver barika	18.393 m	14834.567 m	3185.445 m
Ver El Djezzer	16.469 m	14831.443 m	3186.180 m

ANNEXE

Géométrie de la branche 'Ver Belaiba' (2)				
Point de référence	X=	14830.446 m	Angle	323.797 gr
	Y=	3183.922 m		
Triangle de construction		Ilot central		
Hauteur	20.000 m	Rayon de raccord	0.400 m	
Base	5.000 m	Distance de l'anneau	1.000 m	
Déport	0.450 m	Distance de marquage	0.500 m	
Caractéristiques des voies		Entrée	Sortie	
Rayon de raccord sur anneau		15.000 m	20.000 m	
Largeur voie sur anneau		8.000 m	8.000 m	
Largeur voie courante		7.750 m	7.750 m	
Rayon de raccord sur voie courante		80.000 m	80.000 m	
Terre-plein		0.000 m	0.000 m	
Distance départ passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Largeur passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Branche(s) en conflit				
Pas de conflit				
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Ver barika	41.125 m	14839.834 m	3209.371 m	
Ver El Djezzer	18.668 m	14828.441 m	3188.140 m	
Ver Belaiba	16.569 m	14828.044 m	3184.831 m	

Géométrie de la branche 'Ver barika' (3)				
Point de référence	X=	14830.446 m	Angle	123.797 gr
	Y=	3183.922 m		
Triangle de construction		Ilot central		
Hauteur	20.000 m	Rayon de raccord	0.400 m	
Base	5.000 m	Distance de l'anneau	1.000 m	
Déport	0.450 m	Distance de marquage	0.500 m	
Caractéristiques des voies		Entrée	Sortie	
Rayon de raccord sur anneau		15.000 m	20.000 m	
Largeur voie sur anneau		8.000 m	8.000 m	
Largeur voie courante		7.750 m	7.750 m	
Rayon de raccord sur voie courante		80.000 m	80.000 m	
Terre-plein		0.000 m	0.000 m	
Distance départ passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Largeur passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Branche(s) en conflit				
Conflit avec : Ver El Djezzer				
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Ver El Djezzer	18.668 m	14828.441 m	3188.140 m	
Ver Belaiba	41.126 m	14821.057 m	3158.473 m	
Ver barika	16.569 m	14832.847 m	3183.012 m	

ANNEXE

Carrefour giratoire : Giratoire de Ouled Amar RN28

Géométrie de l'anneau	
Coordonnées du centre	X= 11804.877 m
	Y= 4370.697 m
Rayon extérieur	20.000 m
Rayon intérieur	13.000 m
Largeur d'anneau	7.000 m
Surlargeur franchissable	0.000 m
Distance marquage extérieur	0.500 m
Distance marquage intérieur	0.500 m

Géométrie de la branche 'Ver Belaiba' (1)				
Point de référence	X= 11804.877 m	Angle	323.797 gr	
	Y= 4370.697 m			
Triangle de construction		Ilot central		
Hauteur	20.000 m	Rayon de raccord	0.400 m	
Base	5.000 m	Distance de l'anneau	1.000 m	
Déport	0.450 m	Distance de marquage	0.500 m	
Caractéristiques des voies		Entrée	Sortie	
Rayon de raccord sur anneau		15.000 m	20.000 m	
Largeur voie sur anneau		8.000 m	8.000 m	
Largeur voie courante		7.750 m	7.750 m	
Rayon de raccord sur voie courante		80.000 m	80.000 m	
Terre-plein		0.000 m	0.000 m	
Distance départ passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Largeur passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Branche(s) en conflit				
Conflit avec : Ver Ouled Amar				
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Ver Ouled Amar				
Ver El Djezzer	41.125 m	11814.266 m	4396.146 m	
Ver Belaiba	16.569 m	11802.476 m	4371.606 m	

