

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

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



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

Mémoire de Master

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art

Thème :

Etude de la liaison autoroutière reliant l'autoroute Est Ouest

à l'échangeur RN3/RN75 sur 10 km

- Nom et Prénom de l'étudiant :

ALHENDI Ayman Najib.

- Encadreur :

Dr. REMADNA Mohamed Saddek.

Année universitaire : 2019 - 2020

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à : A mes parents que dieu leur procure bonne santé et longue vie.
A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet ; ma femme, et bien
sur A mon fils Amir, sans oublié mes frères, sœurs et mes amis : Issam Al Bahlouli, Ben
Abderrezak Abdelnacer et à tout mes amis en Algérie et en Yémen. Et à tous ceux qui ont
contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

ALHENDI Ayman

Remerciement

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, Dr. REMADNA Mohamed Saddek, Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je tiens tout d'abord à remercier les membres du jury pour leur présence, pour leur lecture attentive de ma thèse ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer mon travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs de Mohammed Kheider université, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Résumé

Notre projet de fin d'étude rentre dans le domaine des infrastructures de transport, et en particulier des routes. Ce projet présente une étude détaillée d'une liaison de l'autoroutière (BATNA – MILA) sur un tronçon de 10 Km.

La croissance économique d'un pays se base principalement sur le développement des infrastructures Routières indispensables pour le transport des individus et des marchandises.

La responsabilité du Développement durable de ces infrastructures incombe au secteur des travaux publics, qui doit Réfléchir continuellement à des solutions adéquates pour remédier aux différents problèmes Rencontrés sur le réseau routier. Tout en assurant la fluidité du trafic, la sécurité routière et le confort Pour les usagers des routes.

L'accroissement des différentes activités socio-économiques génère progressivement L'amplification du trafic routier qui, par la suite, peut causer la saturation des axes routiers exploités.

La liaison autoroutière constitue la principale solution Conséquence de l'intensification du trafic routier.

Dans ce thème la liaison autoroutière d'un tronçon routier de 10 km (Du PK 5 au PK 15) situé dans la wilaya de BATNA sera étudié

Abstract

Our final study project concerns the transport infrastructure and roads in particular. It presents a detailed study of a highways that links (BATNA - MILA) along with 10 km.

The country economic growth is based mainly on the development of road infrastructure as it is essential for the transport of both individuals and goods.

The public works sector is responsible for the sustainable development of these infrastructures.

It must continually think about the appropriate solutions for road network's problems. It also works to ensure traffic flow, road safety and comfort for road users.

The increase in the various socio-economic activities gradually generates the amplification of road traffic, which can subsequently cause the saturation of roads.

The highway link is the main consequence of the increase in road traffic.

In this study , the highway link of a 10 km stretch of road (from PK 5 to PK 15) which is located in the wilaya of BATNA will be studied

Sommaire

CHAPITRE I: DESCRIPTION DU PROJET.

I.1.Introduction:	1
I.2 Aperçu sur la Wilaya de BATNA.....	2
I.2.1: Situation géographique:	2
I.2.2: Conditions climatiques:	2
I.2.3: Population :	2
I.2.4: Réseau routier:	3
I.3: Présentation générale :	3
I.4: Présentation du tronçon à étudier :	4
I.5: Objectif du projet:	5

CHAPITRE II: ETUDE DU TRAFIC.

II.1: Introduction :	6
II.2. Définitions :	6
II.3. L'analyse des trafics existants :	7
II.4. Différents types de trafics :	7
II.4.a. Trafic normal :	7
II.4.b. Trafic dévié :	7
II.4.c. Trafic induit :	7
II.4.d. Trafic total :	7
II.5. Modelés de présentation de trafic :	8
II.5.1. Prolongation de l'évolution passée :	8
II.5.2. Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques :	8
II.5.3. Modèle gravitaire :	8
II.5.4. Modèle de facteurs croissance :	9
II.6. Capacité des voies :	9
II.7. La procédure de détermination de nombre de voies :	10
II.7.1. Trafic à un horizon donné « TJMA _h » :	10
II.7.2. Trafic effectif :	10
II.7.3. Débit de pointe horaire normal :	11
II.7.4. Débit horaire admissible :	11
II.7.5. Calcul du nombre de voies :	12
II.8 :8. Application Au Projet :	13
II.9 : Conclusion :	15

CHAPITRE III: DIMENSIONNMENT DU CORPS DE CHAUSSEE.

III.1 : Introduction :	16
III.2 : Types de Chaussée :	16
III.2.1: Chaussée semi-rigide :	17
III.2.2: Chaussée souple :	17
III.2.2.a: Couche de roulement (surface) :	17
III.2.2.b: Couche de base :	17
III.2.2.c: Couche de fondation :	17
III.2.2.d: Couche de forme :	18

III.3: Les Paramètres Pris En Compte Pour Le Dimensionnement Des Chaussées :	19
III.4: Les Méthodes De Dimensionnement :	19
III.4.1: Méthode California – Bearing – Ratio (CBR):	19
III.4.1.1: Conclusion :	22
III.4.2: Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :	23
III.5: Choix des différentes couches constituantes de la chaussée :	27
III.5.1: Proposition de la structure :	27
III.5.2. Choix de dimensionnement :	27
III.5.3: Conclusion :	27
III.6: Calcul de la déformation admissible sur le sol support :	28
III.7: Calcul de la déformation admissible et.ad à la base de GB :	28
III.7.1: Température équivalente :	28
III.7.2: Matériaux :	28
III.8: Vérification à la fatigue des structures et de la déformation du sol support :	30

CHAPITRE IV: ETUDE GEOMETRIQUE.

IV.1 : Introduction :	31
IV.1.1: Vitesse de référence (de base). Vitesse pratiquée. Vitesse réglementaire :	31
IV.2. Catégorie Des Autoroutes De Liaison Selon L'ICTAAL :	32
IV.3. Présentation Du Logiciel :	33
IV.4. Trace En Plan :	35
IV.4.1. Définition :	35
IV.4.2 : Valeurs limites des rayons de courbures en plan « ICTAAL » :	36
IV.4.3: Courbe de raccordement en plan :	36
IV.4.3.1: Description du tracé :	37
IV.5. Profil En Long :	38
IV.5.1 : Définition :	38
IV.5.2 : Description du tracé :	38
IV.6. Profil En Travers :	39
IV.6.1 : Définition :	39
IV.6.2 : Profil type du projet :	39
IV.6.3: Terminologie :	39
IV.6.3.1: Emprise :	39
IV.6.3.2: Plateforme :	39
IV.6.3.3: Chaussée :	39
IV.6.3.4: Le terreplein central (T.P.C) :	39
IV.6.3.5: Accotement :	40
IV.6.4: Déversement transversal des chaussées :	40
IV.7: Trace Dans L'espace :	41
IV.7.1: Définition :	41
IV.7.2: Exigences du tracé dans l'espace :	42
IV.7.2.a: Confort optique :	43
IV.7.2.b: Le confort psychologique :	43

CHAPITRE V: CUBATURE.

V.1 : Introduction :	44
V.2: Définitions :	44
V.3: Méthodes De Calcul Des Cubatures :	44
V.4: Exemple D'application :	45

CHAPITRE VI: ETUDE GEOTECHNIQUE.

VI.1: Introduction :	47
VI.2: Programme de reconnaissance géotechnique :	48
VI.2.1: Essais in Situ :	48
VI.2.2: Essais Au laboratoire :	49
VI.3: Reconnaissance du site :	49
VI.3.1: Situation :	49
VI.3.2: L'aspect géomorphologique du site :	49
VI.3.3: Le climat :	50
VI.3.4: La sismicité de la région :	51
VI.5: Essais physiques et mécaniques :	52
VI.6: Classe de portance des sols supports de la route :	55

CHAPITRE VII: ETUDE DE L'ECHANGEUR.

VII.1: Introduction:	57
VII.2: Définition et rôle d'un échangeur:	57
VII.2.1: Définition :	57
VII.2.2: Rôle d'un échangeur :	57
VII.3 : Différents types d'échangeurs:	58
VII.3.1: Echangeur majeur :	58
VII.3.1.1: Echangeur en trèfle complet:	58
VII.3.1.2: Echangeur « En turbine » :	58
VII.3.1.3: Echangeur à niveaux :	59
VII.3.2: Echangeur mineur :	59
VII.3.2.1: Losange :	59
VII.3.2.2: Demi-trèfle :	59
VII.4: Caractéristiques géométriques des échangeurs :	60
VII.4.1: Pont :	60
VII.4.2: Carrefour plan :	60
VII.4.3: Bretelles :	60
VII.5: Conditions d'implantation d'un échangeur :	61
VII.6: Choix de L'échangeur:	61
VII.7: Application au projet:	62

CHAPITRE VIII: OUVRAGE D'ART.

VIII.1. Introduction :	66
VIII.2: Définition d'un pont :	67
VIII.3: Choix et type d'ouvrage :	67
VIII.4: Inconvénients et avantages pour chaque type de pont :	68
VIII.4.1 : Ponts à poutres :	68

VIII.4.2 : Ponts voûtés :	68
VIII. 4. 3 : Pont en arc :	69
VIII.4.4 : Ponts suspendus :	69
VIII. 4.5: Ponts haubanés (à haubans) :	70
VIII.5: Conclusion :	70
VIII.6: Présentation du pont de l'échangeur :	71
VIII.6.1: Données naturelles :	71
VIII.6.2 : Données fonctionnelles :	71
VIII.7. : Choix et type d'ouvrage :	72
VIII.8: Inconvénients et les avantages pour chaque type de variante :	72
VIII.8.1: Première variante (Pont à poutres en béton précontraint) :	72
VIII.8.2: Deuxième variante Pont mixte (acier/ béton) :	73
VIII.9: Comparaison des deux variantes :	73
VIII.10: Conclusion :	73

CHAPITRE IX: ASSAINISSEMENT.

IX.1: Introduction:	74
IX.2 : Drainage de la route :	74
IX.3 : But de l'assainissement :	74
IX.4: Hydrologie :	75
IX.4.1: Caractéristiques des averses :	75
IX.4.2 : Précipitation :	75
IX.5: Evacuation des quantités d'eau recueillies :	76
IX.6: Principe de la méthode :	77
IX.7: Débit d'apport :	77
IX.8: Débit de saturation :	79
IX.9: Définitions des ouvrages d'évacuations :	79
IX.10: Dimensionnement des ouvrages d'évacuation :	79
IX.11: Conclusion :	80

CHAPITRE X: SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS.

X.I: Signalisation :	81
X.I.1: Introduction :	81
X.I.2: Règles A Respecter Pour La Signalisation :	81
X.I.3: Définition et les objectifs de panneaux de signalisation routière :	81
X.I.4: Catégories De Signalisation :	81
X.I.5: Types De Signalisation :	82
X.I.5.a: Signalisation verticale :	82
X.I.5.b: Signalisation horizontale :	82
X.I.6: Application au Projet :	84
X. II: Equipements :	90
X.II.1. L'éclairage public :	90
X.II.1.1: Introduction :	90
X.II.1.2. Critères fonctionnels en éclairage public :	90
X.II.1.3. Catégories d'éclairage :	90
X.II.1.4. Paramètre de l'implantation des luminaires :	91
X.II.1.5. Eclairage appliqué à notre projet :	91

X.II.2. Dispositifs de sécurité :	92
X.II.2.1. Glissières de sécurité :.....	92
X.II.2.2. La murette de protection en béton armé :	92
X.II.2.3. Application au projet :.....	93
CHAPITRE XI Devis Quantitatif Et Estimatif :	94

NOTATIONS

Les notations suivantes utilisées dans le présent mémoire :

BB	Béton bitumineux.
GB	Grave bitume.
GNT	Grave non traiter.
TVO	Toute venant d'oued.
TMJA	Trafic moyen journalier annuel.
U.V.P	Unité de véhicule particulier.
T_0	Le trafic à l'arrivée pour origine (à l'année zéro).
T_n	Le trafic à l'année horizon.
τ	Le taux de croissance annuel du trafic.
Z	Le pourcentage de poids lourds.
CBR	Californian Bearing Ratio.
P	Le coefficient d'équivalence de poids lourd.
K1	Coefficient lié à l'environnement.
K2	Coefficient de réduction de capacité.
S	Coefficient traduisant la dissymétrie dans la répartition du trafic,
Q_n	Débit de Pointe horaire normal.
Q_{adm}	Débit admissible.
Cth	Capacité théorique des routes.
N	Le nombre de voies.
ϵ_6	Déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).
.	
K_{ne}	Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.
K_θ	Facteur lié à la température.
K_r	Facteur lié au risque et aux dispersions.
K_c	Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussée.
.	
TCE_i	Trafic en nombre cumule d'essieux équivalents de 13t sur la durée de considérée.
b	Pente de la droite fatigue ($b < 0$).
$E(10^\circ\text{C})$	Module complexe du matériau bitumineux à 10°C .
$E(\theta_{eq})$	Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente.
δ	f(dispersion).
S_N	Dispersion sur la loi fatigue.
S_h	Dispersion sur les épaisseurs.
C	Coefficient égale à 0.02.
t	Fractile de la loi normale qui est fonction du risque.
$\epsilon_{z.adm}$	La déformation admissible sur le sol support.
$\epsilon_{t.adm}$	La déformation admissible à la base de grave bitume.

Introduction Générale

Après l'indépendance, l'Algérie est entrée dans un autre grand combat qui est la révolution économique et social pour maintenir le pays et lui rendre sa place sur le terrain international et cela passe par l'amélioration et la modernisation de ses infrastructures de base notamment les infrastructures routières afin de désenclaver les localités isolées facilitant ainsi les déplacements et les échanges commerciaux.

C'est pour cela que l'état algérien a pris la politique de construire les routes pour arriver aux zones agricoles et aux zones industrielles en commençant par rétablir et aménager le réseau routier que le colonialisme a laissé et peu à peu après pour atteindre un certain développement économique. On a commencé à réaliser de grandes infrastructures et parmi celles ci on trouve l'autoroute Est-Ouest qui relie plusieurs wilayas du nord du pays.

La wilaya de **BATNA** doit être reliée à cette autoroute par le biais du projet Nord-Sud dit pénétrante.

La direction des travaux publics de la wilaya **BATNA** chargée de l'exécution de cette infrastructure routière a bien voulu nous faire part des documents d'un tronçon routier de cette pénétrante qui fait l'objet de ce projet de fin d'étude.

Les différentes étapes de calcul du projet seront présentées dans la suite de ce document.

Chapitre I

Description du projet

I.1. Introduction :

L'histoire de la route est intimement liée au niveau de développement technologique et de la croissance économique des nations et des civilisations.

La route romaine dont les traces sont encore visibles à ce jour, témoigne de l'avancée industrielle de l'empire romain et la place privilégiée accordée aux réseaux de communication.

La route n'est pas la seule infrastructure de transport, on trouve aussi d'autres moyens comme le chemin de fer, les voies aériennes et les voies maritimes, mais le transport routier est dominant, et même si les technologies de l'information se développent, les déplacements routiers liés tant à la vie quotidienne qu'au tourisme sont des réalités incontournables pour encore de nombreuses années.

La route joue un rôle moteur dans l'aménagement du territoire, elle favorise l'implantation d'activités économiques et industrielles et réduit les coûts de transport et donc de production.

I.2 : Aperçu sur la wilaya de BATNA :**I.2.1: Situation géographique :**

La wilaya de Batna est située au nord-est de l'Algérie, dans la région des Aurès. Elle est délimitée comme suit :



Figure I.1: Wilayas limitrophes de la wilaya de Batna.

I.2.2: Conditions climatiques :

Le Climat de la ville de Batna est celui d'une région semi-aride. La température moyenne est de 4°C en janvier et de 35°C en juillet. Durant l'hiver la température descend en dessous de zéro la nuit avec souvent des gelées (présence de verglas sur les chaussées). Durant l'été la température peut atteindre les 45°C à l'ombre. La pluviométrie moyenne est de 210 mm par ans.

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	juin.	juil.	août.	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	7	8	9	9	12	15	17	19	14	11	6	7	11,1
Température maximale moyenne (°C)	16	17	18	20	23	26	27	29	26	23	16	16	21,4
Précipitations (mm)	112	84	74	41	46	15	1	5	41	79	130	137	764
Nombre de jours avec pluie	12	8	5	6	3	3	2	2	3,2	2	10	14	70
Record de froid (°C)	-11	-8	-5	3,8	3,8	9,4	13,4	13,8	11,6	7,2	-4	-10	-9
Record de chaleur (°C)	24,4	30	28,8	37,2	41,2	44,6	41,1	47,2	44,4	37,7	32,4	29,1	47,2

Tableau I.1: Données climatiques à BATNA.

I.2.3: Population :

La population de la wilaya de Batna est estimée à fin 2013 à 1 225 300 Hab, La densité moyenne de la population de la wilaya est de 102 Habitants au km². La commune de Batna avec 319 742 Hab est de loin la plus peuplée.

I.2.4: Réseau routier :

Le réseau routier de la wilaya de Batna a une longueur totale de 3 506,07 Km, répartis comme suit :

- Routes nationales : 804 300 km.
- Chemins de wilaya : 650 400 km.
- Chemins communaux : 1 334 620 km.
- Pistes : 719 750 km.

I.3: Présentation générale :

La pénétrante de Batna est la première des autoroutes qui doivent relier l'Autoroute Est-Ouest à l'Autoroute des Hauts Plateaux. Celle de Batna n'a été validée qu'en 2013 alors que jusque-là la ville de Batna ne devait être reliée qu'à travers les dédoublements de la **RN3** en direction de Constantine et de la **RN75** en direction de **Sétif**.

Le tracé de cette pénétrante traverse les territoires des wilayas de Mila, Oum El Bouaghi et Batna, depuis la sortie autoroutière de Chelghoum Laïd, jusqu'à la ville de Batna, en croisant les **RN75** et **RN3**.

Elle est longue de **90km** avec un profil en 2x2 voies.

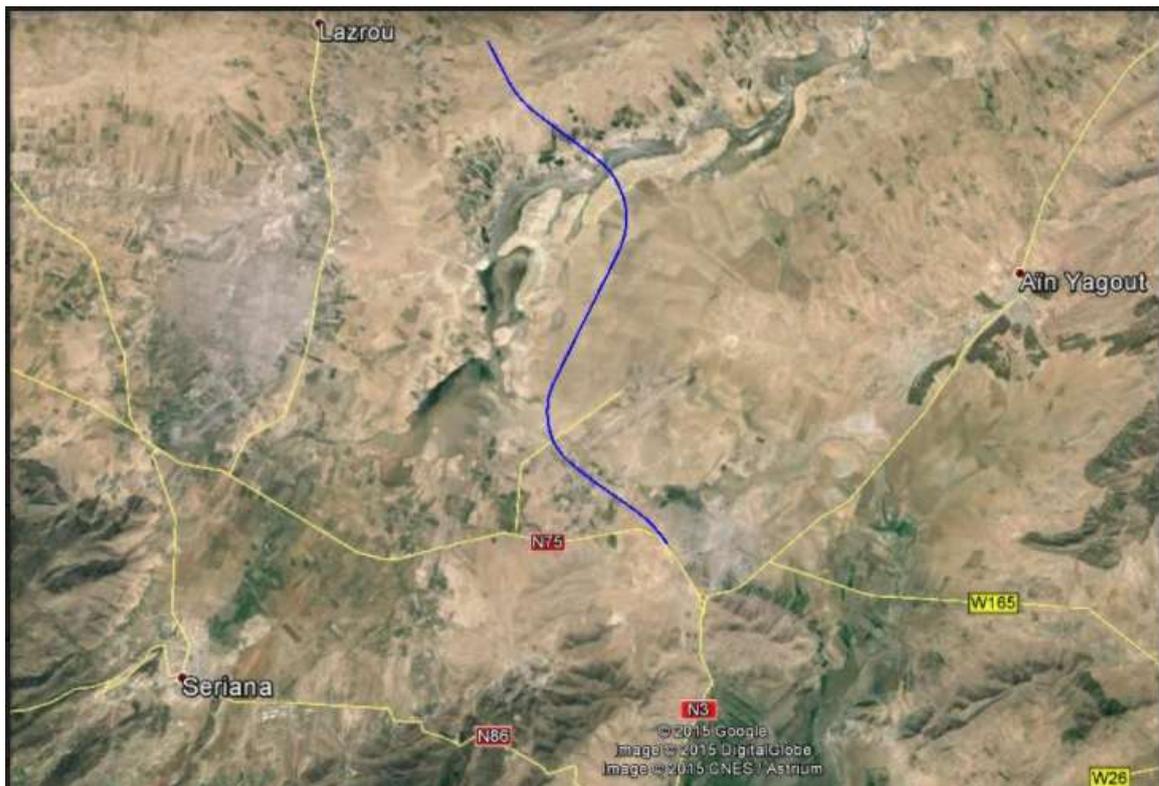


Figure I.2: Le tracé du projet.

I.4: Présentation du tronçon à étudier :

Notre projet consiste à aménager un tronçon routier de **10km** qui débutera au niveau de **PK 5+000** allant vers le point d'arrivée **PK 15+000**. Ce nouvel aménagement nécessite la réalisation de quelques ouvrages d'arts tels que :

Un Echangeur au niveau de **PK 5+740** à l'intersection de la pénétrante avec la route nationale **RN75**.

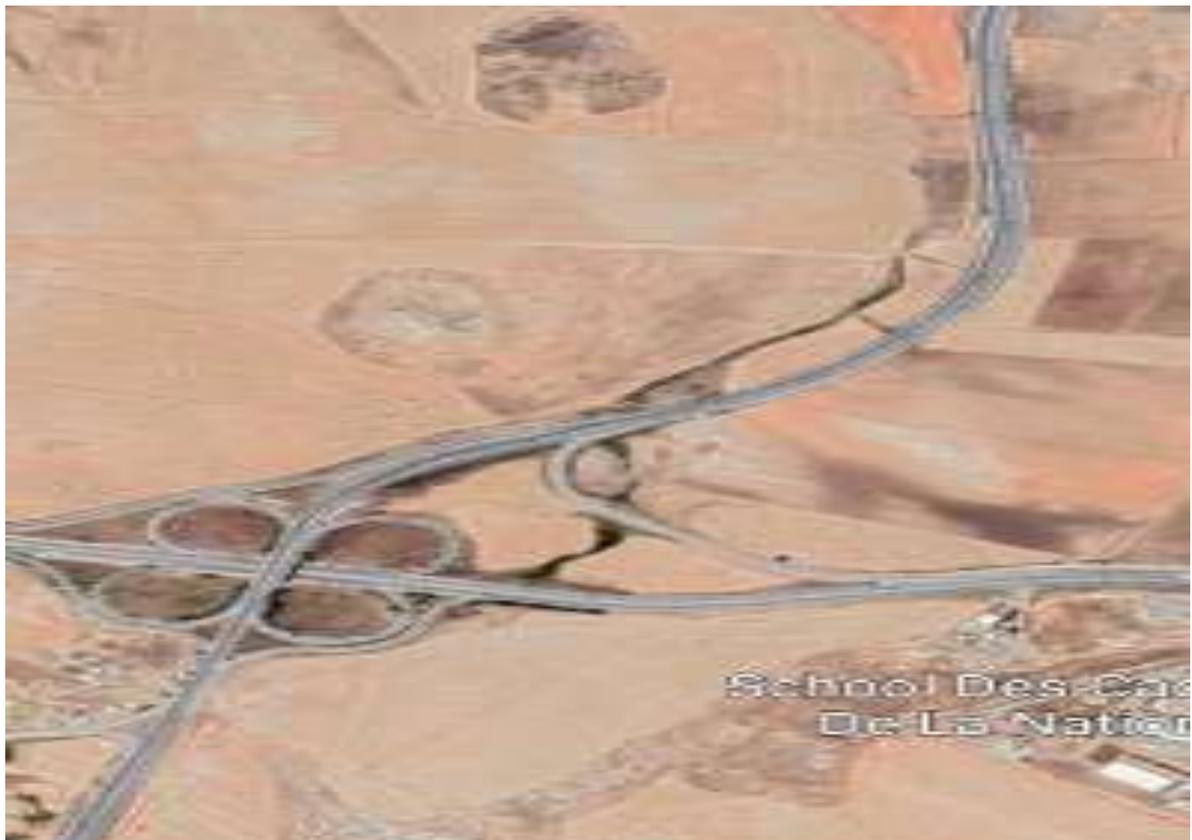


Figure I.3: Notre projet par Google earth.

I.5: Objectif du projet :

- Relier la wilaya de **BATNA** à l'autoroute Est-Ouest.
- Améliorer le niveau de service de la route et sa sécurité en réduisant le temps de passage sur elle.
- Augmenter la capacité de la route.
- Offrir un nouvel axe de développement et d'échange entre les deux Wilayas de **BATNA** et **MILA** et réduire ainsi considérablement les coûts de transport.
- Permettre un gain de temps pour les usagers de l'actuelle **RN75**.

Chapitre II

Etude de trafic

II.1. INTRODUCTION :

Il convient tout d'abord de rappeler que la forte croissance du nombre de déplacements est directement liée à des hypothèses de croissance démographique et d'emplois très ambitieuses.

Ces hypothèses se traduisent nécessairement par un accroissement du trafic assuré par la route. La pénétrante nord-sud de **BATNA** vers l'autoroute est-ouest ne permet pas d'éviter cette augmentation du nombre de déplacements routiers par rapport à la situation actuelle. La saturation du réseau routier risque donc de s'aggraver entraînant une diminution de l'accessibilité routière.

