

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN –



Faculté de technologie
Département de génie civil

Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Travaux Publics

Option : Voies et Ouvrages d'Art

Intitulé :

Etude technico- managériale d'un raccordement routier au droit du dalot n°4. Accès Boudjlida-Oudjlida sur une longueur de 500 ml. Wilaya de Tlemcen.

Présenté le 6 juillet 2019 par :

HAMMOU-TANI Fatima Zohra.

DINEDANE Meriem.

Devant le jury composé de :

Mr. BEZZAR.A

Président.

Mme. KARA-TERKI. Dj

Examinatrice.

Mr. GHENNANI. B

Encadrant.

Mr. HAMZAOUI. F

Encadrant.

Année universitaire : 2018/2019.

REMERCIEMENTS :

Nous tenons à adresser, en premier lieu, nos sincères remerciements et le grand respect à Monsieur GHENNANI.B, maitre-assistant, et Monsieur HAMZAOUI.F, maitre de conférences, d'avoir accepté de nous encadrer et de nous orienter tout au long de notre travail avec leurs judicieux conseils et leur constante disponibilité, c'est grâce à leur compétence que ce travail a pu être réalisé.

Notre reconnaissance et conviction vont également à Monsieur BEZZAR.A, Professeur au département de génie civil, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce travail et nous tenons à le remercier pour ses cours fructueux.

Nous vous en sommes reconnaissantes et en espérant être à la hauteur de votre confiance.

Nos remerciements à Madame l'examinatrice KARA-TERKI.Dj pour son aide précieuse, son intérêt porté sur ce travail et d'avoir bien voulu accepter de le juger.

Un grand merci à Monsieur MERIOUA.A et Monsieur ADJROUD.M.A pour leur aide précieuse dans notre travail et pour leur soutien.

Nous tenons aussi à remercier Monsieur BENYAHIA.H, ingénieur au bureau d'étude SEROR, qui nous a bien accueilli et nous a fourni toutes les données nécessaires, ainsi qu'à Monsieur CHERIMTI.H et toute l'équipe de la Direction des Travaux Publics pour leur aide techniques et leur disponibilité.

Nous exprimons aussi nos remerciements à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation d'ingénieur en génie civil.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

DEDICACES :

Avec l'aide d'ALLAH plus puissant, j'ai pu achever ce modeste travail que je dédie :

- *A mes chers parents :*

Mon père qui m'a toujours encouragé et j'espère qu'il soit fier de moi et que ce travail lui traduit ma gratitude.

Ma maman pour son soutien inconditionnel durant toutes mes études.

En souhaitant qu'ALLAH leur accorde longue vie et très bonne santé.

- *A mon frère Abderrahim*

Et mes très chères sœurs : Bahiya, Nassima, Souad et Lamia.

- *A tous mes adorables neveux et nièces.*
- *A tous mes beaux-frères.*
- *A mes copines : Souhila, Anissa et Assiya, ma chère amie Adila, Ainsi que mon binôme Meriem, ses parents et toutes sa famille.*
- *A tous mes amis et mes collègues de promotion.*
- *A tous les gens qui ont cru en moi.*

HAMMOU-TANI Fatima Zohra.

DEDICACES :

Je dédie mon mémoire :

*A mon père **Saïd** et ma mère **Latifa** vous êtes pour moi une source de vie car son vos sacrifices, votre tendresse et votre affection je ne pourrais arriver jusqu'au bout. je me réjouis de cet amour filial. Que Dieu vous garde afin que votre regard puisse suivre ma destinée.*

Au nom de dieu je dédie cet humble travail à :

- *Mes très chers frères : **Ayoub** et **Mohamed**, sœurs **Rofayda**.*
- *A mes cousins et cousines et Toute ma famille.*
- *Je dois également ce travail à mon binôme **Fatima.Z** et ses parents qui ont aussi donné beaucoup de soutien.*
- *tous mes amis : **Assia**, **Soumia**, **Annissa**, **Doha**, **Imen**.*
- *A tous mes amis de classe M2 (VOA).*
- *Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.*

DINEDANE Meriem.

RESUME :

Le présent mémoire consiste en l'étude technique détaillée de la route qui relie les localités Boudjlida et Oudjlida sur 500m. Cette étude englobe :

Une partie concernant le trafic et la géométrie en appliquant les normes Algériennes B40 et on a pu concevoir les plans topographiques par le logiciel COVADIS. Une deuxième partie consacrée aux terrassements et au dimensionnement de la structure de chaussée. Et une partie qui comprend l'assainissement dont on a fait le dimensionnement, la modélisation par le logiciel SAP2000 et le calcul du ferrailage en appliquant le BAEL91 d'un dalot.

En parallèle, dans une étude managériale, une structure de découpage du projet (WBS) a été élaborée par le logiciel MindView7, cette dernière nous a permis d'injecter les données de chaque tâche dans l'outil MS Project afin de réaliser le diagramme de GANTT et en déduire la durée globale du projet et estimer le montant du projet, tout en incluant le processus de gestion des risques selon la norme ISO 31000.

Mots clés : route, COVADIS, chaussée, dalot, management, MS Project, ISO31000.

ABSTRACT :

The present thesis consists of a detailed technical study of a road which connects the two localities Boudjlida and Oudjlida on 500m of length. This study includes :

A part concerning traffic and geometry applying the Algerian standards B40 and drawing the topographical plans using the COVADIS. A second part dedicated to earthworks and the identification of the structure dimension of the this road. And another part including the sewer system in which we performed the modeling using SAP2000 and calculated the reinforcement according to the BAEL91 of a road culvert.

Finally, in a managerial study, a work break-down structure has been elaborated using the MindView7 which allowed us to enter every task data in the MS Project tool in order to make the GANTT chart, determine the global project duration and estimate the project cost. Also the risks management process was included according the ISO 31000.

Keywords : road, COVADIS, road culvert, management, MS Project, ISO 31000.

المخلص

هذه المذكرة عبارة عن دراسة تقنية مفصلة للطريق الرابط بين الحيين السكنيين بوجليدة و اوجليدة على طول يبلغ 500 م. هذه الدراسة تشمل:

جزء حول حركة المرور وهندسة الطريق وفق المعايير الجزائرية B40 وقد استطعنا انجاز مخططات طوبوغرافية باستعمال البرنامج COVADIS. الجزء الثاني خصص لدراسة اعمال الحفر واستخراج ابعاد هيكل الطريق. وجزء أخير فيما يخص شبكات الصرف الصحي اين تم حساب ابعاد منشآت الصرف الصحي وانجاز تصميمها باستعمال SAP2000 وحساب تسليح الخرسانة طبقا لBAEL91

في نفس الوقت في دراسة إدارية قمنا بإنشاء هيكل توزيع العمل باستعمال الأداة MS Project والذي بدوره ساعدنا على استخدام المعلومات الخاصة بكل مهمة في برنامج وبالتالي انشاء مخطط واستخراج المدة الشاملة لإنجاز المشروع وكذا تكلفته الحقيقية مع اتباع مراحل تسيير المخاطر حسب معايير.

الكلمات المفتاحية: طريق، COVADIS، منشآت الصرف الصحي، إدارة اعمال، MS Project، ISO 31000

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE.

Chapitre 1 : Présentation du projet et étude de trafic.

1. INTRODUCTION :	1
2. PRÉSENTATION DU PROJET :	1
2.1. Présentation de la Wilaya :	1
2.2. Présentation du projet :	1
2.3. Description de l'étude :	2
2.4. L'objectif global de l'étude :	2
2.5. Les règlements utilisés :	2
2.6. Classification de la route :	2
2.6.1. Catégorie :	2
2.6.2. Environnement de la route :	3
2.7. Application au projet :	4
2.7.1. Catégorie :	4
2.7.2. Environnement :	5
2.7.3. Type d'environnement :	5
3. ÉTUDE DU TRAFIC :	5
3.1. Introduction :	5
3.2. L'analyse du trafic :	5
3.3. Différents types de trafic :	5
3.4. Calcul de la capacité :	6
3.4.1. Définition de la capacité :	6
3.4.2. Projection future du trafic :	6
3.4.3. Trafic effectif :	6
3.4.4. Débit de pointe horaire normal :	7
3.4.5. Débit horaire admissible :	7
3.4.6. Détermination du nombre de voies :	7
3.5. Application au projet :	8
3.5.1. Projection future de trafic :	8
3.5.2. Trafic effectif :	8
3.5.3. Débit horaire normal :	9
3.5.4. Débit horaire admissible :	9
3.5.5. Nombre de voies :	9
4. CONCLUSION :	10

Chapitre 2 : Géométrie de la route.

1. INTRODUCTION :	11
2. LES PARAMÈTRES DE BASE POUR L'ÉTUDE DU TRACÉ:	11
2.1. Vitesse de référence :	11
2.2. Paramètres cinématiques :	11
2.2.1. Temps de perception-réaction : (<i>tp</i>)	11

SOMMAIRE :

2.2.2.	Distance minimale de freinage : (d_0)	11
2.2.3.	Distance d'arrêt :	12
2.3.	Visibilité :	12
2.3.1.	Distance de visibilité de dépassement minimale : (dm)	12
2.3.2.	Distance de visibilité de dépassement normale : (dN)	13
2.3.3.	Distance de visibilité de la manœuvre de dépassement : (dMd)	13
2.4.	Distance de sécurité entre deux véhicules : (ds)	13
2.5.	Application au projet :	13
2.5.1.	Vitesse de référence :	13
2.5.2.	Temps de perception-réaction :	13
2.5.3.	Distance minimale de freinage :	13
2.5.4.	Distance d'arrêt :	14
2.5.5.	Distance de visibilité de dépassement minimale :	14
2.5.6.	Distance de visibilité de dépassement normale :	14
2.5.7.	Distance de visibilité de la manœuvre de dépassement :	14
2.5.8.	Distance de sécurité :	14
2.5.9.	Tableau récapitulatif :	15
3.	LES ÉLÉMENTS D'UN TRACÉ EN PLAN :	15
3.1.	Alignement droit :	16
3.1.1.	Longueur minimale d'un alignement :	16
3.1.2.	Longueur maximale d'un alignement :	16
3.1.3.	Dévers en alignement droit :	16
3.2.	Arcs en cercle :	16
3.2.1.	Effet de la force centrifuge :	16
3.2.2.	Effet du dévers :	17
3.2.3.	Valeurs des rayons minimaux :	17
3.2.4.	Choix du dévers :	19
3.2.5.	Application au projet :	19
3.2.6.	Valeurs retenues par la norme algérienne B40 et résultats calculés :	20
3.3.	Courbe à raccordement progressif :	21
3.3.1.	Nécessité de la clothoïde :	21
3.3.2.	Longueurs minimales des raccordements à courbe progressive :	22
3.3.3.	Détermination du paramètre de la clothoïde : (A)	22
3.3.4.	Calcul d'un raccordement à courbe progressive :	23
3.3.5.	Éléments d'un raccordement à courbe progressive :	24
4.	PROFIL EN LONG :	26
4.1.	Règle à respecter dans le profil en long :	26
4.2.	Éléments géométriques du profil en long :	26
4.2.1.	Déclivité :	26
4.2.2.	Rayons des courbures du profil en long :	27

SOMMAIRE :

4.2.3.	Exemple de calcul :.....	28
-	Cas d'un raccordement concave (R=900m)	28
5.	PROFIL EN TRAVERS :.....	30
5.1.	Différents type de profil en travers :.....	30
5.1.1.	profil en travers type :.....	30
5.1.2.	profil en travers courants :.....	30
5.2.	Les éléments constitutifs du profil en travers.....	30
5.2.1.	L'emprise :.....	30
5.2.2.	L'assiette :	30
5.2.3.	La plate-forme :	30
5.2.4.	Chaussée :.....	30
5.2.5.	Accotements :	31
6.	Application au projet :.....	31
7.	CONCLUSION :	31

Chapitre 3 : Terrassement et dimensionnement de chaussée.

1.	INTRODUCTION :.....	32
2.1.	Classification des sols :.....	32
2.1.1.	Paramètres de nature :.....	32
2.1.2.	Paramètres de comportement mécanique :	32
2.1.3.	Paramètres d'état :	32
2.2.	Conditions d'utilisation des matériaux en remblais :	32
2.3.	Conditions de réalisation des couches de formes :	35
2.3.1.	Définition et la nature de la couche de forme :.....	35
2.3.2.	Fonctions et conception de la couche de forme :.....	35
2.4.	Dimensionnement de la couche de forme :.....	36
3.1.	Les différentes couches de chaussée :	37
3.1.1.	Couche de surface :.....	37
3.1.2.	Couche d'assise :	37
3.2.	Les différents types de chaussée :.....	38
3.2.1.	Les chaussées souples :.....	38
3.2.2.	Les chaussées semi-rigides :.....	38
3.2.3.	Les chaussées rigides :.....	38
3.3.	Les principales méthodes de dimensionnement :	38
3.3.1.	Méthodes empiriques :.....	38
3.3.2.	Méthodes rationnelles :.....	38
3.4.	La méthode CBR (California-Bearing-Ration) :	39
3.5.	Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) :	40
3.5.1.	Les paramètres utilisés :	41
3.6.	Méthode du catalogue des structures (SETRA) :	42
4.1.	Réalisation des remblais et des couches de forme :.....	44

SOMMAIRE :

4.2.	Méthode CBR :	45
4.3.	Méthode de catalogue des chaussées neuves (CTTP) :	47
4.3.1.	Le réseau routier principal :	47
4.3.2.	La classe du trafic (TLPI) :	47
4.3.3.	La classe du sol support :	47
4.3.4.	La zone climatique :	47
4.3.5.	Structure de chaussée :	47
4.4.	Méthode du catalogue des structures (SETRA) :	48
5.	CONCLUSION :	48

Chapitre 4 : Assainissement.

1.	DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT :	51
1.1.	Introduction	51
1.2.	La route et l'eau :	51
1.2.1.	Les eaux superficielles :	51
1.2.2.	Les eaux d'infiltration :	51
1.3.	Assainissement de la chaussée :	52
1.3.1.	Facteurs influençant le choix des ouvrages hydrauliques :	52
1.4.	Définitions des termes hydrauliques :	52
1.4.1.	Les ouvrages d'écoulement des eaux :	52
1.4.2.	Fossés de crêtes :	52
1.4.3.	descentes d'eau :	53
1.4.4.	bassin versant :	53
1.4.5.	collecteurs principaux (canalisation) :	53
1.4.6.	les regards :	53
1.4.7.	chambre de visite (cheminée) :	53
1.5.	Dimensionnement des ouvrages hydrauliques :	53
1.5.1.	Estimation de débit d'apport (Qa) :	54
1.5.2.	Détermination de l'intensité de la pluie It :	54
1.5.3.	Coefficient de ruissellement :	55
1.5.4.	Débit de saturation :	55
1.5.5.	Dimensionnement du dalot :	55
1.5.6.	Dimensionnement Des Fossés :	56
1.6.	Application au projet:	57
1.6.1.	Calcul hydraulique :	57
1.6.2.	Dimensionnement des dalots :	58
1.6.3.	Dimensionnement des fossés :	60
2.	CHARGES ET SURCHARGES D'EXPLOITATION :	60
2.1.	Introduction :	60
2.2.	Efforts de poussée du sol :	61
2.2.1.	Poussée due aux surcharges des remblais :	61

SOMMAIRE :

2.3.	Charges permanentes :	61
2.4.	Surcharges d'exploitation :	62
2.4.1.	Système A(l) :	62
2.4.2.	Système (B) :	63
2.4.3.	Surcharges militaires Mc120 :	66
2.5.	Effet dû au séisme :	66
2.5.1.	Détermination du coefficient d'accélération :	67
2.5.2.	L'incrément dynamique de poussée active :	67
2.6.	Force des remblais sur la dalle de couverture :	68
2.7.	Force d'inertie :	68
2.8.	Modélisation du sol d'assise :	68
2.9.	Récapitulatif des différentes charges appliquées sur le dalot :	69
3.	COMBINAISONS DE CALCUL :	69
3.1.	Efforts appliqués sur le dalot :	69
3.2.	Interprétations des résultats :	70
3.2.1.	La dalle :	70
3.2.2.	Le voile :	70
3.2.3.	Le radier :	70
4.	FERRAILLAGE DES ELEMENTS DU DALOT :	70
4.1.	Caractéristiques mécaniques des matériaux :	70
4.1.1.	Béton :	70
4.1.2.	Acier pour béton armé :	71
4.2.	CALCUL DU FERRAILLAGE :	72
4.2.1.	ELU :	72
4.2.2.	ELS :	73
4.2.3.	Armature de répartition :	74
4.2.4.	Justification des armatures à l'effort tranchant :	74
4.2.5.	Récapitulatif des résultats :	74
5.	CONCLUSION :	75

Chapitre 5 : Signalisation routière.

1.	SIGNALISATION :	77
2.	ROLE DE LA SIGNALISATION :	77
3.	CATEGORIES DE LA SIGNALISATION :	77
3.1.	Signaux d'avertissement de danger :	78
3.2.	Signaux de réglementation :	78
4.1.	La signalisation verticale :	79
4.2.	La signalisation temporaire :	79
4.3.	La signalisation routière horizontale :	79
5.1.	L'éclairage :	81
5.2.	Signalisation :	81

SOMMAIRE :

5.3. Marquage sur la chaussée :.....	82
6. CONCLUSION :	83

Chapitre 6 : Management du projet.

GESTION DU PROJET :

1. INTRODUCTION :.....	84
2. DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU ROUTIER ET AUTOROUTIER EN ALGÉRIE :.....	84
2.1. Stratégie sectorielle :	84
2.2. Schéma directeur routier et autoroutier :	84
3. PRÉSENTATION DU PROJET :	85
3.1. Définition d'un projet :.....	85
3.1.1. Caractéristiques d'un projet :.....	85
3.1.2. Facteurs de qualité d'un projet :	85
3.1.3. Management des projets :	86
3.1.4. Cycle de vie de projet :	86
3.1.5. Les différents intervenants dans notre projet :.....	87
4. PLANIFICATION DU PROJET :.....	87
4.1. Management du contenu du projet :	87
4.1.1. Work break-down structure : (WBS).....	88
4.2. Management des délais :.....	88
4.3. Management des couts :	88
4.3.1. Méthode analytique : (bottum-up).....	88
4.3.2. Méthode analogique :	89
4.3.3. Méthode paramétrique :	89
4.4. L'ordonnancement des ressources.....	89
4.4.1. Définition des ressources dans notre projet :.....	89
4.4.2. Ressources humaines :.....	89
4.4.3. Ressources matériels :	89
4.4.4. Ressources matériaux :	89
4.4.5. Équipements :	89
5. Résultats obtenus :.....	90
6. CONCLUSION :	90

GESTION DES RISQUES:

1. INTRODUCTION :.....	91
2. DEFINITION DU RISQUE :.....	91
3. RISQUE-PROJET :.....	91
3.1. Caractéristiques du risque-projet :.....	92
4. LES RISQUES DANS LE MONDE DE LA ROUTE :	92
5. LA GESTION DES RISQUES :	93
5.1. Identification du risque :.....	94
5.2. Analyse du risque :	94

SOMMAIRE :

5.3. Évaluation du risque :	94
5.4. Traitement du risque :	94
5.5. Surveillance du risque :	94
6. APPLICATION AU PROJET :	94
6.1. Évaluation des risques liés à notre projet :	94
7. MATRICE DES RISQUES :	95
7.2. Traitement des risques :	96
8. CONCLUSION :	96

CONCLUSION GENERALE.

RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ANNEXE A.

ANNEXE B.

LISTE DES FIGURES :

Chapitre 1 : Présentation du projet et étude de trafic

Fig. 1.1. Réseau routier de la Wilaya de Tlemcen	1
Fig. 1.2. Plan de situation de la route	2
Fig. 1.3. La dénivelée cumulée moyenne h/L	3
Fig. 1.4. La sinuosité moyenne	4

Chapitre 2 : Géométrie de la route

Fig. 2.1. La distance d'arrêt d'un véhicule	12
Fig. 2.2. Les différents éléments d'un tracé en plan	15
Fig. 2.3. Effet de la force centrifuge horizontale	17
Fig. 2.4. Effet du dévers	17
Fig. 2.5. Éléments d'une courbe à raccordement progressif	21
Fig. 2.6. Éléments géométriques du profil en long	26
Fig. 2.7. Raccordement en rayon rentrant	28
Fig. 2.8. Profil en travers général	30

Chapitre 3 : Terrassement et dimensionnement de chaussée

Fig. 3.1. Ouvrages hydrauliques routiers	34
Fig. 3.2. Schéma de la structure de la couche de forme	35
Fig. 3.3. Le processus conduisant à la mise en œuvre ou non de la couche de forme	36
Fig. 3.4. Les différentes couches d'une chaussée	37
Fig. 3.5. La classification du trafic (TPLi).....	41
Fig. 3.6. Structure de la chaussée par la méthode CBR	47
Fig. 3.7. Structure de la chaussée par la méthode de catalogue des structures (SETRA)	48

Chapitre 4 : Assainissement

Fig. 4.1. Ouvrages hydrauliques routiers	53
Fig. 4.2. Dalots	56
Fig. 4.3. Fossés	56
Fig. 4.4. Dimensions du dalot étudié	60
Fig. 4.5. Convois Bc	64
Fig. 4.6. Convoi Bt	65
Fig. 4.7. Convoi Mc120	66

LISTE DES FIGURES :

Chapitre 5 : Signalisation routière

Fig. 5.1. Type des signalisations verticales et horizontales	77
Fig. 5.2. Formes et les couleurs des différents panneaux	78
Fig. 5.3. Les signalisations temporaire	79
Fig. 5.4. La largeur des lignes	80
Fig. 5.5. Type de modulation	81
Fig. 5.6. Ligne de rive.....	83
Fig. 5.7. Ligne de guidage	83
Fig. 5.8. Ligne continue de virage	83

Chapitre 6 : Management du projet

Fig. 6.1. Schéma directeur routier et autoroutier	85
Fig. 6.2. Trois dimensions de la qualité d'un projet (triangle d'or)	86
Fig. 6.3. Cycle de vie d'un projet	86
Fig. 6.4. Processus de la gestion des risques	93
Fig. 6.5. Matrice d'appréciation des risques étudiés	96

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre 1 : Présentation du projet et étude de trafic

Tableau 1.1. Classification du relief en fonction de la dénivelée	4
Tableau 1 .2. Classification de la sinuosité moyenne	4
Tableau 1.3. Environnement en fonction du relief et de la sinuosité	4
Tableau 1.4. Valeurs du coefficient d'équivalence pour le poids lourds	6
Tableau 1.5. Valeurs théoriques de la capacité de la route.....	7
Tableau 1.6. Coefficient de réduction de la capacité de la route (k_1).....	7
Tableau 1.7. Valeurs des coefficients de réduction de la capacité de la route (k_2).	7
Tableau 1.8. Résultats des calculs de trafic effectués	10

Chapitre 2 : Géométrie de la route

Tableau 2.1. Valeurs de la vitesse de référence	11
Tableau 2.2. Valeurs du coefficient longitudinal	12
Tableau 2.3. Valeurs de la distance de manœuvre de dépassement	13
Tableau 2.4. Tableau récapitulatif des valeurs données par la norme B40 et les résultats calculés	15
Tableau 2.5. Valeurs du coefficient de frottement transversal	18
Tableau 2.6. Valeurs de f' suivant la catégorie	18
Tableau 2.7. Valeurs des dévers maximum et minimum.....	19
Tableau 2.8. Tableau récapitulatif des valeurs données par la norme B40 et les résultats calculés	20
Tableau 2.9. Coordonnées et données concernant notre exemple à étudier	24
Tableau 2.10. Déclivité maximale selon B40.....	27
Tableau 2.11. Tableau récapitulatif des valeurs des rayons verticaux	28
Tableau 2.12. Données du raccordement concave.....	29

Chapitre 3 : Terrassement et dimensionnement de chaussée

Tableau 3.1. Les valeurs des coefficients d'équivalence	40
Tableau 3.2. Classification des sols support selon l'indice CBR	42
Tableau 3.3. Classes de portance des sols support	42
Tableau 3.4. Les zones climatiques en Algérie	42
Tableau 3.5. Trafic cumulé en essieux équivalents	43

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 3.6. Données pour le dimensionnement de la chaussée	44
Tableau 3.7. Classe de l'arase en fonction de modules de calcul	45
Tableau 3.8. Résultats de la méthode CBR	46
Tableau 3.9. Tableau récapitulatif des résultats de dimensionnement	48

Chapitre 4 : Assainissement

Tableau 4.1. Variation de Gauss	55
Tableau 4.2. Coefficient de ruissellement	55
Tableau 4.3. Classes des ponts en fonction de la largeur roulable	62
Tableau 4.4. Valeurs de Coefficient de dégressivité transversale (a_1) de la charge A(l)	63
Tableau 4.5. Valeur du coefficient b_c	64
Tableau 4.6. Coefficient d'accélération pour la zone A	67
Tableau 4.7. Différentes charges appliquées sur le dalot	69
Tableau 4.8. Sollicitations considérées dans notre projet	69
Tableau 4.9. Efforts appliqués sur l'ouvrage	69
Tableau 4.10. Sections des armatures des différentes parties du dalot	74
Tableau 4.11. Sections des armatures de répartition	75

Chapitre 5 : Signalisation routier

Tableau 5.1. Modulation des lignes discontinues	81
Tableau 5.2. Panneaux de signalisation d'intersection et de priorité (type A).....	82
Tableau 5.3. Panneaux de signalisation d'intersection et de priorité d'après le livre de signalisation routière du ministère des travaux publics (type C).	82

Chapitre 6 : Management du projet

Tableau 6.1. Ressources utilisées dans notre projet	89
Tableau 6.2. Résultats obtenus pour le cas de notre étude	90
Tableau 6.3. Exemples de risques naturels et anthropogéniques	92
Tableau 6.4. Exemples des risques dynamiques et statiques	93
Tableau 6.5. Classification des risques présents dans notre cas	95
Tableau 6.6. Hiérarchisation de quelques risques selon leur criticité	95

NOTATIONS :

A_{bv} : Aire du bassin versant.

A_c : Coefficient d'accélération.

A : Paramètre de la clothoïde.

$A(L)$: Surcharge roulable linéaire.

A_r : Armatures de répartition.

ARI : l'arase de terrassement.

A_{st} : Section de ferrailage tendu.

B_c : type de surcharge roulable.

B_t : Type de surcharge roulable.

B_0 : Largeur de référence.

C : Coefficient de ruissellement.

c : Capacité de la route.

C_v : Coefficient de variation climatique.

d : Le débit horaire admissible.

d : Hauteur utile d'une section.

d' : Distance des acier comprimés à la fibre de béton la plus comprimée.

d_1 : Distance d'arrêt.

d_0 : Distance minimale de freinage.

d_m : Distance de visibilité de dépassement minimale.

d_{max} : Dévers maximal.

d_{Md} : Distance de visibilité de la manœuvre de dépassement.

d_{min} : Dévers minimal

d_N : Distance de visibilité de dépassement normale.

d_s : Distance de sécurité entre deux véhicules.

e : L'excentricité.

e : Epaisseur équivalente.

E : Module de portance du sol.

ELS : Etat Limite de Service

ELU : Etat Limite Ultime

F : La flèche.

f_{bu} : Contrainte du béton.

F_c : Force centrifuge.

f_{c28} : Résistance de compression du béton.

NOTATIONS :

f_l : Coefficient de frottement longitudinal.

F_{inertie} : Force d'inertie.

f_t : Coefficient de frottement transversal.

F_r : Force des remblais sur la dalle de couverture.

f_{t28} : Résistance de traction du béton.

G : Charge permanente

g : La pesanteur.

HT : Hors taxe

I : Intensité de la pluie.

I_p : Indice de Plasticité

I_t : Intensité moyenne de la pluie de fréquence.

I_{CBR} : Indice CBR du sol support.

J : Pente moyenne de l'ouvrage.

K : Coefficient qui permet la conversion des unités.

KA : Début de la clothoïde.

KE : Fin de la clothoïde.

K_{ST} : Coefficient de STRICKLER.

k_1, k_2 : Coefficient de réduction de la capacité de la route.

K_a : Coefficient de poussée active.

K_H, K_V : Coefficients sismiques.

L : Longueur de la branche de la clothoïde.

L : La longueur totale de l'itinéraire.

LA : Coefficient los angeles.

L_c : Largeur chargeable.

L_{max} : Longueur maximale d'un alignement.

L_{min} : Longueur minimale d'un alignement.

L_r : Largeur roulable.

L_s : La longueur cumulée des courbes de

m : Masse du véhicule.

M_{c120} : Surcharge militaire.

MDE : Micro Deval en présence d'eau.

M_s : Moment à l'état de service.

M_u : Moment à l'état ultime.

NOTATIONS :

N : Nombre de voies

p : Coefficient d'équivalence pour le poids lourds

P : Déclivité

P_j : Hauteur de la pluie.

PST : Partie supérieure des Terrassements.

P_m : Périmètre mouillé.

P_t : Effort de la poussée du sol.

Q : Action d'exploitation.

q : Surcharge sur remblai.

Q : Débit de pointe horaire normal.

Q_a : Débit d'apport.

Q_s : Débit de saturation.

R : Rayon de courbure.

R'vm : Rayon minimum absolu en angle rentrant.

RH : Rayon hydraulique.

RP : Réseau principal.

Rv : Rayon de courbure en angle saillant.

Rvm : Rayon minimum absolu en angle saillant.

R'vn : Rayon minimal normal

R_{Hd} : Rayon au dévers minimal.

R_{Hm} : Rayon minimal absolu.

R_{HN} : Rayon minimal normal.

R_{Hnd} : Rayon non déversé.

S : Coefficient de dissymétrie

Si : Classe du sol selon sa portance.

S_m : Section mouillée.

T : Tangente.

tc : Temps de concentration.

TJMA : Trafic moyen journalier.

TPLi : Trafic poids lourds.

TTC : Toutes taxes comprises.

TVA : Taxe sur la valeur ajoutée

T_u : Effort tranchant.

NOTATIONS :

T_c : Trafic cumulé des poids lourds

T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon.

T_h : Trafics prévus pour une durée de vie de 15 ans.

t_p : Temps de perception-réaction.

u : Variation de Gauss

VBS : Valeur du bleu méthylène

Vr : Vitesse de référence.

WBS : work break-down.

X : Position de l'axe neutre.

Xm : Abscisse du centre de cercle.

Z : Pourcentage de poids lourds.

α : Coefficient de structure du sol.

δ : Coefficients de majoration.

Δd : Variation de dévers

ΔR : Décalage entre l'élément droit et arc de cercle.

σ : sinuosité moyenne.

τ : Angle des tangentes.

τ : Taux d'accroissement du trafic.

$\overline{\tau u}$: Contrainte admissible de cisaillement du béton.

\emptyset : Angle de frottement.

η : Coefficient de fissuration.

γ_b : Poids volumique du béton armé.

γ_{bb} : Poids volumique du béton bitumineux.

γ_t : Poids volumique des terres.

λ_c, λ_d : Paramètres géométriques.

μ_u : Moment réduit.

$\overline{\sigma}_{bc}$: Contrainte dans le béton admissible.

$\overline{\sigma}_{st}$: Contrainte acier admissible.

σ_{st} : Contrainte de l'acier.

τ_u : Contrainte de cisaillement.

ΔF_{ad} : L'incrément dynamique de poussée active

INTRODUCTION GENERALE.

Les ingénieurs des travaux publics s'occupent de la conception, la réalisation, l'exploitation et de la réhabilitation des routes et des ouvrages d'art dont ils assurent la gestion afin de répondre aux besoins de la société tout en assurant la sécurité et la protection de l'environnement.

La route du développement passe par le développement de la route, dit-on. Actuellement en Algérie, qui a mis dans ces priorités cette pensée et suite à la croissance du trafic et la forte urbanisation, un grand nombre de projets de routes ont été réalisés ou sont en phase de construction ou d'étude en faisant la liaison entre qualité technique et faisabilité économique.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude technico-managériale d'un raccordement routier reliant Boudjlida à Oudjlida sur une longueur de 500 ml.

Le tronçon étudié, fait partie du projet routier reliant la RN22, qui est jugée saturée et qui présente une difficulté de circulation pour ses usagers, à Oudjlida passant par Boudjlida. Cette voie communicante passe par un oued là où on doit mettre en œuvre un dalot.

L'étude bien faite du trafic et de la géométrie de cette voie et le bon dimensionnement de ce dalot contribuera d'une manière générale à la fluidité de circulation entre Boudjlida, Oudjlida et la RN22, et par conséquent il sera plus facile et moins coûteux de quitter ces deux localités en évitant les points d'intersection saturés sur la RN22. Mais la question qu'on se pose est : comment réaliser un tracé routier avec de bonnes caractéristiques géométriques dans un relief accidenté en prenant en considération le coût et le délai ?

L'étude a été divisée en deux parties :

- La première partie concerne l'étude technique, dont on projette la lumière sur : L'étude du trafic, la géométrie de la route en présentant les plans topographiques faits par le logiciel COVADIS, les terrassements et le dimensionnement du corps de chaussée, l'assainissement qui porte sur le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et le calcul du ferrailage en utilisant le logiciel SAP2000 et finalement on consacre un chapitre pour la signalisation routière.
- La deuxième partie est consacrée à l'étude managériale de notre tracé routier à travers laquelle on a pu aborder la gestion des délais et du coût par logiciel MS Project et la gestion des risques.

Chapitre 1:

Présentation du projet et étude du trafic

1. INTRODUCTION :

L'étude d'un tracé routier nécessite des connaissances de base sur lesquelles l'ingénieur prend appui et cela pour obtenir une structure à la fois sécuritaire et économique.

À cet effet, on consacre ce chapitre pour donner quelques rappels et des descriptions du projet à étudier.

2. PRÉSENTATION DU PROJET :

2.1. Présentation de la Wilaya :

La wilaya de Tlemcen occupe une position de choix située sur le littoral Nord-Ouest du pays. C'est une wilaya frontalière avec le Maroc, limité par la mer méditerranée au Nord, Ain-Temouchent et Sidi-Bel-Abbès à l'Est et Saïda au Sud.