ANNEXE

Géométrie de la branche 'Ver Ouled Amar' (2)				
Point de référence	X=	11804.877 m	Angle	234.520 gr
	Y=	4370.697 m		
Triangle de construction		Ilot central		
Hauteur	20.000 m	Rayon de raccord	0.400 m	
Base	5.000 m	Distance de l'anneau	1.000 m	
Déport	0.450 m	Distance de marquage	0.500 m	
Caractéristiques des voies		Entrée	Sortie	
Rayon de raccord sur anneau		15.000 m	20.000 m	
Largeur voie sur anneau		5.000 m	5.000 m	
Largeur voie courante		4.750 m	4.750 m	
Rayon de raccord sur voie courante		--- m	--- m	
Terre-plein		0.000 m	0.000 m	
Distance départ passage piéton		4.750 m	4.750 m	
Largeur passage piéton		4.750 m	4.750 m	
Branche courbe sur voie existante				
Point sur voie existante	X=	11759.747 m	Angle	40.691 gr
	Y=	4301.712 m	Rayon de raccordement	637.804 m

Géométrie de la branche 'Ver El Djezzer' (3)				
Point de référence	X=	11804.877 m	Angle	123.797 gr
	Y=	4370.697 m		
Triangle de construction		Ilot central		
Hauteur	20.000 m	Rayon de raccord	0.400 m	
Base	5.000 m	Distance de l'anneau	1.000 m	
Déport	0.450 m	Distance de marquage	0.500 m	
Caractéristiques des voies		Entrée	Sortie	
Rayon de raccord sur anneau		15.000 m	20.000 m	
Largeur voie sur anneau		8.000 m	8.000 m	
Largeur voie courante		7.750 m	7.750 m	
Rayon de raccord sur voie courante		80.000 m	80.000 m	
Terre-plein		0.000 m	0.000 m	
Distance départ passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Largeur passage piéton		7.750 m	7.750 m	
Branche(s) en conflit				
Pas de conflit				
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Ver Belaiba	41.125 m	11795.489 m	4345.248 m	
Ver Ouled Amar				
Ver El Djezzer	16.569 m	11807.279 m	4369.787 m	

ANNEXE

Cubatures Déblai Remblai (compensé)

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
1	0.000	15.00	11.09	0.02	166.305	0.311	166	0
2	30.000	30.00	7.64	0.07	229.349	2.140	396	2
3	60.000	30.00	1.45	1.13	43.461	33.961	439	36
4	90.000	30.00	0.00	5.18	0.000	155.344	439	192
5	120.000	30.00	0.22	4.10	6.618	122.907	446	315
6	150.000	30.00	1.56	1.81	46.653	54.205	492	369
7	180.000	30.00	2.88	0.25	86.287	7.406	579	376
8	210.000	30.00	5.21	0.07	156.313	2.004	735	378
9	240.000	30.00	6.45	0.06	193.556	1.904	929	380
10	270.000	30.00	6.96	0.06	208.723	1.868	1137	382
11	300.000	30.00	4.35	0.06	130.609	1.916	1268	384
12	330.000	30.00	6.10	0.06	182.967	1.807	1451	386
13	360.000	30.00	6.60	0.06	198.085	1.866	1649	388