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

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

II.2. DEFINITIONS :

Dans le domaine de l'étude des trafics, il est nécessaire de fixer les définitions des termes couramment employés :

- ✓ **Trafic de transit** : origine et destination en dehors de la zone étudiée (important pour décider de la nécessité d'une déviation)
- ✓ **Trafic d'échange** : l'origine est à l'intérieur de la zone étudiée et la destination à l'extérieur de la zone d'échange et réciproquement (important pour définir les points d'échange).
- ✓ **Trafic local** : trafic qui se déplace à l'intérieur de la zone étudiée.
- ✓ **Trafic moyen journalier annuel (T.M.J.A.)** égal au trafic total de l'année divisé par 365.
- ✓ **Unité de véhicule particulier (U.V.P.)** exprimé par jour ou par heure, on tient compte de l'impact plus important de certains véhicules, en particulier les poids lourds en leur affectant un coefficient multiplicateur qui est fonction de l'environnement (vallonné ou plat...etc).
- ✓ Les trafics aux heures de pointe (les heures de pointe du matin HPM, et les heures de pointe du soir HPS).

- ✓ Le trafic journalier de fin de semaine.
- ✓ Le trafic journalier moyen d'été : important pour les régions estivales.

II.3. L'ANALYSE DES TRAFICS EXISTANTS :

Plusieurs méthodes permettent de recueillir des informations de nature et d'intérêt variable en ce qui concerne les trafics. On veille cependant à adapter le niveau de connaissances aux besoins. Le coût des investigations conduit à limiter celles-ci à ce qui est nécessaire mais on s'attache à disposer aussi de l'ensemble des éléments permettant de décider en connaissance de cause. Il est également nécessaire de choisir l'outil de mesure susceptible de fournir les informations nécessaires.

Enfin, on peut être amené à procéder en plusieurs étapes et à affiner l'étude de trafic au fur et à mesure de l'avancement de l'étude de l'ensemble du projet.

- ✚ Les méthodes utilisées peuvent être classées en deux catégories :
 - Celles qui permettent de quantifier le trafic : les comptages (automatiques, manuels, directionnels, directionnel par numéro de voiture ou film).
 - Celles qui en outre permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs : les enquêtes de circulation (simplifiées, complète, de stationnement, mesure de vitesse, pesées d'essieux).

II.4. DIFFERENTS TYPES DE TRAFICS :

On distingue quatre types de trafics :

II.4.a. Trafic normal :

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

II.4.b. Trafic dévié :

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

II.4.c. Trafic induit :

C'est le trafic nouveau dû à l'aménagement, qui ne s'effectuaient pas antérieurement à cause de la mauvaise qualité de la route par exemple c'est un trafic qui avant se faisaient ailleurs d'autre destinations.

II.4.d. Trafic total :

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

II.5. MODELES DE PRESENTATION DE TRAFIC :

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

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

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

II.5.1. Prolongation de l'évolution passée :

La méthode consiste à extrapoler globalement au cours des années à venir, l'évolution des trafics observés dans le passé.

On établit en général un modèle de croissance du type exponentiel.

- Le trafic « T_n » à l'année « n » sera :

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

Soit :

T_0 : Le trafic à l'arrivée pour origine (à l'année zéro).

T_n : Le trafic à l'année horizon.

τ : le taux de croissance annuel du trafic.

II.5.2. Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques :

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

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

II.5.3. Modèle gravitaire :

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

II.5.4. Modèle de facteurs croissance :

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

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

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

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

II.6. CAPACITE DES VOIES :

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

- ✚ La capacité dépend :
 - ✓ Des distances de sécurité (en milieu urbain ce facteur est favorable, il l'est beaucoup moins en rase campagne, où la densité de véhicules sera beaucoup plus faible).
 - ✓ Des conditions météorologiques.
 - ✓ Des caractéristiques géométriques de la route.

➤ **Capacités pratiques des routes :**

Ces valeurs sont valables pour des sections en rase campagne, hors zones de carrefour et pour des régions relativement plates. Unité : UVP / jour.

Si on raisonne sur les débits journaliers les résultats sont les suivants pour une route à une seule chaussée à deux ou trois voies de 3,50 m, ou pour des chaussées séparées de 2xn voies.

Type de voie	Seuil de gêne	Seuil de saturation
2 voies	8500	15000
3 voies	12000	20000
2x2 voies	25000	45000
2x3 voies	40000	65000

Tableau II.1 : Capacités pratiques des routes.

II.7. LA PROCEDURE DE DETERMINATION DE NOMBRE DE VOIES :

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

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

II.7.1. Trafic à un horizon donné « TJMA_h » :

Du fait de la croissance annuelle du trafic, le TJMA évolue d'une année à l'autre.

- Soit TJMA_h le trafic à l'année horizon.
- Soit TJMA₀ le trafic à l'année zéro. On a:

$$\text{TJMA}_h = \text{TJMA}_0 \times (1 + \tau)^n \quad \text{« } \tau, n \text{ sont définies précédemment ».}$$

II.7.2. Trafic effectif :

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

Pour cela, on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL en uvp (tableau ci-dessous).

✚ Le trafic effectif est donné par la relation :

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

T_{eff} : trafic effectif à l'horizon, en (uvp/j)

Z : pourcentage de poids lourds.

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

Environnement	E1	E2	E3
Routes à bonnes caractéristique	2-3	4-6	8-12
Routes étroites	3-6	6-12	16-24

Tableau II.2 : Coefficient d'équivalence du poids lourds.

II.7.3. Débit de pointe horaire normal :

Le débit de pointe horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon h. Il est donné par la formule suivante :

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

En général, on retient $(1/n) = 0,12$.

Soit :

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

Q : est exprimé en UVP/h

II.7.4. Débit horaire admissible :

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

$$Q_{\text{adm}} (\text{UVP/h}) = K_1 \times K_2 \times C_{\text{th}}$$

Avec :

✓ K_1 : coefficient lié à l'environnement.

$K_1 = 0,75$ pour E1, $K_1 = 0,85$ pour E2 et $K_1 = 0,90$ à $0,95$ pour E3.

✓ K_2 : coefficient de réduction de capacité.

- Les valeurs usuelles de K_2 sont données par le tableau suivant :

Environnement	Catégorie de la Route				
	1	2	3	4	5
E ₁	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E ₂	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E ₃	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau II.3: catégories des routes.

C_{th} : La capacité théorique pour des conditions normales de trafic prend les valeurs moyennes ci-dessous :

- * Route à 2 voies de 3,5m : 1500 à 2000 UVP/h.
- * Route à 3 voies de 3,5m : 2400 à 3200 UVP/h.
- * Route à chaussées séparées : 1500 à 1800 UVP/h/voie/sens.

II.7.5. Calcul du nombre de voies :

- **Cas d'une chaussée bidirectionnelle :**

On compare Q à Q_{adm} en prend le profil permettant d'avoir : $Q \leq Q_{adm}$

- **Cas d'une chaussée unidirectionnelle :**

Le nombre de voie par chaussée est le nombre entier : $n = S \times Q / Q_{adm}$

Avec :

S : coefficient traduisant la dissymétrie dans la répartition du trafic, en général il est pris égal à 2/3.

II.8.APPLICATION AU PROJET :

Pour notre cas, nous utilisons la première méthode « prolongation de l'évolution passée », parce qu'elle intègre l'ensemble des variables économiques de la région.

- **Données de trafic :**

- Année de comptage du trafic : 2017.
- Le trafic à l'année 2017 : $TJMA=16\ 650/2 =8325\ v/J/sens.$
- Le taux d'accroissement annuel du trafic $\tau =3.5\%$.
- La vitesse de base sur le tracé $VB=120\ Km/h.$
- Le pourcentage de poids lourds $Z=20\%$.
- L'année de mise en service : 2020.
- La durée de vie du projet : 20ans.

- Le coefficient d'équivalence de poids lourd : Pour une route à bonne caractéristique et un environnement E_1 on a $P=3$
- Les coefficients correcteurs :
 $K_1=0.75$ pour E_1 .
 $K_2= 1$ pour E_1 et C_1 .
- La capacité théorique : $C_{th}= 1500$ (E_1 , C_1 et pour une chaussée séparée à 2 voies)

- **Projection future de trafic :**

Avec :

- ✓ $TJMA_h$: trafic à l'horizon (année de mise en service 2020).
- ✓ $TJMA_0$: trafic à l'année zéro (origine 2017).
- ✓ $TJMA_{2020}= 8325. (1 + 0,035)^3 =9230\ v/J/sens.$
- ✓ $TJMA_{2040}=9230. (1 + 0,035)^{20} =18\ 366\ v/J/sens.$
- ✓ $TJMA_{2040}=18\ 366\ v/J/sens.$

- **Calcul de trafic effectif :**

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

Avec :

- ✓ $P= 3$ (terrain vallonné) : coefficient d'équivalence pris pour convertir le poids lourd.
- ✓ Z : le pourcentage de poids lourds.
- ✓ $T_{eff}=18\ 366 [(1 - 0.20) +3 \times 0.20] =25\ 712\ uvp/J$

$$T_{eff} = 25\ 712\ uvp/J$$

• **Débit de Pointe horaire normal :**

C'est le nombre de véhicules susceptibles d'emprunter la route à l'année d'horizon : il est donné par la formule :

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

Avec :

✓ « 1/n » : coefficient de pointe horaire pris est égal à 0.12

$$✓ Q_n = 0.12 \times 25\,712 = 3085 \text{ uvp/h}$$

$$Q_n = 3085 \text{ uvp/h}$$

• **Débit admissible :**

Le débit que supporte une section donnée :

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

Avec :

✓ K_1 et K_2 sont des coefficients correcteurs.

✓ C_{th} : capacité théorique.

$$Q_{adm} = 0,75 \times 1 \times 1500 = 1\,125 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{adm} = 1\,125 \text{ (uvp/h)}$$

• **Le nombre de voies :**

$$N = S \cdot Q / Q_{adm}$$

Avec :

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

$$N = (2 / 3) \times (3085 / 1125) = 1,83 \approx 2.$$

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

➤ **Résultats de calcul :**

JMA ₂₀₁₇ (V/j/sens)	JMA ₂₀₂₀ (V/j/sens)	TJMA ₂₀₄₀ (V/j)	Teff ₂₀₄₀ (Uvp/j)	Q _{adm} (Uvp/h)	Nombre de Voies Par sens
8325	9230	18 366	25 712	1 125	2

Tableau II.5 : Résultats de calcul.

• **Calcul de l'année de saturation :**

$$T_{eff2020} = [(1 - 0.20) + 3 \times 0.20] \times 9230 = 12922 \text{ (uvp/j)}$$

$$T_{eff2020} = 12\,922 \text{ (uvp/J)}$$

D'où :

$$Q_{2020} = 0,12 \times 12922 = 1551 \text{ (uvp/h)}.$$

Et on a :

$$Q_{\text{Saturation}} = 4 \times Q_{\text{adm}}$$

$$Q_{\text{Saturation}} = 4 \times 1125 = 4500 \text{ (uvp/h).}$$

$$Q_{\text{Saturation}} = (1 + \tau)^n \times Q_{2020}$$

$$n = (\ln(Q_{\text{saturation}}/Q_{2020})) / (\ln(1 + \tau))$$

D'où :

$$n = (\ln(4500/1551)) / (\ln(1 + 0,035)) = 31 \text{ ans}$$

Donc l'année de saturation = 2020+31=2051

II.9. CONCLUSION :

Le profil en travers de notre projet, selon l'étude de trafic, est composé de : **(2×2) voies de 3,5m de largeur.**

La saturation surviendra **31 ans** après l'année de mise en service soit en **2051**.

Chapitre III

Dimensionnement du corps de chaussée

III.1. INTRODUCTION:

• La présente étude a pour but de déterminer la structure ainsi que le type du corps de chaussée en prenant en compte tous les facteurs liés à son dimensionnement tels que le trafic, les propriétés de sol, le climat, la rentabilité, le niveau de service, l'entretien et les matériaux, etc.

• L'étude géotechnique nous a permis d'évaluer la portance du sol (indice **CBR**) le long du tracé du tronçon, ce qui nous offre la possibilité du dimensionnement du corps de chaussée optimal pour éliminer l'influence des charges des poids lourds sur le sol support.

III.2. TYPES DE CHAUSSEE:

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

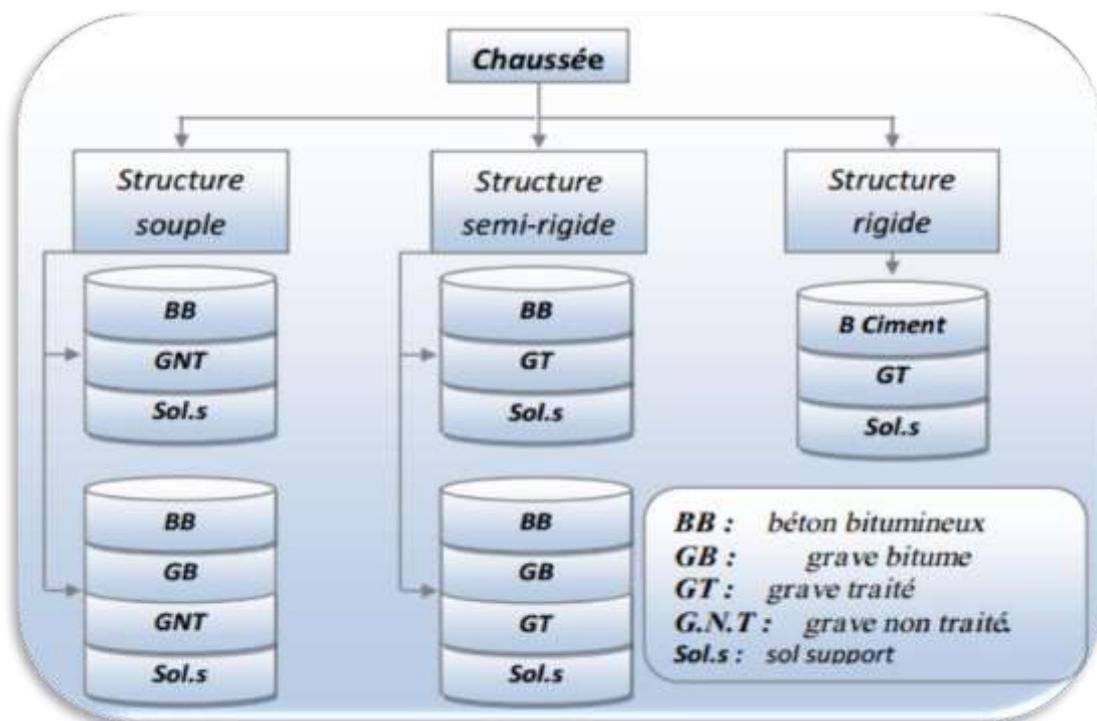


Figure III.1: Schéma récapitulatif de différents constituants de la chaussée.

III.2.1. Chaussée semi-rigide :

Représente une faible déformabilité, comporte une couche de base et quelques fois une couche de fondation traitée aux liants hydrauliques (ciment, laitier...)

III.2.2. Chaussée souple :

- La chaussée souple est constituée de deux éléments constructifs :
 - Les sols et matériaux pierreux granulométrie étalée ou serrée.
 - Les liants hydrocarbonés qui donnent de la cohésion en établissant des liaisons souples entre les grains de matériaux pierreux.

La chaussée souple se compose généralement de trois couches différentes :

III.2.2.a. Couche de roulement (surface) :

La couche de surface est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures. Elle a pour rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoqué par la circulation.

- Elle est en général composée d'une couche de roulement qui a pour rôle :
 - D'imperméabiliser la surface de chaussée.
 - D'assurer la sécurité (par l'adhérence) et le confort des usages (diminution de bruit).

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

III.2.2.b. Couche de base :

Elle reprend les efforts verticaux et répartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

III.2.2.c. Couche de fondation :

Elle a le même rôle que celui de la couche de base.

III.2.2.d. Couche de forme :

Elle est prévue pour répondre à certains objectifs à court terme.

- Sol rocheux : joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface ;
- Sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée) : Elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement.

Actuellement, on tient compte d'améliorer la portance du sol support à long terme, par la couche de forme.

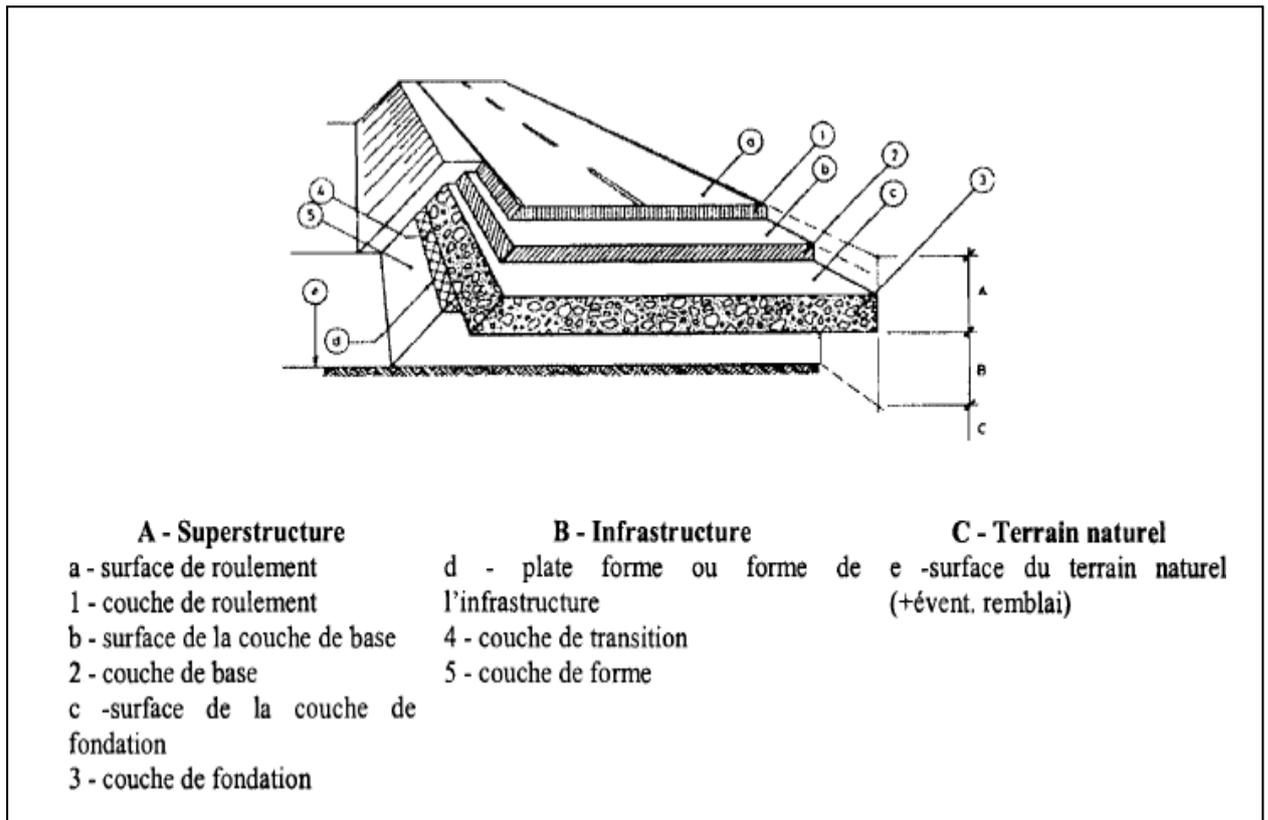


FIGURE III.2: Nomenclature d'une chaussée.

III.3. LES PARAMETRES PRIS EN COMPTE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES :

Les critères pris en compte pour dimensionner une chaussée sont :

- Le trafic.
- La qualité de la plate-forme support de la chaussée.
- Les caractéristiques des matériaux disponibles.
- Les conditions climatiques.

III.4. LES METHODES DE DIMENSIONNEMENT:

Diverses méthodes de dimensionnement du corps de chaussée existent.

A titre exemple, en Algérie on peut citer deux méthodes ont comme point commun leurs prises en considération le trafic circulant sur la voie à construire et du sol utilisé :

III.4.1. Méthode California – Bearing – Ratio (CBR):

C'est une méthode **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 l'application de la formule présentée ci-après ;

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

Avec :

e: épaisseur équivalente.

I: indice CBR (sol support).

N: désigne le nombre journalier de poids lourd par sens.

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

- L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

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

Où:

a₁, a₂, a₃ : coefficients d'équivalence.

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches.

❖ **Notion de l'épaisseur équivalente :**

La notion de l'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques différentes des couches et l'épaisseur équivalente d'une couche est égale à son épaisseur réelle multipliée par un coefficient numérique « a » appelé coefficient d'équivalence. L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs équivalentes des couches : $E_{eq} = \sum e_i (reel) \times a_i$

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

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

Matériaux utilisé	Coefficients d'équivalences
Béton bitumineux – Enrobé dense	2.00
Grave bitume	1.50 à 1.70
Grave ciment-Grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concassée ou Gravier	1.00
Grave roulée-Grave sableuse TVO	0.75
Sable	0.50
Tuf	0.60

Tableau III.1: Les coefficients d'équivalence des matériaux utilisés.

❖ **Remarque :**

Pour le calcul de l'épaisseur réelle de la chaussée on fixe « e_1 » et « e_2 » et on calcule « e_3 », généralement les épaisseurs adoptées sont :

- e_1 : épaisseur de la couche de roulement BB.
- e_2 : épaisseur de la couche de base GB.
- e_3 : épaisseur de la couche de fondation GNT ,GC.

BB =6 - 8 cm ; GB= 10 - 15 cm ; GNT =15 - 25 cm ; TVO= 25cm et plus.

❖ **Méthode CBR :**

➤ **Données de l'étude :**

- Année de comptage :2017.
- $TJMA_{2017}=8325$ v/J/sens.
- Mise en service : 2020.
- Durée de vie : 20 ans.
- Indice CBR : 2.3
- Taux d'accroissement : $\tau = 3,5$ %.
- Pourcentage de poids lourds : $Z = 20$ %.

➤ **Répartition de trafic :**

$$TJMA_{2020} = 8325 (1+0,035)^3 = 9230 \text{ v/J/sens}$$

$$TJMA_{2040} = 9230 (1+0,035)^{20} = 18\ 366 \text{ v/J/sens}$$

$$TPL_{2040} = 18\ 366 \times 0.20 \times 0,90 = 3\ 306 \text{ PL/J/sens}$$

Avec :

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

$$e = \frac{100 + \sqrt{6,5}(75 + 50 \log \frac{3306}{10})}{2.3 + 5} = 84\text{cm}$$

Cette épaisseur peut être convertie en plusieurs couches selon la disponibilité des matériaux et leurs caractéristiques en tenant compte des coefficients d'équivalence :

On a proposé les matériaux suivants de chaque couche : $E_{eq} = \sum e_i (reel) \times a_i$

- Couche de roulement (béton bitumineux) $a_1 = 2$
- Couche de base (grave bitume) $a_2 = 1.5$
- Couche de fondation (grave concasse) $a_3 = 1$

Pour calcul des épaisseurs, on fixe deux dans les marges suivantes et on déduit la dernière :

$$e = 8 \times 2 + 15 \times 1.5 + 46 \times 1 = 84.5\text{cm}$$

Alors :

Couches de	Epaisseur réelle (cm)	Epaisseur équivalente (cm)
Roulement BB	8	8x2
Base GB	15	15x1.5
Fondation GNT	46	46x1
Total	69	84.5

Tableau III.2: Récapitulatif des résultats « CBR ».

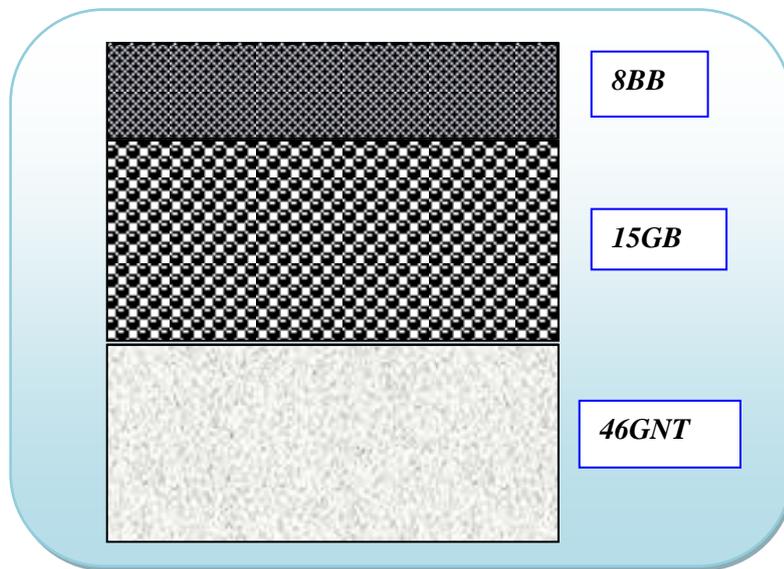


FIGURE III.3: Différentes couches de la chaussée.

Conclusion :

En fin de compte, nous adoptons une épaisseur réelle de $e = 69$ cm, avec :

- Une couche de roulement (**BB**) de **8 cm** ;
- Une couche de base (**GB**) de **15 cm**.
- Une couche de fondation (**GNT**) de **46 cm**.

III.4.2. Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

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

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

- Approche théorique.
- Approche empirique.