Conformément à la dernière organisation territoriale du pays, Tlemcen regroupe actuellement 20 Dairas et 51 Communes et gère 4188km de routes dont 100km d'autoroutes, 765km de routes nationales, de chemins de wilaya et 2134km de chemins communaux. [1]

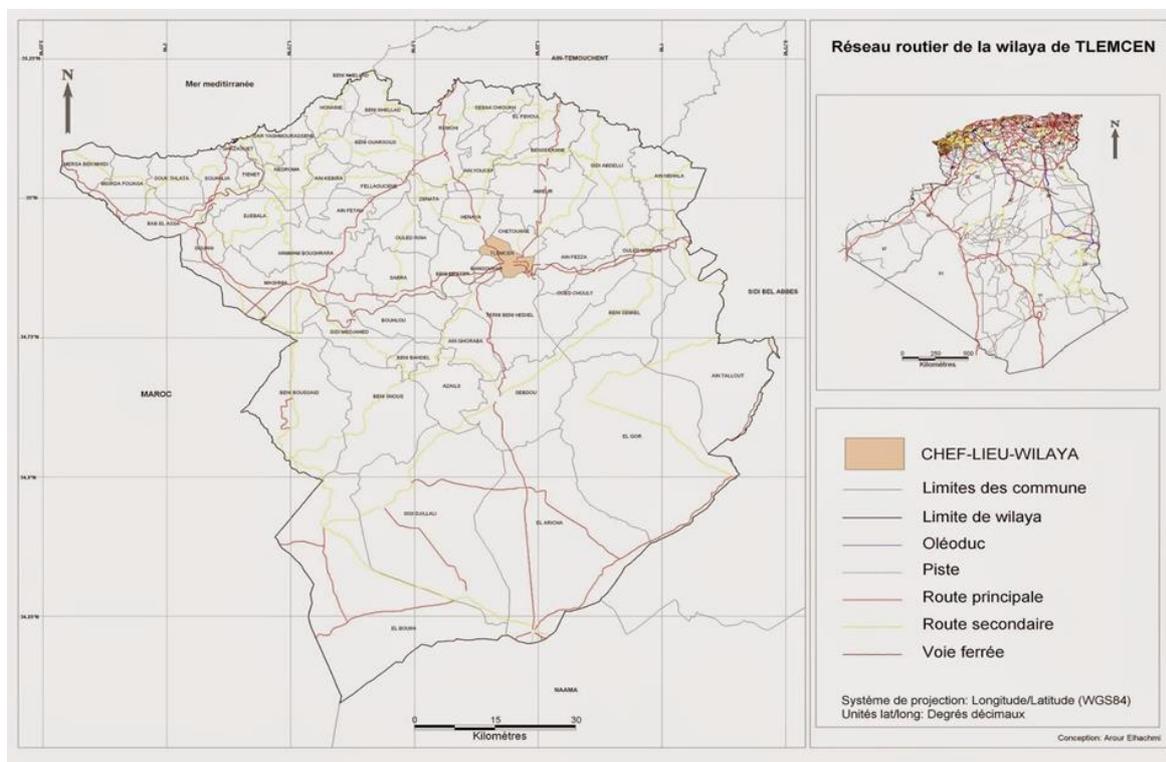


Figure 1.1 : Réseau routier de la Wilaya de Tlemcen. [1]

2.2. Présentation du projet :

Suite à la croissance démographique et la construction de nouvelles localités dans la ville de Tlemcen, les routes qui relient le centre de la wilaya à ses pôles intérieurs enregistrent des points de conflit importants au niveau de leurs carrefours. C'est là où il est devenu nécessaire de réaliser plusieurs voies communicantes entre ces différentes localités, dont le raccordement routier entre Boudjlida et Oudjlida.

2.3. Description de l'étude :

Notre projet de fin d'étude consiste à étudier sur le plan technique et managérial un raccordement routier reliant Boudjlida à Oudjlida et passant par le dalot n°4 sur une longueur de 500ml dans la wilaya de Tlemcen.



Figure 1.2 : Plan de situation de la route. [2]

2.4. L'objectif global de l'étude :

Notre projet vise à maîtriser d'une part l'étude technique d'un tracé routier et le dimensionnement de la chaussée et d'autre part l'étude managériale d'un projet d'infrastructure de transport et l'estimation de son délai et son coût.

2.5. Les règlements utilisés :

Face aux différents problèmes rencontrés, nous avons émis des hypothèses pour aboutir aux résultats de l'étude. Ainsi nous allons utiliser :

- Les données du trafic qui nous ont été fournies par la direction des travaux publics.
- Les règlements de calcul :
 - Réalisation des remblais et des couches de forme, guide technique Fascicule 1 et 2.
 - B40, Normes techniques d'aménagement des routes en Algérie.
 - Les règles du BAEL 91 Révisées 99
 - Fascicule n°61 (conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art) titre II.

2.6. Classification de la route :

2.6.1. Catégorie :

Les routes sont classées en cinq catégories fonctionnelles selon leurs finalités économiques et administratives. [3]

Catégorie 1 :

- Liaisons entre les grands centres économiques et les centres d'industrie lourde.

Catégorie 2 :

- Liaisons entre les centres d'industrie de transformations.

- Liaisons assurant le rabattement des pôles d'industrie légères diversifiées sur le réseau précédent (Cat. 1).

Catégorie 3 :

- Liaisons entre les chefs-lieux de daïra et de wilaya non desservis par les réseaux précédents, avec le réseau de Catégories 1 et 2.

Catégorie 4 :

- Liaisons entre les centres de vie avec le réseau catégories 1 à 3.

Catégorie 5 :

- Route et piste non comprise dans les catégories précédentes.

2.6.2. Environnement de la route :

Selon la norme algérienne B40 les deux indicateurs adoptés pour caractériser chaque classe d'environnement sont : [3]

- La dénivellée cumulée moyenne : h/L

C'est la somme des dénivellées cumulées, le long de l'itinéraire existant, rapportées à la longueur de cet itinéraire. (Figure 1.3)

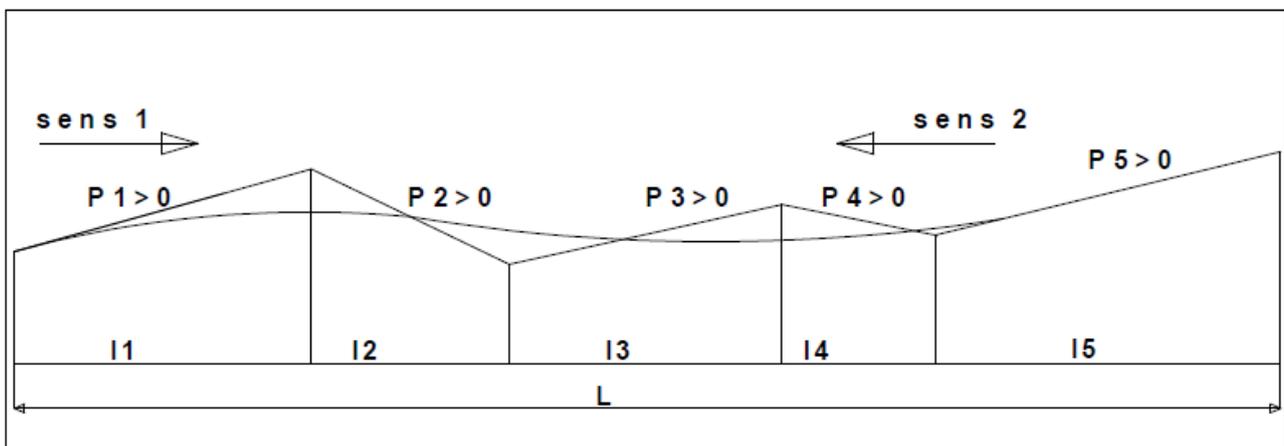


Figure 1.3 : La dénivellée cumulée moyenne h/L .

Avec :

$$h_1 = \text{dénivellée cumulée sens 1} : h_1 = \sum_{P_i > 0} P_i \times l_i$$

$$h_2 = \text{dénivellée cumulée sens 2} : h_2 = - \sum_{P_i < 0} P_i \times l_i$$

$$\text{Et : } h = h_1 + h_2$$

Ce rapport permet de mesurer la variation longitudinale du relief.

Tableau 1.1 : Classification du relief en fonction de la dénivelée. [3]

N° de code	Classification	Dénivelée cumulée moyenne
1	Terrain plat	$h/L \leq 1,5\%$
2	Terrain vallonné	$1,5\% < h/L \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$4\% < h/L$

- La sinuosité : L_s/L

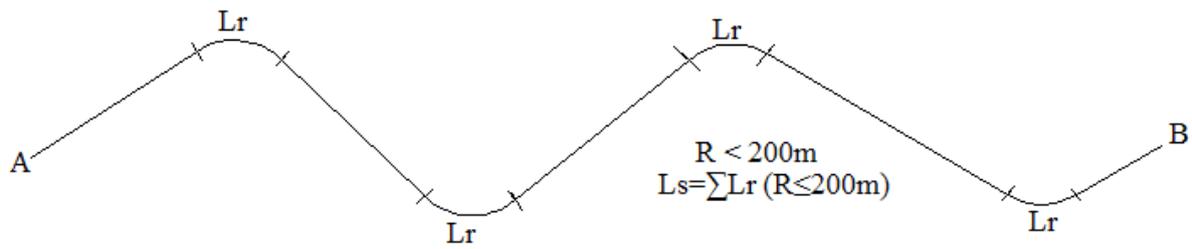
La sinuosité moyenne σ est égale au rapport de la longueur sinueuse (L_s) sur la longueur totale de l'itinéraire (figure1.3). [3]

$$\sigma = \frac{L_s}{L}$$

Avec :

L_s : la longueur cumulée des courbes de $R \leq 200m$. $L_s = \sum L_{R \leq 200m}$

L : la longueur totale de l'itinéraire.

**Figure 1.4** : La sinuosité moyenne.**Tableau 1.2** : Classification de la sinuosité moyenne. [3]

N° de code.	Classification.	Sinuosité moyenne.
1	Sinuosité faible	$\sigma \leq 0,1$
2	Sinuosité moyenne	$0,1 \leq \sigma \leq 0.3$
3	Sinuosité forte	$0,3 \leq \sigma$

Le croisement des deux paramètres précédents (la dénivelée cumulée et la sinuosité) nous donne les trois types d'environnement selon le tableau suivant :

Tableau 1.3 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité [3].

		sinuosité		
		Faible	moyenne	forte
Relief	plat	E1	E2	
	vallonné	E2	E2	E3
	montagneux		E3	E3

2.7. Application au projet :

2.7.1. Catégorie :

Notre itinéraire est classé en **catégorie 5** selon la norme B40.

2.7.2. Environnement :

- La dénivelée cumulée moyenne :

$\frac{\sum h}{L} = \frac{24.3423}{514.4} = 0.047 = 4.7\% \rightarrow 4\% < h/L = 4,7\%$ donc : selon la norme B40 le terrain est **montagneux**.

- La sinuosité :

Sur tout le tracé on a un seul raccordement avec un rayon $< 200\text{m}$ avec une longueur de 181.5m .

$\sigma = \frac{Ls}{L} = \frac{181.5}{514.4} = 0.353 \rightarrow 0,3 \leq \sigma$ donc : selon la norme B40 la sinuosité est **forte**.

2.7.3. Type d'environnement :

Notre tracé se trouve dans un terrain montagneux et il a une sinuosité forte ce qui fait qu'il est de type **E3** d'après le (tableau1.3).

3. ÉTUDE DU TRAFIC :

3.1. Introduction :

Dans tout projet de conception des routes, il est nécessaire de passer par une étude des volumes de circulation ce qu'on appelle « le trafic routier » afin de déterminer la classification et les différentes caractéristiques des réseaux routiers.

3.2. L'analyse du trafic :

C'est l'évaluation du trafic sur un itinéraire déterminé à l'aide de l'opération du comptage routier. Pour cela, plusieurs méthodes sont utilisées : **[4]**

- Comptages manuels ou visuels.
- Comptage automatiques.
- Les enquêtes qui permettent d'obtenir des informations qualitatives.

Le trafic à écouler comporte des variations horaires, journalières et saisonnières importantes et il est mesuré par deux indicateurs : **[5]**

- Le trafic moyen journalier annuel (TMJA).
- Le débit horaire de pointe.

3.3. Différents types de trafic :

On distingue quatre types de trafic : **[5]**

- Trafic normal : c'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en compte celui du nouveau projet.
- Trafic dévié : c'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans avertissement, d'autres routes ayant la même destination.
- Trafic induit : c'est le nouveau trafic attiré suite à l'amélioration du niveau de service de la route aménagée.
- Trafic total : c'est le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié.

3.4. Calcul de la capacité :

3.4.1. Définition de la capacité :

La capacité d'une route est le flux horaire maximum des véhicules qui peuvent raisonnablement passer en un point ou s'écouler sur une section de route uniforme (ou deux directions) avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminée. [4]

La capacité dépend :

- Des conditions de trafic.
- Des conditions météorologiques.
- De type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire.
- Des distances de sécurité.
- Des caractéristiques géométriques de la section considérée.

3.4.2. Projection future du trafic :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est : [5]

$$TMJA_h = TMJA_0 \times (1 + \tau)^n$$

Avec : $TMJA_h$: Trafic à l'année horizon.

$TMJA_0$: Trafic à l'année de référence.

n : nombre d'année.

τ : Taux d'accroissement du trafic.

3.4.3. Trafic effectif :

Le trafic réel à l'année horizon s'exprime en unité de voitures particulières équivalente en prenant en considération que l'encombrement d'un véhicule lourd est équivalent à (p) voitures particulières.

Le coefficient d'équivalence des poids lourds (p) est déterminé en fonction de l'environnement et du type de la route comme le montre le (tableau 1.4). [3]

Tableau 1.4 : Valeurs du coefficient d'équivalence pour le poids lourds. [3]

		Environnement.		
		E1	E2	E3
Route	2 voies	3	6	12
	3 voies	2,5	5	10
	4 voies et plus	2	4	8

On calcule le trafic effectif par la relation suivante :

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

Avec : T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon. (uvp)

Z : pourcentage de poids lourds.

p : coefficient d'équivalence pour le poids lourds.

3.4.4. Débit de pointe horaire normal :

Pour des raisons économiques, le dimensionnement de la chaussée doit être fait pour le débit de l'heure la plus chargée de l'année. Les débits horaires sont caractérisés par un coefficient : [3]

$$\frac{1}{n} = \frac{\text{débit de pointe horaire normal}}{T_{eff}}$$

Avec : $\frac{1}{n} = 0,12$ donc : $Q = 0,12 \times T_{eff}$

n : nombre des heures (en général n=8h).

Q : Débit de pointe horaire normal.

T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon.

3.4.5. Débit horaire admissible :

Le débit admissible (d) est relié à la capacité de la route (c) qui est déterminée suivant la largeur de la chaussée (voir tableau 1.5) par un coefficient (k).

$$d = k_1 \times k_2 \times c$$

Tableau 1.5 : Valeurs théoriques de la capacité de la route. [3]

Route.	Capacité de la route. (uvp/h)
2 voies (7m)	1500 à 2000
3 voies (10,5m)	2400 à 3200
4 voies (14m)	3000 à 3400
Chaussée séparée	1500 à 1800

En moyenne, le coefficient (k_1) déterminé économiquement sur une période de 20 ans varie comme indique le tableau ci-dessous :

Tableau1.6 : Coefficient de réduction de la capacité de la route (k_1). [3]

Environnement.	E1	E2	E3
Valeur.	0,75	0,85	0,90/0,95

Les effets réducteurs sur la capacité résultent de la différence entre les caractéristiques réelles et les caractéristiques idéales de la route. Les coefficients de réduction de la capacité en fonctions de la catégorie et de (k_2) l'environnement sont fournis dans le tableau suivant :

Tableau 1.7 : Valeurs des coefficients de réduction de la capacité de la route (k_2). [3]

		Catégories.				
		1	2	3	4	5
environn ement	1	1	1	1	1	1
	2	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
	3	0,91	0,95	0,97	0,96	0,96

3.4.6. Détermination du nombre de voies :

Le choix du nombre de voies du profil en travers résulte de la comparaison entre l'offre et la demande, c'est-à-dire le débit admissible et le trafic prévisible à la quinzième année d'exploitation.[3]

$$d \geq Q$$

Dans le cas d'une chaussée unidirectionnelle, le nombre de voies à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport : **[3]**

$$N = S \times \frac{Q}{d}$$

Avec : N : nombre de voies

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

Q : débit horaire normal après 15 ans.

d : débit horaire admissible.

3.5. Application au projet :

En se basant sur les données de trafic effectué par la Direction des Travaux Publics à l'année 2017, on va essayer de faire une étude du trafic et de déterminer le nombre de voies :

Nous avons :

- Le trafic à l'année 2017 $TMJA_0 = 1214$ v/j.
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté $\tau = 3\%$.
- Le pourcentage de poids lourds $Z = 30\%$.
- L'année de mise en service sera en 2020.
- La durée de vie estimée de 15 ans.

3.5.1. Projection future de trafic :

$$TMJA_h = TMJA_0 \times (1 + \tau)^n$$

Avec : $TMJA_h$: Trafic à l'année horizon.

$TMJA_0$: Trafic à l'année de référence.

n : nombre d'année.

τ : Taux d'accroissement du trafic. $\tau = 3\%$

- Trafic à l'année de mise en service 2020 :

$$TMJA_{2020} = 1214 \times (1 + 0.03)^3$$

$$\mathbf{TMJA_{2020} = 1327 \text{ v/j}}$$

- Trafic à l'année 2035 pour une durée de vie de 15 ans :

$$TMJA_{2035} = 1327 \times (1 + 0.03)^{15}$$

$$\mathbf{TMJA_{2035} = 2067 \text{ v/j}}$$

3.5.2. Trafic effectif :

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

Avec : T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon. (uvp)

Z : pourcentage de poids lourds. $Z = 30\%$

p : coefficient d'équivalence pour le poids lourds. $P=12$

- Trafic à l'année de mise en service 2020 :

$$T_{eff2020} = [(1 - 0.3) + 12 \times 0.3] \times 1327$$

$$\mathbf{T_{eff2020} = 5706 \text{ uvp/j}}$$

- Trafic à l'année 2035 :

$$T_{eff2035} = [(1 - 0.3) + 12 \times 0.3] \times 2067$$

$$\mathbf{T_{eff2035} = 8888 \text{ uvp/j}}$$

3.5.3. Débit horaire normal :

$$Q = 0,12 \times T_{eff}$$

Avec : $\frac{1}{n} = 0,12$

Q : Débit de pointe horaire normal.

T_{eff} : Trafic effectif à l'année horizon.

- Débit horaire normal à l'année 2020 :

$$Q_{2020} = 0,12 \times 5706$$

$$\mathbf{Q_{2020} = 685 \text{ uvp/h}}$$

- Débit horaire normal à l'année 2035 :

$$Q_{2035} = 0,12 \times 8888$$

$$\mathbf{Q_{2035} = 1067 \text{ uvp/h}}$$

3.5.4. Débit horaire admissible :

$$d = k_1 \times k_2 \times c$$

Avec : $k_1 = 0,95$

$k_2 = 0,96$

$c = 2000 \text{ uvp/h}$

$$d = 0,95 \times 0,96 \times 2000$$

$$\mathbf{d = 1824 \text{ uvp/h}}$$

3.5.5. Nombre de voies :

$$N = S \times \frac{Q}{d}$$

Avec : N : nombre de voies

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

Q : débit horaire normal après 15 ans. $Q=1067 \text{ uvp/h}$

d : débit horaire admissible. $d=1824$ uvp/h

$$N = 2/3 \times \frac{1067}{1824}$$

$$N = 0,38$$

$$\mathbf{N = 1 \text{ voie/sens}}$$

4. CONCLUSION :

Notre projet est classé en catégorie 5 et se trouve dans un environnement difficile E3 selon la norme B40, sur lequel les véhicules circulent avec une vitesse de base tirée du B40 $V_r=40$ Km/h.

Les résultats de l'étude de trafic sont fournis dans le tableau suivant :

Tableau 1.8 : Résultats des calculs de trafic effectués.

$TMJA_{2020}(v/j)$	$TMJA_{2035}(v/j)$	$T_{eff2020}(^{uvp}/j)$	$T_{eff2035}(^{uvp}/j)$	$Q_{2035}(^{uvp}/h)$	$d(^{uvp}/h)$
1327	2067	5706	8888	1067	1824

La chaussée de notre route est bidirectionnelle (2x1 voies) de 3.5m de largeur chacune et des accotements de 1,5m.

Chapitre 2:

Géométrie de la route.

1. INTRODUCTION :

Le but de l'étude géométrique est de définir les caractéristiques longitudinales (profil en long), transversales (profils en travers) et sur le plan (tracé en plan) d'une route. Ces caractéristiques sont déterminées selon les préconisations du B40, afin de choisir la meilleure possibilité de réalisation d'un itinéraire à la fois sécuritaire et confortable pour les usagers.

2. LES PARAMÈTRES DE BASE POUR L'ÉTUDE DU TRACÉ :

Le tracé en plan consiste à représenter l'axe de la route qui doit vérifier l'ensemble des conditions de visibilité et de sécurité du conducteur.

2.1. Vitesse de référence :

La vitesse de référence des véhicules sur une section de route est la vitesse qui permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ses points particuliers. [3]

Le choix de la valeur de vitesse de référence se fait par niveau de service, au croisement de la catégorie socio-économique et du type d'environnement de l'itinéraire conformément au tableau suivant :

Tableau 2.1 : Valeurs de la vitesse de référence. [3]

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

2.2. Paramètres cinématiques :

L'étude des caractéristiques cinématiques du véhicule permet de contrôler son comportement et le comportement physiologique et psychologique du conducteur.

2.2.1. Temps de perception-réaction : (t_p)

C'est le temps nécessaire pour la prise de décision de freinage quand il s'agit d'une situation exigeant le ralentissement.

Les valeurs proposées par la norme B40 sont pour :

Catégorie 1 et 2 – Environnement 1 et 2 :

$$\begin{cases} t = 1,8s \text{ pour } V > 80 \text{ Km/h} \\ t = 2s \text{ pour } V \leq 80 \text{ Km/h} \end{cases}$$

Catégorie 1 et 2 – Environnement 3 :

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

Catégorie 3, 4 et 5 :

$$\begin{cases} t = 1,8s \text{ pour } V > 60 \text{ Km/h} \\ t = 2s \text{ pour } V \leq 60 \text{ Km/h} \end{cases}$$

2.2.2. Distance minimale de freinage : (d_0)

La distance minimale de freinage est la longueur parcourue par la voiture pendant l'action de freinage. [3]

$$d_0 = \frac{V^2}{254 \times f_l}$$

Avec : V : vitesse de véhicule (Km/h)

f_l : coefficient de frottement longitudinal.

Le coefficient de frottement longitudinal varie suivant la vitesse comme l'indique le tableau suivant :

Tableau 2.2 : Valeurs du coefficient longitudinal. [3]

Vitesse(Km/h)	40	60	80	100	120
Cat. 1. 2.	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33
Cat. 3. 4. 5.	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36

2.2.3. Distance d'arrêt :

La distance d'arrêt est la distance parcourue pendant le temps de perception-réaction rajoutée à la distance de freinage. [3]

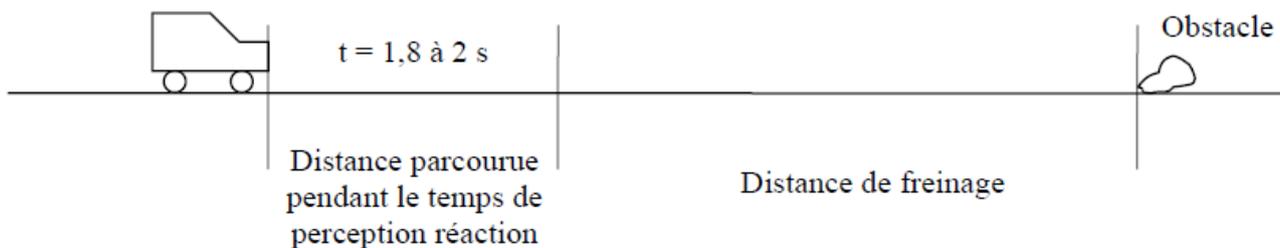


Figure 2.1. La distance d'arrêt d'un véhicule.

Les valeurs de la distance d'arrêt sont données dans les relations suivantes :

$$d_1 = d_0 + \frac{V}{3,6} \times t_p$$

Avec : t_p : temps de perception –réaction.

d_0 (m) : distance de freinage.

V : vitesse de référence.

Donc on aura :

$$\begin{cases} d_0 + 0,56 V & \text{pour } V \leq 60 \text{ Km/h} \\ d_0 + 0,5 V & \text{pour } V > 60 \text{ Km/h} \end{cases}$$

2.3. Visibilité :

2.3.1. Distance de visibilité de dépassement minimale : (d_m)

Selon la norme B40, c'est la longueur parcourue pendant environ 15s et correspondante à une manœuvre de dépassement qui dure 7 à 8s.

$$d_m = 4 \times V \text{ pour: } V \leq 90 \text{ Km/h}$$

Avec : V : vitesse de référence. (Km/h)

2.3.2. Distance de visibilité de dépassement normale : (d_N)

Elle est correspondante à une manœuvre courante de dépassement qui dure 11 à 12s. [3]

$$d_N = 6 \times V \text{ pour: } V \leq 90 \text{ Km/h}$$

2.3.3. Distance de visibilité de la manœuvre de dépassement : (d_{Md})

C'est la distance qui permet en sécurité au véhicule dépassant d'abandonner en freinant ou de poursuivre sa manœuvre de dépassement. [3]

On peut extraire sa valeur du tableau suivant :

Tableau 2.3 : Valeurs de la distance de manœuvre de dépassement.

V (Km/h)	40	60	80	100	120
d_{Md} (m)	70	120	200	300	425

2.4. Distance de sécurité entre deux véhicules : (d_s)

C'est l'espace entre deux voitures qui circulent dans le même sens, sur la même voie et avec la même vitesse afin d'éviter la collision en cas où la première prend une action de freinage. [4]

$$d_s = \left(\frac{V}{3,6}\right) \times t_p + L$$

Avec : V : vitesse. (Km/h)

t_p : Temps de perception-réaction.

L : Longueur de véhicule en moyenne (10m).

2.5. Application au projet :

2.5.1. Vitesse de référence :

Selon le tableau 2.1 :

$$\begin{cases} \text{Catégorie 5} \\ \text{Environnement 3} \end{cases} \rightarrow V_r = 40 \text{ Km/h}$$

2.5.2. Temps de perception-réaction :

On a :

$$\begin{cases} \text{Catégorie 5} \\ V \leq 60 \text{ Km/h} \end{cases} \rightarrow t_p = 2 \text{ s}$$

2.5.3. Distance minimale de freinage :

$$d_0 = \frac{V^2}{254 \times f_l}$$

On a : V=40 Km/h

Selon le tableau 2.2. $f = 0.49$

Donc :

$$d_0 = \frac{40^2}{254 \times 0,49}$$

$$\mathbf{d_0 = 12,85 \approx 13m}$$

2.5.4. Distance d'arrêt :

$$\begin{cases} d_0 + 0,56 V & \text{pour } V \leq 60 \text{ Km/h} \\ d_0 + 0,5 V & \text{pour } V > 60 \text{ Km/h} \end{cases}$$

On a : $V=40 \text{ Km/h}$

$$d_0 = 13 \text{ m}$$

$$d_1 = d_0 + 0,56 V$$

$$d_1 = 13 + 0,56 \times 40$$

$$\mathbf{d_1 = 35,4 \approx 35 \text{ m}}$$

2.5.5. Distance de visibilité de dépassement minimale :

$$d_m = 4 \times V \text{ pour: } V \leq 90 \text{ Km/h}$$

On a : $V=40 \text{ Km/h}$

Donc on aura :

$$\mathbf{d_m = 4 \times 40 = 160 \text{ m}}$$

2.5.6. Distance de visibilité de dépassement normale :

$$d_N = 6 \times V \text{ pour: } V \leq 90 \text{ Km/h}$$

Donc :

$$\mathbf{d_N = 6 \times 40 = 240 \text{ m}}$$

2.5.7. Distance de visibilité de la manœuvre de dépassement :

Suivant le tableau 2.3.

$$V = 40 \text{ Km/h} \rightarrow \mathbf{d_{Md} = 70 \text{ m}}$$

2.5.8. Distance de sécurité :

$$d_s = \left(\frac{V}{3,6} \right) \times t_p + L$$

Avec : V : vitesse. (Km/h)

t_p : Temps de perception-réaction = 2 s

L : Longueur de véhicule en moyenne (10m).

Donc on aura :

$$d_s = \left(\frac{40}{3,6} \right) \times 2 + 10$$

$$\mathbf{d_s = 32,22 \approx 32 \text{ m}}$$

2.5.9. Tableau récapitulatif :

Tableau2.4 : Tableau récapitulatif des valeurs données par la norme B40 et les résultats calculés.

		B40	Calculés
Vitesse de référence	V_r (Km/h)	40	-
Temps de perception-réaction	t_p (s)	2	-
Coefficient de frottement longitudinal	f_l	0,49	-
Distance de freinage minimale	d_0 (m)	13	12,85
Distance d'arrêt	d_1 (m)	35	35,4
Distance de visibilité de dépassement minimale	d_m (m)	150	160
Distance de visibilité de dépassement normale	d_N (m)	250	240
Distance de visibilité de la manœuvre de dépassement	d_{Md} (m)	70	-
Distance de sécurité	d_s (m)	30	32,32

On remarque que les valeurs calculées se rapprochent aux valeurs données par le règlement Algérien, donc elles peuvent être appliquées lors de la réalisation dans le cas où les valeurs données par B40 ne conviennent pas.

3. LES ÉLÉMENTS D'UN TRACÉ EN PLAN :

Le tracé en plan renseigne immédiatement sur la sinuosité d'une route. Son axe est constitué par l'ensemble des éléments suivant :

- Des segments de droites.
- Des arcs en cercles.
- Des raccordements progressifs.

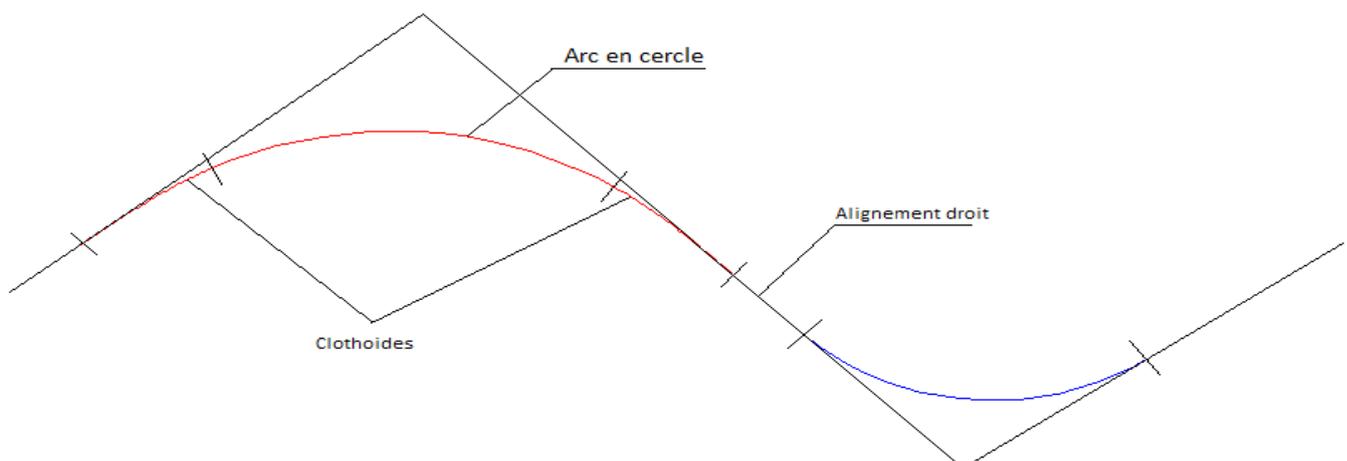


Figure 2.2 : Les différents éléments d'un tracé en plan.

3.1. Alignement droit :

Les courbes sur un tracé en plan doivent être séparées par des alignements droits d'une longueur comprise entre L_{min} et L_{max} . [3]

3.1.1. Longueur minimale d'un alignement :

La longueur minimale d'un alignement droit est égale à la distance parcourue pendant 5 secondes à la vitesse de référence. [3]

$$L_{min} = T \times V_r$$

Avec : T : temps = 5 s

V_r : Vitesse de référence (m/s)

$$L_{min} = 5 \times 40 \times \frac{1000}{3600} = 55.55 \text{ m}$$

On obtient :

$$\mathbf{L_{min} = 56 \text{ m}}$$

3.1.2. Longueur maximale d'un alignement :

La longueur maximale d'un alignement droit est égale à la distance parcourue pendant 60 secondes à la vitesse de référence. [3]

$$L_{max} = T \times V_r$$

Avec : T : temps = 60 s

V_r : Vitesse de référence (m/s)

$$L_{max} = 60 \times 40 \times \frac{1000}{3600} = 666.66 \text{ m}$$

On obtient :

$$\mathbf{L_{max} = 667 \text{ m}}$$

3.1.3. Dévers en alignement droit :

En alignement le dévers est destiné à l'évacuation des eaux sur la chaussée. Sa valeur maximale est de 2,5% dans les bonnes conditions d'exécution et de 3% quand il y a risque de tassement ou des difficultés d'exécution. [3]

Dans notre cas d'étude on choisit $d=2,5\%$.

3.2. Arcs en cercle :

3.2.1. Effet de la force centrifuge :

Les véhicules en mouvement sur un tracé routier sont généralement instables et ont tendance à quitter leurs trajectoires normale dans un virage à cause de l'effet de la force centrifuge.(Figure 2.3)

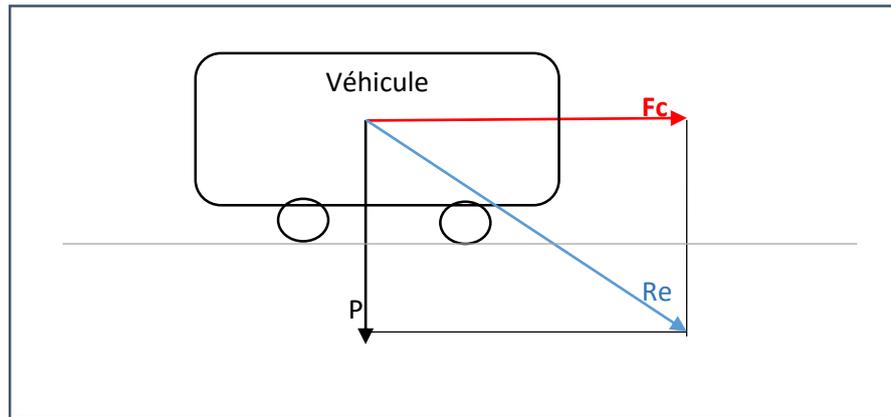


Figure 2.3 : Effet de la force centrifuge horizontale.