14	390.000	30.00	9.94	0.05	298.221	1.442	1947	389
15	420.000	30.00	11.28	0.05	338.289	1.443	2285	391
16	450.000	30.00	12.74	0.05	382.259	1.468	2668	392
17	480.000	30.00	13.06	0.05	391.803	1.457	3059	393
18	510.000	30.00	13.19	0.05	395.663	1.481	3455	395
19	540.000	30.00	19.32	0.04	579.456	1.174	4035	396
20	570.000	30.00	15.81	0.04	474.400	1.276	4509	397
21	600.000	30.00	7.11	0.11	213.398	3.409	4722	401
22	630.000	30.00	1.09	11.93	32.663	357.902	4755	759
23	660.000	30.00	2.03	33.66	60.942	1009.857	4816	1769
24	690.000	30.00	0.02	14.11	0.497	423.212	4817	2192
25	720.000	30.00	2.06	0.12	61.654	3.558	4878	2195
26	750.000	30.00	5.67	0.07	170.112	1.965	5048	2197
27	780.000	30.00	12.32	0.04	369.558	1.251	5418	2199
28	810.000	30.00	14.26	0.04	427.888	1.169	5846	2200
29	840.000	30.00	15.33	0.04	459.878	1.249	6306	2201
30	870.000	30.00	15.45	0.04	463.491	1.273	6769	2202
31	900.000	30.00	10.96	0.06	328.835	1.927	7098	2204
32	930.000	30.00	9.30	0.06	278.946	1.674	7377	2206
33	960.000	30.00	4.75	0.07	142.448	2.067	7519	2208
34	990.000	30.00	1.94	0.09	58.098	2.796	7577	2211
35	1020.000	30.00	0.00	4.55	0.000	136.383	7577	2347
36	1050.000	30.00	0.00	11.45	0.000	343.382	7577	2690
37	1080.000	30.00	0.00	18.85	0.000	565.649	7577	3256
38	1110.000	30.00	0.00	24.42	0.000	732.681	7577	3989
39	1140.000	30.00	0.00	28.23	0.000	846.999	7577	4836
40	1170.000	30.00	0.00	26.24	0.000	787.367	7577	5623
41	1200.000	30.00	0.00	17.66	0.000	531.281	7577	6154
42	1230.000	30.00	0.00	15.57	0.000	469.169	7577	6624
43	1260.000	30.00	0.00	17.67	0.000	530.579	7577	7154
44	1290.000	30.00	0.00	20.20	0.000	606.123	7577	7760
45	1320.000	30.00	3.36	21.61	100.911	648.365	7678	8409
46	1350.000	30.00	0.00	21.50	0.000	645.146	7678	9054
47	1380.000	30.00	0.00	24.25	0.000	727.513	7678	9781
48	1410.000	30.00	0.00	30.71	0.000	921.204	7678	10703
49	1440.000	30.00	0.00	29.16	0.000	874.705	7678	11577
50	1470.000	30.00	0.00	23.02	0.000	690.740	7678	12268
51	1500.000	30.00	0.00	19.33	0.000	580.040	7678	12848
52	1530.000	30.00	0.00	16.38	0.000	491.470	7678	13339
53	1560.000	30.00	0.00	15.37	0.000	461.088	7678	13801
54	1590.000	30.00	0.00	22.50	0.000	674.883	7678	14475
55	1620.000	30.00	0.00	30.04	0.000	901.138	7678	15377
56	1650.000	30.00	0.00	24.70	0.000	740.888	7678	16117
57	1680.000	30.00	0.00	28.89	0.000	866.635	7678	16984
58	1710.000	30.00	0.00	29.93	0.000	897.794	7678	17882
59	1740.000	30.00	0.00	29.13	0.000	873.772	7678	18756