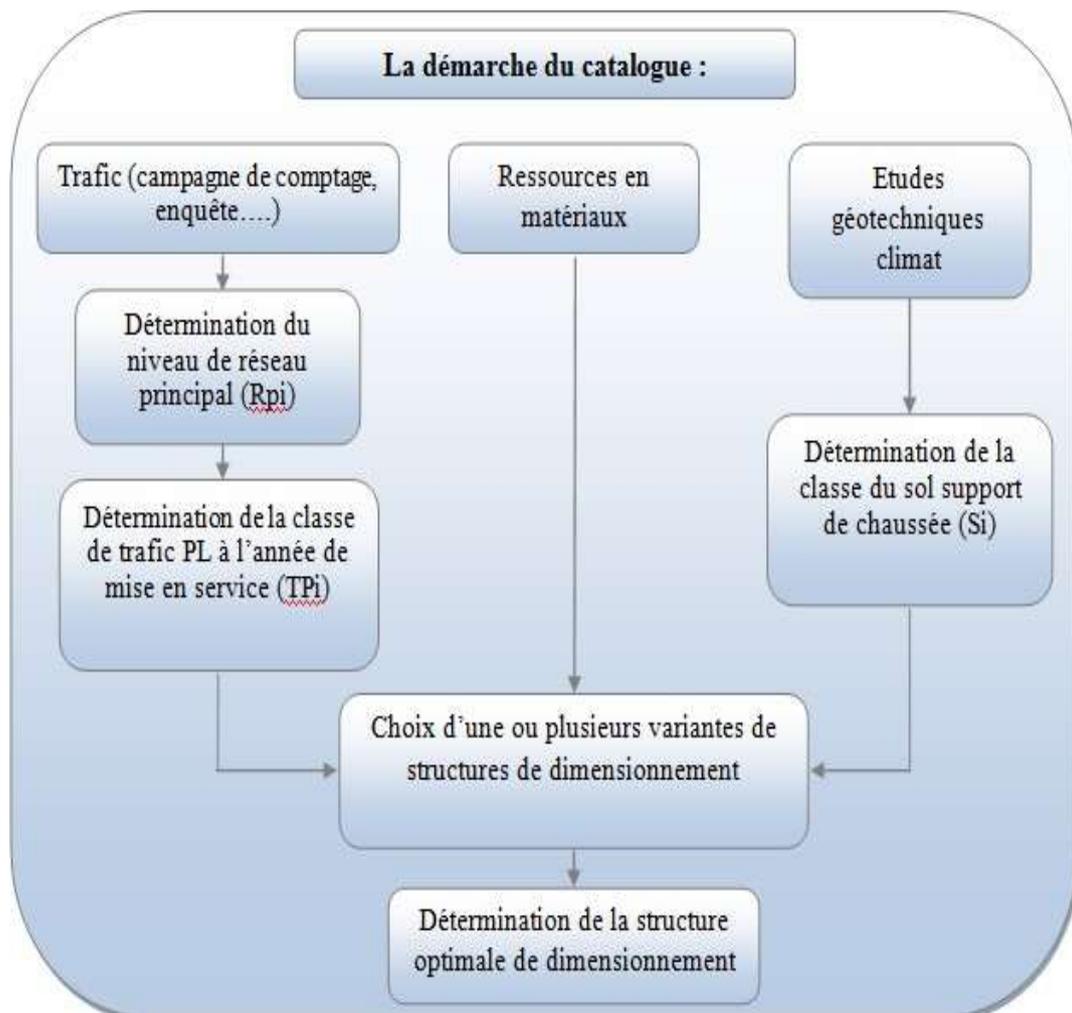


FIGURE III.4: Les étapes à suivre pour la méthode de catalogue.

➤ **Données de l'étude :**

- $TJMA_{2017} = 16\ 650/2 = 8325$ v/J/sens.
- $TJMA_{2020} = 9230$ v/J/sens.
- Mise en service : 2020.
- Durée de vie : 20 ans.
- Indice CBR : 2.3
- Taux d'accroissement : $\tau = 3,5$ %.
- Pourcentage de poids lourds : $Z = 20$ %.

➤ **Détermination du type de réseaux principaux :**

D'après le catalogue on a la classification des réseaux principaux suivante :

Réseau principal	Trafic (véhicules/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

Tableau III.3: classes des réseaux principaux.

TJMA 2017 = 16 650 v/J.

$16\ 650$ v/J > 1500 v/J → le réseau principal est RP1.

➤ **Détermination de la classe de trafic :**

$TJMA_{2020} = 9230$ v/J/sens.

$TPL_{2020} = 9230 \times 0.20 = 1846$ PL/J/ sens.

✚ **Répartition transversale du trafic :** on adoptera les valeurs suivantes :

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

AN : chaussée unidirectionnelle à 2voies :90% du trafic PL sur la voie lente de droite.

Donc : $TPL_{2020} = 1846 \times 0.9 = 1662$ PL/J/sens.

➤ **Détermination de la classe de trafic (TPLi) :**

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

TPL _i	TPL ₃	TPL ₄	TPL ₅	TPL ₆	TPL ₇
PL/j/sens	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

Tableau III.4: Classe TPLi pour RP1.

Dans notre cas TPL=1662 PL/J/sens. —————> La classe de trafic est **TPL6**.

Le trafic attendu est de classe TPL6 pour la section courante et s'agissant d'une VRS au sens du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, la plateforme sera de classe minimum PF3.

➤ **Détermination de la zone climatique :**

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

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

Tableau III.5: Les zones climatiques de l'Algérie.

- D'après la carte de la zone climatique de l'Algérie, notre projet est dans la zone climatique II (350 -600 mm/an).

➤ **Détermination de la portance de sol-support de chaussée :**

Classes de sol-support	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₀
Module (MPa)	≤25	25-50	50-125	125-200	>200

Tableau III.6: Classes de sol-support.

E(MPa) = 2.3 × 5 = 11.5 MPA

11.5 ≤ 25 → la classe de portance de sol support est de S4.

➤ **Amélioration de la portance du sol support :**

La couche de forme a pour but d'améliorer la portance du sol support, Le (CTTP) a fait des recherches sur la variation du CBR selon les différentes épaisseurs de CF, le mode de sa mise en place (nombre de couches) et la nature du matériau utilisé (les plus répandus en Algérie) pour la réalisation de la CF.

Les résultats de ces recherches sont résumés dans le tableau suivant :

Portance de sol	Matériau de CF	Epaisseur de CF	Portance visée
<S4	Non traité	50cm (2couches)	S3
S4	Non traité	35cm	S3
<u>S4</u>	Non traité	<u>60cm (2couches)</u>	<u>S2</u>
S3	Non traité	40cm (2couches)	S2
S3	Non traité	70cm (2couches)	S1

Tableau III.7: sur classement avec couche de forme en matériau non traité.

III.5. Choix des différentes couches constituant de la chaussée :

III.5.1. Proposition de la structure :

Dans le cadre de notre projet, nous avons proposé la structure suivante :

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

III.5.2. Choix de dimensionnement:

Nous sommes dans le réseau principal (**RP1**), la zone climatique **II**, durée de vie de **20** ans, taux d'accroissement moyen (**3.5%**), la portance du sol (**S2**) et une classe de trafic (**TPL6**)
Avec toutes ces données, le catalogue Algérien (**fascicule N°3**) propose la structure suivante :

TPLi PL/j/sens	Si	S2		S1		S0	
		50 MPa	125 MPa	200 MPa	200 MPa	200 MPa	200 MPa
6000 TPL7	3000	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB
		14 GB	12 GB	12 GB	11 GB	11 GB	11 GB
		15 GB	13 GB	13 GB	11 GB	11 GB	11 GB
3000 TPL6	1500	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB
		12 GB	11 GB	11 GB	11 GB	10 GB	10 GB
		13 GB	11 GB	11 GB	10 GB	10 GB	10 GB
1500 TPL5	600	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB	8 BB
		11 GB	10 GB	10 GB	10 GB	10 GB	10 GB
		12 GB	10 GB	10 GB	10 GB	10 GB	10 GB

FIGURE III.4: Les Choix de dimensionnement par la méthode du catalogue.

CONCLUSION :

D'après le tableau ci-dessus, on remarque bien que :

- **La méthode C.B.R**, a donné un corps de chaussée avec une épaisseur de structure : **8BB+15GB+46GNT**.
- **La méthode du catalogue**, a donné un corps de chaussée avec une épaisseur de structure : **8BB+12GB+13GB+60TVO**.

III.5. Calcul de la déformation admissible sur le sol support :

$$\epsilon_{z.ad} = 22.10^{-3} \times (TCEi)^{-0.235}$$

- Coefficient d'agressivité : **A= 0.6**

$$TCEi = TPLi \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \times 365 \times A$$

$$TCEi = 1662 \times \frac{(1 + 0.035)^{20} - 1}{0.035} \times 365 \times 0.6 = 10.29 \times 10^6$$

Essieux équivalents de 13 tonnes.

$$\epsilon_{z.ad} = 22.10^{-3} \times (10.29 \times 10^6)^{-0.235} = 494.89 \times 10^{-6}$$

III.6. Calcul de la déformation admissible $\epsilon_{t.ad}$ à la base de GB :

$$\epsilon_{t.ad} = \epsilon_6(10^\circ\text{C} , 25\text{Hz}) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

III.6.1. Température équivalente :

Soit égale au dommage que subirait la chaussée soumis au même trafic mais pour une Température constante θ_{eq} .

Température Équivalente θ_{eq} (°C)	Zone Climatique		
	I et II	III	IV
	20	25	30

Tableau III.7: choix des températures équivalentes.

- Dans notre cas $\theta_{eq}=20^\circ\text{C}$

III.6.2. Matériaux :

Performances mécaniques : relatives aux différents types de matériaux Dans notre projet on a : Matériaux traités en bitume (MTB) :

Matériau (MTB)	E(30°C,10Hz) (Mpa)	E(25°,10Hz) (Mpa)	E(20°C,10Hz) (Mpa)	E(10°C,10Hz) (Mpa)	ϵ_6 (10°C,25Hz) (10 ⁻⁶)	-1/b	SN	Sh (cm)	v	KC Calage
BB	2500	3500	4000	-	-	-	-	-	0,35	-
GB	3500	5500	7000	12500	100	6,84	0,45	3	0,35	1,3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0,68	2,5	0,45	1,3

Tableau III.8: Performances mécaniques des matériaux bitumineux.

Du tableau on trie :

$$\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) = 100.10^{-6} \text{ Mpa}$$

$$E(10^\circ\text{C}, 10\text{Hz}) = 12500 \text{ Mpa}$$

$$E(\theta_{eq}) = 7000 \text{ Mpa}$$

$$b: \text{ on a } -1/b = 6.48 \longrightarrow b = -0.146$$

$$SN = 0.45$$

$$SH = 3$$

r%	2	3	5	7	10	12	15
T	-2.054	-1.881	-1,645	-1,520	-1,282	-1.175	-1.036
r%	20	23	25	30	35	40	50
T	-0.842	-0.739	-0.674	-0.524	-0.385	-0.253	0

Tableau III.9 : Valeurs de $t=f(r\%)$.

$$\text{On a } r\% = -5\% \longrightarrow t = -1.645$$

$$K_{ne} = \left(\frac{TCEi}{10^6} \right)^b = \left(\frac{10.29 \times 10^6}{10^6} \right)^{-0.146} = 0.712$$

$$K_{\theta} = \left(\frac{E(10^\circ\text{C}, 10\text{Hz})}{E(\theta_{eq}, 10\text{Hz})} \right)^{0.5} = \left(\frac{12500}{7000} \right)^{0.5} = 1.336$$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} \times Sh \right)^2} = \sqrt{0.45^2 + \left(\frac{0.02}{0.146} \times 3 \right)^2} = 0.609$$

$$K_r = 10^{-tb\delta} = 10^{-1.645 \times 0.146 \times 0.609} = 0.714$$

$$K_c = 1.3$$

$$D'ou : \varepsilon_{t.ad} = 100.10^{-6} \times 0.712 \times 1.336 \times 0.714 \times 1.3 = 88.29 \times 10^{-6}$$

III.7. Vérification à la fatigue des structures et de la déformation du sol support :

Il faudra vérifier que ϵ_t et ϵ_z calculées à l'aide d'ALIZE III sont inférieures aux valeurs admissibles $\epsilon_{t.ad}$ et $\epsilon_{z.ad}$ calculées

Epaisseur (cm)	Module (Mpa)	Coef de poisson v
8 BB	4000	0.35
12 GB	7000	0.35
13 GB	7000	0.35
Sol	50	0.35

Tableau III.10 : Simulation par ALIZE III.

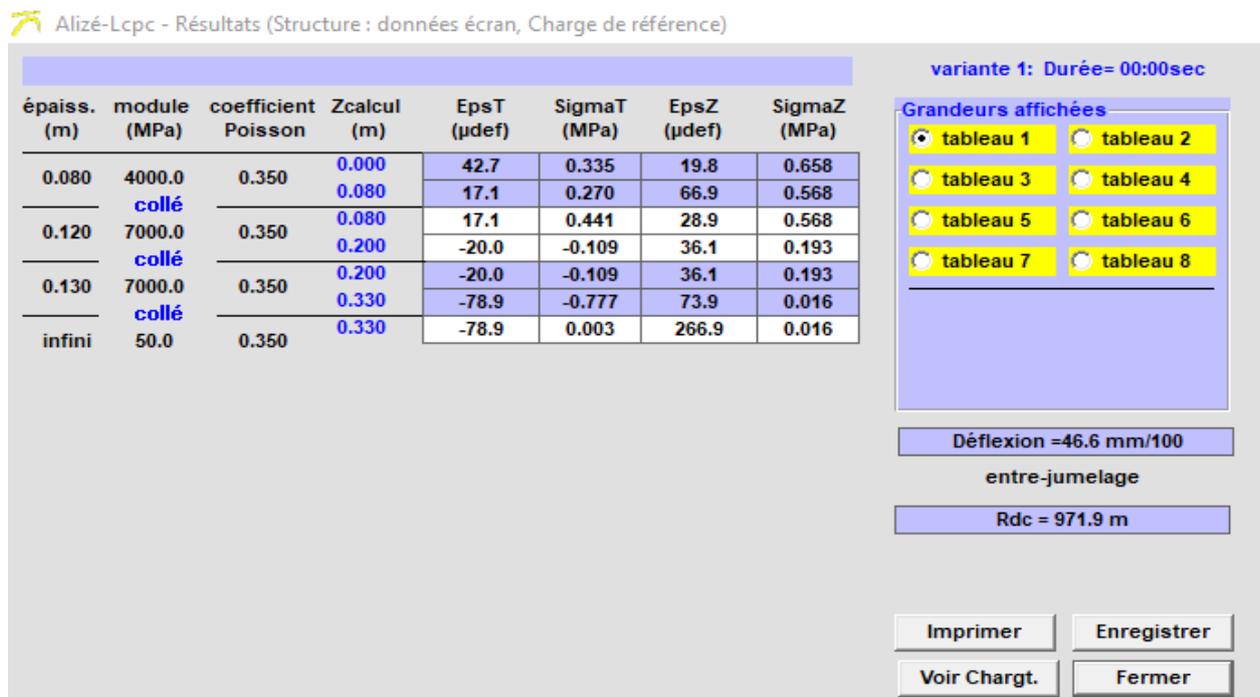


FIGURE III.5: Les résultats calculés avec le logiciel ALIZE III :

	Déformations admissibles	Déformations calculées
ϵ_z sol support	494.89×10^{-6}	266.9×10^{-6}
ϵ_t à la base de GB	88.29×10^{-6}	78.9×10^{-6}

Tableau III.11 : Résultats de la simulation.

$$\epsilon_t < \epsilon_{t.ad} \text{ et } \epsilon_z < \epsilon_{z.ad} \text{ C.V}$$

✚ En conclusion : La structure **8BB + 12GB + 13GB** est *donc* vérifiée.

Chapitre IV

Etude Géométriques

IV.1. Introduction :

Le réseau routier offre un certain confort aux usagers. Ce niveau de bien-être ressenti dépend, entre autres, des caractéristiques géométriques de la route. La combinaison de courbes, de pentes, de la largeur des voies et des accotements influence l'aisance de l'utilisateur à négocier les virages et à anticiper les situations qui peuvent se produire.

IV.1.1 Vitesse de référence (de base). Vitesse pratiquée. Vitesse réglementaire :

Le premier choix est celui de la vitesse de projet (**vitesse de référence**). C'est la vitesse qui peut être pratiquée en tout point de la section considérée. Elle est donc imposée par **les zones** dont les caractéristiques géométriques sont les plus contraignantes et elle permet ainsi de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ces zones particulières.

Pour éviter tout effet de surprise, la vitesse de référence doit être la même sur de longues sections (**50 km ou plus**) et la transition entre deux sections de vitesses de référence différentes doit être perceptible.

Les cinq valeurs de vitesse de référence retenues par les instructions relatives au réseau national français sont les suivantes : **40, 60, 80, 100, 120 km/h**. En fait les vitesses pratiquées sont souvent supérieures à la vitesse de référence. Il est important pour le projecteur de connaître la façon dont elles sont influencées par la géométrie de la route. Les observations faites dans divers pays permettent d'énoncer les conclusions suivantes :

- Le rayon en plan n'a d'influence sensible qu'au-dessous de 300 m.
- Les rampes ont une influence modérée.
- Les caractéristiques générales du profil en travers ont une influence sensible. Le conducteur ne se sent pas à l'aise sur une route de 5 m et modère son allure. À l'inverse, il roule vite et même très vite sur les routes à 2×2 voies, même non autoroutières.
- Les vitesses sont dans l'ensemble peu influencées par les panneaux de limitation de vitesse, sauf s'ils sont renforcés par des feux clignotants.

Des vitesses réglementaires ou vitesses limites ont été définies dans la plupart des pays, différentes suivant les types de voies, leurs caractéristiques géométriques (profil en travers essentiellement), leur environnement (urbain, périurbain, rase campagne), les conditions météorologiques.

Fixées dans un but de sécurité, et ne différenciant qu'un nombre très restreint de types de situation, elles sont forcément très générales et ne constituent pas un objectif d'aménagement de la voie. Rien n'interdit, en particulier, de choisir des vitesses de référence supérieures. Dans ce cas, l'objectif est d'offrir à l'automobiliste des conditions de conduite plus confortables et non pas de l'inciter à dépasser les vitesses réglementaires.

Dans notre projet on est appelés à dimensionner une autoroute de liaison avec une vitesse de base de **120 km/h** ; comme tout projet de construction ou d'aménagement du territoire, la démarche doit être justifiée par une référence de normes techniques.

L'instruction sur les **Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL)** est le document technique le mieux adapté à ce type de routes.

IV.2. Catégorie des autoroutes de liaison selon l'ictaal :

Le choix de la catégorie doit être le résultat de l'appréciation du niveau des caractéristiques géométriques à adapter; selon l'environnement dans lequel s'inscrit le tracé (relief, occupation du sol ...etc.), l'**ICTAAL** a prévu deux catégories distinctes :

- **L1** : appropriée en région de plaine ou vallonnée ou les contraintes de relief sont modérées.
- **L2** : mieux adaptée aux sites de relief plus difficile, compte tenu des impacts économiques et environnementaux qu'elle implique.

Ces catégories L1 et L2 sont respectivement appropriées à des vitesses maximales autorisées de 130 et 100 km /h. Quand il y'a lieu d'enchaîner des sections avec des catégories différentes, les axes doivent présenter une dizaine de kilomètre de longueur au minimum et le respect des règles d'enchaînement des éléments doit assurer de bonnes conditions de transition.

IV.3. Présentation du logiciel :

Pour ce qui est de la conception géométrique on a opté pour AUTOCAD CIVIL 3D, un logiciel plus innovant avec des fonctionnalités très développées permettant une meilleure maîtrise de chaque élément constituant le projet. Parmi nos motivations pour ce choix on peut citer :

- **Gain de temps** : prise en charge du projet du début jusqu'à la fin sans avoir besoin de basculer d'un logiciel à un autre.
- **Un espace de travail riche** : en plus des outils de dessin Auto Cad, Civil 3D contient des palettes spécifiques au projet routier « axe, profil en long, profil en travers, bassins versants, talus, conduites...etc.).
- **Maitrise du projet** : des normes de conception programmables telle que « ICTAAL » ; ces dernières inspectent et signalent chaque erreur de conception, permettant ainsi l'obtention d'un projet avec toutes les commodités en terme de distance de visibilité, de rayon et de vers associé ...etc.
- **Possibilité de correction** : à tout moment et à n'importe quel niveau l'ingénieur concepteur peut agir et corriger les erreurs ; les changements seront pris en considération dans l'ensemble du projet.
- **Esthétique** : possibilité de personnalisation de chaque élément du dossier technique.
- **Vue 3D** : une simulation de conduite réaliste permettant de se renseigner sur l'allure du projet en terme de courbure, de déclivité et de visibilité.
- **Possibilité d'inscrire le projet dans son environnement** : avec une extension Google-earth intégrée dans Auto Cad civil 3D ; le concepteur peut se renseigner fidèlement sur le projet en l'exportant vers Google earth et l'inscrire dans son environnement.

➤ Etapes de réalisation d'un projet routier sur Autocad civil 3D

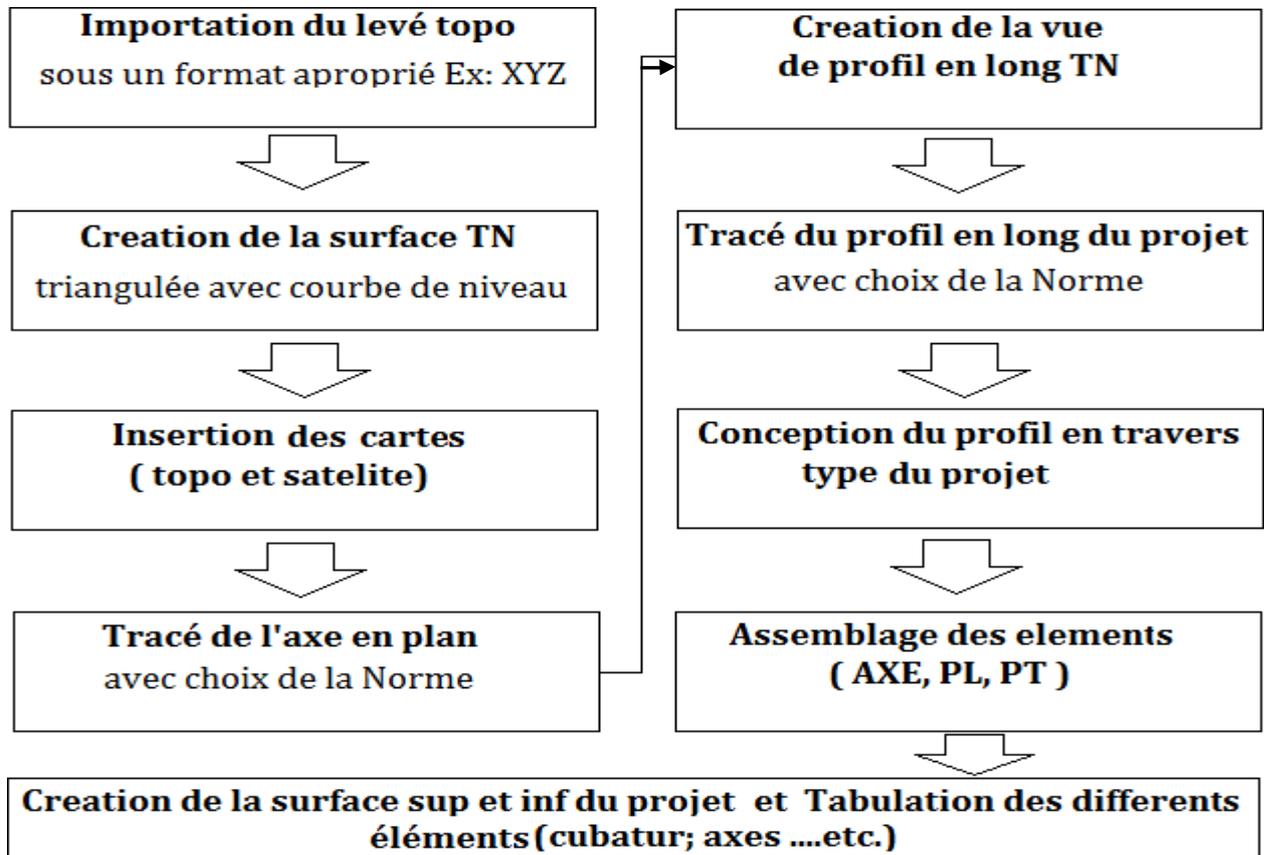


Figure IV.1: Etapes de réalisation d'un projet routier sur Autocad civil 3D.

IV.4. Trace en plan :**IV.4.1. Définition :**

C'est la projection verticale de la route sur un plan horizontal, autrement dit, c'est la conception plane du projet ; il met en évidence les longueurs et largeurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure dans les virages. Il sert aussi à guider l'ingénieur projeteur du tracé de l'axe de la route de manière à :

- S'assurer qu'il relie les deux points de départ et d'arrivée.
- Eviter au maximum les obstacles (constructions, butées, cours d'eau...).
- Minimiser le nombre de routes coupées pour des raisons économiques.

L'alignement droit est l'élément le plus simple du tracé en situation, sauf que son utilisation est peu recommandable en raison des difficultés et problèmes qu'il induit. On peut citer par exemple :

- De nuit, l'éblouissement prolongé des phares.
- Difficulté de conduite et monotonie qui peuvent engendrer des accidents ou un malaise du conducteur.
- Mauvaise appréciation des distances entre véhicules éloignés

L'utilisation des lignes droites doit faire l'objet d'une justification ; par exemple :

- En plaine, ou les sinuosités ne seraient absolument pas motivées.
- Dans des vallées étroites et rectiligne ; ou des courbes induiraient des ouvrages d'art.
- Le long des constructions existantes (voies ferrées, cours d'eau, lisières de forêt ...)