F_c : Force centrifuge. $F_c = m \times V_r^2 / R$

P : poids du véhicule. $P = m \times g$

Re : La résultante.

Avec : m : masse du véhicule.

V_r : vitesse de référence.

R : rayon de courbure.

g : la pesanteur.

3.2.2. Effet du dévers :

Pour garder la stabilité du véhicule au niveau des courbes on ajoute une pente dirigée vers l'intérieur de la courbe appelé dévers.

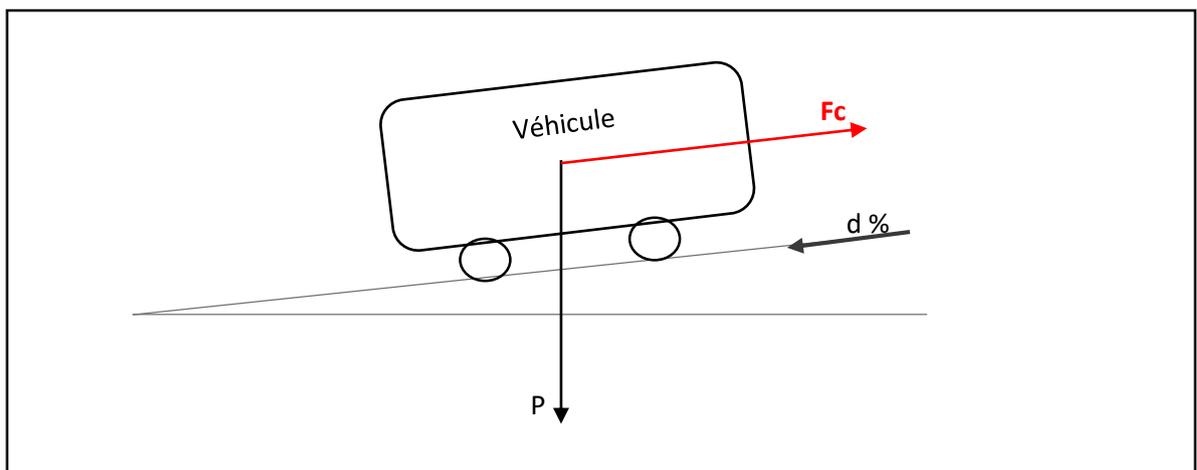


Figure 2.4 : effet du dévers.

3.2.3. Valeurs des rayons minimaux :

Pour chaque vitesse on définit un rayon et un dévers.

$$a) \text{ Rayon minimal absolu : } R_{Hm} = R(Vr; d_{max})$$

Pour une catégorie donnée, le rayon minimum absolu en plan est défini par la formule suivante: [3]

$$R_{Hm} = \frac{Vr^2}{127 \times (d_{max} + f_t)}$$

Avec : Vr : vitesse de référence (Km/h)

d_{max} : Dévers maximal.

f_t : Coefficient de frottement transversal.

Les valeurs maximales admises pour le coefficient de frottement transversal à la vitesse de référence sont données sur le tableau suivant : [3]

Tableau 2.5 : valeurs du coefficient de frottement transversal. [3]

V	40	60	80	100	120	140
Catégorie 1-2	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09
Catégorie 3-4-5	0,22	0,18	0,15	0,125	0,11	-

$$b) \text{ Rayon minimal normal : } R_{HN} = R(Vr + 20; d_{moy})$$

C'est un rayon calculé à la vitesse de référence immédiatement supérieure (Vr+20 Km/h) et à la base d'un dévers moyen de l'ordre : [3]

- Pour les catégories 1-2-3-4 : $d_{max} - 2\%$
- Pour la catégorie 5 : $d_{max} - 3\%$

$$R_{HN} = R_{Hm}(Vr + 20)$$

$$R_{HN} = \frac{(Vr + 20)^2}{127 \times (f_t + d_{moy})}$$

$$c) \text{ Rayon au dévers minimal : } R_{Hd} = R(Vr; d_{min})$$

C'est un rayon qui au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage : [3]

$$R_{Hd} = \frac{Vr^2}{127 \times 2 \times d_{min}}$$

$$d) \text{ Rayon non déversé : } R_{Hnd} = R(Vr; -d_{min})$$

C'est le rayon au-dessus duquel la chaussée n'a pas à être déversée dans le sens correspondant à la courbure en plan :

$$R_{Hnd} = \frac{Vr^2}{127 \times (f' - d_{min})}$$

La valeur de f' est définie en fonction de la catégorie de la route :

Tableau 2.6 : Valeurs de f' suivant la catégorie. [3]

Catégorie	1	2	3	4	5
f'	0,06	0,06	0,07	0,075	0,075

3.2.4. Choix du dévers :

Pour une catégorie et un environnement donnés : [3]

- Le dévers des virages compris entre le rayon minimal absolu et le rayon au dévers minimal sont obtenus par interpolation.
- Tous les rayons entre R_{Hm} et R_{Hnd} sont munis d'une courbe à raccordement progressif.

Tableau 2.7 : Valeurs des dévers maximum et minimum. [3]

Catégorie	dévers	Environnement		
		E1	E2	E3
Catégorie 1-2	d_{min}	2,5%	2,5%	2,5%
	d_{max}	7%	7%	7%
Catégorie 3	d_{min}	3%	3%	3%
	d_{max}	8%	8%	7%
Catégorie 4	d_{min}	3%	3%	3%
	d_{max}	8%	8%	7%
Catégorie 5	d_{min}	3%	3%	3%
	d_{max}	9%	9%	9%

3.2.5. Application au projet :

a) Rayon minimal absolu :

$$R_{Hm} = \frac{Vr^2}{127 \times (d_{max} + f_t)}$$

Avec : Vr : vitesse de référence (40 Km/h)

d_{max} : Dévers maximal (9%)

f_t : Coefficient de frottement transversal (0,22)

$$R_{Hm} = \frac{40^2}{127 \times (0,09 + 0,22)}$$

$$\mathbf{R_{Hm} = 40,40m}$$

b) Rayon minimal normal :

- Pour la catégorie 5 : $d_{max} - 3\% = 9\% - 3\% = 6\%$

$$R_{HN} = \frac{(Vr + 20)^2}{127 \times (f_t + d_{moy})}$$

$$R_{HN} = \frac{(40 + 20)^2}{127 \times (0,22 + 0,06)}$$

$$\mathbf{R_{HN} = 101,237}$$

c) Rayon au dévers minimal :

$$R_{Hd} = \frac{Vr^2}{127 \times 2 \times d_{min}}$$

Avec : d_{min} : Dévers minimal (3%)

$$R_{Hd} = \frac{40^2}{127 \times 2 \times 0,03}$$

$$\mathbf{R_{Hd} = 209,97m}$$

d) Rayon non déversé :

$$R_{Hnd} = \frac{V^2}{127 \times (f' - d_{min})}$$

Avec : $f'=0,075$

$$R_{Hnd} = \frac{40^2}{127 \times (0,075 - 0,03)}$$

$$\mathbf{R_{Hnd} = 279,96m}$$

3.2.6. Valeurs retenues par la norme algérienne B40 et résultats calculés :

Tableau 2.8 : Tableau récapitulatif des valeurs données par la norme B40 et les résultats calculés.

		B40	Calculs
Rayon minimal absolu	$R_{Hm}(m)$	40	40,40
Rayon minimal normal	$R_{HN}(m)$	105	101,237
Rayon au dévers minimal	$R_{Hd}(m)$	200	209,97
Rayon non déversé	$R_{Hnd}(m)$	280	279,96
Dévers maximum	$d_{max}(\%)$	9	
Dévers minimum	$d_{min}(\%)$	3	

Ainsi la valeur du dévers, pour notre cas d'étude, obtenue par interpolation :

$$280 - 40 \rightarrow 9\% - 3\%$$

$$150 - 40 \rightarrow d - 3\%$$

$$d = \frac{(150 - 40) \times 6\%}{280 - 40} + 3\% = 5,75 \%$$

Donc :

$$\mathbf{d = 6\%}$$

3.3. Courbe à raccordement progressif :

Les raccordements à courbes progressives se trouvent entre deux courbes circulaires ou une courbe circulaire et un alignement droit afin de maintenir l'accélération transversale pour assurer le confort et la sécurité des conducteurs. [3]

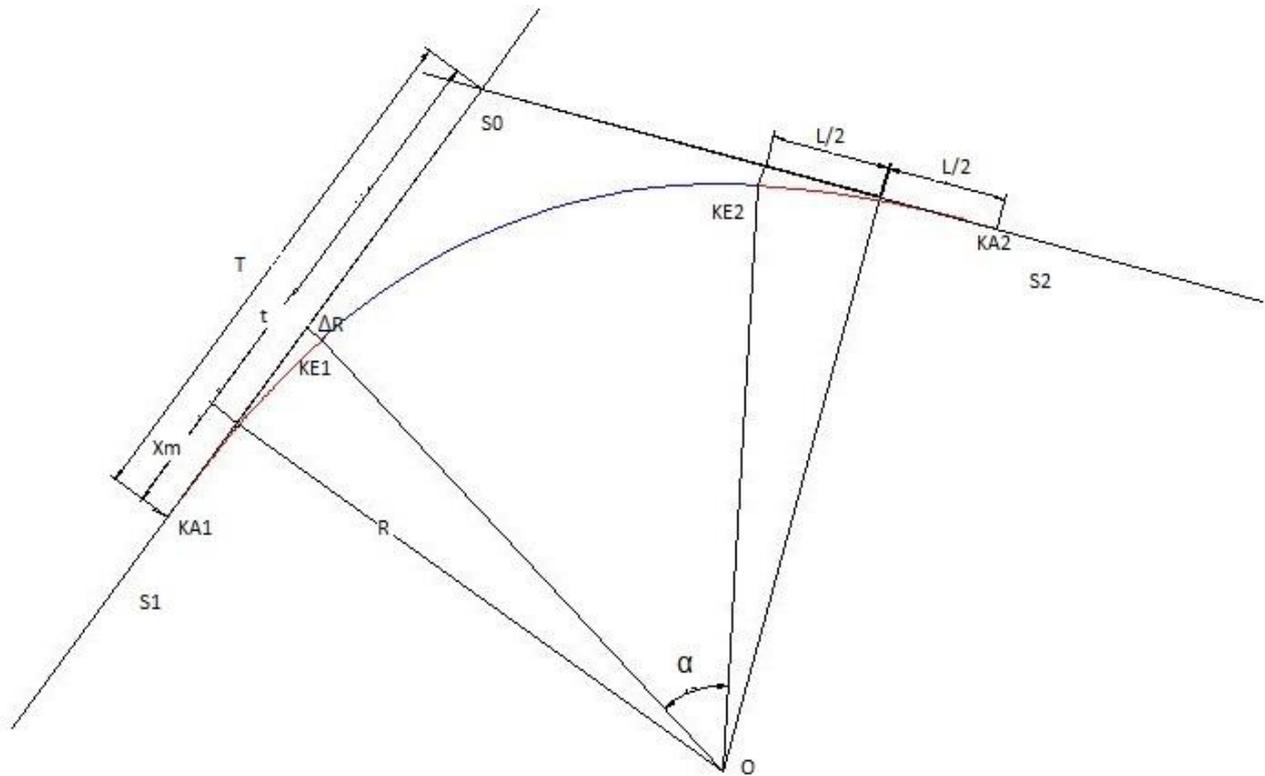


Figure 2.5. Éléments d'une courbe à raccordement progressif.

O : Centre de cercle.

R : Rayon du cercle.

T : grande tangente.

t : petite tangente.

Xm : Abscisse du centre de cercle.

τ : Angle des tangentes.

ΔR : Décalage entre l'élément droit et arc de cercle.

KA : début de la clothoïde.

KE : fin de la clothoïde.

A : Paramètre de la clothoïde.

L : longueur de la branche de la clothoïde.

3.3.1. Nécessité de la clothoïde :

Les courbes à raccordement progressif sont : [3]

- Obligatoires pour les itinéraires de catégorie 1 et 2.
- Fortement préconisées pour les routes de catégorie 3.
- Souhaitées pour les itinéraires de catégories 4 et 5.

La clothoïde a pour équation : [3]

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

Avec : L : longueur de la clothoïde.

R : rayon de courbure.

A : paramètre de la clothoïde. ($R/3 \leq A < R$)

NB : Il faut préciser qu'au long d'une courbe à raccordement progressif le dévers varie linéairement en fonction de la courbure.

3.3.2. Longueurs minimales des raccordements à courbe progressive :

La longueur minimale d'une clothoïde L est déterminée par trois conditions : [3]

a) Condition optique :

La vérification de cette condition est recommandée pour des raisons optiques permettant aux usagers une vue claire de la route et de ses obstacles. [3]

On applique pour effectuer les calculs la formule : $L = \sqrt{24 \times \Delta R \times R}$

Avec : L : longueur de la clothoïde.

R : rayon de courbure.

ΔR : le ripage du cercle raccordé, sa valeur dépend du rayon :

- $R > 5000 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 2,5 \text{ m.}$
- $2000 \text{ m} < R < 5000 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 1,75 \text{ à } 2,5 \text{ m.}$
- $1000 \text{ m} < R < 2000 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 1 \text{ à } 1,75 \text{ m.}$
- $R < 1000 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 0,5 \text{ à } 1 \text{ m.}$

b) Condition de gauchissement :

Cette condition a pour objet d'assurer le confort des usagers dans les zones de variation de dévers (Δd %). [3]

$$L \geq \frac{l \times Vr \times \Delta d}{50}$$

Avec : l : distance entre axe de rotation et le bord de la chaussée (l=7 m). [3]

Δd : variation de dévers. $\Delta d = d_{final} - d_{initial} = 6\% - (-2,5\%)$

Il faut aussi vérifier si l'écoulement des eaux est satisfaisant :

$$\Delta p = \frac{0,5}{Vr} \geq 0,5\%$$

c) Condition du confort dynamique :

Selon la norme algérienne B40 la condition du confort dynamique est la suivante :

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

3.3.3. Détermination du paramètre de la clothoïde : (A)

À partir des valeurs satisfaisantes aux conditions précédentes on peut avoir la longueur minimale de la clothoïde : $L = \max [L_{condition\ optique}; L_{gauchissement}; L_{condition\ dynamique}]$

Ainsi, la formule pour déterminer le paramètre de la clothoïde est : $A = \sqrt{R \times L}$

3.3.4. Calcul d'un raccordement à courbe progressive :

Sur un axe routier, on donne de l'importance dans les calculs aux courbures, cet élément géométrique qui se définit par plusieurs points et éléments.

- **Prenons l'exemple pour R=150m :**

a) Condition optique :

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

Avec : L : longueur de la clothoïde.

R : rayon de courbure. (150m)

ΔR : le ripage du cercle raccordé, sa valeur dépend du rayon (1m)

$$L = \sqrt{24 \times 1 \times 150}$$

$$\mathbf{L = 60m}$$

b) Condition de gauchissement :

$$L \geq \frac{l \times Vr \times \Delta d}{50}$$

Avec : l : distance entre axe de rotation et le bord de la chaussée (l=7 m).

Δd : variation de dévers.

$$\Delta d = d_{final} - d_{initial} = 6\% - (-2,5\%) = 8,5\%$$

$$L \geq \frac{7 \times 40 \times 8,5}{50}$$

$$\mathbf{L \geq 47,6 m}$$

Avec : $\Delta p = \frac{0,5}{Vr} \geq 0,5\%$

$$\Delta p = \frac{0,5}{40} = 0,0125 = 1,25\% \geq 0,5\%$$

Donc : l'Écoulement des eaux est satisfaisant.

c) Condition du confort dynamique :

$$L \geq \frac{Vr^2}{18} \times \left[\left(\frac{Vr^2}{127 \times R} \right) - \Delta d \right]$$

Avec : $L \geq \frac{40^2}{18} \times \left[\left(\frac{40^2}{127 \times 150} \right) - 0,085 \right]$

$$\mathbf{L \geq 0,089m}$$

d) Longueur de la clothoïde :

$$L = \max[L_{confort optique}; L_{gauchissement}; L_{confort dynamique}]$$

$$L = \max[60; 47,6; 0,09]$$

$$L = 60 \text{ m}$$

e) Paramètre de la clothoïde :

$$A = \sqrt{R \times L}$$

$$\text{Donc : } A = \sqrt{150 \times 60} = 94,86$$

$$\text{On prend : } A = 95$$

3.3.5. Éléments d'un raccordement à courbe progressive :

Afin de bien enrichir notre travail, nous avons jugé qu'il faut au moins détailler un cas d'étude d'une courbe à raccordement progressif.

Tableau 2.9 : coordonnées et données concernant notre exemple à étudier.

	X	Y
S0	651401,0447	3866592,2452
S1	651303,1415	3866457,5785
S2	651579,3262	3866543,3581
Rayon	150 m	
Vitesse	40 Km/h	

a) Calcul des gisements :

Un gisement est l'angle que forme une ligne avec celle du nord. Il se calcule par les formules suivantes :

$$\text{gis} = \text{Arc tg} (\Delta X / \Delta Y)$$

Avec :

$$\text{GIS} = \text{gis si } (\Delta X > 0 \text{ et } \Delta Y > 0) \text{ (avec gis} > 0).$$

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

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

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

$$\begin{cases} \Delta X1 = X0 - X1 = 97,9032 \text{ m} \\ \Delta Y1 = Y0 - Y1 = 134,667 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{gis1} = \text{arctg} (97,9032 / 134,667)$$

$$\text{gis1} = 40,0191 \text{ grades}$$

Avec :

$$\text{GIS1} = \text{gis1} = 40,0191$$

$$\begin{cases} \Delta X2 = X2 - X0 = 178,2815 \text{ m} \\ \Delta Y2 = Y2 - Y0 = -48,887 \text{ m} \end{cases}$$

$$\text{gis 2} = \text{arctg} (178,2815 / (-48,2815))$$

$$\text{gis 2} = -82,9619 \text{ grades}$$

Avec :

$$\text{GIS2} = 200 - \text{gis2} = 117,0381 \text{ grades}$$

b) Calcul des distances :

$$\overline{S1S0} = \sqrt{\Delta X1^2 + \Delta Y1^2} = \sqrt{97,9032^2 + 134,667^2}$$

$$\overline{S1S0} = 166,493 \text{ m}$$

$$\overline{S0S2} = \sqrt{\Delta X2^2 + \Delta Y2^2} = \sqrt{178,2815^2 + 48,887^2}$$

$$\overline{SOS2} = 184,862 \text{ m}$$

c) Calcul de l'angle α :

$$\alpha = |GIS 1 - GIS 2|$$

$$\alpha = |40,0191 - 117,0381| = 77,019 \text{ grade}$$

$$\alpha = 77,019 \text{ grade} = 1,2095 \text{ radian.}$$

d) Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L}{2 \times R} = \frac{60}{2 \times 150}$$

$$\tau = 0,2 \text{ radian} = 12,73 \text{ grades}$$

e) Calcul de la tangente :

$$T = R \times \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$T = 103,7044 \text{ m}$$

f) Coordonnées des points de la clothoïde :

$$S = L/A = 0,631 \text{ m}$$

	x	y	X = (x × A)	Y = (y × A)
$s_2 = 0,631 \text{ m}$	0,627523	0,041557	59,61468	3,94791

D'où : les coordonnées du point KE sont :

$$X = 59,61468$$

$$Y = \frac{L^2}{6 \times R} = 4$$

g) Calcul de la longueur de l'arc :

$$\overline{KE1KE2} = R \times (\alpha - 2 \times \tau) \text{ Avec : } \alpha \text{ en radian.}$$

$$\overline{KE1KE2} = 121,425 \text{ m}$$

h) Valeur du déplacement ΔR :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = 1 \text{ m}$$

i) Calcul des distances cumulées :

$$\overline{S1KA1} = \overline{S1S0} - T = 62,7886 \text{ m}$$

$$\overline{S1KE1} = \overline{S1KA1} + L = 122,7886 \text{ m}$$

$$\overline{S1KE2} = \overline{S1KE1} + \overline{KE1KE2} = 244,2136 \text{ m}$$

$$\overline{S1KA2} = \overline{S1KE2} + L = 304,2136 \text{ m}$$

$$\overline{S1S2} = \overline{S1KA2} + (\overline{SOS2} - T) = 385,3712 \text{ m}$$

4. PROFIL EN LONG :

Le profil en long est une coupe qui passe par l'axe de la route projetée sur un plan vertical à une certaine échelle.

4.1. Règle à respecter dans le profil en long :

L'élaboration du tracé s'appuiera sur les règles suivantes : [3]

- Éviter les angles entrants en déblai,
- 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.
- Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais dans la partie de tracé neuve.
- Éviter une hauteur excessive en remblai.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long,
- 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 ($i \leq i_{max}$)

4.2. Éléments géométriques du profil en long :

Un profil en long est constitué de segments de droites (pentes \searrow et rampes \nearrow) raccordés par des éléments circulaires ou paraboliques appelés raccordement convexe et raccordement concave.

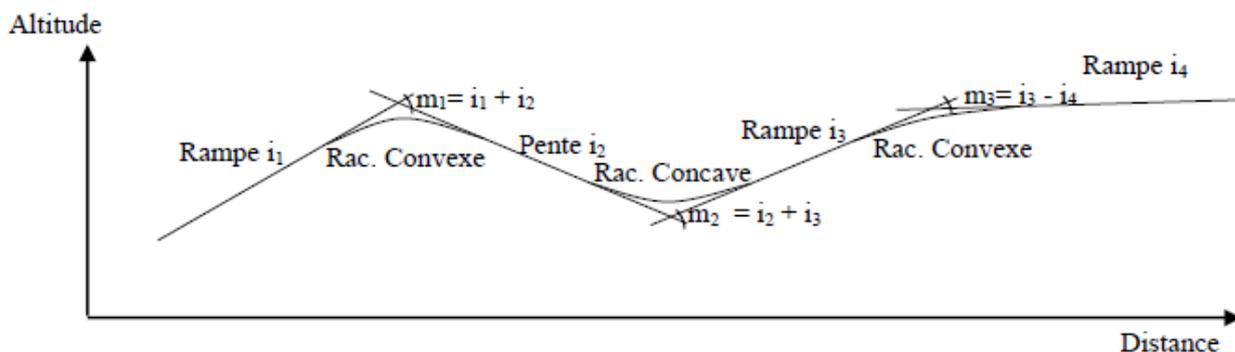


Figure 2.6. Éléments géométriques du profil en long.

4.2.1. Déclivité :

Lors de la réalisation d'un profil en long la valeur de la pente des parties descendantes et ascendantes du tracé doit être prise entre deux déclivités limites.

a) Déclivité minimale :

Le tracé doit être incliné d'au moins 0,5 à 1% pour des raisons d'écoulement d'eau. [3]

b) Déclivité maximale :

Afin d'éviter les problèmes que peuvent rencontrer les véhicules lourds au niveau des pentes et rampes, les normes algériennes B40 proposent des valeurs maximales de déclivité pour chaque catégorie et environnement.

Tableau 2.10 : Déclivité maximale selon B40.

	E1	E2	E3
Catégories 1-2	4%	5%	6%
Catégorie 3	5%	6%	6%
Catégories 4-5	6%	7%	8%

4.2.2. Rayons des courbures du profil en long :a) Raccordement convexe en point haut : (en angle saillant) :

- Condition de confort : (accélération verticale)

La limitation de l'accélération verticale $\left(\frac{V^2}{Rv}\right)$ sert à déterminer les valeurs seuils des rayons.

Selon la norme algérienne B40 les valeurs d'accélération verticale les plus confortables sont :

$$\begin{cases} \text{pour catégorie 1 et 2} \rightarrow g/40 \\ \text{pour catégorie 3, 4 et 5} \rightarrow g/30 \end{cases}$$

On obtient : $\frac{g}{30} > \frac{V^2}{Rv} \rightarrow Rv > V^2 \times 30/g$

Avec : $V = Vr/3,6$ (m/s)

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

$$Rv > 0,23 \times Vr^2$$

$$\mathbf{Rv > 368 \text{ m}}$$

- Condition de visibilité : (Hauteurs de l'œil et des obstacles)

Ce sont des paramètres intervenant dans le calcul des distances de visibilité en point haut et bas :[3]

- La hauteur (h_0) est la hauteur de l'œil du conducteur au-dessus de la chaussée.
- La hauteur (h_1) est la hauteur relative à un obstacle situé sur la chaussée.
- La hauteur (h_2) est la hauteur d'un véhicule qui circule dans le sens inverse.

Ces trois hauteurs interviennent dans le calcul de distance d'arrêt et de dépassement afin de favoriser la visibilité. [3]

Pour les chaussées unidirectionnelles la valeur du rayon minimum absolu est définie par la relation :[3]

$$Rvm > \frac{d_1^2}{2 \times (h_0 + h_1 + 2 \times \sqrt{h_0 + h_1})}$$

On obtient : $Rvm > 0,22 \times d_1^2$

$$\mathbf{Rvm > 269,5 \text{ m}}$$

b) Raccordement concave : (en angle rentrant)

- Rayon minimal absolu :

Les rayons minimaux absolus des raccordements paraboliques en angle rentrant assurent :

Pour $V < V'$ avec : $V' = 60$ Km/h pour catégories 3, 4 et 5 on doit assurer la vision d'un obstacle situé à la distance d'arrêt. [3]

$$R'vm = \frac{d_1^2}{1,5 + 0,035 \times d_1}$$

On aura :

$$R'vm = 449,54m$$

- Rayon minimal normal :

Les rayons minimaux normaux en angle rentrant sont exprimés par la relation : [3]

$$R'vn = R'vm(Vr + 20)$$

c) Valeurs retenues :

Le tableau ci-après englobe l'ensemble des résultats obtenus.

Tableau 2.11 : Tableau récapitulatif des valeurs des rayons verticaux.

		Symbole	Valeur calculée	Valeur donnée par B40
	Déclivité maximale	P max(%)	-	8%
En angle saillant	Rayon minimum absolu	Rvm (m)	269	250
	Rayon minimum normal	Rvn (m)	-	800
En angle entrant	Rayon minimum absolu	R'vm (m)	449	500
	Rayon minimum normal	R'vn (m)	-	1000

Les valeurs calculées peuvent être prises lors de la réalisation dans le cas où les valeurs données par B40 ne conviennent pas.

4.2.3. Exemple de calcul :

- **Cas d'un raccordement concave (R=900m)**

Les données sont présentées dans le tableau ci-après.

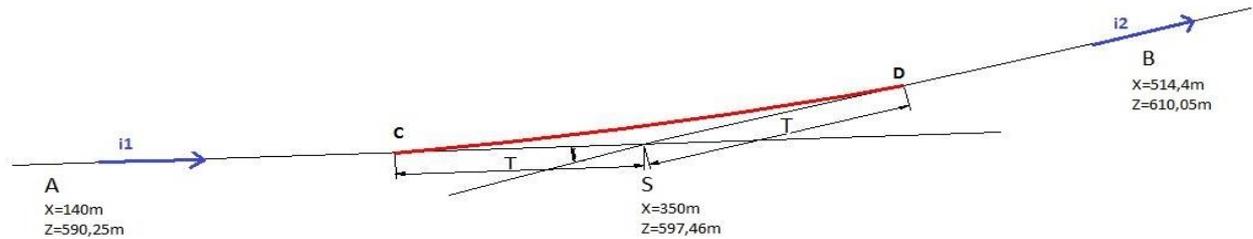


Figure 2.7. Raccordement en rayon rentrant.

Tableau 2.12 : Données du raccordement concave.

Point.	PK X (m)	Altitude Z (m)
A	140	590,25
S	350	597,46
B	514	610,05

a) Calcul des pentes :

On a :

$$p_1 = \frac{Z_S - Z_A}{X_S - X_A} = \frac{597,46 - 590,25}{350 - 140}$$

Donc :

$$\mathbf{P1 = 3,43\%}$$

On a :

$$p_2 = \frac{Z_B - Z_S}{X_B - X_S} = \frac{610,05 - 597,46}{514 - 350}$$

Donc :

$$\mathbf{p_2 = 7,658\%}$$

b) Calcul de la tangente :

$$\frac{T}{R} = \frac{m}{2} \rightarrow T = \frac{m}{2} \times R$$

Avec : $m = p_1 + p_2$

$$T = \frac{11,088}{2 \times 100} \times 900$$

$$\mathbf{T = 49,896 m}$$

c) Calcul de la flèche :

$$F = \frac{T^2}{2 \times R} = \frac{49,896^2}{2 \times 900}$$

$$\mathbf{F = 1,383 m}$$

d) Calcul des coordonnées des points de la tangente :

$$B \begin{cases} X_C = PK_S - T = 350 - 49,896 = 300,104 \text{ m} \\ Z_C = Z_S - T \times p_1 = 597,46 - 49,896 \times 0,0343 = 595,74 \text{ m} \end{cases}$$

$$D \begin{cases} X_D = PK_S + T = 350 + 49,896 = 399,896 \text{ m} \\ Z_D = Z_S - T \times p_2 = 597,46 - 49,896 \times 0,0765 = 593,64 \text{ m} \end{cases}$$

5. PROFIL EN TRAVERS :

Le profil en travers d'une chaussée est la coupe perpendiculaire à l'axe de la chaussée par un plan vertical.

Le profil en travers contient tous les éléments constitutifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais, trottoirs). [3]

5.1. Différents type de profil en travers :

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

5.1.1. 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).

5.1.2. profil en travers courants :

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

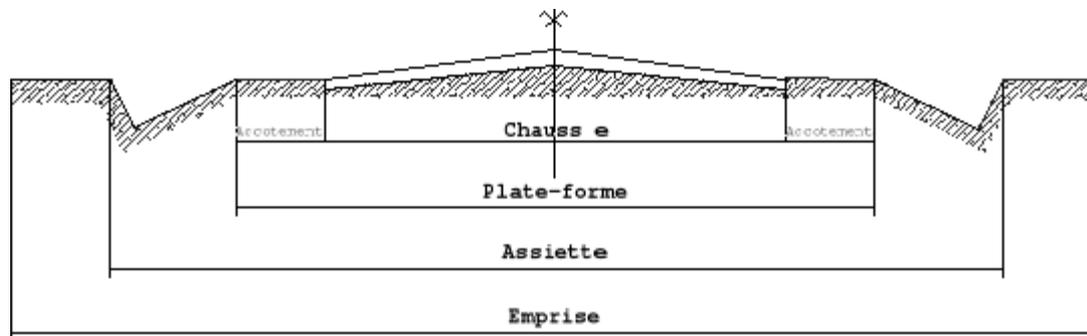
5.2. Les éléments constitutifs du profil en travers

Figure 2.8. Profil en travers général.

5.2.1. L'emprise :

L'emprise de la route est la surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est-à-dire dans les limites du domaine public (Figure 2.7). [6]

5.2.2. L'assiette :

L'assiette de la route est la surface du terrain réellement construite pour créer la route, c'est à dire les limites des terrassements. [6]

5.2.3. La plate-forme :

Elle est entre le fossé et les crêtes des talus en remblais ; la plate-forme comprend la chaussée plus les accotements (éventuellement le terre-plein central et voies auxiliaires). [6]

5.2.4. Chaussée :

La chaussée est la partie de la route affectée à la circulation des véhicules, la route peut être à chaussée unique ou chaussée séparée par un terre-plein central. [6]

5.2.5. Accotements :

Les accotements sont les zones latérales qui bordent extérieurement la chaussée. Ils peuvent être dérasés ou surélevés. [6]

6. APPLICATION AU PROJET :

Après avoir calculé les données nécessaires pour l'étude géométrique, nous avons utilisé le logiciel *COVADIS* pour concevoir les plans topographiques détaillés de notre route et pour calculer les cubatures afin de déterminer les quantités des remblais et des déblais, le volume de la terre végétale décapée et les différents matériaux utilisés dans le cas de notre étude d'où on a pu extraire les résultats suivants :

- Volume total de décapage = 1823,113m³
- Volume total de déblai = 17467,728 m³
- Volume total de remblai = 10815,217 m³
- Volume total des matériaux :

Béton Bitumineux : 201,600 m³

Grave bitume : 134,400 m³

Grave concassé : 168,000 m³

N.B : Les différents plans que nous avons réalisé en utilisant logiciel *COVADIS* (Tracé en plan, Profil en long et Profils en travers types) sont mis dans **(l'Annexe A)**.

7. CONCLUSION :

L'étude géométrique de route est obligatoire pour assurer le confort et la sécurité des usagers.

Les différents éléments géométriques de notre projet ont été choisis suivant les normes Algériennes B40. Finalement, notre route est constituée de :

- Trois segments en plan raccordés par deux arcs en cercle et une courbe à raccordement progressif là où il était nécessaire d'en mettre une.
- Le profil en long est constitué de pente et rampes d'une déclivité de l'ordre de 4% à 7,5%.
- Notre route est composée d'une chaussée bidirectionnelle de 7m (2x3,5 m) de largeur avec des accotements de 1,5m des deux côtés, sous forme en toit avec un dévers minimum (2,5%) et un dévers égale à 6% au niveau des virages.
- Les profils en travers nous ont permet d'obtenir les quantités des déblais et remblais d'après les tableaux de cubature **(Annexe A)**.
- Le volume des déblais dépasse celui des remblais avec une différence de 6652,398 m³, ce qui n'est pas le choix le plus économique dans un terrain montagneux, mais nous avons jugé que c'est un bon choix de tracé pour éviter le dépassement de la déclivité maximale et aussi parce que les déblais peuvent être utilisés en matériau des remblais.

Chapitre 3:

Terrassement et dimensionnement du
corps de chaussée

1. INTRODUCTION :

La détermination des différents paramètres géométriques n'est pas suffisante pour atteindre notre objectif qui s'agit d'assurer le confort et la sécurité des usagers. Donc, nous devons aborder ce nouveau chapitre concernant les terrassements et le dimensionnement de la structure de chaussée en se basant sur les données géométrique de notre terrain, des matériaux utilisés et des conditions climatiques.

2. TERRASSEMENT : (REMBLAIS ET COUCHES DE FORME)

À base d'une étude géotechnique et des règles de références (*réalisation des remblais et des couches de forme, fascicule 1 et 2*), l'ingénieur vise à adopter le terrain naturel au profil en long du projet et proposer une portance suffisante pour permettre la réalisation des couches de chaussée, en utilisant des matériaux de chantier ou d'une zone d'emprunt la plus proche possible.