ANNEXE

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
60	1770.000	30.00	0.00	28.81	0.000	864.228	7678	19620
61	1800.000	30.00	0.00	35.97	0.000	1079.240	7678	20699
62	1830.000	30.00	0.00	29.73	0.000	891.968	7678	21591
63	1860.000	30.00	0.00	26.16	0.000	784.937	7678	22376
64	1890.000	30.00	0.00	23.83	0.000	714.836	7678	23091
65	1920.000	30.00	0.00	18.46	0.000	553.804	7678	23645
66	1950.000	30.00	0.00	10.54	0.000	316.324	7678	23961
67	1980.000	30.00	0.01	16.06	0.197	481.899	7679	24443
68	2010.000	30.00	0.52	5.63	15.608	169.018	7694	24612
69	2040.000	30.00	14.83	0.83	444.813	25.029	8139	24637
70	2070.000	30.00	4.46	0.06	133.916	1.794	8273	24639
71	2100.000	30.00	4.65	0.06	139.624	1.805	8412	24641
72	2130.000	30.00	5.10	9.87	152.865	296.137	8565	24937
73	2160.000	30.00	8.78	0.06	263.325	1.780	8829	24938
74	2190.000	30.00	6.13	2.70	183.768	81.025	9012	25020
75	2220.000	30.00	17.06	0.04	511.904	1.203	9524	25021
76	2250.000	30.00	8.42	5.68	252.573	170.474	9777	25191
77	2280.000	30.00	12.16	3.75	364.821	112.361	10142	25304
78	2310.000	30.00	10.84	16.34	325.309	490.071	10467	25794
79	2340.000	30.00	7.64	8.48	229.178	254.293	10696	26048
80	2370.000	30.00	0.00	27.60	0.000	828.048	10696	26876
81	2400.000	30.00	0.00	43.25	0.000	1297.424	10696	28173
82	2430.000	30.00	0.00	12.66	0.000	379.906	10696	28553
83	2460.000	30.00	24.63	1.62	738.799	48.676	11435	28602
84	2490.000	30.00	10.28	14.52	308.406	435.566	11743	29038
85	2520.000	30.00	26.42	0.04	792.650	1.092	12536	29039
86	2550.000	30.00	28.11	0.04	843.415	1.165	13380	29040
87	2580.000	30.00	44.59	0.04	1337.738	1.226	14717	29041
88	2610.000	30.00	31.60	0.04	947.996	1.155	15665	29042
89	2640.000	30.00	29.51	0.04	885.371	1.198	16551	29043
90	2670.000	30.00	29.30	0.04	878.857	1.199	17429	29045
91	2700.000	30.00	29.91	0.04	897.205	1.224	18327	29046
92	2730.000	30.00	28.77	0.04	863.156	1.196	19190	29047
93	2760.000	30.00	28.07	0.04	841.957	1.196	20032	29048
94	2790.000	30.00	29.04	0.04	871.087	1.170	20903	29049
95	2820.000	30.00	28.83	0.04	864.751	1.163	21768	29051
96	2850.000	30.00	1.70	0.19	50.969	5.636	21819	29056
97	2880.000	30.00	16.54	2.27	496.168	67.976	22315	29124
98	2910.000	30.00	18.40	5.71	552.096	171.397	22867	29296
99	2940.000	30.00	30.76	0.04	922.849	1.200	23790	29297
100	2970.000	30.00	25.60	0.04	768.118	1.172	24558	29298
101	3000.000	30.00	18.56	0.05	556.829	1.416	25115	29299
102	3030.000	30.00	12.76	0.05	382.907	1.497	25498	29301
103	3060.000	30.00	12.68	0.05	380.420	1.463	25878	29302
104	3090.000	30.00	13.86	0.05	415.842	1.490	26294	29304
105	3120.000	30.00	10.99	1.55	329.698	46.577	26624	29350
106	3150.000	30.00	9.32	8.97	279.710	269.227	26903	29620
107	3180.000	30.00	0.32	34.15	9.742	1024.903	26913	30644
108	3210.000	30.00	0.00	61.33	0.000	1840.006	26913	32484
109	3240.000	30.00	0.00	67.79	0.000	2033.585	26913	34518
110	3270.000	30.00	0.00	84.71	0.000	2541.209	26913	37059
111	3300.000	30.00	0.00	69.57	0.000	2087.603	26913	39147
112	3330.000	30.00	4.13	29.97	123.987	899.002	27037	40046
113	3360.000	30.00	6.31	0.06	189.314	1.755	27226	40048
114	3390.000	30.00	4.84	0.06	145.265	1.754	27372	40049
115	3420.000	30.00	4.48	0.06	134.333	1.669	27506	40051
116	3450.000	30.00	4.38	0.06	131.528	1.723	27637	40053
117	3480.000	30.00	2.84	0.06	85.275	1.774	27723	40055
118	3510.000	30.00	5.30	0.06	159.084	1.801	27882	40056
119	3540.000	30.00	5.19	0.06	155.798	1.792	28038	40058
120	3570.000	30.00	8.84	0.05	265.315	1.617	28303	40060
121	3600.000	30.00	11.09	0.06	332.683	1.710	28636	40061
122	3630.000	30.00	14.45	0.05	433.641	1.443	29069	40063