Bien que l'emploi **des courbes** à grands rayons ($> 1.5 R_{nd}$) est préférable aux alignements droit dans la conception moderne des routes afin d'améliorer le confort et la visibilité et de mieux inscrire le projet dans l'environnement « esthétique » quand il y a lieu d'en faire usage, des valeurs limites sont à respecter en fonction de la vitesse de base.

$$\begin{cases} L_{\min} = 5 \times \frac{V_b}{3.6} \\ L_{\max} = 60 \times \frac{V_b}{3.6} \end{cases}$$

Avec une vitesse de base $V=120$ km/h

Ou :

L_{\max} : correspond à la distance (en m) parcourue en un temps **t=5s**.

L_{\min} : correspond à la distance (en m) parcourue en un temps **t=60s**.

V_b	L_{min}	L_{max}
120 Km/h	166.67 m	2000 m

Tableau IV.1: longueurs limites des alignements droites.

IV.4.2 : Valeurs limites des rayons de courbures en plan « ICTAAL »

Catégorie	L1	L2
Rayon minimal (Rm)	600 m	400 m
Rayon min non déversé (Rnd)	1000 m	650 m

Tableau IV.2: Valeurs minimales des rayons du tracé en plan.

IV.4.3: Courbe de raccordement en plan :

L'enchaînement des alignements droits et d'arcs de cercle accuse aux points de tangence des discontinuités, ce qui se traduit par un basculement brusque du dévers et de la direction du véhicule, ce qui n'est pas compatible avec les vitesses élevées de nos jours.

La clothoïde est la forme la plus utilisée pour le raccordement, sa courbure K est proportionnelle à sa longueur curviligne L . On définit une clothoïde par son paramètre A ($A^2 = RL$) ou par son rayon R (au point de tangence) et sa longueur L .

IV.4.3.1: Description du tracé :

Le tronçon sujet de notre projet prend naissance au nord de la ville de **BATNA** (**PK 5+000**), il franchit « oued MAADHER » et vire à droite avec un rayon de 755 m en direction Nord-ouest, il s'éloigne du nord et traverse des terres agricoles en alignement droit sur une linéarité de 640m ; plus loin au « **PK 5+740** », il intercepte un échangeur, un trèfle complet a été projeté.

Au **PK 6+510**, le tracé franchit deux cours d'eau avec de forts remblais où des dalots sont projetés afin de rétablir les écoulements jusqu'à atteindre le point **10+500**.



Figure IV.2: Tracé en plan.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé de l'axe principal du tronçon sont récapitulés dans le tableau suivant :

Parameter Constraint	Length	Radius	A	Direction	Start Station
Two points	309.703m			N37° 54' 52"W	0+000.00m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		336.526m		0+309.70m
SpiIn-Radius-SpiOut	413.803m	755.000m			0+459.70m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		336.526m		0+873.51m
Two points	639.555m			N4° 52' 18"E	1+023.51m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		336.526m		1+663.06m
SpiIn-Radius-SpiOut	126.682m	755.000m			1+813.06m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		336.526m		1+939.74m
Two points	1677.714m			N25° 52' 07"E	2+089.74m
Two points	2633.988m			N25° 00' 49"E	3+767.46m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		367.423m		6+401.45m
SpiIn-Radius-SpiOut	540.189m	900.000m			6+551.45m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		367.423m		7+091.64m
Two points	287.132m			N18° 55' 30"W	7+241.64m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		367.423m		7+528.77m
SpiIn-Radius-SpiOut	341.553m	900.000m			7+678.77m
SpiIn-Radius-SpiOut	150.000m		367.423m		8+020.32m
Two points	2348.323m			N50° 13' 06"W	8+170.32m

Tableau IV.3: Caractéristiques des éléments du tracé en plan.

IV.5. Profil en long :

IV.5.1 : Définition :

Un profil en long est la représentation graphique d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc.) sur lequel sont reportés tous les points du terrain naturel et de l'axe du projet. Il indique la valeur des pentes et des rampes, ainsi que les rayons des sommets des côtes et des points bas.

Par convention, la ligne de référence du profil en long de l'autoroute est l'axe de la plateforme si le T.P.C est revêtu ou sinon, celui du bord gauche des chaussées. Sauf difficulté d'insertion dans le site, un profil en long en remblai, adapté à la réalisation des terrassements, des chaussées et au maintien des écoulements naturels, est préférable à un profil en long rasant.

Catégorie	L1	L2
Déclivité maximale	5 %	6 %
Rayon min en angle saillant	12500 m	6000m
Rayon min en angle rentrant	4200m	3000m

Tableau IV.4: Valeurs limites du profil en long (ICTAAL).

IV.5.2: Description du tracé :

Les caractéristiques des éléments constituant le profil en long du tronçon sont récapitulées dans le tableau suivant :

	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Curve Radius
1	0+000.00m	809.075m		-0.35%					
2	0+443.57m	807.531m	-0.35%	2.64%	2.99%	Sag	188.398m	63.000	6300.000m
3	0+726.18m	814.998m	2.64%	-2.70%	5.34%	Crest	336.394m	63.000	6300.000m
4	1+066.63m	805.816m	-2.70%	1.37%	4.07%	Sag	256.145m	63.000	6300.000m
5	1+482.99m	811.514m	1.37%	0.97%	0.40%	Crest	25.055m	63.000	6300.000m
6	1+663.37m	813.265m	0.97%	-0.63%	1.60%	Crest	310.747m	194.249	19424.887m
7	2+113.37m	810.435m	-0.63%	0.69%	1.32%	Sag	83.280m	63.000	6300.000m
8	2+790.08m	815.125m	0.69%	-0.18%	0.88%	Crest	83.196m	95.000	9500.000m
9	3+370.00m	814.065m	-0.18%	0.13%	0.31%	Sag	72.000m	231.817	23181.702m
10	3+466.99m	814.189m	0.13%	-1.65%	1.78%	Crest	111.956m	63.000	6300.000m
11	3+963.52m	806.000m	-1.65%	0.05%	1.69%	Sag	106.752m	63.000	6300.000m
12	6+029.92m	806.935m	0.05%	0.76%	0.71%	Sag	72.000m	101.429	10142.925m
13	6+340.00m	809.277m	0.76%	0.76%	0.00%	Sag	0.147m	95.000	9500.001m
14	7+169.06m	815.550m	0.76%	-0.24%	1.00%	Crest	94.641m	95.000	9500.000m
15	7+658.61m	814.377m	-0.24%	-4.21%	3.97%	Crest	377.573m	95.000	9500.000m
16	8+036.46m	798.455m	-4.21%	0.40%	4.62%	Sag	290.907m	63.000	6300.000m
17	9+400.00m	803.957m	0.40%	1.47%	1.07%	Sag	72.000m	67.435	6743.483m
18	9+669.16m	807.917m	1.47%	-0.40%	1.87%	Crest	177.525m	95.000	9500.000m
19	10+121.37m	806.120m	-0.40%	2.49%	2.88%	Sag	181.707m	63.000	6300.000m
20	10+518.64m	816.000m	2.49%						

Tableau IV.5: Caractéristiques géométriques du profil en long du projet).

NB : Pour le profil en long voir les annexes.

IV.6. Profil en travers :

IV.6.1 : Définition:

C'est la coupe perpendiculaire à l'axe longitudinal d'une chaussée permettant de visualiser essentiellement la largeur de la chaussée et celle des accotements .il indique aussi les pentes transversales comme représenté sur **Figure III-3**.

Dans notre projet on a opter pour un profil en travers type à chaussées planes devisées pour acheminer l'eau de ruissellement vers les caniveaux latéraux.

IV.6.2 : Profil type du projet :

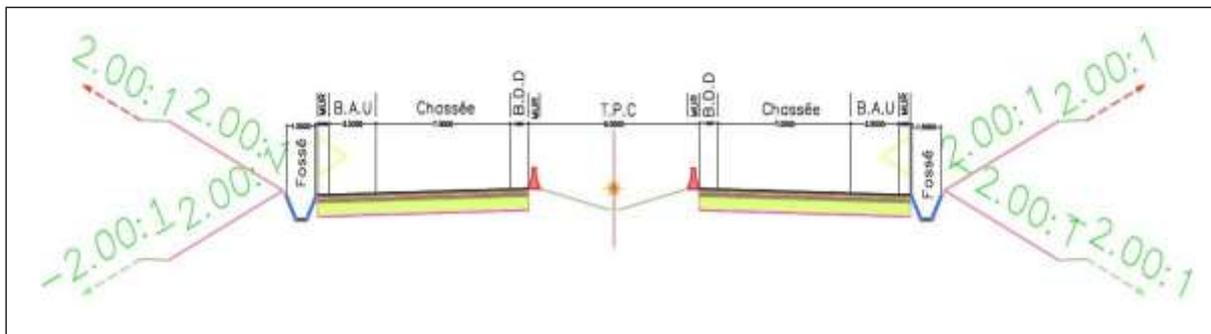


Figure IV.3: Profil type de l'autoroute (2x2).

IV.6.3: Terminologie :

IV.6.3.1: Emprise : C'est la surface de terrain appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances, elle coïncide généralement avec le domaine public.

IV.6.3.2: Plateforme : C'est la chaussée, elle comprend la ou les chaussées, les accotements et éventuellement le terreplein central.

IV.6.3.3: Chaussée : Au sens géométrique du terme c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules. Elle doit être revêtue ou non revêtue ou en béton et elle peut être bidirectionnel ou unidirectionnel.

IV.6.3.4: Le terreplein central (T.P.C) : c'est la partie rectangulaire séparant les deux sens de circulation ; il comporte :

- a) **Bande dérasée de gauche B.D.G:** Bande contiguë à la chaussée, stabilisée, revêtue ou non, dégagée de tout obstacle elle comporte le marquage en rive; elle sert à éviter au conducteur l'effet de paroi collée, sa largeur est de **1m**.
- b) **Bande médiane.** Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, à y implanter certains équipements (barrières de sécurité, supports de signalisation canalisation de distribution et évacuation des eaux, des aménagements paysagers...etc.). Sa largeur est de **8m**.

IV.6.3.5: Accotement : Zone latérales de la plate-forme qui borde extérieurement la chaussée.

- a. La bande d'arrêt d'urgence (B.A.U)** : Partie de l'accotement, contiguë à la chaussée, dégagée de tout obstacle et revêtue, aménagée pour permettre l'arrêt d'urgence des véhicules hors de la chaussée, elle inclut la sur-largeur structurelle de la chaussée. sa largeur est de **2.5m**.
- b. La zone de sécurité** : Cette zone, qui comprend la berme, doit être dépourvue de tout obstacle agressif (plantation de haute tige, poteau électrique ou d'éclairage public, tête de buse non protégée). Elle a la largeur suivante :
- 10 m sur la catégorie **L1**.
 - 8,50 m sur la catégorie **L2**.

Elle comprend :

- ✓ **La berme** : elle participe aux dégagements visuels et support de signalisation verticale.
- ✓ **Le fossé** : une canalisation disposée aux côtés des déblais pour recevoir les eaux pluviales induits par le déversement transversal des chaussées et des bassins versant voisinant ; ses dimensions sont issues d'un calcul hydrologique.

IV.6.4: Déversement transversal des chaussées :

En alignement droit, la chaussée est déversée de 2.5% vers l'extérieur pour permettre l'évacuation de l'eau vers les fossés.

En courbe, le déversement de la chaussée vers l'intérieur de la courbe varie linéairement en fonction de $1/R$ de - 2.5 pour R_{nd} à 7% pour R_m ; il a pour effet de faire jouer un rôle actif à la pesanteur, la composante du poids du véhicule parallèle au plan de la chaussée compense partiellement la force centrifuge.

Dévers	2.5%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
Rayon	1000	960	920	880	840	800	760	720	680	640	600
Clothoïde	111	107	102	98	93	98	105	112	119	126	133

Tableau IV.5: Variation du dévers en fonction du rayon « ICTAAL L1 Dévers maximum : 7.0% »

IV.7: Trace Dans L'espace :**IV.7.1: Définition :**

Le tracé dans l'espace est le projet à trois dimensions de la route, c'est-à-dire la combinaison et la coordination du tracé horizontal et du tracé vertical, étude complétée par la recherche du confort psychologique et du confort optique.

Le plan de situation et le profil en long sont les deux composantes du tracé réel dans l'espace. Qui, lorsqu'il est exécuté devient un ouvrage à trois dimensions.

Antérieurement aux années 30, il était couramment admis d'élaborer le plan de situation indépendamment du profil en long et de laisser au hasard la réussite ou l'échec de la réalisation dans la nature.

Aujourd'hui l'étude du tracé dans l'espace représente le couronnement de l'œuvre de l'ingénieur-projeteur d'une route. Mais le mot « couronnement » ne doit pas laisser entendre qu'il s'agit d'un simple perfectionnisme de dernière heure.

Bien au contraire. Cette question doit être abordée très tôt, dès le stade de l'avant-projet. Sous forme de corrélation permanente entre le plan et l'élévation. S'en préoccuper trop tard par exemple seulement au stade du projet au **1:5000**, c'est exposer au risque de voir le tracé en plan déjà « cristallisé » l'intervention n'est alors plus possible que sur le profil en long ce qui conduit souvent à de plus forts terrassements, donc a coût plus élevé.

Le tracé dans l'espace permet en général le calcul des mouvements de terres (cubatures) et, par exemple, permet de définir le tracé idéal d'un projet de manière à rendre égaux les volumes de terres excavés avec les volumes de terre remblayés.

Tandis que les tracés en situation et en élévation sont essentiellement le résultat de considérations techniques (dynamique y compris), le tracé dans l'espace répond à de plus amples exigences d'ordre psychologique (bien être) et d'ordre optique (satisfaisant l'œil).

Le tracé dans l'espace est déterminant pour :

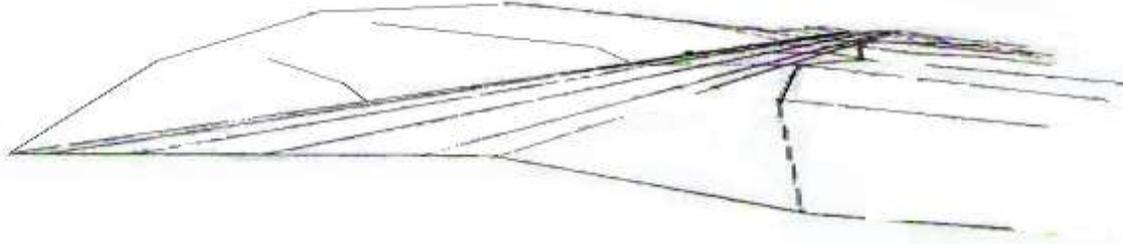
- Le comportement du conducteur
- Le confort des usagers
- La sécurité du trafic

Le problème du tracé dans l'espace il consiste à éviter et à corriger les défauts d'une mauvaise coordination plan-élévation. Défauts qui sont :

- Points d'inflexion artificiels des bords de la route au point bas d'une concavité
- Altération de sens de courbure au point haut d'un dos d'âne
- Pertes de tracés. Soit tracé invisible sur un certain tronçon.

On peut affirmer qu'un projet largement conçu en plan et en élévation, respectant les conditions dynamiques et de visibilité, n'est en général pas sujet aux défauts signalés ci-dessus lorsqu'on l'examine sous l'angle du tracé dans l'espace.

IV.7.2: Exigences du tracé dans l'espace :



Tenir compte de l'environnement de la route. Ne pas seulement projeter l'axe, la chaussée et les accessoires techniques, mais recherche une coordination harmonieuse entre la route proprement dite et ses environs immédiats (topographie tranchées talus etc.).

Par l'aménagement du profil en travers dans son ensemble, le conducteur doit pouvoir reconnaître la vitesse rationnelle qu'il peut pratiquer et maintenir.

Plus la vitesse est grande plus longue est le tronçon de route que le conducteur observe la route doit être bien visible et reconnaissable sur cette longue distance, sans disparition momentanée du tracé (perte de tracé).

Pour garantir la sécurité totale du trafic, le tracé dans l'espace ne doit pas seulement être conçu pour la circulation diurne par beau temps, mais bien plus encore pour celle de nuit, par pluie, neige ou brouillard. Il doit tenir compte d'obstacles et de constructions existantes. Il doit éventuellement être complété ou corrigé par une signalisation de guidage optique.

Ces exigences peuvent être remplies par les dispositions suivantes :

- Tracé largement conçu, excluant les éléments limites.
- Combinaison rationnelle des éléments du tracé en plan et du profil en long
- Etude soignée de la transition de la forme de la chaussée et du gauchissement.
- Choix optimum de l'altitude de la chaussée par rapport à la topographie.
- Contrôle d'ordre optique et esthétique et adaptation du tracé au paysage et aux constructions existantes.
- Aménagement judicieux des talus et des plantations.

IV.7.2.a: Confort optique :

Avec l'accroissement de la vitesse, on constate deux phénomènes visuels chez le conducteur :

Le champ visuel, c'est-à-dire l'espace qu'embrasse l'œil diminue. Le regard se concentre sur la chaussée, au détriment de la vue sur l'environnement (effet tunnel). Les défauts d'un tracé sont plus sensibles.

Le point d'accommodation ou de focalisation s'éloigne. Selon des mesures, la distance entre l'œil et ce point est d'environ **800m** pour **V =120 km /h**.

La chaussée devrait donc être bien visible sur toute la distance que peut observer le conducteur. Ce n'est pas toujours le cas .il peut arriver qu'une partie du tracé échappe à la vue et que la route réapparaisse plus loin. Dans ce cas le conducteur cherche à deviner l'évolution du tracé. Lorsque la partie cachée lui apparaît enfin, il en est proche et pour inspecter ce tronçon, il doit rapprocher son point de focalisation. Le conducteur peut être surpris et de toute façon si cela se produit, souvent la gymnastique d'adaptation que l'œil doit faire, finit par le fatiguer. A part cela, ce qui est grave, le conducteur peut être amené à prendre de fausses résolutions quant à l'évaluation du tracé sur les tronçons cachés.

IV.7.2.b: Le confort psychologique :

Le projet de route doit garantir si possible à l'utilisateur les possibilités suivantes :

- Distinguer la chaussée et les obstacles éventuels à une distance assez grande pour permettre la manœuvre et l'arrêt (conditions classiques de visibilité)
- Distinguer clairement les dispositions des endroits singuliers (bifurcations, jonction, carrefours, échangeurs, etc.)
- Prévoir de loin l'évolution du tracé.

Chapitre V

Cubature

V.1 : Introduction :

Le calcul des cubatures est nécessairement utile dans des domaines variés (mouvements de terre avec définition des zones de remblais et de déblai, étude hydrauliques avec recherche des capacités de stockage, dépôt de déchets ...).

La réalisation des terrassements a pour but de donner à la route les caractéristiques géométriques précisées dans le CCTP.

V.2: Définitions :

- **La cubature** : est la transformation d'un volume de formes quelconques en un cube de volume égal, dans le vocabulaire des travaux publics ce terme désigne la mesure de ce volume (cubage).
- **Les terrassements** : comprennent l'ensemble des travaux de déblai et de remblai exécutés pour donner à la route et à ses abords la forme déterminée par les plans et profils en long et en travers.
- **Les travaux de déblai** : Les déblais désignent l'opération qui consiste à creuser dans le sol pour.
- **Les travaux de remblai** : Les remblais consistent à transporter et déposer des terres pour obturer des cavités (comblé une tranchée, aplanir un terrain...etc.).

Les remblais sont constitués par des couches superposées qui ne doivent contenir aucun débris végétal. Les remblais sont commencés par les points les plus bas.

V.3: Méthodes de calcul des cubatures :

Les méthodes les plus courantes pour évaluer les cubatures sont ;

➤ Soit en bureau :

- Les méthodes classiques, elles consistent à décomposer le volume à cuber en prismes verticaux ou à tracer un profil en long et profils en travers terrain/projet.
- La méthode moderne : elle passe par la création de modèles numériques de terrain (MNT) de l'état initial et de l'état final.

➤ Soit directement sur le chantier :

- La méthode empirique : elle est basée sur le comptage du nombre de camions et de la pesée de leur charge, en prenant compte du foisonnement des matériaux.

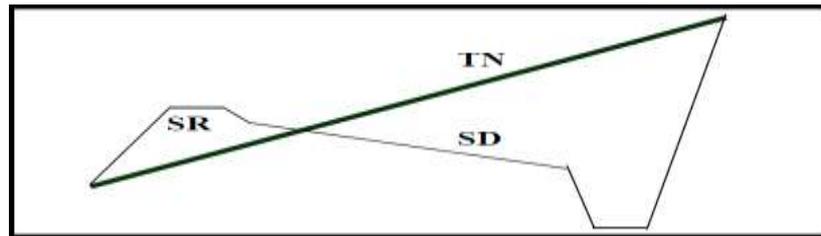


Figure V.1 : Surfaces-en déblai et en remblai d'un profil en travers.

Où :

TN : terrain naturelle.

SD : surface déblai.

SR : surface remblai.

V.4: Exemple d'application :

- **La méthode de la moyenne des aires :**

C'est une méthode simple qui se résume dans le calcul des volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs (déblai et remblai).

- La formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs :

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

Où :

- **L** : hauteur entre deux profils.
- **S1** et **S2** : surfaces des deux profils en travers **P1** et **P2**.
- **S0** : surface limitée à mi-distances des profils.

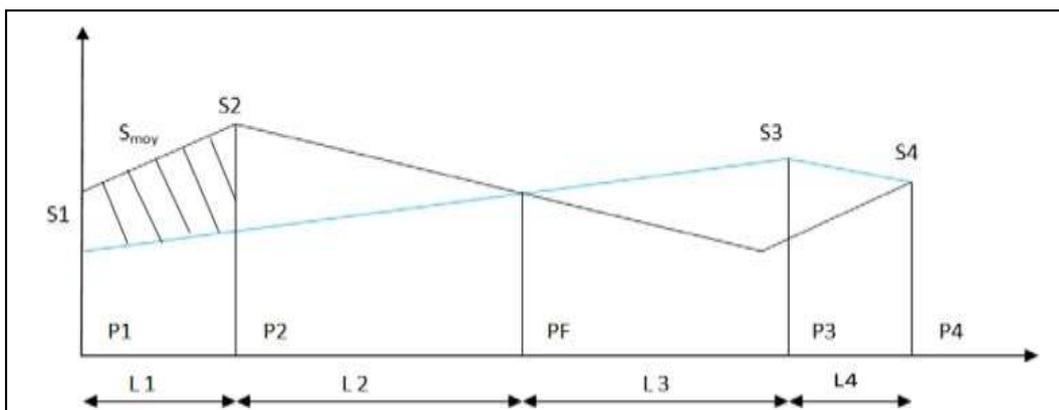


Figure V.2: Surfaces-en déblai et en remblai d'un profil en travers.

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

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

- Pour éviter un calcul très long on simplifié la formule :

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

Donc les volumes seront :

- Entre P₁ et P₂ $\implies V_1 = (l_1/2) \times (S_1+S_2).$

- Entre P₂ et P_F $\implies V_2 = (l_2/2) \times (S_2+S_3).$

- Entre P_F et P₃ $\implies V_3 = (l_3/2) \times (S_3+S_4).$

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

$$V = \left(\frac{L_1}{2}\right) \times S_1 + \left(\frac{L_1 + L_2}{2}\right) \times S_2 + \left(\frac{L_2 + L_3}{2}\right) \times S_3 + \left(\frac{L_3}{2}\right) \times S_4$$

	Volume (m ³)
Déblai	428 746.18
Remblai	377 299.57

Tableau V.1 : les calculs effectués par le logiciel Auto CAD Civil 3D

NB : Les résultats obtenus à l'aide du logiciel Auto CAD civil 3D sont joints en annexe cubature.

Chapitre VI

Etude Géotechnique

VI.1: Introduction :

L'objet de l'étude géotechnique est de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sols support de la future chaussée de la liaison autoroutière en vue de déterminer la possibilité et les conditions de réutilisation des matériaux de déblai en remblai ou en couche de forme, la portance des sols et la stabilité des talus de même que les différentes couches du corps de chaussée. Ainsi un programme géotechnique in-situ et de laboratoire a été établi par le BET SETA et exécuté par le LTP est Constantine. Dont une synthèse est présentée ci-dessous.

VI.2: Programme de reconnaissance géotechnique :

L'investigation géotechnique menée dans le cadre de cette étude, a consisté en la réalisation des essais suivants :

VI.2.1: Essais in Situ :

- Puits de reconnaissances de 2.5 m à 3 m profondeur.
- Sondages carottés (atteindre le substratum) équipés de piézomètres pour mesurer les fluctuations de la nappe d'eau.
- Essais au pressiomètre de Ménard (atteindre le bon sol).

Tableau des coordonnées des puits

Puits n°	X	Y	Puits n°	X	Y
P1	254518.29	3959168.89	P21	253792.32	3968070.55
P2	254420.40	3959655.43	P22	253530.34	3968495.55
P3	254464.16	3960171.95	P23	253236.10	3969100.31
P4	254642.11	3960638.81	P24	253018.83	3969550.63
P5	254869.38	3961084.18	P25	252801.56	3970000.96
P6	255096.68	3961529.53	P26	252582.05	3970450.99
P7	255328.98	3961974.87	P27	252319.22	3970865.69
P8	255581.29	3962420.22	P28	251989.83	3971242.00
P9	255778.59	3962865.56	P29	251647.46	3971606.39
P10	256005.89	3963310.91	P30	251305.08	3971970.78
P11	256233.10	3963755.95	P31	250962.71	3972335.17
P12	256428.05	3964215.79	P32	250620.33	3972699.56
P13	256508.49	3964707.95	P33	250277.96	3973063.95
P14	256464.02	3965207.71	P34	249935.58	3973428.34
P15	256298.01	3965677.78	P35	249593.21	3973792.73
P16	255657.14	3966420.65	P36	249250.83	3974157.12
P17	255281.27	3966735.73	P37	248908.46	3974521.50
P18	254892.86	3967052.88	P38	248566.08	3974885.89
P19	254505.57	3967369.12	P39	248269.68	3975201.36
P20	254124.67	3967693.07			

Tableau VI.2: Coordonnées des puits.