2.1. Classification des sols :

La classification des sols et des matériaux rocheux est basée sur des paramètres d'identification des problèmes posés par les matériaux utilisés pour les remblais et les couches de forme. [7]

Les paramètres retenus pour la classification des sols sont les suivants : [7]

2.1.1. Paramètres de nature :

Ce sont des paramètres intrinsèques, ils ne se varient pas, ou peu, ni dans le temps ni au cours des différentes manipulations que subit le sol au cours de sa mise en œuvre.

- Granularité : Le tamisat à 80 μ m pour distinguer les matériaux riches en fines et le tamisat à 2mm pour distinguer entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.
- L'indice de plasticité : pour caractériser l'argilosité des sols.
- La valeur de bleu de méthylène(VBS) : pour apprécier la sensibilité à l'eau.

2.1.2. Paramètres de comportement mécanique :

- Coefficient de Los Angeles (LA), Micro Deval en présence d'eau : pour apprécier la tenue sous trafic.

2.1.3. Paramètres d'état :

- L'état hydrique principalement : (humide, état d'humidité moyenne, sec, très sec) son importance est capitale vis-à-vis de tous les problèmes de remblais et de couches de forme.

2.2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblais :

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux et des sous-produits industriels sont celle qu'il y a lieu de respecter pour autoriser l'emploi en remblai des différentes classes et sous-classes de matériaux distinguées dans la classification des sols. [7]

Ces conditions sont définies dans le double souci :

- D'une part, de viser le juste niveau de qualité technique nécessaire compte tenu des possibilités des matériels d'exécution actuels et des pratiques habituelles.

- D'autre part, de tenir compte des coûts moyens des différentes techniques et méthodes utilisées.

Elles se regroupent en sept rubriques : extraction des déblais, action sur la granularité, action sur la teneur en eau, traitement avec la chaux, réglage des couches élémentaires, compactage et hauteur de remblais.

On peut résumer les étapes cités précédemment par l'organigramme sur la (**figure 3.1**).

Avec : Classe A : Sols fins.

Classe B : Sols sableux et graveleux avec fines.

Classe C : Sols comportant des fines et des gros éléments.

Légende :

Dmax : Dimension du plus gros élément

d : Dimension de la maille du tamis.

G : granulométrie (NF P 94-056).

P : passant ou tamisât à (d).

VBS : Valeur au Bleu de méthylène d'un Sol (NF P 94-068).

Ip : Indice de Plasticité (NF P 94-051)

□ Étape intermédiaire

○ Résultat final

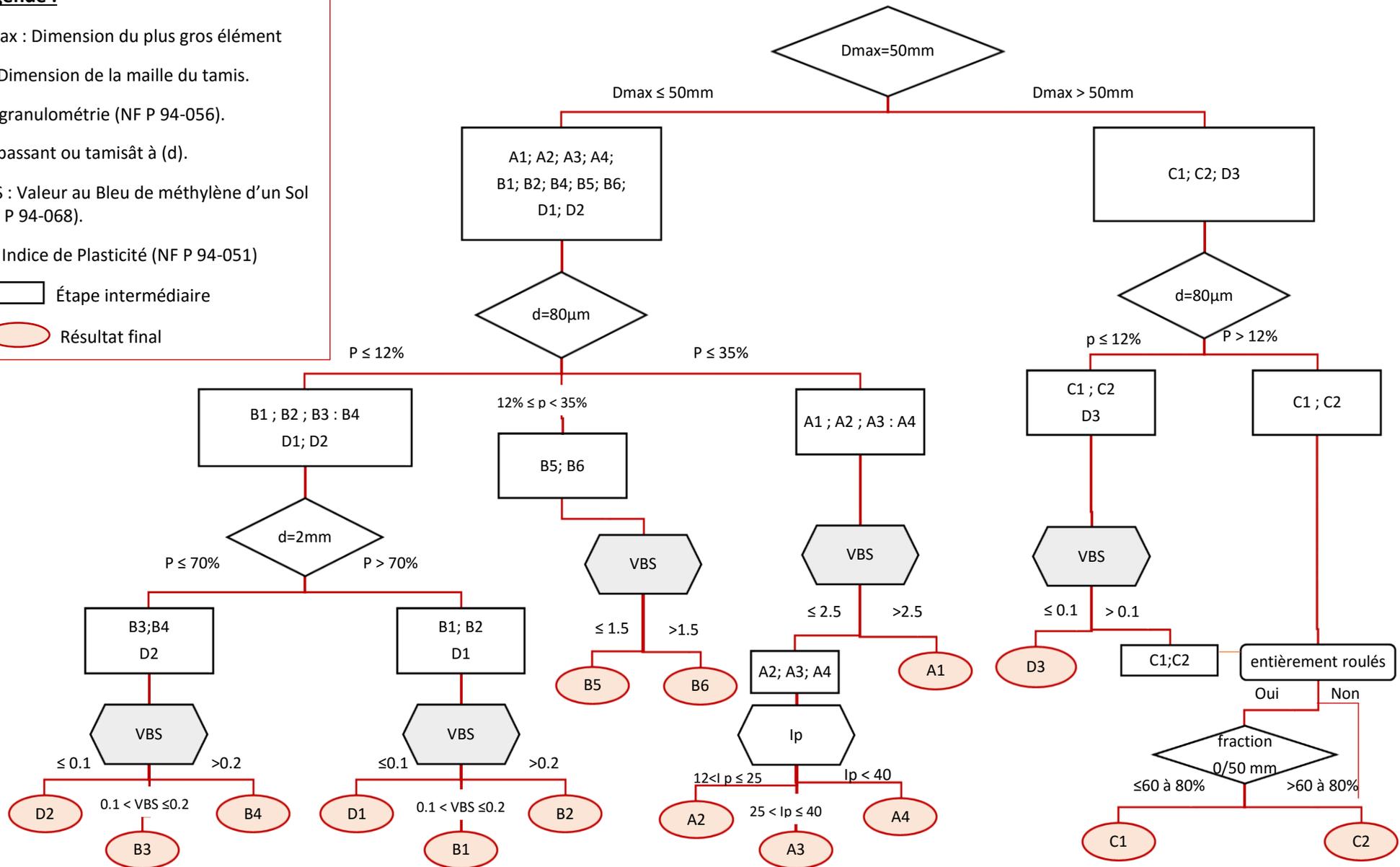


Figure 3.1. Organigramme représentant des étapes de la classification des sols selon le guide technique de la réalisation des remblais et de couche de forme.

2.3. Conditions de réalisation des couches de formes :

2.3.1. Définition et la nature de la couche de forme :

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adopter les caractéristiques des matériaux en remblais ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée. [7]

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la plate-forme support de chaussée (PF). [7]

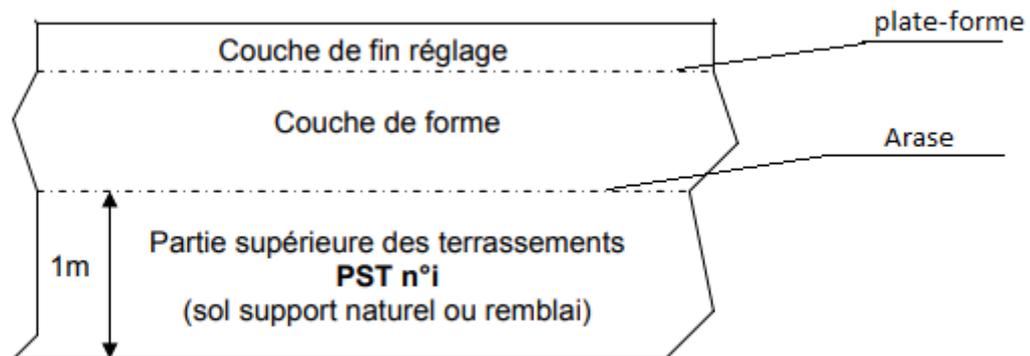


Figure3.2. Schéma de la structure de la couche de forme. [8]

On désigne par partie supérieure des terrassements la zone supérieure (d'environ 1m d'épaisseur) des terrains en place (cas de profil en déblais) ou des matériaux rapportés (cas de profil en remblais). La plate-forme de la PST est l'arase de terrassement. [7]

2.3.2. Fonctions et conception de la couche de forme :

Selon les cas de chantier, la couche de forme se présentera sous des formes différentes. Elle peut être :

- Inexistante car inutile lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises.
- Limitée à l'apport d'une seule couche d'un matériau ayant les caractéristiques nécessaires.
- Constituée d'une superposition de couches de matériaux différents répondant à des fonctions distinctes.

Avec la couche de forme on cherche d'assurer certaines fonctions : [7]

a) À court terme :

- Un nivellement de la plate-forme support de chaussée permettant de réaliser la couche de fondation dans les tolérances d'épaisseur fixées.
- Une portance suffisante, compte tenu en particulier des aléas météorologiques, pour une exécution correcte du compactage des couches de chaussée.
- Une protection du sol support vis-à-vis des intempéries.

b) À long terme :

- L'homogénéisation de la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante.
- Une amélioration de la portance de la plate-forme pour optimiser le cout de l'ensemble couche de forme – structure de chaussée.
- La protection thermique des sols supports gélifs.
- Une contribution au drainage de chaussée.

2.4. Dimensionnement de la couche de forme :

L'épaisseur de la couche de forme est déterminée au terme de la démarche suivante : [7]

- La classification géotechnique des sols et des conditions hydriques intéressant le mètre supérieur supportant la couche de forme, zone appelée Partie supérieure des Terrassements (PST).
- À chaque PST est associée une ou deux classes de portance à long terme de l'arase de terrassement, notée (AR_i).
- Pour chaque cas de PST et pour les différents matériaux de couche de forme, il est alors préconisé une épaisseur de couche de forme.

On peut résumer cette démarche par l'organigramme suivant :

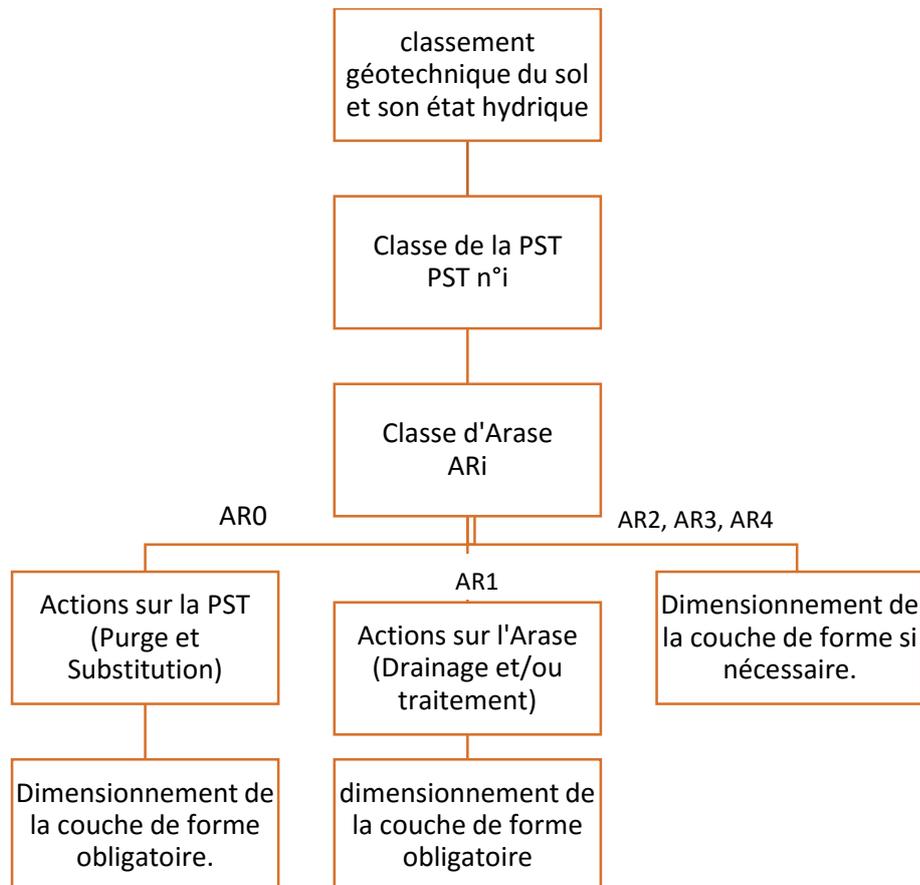


Figure3.3. Le processus conduisant à la mise en œuvre ou non de la couche de forme. [8]

3. LA CHAUSSÉE :

La chaussée est une infrastructure multicouche entre le sol et la contrainte des pneus. Sa structure doit être dimensionnée suivant des règles de référence en visant l'amélioration de la contrainte du sol support et la convenable répartition des efforts dus au trafic.

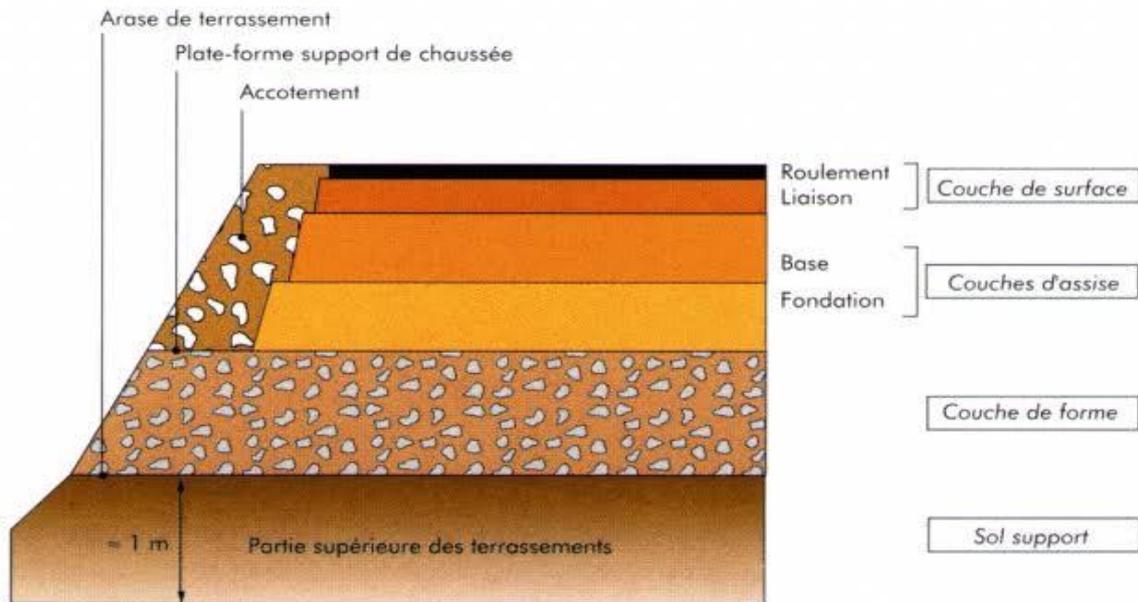


Figure3.4. Les différentes couches d'une chaussée.

3.1. Les différentes couches de chaussée :

En général, la chaussée se présente comme un ensemble de couches de différentes épaisseurs où chaque couche possède une fonction particulière. On peut distinguer deux types de couche :

3.1.1. Couche de surface :

La couche de surface subit directement les agressions du trafic et du climat, elle a pour rôle d'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.

Elle est généralement composée de deux couches :

a) Couche de roulement :

Elle a pour rôle d'assurer le confort et la sécurité des usagers et d'imperméabiliser la surface de chaussée.

b) Couche de liaison :

Elle a pour rôle essentiel d'assurer une transition avec les couches inférieures les plus rigides.

3.1.2. Couche d'assise :

L'assise de la chaussée est généralement constituée de deux couches :

a) Couche de base :

Cette couche aide la structure de chaussée à résister aux déformations permanentes sous l'effet du trafic, elle reprend les efforts verticaux et répartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

b) Couche de fondation :

Elle assure une bonne portance de la chaussée finie et aussi elle a le même rôle que celui de la couche de base.

3.2. Les différents types de chaussée :

3.2.1. Les chaussées souples :

C'est une structure constituée par différentes couches traitées aux liants hydrocarbonés. La couche de fondation et/ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traité.

3.2.2. Les chaussées semi-rigides :

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche de base ou deux couches : de base et de fondation.

3.2.3. Les chaussées rigides :

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide.

En général, une chaussée en béton comporte une couche de fondation et une couche de base en béton de ciment.

3.3. Les principales méthodes de dimensionnement :

Le dimensionnement d'une structure de chaussée consiste au calcul des différentes épaisseurs des couches du corps de chaussée pour qu'elle soit suffisamment résistante aux surcharges d'exploitation et aux agressions des agents extérieurs en prenant en compte les caractéristiques du sol support, le trafic journalier et de sa composition.

Pour ce faire, il existe certaines méthodes, on distingue deux familles :

3.3.1. Méthodes empiriques :

L'approche empirique est basée sur l'observation sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales et le suivi de leur évolution dans le temps. Elles s'appuient sur trois paramètres :

- La force portante : obtenue par les différents essais géotechnique.
- Le trafic par une charge unitaire dite référence.
- Caractéristiques mécaniques des différents matériaux constituant les couches. On peut citer :
 - *La méthode CBR (Caléfornia-Bearing-Ration).*

3.3.2. Méthodes rationnelles :

Ces méthodes se basent sur la connaissance du sol, des matériaux mis en place et du trafic envisagé. On peut citer :

- *La méthode de catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)*
- *La méthode du catalogue des structures (Catalogue des structures type neuf établis par SETRA).*

3.4. La méthode CBR (California-Bearing-Ration) :

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (90° à 100°) de l'optimum Proctor modifié. La détermination de **l'épaisseur totale** du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après : [9]

- Pour un trafic en voiture particulière : $TJMA \times 365 \times 1.5t < 100000$ t/ans.

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

- Pour un trafic en voiture particulière : $TJMA \times 365 \times 1.5t \geq 100000$ t/ans.

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

Avec : e : épaisseur équivalente.

I_{CBR} : Indice CBR du sol support.

P : charge par route P=6.5 t (essieu 13 t).

Log : logarithme décimal.

N : Nombre journalier de camions de plus de 1500kg à vide.

$$N = T_h \times Z$$

T_h : Trafics prévus pour une durée de vie de 15 ans.

$$T_h = \frac{T_0}{2} (1 + \tau)^m$$

Z : pourcentage du poids lourd.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e_{eq} = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

Avec : $e_1 \times c_1$: Couche de roulement.

$e_2 \times c_2$: Couche de base.

$e_3 \times c_3$: Couche de fondation.

c_1, c_2, c_3 : coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

Tableau 3.1 : Les valeurs des coefficients d'équivalence. [9]

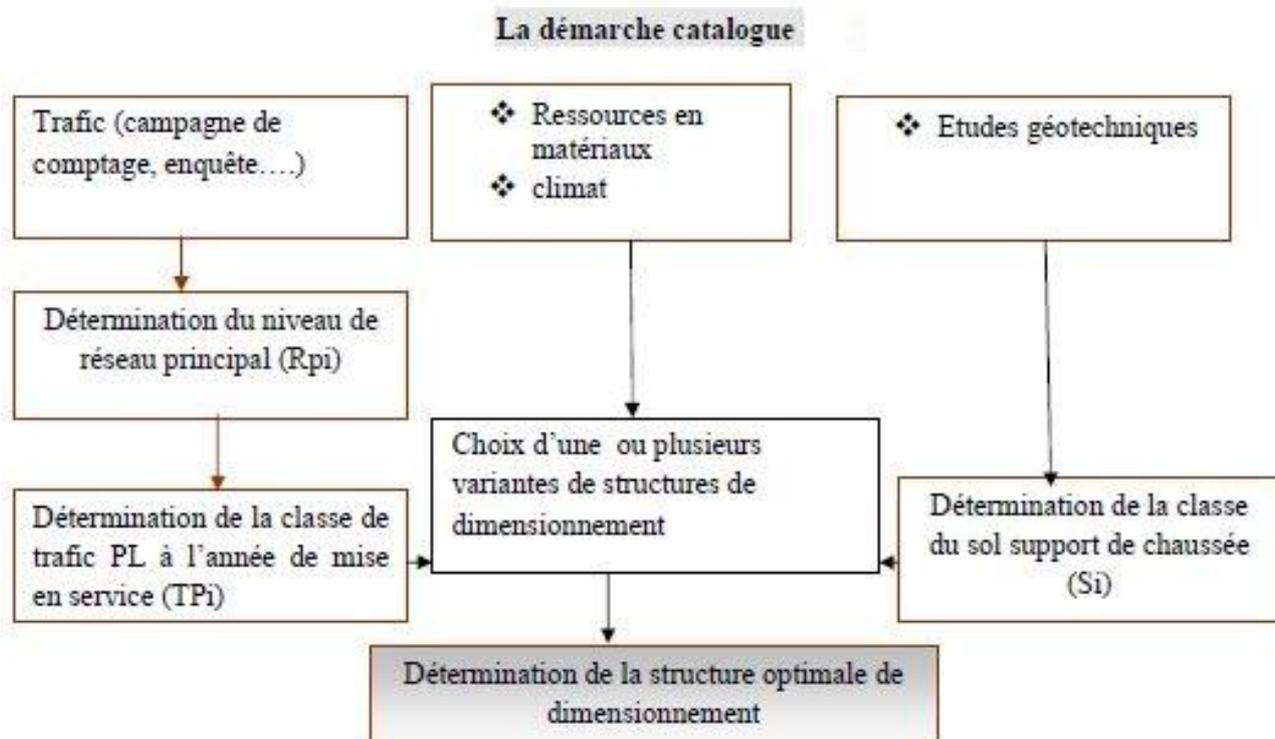
Matériaux utilisés.	Coefficient d'équivalence.
Béton bitumineux ou enrobe dense.	2.00
Grave ciment.	1.50
Grave bitume.	1.50 à 1.70
Grave concassé ou gravier.	1.00
Grave roulé – Grave sableuse TVO.	0.75
Sable ciment.	1.00 à 1.20
Sable.	0.50
Tuf.	0.60

3.5. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) :

L'utilisation du catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussées : trafic, matériaux, sol support et l'environnement. [10]

En fonction de ces paramètres on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée en se basant sur deux approches :

- Approche théorique.
- Approche empirique.



3.5.1. Les paramètres utilisés :

a) Le Trafic :

❖ Réseau routier Principal :

Le catalogue nécessite la détermination du niveau du réseau routier principal en se basant sur le trafic journalier à l'année horizon :

- Le réseau principal de niveau 1 (RP1) :

Il comporte des :

- liaisons supportant un trafic supérieur à 1500 véhicules/ jour
- liaisons reliant deux chefs-lieux de wilaya
- liaisons présentant un intérêt économique et /ou stratégique

Il s'agit essentiellement d'un réseau composé de routes nationales (RN). [10]

- Le réseau principal de niveau 2 (RP2) :

Il est constitué de liaisons supportant un trafic **inférieur à 1500 véhicules/jours**. Ce réseau est composé de routes nationales (RN), de chemins de wilaya (CW) et de liaisons reliant l'Algérie aux pays riverains. [15]

❖ Répartition transversale du trafic :

En l'absence d'informations précises sur la répartition des poids lourds sur les différentes voies de circulation, on adoptera les valeurs suivantes : [11]

- chaussées unidirectionnelles à 2 voies : 90% du trafic PL sur la voie lente de droite,
- chaussées unidirectionnelles à 3 voies : 80 % du trafic PL sur la voie lente de droite,
- chaussées bidirectionnelles à 2 voies : **50% du trafic PL**,
- chaussées bidirectionnelles à 3 voies : 50% du trafic PL.

❖ Classe de Trafic (TPLi) :

Les classes de trafic (TPLi) adoptées 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 mise en service. [10]

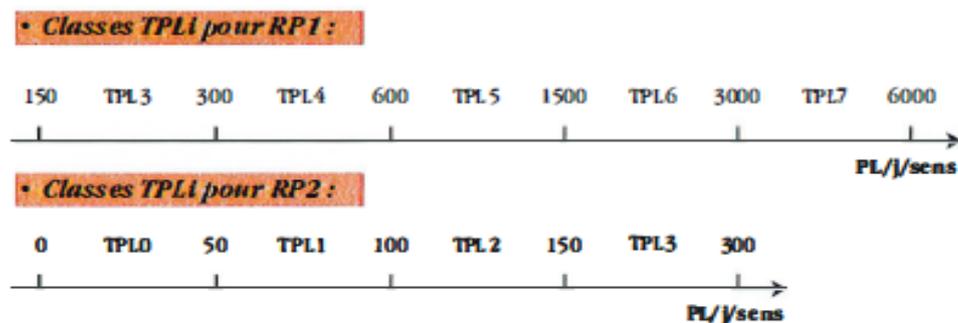


Figure 3.5. La Classification du trafic (TPLi). [11]

b) Sol support :❖ **Les classes de portance des sols :**

La classification des sols supports a été faite selon le système universel USCS.

Tableau 3.2 : Classification des sols support selon l'indice CBR. [10]

Classe du sol	S0	S1	S2	S3	S4
Indice de CBR	>40	25-40	10-25	5-10	<05

❖ **Les classes de portance des sols terrassés :**

Pour le dimensionnement des structures, on distingue 4 classes de portance de sols supports à savoir : S3, S2, S1 et S0. Les valeurs des modules indiquées sur le tableau ci-dessous, ont été calculées à partir de la relation empirique suivante : [10]

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

Tableau 3.3 : Classes de portance des sols support. [10]

Classe du sol	S0	S1	S2	S3
Module (MPa)	>200	125-200	50-125	25-50

c) Zone climatique :

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

Tableau 3.4 : Les zones climatiques en Algérie. [10]

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	climat	Région
I	>600	Très humide	Nord
II	350-600	humide	Nord, Hauts Plateaux
III	100-350	Semi-aride	Hauts Plateaux
IV	<100	aride	Sud

3.6. Méthode du catalogue des structures (SETRA) :

Le catalogue des structures type neuves est établi par « SETRA » distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés et suivant les caractéristiques géotechniques du sol de fondation, il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 véhicule/J et il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données : [11]

- Trafic cumulé des poids lourds à l'horizon.
- Les caractéristiques de sol (Sj).

a) Détermination de la classe du trafic :

Le trafic cumulé est donné par la formule suivante :

$$T_c = T_{PL} \times \left(1 + \frac{(1 + \tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right) \times 365$$

Avec : T_{PL} : Trafic des poids lourds à l'année de mise en service.

τ : taux d'accroissement annuel.

Tableau 3.5 : Trafic cumulé en essieux équivalents. [11]

Classe de trafic.	Trafic cumulé des poids lourds.
T_0	$T < 3.5 \times 10^5$
T_1	$3.5 \times 10^5 < T < 7.3 \times 10^5$
T_2	$7.3 \times 10^5 < T < 2 \times 10^6$
T_3	$2 \times 10^6 < T < 7.3 \times 10^6$
T_4	$7.3 \times 10^6 < T < 4 \times 10^7$
T_5	$T > 4 \times 10^7$

b) Détermination de la classe du sol :

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

Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils représentés dans le (tableau 3.2) :

4. APPLICATION AU PROJET :

Dans le cadre de notre mémoire, la Direction des Travaux Publics et le Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest unité de Tlemcen, ont mis à notre disposition un rapport géotechnique comportant une synthèse des résultats des différents essais réalisés relatifs au contrôle et suivi géotechnique des travaux du projet : **Réalisation d'un carrefour giratoire sur la RN 22 accès Boudjlida/Oudjlida** qui est tout près de notre zone d'étude.

Nous allons donc à partir de certaines hypothèses du rapport géotechnique faire la classification du sol support et le choix de la structure de chaussée par la méthode CBR et la méthode de catalogue des structure.

Les données :

Les données qu'on a pu extraire du rapport géotechnique sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 3.6 : Données pour le dimensionnement de la chaussée.

Paramètre.	Symbole.	Valeur.
Indice de plasticité	Ip (%)	10
Limite de liquidité	Wl (%)	21
Densité sèche maximale	Dd (t/m^3)	2,13
Teneur en eau à optimale	Wopt (%)	4
Indice CBR à 95% de l'optimum	I_{CBR}	39,11
Tamisé à 0.08 mm	P/0.08mm (%)	7
Tamisé à 2 mm	P/2mm (%)	33
Valeur su bleu de méthylène	VBS	0,137
Los Angeles	LA (%)	26
Micro Deval à l'eau	MDE (%)	16

4.1. Réalisation des remblais et des couches de forme :

4.1.1 Classification du sol support selon la nature :

Selon le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme (Fascicule 1 et 2) nous avons :

$$\left. \begin{array}{l} Ip = 10\% < 12\% \\ 0,1 < VBS = 0,137 < 0,2 \\ P/0,08mm = 7\% < 12\% \\ P/2mm = 33\% < 70\% \end{array} \right\} \rightarrow \text{Notre sol est constitué des graves sableuses } (B_3)$$

- **Sous classe selon la nature :**

$$\left. \begin{array}{l} LA = 26\% < 45\% \\ MDE = 16\% < 45\% \end{array} \right\}$$

Donc, le matériau graveleux constituant notre sol est généralement insensible à l'eau (B_{31})

4.1.2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblais :

Ces conditions concernent l'utilisation du matériau choisi dans l'hypothèse de la situation météorologique durant l'extraction et la mise en remblai.

- **Situation météorologique :**

Cette étape sert à désigner dans quel cas météorologique on peut utiliser les matériaux en remblais en évitant la variation de la teneur en eau.

Pour les sols insensibles à l'eau, la mise en œuvre peut s'effectuer **dans toutes les situations météorologiques** (pluie forte, pluie faible, ni pluie ni évaporation, évaporation importante) sous la surveillance du géotechnicien du chantier.

- **Condition d'utilisation :**

Cette condition concerne une certaine gamme de possibilités comprises entre les limites de la situation météorologique du chantier. Dans notre cas on effectue **un compactage moyen** dans toutes les situations météorologiques.

4.1.3. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme :

- **Classe de la partie supérieure des terrassements (PST) :**

Selon la nature des matériaux et l'environnement hydrique, plusieurs catégories de PST sont fournies dans des tableaux dans le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme.

Pour le cas des sols graveleux insensibles à l'eau on adopte une **PST n°6**.

- **Classe de l'arase (ARi) :**

À chaque PST est associée une classe de portance de l'arase de terrassement, à partir du tableau suivant on choisit la classe de l'arase :

Tableau 3.7 : Classe de l'arase en fonction de modules de calcul. [7]

Module de calcul (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'arase	AR1	AR2	AR3	AR4

Avec : Module de calcul $E = 5$. $CBR = 5 \times 39,11 = 195,55 \text{ MPa}$

- **Dimensionnement de la couche de forme :**

D'après le guide technique, dans le cas des matériaux insensibles à l'eau ce qui est le cas de PST n°6, on adopte la classe de plate-forme PF3 ou PF4 suivant les caractéristiques mécaniques des matériaux qui les constituent et la couche de forme peut se réduire à **une couche de fin réglage**.

4.2. Méthode CBR :

Nous avons :

Pour un trafic en voiture particulière : $TJMA \times 365 \times 1,5 = 1214 \times 365 \times 1,5 = 664665 \text{ t/an} \geq 100000 \text{ t/ans}$.

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

Avec : e : épaisseur équivalente.

$$I_{CBR} = 39,11$$

$$P = 6.5 \text{ t (essieu 13 t)}$$

$$Z = 30\%$$

$$T_0 = 1214 \text{ v/j}$$

N : Nombre journalier de camions de plus de 1500kg à vide.

$$N = T_h \times Z$$

$$T_h = \frac{T_0}{2} (1 + \tau)^m = T_h = \frac{1214}{2} (1 + 0,03)^{15} = 946 \text{ V/j/sens}$$

$$N = 946 \times 0,3 = 284 \text{ PL/J/sens}$$

Donc :

$$e = \frac{100 + \sqrt{6,5} \times (75 + \log \frac{284}{10})}{39,11 + 5}$$

$$e = 6,685 \text{ cm}$$

On prend : $E_{eq} = 30 \text{ cm}$

N.B : On choisit cette valeur car la somme des valeurs minimales des couches d'une chaussée est égale à : $(6+8+15=29 \text{ cm})$

Et on a :

$$E_{eq} = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

Pour déterminer la structure définitive on fixe les épaisseurs e_1 et e_2 en prenant leurs valeurs minimales et on calcule e_3 :

$$e_3 = \frac{E_{eq} - (c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2)}{c_3} = \frac{30 - (2 \times 6 + 1,2 \times 8)}{1} = 8,4 \text{ cm}$$

On prend :

$$e_3 = 15 \text{ cm}$$

Tableau 3.8 : Résultats de la méthode CBR.

couche	Épaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Épaisseur équivalente (cm)
Couche de roulement (BB)	6	2	12
Couche de base (GB)	8	1,2	10
Couche de fondation (GC)	15	1	15
TOTAL	29		37

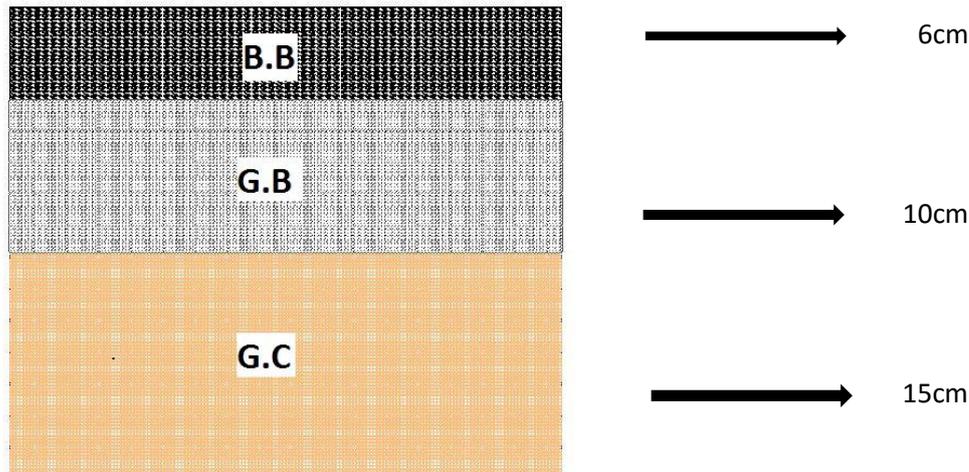


Figure3.6. Structure de la chaussée par la méthode CBR.

4.3. Méthode de catalogue des chaussées neuves (CTTP) :

4.3.1. Le réseau routier principal :

Nous avons : $TJMA_{2020} = 1327 \text{ v/j} < 1500 \text{ v/j}$ donc notre route est classée dans le réseau routier **RP2**.