ANNEXE

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
123	3660.000	30.00	17.65	0.04	529.570	1.156	29599	40064
124	3690.000	30.00	17.42	0.04	522.745	1.187	30122	40065
125	3720.000	30.00	14.19	0.05	425.599	1.495	30547	40067
126	3750.000	30.00	13.51	0.05	405.375	1.498	30952	40068
127	3780.000	30.00	9.52	0.06	285.512	1.747	31238	40070
128	3810.000	30.00	8.62	0.06	258.539	1.747	31497	40072
129	3840.000	30.00	7.09	0.06	212.644	1.656	31709	40073
130	3870.000	30.00	7.05	0.06	211.540	1.815	31921	40075
131	3900.000	30.00	6.83	0.06	204.880	1.782	32126	40077
132	3930.000	30.00	5.23	0.06	156.800	1.684	32282	40079
133	3960.000	30.00	0.93	1.10	27.971	32.882	32310	40112
134	3990.000	30.00	0.00	2.79	0.000	83.814	32310	40195
135	4020.000	30.00	0.00	7.35	0.000	220.561	32310	40416
136	4050.000	30.00	0.00	9.32	0.000	279.545	32310	40695
137	4080.000	30.00	0.00	27.92	0.000	837.541	32310	41533
138	4110.000	30.00	0.00	13.39	0.000	401.758	32310	41935
139	4140.000	30.00	0.00	25.21	0.000	756.251	32310	42691
140	4170.000	30.00	0.00	16.64	0.000	499.281	32310	43190
141	4200.000	30.00	0.00	16.64	0.000	499.076	32310	43689
142	4230.000	30.00	0.00	19.61	0.000	588.285	32310	44278
143	4260.000	30.00	0.00	29.52	0.000	885.557	32310	45163
144	4290.000	30.00	0.00	32.68	0.000	980.329	32310	46144
145	4320.000	30.00	0.00	34.37	0.000	1031.049	32310	47175
146	4350.000	30.00	0.00	33.28	0.000	998.316	32310	48173
147	4380.000	30.00	0.00	32.10	0.000	962.925	32310	49136
148	4410.000	30.00	0.00	34.65	0.000	1039.603	32310	50175
149	4440.000	30.00	0.00	38.21	0.000	1146.331	32310	51322
150	4470.000	30.00	0.00	41.94	0.000	1258.316	32310	52580
151	4500.000	30.00	0.00	44.38	0.000	1331.437	32310	53912
152	4530.000	30.00	0.00	45.44	0.000	1363.247	32310	55275
153	4560.000	30.00	0.00	46.09	0.000	1382.787	32310	56658
154	4590.000	30.00	0.00	52.01	0.000	1560.342	32310	58218
155	4620.000	30.00	0.00	56.32	0.000	1689.722	32310	59908
156	4650.000	30.00	0.00	61.45	0.000	1843.593	32310	61751
157	4680.000	30.00	0.00	55.32	0.000	1659.579	32310	63411
158	4710.000	30.00	0.00	63.23	0.000	1896.894	32310	65308
159	4740.000	30.00	0.00	57.91	0.000	1737.232	32310	67045
160	4770.000	30.00	0.00	59.53	0.000	1785.763	32310	68831
161	4800.000	30.00	0.00	57.72	0.000	1731.742	32310	70562
162	4830.000	30.00	0.00	58.77	0.000	1763.026	32310	72325
163	4860.000	30.00	0.00	60.94	0.000	1828.340	32310	74154
164	4890.000	30.00	0.00	61.93	0.000	1858.047	32310	76012
165	4920.000	30.00	0.00	62.67	0.000	1880.245	32310	77892
166	4950.000	30.00	0.00	60.43	0.000	1812.800	32310	79705
167	4980.000	30.00	0.00	61.06	0.000	1831.877	32310	81537
168	5010.000	30.00	0.00	56.77	0.000	1703.085	32310	83240
169	5040.000	30.00	0.00	65.96	0.000	1978.794	32310	85219
170	5070.000	30.00	0.00	69.80	0.000	2093.911	32310	87313
171	5100.000	30.00	0.00	72.09	0.000	2162.596	32310	89475
172	5130.000	30.00	0.00	61.52	0.000	1845.581	32310	91321
173	5160.000	30.00	0.00	59.36	0.000	1780.737	32310	93101
174	5190.000	30.00	0.00	57.18	0.000	1715.458	32310	94817
175	5220.000	30.00	0.00	55.18	0.000	1655.325	32310	96472
176	5250.000	30.00	0.00	56.79	0.000	1703.598	32310	98176
177	5280.000	30.00	0.00	55.71	0.000	1671.421	32310	99847
178	5310.000	30.00	0.00	54.44	0.000	1633.302	32310	101481
179	5340.000	30.00	0.00	53.25	0.000	1597.475	32310	103078
180	5370.000	30.00	0.00	51.04	0.000	1531.276	32310	104609
181	5400.000	30.00	0.00	46.10	0.000	1382.925	32310	105992
182	5430.000	30.00	0.00	42.36	0.000	1270.706	32310	107263
183	5460.000	30.00	0.00	39.32	0.000	1179.469	32310	108442
184	5490.000	30.00	0.00	37.42	0.000	1122.528	32310	109565
185	5520.000	30.00	1.41	12.31	42.230	369.169	32353	109934