VI.2.2: Essais Au laboratoire :

- Essais physiques avec classification GTR :
 - Granulométrie
 - Valeur au bleu sol (V.B.S)
 - Teneur en eau naturelle (W_n %)
 - Limites d'Atterberg (W_L , W_P , I_P)

- Essais mécaniques :
 - Proctor normal.
 - Indice C.B.R à 95 % de l'OPN.

VI.3: Reconnaissance du site :**VI.3.1: Situation :**

La section 01 de la liaison autoroutière s'étend sur un linéaire de 20 Km du PK 5+000 au PK 25+000.

Elle débute par un échangeur projeté à l'intersection avec la route d'accès à l'aéroport Mostapha Ben Boulaid et se termine à la limite de la wilaya de Batna en passant par le chott Gadaine, le CC d'Ain Yaghout, le Djebel Tizourit et la plaine de Lazrou.

VI.3.2: L'aspect géomorphologique du site :

Le tracé fait partie d'un ensemble géographique désigné sous le nom des hautes plaines constantinoises dont la genèse est liée à la technique des phases atlassiques.

Il commence par une zone de dépression géomorphologique qui fait partie de la vaste plaine de Gadaine jusqu'au pied du Djebel Tazourit.

La partie basse de cette plaine est occupée par le chott Gadaine dont la traversée est prévue par un viaduc de 1200 ml.

Ce chott constitue une zone hydro morphe salée à végétation typique de salsolacées.

A partir du Djebel Tazourit le tracé entre dans la terminaison orientale de l'ensemble allochtone sud Setifien où on distingue quelques reliefs carbonatés qui émergent à travers de vastes plaines alluviales.

L'ensemble de ces structures géomorphologiques ont une orientation générale S.O-N.E.

VI.3.3: Le climat :

La région d'étude fait partie du climat de type semi-aride qui caractérise les hautes plaines constantinoises.

Il est marqué par deux saisons distinctes ; une saison froide et subhumide du mois de Novembre jusqu'au de Mars avec des chutes de neige et de brusques gelées et une saison chaude et sèche du mois d'Avril au mois d'octobre.

La température moyenne annuelle est de 14,24 C°.

Le Sirocco qui souffle souvent pendant le printemps et au début de l'été est souvent catastrophique pour les cultures.

Les précipitations moyennes annuelles ne dépassent pas les 400 mm.

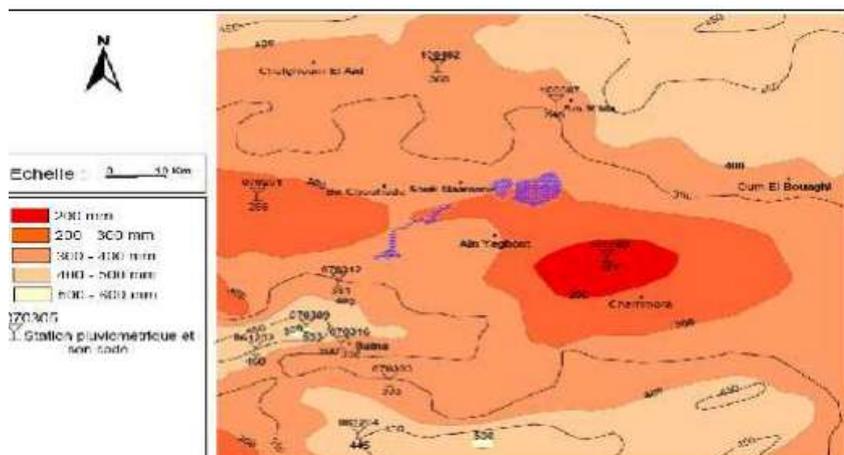
Le tableau suivant donne la répartition moyenne mensuelle et saisonnière des précipitations relevées à la station météorologique de Ain Yaghout entre 1984 et 2000.

station		Mois	Automne			Hiver		Printemps			Eté			année
		sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	
Ain	P mensuelle	34.36	25.1	31.96	40.96	32.41	24.78	28.86	34.4	41.36	17.34	4.9	15.41	331.84
	P saisonnière	91.42			98.15		104.62			37.65			mm	
	P saisonnière %	27.54			29.58		31.52			11.35				

Le maximum des précipitations moyennes mensuelles observé est de 41,36 mm durant le mois de mai Le minimum des précipitations moyennes mensuelles et de 4,9 mm au mois de juillet.

L'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) a établi une carte pluviométrique de l'Algérie du nord à une échelle 1/500.000 pour une période de 60 ans (1922/1960 – 1969/1989) avec une équidistance de 50 mm

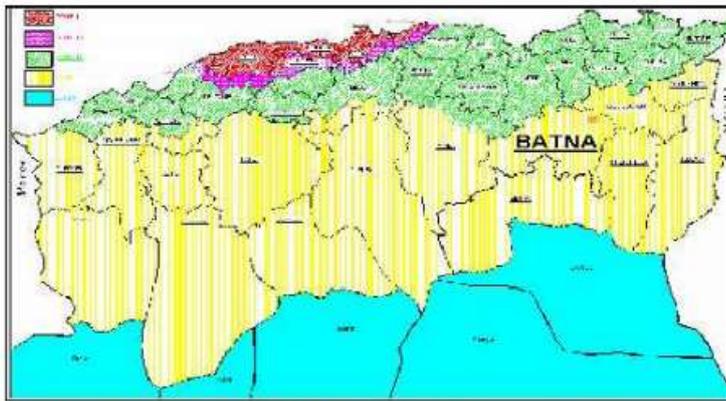
Cette carte reflète les traits essentiels de la répartition des précipitations annuelles à travers la région d'étude, on s'aperçoit alors que la pluviométrie s'échelonne entre 300 mm et 400 mm dans la partie méridionale du tracé et entre 200 mm et 300 dans la partie septentrionale.



VI.3.4: La sismicité de la région :

La région d'étude et l'ensemble des wilayas de Batna et Oum El Bouaghi sont classées dans la zone sismique I (zone à faible fréquence sismique) d'après le document technique réglementaire D.T.R-BC.2.4.8 des règles parasismiques algériennes R.P.A 99 – version 2003.

Ce document classe le territoire national en fonction de l'aléa sismique en 05 zones à risques croissants de 0 à 5.



Classification séismique des wilayas d'Algérie D'après le CGS et position de la zone d'étude.

VI.4: Interpretation des essais de laboratoire :

Puits N°	Prof (m)	Granulométric			VBS	W %	Limites d'Atterberg			Proctor normal		Indice CBR à 95%	Classification GTR	
		D max (mm)	%< (2mm)	%< (0.08mm)			WL %	WP %	IP	ρ OPN (t/m ³)	W OPN %		Sous-classe fonction de la nature	Sous-classe selon l'état hydrique
P1	0.0 – 2.5	0.2	100	92	4.12	17.6	45	23	22	1.70	10.61	1.96	A ₂	A ₂ th
P2	0.0 – 2.5	2	99	88	3.37	13.1	49	24	25	1.66	14.99	2.31	A ₂	A ₂ s
P3	0.0 – 2.0	0.4	100	92	5.25	15.1	53	26	28	1.68	14.65	1.35	A ₃	A ₃ m
P4	0.0 – 2.0	0.4	100	93	6.60	15.2	58	29	30	1.59	12.86	1.03	A ₃	A ₃ m
P5	0.0 – 2.5	0.4	100	93	5.53	16.9	55	27	28	1.59	15.01	1.47	A ₃	A ₃ m
P6	0.0 – 2.0	0.4	100	92	6.37	13.9	57	29	28	1.61	14.59	0.87	A ₃	A ₃ m
P7	0.0 – 2.0	1	100	90	4.46	13.3	52	26	26	1.58	18.8	1.22	A ₃	A ₃ s
P8	0.0 – 2.0	0.4	100	92	5.38	13.3	54	28	27	1.62	14.84	1.05	A ₃	A ₃ m
P9	0.0 – 2.0	1	100	86	5.08	18.5	47	24	23	1.70	16.67	2.28	A ₂	A ₂ m
P10	0.0 – 2.0	1	100	87	5.58	12.8	48	23	25	1.65	18.93	3.18	A ₂	A ₂ ts
P11	0.0 – 2.0	2	99	88	5.06	16.6	47	24	23	1.74	12.79	2.3	A ₂	A ₂ h
P12	0.0 – 2.0	1	100	86	5.49	11.9	48	25	24	1.73	10.88	2.14	A ₂	A ₂ h
P13	0.0 – 2.5	0.4	100	92	4.68	13.9	47	23	24	1.63	16.92	2.3	A ₂	A ₂ s
P14	0.0 – 2.0	1	100	93	5.93	14.0	54	27	27	1.57	16.92	2.79	A ₃	A ₃ m

VI.5: Essais physiques et mécaniques :

Puits N°	Prof (m)	Granulométric			VBS	W %	Limites d'Atterberg			Proctor normal		Indice CBR à 95%	Classification GTR	
		D max (mm)	%< (2mm)	%< (0.08mm)			WL %	WP %	IP	ρ OPN (t/m ³)	W OPN %		Sous-classe fonction de la nature	Sous-classe selon l'état hydrique
P15	0.0 – 2.0	0.4	100	88	5.01	11.2	46	23	23	1.71	14.82	2.22	A ₂	A ₂ s
P16	0.0 – 2.0	1	100	90	6.52	12.8	47	24	23	1.61	20.54	1.91	A ₂	A ₂ ts
P17	0.0 – 2.0	0.4	100	77	3.59	8.9	35	17	18	1.69	17.53	3.11	A ₂	A ₂ ts
P18	0.0 – 2.0	5	94	86	5.46	14.8	45	22	22	1.67	15.42	1.91	A ₂	A ₂ m
P19	0.0 – 2.0	2	99	69	2.94	9.5	33	17	16	1.72	16.90	3.75	A ₂	A ₂ ts
P20	0.0 – 2.0	1	100	60	2.69	7.5	28	13	15	1.74	14.81	2.16	A ₂	A ₂ ts
P22	0.0 – 2.0	5	82	55	3.03	6.4	31	16	15	1.70	15.17	3.76	A ₂	A ₂ ts
P23	0.0 – 1.5	50	51	22	1.29	7.1	33	17	16	1.59	16.84	14.64	B ₅	B ₅ ts
P24	0.0 – 1.5	5	65	47	4.09	8.0	35	18	16	1.74	15.67	1.06	A ₂	A ₂ ts
P25	0.0 – 2.0	20	74	49	2.61	10.4	39	20	20	1.78	14.13	4.95	A ₂	A ₂ s
P26	0.0 – 2.0	5	84	61	3.67	10.8	39	20	20	1.75	14.94	2.96	A ₂	A ₂ ts
P27	0.0 – 2.0	5	91	82	3.07	13.9	38	20	18	1.64	19.71	5.42	A ₂	A ₂ ts
P28	0.0 – 2.0	5	78	59	2.93	10.5	36	19	17	1.73	15.52	1.71	A ₂	A ₂ s
P29	0.0 – 2.5	5	91	48	1.97	8.7	37	19	18	1.72	12.68	8.76	A ₃	A ₃ ts
P30	0.0 – 0.8	50	48	29	2.29	6.4	30	15	15	1.95	10.63	8.30	B ₆	B ₆ ts
P31	0.0 – 2.5	5	78	39	1.70	7.5	36	17	19	1.71	16.67	12.27	A ₁	A ₁ ts

Puits N°	Prof (m)	Granulométrie			VBS	W %	Limites d'Atterberg			Proctor normal		Indice CBR à 95%	Classification GTR	
		D max (mm)	%< (2mm)	%< (0.08mm)			WL %	WP %	IP	ρ OPN (t/m ³)	W OPN %		Sous-classe fonction de la nature	Sous-classe selon l'état hydrique
P32	0.0 – 2.0	5	69	40	1.72	7.0	34	17	17	1.73	13.68	5.00	A ₁	A ₁ ts
P33	0.0 – 2.5	5	86	52	2.05	8.2	34	17	17	1.72	16.50	5.01	A ₁	A ₁ ts
P34	0.0 – 2.5	5	81	58	2.32	11.4	42	21	21	1.66	16.43	6.63	A ₁	A ₁ ts
P35	0.0 – 2.5	5	80	51	2.05	9.7	36	18	17	1.74	14.63	10.67	A ₁	A ₁ ts
P36	0.0 – 2.5	5	70	44	1.98	7.9	35	17	17	1.76	14.84	4.98	A ₁	A ₁ ts
P37	0.0 – 2.0	5	93	75	2.74	10.9	36	18	18	1.73	14.71	7.19	A ₂	A ₂ s
P38	0.3 – 2.0	5	99	77	3.31	10.6	34	17	17	1.74	14.70	5.63	A ₂	A ₂ s
P39	0.0 – 2.5	5	94	69	3.43	11.0	38	19	19	1.74	14.88	5.79	A ₂	A ₂ s

- Les essais physiques et mécaniques indiquent la présence de sols fins de classe A à l'exception des puits N°23 et N°30 qui sont de classe B (sol sableux et graveleux avec fines).
- Les indices de plasticité varient entre 15 et 30 caractérisant globalement un sol plastique à très plastique.
 - La teneur en eau naturelle caractérise un sol légèrement humide à humide ($7\% \leq W_n \leq 18\%$).
 - Les valeurs au bleu sol (V.B.S) représentent globalement un sol sensible à l'eau ($1,29 \leq V.B.S \leq 6,60$).
 - Les sols ont de faibles portances ($I.C.B.R \leq 5$) à l'exception des puits N°23, N°29, N°30, N°31, P34, P35, P37, P38 et P39.

➤ La classification GTR caractérise des sols généralement de classe A avec des sous classes A1, A2, A3 dont l'état hydrique et généralement moullé (m), sec (s) et très sec (ts).

La classe B n'est rencontrée qu'au niveau du puits N°23 (B5ts) et du puit N° 30 (B6ts).

- **Sols de classe A1 :**

Ces sols sont représentés par des limons argileux, des argiles limoneuses, des silts et des sables fins argileux. Ils changent brutalement de consistance pour de faibles variations de la teneur en eau.

Leur granularité est : $39 < \% < 80 \mu < 58$ et $69 < \% < 2 \text{ mm} < 91$.

- **Sols de classe A2 :**

Ces sols sont représentés par des limons, des argiles et des marnes. Ils se prêtent à l'emploi par les engins de terrassement si leur teneur en eau n'est pas trop élevée.

Leur granularité est : $47 < \% < 80 \mu < 92$ et $65 < \% < 2 \text{ mm} < 100$.

- **Sols de classe A3 :**

Ces sols sont représentés par des argiles, des argiles marneuses et des limons très plastiques. Ils sont très cohérents sous une teneur en eau faible à moyenne mais collants et glissants à l'état humide d'où la difficulté de leur mise en œuvre Leur granularité est :

$90 < \% < 80 \mu < 93$ et $\% < 2 \text{ mm} < 100$.

- **Sols de classe B5 :**

Ces sols sont représentés par des sables graveleux avec fines. La proportion des fines et la faible plasticité de ces dernières rapprochent le comportement de ces sols de celui des sols de classe A1

Leur granularité est : $\% < 80 \mu = 22$ et $\% < 2 \text{ mm} = 51$.

- **Sols de classe B6 :**

Ces sols sont représentés par des sables et graves argileux à très argileux. Le comportement du sol se rapproche de celui des sols fins avec une plus grande sensibilité à l'eau

Leur granularité est : $\% < 80 \mu = 29$ et $\% < 2 \text{ mm} = 48$.

VI.6: Classe de portance des sols supports de la route :

- **Facteur de portance :**

La détermination du facteur de portance F équivaut le facteur de portance Fm du mortier (éléments passant au tamis 0,42 mm) à partir de l'équation suivante :

$$F_m = 4250/WL \cdot I_p$$

Puits	Fm	% < 0,42mm	F	Puits	Fm	% < 0,42mm	F
P01	4.30	100	4.30	P20	10.12	96	10.12
P02	3.47	97	3.47	P22	9.14	87	9.14
P03	2.86	98	2.86	P23	8.00	38	13.92
P04	2.44	99	2.44	P24	7.59	60	9.86
P05	2.76	99	2.76	P25	5.44	65	6.52
P06	2.66	98	2.66	P26	5.44	76	5.44
P07	3.14	97	3.14	P27	6.21	88	6.21
P08	2.91	99	2.91	P28	6.94	70	7.63
P09	3.93	96	3.93	P29	6.38	73	6.63
P10	3.54	96	3.54	P30	9.44	43	15.48
P11	3.93	96	3.93	P31	6.21	59	8.20
P12	3.69	97	3.69	P32	7.35	58	9.85
P13	3.76	99	3.76	P33	7.35	71	7.93
P14	2.91	99	2.91	P34	4.81	72	5.10
P15	4.00	99	4.00	P35	6.94	67	8.00
P16	3.93	97	3.93	P36	7.14	60	9.28
P17	6.74	100	6.74	P37	6.55	89	6.55
P18	4.30	91	4.30	P38	7.35	96	7.35
P19	8.00	96	8.00	P39	5.88	86	5.88

- Les valeurs de l'indice portant C.B.R et du facteur de portance F permettent de classer globalement les sols du tracé en deux sections.
 - La première section s'étale du puits 01 au puits 28. Les sols correspondants ont un indice portant faible compris entre 0,87 et 5,42 ce qui correspond à un C.B.R < 5 (C.B.R moyen 2,35) avec un facteur de portance de 2,44 à 10,12.
 - ✓ Ces sols sont donc de faibles portances nécessitant l'introduction d'une couche de forme avant la réalisation du corps de chaussée.

- La deuxième section qui est comprise entre le puits 29 et le puits 39 a un indice portant moyen compris entre 5 et 12,27 (CBR moyen 7,3) avec un facteur de portance de 5,10 à 15,48.
- ✓ Une couche de forme s'avère nécessaire sur certains tronçons après la réalisation des essais complémentaires sur la PST

A partir des résultats des C.B.R et selon le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves on peut donner un classement de portance (Si) des sols rencontrés comme suit.

Puits N°	Classe de portance (Si)	CBR
P1 au P22, P24 au P26 P28 et P36	S4	< 5
P27, P29 et P30 P32 au P34, P37 au P39	S3	5 – 10
P23, P31 et P35	S2	10 – 25

Une couche de forme est donc nécessaire pour les sols de classe S4 et S3, les sols situés à proximité des puits 23, 31 et 35 n'exigent pas à priori de couche de forme.

Choix de la couche de forme :

Classe de portance de sol terrassé (Si)	Matériau de la couche de forme	Epaisseur de la couche de forme	Classe de portance du sol support visée
S4	Matériaux non traités (TVO, TVC, TVN)	60 cm en 2 couches	S2
S3	Matériaux non traités (TVO, TVC, TVN)	40 cm en 2 couches	S2

Chapitre VII

Etude de l'échangeur

VII.1 : Introduction :

L'homme par sa nature a toujours cherché à se simplifier la vie ou à rechercher des solutions aux problèmes auxquels il fait face. Dans le domaine routier, domaine s'occupant du transport et de l'évacuation des personnes et marchandises de tous ordres, l'homme a toujours inventé des moyens pour résoudre les soucis qu'il rencontre compte tenu de son évolution galopante. Donc, pour faciliter la circulation, éviter les collisions et congestions aux carrefours situés dans le même plan, il a été créé des échangeurs autoroutiers.

VII.2: Définition et rôle d'un échangeur :**VII.2.1: Définition :**

Un échangeur fait partie d'un réseau routier et c'est la solution appropriée pour résoudre un problème à un carrefour plan. Il assure, au moyen d'un ou plusieurs étages, les mouvements de circulation entre les routes. L'échangeur permet également un écoulement libre et en sécurité de grands débits de circulation, en plus de raccorder toutes les routes qui se croisent. La conception de chaque échangeur doit se faire de façon conjointe avec tous les autres ouvrages adjacents. La construction à proximité d'un quartier résidentiel peut occasionner un impact sur une partie ou même sur le quartier au complet. Sa localisation et son aménagement doivent servir la circulation de la meilleure façon possible et réduire les impacts (bruits, poussière, etc.) pour les résidents des quartiers résidentiels avoisinants.

VIII.2.2: Rôle d'un échangeur :

L'échangeur a pour rôle d'assurer la continuité des réseaux autoroutiers et de desservir plusieurs directions en même temps en distribuant les flux dans les différentes directions selon l'ordre d'importance et dans des bonnes conditions de confort et de sécurité tout en évitant les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents, et les points d'arrêt qui provoquent des pertes de temps. Malgré tout ce rôle et avantages pour l'échangeur il a toujours quelque inconvénient qui s'influence beaucoup plus sur l'environnement (faune et flore) à cause de sa nécessité pour une grande surface pour son exécution et aussi l'exécution très coûteuse parce qu'on prend toujours en compte sa partie esthétique.

VIII.3: Différents types d'échangeurs :

Pour choisir l'échangeur qui convient le mieux, il faut tenir compte de plusieurs facteurs tels que : la catégorie de l'autoroute, caractères et composition du trafic et la vitesse d'accès. On distingue deux classes d'échangeurs :

- Echangeur majeur: raccordement autoroute - autoroute.
- Echangeur mineur: raccordement autoroute - route.

VIII.3.1: Echangeur majeur :

L'échangeur majeur est un moyen de raccordement au niveau d'un croisement de deux (02) autoroutes sans qu'il y ait cisaillement dans ce point, voici quelques types:

VIII.3.1.1: Echangeur en trèfle complet :

C'est l'un des tout premiers types d'échangeurs, apparu dans les années 1930 aux États-Unis. C'est un échangeur massif, demandant une très grande emprise, et qui est généralement justifié par un trafic important. Le modèle ci-contre comprend également des collectrices latérales, destinées à éviter les croisements de flux de circulation.



Figure VII.1: Echangeur autoroutier en trèfle complet.

VIII.3.1.2: Echangeur « En turbine » :

Ce type d'échangeur occupe la même superficie qu'un échangeur en trèfle mais en corrige l'un des inconvénients: les bretelles en boucles du trèfle ont un rayon assez serré pour éviter de trop s'étendre, induisant l'obligation de réduire fortement sa vitesse (parfois jusqu'à 30 km/h), donc une capacité limitée et un risque accru de sortie de route, alors que la turbine met en œuvre des courbes à plus grand rayon.

VIII.3.1.3: Echangeur à niveaux :

Ce sont des échangeurs à plusieurs niveaux (4 ou 5 niveaux) et sont les types les plus massifs existants. Ils sont destinés à des circulations très importantes et atteignent des hauteurs supérieures à 25 mètres.

VIII.3.2: Echangeur mineur :

Il est utilisé pour les raccordements d'une autoroute « route principale » et une route ordinaire « route secondaire », les schémas concernés par le raccordement, voici quelques types:

VIII.3.2.1: Losange :

Il est composé de quatre (04) diagonale unidirectionnelle est un carrefour à niveau sur la route secondaire, les quatre (04) diagonales sont symétriques entre elles par rapport à l'axe de l'autoroute et il est adapté principalement pour une distribution symétrique des trafics d'échange.

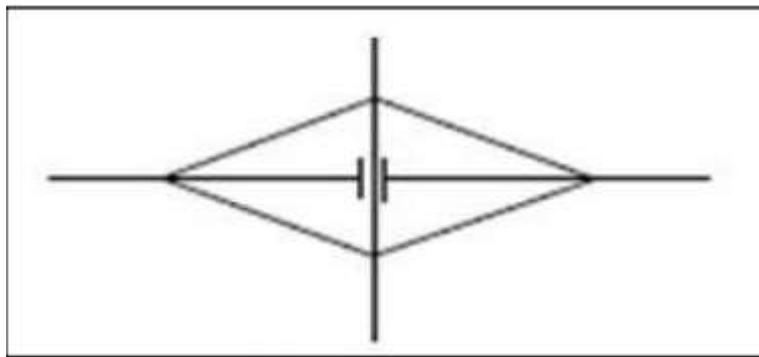


Figure VII.2: Echangeur autoroutier losange.

VIII.3.2.2: Demi-trèfle :

Comporte deux (02) boucles et deux (02) diagonales et un (01) carrefour à niveau sur la route secondaire, il est envisagé de préférence au schéma de type losange dans le cas en particulier d'une distribution nettement dissymétrique des trafics d'échange dans la mesure de possible utilisation des boucles en voies d'entrée ce qui améliore les conditions de visibilité et de sécurité. Généralement on a deux (02) types de demi-trèfle:

- Demi-trèfle symétrique.
- Demi trèfle asymétrique « quadrant opposé ».

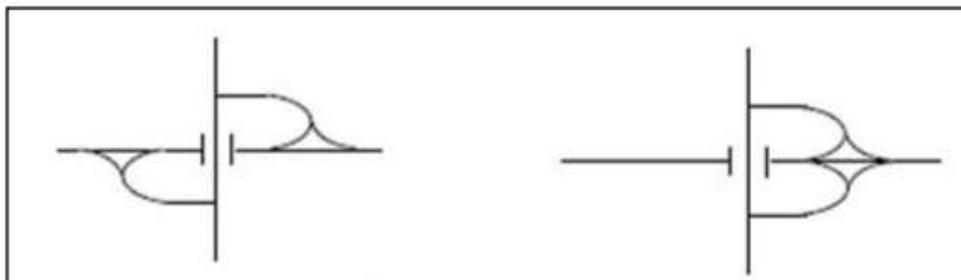


Figure VII.3: Echangeur autoroutier en demi-trèfle.