4.3.2. La classe du trafic (TLPi) :

Nous avons une chaussée bidirectionnelle donc on adopte 50% du PL.

$$TPL = TJMA_{2020} \times Z \times 50\%$$

$$TPL = 1327 \times 0,3 \times 0,5$$

$$\mathbf{TPL = 199 \text{ PL/j/sens}}$$

La classe du trafic de notre itinéraire est : **TPL3**

4.3.3. La classe du sol support :

Nous avons les deux paramètres suivant :

$$\left. \begin{array}{l} 25 < ICBR < 40 \\ E = 5 \times ICBR = 196 \text{ MPa} \end{array} \right\} \rightarrow \mathbf{\text{Classe S1}}$$

Selon le (tableau 3.2) et le (tableau 3.3) la portance du sol support est de classe **S1**.

4.3.4. La zone climatique :

Selon le (tableau 3.4) concernant les zones climatiques de l'Algérie, notre projet se situe dans la **zone climatique II**.

4.3.5. Structure de chaussée :

Selon le fascicule n°3 du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

$$\left. \begin{array}{l} TPL3 \\ S1 \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} ES \\ 20 \text{ GNT} \\ 15 \text{ GNT} \end{array}$$

Avec : ES : enduit superficiel

GNT : Grave non traité.

Remarque : Cette structure est applicable pour les chaussées qui ont un taux d'accroissement de 4%, dans notre cas $\tau = 3\%$ donc cette structure n'est pas applicable.

4.4. Méthode du catalogue des structures (SETRA) :

Calcul du trafic poids lourds cumulé à l'année horizon :

Nous avons : $TPL = TJMA_{2035} \times \frac{Z}{2} = 2067 \times \frac{0,3}{2} = 310 \text{ PL/j/sens}$

$$T_c = TPL \times \left(1 + \frac{(1 + \tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right) \times 365$$

$$T_c = 310 \times \left(1 + \frac{(1 + 0,3)^{15+1} - 1}{0,3} \right) \times 365$$

$$T_c = 25825 \times 10^6 \text{ PL/j/sens}$$

Selon le (tableau 3.5) : $2 \times 10^6 < T < 7.3 \times 10^6 \rightarrow$ la classe du trafic est : T_3 .

Selon le (tableau 3.2) la classe du sol est : **S1**

Finalement, d'après le catalogue des structures on trouve la structure suivante :

Couche de roulement (BB) : 8cm

Couche de base (GB) : 10cm

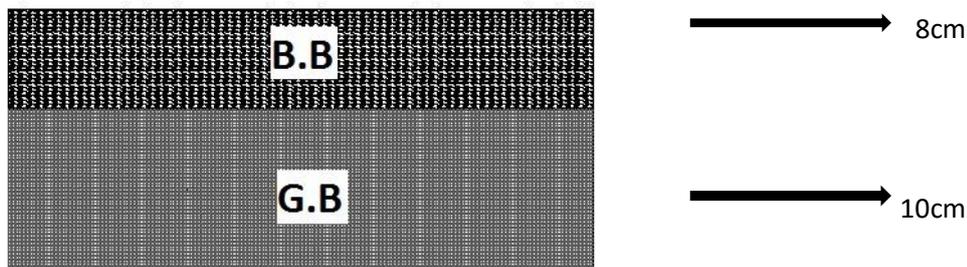


Figure 3.7. Structure de la chaussée par la méthode de catalogue des structures (SETRA).

5. CONCLUSION :

Le dimensionnement du corps de chaussée à un rôle très important, l'utilisation de plusieurs méthodes nous permet de déterminer différents variantes de la structure de cette dernière.

Notre étude géotechnique a prouvé que notre sol est d'une bonne portance, donc il n'est pas obligatoire de mettre une couche de forme il suffit de mettre seulement une couche de réglage fin.

Pour le dimensionnement de la structure de chaussée, nous avons fait le calcul par trois méthodes. Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 3.9. Tableau récapitulatif des résultats de dimensionnement.

Méthodes	Structure
CBR	6 BB + 10 GB + 15 GC
Catalogue des chaussées neuves (CTTP)	ES + 20 GNT + 15 GNT (mais pas applicable)
Catalogue des structures (SETRA)	8 BB + 10 GB

Vu que la structure donnée par la méthode des catalogues des chaussées neuves est applicable pour les chaussées qui ont un taux d'accroissement de 4%, dans notre cas $\tau = 3\%$ donc cette structure n'est pas applicable, ainsi, nous avons choisi finalement la structure du corps de chaussée donnée par la méthode CBR la plus utilisée en Algérie : **6 BB + 10 GB + 15 GC**

Chapitre 4:

Assainissement.

1. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT :

1.1. Introduction

L'assainissement de la route revêt un caractère primordial, en effet même si le dimensionnement structurel et la mise en œuvre sont bien effectués, la stagnation de l'eau sur la couche de roulement et l'infiltration dans les couches de la structure sont des causes importantes de dégradations, de manque de confort et d'insécurité. Ainsi pour que la chaussée soit mise correctement hors d'eaux, la construction d'un réseau d'assainissement s'impose pour collecter les eaux superficielles ou internes et de les canaliser hors de l'emprise routière.

Il est donc question dans ce chapitre de dimensionner les ouvrages nécessaires pour la collecte, le transport et la mise hors d'eau de la chaussée de notre cas d'étude.

1.2. La route et l'eau :

1.2.1. Les eaux superficielles :

On distingue :

- Les eaux superficielles sur la chaussée :

Ce sont les plus dangereuses pour l'utilisateur car :

- L'eau que les pneus n'arrivent pas à évacuer peut provoquer un phénomène de glissement du véhicule sur la chaussée (aquaplanage).
- Les projections provoquées par les roues des véhicules (surtout les camions) entraînent des pertes de visibilité pour ceux qui suivent.
- En période hivernale, l'eau gèle et l'adhérence des pneus est presque nulle sur la glace.

Il faut donc que l'eau puisse quitter rapidement la surface de la chaussée et s'en éloigner facilement. [12]

- Les eaux superficielles à côté de la chaussée :

Elles sont constituées de l'eau provenant de la chaussée et l'eau dont le cours naturel est contrarié par la route (eau des champs, des ruisseaux, des nappes...)

Il faut collecter, faire transiter et évacuer rapidement ces eaux car :

- Elles trouveront naturellement, par gravité, un chemin par fois néfaste à la chaussée.
- Elles attaqueront les talus de déblais, saperont les remblais, s'infiltreront sous la chaussée.

Il est nécessaire de trouver pour l'eau des cheminements qui seront faciles et suffisamment résistants à l'érosion et veiller à ce que rien ne vienne perturber cet écoulement. [12]

1.2.2. Les eaux d'infiltration :

On distingue :

- Les eaux d'infiltration dans le corps de chaussée :

Dans le corps d'une chaussée souple bien détrempeée, l'eau réduit la cohésion entre ses éléments et la chaussée devient fragile.

Quand elle gèle, l'eau se dilate et altère le corps de chaussée. Cette action est très sensible en cas d'alternance de gel et de dégel. [12]

- Les eaux d'infiltration sous le corps de chaussée :

L'eau détrempe les sols qui supportent le corps de chaussée et les ramollit. On dit que la portance du sol support diminue. La chaussée fatigue alors d'avantage que sur un sol porteur : les chaussées rigides se cassent et les chaussées souples se déforment. [12]

1.3. Assainissement de la chaussée :

Il s'agit de la collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route. L'assainissement de la route vise trois objectifs :

- La sécurité des usagers en évacuant l'eau des chaussées et des talus.
- La pérennité de l'infrastructure en collectant les eaux et en les évacuant de la route.
- La lutte contre la pollution routière.

Un réseau d'assainissement est constitué d'un assemblage d'ouvrages élémentaires linéaires ou ponctuels, superficiels ou enterrés. On distingue deux familles d'ouvrages :

- Les réseaux de canalisation longitudinaux (fossés, cuvettes, caniveaux).
- Ouvrages transversaux et ouvrages de raccordement (regards, décente d'eau, tête de collecteur et dalot). [13]

1.3.1. Facteurs influençant le choix des ouvrages hydrauliques :

Le choix des ouvrages est guidé par le souci permanent de la pérennité de la route, de la sécurité des usagers, du coût d'investissement et des modalités d'entretien ultérieur de l'ouvrage. [14]

Les facteurs influençant le choix sont :

- L'importance du débit à évacuer qui fixe la section d'écoulement et le type de l'ouvrage.
- Les caractéristiques hydrauliques de l'ouvrage (coefficient de rugosité et coefficient d'entonnement créant une perte de charge à l'entrée, forme de la section d'écoulement).
- La hauteur disponible entre la cote du projet et le fond du bassin versant.

1.4. Définitions des termes hydrauliques :

1.4.1. Les ouvrages d'écoulement des eaux :

En général les ouvrages d'évacuations des eaux superficielles ou sous chaussée sont nombreux, parmi lesquels ceux qui ont traversé notre route et qui sont les suivants : [15]

- Les dalots : Ouvrage hydraulique enterré de section rectangulaire préfabriqué ou coulé en place et à forte capacité.
- Les buses : Ouvrages constitué d'au moins un conduit transversal, généralement fait du béton armé, laissant circuler l'eau sous une route.
- Les fossés : Ouvrage hydraulique rustique, longitudinal et de collecte des eaux de ruissellement creusé dans le terrain au-delà de l'accotement, caractérisé par sa section courante et sa pente.

1.4.2. Fossés de crêtes :

Outil construit afin de prévenir l'érosion du terrain ou cours des puits. [16]

1.4.3. descentes d'eau :

Draine l'eau collectée sur les fossés de crêtes. [16]

1.4.4. bassin versant :

Surface aménagée ou naturelle telle que toute l'eau reçue sur sa surface s'écoule vers un point unique : l'exutoire du bassin versant (bassin versant naturel et bassin versant routier). [14]

1.4.5. collecteurs principaux (canalisation) :

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

Les collecteurs sont constitués par des tuyaux enterrés alignés, entre les regards avec un diamètre et une pente constante.

1.4.6. 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. [16]

1.4.7. 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. [16]

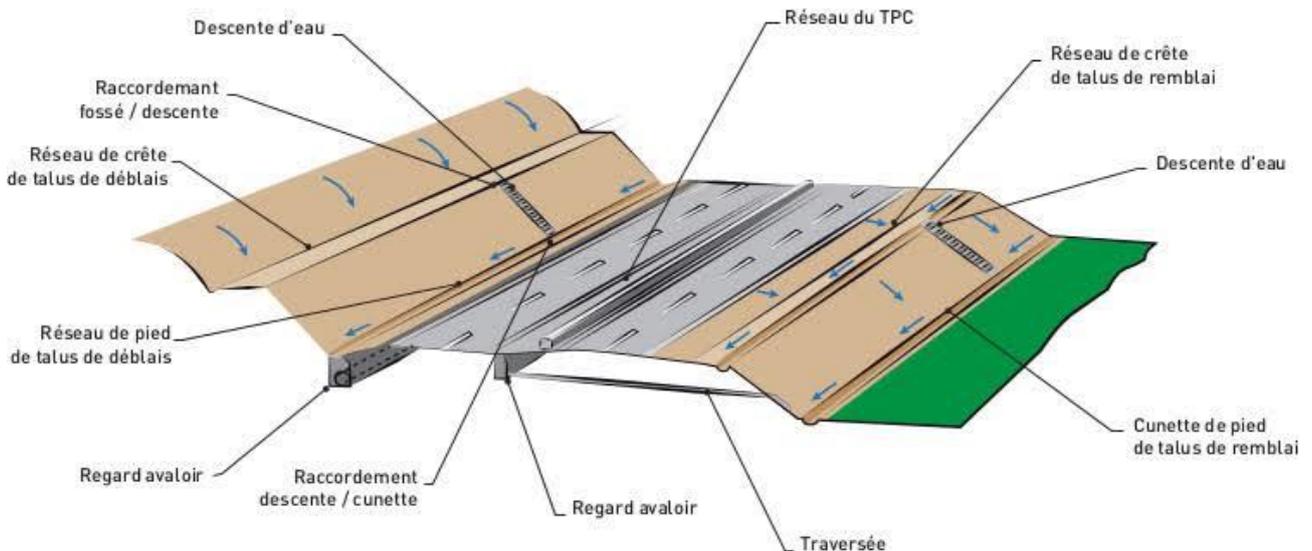


Figure 4.1. Ouvrages hydrauliques routiers.

1.5. Dimensionnement des ouvrages hydrauliques :

Le dimensionnement de différents types d'ouvrages d'assainissement résulte de la comparaison du débit d'apport et le débit de saturation de chaque type d'ouvrage.

$$Q_a \leq Q_s$$

Q_a : Débit d'apport (m^3/s).

Q_s : Débit de saturation (m^3/s).

1.5.1. Estimation de débit d'apport (Q_a) :

Le débit d'apport est calculé en appliquant la méthode Rationnelle : [15]

$$Qa = K \times C \times I_t \times A_{bv}$$

Avec : K : Coefficient qui permet la conversion des unités (les mm/h en l/s) ; **K= 2,778**.

I_t : Intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).

C : coefficient de ruissellement.

A_{bv} : aire du bassin versant (m^2).

1.5.2. Détermination de l'intensité de la pluie I_t :

$$I_t = I \times \left(\frac{tc}{24}\right)^\beta$$

Et : $\beta = b - 1$

Avec : I : intensité de la pluie (mm/h).

tc: Temps de concentration (h).

- L'intensité horaire I :

$$I = \left(\frac{P_j}{24}\right)$$

Avec : P_j : Hauteur de la pluie de durée t_c (mm)

- Temps de concentration **tc**:

Si : $A_{bv} < 5 \text{ km}^2$, selon VENTURA :

$$tc = 0,127 \times \sqrt{\frac{tc}{24}}$$

Si $5 \text{ km}^2 \leq A_{bv} < 25 \text{ km}^2$, selon GIANDOTTI :

$$tc = 0,108 \times \frac{\sqrt[3]{A_{bv} \times L}}{\sqrt{p}}$$

Si $25 \text{ km}^2 \leq A_{bv} < 200 \text{ km}^2$, selon PASSINI :

$$tc = \frac{(4 + \sqrt{A_{bv}}) + (1,5 \times L)}{0,8\sqrt{H}}$$

Avec : A_{bv} : superficie du bassin versant (Km^2).

p : pente moyenne du bassin versant.

L : longueur de bassin versant (Km).

H : la différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

- Pluie journalière maximale annuelle (P_j) :

La pluie journalière maximale annuelle (P_j) est donnée par la formule de GALTON.

$$P_j(\%) = \left[\frac{P_j \text{ moy}}{\sqrt{C_v^2}} \right] \times \left[e^{\left(u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)} \right)} \right]$$

Avec : P_j : Pluie moyenne journalier.

C_v : Coefficient de variation climatique.

u : variation de Gauss, donnée par le tableau suivant.

Tableau 4.1 : Variation de Gauss. [19]

Fréquence (%)	50	20	10	2	1
Période de retour (ans)	2	5	10	50	100
Variable de Gauss (U)	0	0,84	1,28	2,05	2,372

N.B : Les ponceaux (dalots) seront dimensionnés pour une période de retour de 50 ans.

1.5.3. Coefficient de ruissellement :

C'est le rapport de volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau reçu sur elle.

Il peut être choisi suivant le tableau ci-après :

Tableau 4.2 : Coefficient de ruissellement. [15]

Type de chaussée	C	Valeurs prises
Chaussée revêtue en enrobés	0,80 à 0,95	0,95
Accotement ou sol légèrement perméable	0,15 à 0,40	0,40
Talus	0,10 à 0,30	0,30
Terrain naturel	0,05 à 0,20	0,20

1.5.4. Débit de saturation :

Le débit de saturation est donné par la formule de Manning- Strickler [15] :

$$Q_s = S_m \times K_{ST} \times R_H^{2/3} \times J^{1/2}$$

Avec : S_m : section mouillée.

K_{ST} : coefficient de STRICKLER.

$K_{ST} = 70$ pour les dalots.

$K_{ST} = 80$ pour les buses.

R_H : rayon hydraulique (m) : $RH = \frac{S_m}{P_m}$

J : la pente moyenne de l'ouvrage.

1.5.5. Dimensionnement du dalot :

La section du dalot est calculée comme pour le fossé, seulement on change la hauteur de remplissage et la hauteur du dalot. On fixe la hauteur tenant compte du profil en long et on calcule l'ouverture L nécessaire et on fixe aussi la hauteur de remplissage à $p=0,8h$. [16]

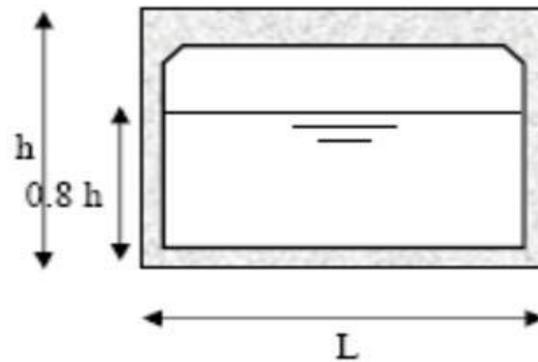


Figure 4.2. Dalots. [16]

On a:

$$\text{Périmètre mouillé : } P_m = (2 \times 0,8 \times h) + L$$

$$\text{Section mouillée : } S_m = 0,8 \times h \times L$$

$$\text{Rayon mouillé : } Rh = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0,8 \times h \times L}{1,6 \times h + L}$$

$$Q_a = Q_s = S_m \times K_{ST} \times R_H^{2/3} \times J^{1/2}$$

$$Q_s = (0,8 \times h \times L) \times K_{ST} \times \left[\frac{0,8 \times h \times L}{1,6 \times h + L} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

Avec : K_{ST} : coefficient de STRICKLER $K_{ST}=70$ (dalot en béton).

J : pente du dalot.

Le débit rapporté par le bassin versant, doit être inférieur ou égal au débit de saturation du dalot.

$$Q_a = Q_s$$

$$Q_a = (0,8 \times h \times L) \times K_{ST} \times \left[\frac{0,8 \times h \times L}{1,6 \times h + L} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

N.B : On tire la valeur de h qui vérifie cette égalité, par itération.

1.5.6. Dimensionnement Des Fossés :

Les fossés récupèrent les eaux de ruissellement venant de la chaussée, de l'accotement et du talus. Pour notre étude nous adoptons des fossés en béton, ceci est fonction des pentes du fossé et la nature des matériaux du sol support. Le profil en travers hypothétique de fossé est donné dans la figure ci-dessous. On fixe la base à $b = 50$ cm et la pente du talus à $p = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,5}$ d'où la possibilité de calcul du rayon hydraulique en fonction de la hauteur h. [16]

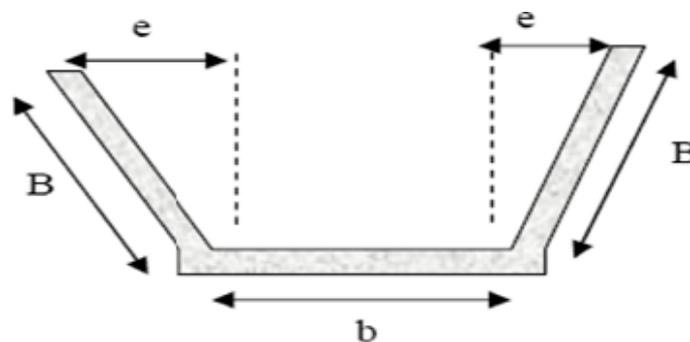


Figure 4.3. Fossés. [16]

On a :

- **Calcul de la surface mouillée :**

$$S_m = (b \times h) + 2 \times \left(\frac{e \times h}{2}\right)$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \quad \text{D'où : } e = n \times h$$

$$S_m = (b \times h) + (n \times h^2) = h \times [b + (n \times h)]$$

$$S_m = h \times [b + (n \times h)]$$

- **Calcul du périmètre mouillé :**

$$P_m = b + 2B$$

$$B = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + (h^2 \times n^2)} = h \times \sqrt{1 + n^2}$$

$$P_m = b + 2h \times \sqrt{1 + n^2}$$

- **Calcul du rayon hydraulique :**

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2h \times \sqrt{1 + n^2}}$$

Les dimensions des fossés sont obtenues en écrivant l'égalité du débit d'apport et débit d'écoulement au point de saturation. La hauteur (h) d'eau dans le fossé sera obtenue en faisant l'égalité suivant :

$$Q_a = Q_s \rightarrow K \times C \times I_t \times A = S_m \times K_{ST} \times R_H^{2/3} \times J^{1/2}$$

$$Q_a = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

1.6. Application au projet :

Les données pluviométriques nécessaires pour le calcul :

Pluie moyenne journalière $P_j = 60\text{mm}$.

Exposant climatique $b = 0,36$.

Le coefficient de variation climatique $C_v = 0,37$.

1.6.1. Calcul hydraulique :

- **Calcul de la pluie journalière maximale annuelle (P_j) :**

$$P_j = \left[\frac{P_j \text{ moy}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \right] \times \left[e^{\left(u \times \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)} \right)} \right]$$

- Pendant 10ans :

$$u = 1,28 \quad C_v = 0,37 \quad P_j \text{ moy} = 60\text{mm}.$$

$$P_j(10\%) = \left[\frac{60}{\sqrt{0,37^2 + 1}} \right] \times \left[e^{\left(1,28 \times \sqrt{\ln(0,37^2 + 1)} \right)} \right]$$

$$P_j(10\%) = 89,00\text{mm}$$

- Pendant 50ans :
 $u = 2,05$ $C_v = 0,37$ $P_{j\text{ moy}} = 60\text{mm}$.

$$P_j(2\%) = \left[\frac{60}{\sqrt{0,37^2 + 1}} \right] \times \left[e^{(2,05 \times \sqrt{\ln(0,37^2 + 1)})} \right]$$

$$P_j(2\%) = 117,27\text{mm}$$

- L'intensité horaire (I) :

$$I = \frac{P_j}{24}$$

Pour: $P_j(10\%) = 89,00\text{mm}$

$$I(10\%) = \left(\frac{89}{24} \right) = 3,708\text{mm/h}$$

Pour: $P_j(2\%) = 117,27\text{mm}$

$$I(2\%) = \left(\frac{117,27}{24} \right) = 4,88\text{mm/h}$$

- Calcul de la surface du bassin versant :

Les buses ainsi que les fossés sont dimensionnés pour évacuer le débit apporté par l'ensemble des bassins versants de la chaussée et l'accotement

$A_c = 7 \times 514,4 \times 10^{-4} = 0,360$ ha (Surface de chaussée).

$A_A = 3 \times 514,4 \times 10^{-4} = 0,154$ ha (Surface d'accotement).

$$A_{bv} = A_c + A_A = 0,36 + 0,154 = 0,514 \text{ ha}$$

1.6.2. Dimensionnement des dalots :

- Calcul des débits d'apport :

$$Q_a = K \times C \times I_t \times A$$

- Le débit apporté par la chaussée.

$C = 0,95$ $P = 2,5 \%$ $I(2\%) = 4,88 \text{ mm/h}$ $A = 0,36 \text{ ha}$.

$$t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,36}{2,5}}$$

$$t_c = 0,048 \text{ h}$$

$$I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24} \right)^{b-1} = 4,88 \times \left(\frac{0,048}{24} \right)^{0,36-1}$$

$$I_t = 260,47 \text{ mm/h}$$

$Q_a = 2,778 \times 0,95 \times 260,47 \times 0,36$

$$(Q_a)_{\text{chaussée}} = 247,46 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Le débit apporté par l'accotement.**

$C = 0,4$, $p = 4 \%$, $I (2\%) = 4,88 \text{ mm/h}$, $A = 0,154 \text{ ha}$.

$$t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,154}{4}}$$

$$\mathbf{t_c = 0,0249 h}$$

$$I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^{b-1} = 4,88 \times \left(\frac{0,0249}{24}\right)^{0,36-1}$$

$$\mathbf{I_t = 396,44 \text{ mm/h}}$$

$$Q_a = 2,778 \times 0,4 \times 396,44 \times 0,154$$

$$\mathbf{(Q_a)_{accotement} = 0,0678 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- **Calcul du débit de saturation :**

$$Q_a = Q_s$$

$$Q_s = (Q_a)_{chaussée} + (Q_a)_{accotement}$$

$$\mathbf{Q_s = 0,315 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- **Débit limite de saturation de l'ouvrage :**

$$Q_{sl} = (0,8 \times h \times L) \times K_{ST} \times \left[\frac{0,8 \times h \times L}{1,6 \times h + L}\right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

Avec : $K_{st} = 70$, $L = 3,5 \text{ m}$, $J = 2,5\%$

N.B : le dalot de notre cas d'étude et un prolongement d'un ouvrage hydraulique existant sous l'autoroute Est-Ouest, en gardant la même hauteur on a : **$h = 2,45 \text{ m}$** .

$$Q_{sl} = (0,8 \times 2,45 \times 3,5) \times 70 \times \left[\frac{0,8 \times 2,4 \times 3,5}{1,6 \times 2,45 + 3,5}\right]^{2/3} \times 0,025^{1/2}$$

$$\mathbf{Q_{sl} = 72,05 \text{ m}^3/\text{s}}$$

On a : $Q_{sl} > Q_s \rightarrow h = 2,45 \text{ m}$ est vérifiée.

Conclusion : notre dalot est de dimensions : **$L = 3,5 \text{ m}$ et $h = 2,45 \text{ m}$** .

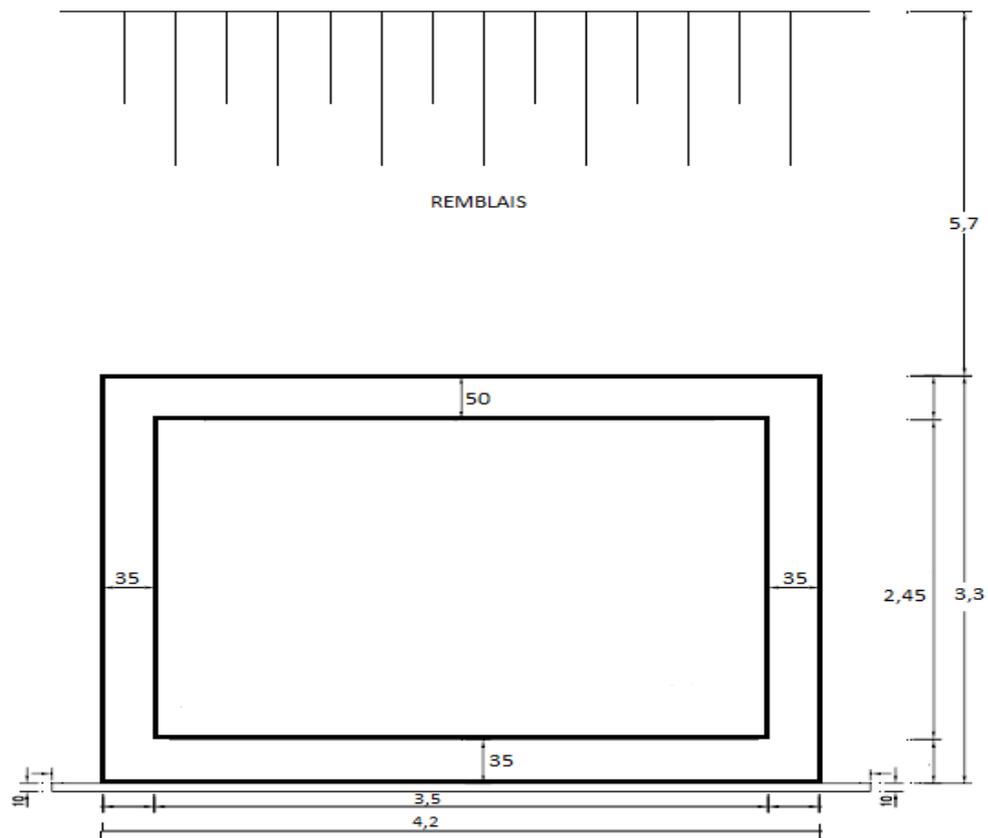


Figure 4.4. Dimensions du dalot étudié.

1.6.3. Dimensionnement des fossés :

$$Q_a = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

Avec : $J = 2 \%$, $K_{ST} = 30$, $b = 0,5 \text{ m}$, $n = 1,5$.

$$Q_a = 30 \times h \times [0,5 + (1,5 \times h)] \times \left[\frac{h \times [0,5 + (1,5 \times h)]}{0,5 + 2h \times \sqrt{1 + 1,5^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2}$$

On tire la valeur de h par itération, on trouve : **$h = 0,26 \text{ m}$**

Conclusion : Pour des raisons de sécurité, les dimensions retenues du fossé sont : $b = h = 50 \text{ cm}$.

Alors : **$b = 50 \text{ cm}$ et $h = 50 \text{ cm}$.**

2. CHARGES ET SURCHARGES D'EXPLOITATION :

2.1. Introduction :

Dans notre analyse, nous avons dimensionné le dalot suivant les normes à considérer, pour avoir un aspect géométrique et pouvoir l'introduire dans le logiciel de modélisation **SAP2000v14**, par la suite nous effectuons l'étude de la descente de charges permanentes qui sont principalement : Le poids propre, la poussée des remblais et les surcharges d'exploitation qui s'interprètent le plus aux charges roulables.

N.B : dans toute la partie qui suit, le calcul est effectué sur 1mL du dalot.

2.2. Efforts de poussée du sol :

La poussée du terrain derrière les montants est évaluée selon la méthode de Coulomb par la formule :

$$P_t = \frac{1}{2} K_a \times \gamma_t \times H^2$$

Avec :

H : Hauteur du mur à considérer.

On a considéré que le remblai est un sol pulvérulent dont :

γ_t : Poids volumique = 20 kN/m^3

ϕ : Angle de frottement = 30°

K_a : Coefficient de poussée active :

$$K_a = \tan^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi}{2} \right) = 0,333$$

$$P_t = 0,333 \times 20 \times 3,3$$

$$\mathbf{P_t = 21,97 \text{ kN/ml}}$$

2.2.1 Poussée due aux surcharges des remblais :

$$Q_{surcharge} = k_a \times q \times h$$

Avec : q : Surcharge sur remblai = 10 kN/m^2

La poussée due à la surcharge sur remblai est constante et uniformément répartie sachant que notre travail est effectué sur 1mL:

$$Q_{surcharge} = 0,333 \times 10$$

$$\mathbf{Q_{surcharge} = 3,33 \text{ kN/ml}}$$

2.3. Charges permanentes :

On prend en considération les poids propres des couches suivantes :

- Poids propre de la dalle :

Epaisseur de la dalle = 0,5m

Poids volumique du béton armé = 25 kN/m^3

$$P_{dalle} = \gamma_b \times e$$

$$P_{dalle} = 25 \times 0,5$$

$$\mathbf{P_{dalle} = 12,5 \text{ kN/m}^2}$$

- Poids des remblais :

Epaisseur du remblai sur la dalle = 5,7m

Poids volumique du remblai sur la dalle = 20 kN/m^3

$$P_r = 20 \times 5,7$$

$$\mathbf{P_r = 114 \text{ kN/m}^2}$$

- Poids de la couche de base + couche de fondations :
 Epaisseur de la couche constituée des grave = $0,10+0,15=0,25\text{m}$

Poids volumique des graves = 19 kN/m^3

$$P_g = 0.25 \times 19$$

$$P_g = 4.75 \text{ kN/m}^2$$

- Poids de la couche de revêtement :
 Epaisseur de la couche du revêtement = $0,06\text{m}$

Poids volumique du béton bitumineux = $23,5 \text{ kN/m}^3$

$$P_{\text{revetement}} = \gamma_{bb} \times e$$

$$P_{\text{revetement}} = 23.5 \times 0.06$$

$$P_{\text{revetement}} = 1.44 \text{ KN/m}^2$$

2.4. Surcharges d'exploitation :

Elles sont définies par le D.T.R (RCPR 2008) et Selon le fascicule 61 titre 2 de pont route, dans notre ouvrage on considère les systèmes de charge suivante :

- La surcharge de type A(L).
- Système B.
- La surcharge militaire Mc120.

Ces actions sont appliquées et disposées sur la chaussée de façon à obtenir l'effet le plus défavorable. Cependant la chaussée n'est pas totalement chargée ; donc on définit la largeur chargeable qui se déduit de la largeur roulable.

- La largeur roulable (L_r) :

La largeur roulable est définie comme la largeur comprise entre dispositifs de retenue ou bordures.

$$L_r = 7 \text{ m}$$

- La largeur chargeable (L_c) :

Se déduit de la largeur roulable, en enlevant une bande de $0,50\text{m}$ le long de chaque dispositif de retenue (glissière, barrière ou séparateur) lorsqu'il existe.

$$L_c = 7 - 0,5 \times 2 = 6 \text{ m}$$

- Classe de ponts routes :

On distingue trois classe de ponts, on fonction de leur largeur roulable:

Tableau 4.3 : classes des ponts en fonction de la largeur roulable.

La classe du pont.	La largeur roulable.
1	$L_r \geq 7\text{m}$
2	$5,5\text{m} < L_r < 7\text{m}$
3	$L_r < 5,5\text{m}$

On a : $5,5\text{m} < L_r < 7\text{m}$ donc notre dalot est classé dans la **2^{ème} classe**.

2.4.1. Système A(l) :

$$A_L = 2.3 + \frac{360}{L + 12}$$

Avec : L : longueur de la travée = 4.2m

$$A_L = 2.3 + \frac{360}{4.2 + 12}$$

$$A_L = 24.52 \text{ kN/m}^2$$

Soit : $A_L = 24.52 \times 1 = 24.52 \text{ kN/mL}$

Tableau 4.4 : Valeurs de Coefficient de dégressivité transversale (a_1) de la charge A(l)

Classe du pont.	Nombre de voies chargées.				
	1	2	3	4	≥ 5
1	1	1	0,9	0,75	0,7
2	1	0,9	-	-	-
3	0,9	0,8	-	-	-

- Calcul du coefficient (a_2) :

$$a_2 = \frac{V_0}{V}$$

V : étant la largeur d'une voie = 3.50m:

V_0 : ayant les valeurs suivantes :

$$\begin{cases} V_0 = 3.50\text{m} \rightarrow \text{Pour les ouvrages de la 1ère classe} \\ V_0 = 3.00\text{m} \rightarrow \text{Pour les ouvrages de la 2ème classe} \\ V_0 = 2.75\text{m} \rightarrow \text{Pour les ouvrages de la 3ème classe} \end{cases}$$

Donc :

$$a_2 = \frac{3}{3.5} = 0.857$$

$$Q_{AL} = A_L \times a_1 \times a_2$$

$$Q_{AL} = 24.52 \times 0.9 \times 0.857$$

$$Q_{AL} = 18.912 \text{ kN/ml}$$

2.4.2. Système (B) :

a) Sous-système (Bc) :

Le sous-système Bc se compose de Camions de poids individuel égal à 30t, dont les 02 roues (0.25x0.25m) du devant sont d'un poids égal à 3t/Roue et celles de l'arrière, soient 04 roues (0.25x0.25m), sont d'un poids égal à 6t/Roue.