ANNEXE

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
186	5550.000	30.00	6.41	16.00	192.335	479.971	32545	110414
187	5580.000	30.00	0.00	37.43	0.000	1122.964	32545	111537
188	5610.000	30.00	0.00	36.39	0.000	1091.717	32545	112629
189	5640.000	30.00	0.00	34.16	0.000	1024.720	32545	113654
190	5670.000	30.00	0.00	34.99	0.000	1049.708	32545	114703
191	5700.000	30.00	0.00	31.88	0.000	956.285	32545	115659
192	5730.000	30.00	0.00	31.29	0.000	938.654	32545	116598
193	5760.000	30.00	0.00	44.31	0.000	1329.316	32545	117927
194	5790.000	30.00	0.00	20.06	0.000	601.793	32545	118529
195	5820.000	30.00	0.00	16.29	0.000	488.848	32545	119018
196	5850.000	30.00	0.00	16.39	0.000	491.676	32545	119510
197	5880.000	30.00	0.00	13.18	0.000	395.466	32545	119905
198	5910.000	30.00	0.00	10.23	0.000	306.818	32545	120212
199	5940.000	30.00	0.00	10.14	0.000	304.083	32545	120516
200	5970.000	30.00	0.00	6.17	0.000	185.103	32545	120701
201	6000.000	30.00	0.00	5.57	0.000	167.047	32545	120868
202	6030.000	30.00	0.00	5.34	0.000	160.093	32545	121028
203	6060.000	30.00	0.04	1.72	1.090	51.504	32546	121080
204	6090.000	30.00	1.37	0.21	41.092	6.167	32587	121086
205	6120.000	30.00	4.58	0.06	137.473	1.787	32725	121088
206	6150.000	30.00	5.57	0.06	167.139	1.809	32892	121090
207	6180.000	30.00	5.91	0.06	177.323	1.927	33069	121092
208	6210.000	30.00	8.10	0.06	243.063	1.718	33312	121093
209	6240.000	30.00	8.52	0.06	255.737	1.829	33568	121095
210	6270.000	30.00	9.49	0.06	284.693	1.765	33853	121097
211	6300.000	30.00	9.59	0.06	287.807	1.704	34140	121099
212	6330.000	30.00	13.61	0.05	408.260	1.504	34549	121100
213	6360.000	30.00	14.72	0.05	441.636	1.498	34990	121102
214	6390.000	30.00	14.16	0.05	424.824	1.453	35415	121103
215	6420.000	30.00	13.10	0.05	393.135	1.537	35808	121105
216	6450.000	30.00	13.72	0.04	411.695	1.211	36220	121106
217	6480.000	30.00	10.83	0.05	324.889	1.511	36545	121107
218	6510.000	30.00	12.23	0.05	366.836	1.514	36912	121109
219	6540.000	30.00	12.83	0.05	384.941	1.521	37297	121110
220	6570.000	30.00	9.61	0.06	288.165	1.851	37585	121112
221	6600.000	30.00	12.38	0.05	371.422	1.494	37956	121114
222	6630.000	30.00	12.59	0.05	377.791	1.519	38334	121115
223	6660.000	30.00	10.20	22.45	305.888	673.533	38640	121789
224	6690.000	30.00	11.76	0.13	352.669	4.031	38993	121793
225	6720.000	30.00	0.87	67.83	26.119	2035.029	39019	123828
226	6750.000	30.00	14.26	0.04	427.750	1.175	39446	123829
227	6780.000	30.00	8.39	0.06	251.809	1.797	39698	123831
228	6810.000	30.00	2.17	24.56	64.973	736.916	39763	124568
229	6840.000	30.00	5.71	8.28	171.178	248.315	39934	124816
230	6870.000	30.00	7.69	0.06	230.614	1.821	40165	124818
231	6900.000	30.00	9.77	0.05	293.137	1.513	40458	124819
232	6930.000	30.00	6.08	0.06	182.426	1.838	40641	124821
233	6960.000	30.00	0.73	18.11	21.936	543.320	40662	125365
234	6990.000	15.00	4.64	0.03	69.574	0.432	40732	125365