VIII.4: Caractéristiques géométriques des échangeurs :

Tout échangeur quelle que soit son importance, sa classe ou sa forme, est constitué d'un assemblage de trois (03) éléments qui sont :

- Pont (passage supérieur ou inférieur).
- Carrefour (s) plan(s).
- Bretelles (rampes d'entrée, et des rampes de sortie).

VIII.4.1: Pont :

Qui assure un passage supérieur ou inférieur. La détermination de nombre d'ouvrage d'art « pont » dans un échangeur est en étroite relation avec :

- Le type d'échangeur choisi.
- Les instructions et réglementation de conception.
- La condition de coordination profil en long- tracé en plan.
- Les contraintes du terrain d'implantation.

VIII.4.2: Carrefour plan :

On trouve les carrefours plans seulement sur les raccordements autoroute-route ordinaire, leur aménagement doit tenir compte des facteurs de sécurité, commodité et débit. Entre autres, un compromis entre ces conditions doit être recherché.

VIII.4.3: Bretelles:

Une bretelle d'échangeur est une chaussée de raccordement à sens unique qui relie deux (02) routes. Elle est composée d'un raccordement de sortie, de la bretelle et du raccordement d'entrée. Les bretelles assurent l'écoulement de la circulation soit en direction, soit en provenance d'une autoroute avec un accès limité. Sa configuration est déterminée lors du choix du type d'échangeur et les caractéristiques géométriques des différents tracés (en plan, du profil en long et du profil en travers) selon:

- Débit et composition de la circulation.
- Caractéristiques géométriques et d'exploitation des routes adjacentes.
- Relief.
- Dispositifs de régulation de la circulation.
- Attentes des usagers.

VIII.5: Conditions d'implantation d'un échangeur :

L'implantation d'un échangeur doit permettre de respecter les conditions suivantes:

- Eviter les sites en courbe de faibles rayons.
- Eviter les sites en point haut profil en long.
- Eviter de passage au voisinage ou sur des habitations et édifices publics.
- Eviter les sections à fortes déclivités.
- Les terrassements importants.
- Passage au terrain agricole.

VIII.6: Choix de l'échangeur :

La connaissance des différents types d'échangeurs existants, de leurs propriétés « Avantages, inconvénient... », et la limite de leur utilisation, permettent de choisir la configuration la plus adoptée ou cas qui présente.

Donc le choix du type de l'échangeur devient automatique après la détermination de certains paramètres bien spécifiques au site d'implantation et aux objectifs à atteindre.

Et pour ce but on suit le chemin suivant :

Étape 1: Détermination de la trace :

La détermination de tracé se fait à partir de:

- ✓ Présentation du site d'implantation.
- ✓ Type de route et nombre de branches à raccorder.
- ✓ Distribution du trafic avec les différents sens de parcours.
- ✓ Vitesse d'approche pratique qui détermine les caractéristiques sur la bretelle.

Étape 2 : Configuration de tracé à adopter :

L'échangeur a adopté doit aussi assurer un haut niveau de sécurité et de service, et ceci est garanti en respectant les normes de l'art de la conception qui se résume :

- ✓ Tracé respectant les valeurs limitées de conception « valeur de rayon, d'alignements ».
- ✓ Longueurs des voies « insertion, décélération » réglementaires.

Étape 3: Analyse:

C'est cette dernière étape qui valide le choix sous la base que le futur échangeur doit assurer les meilleures conditions de visibilité, de confort et de sécurité.

VIII.7: Application au projet :**Etape 1 : Détermination de la trace :**

Le croisement entre la pénétrante est la RN 75 au niveau de PK 5+740 nécessite un aménagement d'un échangeur. Ce dernier a pour but d'assurer la continuité et la fluidité de la circulation à ce niveau et de permettre d'effectuer les différents échanges dans cette région :

a- Etude du trafic:**a-1 Pour la pénétrante :**

L'estimation du trafic pour la pénétrante à l'horizon de 2020 (année de mise en service) est égale à 9230 v/J /sens (**voir chapitre II Etude du trafic**).

a-2 Pour la RN75:

C'est une route national bidirectionnelle de 2x2 voies de 3.5 m chacune avec une vitesse de référence de 100Km/h.

a-3 Pour les bretelles et les boucles :

On estime un TJMA de 30 % de celui de la pénétrante, donc il est de 2769 v/j.

$$TJMA_{2020} = 0.30 \times 9230$$

$$TJMA_{2020} = 2769 \text{ v/J.}$$

$$TJMA_{2040} = 2769 \times (1+0,035)^{20} = 5510 \text{ v/J}$$

$$T_{\text{eff } 2040} = [(1-0,20) + 3 \times 0,20] \times 5510$$

$$T_{\text{eff } 2040} = 7714 \text{ uvp/J.}$$

$$Q_{2040} = 0,12 \times 7714$$

$$Q_{2040} = 926 \text{ uvp/h.}$$

$$Q_{\text{adm}} = 0,75 \times 1 \times 1500 = 1125 \text{ uvp/h.}$$

$$N = (2/3) \times (926/1125) \qquad N = 0.55 \approx 1$$

Donc : n =1 voie

Nota : Pour toutes bretelles et boucles on aura le même profil en travers c'est-à-dire

« Une (01) voie ».

b- Vitesse de base dans les bretelles

La vitesse de base des bretelles doit s'approcher de la vitesse de base des routes qu'elles relient. Mais souvent à cause des facteurs, comme les contraintes du site et certaines configurations de bretelles et des facteurs économiques, il faut se tenir à des vitesses de base inférieures. Le tableau ci-contre inspiré du « B40 » nous donne la vitesse dans les bretelles à partir de celles des routes qu'elles relient.

Vitesse de base de la route (Km/h)		60	80	100 RN75	120	140
Vitesse de base de la bretelle (Km/h)	souhaitable	50	70	<u>80</u>	100	110
	minimal	40	40	50	<u>60</u>	70

Tableau VIII.1: Vitesse de base dans les bretelles.

La vitesse de base dans les bretelles de notre échangeur est 60 Km/h à 80Km/h.

Étape 2 : Configuration de tracé à adopter :

a- Tracé en plan:

a-1 Longueur de référence pour les voies de sortie et entrée des bretelles.

Il existe deux façons d'aménager les voies de changement de vitesse (biseau ou parallèle). L'aménagement en biseau suppose une entrée ou une sortie directe avec un angle peu prononcé. Et l'aménagement en parallèle comprend une voie additionnelle pour le changement de Vitesse.

➤ **Voies d'entrée (d'accélération):**

Vitesse d'approche à vide Va (Km/h)	60	80	100	120
Longueur de la voie d'insertion L(m)	140	180	240	<u>320</u>
Longueur biseau L(m)	40	50	70	<u>80</u>

Tableau VIII.2: Longueur de référence pour les voies d'entrée des bretelles.

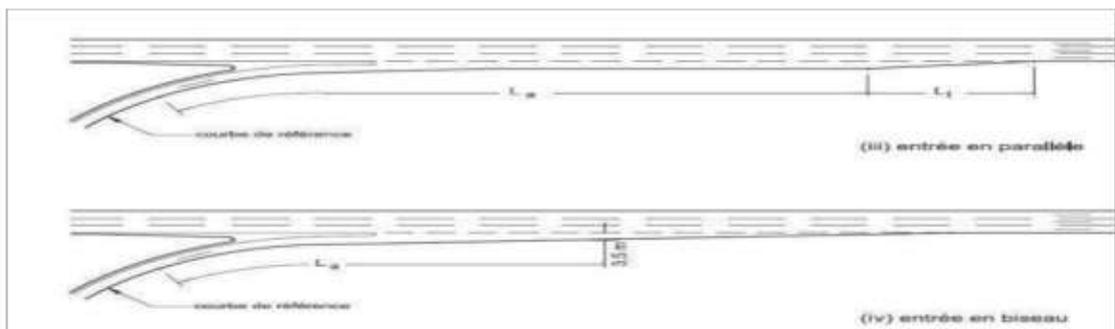


Figure VII.4: Représentation des voies d'entrées dans les bretelles.

➤ Voies de sortie (d'insertion):

Va (Km/h)	60	80	100	120
L(m)	70	115	170	240
L _S (m)	40	50	60	75

Tableau VIII.3: Longueur de référence pour les voies de sorties des bretelles.

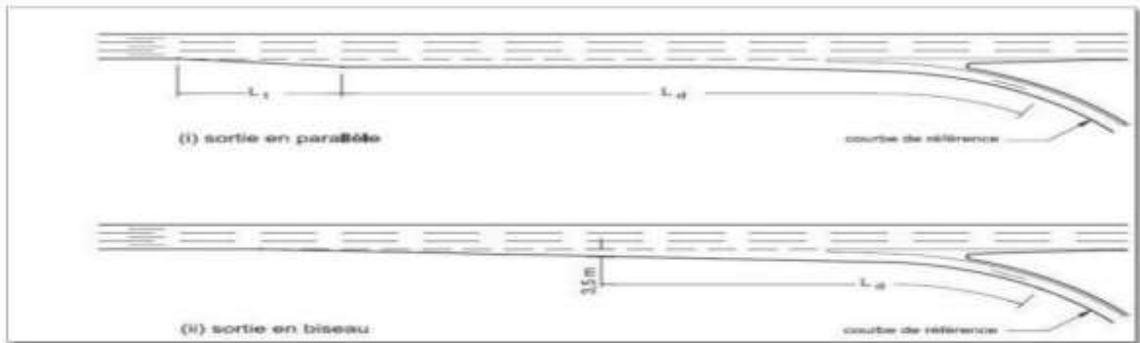


Figure VII.5: Représentation des voies d'entrées dans les bretelles.

b- Profile en long:**b-1 Rayons saillants:**

Ils sont déterminés par la distance d'arrêt sur un obstacle pour les vitesses pratiquées dans les bretelles. Il est calculé par la formule suivante :

$$RVm_1 = a \times d_1^2 \times (V_r) \quad \text{Avec: } a = 0.24 \quad \text{Pour catégorie(1 et2)}$$

b-2 Rayons réentrants :

Sont déterminés principalement par la condition de confort. Il est calculé par la formule suivante :

$$R'Vm = \frac{d_1^2 \times V_r}{1.5 + 0.35 d_1 \times (V_r)}$$

b-3 Déclivités:

Sur tout le tracé des bretelles on ne doit pas avoir de déclivité supérieure à :

- Entrée 5% (rampe), 8% (pente).
- Sortie 7% (rampe), 6% (pente).

b-4 Dévers:

Il doit être le même pour la partie commune des chaussées en évitant les dévers supérieurs à 5% en particulier dans les petits rayons.

Et dans le tableau qui suit les valeurs limites des rayons qui doivent être appliqué sur l'échangeur :

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

Tableau VIII.4: Valeurs limites des rayons du profil en long.

c- Profile en travers:

Bretelles unidirectionnelles.

Chaussée	Unidirectionnelle	5 m
B.D.D.		1.00 m
B.D.G		1.00 m

Tableau VIII.5: profile n travers des bretelles.

Étape 3: Analyse:

Après l'analyse qui est faite sur le choix de l'échangeur qui raccordera la pénétrante l'autoroute Est-Ouest en (2x2) voies avec la RN75, on a conclu qu'il sera constitué de quatre (04) branches et comme le trafic de ces derniers est très important on a trouvé que l'échangeur le plus avantageux est celui de type trèfle complet.

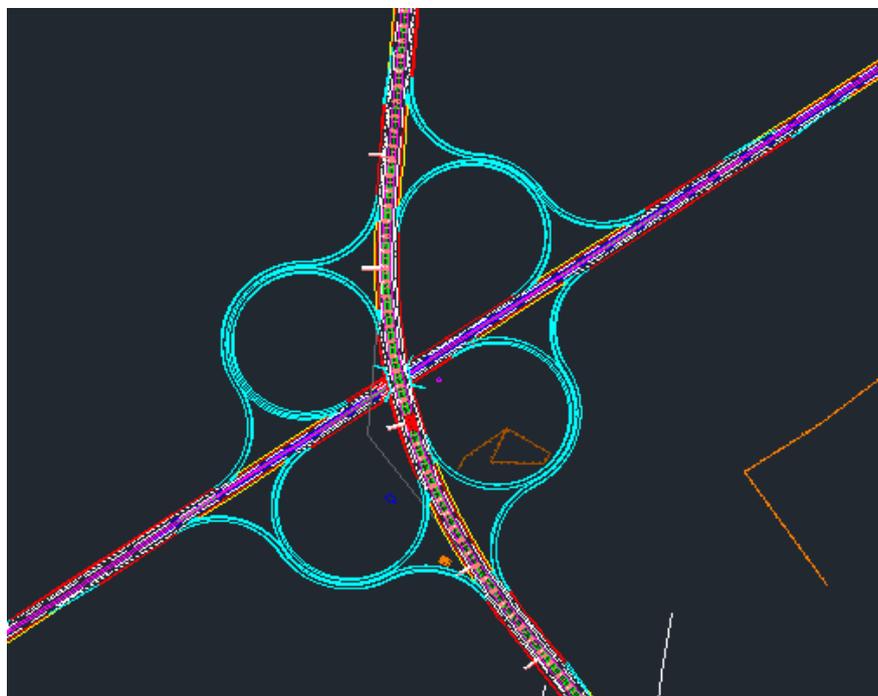


Figure VII.6: Schéma type de l'échangeur.

Chapitre VIII

Ouvrage d'art

VIII.1. Introduction :

Un ouvrage d'art est une construction de grande importance permettant de franchir un obstacle sur une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale (ponts, tunnels) mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs, tranchée couverte, digue) et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport (quais et autres ouvrages portuaires).

VIII.2: Définition d'un pont :

Un pont est une construction qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voie de communication...) en passant par-dessus.

Toutefois, le mot viaduc est employé pour un ouvrage franchissant une vallée ayant un cours d'eau de faible largeur par rapport à la longueur de l'ouvrage, et « pont » dans le cas contraire.

VIII.3: Choix et type d'ouvrage :

On choisit le type de pont selon les avantages qu'il présente par rapport à l'endroit où il doit être construit avec une satisfaction des conditions imposées le mieux possible, à savoir, conditions de site, délais, économiques, etc. Plusieurs facteurs influencent ce choix, on cite :

- ✓ La distance sur laquelle il doit s'étendre ainsi que celle qu'il doit y avoir en dessous du pont.
 - ✓ La nature du sol d'implantation.
 - ✓ Les matériaux nécessaires et la main d'œuvre disponible.
 - ✓ Le type de circulation qu'il va y avoir sur ce pont.
 - ✓ Les coûts reliés à sa construction.
 - ✓ L'apparence du pont en relation avec son entourage.
 - ✓ Paramètres fondamentaux de fonctionnement mécanique des structures (flexion, compression et traction)
- Pour une portée d'ordre de 50 m avec une largeur de 11 m plusieurs types de pont peuvent être envisagés qui sont :
- Ponts à poutres.
 - Ponts voûtés.
 - Pont en arc.
 - Ponts suspendus.
 - Ponts haubanés (à haubans).

VIII.4: Inconvénients et avantages pour chaque type de pont :**VIII.4.1 : Ponts à poutres :**

Ponts composés d'un tablier très rigide qui transmet les charges sur les culées et les piles si la portée est trop importante pour être tenue par une simple poutre.

Les ponts à poutres désignent tous les ponts dont l'organe porteur est une ou plusieurs poutres. Les efforts engendrés dans la structure sont principalement des efforts de flexion.

Un cas particulier de ce type de pont : les ponts à voussoirs. Des tronçons de tablier sont préfabriqués puis assemblés à la structure porteuse, la pile, au fur et à mesure de l'avancement du chantier, de manière alternée, afin d'équilibrer les charges de part et d'autre de la pile. Ce procédé permet de franchir de grandes portées, allant jusqu'à 300 mètres en utilisant le béton armé, sans besoin d'étaie.

On trouve donc des ponts à poutre : en béton armé, en béton précontraint, mixtes (acier/béton), métalliques et en bois.

➤ Avantages :

- La structure est légère, très solide.
- Relativement simple à construire.
- Large choix dans les matériaux.

➤ Inconvénients :

- La portée est limitée par la résistance des poutres.
- Obligation d'avoir régulièrement des points d'appui stables (piles).

VIII.4.2 : Ponts voûtés :

Ce sont des ponts appartenant à la classe des ponts en arc utilisant plusieurs arcs pour ramener les efforts en appui en suivant des lignes de compression pure. Ces ponts sont capables de transformer les charges verticales du tablier en forces obliques qui vont suivre la forme de l'arc, puis de les transférer vers le sol à l'aide de la pile. Généralement les ponts à voûtes sont en pierre, mais on en trouve en acier et en béton.

➤ Avantages :

- Il permet une bonne utilisation des performances (en compression) de la pierre.

➤ Inconvénients :

- La pierre résiste mal à la traction.
- Sa construction limite la distance entre les piles (environ 50 mètres).
- Coût de construction important, car nécessite beaucoup de temps et de main d'œuvre par rapport aux nouvelles techniques.
- La construction en maçonnerie nécessite la réalisation de coffrage.

VIII. 4. 3 : Pont en arc :

Ponts utilisant un arc pour ramener les efforts en appui en suivant des lignes de compression pure. Généralement les ponts en arc sont en acier et en béton.

➤ Avantages :

- L'utilisation de l'acier dans la structure la rend plus légère.
- La longueur du pont peut être très importante, car les arcs peuvent se suivre en continu.

➤ Inconvénients :

- L'obligation d'avoir des appuis solides de part et d'autre pour s'opposer aux forces exercées par le pont.
- La construction en maçonnerie nécessite la réalisation de coffrage.

VIII.4.4 : Ponts suspendus :

Ponts en acier et en béton dont le tablier est suspendu à des câbles porteurs par des câbles verticaux, l'ensemble est supporté par des pylônes. Et ces derniers plus sont hauts et moins les efforts horizontaux sont importants. Le contraire est aussi vrai.

Le poids du tablier, les charges dues à la circulation et toutes les autres charges sont transférées à travers les câbles jusqu'à la partie supérieure des pylônes. Les pylônes vont ensuite ramener les efforts verticaux vers le sol.

➤ Avantage :

- Il enjambe des distances beaucoup plus grandes que tout autre type de pont.

➤ Inconvénients :

- La présence de massifs d'ancrage est indispensable pour tenir les forces.
- L'entretien et le remplacement des câbles nécessitent beaucoup de temps et la fermeture du pont pendant les travaux.

VIII. 4.5: Ponts haubanés (à haubans) :

Pont en acier et en béton dont tous les tronçons de tablier sont ancrés par des câbles différents directement au pylône.

Un hauban est un câble qui relie une partie du tablier avec les pylônes. Le principe des ponts haubanés est basé sur une équilibre simple : des haubans portent deux (02) parties symétriques du tablier du pont de chaque côté d'un pylône.

➤ Avantages :

- Il enjambe des distances importantes comme le pont suspendu.
- La répartition des forces au niveau des piliers rend inutile la réalisation de massifs d'ancrage dans les berges.
- C'est le moins cher à construire.
- Il peut être construit sur pratiquement n'importe quel type de terrain.

➤ Inconvénients :

- Les haubans sont plus fragiles et plus sensibles au vent et aux vibrations provoquées par la circulation.
- Portée moins importante que les ponts suspendus.

VIII.5: Conclusion :

Après avoir examiné tous les types d'ouvrages possibles, on a opté pour le premier ouvrage un pont poutre à deux travées de 25 m en béton précontraint, cela pour les avantages qu'ils possèdent notamment la facilité de leur construction et le choix des matériaux.

VIII.6: Présentation du pont de l'échangeur :

Le lieu de croisement de la pénétrante avec la route nationale 75 au niveau du PK 5+740, un échangeur doit être aménagé, et pour assurer le passage supérieur de la RN75 sur la pénétrante une construction d'un pont est obligatoire.

VIII.6.1: Données naturelles :

Les données naturelles relatives à l'environnement du pont, influent considérablement sur sa conception. Elles se constituent par :

- La reconnaissance du site aide à déterminer le type d'obstacle à rencontrer dans la réalisation, et pour notre cas, il s'agit d'un passage supérieur afin de franchir une pénétrante autoroutière ce qui nous donne une ouverture de 42 m et un gabarit de 5.5m.
- La reconnaissance géotechnique faite à partir d'une carte géologique et des sondages carottés ainsi pour connaître le sol de fondation, il faut faire des sondages aux emplacements des appuis.

➤ VIII.6.2 : Données fonctionnelles :

D'après le rôle de ce pont qui assure la continuité et la fluidité de trafic sur la RN75 en passant sur la pénétrante certaines caractéristiques géométriques doivent être respectées telles que :

➤ Tracé en plan :

Le tracé en plan est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée. En plan, nous pourrions distinguer que c'est un ouvrage droit exempt de toutes courbures.

➤ Profil en long :

Longitudinalement, le tracé de la voie portée qui est une route unidirectionnelle.

➤ Profil en travers :

Le profil en travers de la pénétrante (29 m) est important et pour des raisons de stabilité et de facilité de construction de l'ouvrage, il est mieux de le construire en 02 portées séparées de sens opposé.

Le profil en travers d'une seule portée est défini comme suit :

- ✓ Nombre de voies de circulations : 2 voies de 3.5 m.
- ✓ B.A.U: de 2.5 m
- ✓ B.D.G :1m
- ✓ Profil en toit de 2,5%, et -2,5%.

Donc : On obtient pour une seule portée, un tablier de largeur = **10.5 m.**

➤ VIII.7. : Choix et type d'ouvrage :

Le type d'ouvrage choisi de telle sorte qu'il soit le plus économique possible et de satisfaire toutes les conditions imposées, et le choix se fait en respectant les paramètres suivants :

- ✓ Les paramètres géométriques de la chaussée (profil en long, en travers, en plan) tels que :
 - La largeur totale $I_t = 10.5 \text{ m}$.
 - La longueur totale $L_t = 42 \text{ m}$.
- ✓ Opter pour un type d'ouvrage réalisable en Algérie avec des techniques maîtrisées sur le terrain national.
- ✓ L'intégration de l'ouvrage dans son environnement avec la nécessité de dégager la meilleure visibilité pour les usagers de l'autoroute.

Avec les paramètres ci-dessus deux (02) types de pont peuvent être envisagés :

- * Variante N°1 : Pont à poutres en béton précontraint par post-tension.
- * Variante N°2 : Pont mixte (acier/ béton).

VIII.7: Inconvénients et les avantages pour chaque type de variante :**VIII.7.1 : Première variante (Pont à poutres en béton précontraint) :****➤ Avantages :**

- Le mode de réalisation des poutres tel que le béton coulé en atelier ou sur chantier à poste fixe est en général de meilleure qualité.
- La facilité du contrôle de réalisation ainsi que la rapidité d'exécution des travaux.
- La préfabrication permet de diminuer le délai d'exécution de l'ouvrage, puisqu'il est possible de rendre indépendant la fabrication des poutres du reste de chantier
- Les coffrages des poutres peuvent être utilisés un grand nombre de fois.
- La préfabrication des poutres permet d'éviter l'encombrement des échafaudages gênant souvent le fonctionnement du chantier.
- Les ponts à poutres préfabriquées en béton précontraint sont souvent très économiques (les portés allant jusqu'à 30 m en précontrainte par pré tension, et pour les portées qui sont comprise entre 30 et 50 m en précontrainte en post tension.

➤ Inconvénients :

- La nécessité de fabriquer du béton plus résistant principalement avant 28 jours.
- La nécessité de qualification de la main d'œuvre pour l'exécution de la précontrainte au même temps de la vérification de la pose des gaines et câbles et pour la mise en tension des câbles.
- L'obligation d'attendre que la mise en tension soit faite pour pouvoir décoffrer.

VIII.7.2: Deuxième variante Pont mixte (acier/ béton) :

➤ **Avantages :**

- ✓ La possibilité de franchir de grandes portées.
- ✓ La légèreté, donc la diminution du nombre des poutres.
- ✓ La rapidité d'exécution globale.
- ✓ La précision dimensionnelle des structures.

➤ **Inconvénients :**

- ✓ Le problème majeur des ponts mixtes est l'entretien contre la corrosion et le phénomène de la fatigue dans les assemblages.
- ✓ La résistance et la stabilité de la structure en place doivent être vérifiées à tous les stades importants du montage, ainsi qu'un contrôle strict sur le chantier.
- ✓ Demande des mains d'œuvre qualifiées (surtout les soudeurs).
- ✓ Les poutres en I sont sensibles au déversement pour les ensembles des pièces de pont.
- ✓ Stabilité des membrures de poutres qui ont tendance à flamber latéralement lorsqu'elles sont comprimées.
- ✓ L'exigence de la surveillance avec des visites périodiques

VIII.8 : Comparaison des deux variantes :

Pour cette analyse nous résumerons notre étude des deux (02) variantes en quatre points importants comme le montre le tableau ci-dessous :

	Pont à poutres en béton précontraint	Pont mixte (acier/béton)
Economie	+	-
Entretien	+	-
Esthétique	+	-
Exécution	+	+

VIII.1: Comparaison des deux variantes.

VIII.9: Conclusion :

Après analyse des différents points des deux variantes et en tenant compte des données naturelles et économiques de ce projet, le choix s'est porté sur un pont à poutres à deux travées de 21m en béton précontraint.