- Dans le sens longitudinal le nombre de camions est limité à 02
- Dans le sens transversal on dispose autant de files de 02 camions au maximum que de voies de circulation.

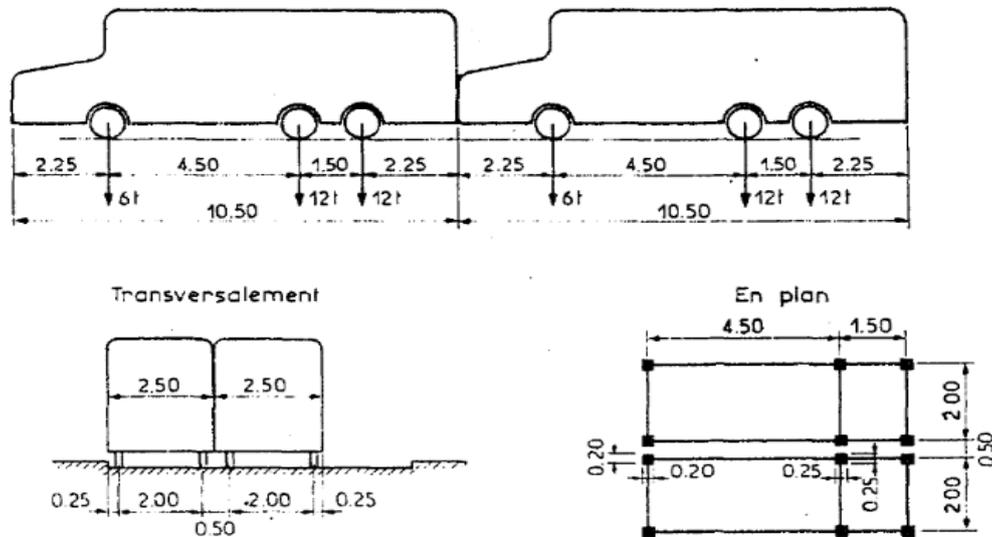


Figure 4.5. Convois Bc.

En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, la valeur de charges du système Bc prise en compte est multipliée par le coefficient b_c qui est donné dans le tableau suivant :

Tableau 4.5 : Valeur du coefficient b_c .

Classe du pont.	Nombre de voies chargées.				
	1	2	3	4	≥5
1	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
2	1	1	-	-	-
3	1	0,8	-	-	-

Donc on déduit, dans notre cas : $b_c = 1$

Aussi, Les surcharges du système Bc sont multipliées par des coefficients de majoration dynamique.

N.B : Les calculs sont faits pour 1ml, pour une largeur du dalot = 2,4m.

Surcharges maximale pour 4 roues : $B_c = 6 \times 2 \times 2 = 240 \text{ kN}$.

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

G : Charge permanente : $G = P_r + P_{dalle} + P_{grave} + P_{revetement} = 132,66 \text{ kN/mL}$

S : charge Bc : $S = 240 \text{ kN}$

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 4.2} + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{132,66}{240}}$$

$$\delta_{Bc} = 1,4038$$

La charge ponctuelle pour deux roues seulement : $Q_{Bc} = 120 \times 1 \times 1,4038$

$$Q_{Bc} = 168,456 \text{ kN}$$

b) Sous-système Bt :

Le sous-système Bt se compose de deux (02) tandems à deux (02) essieux de quatre (04) roues (0.6x0.25m) chacun, le poids de chaque essieu étant de 16t :

- Il ne s'applique qu'aux ouvrages de 1ère et 2ème classe.
- Il est affecté d'un coefficient de pondération bt égale à :

bt=1 → Pour les ouvrages de la 1ère classe.

bt=0,9 → Pour les ouvrages de la 2ème classe.

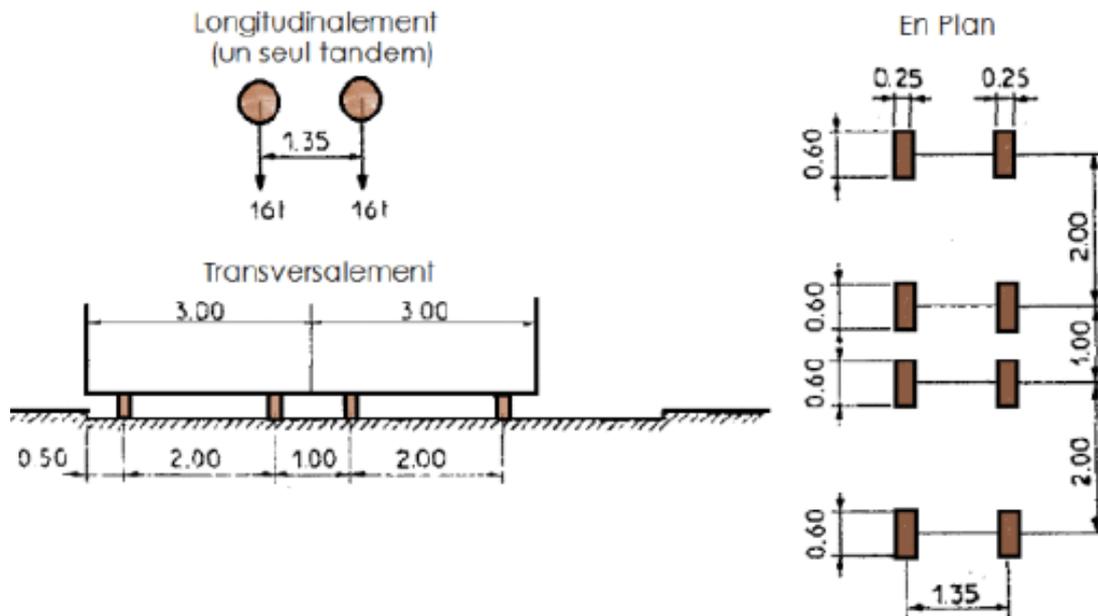


Figure 4.6. Convoi Bt.

N.B : Les calculs sont faits pour 1ml, pour une largeur du dalot = 2,4m.

Surcharges maximale pour 2 roues : $Bt = 80 \times 2 \times 2 = 320 \text{ kN}$.

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0,2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

G : Charge permanente : $G = 132,66 \text{ kN/mL}$

S : charge Bc : $S = 320 \times 0,9 = 288 \text{ kN}$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0,2 \times 4,2} + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{132,66}{288}}$$

$$\delta_{Bt} = 1,52$$

La charge ponctuelle pour une roue seulement :

$$Q_{Bt} = 160 \times 1 \times 1,52$$

$$Q_{Bt} = 205,632 \text{ kN}$$

2.4.3. Surcharges militaires Mc120 :

Le MC 120 est un engin chenille avec un poids total de 110t équivaut à 55t/chenille répartie sur une longueur de 6,10m et une largeur de 1m/chenille.

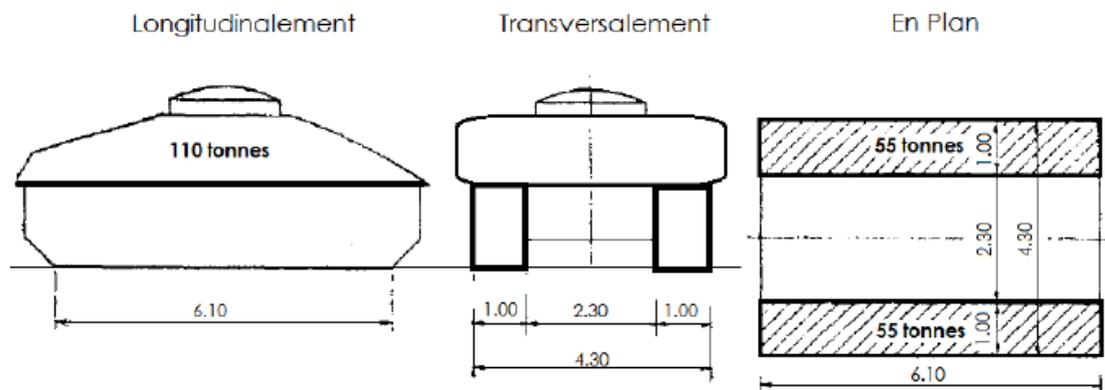


Figure 4.7. Convoi Mc120

N.B : Les calculs sont faits pour 1ml, pour une largeur du dalot = 2,4m.

Surcharge maximale pour une chenille : $Mc120 = 1100/2 = 550 \text{ kN}$.

$$\delta_{Mc120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

G : Charge permanente : $G = 132,66 \text{ kN/mL}$

S : charge Bc : $S = 550 \text{ kN}$

$$\delta_{Mc120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 4.2} + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{132,66}{550}}$$

$$\delta_{Mc120} = 1.52$$

La charge ponctuelle pour une chenille seulement :

$$Q_{Mc120} = S \times \delta_{Mc120}$$

$$Q_{Mc120} = 550 \times 1.52$$

$$Q_{Mc120} = 836 \text{ KN}$$

La longueur de la chenille = 6,1m donc :

$$Q_{Mc120} = \frac{836}{6,1} = 137,0,49 \text{ KN/ml}$$

2.5. Effet dû au séisme :

Les charges sismiques sont classées parmi les actions accidentelles qui ont des effets très importants sur les appuis.

Notre ouvrage est implanté à Tlemcen qui, d'après le **RPOA**, est classé dans **la zone I** qui est d'une faible sismicité, le dalot est considéré comme étant un pont important. Dans ce groupe sont classés les ponts qui franchissent ou longent au moins une des voies terrestres citées ci-après :

- Autoroutes, routes express et voies à grande circulation.
- Liaisons assurant la continuité du réseau autoroutier.
- Grandes liaisons d'aménagement du territoire.
- Les ponts situés dans les emprises des ports commerciaux maritimes.
- Les ponts sur itinéraire de desserte des installations de grande importance (groupe 1B du RPA99/2003)

2.5.1. Détermination du coefficient d'accélération :

Tableau 4.6 : Coefficient d'accélération pour la zone A.

Groupe du pont	Zone sismique			
	I	II a	II b	III
1	0,15	0,25	0,30	0,40
2	0,12	0,20	0,25	0,40
3	0,10	0,15	0,20	0,25

On déduit que le coefficient d'accélération (A) dans notre cas est : **$A_c=0,12$**

Le (RPOA) indique que les efforts d'inertie du mur de soutènement ou des terres reposant sur la semelle du mur sont calculés à partir des coefficients sismiques :

$$K_H = A_c = 0.12$$

$$K_V = 0.33A = 0.036$$

2.5.2. L'incrément dynamique de poussée active :

L'incrément dynamique de poussée des terres active est donné d'après le (RPOA) par la formule :

$$\Delta F_{ad} = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 [(1 \pm K_V)K_{ad} - K_a]$$

Avec : H : Hauteur du montant + remblai : $H = 2.95 + 5.7 = 8.65m$

$$\gamma_t = 20KN/m^3$$

$$K_H = A_c = 0.12$$

$$K_V = 0.3K_H = 0.036$$

$$K_a = 0.333$$

$$K_{ad} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2\theta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos\theta \cos\beta}} \right]^2}$$

$$\theta = \arctg \frac{K_H}{1 \pm K_V} : \begin{cases} \theta^+ = \arctg \frac{K_H}{1 + K_V} \rightarrow \theta^+ = 6.61^\circ \\ \theta^- = \arctg \frac{K_H}{1 - K_V} \rightarrow \theta^- = 7.10^\circ \end{cases}$$

$$\text{Donc : } \begin{cases} K_{ad}^+ = f(\theta^+) = 0.41 \\ K_{ad}^- = f(\theta^-) = 0.396 \end{cases}$$

Donc l'incrément dynamique est :

$$\Delta F_{ad} = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 [(1 \pm K_V) K_{ad} - K_a] \begin{cases} \Delta F_{ad}^+ = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 [(1 + K_V) K_{ad} - K_a] \\ \Delta F_{ad}^- = \frac{1}{2} \gamma \times H^2 [(1 - K_V) K_{ad} - K_a] \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta F_{ad}^+ = \frac{1}{2} \times 20 \times (8.65)^2 [(1 + 0.036) \times 0.41 - 0.33] = \Delta F_{ad}^+ = \mathbf{70.901 \text{ kN}} \\ \Delta F_{ad}^- = \frac{1}{2} \times 20 \times (8.65)^2 [(1 - 0.036) \times 0.41 - 0.33] = \Delta F_{ad}^- = \mathbf{38.716 \text{ kN}} \end{cases}$$

2.6. Force des remblais sur la dalle de couverture :

Le remblai sur la dalle de couverture de la partie couverte applique une force sur celle-ci, elle est donnée par la formule :

$$Fr = [(\gamma_{remblai} \times e_{remblai}) + (\gamma_{grave} \times e_{chaussée}) + (\gamma_{bb} \times e_{revetement})] K_H$$

$$Fr = (114 + 1,41 + 4,75) \times 0,12 = \mathbf{14,19 \text{ kN/mL}}$$

2.7. Force d'inertie :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$F_{inertie} = [S \times \rho_{B.Armé} \times K_H] / L$$

Avec : S : Surface de la section à considérer.

L : longueur dans la direction de répartition de la force.

- Force d'inertie appliquée sur la dalle : $F_{inertie} = \frac{[(0,5 \times 3,5) \times 25 \times 0,12]}{3,5} = \mathbf{1,5 \text{ kN/mL}}$
-
- Force d'inertie appliquée sur le voile : $F_{inertie} = \frac{[(0,35 \times 3,3) \times 25 \times 0,12]}{3,3} = \mathbf{1,05 \text{ kN/mL}}$

2.8. Modélisation du sol d'assise :

Le sol de fondation est représenté par des ressorts verticaux, dont on a permis que les déplacements suivant l'axe global (Z) selon le SAP2000.v14 et la rotation suivant l'axe global (Y), et leurs rigidités sont calculées à partir du module de réaction vertical K_V .

$$\frac{1}{K_V} = \left(\frac{\alpha \times B}{9E_A} \right) \lambda_c + \frac{2 \times B_0}{9E_B} \left[\lambda_d \times \frac{B}{B_0} \right]^\alpha$$

Avec : $E_A = E_B = 10 \text{ MPa}$

α : Coefficient de structure du sol, pour notre cas on prend : $\alpha = 0,5$

B : Largeur du radier = 3,5 m

B_0 : Largeur de référence = 4,2/6 = 0,7m

λ_c, λ_d : Paramètres géométriques fonction du rapport (L/B).

$\lambda_c = 1,45$ Et $\lambda_d = 2,4$

On obtient : $\frac{1}{K_V} = 0,0985 \rightarrow K_V = 12,686 \text{ MPa/mL} = \mathbf{12686 \text{ kN/m}^3}$

2.9. Récapitulatif des différentes charges appliquées sur le dalot :

Tableau 4.7 : Différentes charges appliquées sur le dalot.

Charges.	Symbole.	Valeur.
charge permanente des remblais sur la dalle.	P_r	114 kN/mL
Charge permanente de la chaussée.	P_g	4,75 kN/mL
Charge permanente de la couche de roulement.	$P_{revetement}$	1,41 kN/mL
Charge permanente due à la poussée des terres.	P_t	21,97 kN/mL
Charge permanente des glissières de sécurité en Béton.	$P_{glissière}$	0,121 kN/mL
Surcharge d'exploitation des remblais.	$Q_{surcharge}$	3,33 kN/mL
Surcharge roulable du système A	Q_{Al}	18,91 kN/mL
Surcharge roulable du système Bc	Q_{Bc}	168,456 kN
Surcharge roulable du système Bt	Q_{Bt}	205,632 kN
Surcharge roulable du système Mc120	Q_{Mc120}	137,05 kN/mL
Force d'inertie appliquée sur la dalle	Fi	1,5 kN/mL
Force d'inertie appliquée sur le voile	Fi	1,05 kN/mL
Incrément dynamique du à la poussée active des remblais	ΔF_d	10,32 kN/mL
Force des remblais sur la dalle	Fr	14, 19 kN/mL

3. Combinaisons de calcul :

Pour notre étude nous avons établi la liste de combinaisons suivante pour la modélisation des états limites considérés :

Tableau 4.8 : Sollicitations considérées dans notre projet.

Combinaison.	Définition.	Formule.
ELU1	Etat limite ultime de la surcharge Al	$1,35 G + 1,5 Q + 1,6 Al$
ELU2	Etat limite ultime de la surcharge Bc	$1,35 G + 1,5 Q + 1,6 Bc$
ELU3	Etat limite ultime de la surcharge Bt	$1,35 G + 1,5 Q + 1,6 Bt$
ELU4	Etat limite ultime de la surcharge Mc120	$1,35 G + 1,5 Q + 1,35 Mc120$
ELS1	Etat limite service de la surcharge Al	$G + Q + 1,2 Al$
ELS2	Etat limite service de la surcharge Bc	$G + Q + 1,2 Bc$
ELS3	Etat limite service de la surcharge Bt	$G + Q + 1,2 Bt$
ELS4	Etat limite service de la surcharge Mc120	$G + Q + Mc120$

3.1. Efforts appliqués sur le dalot :

Les valeurs des efforts résultants de la modélisation sur le logiciel SAP2000 sont montrées dans le tableau qui suit :

Tableau 4.9 : efforts appliqués sur l'ouvrage.

combinaisons		ELU1	ELU2	ELU3	ELU4	ELS1	ELS2	ELS3	ELS4
dalle	N (kN)	-76,87	-108,72	-119,30	-119,30	-57,08	-80,90	-88,99	-88,67
	M (mi- travée)	336,90	506,51	538,59	538,5	249,97	377,51	401,75	400,65
	M (appuis)	-82,21	-139,83	-206,99	-206,99	-61,02	-156,40	-176,71	-176,12
	T (kN)	430,43	639,43	685,91	685,91	319,19	476,52	521,13	520,98
voile	N (kN)	-477,92	-687,69	-747,17	-747,17	-354,87	-511,9	-556,50	-634,55
	M (kN.m)	160,63	225,31	243,10	243,10	119,20	167,65	180,96	179,71
	T (kN)	63,87	66,72	65,34	65,34	47,08	49,21	48,90	61,67
radier	N (kN)	63,58	66,01	65,13	65,13	-47,19	-49,01	-48,35	-51,3
	M (kN.m)	-222,49	-327,26	-357,54	-357,54	-165,06	-243,64	-266,35	-265,24
	T (kN)	93,32	98,40	113,71	113,33	57,28	61,87	77,68	75,88

3.2. Interprétations des résultats :

3.2.1. La dalle :

La dalle est sollicitée en flexion composée, en ayant un diagramme des moments fléchissant et des efforts axiaux.

Le moment en état limite ultime se présente comme une valeur positive dans la mi- travée ($M_u=538,59 \text{ kN.m}$) alors qu'elle est négative au niveau des appuis ($M_u=-206,99 \text{ kN.m}$).

Nous déduisons que la fibre tendue à mi- travée est la fibre inférieure, par contre au niveau des extrémités c'est la fibre supérieure qui est tendue.

3.2.2. Le voile :

Le voile est sollicité en flexion composée, en ayant un diagramme des moments fléchissant et des efforts axiaux.

Le moment en état limite ultime se présente comme une valeur positive ($M_u=243,10 \text{ kN.m}$).

3.2.3. Le radier :

Le radier est sollicité en flexion composée, en ayant un diagramme des moments fléchissant et des efforts axiaux.

Le moment à l'ELU se présente comme une valeur négative dans la mi- travée ($M_u=-357,54 \text{ kN.m}$) alors qu'elle est positive aux extrémités ($M_u=243,60 \text{ kN.m}$).

Nous déduisons que la fibre tendue à mi- travée est la fibre supérieure, par contre au niveau des extrémités c'est la fibre inférieure qui est tendue.

4. FERRAILLAGE DES ELEMENTS DU DALOT :

4.1. Caractéristiques mécaniques des matériaux :

4.1.1. Béton :

- La résistance caractéristique du béton coulé sur place : $f_{c28} = 27 \text{ MPa}$
- La densité du béton armé : $\gamma_{BA} = 25 \text{ kN/m}^3$
- Pour les justifications à l'ELU, la contrainte admissible en compression du béton vaut :

$$f_{bu} = \frac{0,85f_{c28}}{\theta \gamma_b}$$

$$\theta = \begin{cases} 1 & \text{pour durée} > 24\text{h} \\ 0,9 & 1\text{h} < \text{durée} < 24\text{h} \\ 0,85 & \text{pour une durée} < 1\text{h} \end{cases}$$

$$\gamma_b = \begin{cases} 1,50 & \text{cas général} \\ 1,15 & \text{cas accidentel} \end{cases}$$

Pour notre cas :

$$f_{bu} = \frac{0,85 \times 27}{1 \times 1,5} = 15,3 \text{ MPa}$$

- La contrainte caractéristique de traction du béton est définie, d'après le fascicule 1 section2, par :

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,22 \text{ MPa}$$

- Pour les charges dont la durée d'application est inférieure à 24 heures (tel que charge routière), le module de déformation instantané du béton est :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} = 33000 \text{ MPa}$$

Pour les charges de longue durée (tel que PP, superstructure, précontrainte..) et pour tenir compte des effets du fluage, le module de déformation différé du béton est :

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} = 11100 \text{ MPa}$$

- Pour les justifications à l'ELS, la contrainte admissible en compression du béton vaut :
 $f_{bc} = 0.6 f_{c28} = 16,2 \text{ MPa}$

4.1.2. Acier pour béton armé :

Ce sont des aciers à haute adhérence de nuance FeE400

- La limite d'élasticité : $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité : $E_s = 200\,000 \text{ MPa}$
- Pour les justifications à l'ELU, la contrainte de traction admissible de l'acier de traction vaut :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

Avec : $\gamma_s = \begin{cases} 1.15 & \text{situation durable} \\ 1 & \text{situation accidentelle} \end{cases}$

- Pour les justifications à l'ELS, la contrainte de traction admissible de l'acier vaut, d'après BAEL 91:

Fissuration peu préjudiciable : pas de vérification à faire (pas de limitation)

Fissuration préjudiciable : $\bar{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3} f_e; 110\sqrt{\eta f_{t28}} \text{ MPa}\right)$

Fissuration très préjudiciable : $\bar{\sigma}_{st} = \min(0.5 f_e; 90\sqrt{\eta f_{t28}} \text{ MPa})$

Avec : η : coefficient de fissuration.

$\eta = 1$ Pour les ronds lisses.

$\eta = 1.6$ Pour les aciers HA.

- Pour la justification des armatures à l'effort tranchant, la contrainte limite de cisaillement :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 d}$$

Avec : V_u : L'effort tranchant ultime

b_0 : Largeur de la section.

d : Hauteur utile

On vérifie par la suite :

$\bar{\tau}_u \leq \min\left(\frac{0.2f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa}\right) = 3.6 \text{ Mpa}$ Si la fissuration est peu préjudiciable.

$\bar{\tau}_u \leq \min\left(\frac{0.15f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right) = 2,7 \text{ Mpa}$ Si la fissuration est préjudiciable ou très préjudiciable.

4.2. Calcul du ferrillage :

Nous avons effectué un exemple de calcul à mains pour la dalle sollicitée en « Flexion composée » selon les règles du BAEL 91. Les autres cas vont être récapitulés dans (**le tableau 4.10**)

Prenant comme exemple la dalle en mi- travée :

4.2.1. ELU :

$$N_u = - 119,30 \text{ KN}$$

$$M_u = 538,59 \times 0,8 = 430,872$$

$$\text{KN.m}$$

$$b=1\text{m}$$

$$h=0,5\text{m}$$

$$d=0,9 \times h = 0,45 \text{ m}$$

$$d'=0,1 \times h = 0,05 \text{ m}$$

$$\gamma_b = 1,5$$

$$\gamma_b = 1,15$$

$$f_{c28} = 27 \text{ MPa}$$

$$f_{bc} = 15,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 347,8 \text{ MPa}$$

- L'excentricité :

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{430,872}{119,30} = 3,61 \text{ m}$$

$$e_a = d - \frac{h}{2} + e$$

$$e_a = 0,45 - \frac{0,5}{2} + 3,61$$

$$e_a = 3,81 \text{ m}$$

- Calcul du moment fictif M_A :

$$M_A = N_u \times e_a$$

$$M_A = 0,1193 \times 3,81 \rightarrow M_A = 0,4545 \text{ MN.m}$$

- Vérification du domaine :

$$N_u(d - d') - M_A = 0,1193 \times (0,45 - 0,05) - 0,4545$$

$$\rightarrow N_u(d - d') - M_A = 0,4062 \text{ MN.m} \dots (A)$$

$$\left(0,337 - 0,81 \frac{d'}{d} \right) b d^2 f_{bc} = \left(0,337 - 0,81 \times \frac{0,05}{0,45} \right) 1 \times 0,45^2 \times 15,3$$

$$\rightarrow \left(0,337 - 0,81 \frac{d'}{d} \right) b d^2 f_{bc} = 0,765 \dots (B)$$

$A < B \rightarrow$ **Domaine 2** \rightarrow section partiellement comprimée avec armatures inférieures tendues.

- Calcul du moment réduit μ_u :

$$\mu_u = \frac{M_A}{b \times d^2 \times f_{bc}} = \frac{0,4545}{1 \times 0,45^2 \times 15,3}$$

$$\mu_u = 0,1466 < \mu_R = 0,392 \text{ donc section à simples armatures (A2 = 0).}$$

Pour le calcul de la section d'acier A_1 , on utilise la formule :

$$A_1 = \frac{1}{\sigma_{st}} \left(\frac{M_A}{z} - N_u \right)$$

$$\text{Avec : } \alpha = 1,25 [1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}] = 1,25 [1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,1466}] = 0,199$$

$$z = d (1 - 0,4 \times \alpha) = 0,45 (1 - 0,4 \times 0,199) = 0,4141 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{1}{347,8} \left(\frac{0,4545}{0,55} - 0,1193 \right) = \mathbf{28,12 \text{ cm}^2}$$

4.2.2. ELS :

$$\begin{aligned} N_s &= -88,90 \text{ KN} \\ M_s &= 401,75 \text{ KN.m} \\ b &= 1 \text{ m} \\ h &= 0,5 \text{ m} \\ d &= 0,9 \times h = 0,45 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= 0,1 \times h = 0,05 \text{ m} \\ \gamma_b &= 1,5 \\ \gamma_b &= 1,15 \\ f_{c28} &= 27 \text{ MPa} \\ f_{bc} &= 15,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

On considère que les fissurations sont préjudiciables. Donc, il faut vérifier les contraintes dans le béton et dans les aciers :

$$\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc} \longrightarrow \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 0,6 \times 27 = 16,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} < \bar{\sigma}_{st} \longrightarrow \bar{\sigma}_{st} = \min \left(\frac{2}{3} f_e ; 110 \sqrt{\eta} \times f_{tj} \right) = 207,31 \text{ MPa}$$

- **Calcul de l'excentricité :**

$$e = \frac{M_s}{N_s} = \frac{401,75}{88,90} = 4,519 < \frac{h}{6} = 0,083 \text{ m} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

- **Position de l'axe neutre :**

$$\text{On a : } x = \frac{h}{2} + e_1 - e$$

Avec : e_1 est défini par l'équation du 3^{ème} degré suivante : $e_1^3 + p \times e_1 + q = 0$

$$\begin{cases} p = -3 \times \left(e - \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{6 \times n \times A_2}{b} \times \left(e - \frac{h}{2} + d' \right) + \frac{6 \times n \times A_1}{b} \left(e - \frac{h}{2} + d \right) \\ q = 2 \times \left(e - \frac{h}{2} \right)^3 - \frac{6 \times n \times A_2}{b} \times \left(e - \frac{h}{2} + d' \right) - \frac{6 \times n \times A_1}{b} \left(e - \frac{h}{2} + d \right)^2 \end{cases}$$

Remarque: p et q peuvent être négatives.

On a :

$$A_1 = 28,12 \text{ cm}^2 \text{ et } A_2 = 0$$

$$\text{Donc: } \begin{cases} p = -45,459 \\ q = 95,6098 \end{cases}$$

- **Calcul de (e_1):**

La résolution de e_1 se fait par itération dans l'équation suivante :

$$e_1 = \sqrt[3]{-p \cdot e_1 - q} \quad \text{Ou} \quad e_1 = \frac{e_1^3 - q}{p}$$

Après la résolution des équations de (e_1) et (x) on obtient : $e_1 = 4,21 \text{ m}$ et $x = 0,27 \text{ m}$

$$S = \frac{b \times x^2}{2} - n \cdot A_{st}(d - x) = \frac{1 \times 0,27^2}{2} - 15 \times 28,12 \times 10^{-4} \times (0,45 - 0,27)$$

$$S = 0,0289 \text{ m}^3.$$

- **La contrainte dans le béton :**

$$\sigma_{bc} = \frac{N_s \cdot x}{S} = \frac{88,9 \times 10^{-3} \times 0,27}{0,0289} = 0,830 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{bc} = 15,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

- **Condition de Non-Fragilité :**

Pour obtenir le ferrailage final de la dalle il faudra vérifier la condition de Non-Fragilité pour déterminer la A_{\min} et la comparer avec la A_{st} pour prendre le maximum entre les deux.

D'après les règles du *BAEL 91 modifié 99* :

$$A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} = 5,74 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > A_{min} \text{ Donc on choisit la section : } A_{st} = 28,12 \text{ cm}^2$$

Conclusion : La section que nous prenons en considération pour notre ferrailage à mi- travée de la dalle est : $A_{st} = 9T20 = 28,27 \text{ cm}^2$.

4.2.3. Armature de répartition :

Ce sont des armatures perpendiculaires aux armatures principales et dans le même plan, permettant de répartir transversalement une action ponctuelle sur plusieurs armatures longitudinales.

D'après les règles BAEL 91 modifiés 99, on peut déterminer les armatures de répartitions à partir de la formule :

$$A_{sr} = \frac{A_{st}}{4} = 7,067 \text{ cm}^2$$

4.2.4. Justification des armatures à l'effort tranchant :

La contrainte tangentielle doit satisfaire les conditions suivantes : $\bar{\tau}_U > \tau_U$

$$\bar{\tau}_U = \min \left(\frac{0,15 \times f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa} \right) \longrightarrow \text{Pour une fissuration préjudiciable.}$$

$$\bar{\tau}_U = \min \left(\frac{0,15 \times 27}{1,5}; 4 \text{ MPa} \right) = \bar{\tau}_U = \min (2,7; 4) \text{ MPa} = 2,7 \text{ MPa}$$

Avec : (T_U : L'effort tranchant)

$$\tau_U = \frac{T_U}{b \times d} = \frac{0,68591}{1 \times 0,45} = 1,46 \text{ MPa} < \bar{\tau}_U = 2,5 \text{ MPa}$$

La contrainte tangentielle satisfait la condition : $\bar{\tau}_U > \tau_U$

4.2.5. Récapitulatif des résultats :

Les sections du ferrailage adoptées pour chacune des autres parties du dalot sont récapitulées dans les tableaux ci-après :

N.B : Dans les tableaux qui suivent, nous avons pris les sections données par le logiciel de modélisation SAP2000 v14 .

Tableau 4.10 : Sections des armatures des différentes parties du dalot.

élément	b (m)	h (m)	Mu (kN.m)	Nu (kN)	Tu (kN)	Ast (cm ² /mL)	Ast adoptée (cm ² /mL)	Espacement (cm)
Dalle (mi-travée)	1	0,5	538,59	-119,30	685,91	33,47	34,36 (7T25)	12
Dalle (extrémité)	1	0,5	-206,99	-119,30	685,91	8,86	10,18 (9T12)	10
voile	1	0,35	243,10	-747,17	65,34	42,98	44,18 (9T25)	8
radier	1	0,35	-357,54	65,13	98,40	28,23	28,27 (9T20)	9

Tableau 4.11 : Sections des armatures de répartition et de vérification à l'effort tranchant.

élément	b (m)	h (m)	Ast adoptée (cm ² /mL)	$\bar{\tau}_U > \tau_U$	Asr (cm ² /mL)	Asr adoptée (cm ² /mL)	Espacement (cm)
Dalle (mi-travée)	1	0,5	28,27 (9T20)	C.V	8,36	9,03 (8T12)	7
Dalle (extrémité)	1	0,5	10,18 (9T12)	C.V	2,31	4,52 (4T12)	28
voile	1	0,35	34,36 (7T25)	C.V	10,74	11,31 (10T12)	8,5
radier	1	0,35	25,13 (8T20)	C.V	7,05	7,92 (7T12)	13,5

N.B : La condition de la justification des armatures à l'effort tranchant est vérifiée ce qui nous permet d'en déduire que les armatures d'effort tranchant ne sont pas nécessaires.

5. Conclusion :

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

Dans notre projet nous avons proposé un dalot comme ouvrage de franchissement au niveau d'un oued situé sous notre route pour assurer la continuité de l'écoulement des eaux, dont les dimensions sont : 4,2m de longueur et 3,3 de hauteur et un fossé de (50×50) cm².

Après la modélisation du modèle géométrique du dalot par logiciel SAP2000, nous avons obtenus des résultats par la déformation de la structure, donnés par l'allure des diagrammes des moments fléchissant, des efforts tranchants et des efforts axiaux. Ces résultats nous ont permis d'avoir un ferrailage qui répond aux normes et vérifie les conditions de contraintes soulevées, donc assurer une stabilité au niveau de la structure soumise aux charges et surcharges qui lui sont appliquées.

Chapitre 5:

Signalisation routière.

1. SIGNALISATION :

La signalisation routière désigne l'ensemble des signaux conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route, soit en les informant des dangers et des prescriptions relatifs à la circulation.

Elle comprend deux grands ensembles : la signalisation routière verticale, qui comprend les panneaux, les balises, les feux de signalisations et la signalisation routière horizontale, constituée des marquages au sol et des plots.