Chapitre IX

Assainissement

IX.1: Introduction:

L'eau est le premier ennemi de la route, car il influe sur la viabilité de la chaussée d'une part, et d'autre part c'est le problème de longévité de l'ouvrage, d'où la nécessité d'une protection contre la nocivité des eaux. La présente étude hydraulique, nécessite la connaissance des données hydrauliques pour la détermination des débits de différente fréquence (décennale, cinquantenaire, centenaire) aux diverses traversées de la route par écoulement naturel. Pour cela on réalise des caniveaux ou des conduites de drainage et on collecte les eaux avec des réseaux d'assainissements dans les endroits appropriés.

IX.2 : Drainage de la route :

Si l'on veut qu'un corps de chaussée réponde à sa fonction, il faut veiller avec soin à l'évacuation de l'eau qui ruisselle en surface ainsi que celle qui peut s'infiltrer dans les couches inférieures de la chaussée. Pour que l'eau ne stagne pas sur ou au voisinage de la route il faut :

- ✓ Eviter les pentes nulles.
- ✓ Essayer de réduire au maximum les distances où le dévers avoisinant zéro.
- ✓ Réaliser les fossés où il faudrait.
- ✓ Réaliser les ouvrages d'évacuation.

Donc l'eau est un des facteurs influents sur la conception d'un projet d'assainissement, pour savoir le degré de son influence, on doit avoir au préalable les données naturelles suivantes :

- ✓ La pluviométrie de la région.
- ✓ La topographie de la région.
- ✓ L'hydrogéologie de la région.

IX.3: But de l'assainissement :

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- ✓ Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée.
- ✓ Le maintien de bonne condition de viabilité.
- ✓ Eviter les problèmes d'érosions.
- ✓ La sauvegarde de l'ouvrage routier (car l'eau accélère la dégradation de la surface, augmente la teneur en eau du sol support, entraînant par la suite des variations de portance et diminue la qualité mécanique de la chaussée).

IX.4: Hydrologie :

IX.4.1: Caractéristiques des averses :

Une averse est définie par trois facteurs :

- Durée.
- Intensité.
- Fréquence.

On appelle intensité moyenne d'une averse, le rapport entre la quantité d'eau tombée par unité de surface et la durée de la chute, cette intensité est exprimée en « mm/h ».

Pour la fréquence, on dira par exemple que l'averse est de fréquence 10 ans.

IX.4.2 : Précipitation :

En supposant la répartition de GALTON des précipitations maximales journalières « P_j », la pluie journalière de fréquence voulue « P_j(%) » est déterminée par la formule suivante:

$$P_j(\%) = \frac{\bar{P}_j}{\sqrt{C_v^2 + 1^2}} \exp \left[u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1^2)} \right]$$

Avec :

- P_j: Pluie journalière maximale moyenne.
- C_v : Coefficient de variation de la région considérée.
- P_j % : Pluie journalière maximale pour une fréquence donnée.
- Ln : Logarithme népérien.

N.B :

Les fossés et les buses seront dimensionnés pour une période de retour 10 ans, donc la variable de Gauss **U=1.28**.

Les dalots seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans, donc la variable de Gauss **U=2.057**.

Soit le tableau suivant qui donne les valeurs du gaussien en fonction de la fréquence.

Fréquence au dépassement (%)	50	20	10	5	2	1
Période de retour (années)	2	5	10	20	50	100
Variable de GAUSS (U)	0.00	0.841	1.282	1.645	2.057	2.327

Tableau IX.1: Valeurs du gaussien en fonction de la fréquence.

a) Fréquence de l'averse « P_t (%) » :

Pour une durée de temps spécifique, la fréquence d'averse est donnée par la formule suivante:

$$P_t (\%) = P_J (\%) \times (t_c/24)^b$$

Avec :

- ✓ **P_J (%) :** Hauteur de la pluie journalière maximale (mm).
- ✓ **b :** Exposant climatique.
- ✓ **P_t (%) :** pluie journalière maximale annuelle.
- ✓ **t_c :** Temps de concentration (heure).

b) Temps de concentration « t_c » :

La durée « t » de l'averse qui produit le débit maximum **Q** étant prise égale au temps de concentration.

Dépendant des caractéristiques du bassin drainé, le temps de concentration est estimé respectivement d'après Ventura, Passini, Giandothi, comme suit:

- La formule de VENTURA ($A < 5 \text{ km}^2$): $t_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$.
- La formule de PASSINI ($5 \text{ km}^2 \leq A \leq 25 \text{ km}^2$): $t_c = 0.108 \times \sqrt[3]{\frac{A.L}{P}}$.
- La formule de GIADOTHI ($25 \text{ km}^2 \leq A < 200 \text{ km}^2$) : $t_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{H}}$.

Avec:

- ✓ **t_c :** Temps de concentration (heure).
- ✓ **A :** Superficie du bassin versant (km^2).
- ✓ **L :** Longueur de bassin versant (km).
- ✓ **P :** Pente moyenne du bassin versant (m.p.m).
- ✓ **H :** La différence entre la côte moyenne et la côte minimale (m).

IX.5: Evacuation des quantités d'eau recueillies :

Pour le dimensionnement du réseau de drainage, nous appliquerons la méthode dite « Rationnelle ».

IX.6: Principe de la méthode :

Cette méthode est appropriée en ce qui concerne les bassins versants urbains et permet de calculer rapidement les débits de ruissellement maximaux pour des pluies uniformes tombant sur des bassins versants de faible superficie.

On démontre ainsi que pour une averse homogène dans le temps et dans l'espace, d'intensité « i », le débit maximum « Q » est atteint si la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration « T_c » du bassin. Prenant compte aussi une période de retour qui est intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement caractérisé. Noté « T » à déterminer par exemple la probabilité pour qu'une intensité « I » ne soit pas atteinte ou dépassée, généralement on le prend dix (10) ans.

IX.7: Débit d'apport :

Le débit d'un bassin étant la quantité d'eau qui s'écoule dans l'intervalle d'un temps donné, sa gestion dans le milieu urbain a aussi pour but d'éviter des dommages aux propriétés.

La formule qui traduit la relation entre le débit maximal arrivant au point considéré, la surface drainée et l'intensité est : $Q_a = K \times C \times I_t \times A$.

Avec:

- ✓ Q_a : Débit d'apport en « m^3 / s ».
- ✓ K : Coefficient de conversion des unités.
- ✓ C : Coefficient de ruissellement (dépend des caractéristiques de la surface à drainer).
- ✓ I_t : Intensité de l'averse de durée égale au temps de concentration exprimée en « mm/h ».
- ✓ A : superficie de la surface drainée en « km^2 ».

a) Coefficient de ruissellement «C » :

Le coefficient de ruissellement d'une surface donnée est le rapport du volume d'eau ruisselant en surface sur le volume d'eau tombé.

Ce coefficient dépend essentiellement :

- De la nature des revêtements sur les ruisselles d'eau.
- Des pentes des surfaces drainées.
- De la température de l'air, du sol, de l'eau, degré hygrométrique de l'air, saison.
- Ce coefficient varie au cours d'une averse avant de se stabiliser.

La valeur du coefficient « C » est fixée à partir du tableau ci-dessus :

Type de surface	Coefficient Ruissellement 'c'	Valeur prise
Chaussée revêtue en enrobe	0.8 à 0.95	0.95
Accotement (sol légèrement perméable)	0.15 à 0.4	0.4
Talus, sol perméable	0.1 à 0.3	0.3
Terrain naturel	0.05 à 0.2	0.2

Tableau IX.2: Coefficient de ruissellement.

Si la surface à drainer est constituée de plusieurs surfaces S_1, S_2, \dots, S_n de natures différentes, le coefficient de ruissellement à prendre en compte sera la moyenne pondérée des coefficients C_1, C_2, \dots, C_n .

$$C = \frac{(\sum C_i \times A_i)}{\sum A_i}$$

b) Intensité de l'averse « It » :

L'intensité de l'averse I_t est donnée par la relation suivante :

$$I_t = I \times (t_c/24)^{b-1}$$

Avec : $I (\%) = P_J (\%)/24$

IX.8: Débit de saturation :

Le débit de saturation de l'ouvrage d'assainissement est calculé par la formule de MAMING STICKLER.

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

Avec :

Q_s: Débit de saturation.

J: Pente de l'ouvrage d'évacuation.

S_m : Section mouillée.

R_H: Rayon hydraulique, avec : **R_h** = section de profil mouillé / périmètre du profil mouillé.

K_{st}: Coefficient de rugosité (MAMING STICKLER).

- Parois en terre : **K_{ST} = 30.**
- En buses métalliques : **K_{ST} = 40.**
- Maçonneries : **K_{ST} = 50.**
- Béton : **K_{ST} = 70.**
- Buses préfabriquées : **K_{ST} = 80.**

IX.9: Définitions des ouvrages d'évacuations :

- ✓ **Fossés** : sont des ouvrages longitudinaux destinés à collecter les eaux superficielles qui ruissellent sur la chaussée, sur les accotements, les talus et sur les terrains avoisinants.
- ✓ **Buses** : sont des ouvrages hydrauliques en béton utilisés pour le rétablissement des écoulements naturels.
- ✓ **Dalot** : sont des ouvrages transversaux comme les buses mais de section rectangulaire ou carrée et exécutés exclusivement en béton armé.

IX.10: Dimensionnement des ouvrages d'évacuation :

La méthode de dimensionnement consiste à choisir un ouvrage, puis à vérifier sa capacité à évacuer le débit d'apport.

Ce dimensionnement doit être compatible avec les conditions d'une bonne exécution et un entretien facile.

Les dimensions retenues pour l'ouvrage sont celles qui répondent aux conditions :

$$Q_a < Q_s \left\{ \begin{array}{l} Q_a : \text{Débit d'apport (m}^3 \text{/s).} \\ Q_s : \text{Débit capable (saturation) de l'ouvrage (m}^3 \text{/s).} \end{array} \right.$$

IX.11: Conclusion :

On conclue avec un tableau récapitulatif des ouvrages d'évacuation des eaux et leur dimensionnement sur tout le tronçon de notre projet.

Bassin versant	Localisation(PK)	Type d'ouvrage	Dimensions	Longueur
01	6+510	Dalot	1.50m x 1.00m	40.97ml
02	6+670	Dalot	1.50m x 1.00m	39 ml
03	6+850	Dalot	2.00m x 1.00m	35 ml
04	7+790	Dalot	1.00m x 1.00m	39 ml
05	8+370	Dalot	2.00m x 2.00m	40.44 ml
06	8+450	Dalot	1.50m x 1.50m	36.43 ml
07	11+030	Dalot	2.00m x 1.50m	49 ml
08	11+340	Dalot	3.00m x 3.00m	37.42 ml
09	14+540	Dalot	2.00m x 1.50m	34.73 ml
10	14+880	Dalot	2.00m x 2.00m	35.06 ml

Tableau IX.3: Tableau récapitulatif de tous les ouvrages utilisés.

Chapitre X

Signalisation et Equipements

X.I : Signalisation**X.I.1: Introduction :**

En connaissant la forme des divers panneaux de signalisation, un conducteur peut évaluer d'avance leur message. La normalisation des couleurs et des symboles des panneaux aide aussi le conducteur à reconnaître leur signification.

Les panneaux ne sont peut-être pas exactement comme ils sont indiqués dans ce chapitre et celle-ci ne donne qu'un échantillon représentatif.

X.I.2: Règles à respecter pour la signalisation :

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation tout en respectant les critères suivants :

- ✓ Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéités).
- ✓ Cohérence avec les règles de circulation.
- ✓ Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale.
- ✓ Simplicité : elle s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatigue l'attention de l'utilisateur.
- ✓ Eviter la publicité irrégulière.

X.I.3. Définition et les objectifs de panneaux de signalisation routière :

Les panneaux de signalisation indiquent un règlement de circulation en vigueur à un moment et endroit précis. Ils indiquent ce qu'il faut faire et ne pas faire. Les types de panneaux appartenant à cette catégorie incluent : la priorité pour les conducteurs, des panneaux de contrôle qui permettent ou interdisent l'utilisation d'une route donnée, la régulation de la vitesse, les virages, la direction de la circulation, les dépassements, l'utilisation des voies de circulation, le stationnement et les passages pour piétons.

X.I.4. Catégories de signalisation :

On distingue :

- ✓ La signalisation par panneaux.
- ✓ La signalisation par feux.
- ✓ La signalisation par marquage sur la chaussée.
- ✓ La signalisation par balisage.
- ✓ La signalisation par bornage

X.I.5. Types de signalisation :

On distingue deux types de signalisation :

- ✓ La signalisation routière verticale ; qui comprend les panneaux, les balises, les bornes et les feux tricolores.
- ✓ La signalisation routière horizontale désignée par des marquages au sol.

X.I.5.a. Signalisation verticale :

- ✓ Signaux de danger : panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150m en avant de l'obstacle signalé (signalisation avancé).
- ✓ L'interdiction : sont de forme circulaire et comportent un anneau rouge.
- ✓ L'obligation : sont de forme circulaire et comportent un anneau bleu.
- ✓ La fin de prescription.
- ✓ Signaux d'indication et de localisation : sont en général de forme rectangulaire, parfois terminée en pointe de flèche pour signaler une direction.
- ✓ Signaux d'intersection : sont toujours implantés au niveau d'intersection.

X.I.5.b. Signalisation horizontale :

Le marquage des chaussées doit indiquer clairement les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation.

-Les marquages horizontaux se divisent en trois types :

1. Marquages longitudinaux :**• Lignes continues :**

Ce sont des lignes longitudinales sans interruption, il est interdit de les franchir ou de les chevaucher. Elles servent à délimiter l'espace de chaque voie, les limites externes de la chaussée lorsqu'il est interdit de s'arrêter.

• Lignes discontinues :

Elles sont destinées à orienter et à faciliter la libre circulation, elles sont franchissables et se différencient par leur module qui est le rapport de la longueur des traits sur celle de leur intervalle. Citons quelques exemples de lignes discontinues :

- ligne axiale : pour délimiter les voies.
- ligne de rive : pour délimiter les voies de d'accélération et de décélération.
- ligne d'avertissement : associée à des flèches de rabattement pour annoncer une ligne continue. Les traits ont une longueur de 1m pour les intervalles de 2,25m, sur environ 100m.

2. Marquages transversaux :

Ils indiquent, en général, des recommandations obligatoires ou des précautions, telles que les lignes de stop ou de passage pour piétons.

3. Autres marquages :

-**les flèches** : elles sont utilisées pour fournir au conducteur des renseignements sur les directions à prendre.

-**les flèches de rabattement** : elles sont légèrement incurvées vers la voie que les usagers doivent emprunter.

-**les flèches de sélection**, à l'approche d'une intersection, signalent aux usagers la direction à prendre.

4. Caractéristiques générales des marquages :

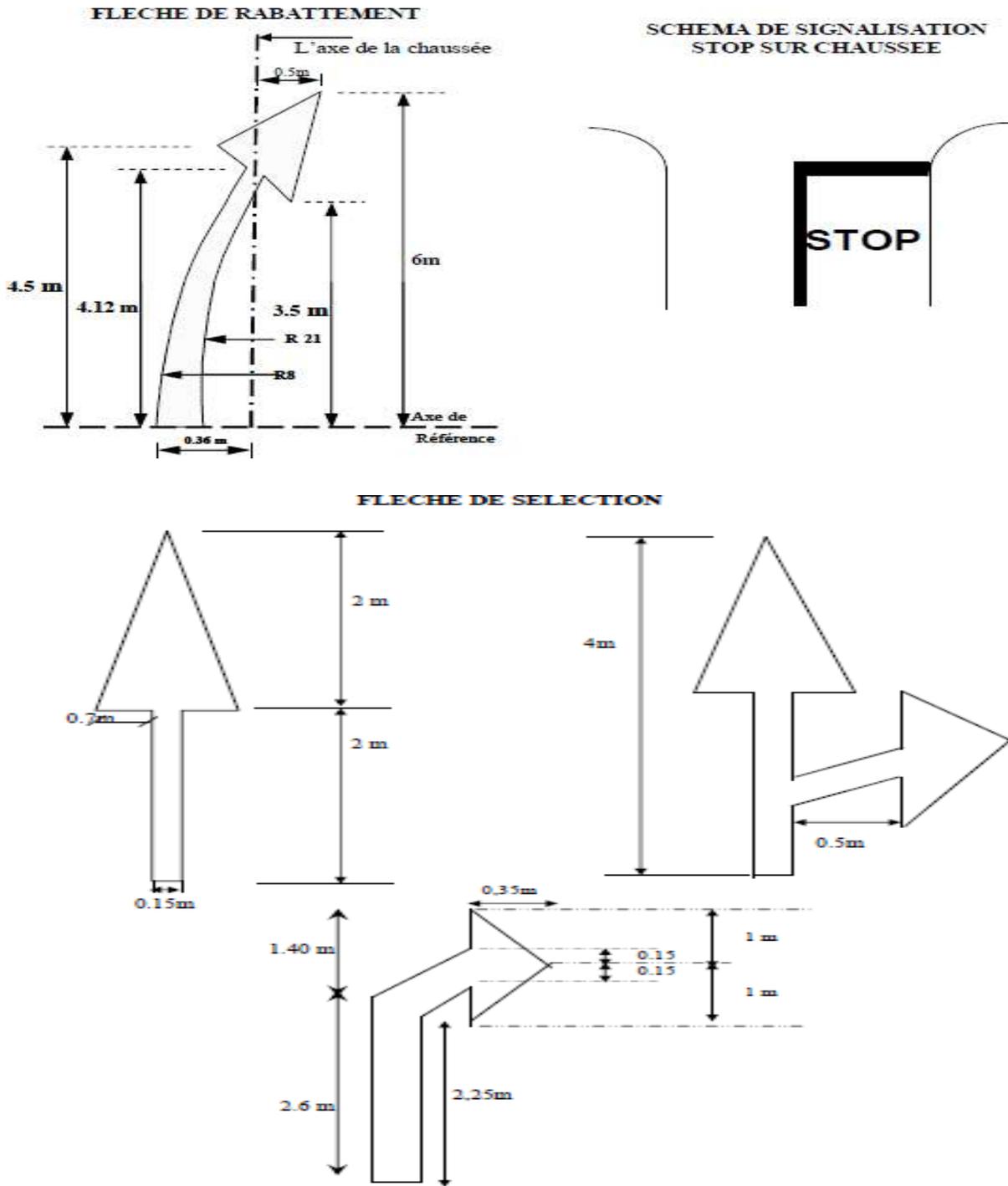
- ✓ Le marquage horizontal est appliqué sur la chaussée avec la peinture.
- ✓ Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages définitifs et le jaune pour les marquages provisoires.
- ✓ La largeur U des lignes est définie en fonction de la catégorie de la route : $U= 7,5\text{cm}$ sur les autoroutes et les voies rapides :
 $U=6\text{cm}$ sur les routes et les voies urbaines.
 $U=5\text{cm}$ pour les autres routes.

NB : Pour notre cas la largeur des lignes est définie d'un $U= 7,5\text{cm}$.

X.I.6: Application au Projet :

En se rapportant aux différents types de signalisation cités ci-dessus on a adapté le plan de signalisation suivant :

- Pour la signalisation horizontale :

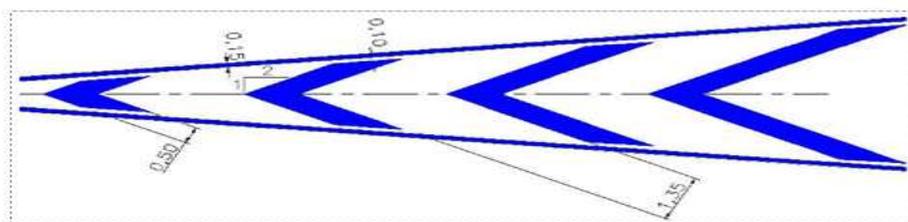




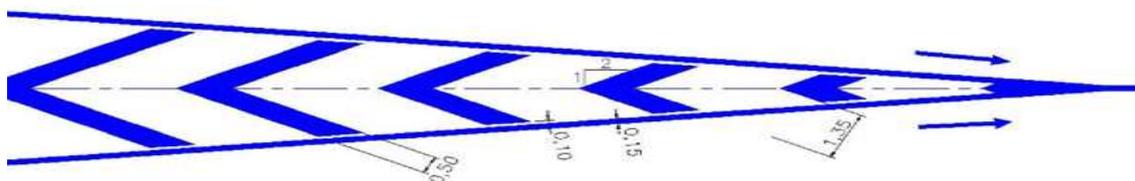
Lignes blanches discontinues.



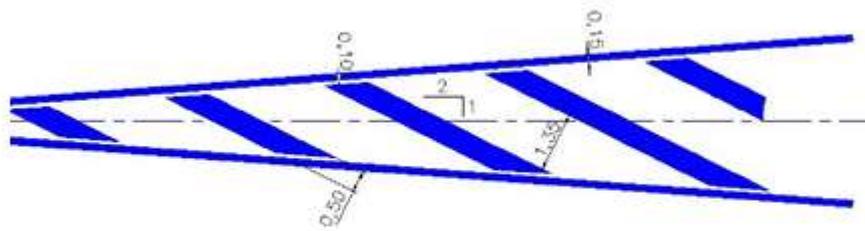
Lignes blanches continues.



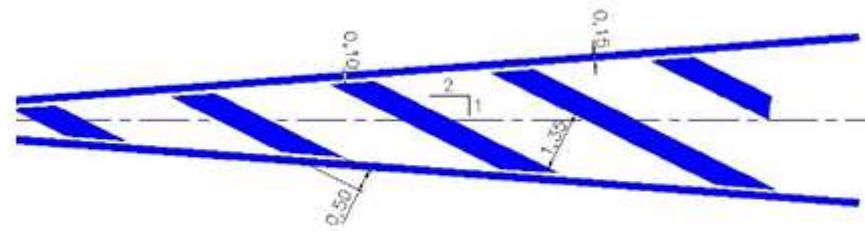
DETAIL DES HACHURES
CAS DE TRAFICS DIVERGENTS



DETAIL DES HACHURES
CAS DE TRAFICS CONVERGENTS



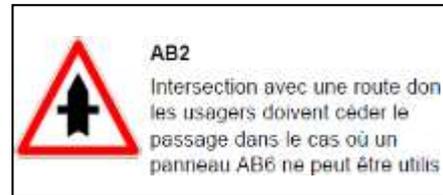
DETAIL DES HACHURES
CAS DE TRAFICS DIVERGENTS A TRAFICS INVERSES



DETAIL DES HACHURES
CAS DE TRAFICS DIVERGENTS A TRAFICS INVERSES

• Pour la signalisation verticale :

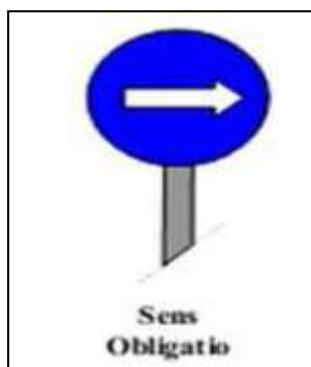
❖ Panneaux de danger :



❖ Panneaux d'interdiction :



❖ **Panneaux d'obligation :**



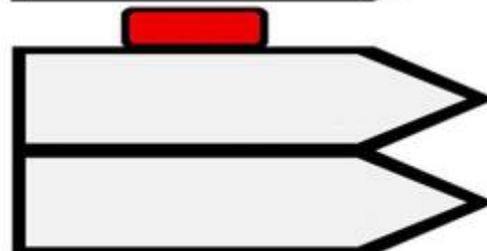
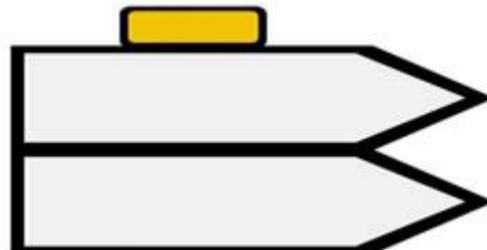
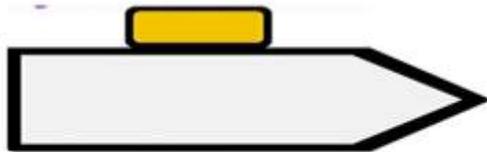
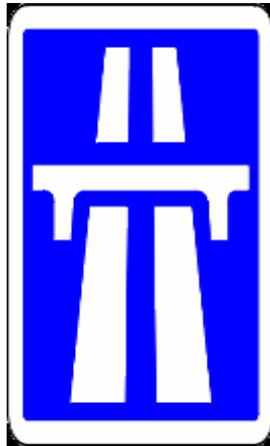
Obligation de suivre la direction indiquée

❖ **La fin de prescription :**



Fin de toutes interdictions. Fin d'interdiction de dépassement pour les poids lourds.

❖ **Panneaux d'indication et de localisation :**



❖ **Panneaux d'intersection :**

 <p>AB6 Indication du caractère prioritaire d'une route</p>	 <p>AB3a Cédez le passage à l'intersection. Signal de position</p>	
---	--	---

X.II : Equipements**X.II.1. L'éclairage public :****X.II.1.1. Introduction :**

L'éclairage public est généralement un éclairage de chaussée offrant une amélioration de la visibilité. Il est utilisé lorsqu'il y a fréquemment coexistence de piétons et de véhicules, c'est-à-dire à l'intérieur des localités en zones bâties. Il s'agit principalement de créer dans ces espaces, des conditions permettant aux usagers de la circulation de s'identifier mutuellement rapidement.

En outre, l'éclairage des rues doit donner un sentiment de sécurité et contribuer à la prévention des accidents.