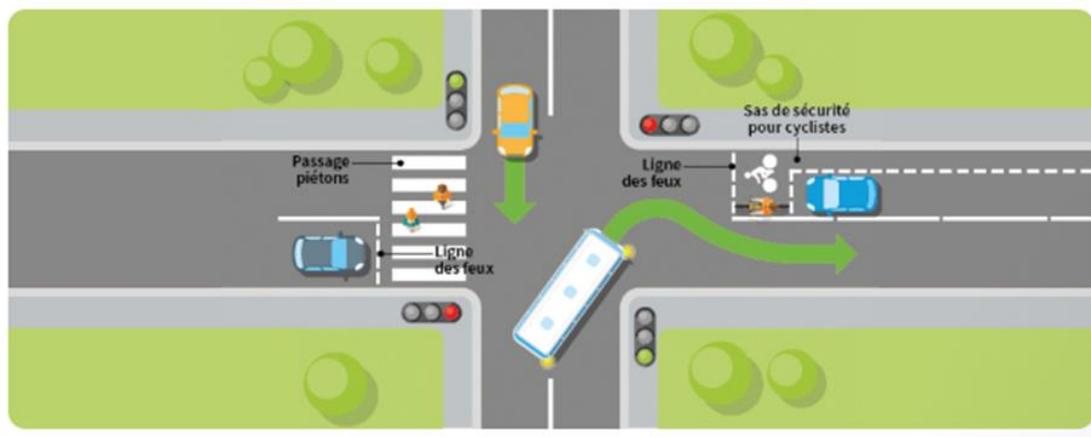


Figure 5.1 : Type des signalisations vertical et horizontales.

2. ROLE DE LA SIGNALISATION :

L'importance du rôle de signalisation routière s'accroît avec le développement de la circulation. Bien conçue et réalisée, elle réduit les causes d'accident et facilite la circulation.

La signalisation routière a pour objet :

- De faciliter cette circulation.
- D'indiquer ou de rappeler diverse prescription particulières de police.
- De donner des informations relatives à l'usage de la route. [17]

3. CATEGORIES DE LA SIGNALISATION :

Les panneaux de signalisation dont le modèle figure dans les annexes ci-jointes sont de formes et de couleurs différentes suivant la nature des indications à porter à la connaissance des usagers de la route.

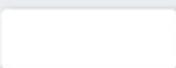
FORME	COULEUR	ANNONCÉ À	SIGNIFIE
	Rouge et blanc	50 m en agglomération, 150 m en dehors	Danger
	Rouge et blanc	À l'endroit	Ordre, interdiction ou prescription
	Bleu foncé et blanc	À l'endroit	Obligation
	Bleu foncé et blanc	À l'endroit ou avant en fonction des besoins	Indication
	Blanc	À l'endroit	Localisation
	Vert ou bleu	À l'endroit où il faut changer de direction	Direction

Figure 5.2 : formes et les couleurs des différents panneaux.

Ils se subdivisent en 3 catégories qui sont les suivantes : [18]

3.1. Signaux d'avertissement de danger :

Type A

3.2. Signaux de réglementation.

Ils se subdivisent :

- a) Signaux de priorité : Type B
- b) - Signaux d'interdiction ou de restriction : Type C
- c) - Signaux d'obligation : Type D

3.3. Signaux d'indication :

Ils se subdivisent en :

- a) - Signaux d'identification des routes : Type E
- b) - Signaux de pré signalisation : Type E
- c) - Signaux de direction : Type E
- d) - Signaux de localisation : Type E
- e) - Signaux de confirmation : Type E

f) - Autres signaux donnant des indications utiles pour la conduite des véhicules : Type E.

g)-Autres signaux indiquant des installations qui peuvent être utiles aux usagers de la route : Type F.

4. Type de signalisation :

On distingue deux types de signalisation :

- Signalisation verticale.
- Signalisation horizontale.
- signalisation temporaire

4.1. La signalisation verticale

Lors de chaque déplacement, les usagers croisent des panneaux de signalisation, aussi nommés "éléments de signalisation verticale". Ce type de signalisation répond à trois missions fondamentales :

- avertir des dangers à l'aide des panneaux triangulaires
- signaler une interdiction ou une obligation à l'aide des panneaux ronds
- donner des indications et des informations lors d'un trajet

4.2. La signalisation temporaire

La signalisation temporaire est symbolisée par la couleur jaune des panneaux et du marquage au sol. Elle indique la proximité avec des difficultés de circulation temporaires ou des travaux. Même lorsqu'il n'existe pas de limitation de vitesse, l'objectif est de sensibiliser les conducteurs afin qu'ils ralentissent d'eux-mêmes



Figure 5.3 : Les signalisations temporaire.

4.3. La signalisation routière horizontale

La signalisation routière horizontale fait référence au marquage au sol se retrouvant sur la chaussée : dessins, flèches, inscriptions sur la chaussée et lignes.

Comme pour les panneaux de signalisation, il existe dans le code de la route différentes couleurs de marquages au sol en fonction de l'information devant être communiquée aux usagers. Le marquage au sol jaune est prioritaire sur le blanc, et doit donc être respecté. :

a) Marques longitudinales :

On distingue plusieurs catégories de marques applicables en rase campagne et en agglomération. Les règles relatives au marquage y sont les mêmes.

Les marques longitudinales :

- ligne continue, interdisant le franchissement ou le chevauchement
- ligne discontinue de guidage, délimitant les voies en vue de guider la circulation

- ligne discontinue d'avertissement, annonçant l'approche d'un passage présentant un risque particulier
- ligne mixte, qui ne peut être franchie que si, au début d'une manœuvre de dépassement, la ligne discontinue se trouve la plus proche du véhicule
- lignes continues et discontinues pour voies spécialisées

Les marques transversales

- ligne continue d'arrêt ;
- ligne discontinue de « Cédez le passage » ;
- ligne discontinue d'effet des feux de circulation.

Les autres marques

Il s'agit là de tous les marquages spéciaux qui donnent une information, une prescription ou spécifiques à certains carrefours. On distingue :

- les flèches de pré signalisation ;
- les lignes parallèles ou obliques ;
- les lignes zigzag ;
- les marquages spécifiques.

c) Largeur des lignes :

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= 6.0cm sur les routes et voies urbaines.

U= 5.0cm sur les autres routes.

- Pour notre cas la largeur des lignes est définie d'un U= 6cm.

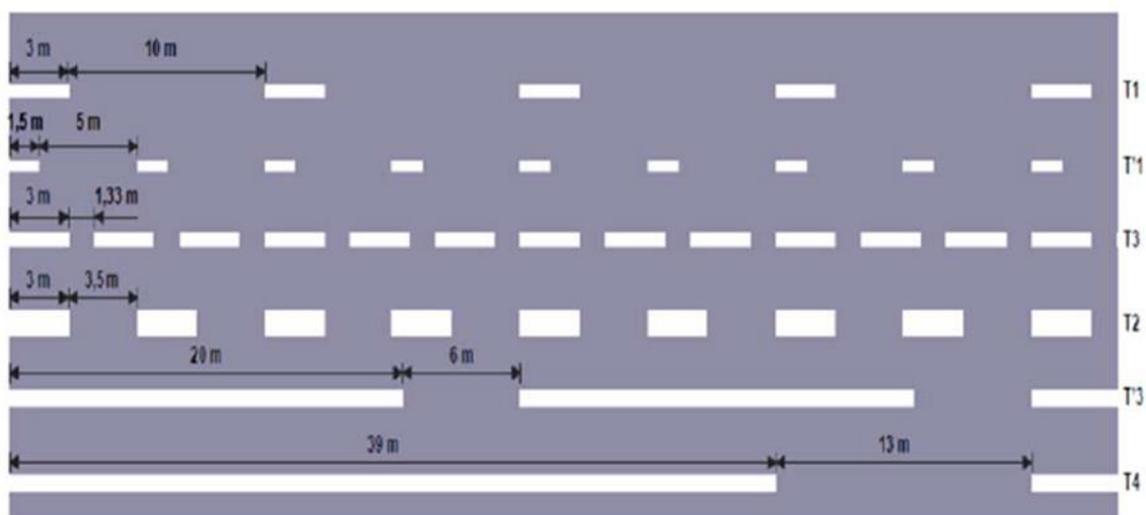


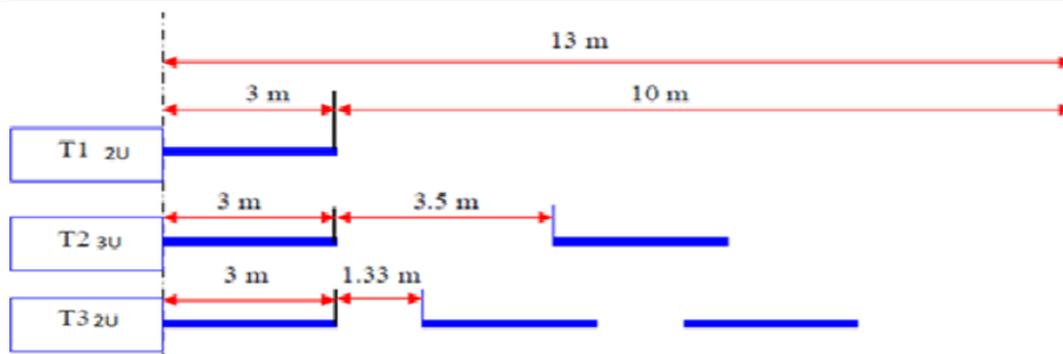
Figure 5.4 : La largeur des lignes.

d) Modulation des lignes discontinues :

Elles sont basées sur une longueur périodique de 13 m. leur caractéristique sont données par le tableau suivant :

Tableau 5.1 : Modulation des lignes discontinues [25]

Type de modulation	Longueur du trait (m)	Intervalle entre deux Traits successifs (m)	Rapport pleins-vides
T1	3.00	10.00	$\cong 1/3$
T'1	1.50	5.00	
T2	3.00	3.50	$\cong 1$
T'2	0.50	0.50	
T3	3.00	1.33	$\cong 3$
T'3	20.00	6.00	

**Figure 5.5** : Type de modulation.

5. Application au projet :

5.1. L'éclairage :

L'éclairage public est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, en bordures des voiries et places, nécessaires à la sécurité de l'homme. On disait même que notre ville était visible de l'espace tant il était éclairé. Dans notre projet On place en courbures des îlots centraux des foyers de l'ordre de 12m d'hauteur pour éclairer les différentes directions et que les bordures des trottoirs soient visibles.

5.2. Signalisation :

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

Tableau 5.2 : Panneaux de signalisation d'intersection et de priorité (type A)

Noms des panneaux	Schéma
Panneau (A1a) : Virage à droite	
Panneau (A1b) : Virage à gauche	
Panneau (A19) : Circulation dans les deux sens	

Tableau 5.3 : Panneaux de signalisation d'obligation (type C).

Noms des panneaux	Schéma
Panneau (C11a) de limitation de vitesse (la vitesse max à ne pas dépasser 40)	
Panneau (C10a) : Interdiction pour les véhicules de plus de 3,5t d'effectuer un dépassement	

5.3. Marquage sur la chaussée :

Pour notre chaussée on a :

- **Les lignes de rive T2 3u**

Espace plein : 3m

Espace vide : 3,5m

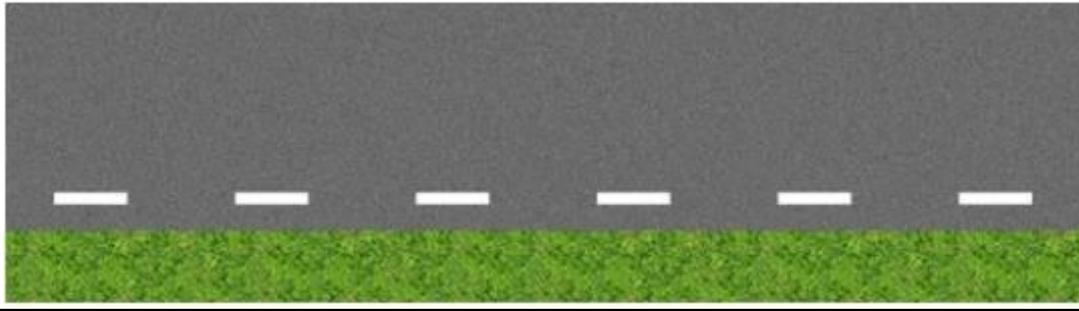


Figure 5.6. Ligne de rive.

- Ligne de guidage **T1 2u** qui sépare les deux voies :

Espace plein : 3m

Espace vide : 10m

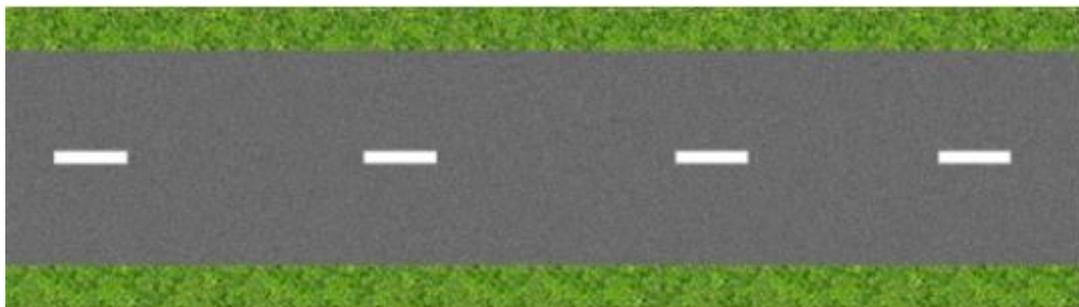


Figure 5.7 : Ligne de guidage

- Marquage au sol (virage) :

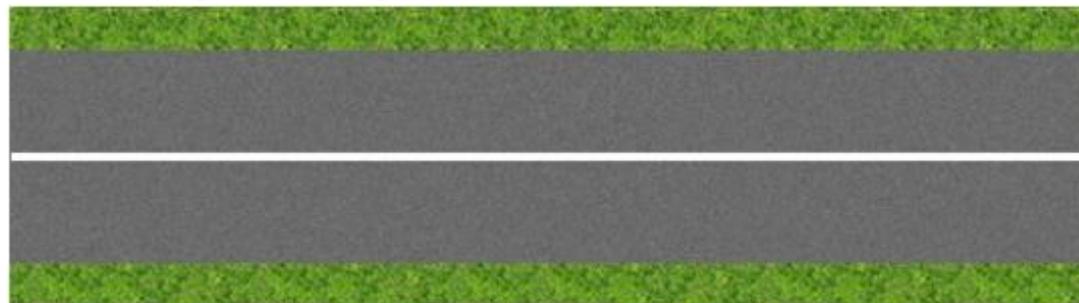


Figure 5.8 : Ligne continue de virage

6. CONCLUSION :

Les panneaux des circulations du code de la route ont tous un rôle important à jouer. Ils ne sont pas placés là par hasard. Ainsi, il est très importante de connaître son code de la route et de l'appliquer afin d'éviter les accidents attendus.

L'éclairage sert à garantir aux usagers de la voie de circulation de nuit une sécurité et un confort aussi élevé que possible, et permettre à la circulation de se développer dans de très bonne condition (vitesse, sécurité).

Chapitre 6:

Management du projet.

GESTION DU PROJET :

1. INTRODUCTION :

La réalisation d'un projet routier fait appel à un ensemble d'activités qui demandent des efforts importants en matière de gestion de projet, notamment en ce qui concerne la maîtrise du contenu, des délais, des coûts et de la qualité.

L'Algérie accuse un grand retard dans ce domaine qui se traduit par des conséquences importantes sur la sécurité routière, selon le conseil national économique et social (CNES) sur le développement de l'infrastructure routière. Aussi la problématique qui ne saurait se résoudre à la seule question de l'insécurité routière, les projets routiers subissent souvent des retards et des dépassements de budget.

Dans la présente partie de travail on cherche à présenter brièvement la stratégie suivie pour développer les aspects attachés à la question de la route en Algérie. Ainsi ce chapitre a pour objectif de passer en revue les différentes approches de planification de projet, la démarche de management et les différentes méthodes de la gestion des coûts.

2. DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU ROUTIER ET AUTOROUTIER EN ALGÉRIE :

Le réseau routier Algérien est en plein développement grâce au programme de modernisation des autoroutes. [19]

2.1. Stratégie sectorielle :

Cette stratégie a pour buts de développer l'offre de transport afin de :

- Satisfaire les besoins de mobilité des personnes et des biens.
- Améliorer la qualité de service par la réduction des temps de parcours.
- Répondre aux besoins logistiques des opérateurs économiques.
- Assurer un développement durable tout en privilégiant l'inter-modalité et l'interconnexion des différents modes de transport.

Pour la mise en service de cette stratégie, il a été développé des outils modernes de planification à l'horizon 2025 à savoir le schéma directeur routier et autoroutier 2005-2025 et découlant d'une vision globale et d'une planification stratégique à l'horizon. [20]

2.2. Schéma directeur routier et autoroutier :

Le schéma directeur routier et autoroutier 2005-2025 est le référentiel de développement à court, moyen et long terme d'infrastructures routières. Il est réparti sur quatre principales phases : [21]

1ère phase: 2005-2010

- Construction du 1er réseau structurant.
- Engagement du 1er réseau structurant:(autoroute est-ouest, 2eme rocade d'alger ete la route transsaharienne).
- Engagement de la mise À niveau aux normes internationales des infrastructures de base.

2ème phase: 2010-2015

- Construction du 2ème réseau structurant
- Engagement du 2ème réseau structurant: (autoroute des hauts plateaux, liaisons autoroutières reliant aux principaux centres urbains ainsi que les aeroportos et ports, pénétrante nord-sud)
- Mise à niveau du réseau existant.

3ème phase: 2015-2020

- Préservation du 1er et 2ème réseaux structurants.
- Modernisation des systèmes de grstion et d'exploitation.
- Développement des systèmes d'inter-modalité.

4èmes phase: 2020-2025

- Construction du 3ème réseau structurant.
- Engagement du 3ème réseau structurant.
- Parachèvement du maillage prévu par le schéma directeur à l'horizon 2025
- Préparation des conditions au lancement du futur programme projeté à l'horizon 2050.

Figure 6.1. Schéma directeur routier et autoroutier. [21]

3. PRÉSENTATION DU PROJET :

Dans cette partie on doit étudier, sur le plan économique, un raccordement routier reliant Boudjlida et Oudjlida et passant par un dalot sur une longueur de 500ml dans la wilaya de Tlemcen.

Pour les besoins essentiels au présent Projet de Fin d'Étude, nous avons fixé comme objectif de définir le délai et le cout de réalisation du projet. Pour l'atteindre, nous avons choisi le *MS Project 2010* afin d'élaborer le planning de GANTT et le *Mind View 7* pour élaborer la WBS comme outils de travail.

3.1. Définition d'un projet :

Un projet consiste généralement en un ensemble d'activités coordonnées et maitrisées comportant des dates de début et de fin, conforme à des exigences spécifiques, incluant les contraintes de délai, de cout et de ressources. [22]

3.1.1. Caractéristiques d'un projet :

- Des objectifs clairement définis et un travail planifié.
- Un travail en équipes spécialisées et encadrées par un manager.
- Des ressources allouées.
- Des exigences précises en matière de temps, du cout et de performances.

3.1.2. Facteurs de qualité d'un projet :

Le succès du projet dépend des trois critères représentés sur la figure ci-dessous :

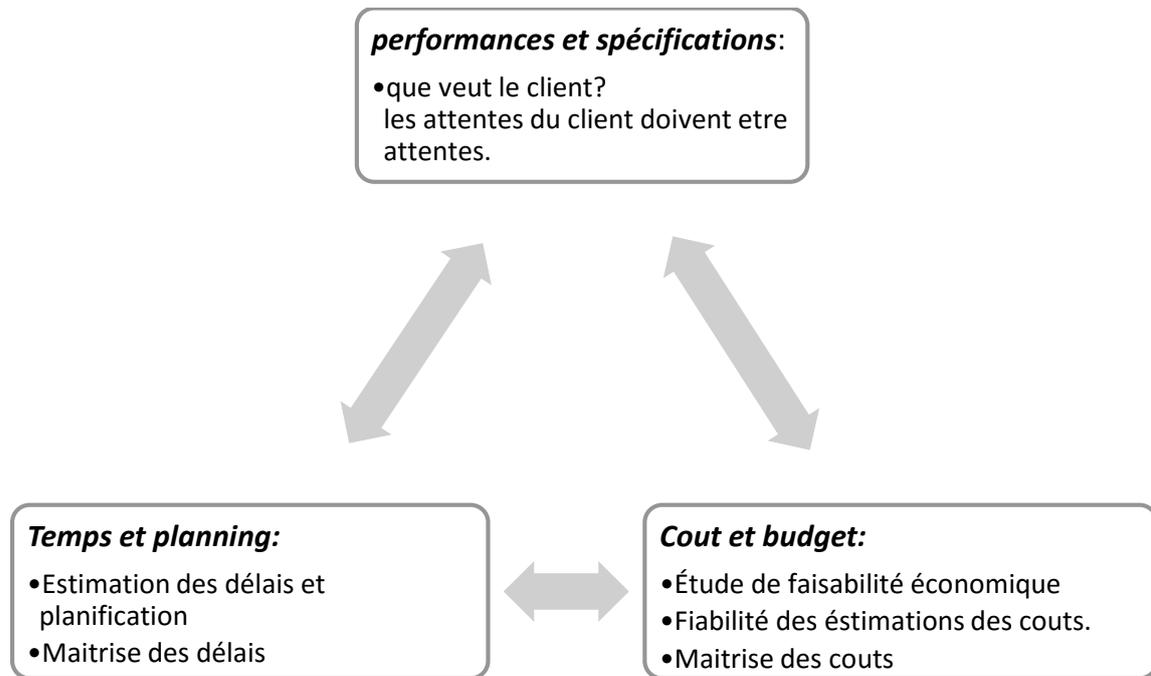


Figure 6.2. Les trois dimensions de la qualité d'un projet (triangle d'or). [23]

3.1.3. Management des projets :

Le management d'un projet englobe la planification, l'organisation, le suivi, le contrôle et le compte rendu de tous les aspects d'un projet et de l'animation des personnes impliquées pour atteindre les objectifs du projet. [24]

3.1.4. Cycle de vie de projet :

Le cycle de vie d'un projet est l'ensemble des phases définies du début du projet à sa fin. [24]

Ce cycle peut être représenté comme suit :

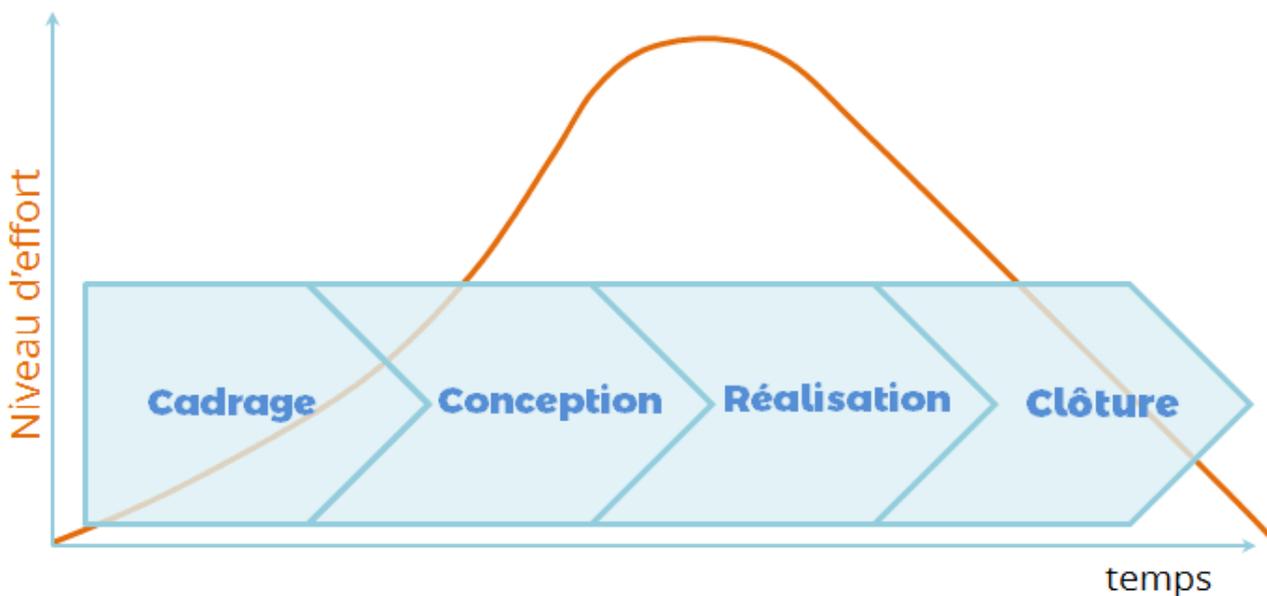


Figure 6.3. Cycle de vie d'un projet.

3.1.5. Les différents intervenants dans notre projet :

Les personnes ou les organismes impliqués dans un projet sont :

e) Le maitre d'ouvrage :

C'est celui qui définit l'objectif, le calendrier et le budget consacré au projet, aussi il choisit le maitre d'œuvre et l'entreprise de réalisation.

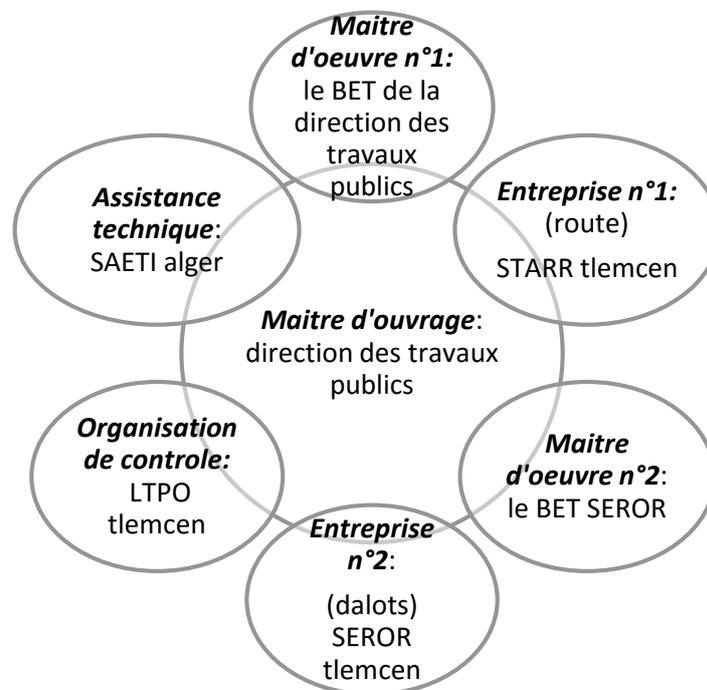
f) Le maitre d'œuvre : (BET)

C'est le conseiller technique et artistique du maitre d'ouvrage pour accomplir certaines missions avant et pendant la réalisation du projet.

g) L'entreprise :

Elle est désignée par le maitre d'ouvrage après les études des offres et liée avec le maitre d'ouvrage par un contrat (le marché).

Dans notre cas, les différents acteurs dans le projet sont :



4. PLANIFICATION DU PROJET :

Le processus de planification d'un projet s'appuie sur quatre dimensions du management de projet :[23]

- Le management du contenu du projet (WBS).
- Le management des délais du projet.
- Le management des coûts
- L'ordonnancement des ressources (humaine, matériel ou matériaux).

4.1. Management du contenu du projet :

Le management du contenu du projet comprend les processus nécessaires pour s'assurer que le projet contient tout le travail requis, et uniquement celui-ci, pour assurer la bonne fin du projet et atteindre les objectifs. On en ressort avec une structure de découpage du projet (**SDP**) aussi appelé Work Breakdown Structure (**WBS**). [23]

4.1.1. Work break-down structure : (WBS)

Un WBS de projet permet de décomposer celui-ci visuellement en unités gérables et appréhendables par tous les membres de l'équipe, chaque niveau du WBS permettant d'approfondir le détail des tâches jusqu'au niveau final. [25]

Le WBS est une approche structurée qui permet

- de visualiser l'ensemble du projet.
- D'éviter les oublis.
- De faciliter les consolidations d'information.
- D'identification des éléments du projet de plus en plus simple.

N.B : La WBS de notre projet (**voir en Annexe B**).

4.2. Management des délais :

Le management des délais du projet comprend les processus nécessaires pour achever le projet en temps voulu, il comprend les phases suivantes : [23]

- Identification des activités.
- Séquencement des activités.
- Estimation des durées des activités.
- Élaboration de l'échéancier.
- Maitrise de l'échéancier.

Pour représenter visuellement, graphiquement et chronologiquement le planning et l'état d'avancement des différentes activités qui constituent un projet, on utilise le diagramme de **GANTT**.

N.B : Planning de GANTT de notre projet (**voir en Annexe B**)

Dans le cadre du planning, les tâches sont reliées entre elles par des relations de dépendance.

- Liaison Fin-Début (FD) : l'activité amont doit s'achever avant que l'activité avale ne commence.
- Liaison Fin-Fin (FF) : l'activité amont doit s'achever avant que l'activité avale ne finisse.
- Liaison Début –Début (DD) : L'activité amont doit commencer avant que l'activité avale ne commence.
- Liaison Début-Fin (DF) : L'activité amont doit commencer avant que l'activité avale ne finisse.

N.B : L'estimation de la durée de chaque tâche doit être raisonnable. Une durée trop courte entraîne l'impossibilité de la respecter alors qu'une durée trop longue entraîne un surcout du projet.

4.3. Management des couts :

Le management des couts du projet comprend les processus de planification, d'estimation et de maîtrise des couts nécessaires pour s'assurer que le projet peut être réalisé en respectant le budget approuvé. Les méthodes d'estimation paramétriques ou analogiques, sont des estimations macro utile pour prendre la décision de faire ou ne pas faire. Mais pour une bonne planification, il faut aller dans le détail, en déterminant le taux de cout des ressources, ou bien en faisant une estimation ascendante. [23]

4.3.1. Méthode analytique : (bottum-up)

Elle permet d'évaluer le cout d'un projet à partir de la décomposition du travail à réaliser en tâches élémentaires. C'est à la fois la plus ancienne, la plus classique et la plus répandue de toutes les méthodes rationnelles d'estimation de cout.

Elle nécessite la connaissance de la structure exacte du projet et du descriptif détaillé des travaux (WBS).

4.3.2. Méthode analogique :

Le principe de la méthode analogique consiste à effectuer une extrapolation à partir des cas similaires (cas source) au cas présent (cas cible). Les cas source sont extraits de la base de données historique des projets. La structure du cas cible peut être sensiblement différente des cas source. Le résultat obtenu demande à être interprété par un deviseur expérimenté.

4.3.3. Méthode paramétrique :

Bien que fondée elle aussi sur le retour d'expérience, elle fait appel à des calculs plus complexes que dans la méthode analogique. Elle ne fonctionne que sur une famille de projets de structure identique ne différant que par la taille.

Remarque : pour notre cas nous utilisons le logiciel *MS Project* pour estimer le cout global en introduisant toutes les données concernant les tâches, leurs délais et les ressources nécessaires.

4.4. L'ordonnement des ressources

L'ordonnement des ressources a un impact majeur sur la planification, en effet, il ne s'agit pas seulement d'assigner une ressource à une tâche, il faut aussi tenir compte de son utilisation et de sa disponibilité. Les contraintes dues aux ressources peuvent influencer directement sur le délai du projet. [23]

4.4.1. Définition des ressources dans notre projet :

Après la subdivision des tâches, on doit affecter pour chacune une ou plusieurs ressources correspondantes.

Pour notre cas d'étude, on a défini les ressources suivantes :

Tableau 6.1 : Ressources utilisées dans notre projet.

4.4.2. Ressources humaines :	
• Ingénieurs.	• Coffreurs.
• Ouvriers.	• Ferrailleurs.
4.4.3. Ressources matériels :	
• Camions.	• Niveleuses.
• Case.	• Poclain.
• Compacteurs.	• Chargeur.
• Camion (B.B).	• Bulldozer.
• Cut back 0/1	• Grue.
4.4.4. Ressources matériaux :	
• Grave concassée (0/20).	• Acier.
• Grave Bitume (0/14).	• Béton de propreté.
• Béton Bitumineux.	• Béton.
• Treillis soudés.	
4.4.5. Équipements :	
• Buses et caniveaux.	• Matériel d'électricité.
• Panneaux de signalisation.	

5. RESULTATS OBTENUS :

Après avoir introduit des valeurs estimées des délais des tâches et avoir affecté à chacune ses ressources identifiées avec leurs coûts ainsi qu'avoir introduit les différents jours fériés durant la réalisation, MS Project nous a donné automatiquement la durée totale et le coût global estimatifs de notre projet :

Tableau 6.2 : Résultats obtenus pour le cas de notre étude.

Date du début de projet.	04/05/2019
Date de fin de projet.	06/08/2019
Durée totale du projet	80 jours.
Le coût global du projet (HT)	10 262 935,04 DZD
Taxe sur la valeur ajoutée (TVA 19%)	1 949 957,66 DZD
Le coût global du projet (TTC)	12 212 892,70 DZD

**Le montant du projet est de : Douze Millions Deux Cent Douze Mille Huit Cent Quatre-Vingt-Douze Dinars Et Soixante-Dix Centimes en Toutes Taxes Comprises.
(12 212 892,70 DZD)**

6. CONCLUSION :

Tout projet doit être planifié et piloté selon le processus du management. La planification des travaux est une étape recommandée qui permet de déterminer les tâches de travail et d'assurer leur bon avancement afin de minimiser les risques et de gagner sur le plan économique.

Une étude managériale d'un raccordement routier de 500 mL à l'aide du MS Project a été présentée dans le présent chapitre.

Ce logiciel sert à réaliser le diagramme de GANTT qui est un outil d'estimation de la durée et du coût de projet et il permet l'organisation des travaux en respectant le budget et la durée approuvés.

GESTION DES RISQUES :

1. INTRODUCTION :

Les processus de la gestion des risques est un instrument d'ingénierie pratique qui peut être appliqué aux études des routes en garantissant des résultats satisfaisants et des bénéfiques en ce qui concerne le temps, le cout et la sécurité.

Dans ce chapitre on vise à montrer l'utilité du management des risques dans un projet routier et sa démarche qui peut être mise en œuvre pour pallier aux aléas aux quelles le projet est soumis.

2. DEFINITION DU RISQUE :

La norme ISO 31000 :2009, Management du risque - principes et lignes directrices – propose la définition suivante : « un risque est l'effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs fixés, c'est-à-dire la possibilité qu'il y ait un écart positif ou négatif par rapport à une attente »

Les risques peuvent être classés comme suit :

- Risques techniques.
- Risques financiers.
- Risques juridiques.
- Risques professionnels et humains.

3. RISQUE-PROJET :

La norme ISO 31000 : 2009 définit le risque-projet comme un évènement dont l'apparition n'est pas certaine et dont l'effet est susceptible d'affecter les objectifs du projet, dans ses périodes d'étude, de construction et éventuellement d'exploitation.

Le risque-projet est : la possibilité que survienne un évènement dont l'occurrence entrainerai des conséquences (positives ou négatives) sur le déroulement de l'activité du projet. **[26]**

Les deux dimensions fondamentales du risque sont la probabilité d'occurrence et l'impact. Un risque peut se présenter par le produit :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

Un Aléa : est la probabilité d'occurrence d'un évènement ou d'un ensemble d'évènements conduisant à une situation dangereuse.

Une vulnérabilité : est la susceptibilité d'un système d'enjeux à subir des dommages sous l'action d'un danger.

Et donc le produit devient :

$$\begin{aligned} \text{Risque} &= (\text{Probabilité} \times \text{intensité}) \times \text{vulnérabilité} \\ &= \text{Probabilité} \times (\text{intensité} \times \text{vulnérabilité}) \\ &= \text{Probabilité} \times \text{Gravité (impact)} \end{aligned}$$

L'impact en management de projet se traduit par le niveau de perturbations causées par l'occurrence. Il y a trois types d'impacts majeurs directement reliés aux objectifs et critères de succès du projet : **[26]**

- Les impacts de type délai : dérive positive ou négative des délais du projet.
- Les impacts de type coût : économie ou surcoût par rapport au budget initial.

- Les impacts de type performance ou qualité : amélioration ou dégradation par rapport à la performance prévue.

3.1. Caractéristiques du risque-projet :

En plus de la probabilité et l'impact, le risque-projet est aussi caractérisé par les paramètres suivants : [23]

- La nature : elle se définit selon huit modalités d'ordre technique, financier, humain, organisationnel, managérial, juridique, réglementaire et commercial.
- L'origine : les risques peuvent provenir du client, du produit, des fournisseurs ou des sous-traitants, des pouvoirs publics ou des instances juridiques et réglementaires.
- La contrôlabilité : elle permet de déterminer les modes d'action possibles (choix des assurances ou de transfert de risques).
- La détectabilité : certains risques sont détectables, d'autres ne le sont pas. La détectabilité dépend de la complexité du projet et de la connaissance du projet par l'équipe en charge de l'étude des risques.
- Les conséquences : insatisfaction des bénéficiaires, abandon du projet, etc...

4. LES RISQUES DANS LE MONDE DE LA ROUTE :

Dans les organisations routières, il y a toujours eu une attention portée aux risques. Les ingénieurs ont toujours traité des risques, des vrais risques selon eux. Ils ont considérés les incertitudes comme des difficultés pour la conception des ouvrages et considéré les phénomènes naturels aléatoires extrêmes, soudains et imprévus, comme des risques semblables à l'approche des assurances.

Plusieurs aspect peuvent être considéré pour catégoriser les risques comme, par exemple, les causes, les impacts, les intérêts, etc...

Il n'existe pas une seule structure tout à fait claire pour tous les types, par conséquent, quiconque doit traiter tout type de risque créera probablement ses propres catégories en tant qu'outil de gestion. [27]

Les risques peuvent être classés selon les deux catégories naturels et anthropogéniques :

Tableau 6.3 : Exemples de risques naturels et anthropogéniques. [27]

Risques naturels	Risques anthropogéniques
<ul style="list-style-type: none"> • Glissement de terrain. • Tremblement de terre. • Inondation. • Avalanches. • Faux de forêts/ de broussailles. • Chute de pierres. • Tempête de neige/ verglas massif/ chute de neige importante. • Tempête/ tempête de pluie/ fortes précipitations. • Brouillard. • Éruption volcanique. • Sécheresse. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité informatique. • Accidents de travail. • Transport de produits dangereux. • Surcharge de poids, dépassement de hauteur. • Accident d'avion, de train ou naufrage. • Incendie. • Accidents industriels. • Explosifs/ mines en temps de guerre. • Grèves. • Terrorisme/vandalisme. • Embouteillage. • Rupture de digue.

D'autres auteurs classifient les risques comme suit :

- Risques naturels : feu de broussailles, tempêtes, inondation, tremblement de terre, ouragan, etc...
- Risques technologiques : rupture de digue, contamination de denrées alimentaires, accidents sur site industriel, etc...
- Risques biologiques : maladie se propageant via les végétaux, les animaux ou les humains.
- Risques civils ou politiques : terrorisme, sabotage, guerre civile, prise d'otage ou attaque par un pays ennemi.

Là où une organisation a adopté une approche plus large de la gestion des risques, c'est-à-dire en couvrant à la fois la gestion des risques statiques et dynamiques. [27]

Les risques peuvent aussi être classifiés comme suit :

Risques statiques : Sont inhérents partout et ne présentent que des possibilités de perte, sans contrepartie correspondante spécifique

Risques Dynamiques : liés à la mauvaise qualité de l'exploitation où il y a des possibilités de gain et de perte. La possibilité de perte est ce qu'on appelle le risque dynamique. La gestion des risques traite alors de l'appréciation des risques par rapport aux opportunités.

Tableau 6.4 : Exemples des risques dynamiques et statiques. [27]

Risques statiques.	Risques dynamiques.
<ul style="list-style-type: none"> • Nature (inondation, chute de neige importante, glissement de terrain, etc.) • Maladies • Guerres • accidents 	<ul style="list-style-type: none"> • idée • marché • développement • atteindre les objectifs d'un projet • performance de l'organisation

5. LA GESTION DES RISQUES :

Le management des risques est tout un processus qui fait appel à un ensemble de méthodes et d'outils dans le but d'apprécier ces risques passant par la procédure suivante :

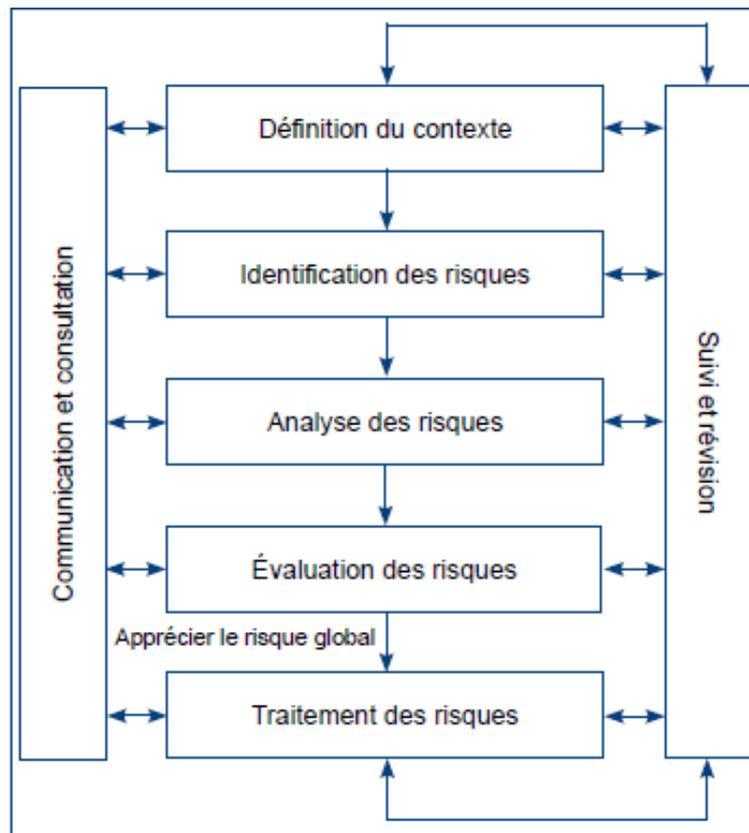


Figure 6.4. Processus de la gestion des risques. [27]

5.1. Identification du risque :

Comme premier pas, il faut identifier le risque qui perturbe le déroulement du projet, ses sources, ses évènements et ses conséquences potentielles. [28]

5.2. Analyse du risque :

Cette étape vise à comprendre le mécanisme du risque, c'est-à-dire peut-il provoquer de nouveaux risques peu identifiables à première vue. [28]

5.3. Évaluation du risque :

C'est de comparer le niveau du risque déterminé au cours du processus d'analyse aux critères de risques établis lors de l'établissement du contexte. [28]

5.4. Traitement du risque :

Pour traiter un risque plusieurs solutions sont envisageables, classifiables comme suit : accepter le risque, réduire le risque, partage du risque, transfert du risque et les moyens permettant d'éviter le risque. [28]

5.5. Surveillance du risque :

Cette étape implique l'amélioration continue du processus de management par la mise en place d'une surveillance de manière régulière. [28]

6. APPLICATION AU PROJET :

6.1. Évaluation des risques liés à notre projet :

Les incertitudes et les effets négatifs des activités et des décisions ont toujours été une préoccupation du management du projet. Afin de présenter ces différentes incertitudes on réalise une modélisation efficiente des risques de projet appelée RBS « Risk Break-down structure ».

Pour le cas de notre étude, dans le but d'identifier et évaluer les risques qu'on a pu ressortir, une classification a été faite comme le montre le tableau ci-après :

Tableau 6.5 : Classification des risques présents dans notre cas.

Nature du risque		Risque	P	G	C
Risques internes	Risques de conception et de réalisation	Conception inadaptée.	2	2	4
		Accidents du travail.	3	3	9
		Inadéquation entre la conception et la réalisation.	2	3	6
		Risque de rivein lors de passage.	1	1	1
		Problème de qualité des matériaux.	1	2	2
		Indisponibilité des matériaux.	1	2	2
		Retard dans l'approvisionnement.	2	2	4
	Risques liés aux intervenants principaux	Risques contractuels.	1	3	3
		Risques relationnels.	2	2	4
		Changement du programme.	2	2	4
Mauvaise communication.		2	2	4	
Risques externes	Risques technologiques	Performance de la technologie.	2	1	2
		Manque de technologie.	1	2	2
		Mauvaise manipulation de matériels.	1	3	3
	Risques environnementaux	Inondation.	1	2	2
		Séisme.	1	4	4
		Glissement de terrain.	4	4	16
		Risque d'effondrement des constructions voisinage.	1	1	1
		Expropriation.	4	2	8
		Grève des ouvriers.	1	3	3
	Risques économiques	Variation de taux d'intérêt, crédit.	2	2	4
		Inflation sur les prix des matériaux.	2	2	4
		Crise économique.	1	4	4
	Risques politiques	Instabilité politique.	1	3	3
Décision politique.		3	2	6	

Tableau 6.6 : Hiérarchisation de quelques risques selon leur criticité.

N°	Risque	Probabilité	Gravité	Criticité
1	Glissement de terrain.	4	4	16
2	Accidents de travail.	3	3	9
3	Expropriation.	4	2	8
4	Inadéquation entre la conception et la réalisation.	2	3	6
5	Mauvaise communication.	2	2	4
6	Grève des ouvriers.	1	3	3

7. MATRICE DES RISQUES :

Les matrices de risques sont les outils les plus utilisés pour l'évaluation des risques. En général, les matrices permettent d'obtenir une classification homogène des risques. Toutefois, il n'existe pas de matrice universelle pour toutes les applications. Une matrice doit être calibrée pour chaque contexte. [27]

7.1. Choix des mesures :

Utiliser cette matrice d'évaluation pour hiérarchiser les mesures pour chaque facteur de risque. Ceci entraîne trois classes de priorités : [27]

- **Rouge** : éviter le risque (risque critique).
- **Jaune** : réduction ou transfert du risque (risque modéré).
- **Vert** : acceptation du risque (risque limité).

Après avoir évalué ces risques, on n'a qu'à les classer dans la matrice des risques pour savoir le gérer et les traiter.

		Impact			
		Mineur	Majeur	Grave	critique
Facteurs des risques		1	2	3	4
Probabilité (%)	Très élevée	4	R3	R1	
	Élevée	3		R2	
	Modérée	2	R5	R4	
	Faible	1		R6	

Figure 6.5. Matrice d'appréciation des risques étudiés.

7.2. Traitement des risques :

Sur la matrice des risques on a les trois types principaux qu'on doit traiter selon le processus du management des risques :

Risque	Stratégie de réponse	Prévention et traitement
Glissement de terrain	Traiter	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place des systèmes de drainage et des ouvrages de soutènement. - Plantation des arbres sur les talus.
Accidents de travail.	Transférer (assurance)	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place des équipements de protection individuelle. - Disponibilité d'une ambulance.
Expropriation.	indemnisation	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement des dossiers administratifs anticipé.

8. CONCLUSION :

La prise de conscience qu'un projet routier ne peut être réalisé sans risques est de plus en plus croissante. Ces risques peuvent être gérés, minimisés, partagés, transférés ou simplement acceptés mais ils ne peuvent être ignorés.

Nous avons appliqué la procédure de gestion des risques sur notre cas d'étude, on a pu ressortir différents types de risques, les évaluer et les classer selon leur criticité dans la matrice des risques et finalement on a essayé de traiter certains, comme le glissement de terrain et les accidents de travail, de façon à les accepter ou à les transférer.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a été l'opportunité et l'occasion d'acquérir plusieurs notions liées au domaine routier en particulier et pour la vie d'ingénierie en général.

L'objectif primordial de l'étude routière étant la sécurité et le confort des conducteurs, on a tenté d'étudier le trafic estimé à un débit de 1067 véhicule/h pour une durée de vie de 15 ans. Ensuite on est passé par l'étude géométrique dans laquelle les rayons des virages, les dévers et la déclivité ont été définis selon le règlement Algérien B40.

Le tracé du tronçon reliant Oudjlida à Boudjlida, son profil en long et ses profils en travers ont été conçus par le logiciel COVADIS.

La chaussée étant neuve, elle a été dimensionnée par la méthode CBR qui nous a donné la structure suivante : couche de roulement (6 BB), couche de base (10 GB) et couche de fondation (15 GC) avec, en dessous, une couche de forme de fin réglage.

Notre tracé passe par un ouvrage de franchissement, avant d'aboutir au dimensionnement de ce dalot, on a fait une étude hydrologique dans laquelle les paramètres physiques du bassin versant sont définis. Ainsi, les dimensions de l'ouvrage ont été définies à une section de (3,5x2,45) m².

Ensuite, après la modélisation du modèle géométrique du dalot par le logiciel SAP2000, nous avons obtenu les résultats du ferrailage avec des sections en utilisant des barres allant du HA12 à HA25 en assurant la stabilité au niveau de l'ouvrage soumis aux charges et surcharges qui lui sont appliquées.

A la fin, nous avons entamé la partie managériale qui apparaît nécessaire dans le domaine routier. En général nous avons défini qu'est-ce qu'un cycle de projet, on a défini aussi tous ses acteurs et leurs rôles et responsabilités. Nous avons présenté quelques méthodes et outils concernant le management et la planification, parmi ces outils nous avons choisi logiciel MS Project sur lequel on a fait une application et grâce auquel nous avons estimé qu'il faut environ un budget de (12 212 892,70 DZD) et un délai de 80 jours pour la réalisation de ce tronçon routier. Finalement nous avons évoqué quelques notions de gestion des risques dans les projets routiers suivant la norme ISO 31000.

Enfin, la réalisation de ce mémoire nous a permis d'appliquer les connaissances acquises durant les cinq années de formation universitaire et de maîtriser les outils informatiques notamment, AUTOCAD, COVADIS, SAP2000 et MS Project, en espérant de pouvoir exploiter ces connaissances dans la vie pratique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [3] : B40.Normes technique d'aménagement des routes. Algérie : ministre des travaux Publics, octobre1977.
- [4] : Roger, Coquand. Route circulation tracé et construction. Livre1. Paris. p258.
- [5] : DJELTI, A.Z ; HATTOU, M. Etude de la réhabilitation du chemin de wilaya CW54.mémoire d'ingénieur. Tlemcen : juillet 2009.pp 12-80 p86.
- [6] : Sétra (1994), Aménagement des routes principales (Guide technique).
- [7] : LCPC ; SETRA. Réalisation des remblais et des couches de forme ; Guide technique fascicule 1et2. 2éme édition. Paris : Bagneux, juillet 2000.p 102.
- [8] : RAMPIGNON.J, Grand LYON – DV – VQ Laboratoire, Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée, Lyon, 2009. p106
- [9] : CHETIOUI, B., & BELHADJI, F. (2008). Étude en APD de dédoublement de la RN90A sur 7,4 Km tronçon Mostaganem CW 24 avec aménagement de carrefour. École National des travaux publics, Algérie.
- [10] : CTTT. Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves Paris : ministère des travaux publics, 2001.
- [11] : CTTT, SETRA, Catalogue des structures types de chaussées neuves Paris : ministres de L'équipement Des transports et du logement édition 1998.
- [12] : SETRA, l'entretien courant de l'assainissement de la route, décembre 1998.
- [13] : SETRA, assainissement routier, guide technique, octobre 2006.
- [14] : François ; G, Brière. Distribution et collecte des eaux. 2éme édition : Ecole polytechnique de Montréal, 2000. p399.
- [15] : SETRA, L'eau et la Route ; Dispositifs de traitement des eaux pluviales .Volume 7.Paris : Bagneux, 1997.
- [16] : SETRA, Aide aux choix solutions d'assainissement et de drainage sur les routes existantes ; méthodologie pratique et efficace de recherche de solutions d'assainissement. Paris : Bagneux, 1993. p77.
- [17] : <http://www.sens-etudes.fr/signalisation.php>
- [18] : Ministère des travaux publics, Arrêté et instruction interministériels, 15/07/1974.
- [19] : Site officiel de l'Agence nationale de développement de l'investissement (ANDI), secteur du transport. Consulté le 1/04/2019.
- [20] : ZAALANE. A, Conférence « projets structurants du secteur des Travaux Publics et des Transports : stratégie et état d'exécution », 15/02/2018.
- [21] : site officiel du ministère des Travaux Publics et des Transports, schéma directeur routier et autoroutier, consulté le 1/04/2019.
- [22] : Norme ISO 9001, Système de management de la qualité, 2015.

[23] : BENHADJI. W, risque projet et méthodes de management des risques projet : quelle approche pour une contribution a une meilleure planification d'un projet de construction ?, Tlemcen, Master Génie civil, 2014. 89p

[24] : Norme ISO 21500, Lignes directrices sur le management de projet, 2012.

[25] : BENAMAR.M et KHALILI.Z, étude technique et économique d'un bâtiment Etude technico-économique d'un bâtiment 2 Sous – Sols, 2 Entresols, RDC + 10 étages à usage multiple, Tlemcen, Master en génie civil, 2015.93 p

[26] : GOURC. D, Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services. Habilitation à Diriger des Recherches, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 2006.

[27] : Association mondiale de la route (AIPCR), vers le développement d'une approche de gestion des risques, France, 2004. p196

[28] : HAMIDOU. M.I, méthode AMDEC cas du tunnel ferroviaire tronçon oued (Tellilet-Tlemcen), Tlemcen, Master Génie Civil, 2014. p100

[1] : <http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/09/monographie-de-la-wilaya-detlemcen.html> . Consulté le 13/3/2019

[2] : GOOGLE EARTH. Consulté le 13/03/2019.

Annexe A:

=====

RECAPITULATIF DU CALCUL DES CUBATURES DE DEBLAI, DE REMBLAI ET DE DECAPAGE

=====

Surface totale de décapage = 9094.719 m²

Volume total de décapage = 1823.113 m³

Volume total de déblai = 17467.72 m³

Volume total de remblai = 10815.33 m³

=====

TABLEAU RECAPITULATIF DES CUBATURES DE DEBLAI ET REMBLAI PAR PROFIL

=====

Volume total de déblai = 17467.72 m³

Volume total de remblai = 10815.33 m³

N° P.T.	Abscis. profil	Long. appli.	D E B L A I S			R E M B L A I S		
			Surf.	Volume	V.cumul.	Surf.	Volume	V.cumul.
1	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	9.542	190.842	190.842
2	40.000	40.000	14.272	570.883	570.883	19.226	769.036	959.878
3	80.000	24.488	0.000	0.000	570.883	23.625	578.534	1538.412
4	88.977	20.000	0.000	0.000	570.883	25.130	502.602	2041.013
5	120.000	21.801	0.000	0.000	570.883	31.622	689.375	2730.389
6	132.578	20.000	57.903	1158.063	1728.946	0.000	0.000	2730.389
7	160.000	24.911	126.946	3162.400	4891.346	0.171	4.266	2734.655
8	182.401	20.000	100.387	2007.732	6899.078	0.000	0.000	2734.655
9	200.000	15.239	31.047	473.137	7372.215	0.000	0.000	2734.655
10	212.880	14.837	3.086	45.788	7418.003	6.026	89.412	2824.067
11	229.674	13.560	0.000	0.000	7418.003	76.534	1037.803	3861.869
12	240.000	25.163	0.000	0.000	7418.003	205.36	5167.490	9029.360
13	280.000	24.920	0.000	0.000	7418.003	48.461	1207.650	10237.01
14	289.840	20.000	0.000	0.000	7418.003	28.910	578.208	10815.217
15	320.000	35.080	9.088	318.822	7736.826	0.000	0.000	10815.217
16	360.000	40.000	50.770	2030.810	9767.636	0.000	0.000	10815.217
17	400.000	25.573	74.796	1912.734	11680.37	0.000	0.000	10815.217
18	411.145	20.000	76.648	1532.967	13213.33	0.000	0.000	10815.217
19	440.000	30.083	68.942	2073.995	15287.33	0.000	0.000	10815.217
20	471.312	20.000	87.606	1752.112	17039.44	0.000	0.000	10815.217
21	480.000	4.344	98.592	428.284	17467.72	0.000	0.000	10815.217

=====

TABLEAU RECAPITULATIF DES EMPRISES ET DU DECAPAGE DU T.N.

=====

Surface totale de décapage = 9115.566 m²

Volume total de décapage = 1823.113 m³

N° P.T.	Abscis. profil	Long. appli.	E M P R I S E			D E C A P A G E D U T N			
			Gauche	Droite	Total	Haut.	Surf.	Volume	V.cumul.
1	0.000	20.000	5.347	5.051	10.398	0.20	207.97	41.594	41.594
2	40.000	40.000	6.942	12.832	19.774	0.20	790.97	158.193	199.787

3	80.000	24.488	6.517	7.079	13.596	0.20	332.95	66.590	266.377
4	88.977	20.000	6.325	7.026	13.351	0.20	267.01	53.403	319.780
5	120.000	21.801	7.390	5.750	13.140	0.20	286.46	57.291	377.071
6	132.578	20.000	6.660	19.339	26.000	0.20	519.99	103.998	481.070
7	160.000	24.911	5.363	19.422	24.785	0.20	617.43	123.486	604.556
8	182.401	20.000	7.132	15.660	22.792	0.20	455.85	91.169	695.725
9	200.000	15.239	6.825	11.345	18.170	0.20	276.90	55.381	751.106
10	212.880	14.837	6.192	7.618	13.810	0.20	204.90	40.981	792.087
11	229.674	13.560	8.984	13.236	22.219	0.20	301.29	60.258	852.345
12	240.000	25.163	9.189	18.747	27.937	0.20	702.97	140.594	992.939
13	280.000	24.920	8.027	9.154	17.181	0.20	428.16	85.633	1078.572
14	289.840	20.000	7.437	6.854	14.292	0.20	285.83	57.167	1135.738
15	320.000	35.080	7.650	6.539	14.189	0.20	497.75	99.551	1235.289
16	360.000	40.000	9.532	9.877	19.409	0.20	776.35	155.270	1390.559
17	400.000	25.573	10.826	10.580	21.406	0.20	547.40	109.480	1500.040
18	411.145	20.000	10.895	10.615	21.510	0.20	430.21	86.042	1586.081
19	440.000	30.083	10.759	10.130	20.890	0.20	628.43	125.686	1711.767
20	471.312	20.000	11.795	10.893	22.687	0.20	453.75	90.750	1802.516
21	480.000	4.344	12.431	11.276	23.707	0.20	102.98	20.597	1823.113

=====

TABLEAU RECAPITULATIF DE L'UTILISATION DES MATERIAUX

=====

Nom du matériau = BB

Volume total sur le projet = 201.600 m³

N° P.T.	Abscis. profil	DEMI-PROFIL GAUCHE		DEMI-PROFIL DROIT		TOTALISATIONS		
		Surface.	Volume	Surface	Volume	Surf.	Volume	V.cumul.
1	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	8.400
2	40.000	0.210	8.400	0.210	8.400	0.420	16.800	25.200
3	24.488	0.210	5.143	0.210	5.143	0.420	10.285	35.485
4	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	43.885
5	21.801	0.210	4.578	0.210	4.578	0.420	9.156	53.041
6	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	61.441
7	24.911	0.210	5.231	0.210	5.231	0.420	10.463	71.904
8	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	80.304
9	15.239	0.210	3.200	0.210	3.200	0.420	6.401	86.705
10	14.837	0.210	3.116	0.210	3.116	0.420	6.231	92.936
11	13.560	0.210	2.848	0.210	2.848	0.420	5.695	98.631
12	25.163	0.210	5.284	0.210	5.284	0.420	10.569	109.200
13	24.920	0.210	5.233	0.210	5.233	0.420	10.466	119.666
14	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	128.066
15	35.080	0.210	7.367	0.210	7.367	0.420	14.734	142.800
16	40.000	0.210	8.400	0.210	8.400	0.420	16.800	159.600
17	25.573	0.210	5.370	0.210	5.370	0.420	10.741	170.341
18	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	178.741
19	30.083	0.210	6.318	0.210	6.318	0.420	12.635	191.376
20	20.000	0.210	4.200	0.210	4.200	0.420	8.400	199.776
21	4.344	0.210	0.912	0.210	0.912	0.420	1.824	201.600

=====

Nom du matériau = GB

Volume total sur le projet = 134.400 m³

N° P.T.	Abscis. profil	DEMI-PROFIL GAUCHE		DEMI-PROFIL DROIT		TOTALISATIONS		
		Surface.	Volume	Surface	Volume	Surf.	Volume	V.cumul.
1	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	5.600
2	40.000	0.140	5.600	0.140	5.600	0.280	11.200	16.800
3	24.488	0.140	3.428	0.140	3.428	0.280	6.857	23.657
4	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	29.257
5	21.801	0.140	3.052	0.140	3.052	0.280	6.104	35.361
6	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	40.961
7	24.911	0.140	3.488	0.140	3.488	0.280	6.975	47.936
8	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	53.536
9	15.239	0.140	2.134	0.140	2.134	0.280	4.267	57.803
10	14.837	0.140	2.077	0.140	2.077	0.280	4.154	61.958
11	13.560	0.140	1.898	0.140	1.898	0.280	3.797	65.754
12	25.163	0.140	3.523	0.140	3.523	0.280	7.046	72.800
13	24.920	0.140	3.489	0.140	3.489	0.280	6.978	79.778
14	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	85.378
15	35.080	0.140	4.911	0.140	4.911	0.280	9.822	95.200
16	40.000	0.140	5.600	0.140	5.600	0.280	11.200	106.400
17	25.573	0.140	3.580	0.140	3.580	0.280	7.160	113.560
18	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	119.160
19	30.083	0.140	4.212	0.140	4.212	0.280	8.423	127.584
20	20.000	0.140	2.800	0.140	2.800	0.280	5.600	133.184
21	4.344	0.140	0.608	0.140	0.608	0.280	1.216	134.400

Nom du matériau = GC

Volume total sur le projet = 168.000 m³

N° P.T.	Abscis. profil	DEMI-PROFIL GAUCHE		DEMI-PROFIL DROIT		TOTALISATIONS		
		Surface.	Volume	Surface	Volume	Surf.	Volume	V.cumul.
1	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	7.000
2	40.000	0.175	7.000	0.175	7.000	0.350	14.000	21.000
3	24.488	0.175	4.285	0.175	4.285	0.350	8.571	29.571
4	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	36.571
5	21.801	0.175	3.815	0.175	3.815	0.350	7.630	44.201
6	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	51.201
7	24.911	0.175	4.359	0.175	4.359	0.350	8.719	59.920
8	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	66.920
9	15.239	0.175	2.667	0.175	2.667	0.350	5.334	72.254
10	14.837	0.175	2.596	0.175	2.596	0.350	5.193	77.447
11	13.560	0.175	2.373	0.175	2.373	0.350	4.746	82.193
12	25.163	0.175	4.404	0.175	4.404	0.350	8.807	91.000
13	24.920	0.175	4.361	0.175	4.361	0.350	8.722	99.722
14	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	106.722
15	35.080	0.175	6.139	0.175	6.139	0.350	12.278	119.000
16	40.000	0.175	7.000	0.175	7.000	0.350	14.000	133.000
17	25.573	0.175	4.475	0.175	4.475	0.350	8.950	141.950
18	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	148.950
19	30.083	0.175	5.265	0.175	5.265	0.350	10.529	159.480

20	20.000	0.175	3.500	0.175	3.500	0.350	7.000	166.480
21	4.344	0.175	0.760	0.175	0.760	0.350	1.520	168.000

=====

TABLEAU RECAPITULATIF DES MATERIAUX UTILISES PAR LES PROFILS

=====

N°	L.App	M A T E R I A U	Surface.	Volume.	V.cumul.
1	20.000	BB	0.420	8.400	8.400
1	20.000	GB	0.280	5.600	5.600
1	20.000	GC	0.350	7.000	7.000
2	40.000	BB	0.420	16.800	25.200
2	40.000	GB	0.280	11.200	16.800
2	40.000	GC	0.350	14.000	21.000
3	24.488	BB	0.420	10.285	35.485
3	24.488	GB	0.280	6.857	23.657
3	24.488	GC	0.350	8.571	29.571
4	20.000	BB	0.420	8.400	43.885
4	20.000	GB	0.280	5.600	29.257
4	20.000	GC	0.350	7.000	36.571
5	21.801	BB	0.420	9.156	53.041
5	21.801	GB	0.280	6.104	35.361
5	21.801	GC	0.350	7.630	44.201
6	20.000	BB	0.420	8.400	61.441
6	20.000	GB	0.280	5.600	40.961
6	20.000	GC	0.350	7.000	51.201
7	24.911	BB	0.420	10.463	71.904
7	24.911	GB	0.280	6.975	47.936
7	24.911	GC	0.350	8.719	59.920
8	20.000	BB	0.420	8.400	80.304
8	20.000	GB	0.280	5.600	53.536
8	20.000	GC	0.350	7.000	66.920
9	15.239	BB	0.420	6.401	86.705
9	15.239	GB	0.280	4.267	57.803
9	15.239	GC	0.350	5.334	72.254
10	14.837	BB	0.420	6.231	92.936
10	14.837	GB	0.280	4.154	61.958
10	14.837	GC	0.350	5.193	77.447
11	13.560	BB	0.420	5.695	98.631
11	13.560	GB	0.280	3.797	65.754
11	13.560	GC	0.350	4.746	82.193
12	25.163	BB	0.420	10.569	109.200
12	25.163	GB	0.280	7.046	72.800
12	25.163	GC	0.350	8.807	91.000
13	24.920	BB	0.420	10.466	119.666
13	24.920	GB	0.280	6.978	79.778
13	24.920	GC	0.350	8.722	99.722
14	20.000	BB	0.420	8.400	128.066
14	20.000	GB	0.280	5.600	85.378
14	20.000	GC	0.350	7.000	106.722
15	35.080	BB	0.420	14.734	142.800
15	35.080	GB	0.280	9.822	95.200

15	35.080	GC	0.350	12.278	119.000
16	40.000	BB	0.420	16.800	159.600
16	40.000	GB	0.280	11.200	106.400
16	40.000	GC	0.350	14.000	133.000
17	25.573	BB	0.420	10.741	170.341
17	25.573	GB	0.280	7.160	113.560
17	25.573	GC	0.350	8.950	141.950
18	20.000	BB	0.420	8.400	178.741
18	20.000	GB	0.280	5.600	119.160
18	20.000	GC	0.350	7.000	148.950
19	30.083	BB	0.420	12.635	191.376
19	30.083	GB	0.280	8.423	127.584
19	30.083	GC	0.350	10.529	159.480
20	20.000	BB	0.420	8.400	199.776
20	20.000	GB	0.280	5.600	133.184
20	20.000	GC	0.350	7.000	166.480
21	4.344	BB	0.420	1.824	201.600
21	4.344	GB	0.280	1.216	134.400
21	4.344	GC	0.350	1.520	168.000

===== TABLEAU

RECAPITULATIF DES TABULATIONS ET DES PENTES DE DEVERS

=====

N° P.T	Abscis. Profil.	Elément		Altitude T.N.	Altitude Projet	Abscisse (X)	Ordonnée (Y)	Dévers	
		axe	pro					gauche	droit
1	0.000	AD	AD-	590.723	591.767	651183.47	3866301.06	-2.500	-2.500
2	40.000	AD	AD-	588.326	590.119	651205.26	3866334.60	-2.500	-2.500
3	80.000	AD	RP	587.096	589.050	651227.05	3866368.14	-2.500	-2.500
4	88.977	Arc	RP	586.929	589.026	651231.94	3866375.67	6.000	-2.500
5	120.000	Arc	AD+	586.663	589.478	651250.41	3866400.57	6.000	-2.500
6	132.578	AD	AD+	591.517	589.727	651258.75	3866409.98	-2.500	-2.500
7	160.000	AD	AD+	595.818	590.270	651277.46	3866430.04	-2.500	-2.500
8	182.401	Arc	AD+	593.727	590.713	651292.73	3866446.42	6.000	-2.500
9	200.000	Arc	AD+	592.790	591.062	651304.28	3866459.70	6.000	-2.500
10	212.880	AD	AD+	590.857	591.317	651312.11	3866469.92	-2.500	-2.500
11	229.674	Clo	AD+	587.376	591.649	651321.99	3866483.50	-2.500	-2.500
12	240.000	Clo	AD+	582.016	591.854	651328.08	3866491.84	6.000	-2.500
13	280.000	Clo	AD+	589.027	592.646	651353.43	3866522.75	6.000	-2.500
14	289.840	Arc	AD+	590.536	592.841	651360.47	3866529.61	6.000	-2.500
15	320.000	Arc	AD+	594.009	593.438	651384.60	3866547.62	6.000	-2.500
16	360.000	Arc	RP	597.215	594.246	651421.22	3866563.42	6.000	-2.500
17	400.000	Arc	AD+	600.199	595.907	651460.71	3866569.00	6.000	-2.500
18	411.145	Clo	AD+	600.808	596.421	651471.85	3866568.67	6.000	-2.500
19	440.000	Clo	AD+	601.721	597.755	651500.36	3866564.42	-2.500	-2.500
20	471.312	AD	AD+	604.129	599.201	651530.70	3866556.69	-2.500	-2.500
21	480.000	AD	AD+	605.044	599.603	651539.08	3866554.39	-2.500	-2.500

Annexe B:

WBS: RACCORDEMENT ROUTIER ENTRE BOUDJLIDA ET OUDJLIDA.