X.II.1.2. Critères fonctionnels en éclairage public :

Principaux critères à retenir sont :

- Les types d'usages et d'usagers (type de voie).
- La vitesse de déplacement.
- Le type de chaussée.
- Les contraintes (risques d'accident, sentiment de sécurité...).

NB : Dans notre projet (usage uniquement automobile), le critère principal retenu est l'uniformité de la luminance.

X.II.1.3. Catégories d'éclairage :

On distingue quatre catégories d'éclairages publics :

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

Catégorie D.

NB : Pour notre projet on a utilisé (cas d'une autoroute) \implies **catégorie A**

X.II.1.4. Paramètre de l'implantation des luminaires :

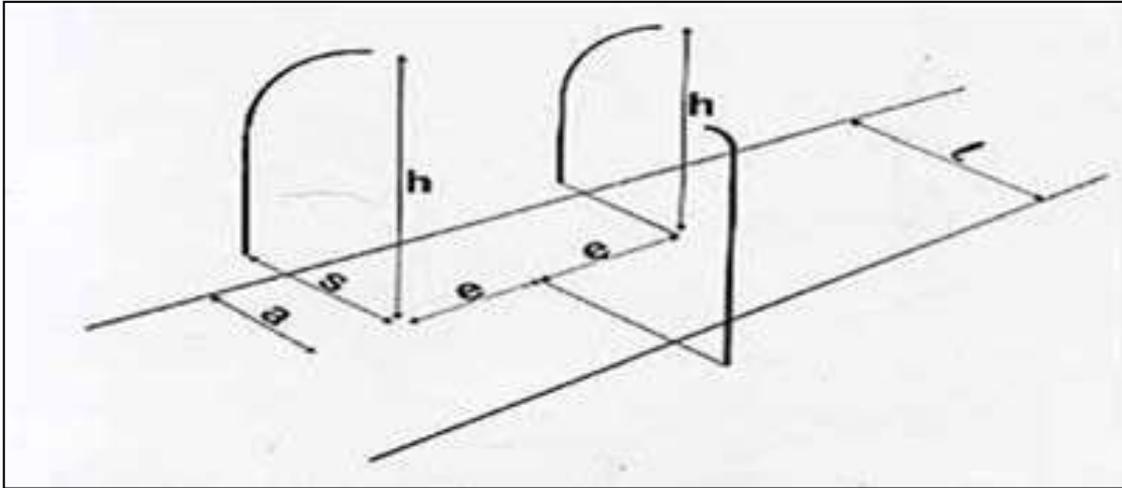


Figure X. II.1: Caractéristiques géométriques d'une installation d'éclairage public.

Avec :

- **L'espacement (e) entre luminaires** : qui varie en fonction du type de voie.
- **La hauteur (h) du luminaire** : elle est généralement de l'ordre de **8 à 10 m** et par fois **12 m** pour les grandes largeurs de chaussées.
- La largeur (l) de la chaussée.
- Le porte-à-faux (s) du foyer par rapport au support.
- L'inclinaison, ou non, du foyer lumineux, et son surplomb (a) par rapport au bord de la chaussée.

X.II.1.5. Eclairage appliqué à notre projet :

✓ **Éclairage de la voie (le long du tronçon étudié) :**

Pour l'éclairage de la voie des lampadaires sont implantés dans la terreplein centrale avec deux foyers portés par le même support éclairant chacun un demi chaussé, **espacés de 20 à 30m, de 12m de hauteur** (on a une chaussée de 2x2voies élargissables à (2x3) voies).

✓ **Éclairage des trottoirs et passage pour piétons :**

La bordure du trottoir doit être parfaitement visible, on adopte à cet effet des dispositifs réfléchissants ou lumineux et on place des foyers l'ordre de **12m de hauteur**.

Pour tous les sens. On prévoit aussi plusieurs foyers pour assurer un bon éclairage aux passages pour piétons placés de part et d'autre.

✓ Éclairage de l'échangeur :

Pour l'échangeur on implant des lampadaires de hauteur de **8m** (bretelles a 1voie) au périmètre de chaque anneau pour faire éclairer le demi chaussé intérieure de l'échangeur et des lampadaires dans chaque trottoir pour éclairer le demi chaussé extérieur de la chaussée.

X.II.2. Dispositifs de sécurité :

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

X.II.2.1. Glissières de sécurité :

- **Glissières de niveau 1** : adoptées pour les routes principales.
- **Glissières de niveau 2 et 3** : adoptées aux endroits où les vitesses appliquées sont faibles.

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

X.II.2.2. La murette de protection en béton armé :

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

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

X.II.2.3. Application au projet :

Parmi ces dispositifs, on a opté à utiliser des glissières de sécurité de niveau 1 voir l'importance de la pénétrante, et des glissières sur le T.P.C pour la retenue et la séparation.

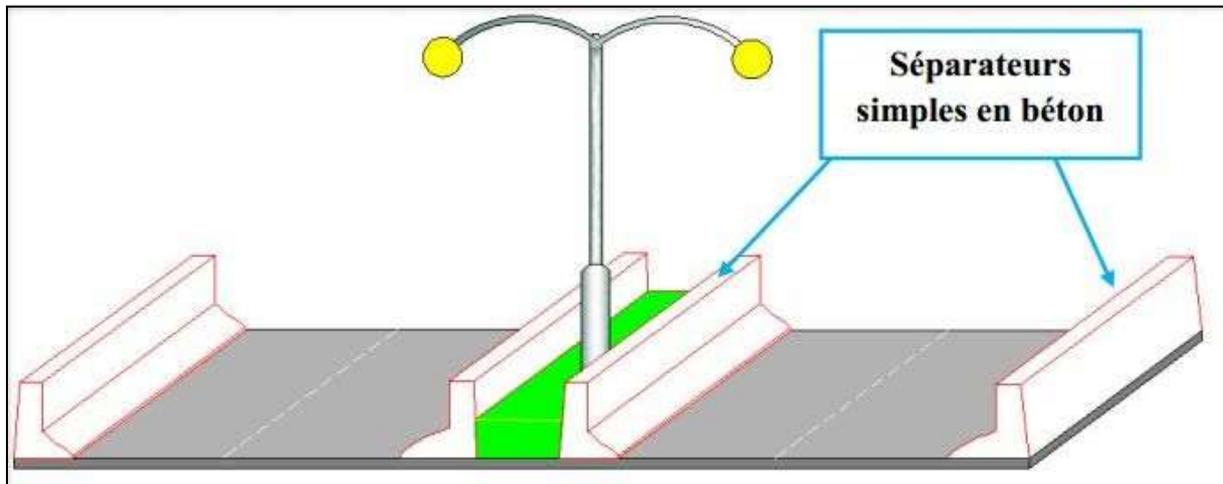


Figure X. II.2: Séparateurs projetés sur la route.

❖ Au niveau de l'échangeur :

Nous prônons pour chaque bretelle des glissières de sécurité métalliques à droite de la chaussée.

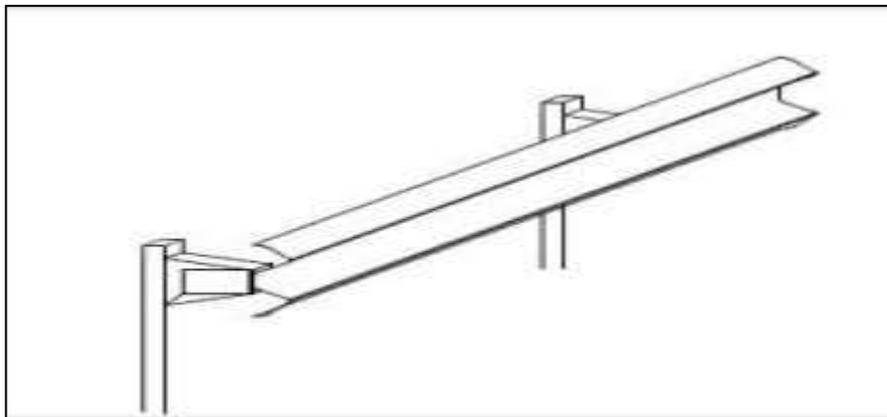


Figure X. II.3: Glissières de sécurité métalliques.

Chapitre XI
Devis Quantitatif Et
Estimatif

REBULIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**PROJET : LA LIAISON AUTOROUTIERE
RELIANT L'AUTOROUTE EST OUEST A L'ECHANGEUR RN3/RN75
SUR 10.5 Km.**

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	Désignation des travaux	U	Quantite	Prix Unitaire	Montant
1.insatallation de chantier					
1.1	insatallation de chantier	F	1	5000000.00	5000000.00
TOTAL HT 01					5000000.00
2.TERRASSEMENTS					
2.1	Décapage de terre végétale sur d'épaisseur 20cm	m³	61008.135	300.00	18302440.50
2.2	Déblais mis en dépôt	m³	85749.180	500.00	42874590.00
2.3	Déblais mis en remblai	m³	342997.000	600.00	205798200.00
2.4	Remblais d'emprunt	m³	7003.000	600.00	4201800.00
TOTAL HT 02					271177030.50
3.CORPS DES CHAUSSEES					
3.1	Couche de forme TVO (e=30cm)	m³	73539.045	800.00	58831236.00
3.2	Couche de forme GNT (e=30cm)	m³	73539.045	2000.00	147078090.00
3.3	couche d'imprégnation au cut-back 0/1	m²	220891.524	140.00	30924813.36
3.4	Couche de fondation en GB (e=13cm)	T	64655	5000.00	323275000.00
3.5	couche de base GB (e=12cm)	T	58989	5000.00	294945000.00
3.6	Couche d'accrochage en émulsion dosage 300 g/m2	m²	227430	100.00	271177030.50
3.7	couche de roulement BB (e=8cm)	T	42498	6000.00	254988000.00
TOTAL HT 03					1381219169.86
4.Signalisation					
4.1	Signalisation horizontale	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
4.1.1	Marquage par hachures	m²	650	500	325000
4.1.2	Marquage en ligne continues (U= 18 cm)	ML	24470	150	3670500
4.1.3	Marquage en ligne discontinues (axe 0,15)	ML	5728	150	859200
4.1.4	Marquage en ligne discontinues (Rive 0,18)	ML	11455	150	1718250
4.1.5	Fleches de direction	Unité	28	1500	42000
4.1.6	Fleche de rabattement	Unité	20	1500	30000
TOTAL HT 04					6644950
4.2	Signalisation verticale	Unité	Quantité	P Unitaire	Montant
4.2.1	Type A - Panneaux de danger	U	25	8,000.00	200000
4.2.2	Type AB - Panneaux d'intersection et de priorité	U	13	8,000.00	104000
4.2.3	Type B - Panneaux de prescription	U	13	8,000.00	104000
4.2.4	Type C - Panneaux d'interdiction et de restriction	U	11	8,000.00	88000
4.2.5	Type D - Panneaux d'obligation	U	16	8,000.00	128000
4.2.6	Borne kilometrique	U	18	2,000.00	36000
TOTAL HT 04					660000
5.Travaux d'assainissement					
5.1	Ouvrages en dalots à exécuter selon plans y compris fourniture et toutes sujétions de mise en œuvres	U	10	8,000,000.00	80000000
TOTAL HT 05					80000000
6.OUVRAGE d'art					
6.1	Pont à tablier à poutres multiples en béton précontraint 2 travées de 25 ml exécution selon plan y compris toutes sujétions	Forfait à l'Unité	1	230,000,000	230000000
6.2	Pont à tablier à poutres multiples en béton précontraint 2 travées de 21 ml exécution selon plan y compris toutes sujétions	Forfait à l'Unité	1	170,000,000	170000000
TOTAL HT 06					400000000
Total HT 1+2+3+4+5+6					2144701150.36
TVA 19 %					407493218.6
TOTAL TTC					2552194368.93
TOTAL TTC ARRONDI					2552194369.0

Conclusion Générale

Ce projet de la pénétrante représente un double objectif :

D'une part pour la wilaya de BATNA car il représente un accès à l'autoroute Est-Ouest et il permettra de dynamiser l'activité économique régionale en facilitant les échanges commerciaux entre BATNA et les autres wilayas et en fin soulager la **RN75**.

D'autre part, ce projet de fin d'étude nous a permis d'évaluer nos connaissances acquises durant tout notre cursus universitaire ; règlements algérien, normes routières et les étapes de conception d'une route. Ces dernières sont comme suit:

Une étude de trafic avec laquelle on a obtenu un TMJA de 18 460 v/j/2sens ce qui nous a donné le profil en travers suivant :

- Une bande dérasée de gauche (BDG) : **1x2 =2m.**
- Une bande d'arrêt d'urgence (BAU) : **2.5x2=5m.**
- Un terre-plein central **8m.**
- Deux chaussées de deux voies de 3,5m chacune (2 x 3,5) x 2 =**14m.**

Ce qui fait que la largeur de la plate-forme est égale à **29 m.**

Une étude de dimensionnement du corps de chaussée qui a permis de calculer les épaisseurs des différentes couches avec une vérification sur le logiciel Alizé et les résultats sont comme suit :

- Couche de roulement **08cm** en **BB.**
- Couche de base **12cm** en **GB.**
- Couche de fondation **13cm** en **GB.**
- Couche de forme supérieure **30cm** en **GNT.**
- Couche de forme inférieure **30cm** en **TVO.**

Et une étude géométrique qui nous a permis d'acquérir beaucoup d'information en utilisant des logiciels comme : **AutoCAD Civil 3D, AutoCAD, Alizé,** et une bonne maîtrise de **Word** et **Excel.**

Ce projet nous a donné une occasion d'avoir une petite expérience dans la vie professionnelle en assemblant les théories acquises à l'université avec les techniques de chantier et de se mettre face aux problèmes qu'on peut trouver dans le domaine des travaux publics.

Références Bibliographiques

- Le rapport géotechnique donné par la DTP de la wilaya de BATNA.
- Catalogue de Dimensionnement des Chaussées Neuves(CTTP).
- B40 (normes techniques d'aménagement des routes).
- ARP aménagement des routes principales (recommandations techniques (aout-1994))
- I.C.T.A.A.L : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (circulaire du 12 décembre 2000).
- Site Internet « www.Autodesk.com ». (Recherches sur le logiciel AutoCAD Civil 3D 2019).
- Cours de ponts de 1ere année Master VOA.

➤ **LOGICIELS INFORMATIQUES :**

AutoCAD.

AutoCAD Civil 3D 2019.

Alize III.

Microsoft Excel.

Microsoft Word.

ANNEXE

Alignement : Autoroute**Description : Tracé en plan**

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	0+00.000	3958447.651	254907.640
End:	3+09.703	3958691.985	254717.332

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	309.703	Course:	N 37° 54' 52.0157" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	3+09.703	3958691.985	254717.332
SPI:		3958770.919	254655.852
SC:	4+59.703	3958813.258	254629.166

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.052
Radius:	755.000	S Tan:	50.047
Theta:	05° 41' 29.8814"	P:	1.241
X:	149.852	K:	74.975
Y:	4.963	A:	336.526
Chord:	149.934	Course:	N 36° 01' 02.6259" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	4+59.703	3958813.258	254629.166
RP:		3959215.834	255267.882
CS:	8+73.507	3959205.030	254512.959

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	31° 24' 10.4220"	Type:	RIGHT
Radius:	755.000		
Length:	413.803	Tangent:	212.242

Mid-Ord: 28.173 External: 29.265
 Chord: 408.643 Course: N 16° 31' 16.9233" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	8+73.507	3959205.030	254512.959
SPI:		3959255.072	254512.243
ST:	10+23.507	3959354.762	254520.740

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.052
Radius:	755.000	S Tan:	50.047
Theta:	05° 41' 29.8814"	P:	1.241
X:	149.852	K:	74.975
Y:	4.963	A:	336.526
Chord:	149.934	Course:	N 02° 58' 28.7794" E

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	10+23.507	3959354.762	254520.740
End:	16+63.062	3959992.006	254575.054

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	639.555	Course:	N 04° 52' 18.1692" E

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	16+63.062	3959992.006	254575.054
SPI:		3960091.697	254583.551
SC:	18+13.062	3960140.896	254592.726

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.052
Radius:	755.000	S Tan:	50.047
Theta:	05° 41' 29.8814"	P:	1.241
X:	149.852	K:	74.975
Y:	4.963	A:	336.526
Chord:	149.934	Course:	N 06° 46' 07.5589" E

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	18+13.062	3960140.896	254592.726
RP:		3960002.487	255334.931
CS:	19+39.744	3960262.903	254626.264

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	09° 36' 49.3743"	Type:	RIGHT
Radius:	755.000		
Length:	126.682	Tangent:	63.490
Mid-Ord:	2.655	External:	2.665
Chord:	126.534	Course:	N 15° 22' 12.7377" E

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	19+39.744	3960262.903	254626.264
SPI:		3960309.879	254643.527
ST:	20+89.744	3960399.905	254687.180

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.052
Radius:	755.000	S Tan:	50.047
Theta:	05° 41' 29.8814"	P:	1.241
X:	149.852	K:	74.975
Y:	4.963	A:	336.526
Chord:	149.934	Course:	N 23° 58' 17.9165" E

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	20+89.744	3960399.905	254687.180
End:	37+67.458	3961909.506	255419.184

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	1677.714	Course:	N 25° 52' 07.3063" E

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	37+67.458	3961909.506	255419.184
End:	64+01.446	3964296.444	256532.927

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	2633.988	Course:	N 25° 00' 49.3872" E

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	64+01.446	3964296.444	256532.927
SPI:		3964387.098	256575.226
SC:	65+51.446	3964434.042	256592.535

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.036
Radius:	900.000	S Tan:	50.033
Theta:	04° 46' 28.7339"	P:	1.041
X:	149.896	K:	74.983
Y:	4.165	A:	367.423
Chord:	149.954	Course:	N 23° 25' 20.1461" E

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	65+51.446	3964434.042	256592.535
RP:		3964745.386	255748.103
CS:	70+91.636	3964965.408	256620.794

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	34° 23' 22.2985"	Type:	LEFT
Radius:	900.000		
Length:	540.189	Tangent:	278.506
Mid-Ord:	40.225	External:	42.107
Chord:	532.117	Course:	N 03° 02' 39.5041" E

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	70+91.636	3964965.408	256620.794
SPI:		3965013.923	256608.563
ST:	72+41.636	3965108.552	256576.118

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.036

Radius:	900.000	S Tan:	50.033
Theta:	04° 46' 28.7339"	P:	1.041
X:	149.896	K:	74.983
Y:	4.165	A:	367.423
Chord:	149.954	Course:	N 17° 20' 01.1379" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	72+41.636	3965108.552	256576.118
End:	75+28.768	3965380.163	256482.992

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	287.132	Course:	N 18° 55' 30.3790" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	75+28.768	3965380.163	256482.992
SPI:		3965474.791	256450.547
SC:	76+78.768	3965520.605	256430.436

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.036
Radius:	900.000	S Tan:	50.033
Theta:	04° 46' 28.7339"	P:	1.041
X:	149.896	K:	74.983
Y:	4.165	A:	367.423
Chord:	149.954	Course:	N 20° 30' 59.6200" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	76+78.768	3965520.605	256430.436
RP:		3965158.855	255606.338
CS:	80+20.322	3965800.161	256237.787

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	21° 44' 38.2484"	Type:	LEFT
Radius:	900.000		
Length:	341.553	Tangent:	172.856
Mid-Ord:	16.154	External:	16.449

Chord: 339.507 Course: N 34° 34' 18.2370" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	80+20.322	3965800.161	256237.787
SPI:		3965835.265	256202.135
ST:	81+70.322	3965899.274	256125.258

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	150.000	L Tan:	100.036
Radius:	900.000	S Tan:	50.033
Theta:	04° 46' 28.7339"	P:	1.041
X:	149.896	K:	74.983
Y:	4.165	A:	367.423
Chord:	149.954	Course:	N 48° 37' 36.8540" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	81+70.322	3965899.274	256125.258
End:	105+18.644	3967401.880	254320.599

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	2348.323	Course:	N 50° 13' 06.0951" W

Vertical Alignment: DESIGN AUTOROUTE**Description: Profile n long****Station Range: Start: 0+000.00, End: 10+518.64****Vertical Curve Information:(sag curve)**

PVC Station:	0+349.37	Elevation:	807.858m
PVI Station:	0+443.57	Elevation:	807.531m
PVT Station:	0+537.76	Elevation:	810.020m
Low Point:	0+371.30	Elevation:	807.820m
Grade in:	-0.35%	Grade out:	2.64%
Change:	2.99%	K:	63.000m
Curve Length:	188.398m	Curve Radius	6,300.000m
Headlight Distance:	386.925m		

Vertical Curve Information:(crest curve)

PVC Station:	0+576.16	Elevation:	811.034m
PVI Station:	0+726.18	Elevation:	814.998m
PVT Station:	0+876.21	Elevation:	810.952m
High Point:	0+724.64	Elevation:	812.996m
Grade in:	2.64%	Grade out:	-2.70%
Change:	5.34%	K:	56.194m
Curve Length:	300.053m	Curve Radius	5,619.393m
Passing Distance:	439.629m	Stopping Distance:	273.295m

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station:	0+938.55	Elevation:	809.270m
PVI Station:	1+066.63	Elevation:	805.816m
PVT Station:	1+194.70	Elevation:	807.568m
Low Point:	1+108.48	Elevation:	806.978m
Grade in:	-2.70%	Grade out:	1.37%
Change:	4.07%	K:	63.000m
Curve Length:	256.145m	Curve Radius	6,300.000m
Headlight Distance:	310.615m		

Vertical Curve Information:(crest curve)

PVC Station:	1+470.46	Elevation:	811.342m
PVI Station:	1+482.99	Elevation:	811.514m
PVT Station:	1+495.51	Elevation:	811.635m
High Point:	1+495.51	Elevation:	811.635m
Grade in:	1.37%	Grade out:	0.97%
Change:	0.40%	K:	63.000m

Curve Length:	25.055m	Curve Radius	6,300.000m
Passing Distance:	3,900.861m	Stopping Distance:	1,683.604m
Vertical Curve Information:(crest curve)			
PVC Station:	1+507.99	Elevation:	811.757m
PVI Station:	1+663.37	Elevation:	813.265m
PVT Station:	1+818.74	Elevation:	812.288m
High Point:	1+696.58	Elevation:	812.672m
Grade in:	0.97%	Grade out:	-0.63%
Change:	1.60%	K:	194.249m
Curve Length:	310.747m	Curve Radius	19,424.887m
Passing Distance:	1,122.009m	Stopping Distance:	570.801m
Vertical Curve Information:(sag curve)			
PVC Station:	2+071.73	Elevation:	810.697m
PVI Station:	2+113.37	Elevation:	810.435m
PVT Station:	2+155.01	Elevation:	810.724m
Low Point:	2+111.35	Elevation:	810.572m
Grade in:	-0.63%	Grade out:	0.69%
Change:	1.32%	K:	63.000m
Curve Length:	83.280m	Curve Radius	6,300.000m
Headlight Distance:			
Vertical Curve Information:(crest curve)			
PVC Station:	2+748.48	Elevation:	814.836m
PVI Station:	2+790.08	Elevation:	815.125m
PVT Station:	2+831.68	Elevation:	815.049m
High Point:	2+814.32	Elevation:	815.065m
Grade in:	0.69%	Grade out:	-0.18%
Change:	0.88%	K:	95.000m
Curve Length:	83.196m	Curve Radius	9,500.000m
Passing Distance:	1,807.355m	Stopping Distance:	800.462m
Vertical Curve Information:(sag curve)			
PVC Station:	3+334.00	Elevation:	814.131m
PVI Station:	3+370.00	Elevation:	814.065m
PVT Station:	3+406.00	Elevation:	814.111m
Low Point:	3+376.36	Elevation:	814.092m
Grade in:	-0.18%	Grade out:	0.13%
Change:	0.31%	K:	231.817m

Curve Length: 72.000m Curve Radius 23,181.702m
Headlight Distance:

Vertical Curve Information:(crest curve)

PVC Station: 3+411.01 Elevation: 814.117m
PVI Station: 3+466.99 Elevation: 814.189m
PVT Station: 3+522.96 Elevation: 813.266m
High Point: 3+419.06 Elevation: 814.123m
Grade in: 0.13% Grade out: -1.65%
Change: 1.78% K: 63.000m
Curve Length: 111.956m Curve Radius 6,300.000m
Passing Distance: 926.151m Stopping Distance: 429.950m

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station: 3+910.15 Elevation: 806.880m
PVI Station: 3+963.52 Elevation: 806.000m
PVT Station: 4+016.90 Elevation: 806.024m
Low Point: 4+014.05 Elevation: 806.024m
Grade in: -1.65% Grade out: 0.05%
Change: 1.69% K: 63.000m
Curve Length: 106.752m Curve Radius 6,300.000m
Headlight Distance:

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station: 5+993.92 Elevation: 806.919m
PVI Station: 6+029.92 Elevation: 806.935m
PVT Station: 6+065.92 Elevation: 807.207m
Low Point: 5+993.92 Elevation: 806.919m
Grade in: 0.05% Grade out: 0.76%
Change: 0.71% K: 101.429m
Curve Length: 72.000m Curve Radius 10,142.925m
Headlight Distance:

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station: 6+304.00 Elevation: 809.005m
PVI Station: 6+340.00 Elevation: 809.277m
PVT Station: 6+376.00 Elevation: 809.549m
Low Point: 6+304.00 Elevation: 809.005m
Grade in: 0.76% Grade out: 0.76%
Change: 0.00% K: 46,634.659m
Curve Length: 72.000m Curve Radius 4,663,465.896m

Headlight Distance:

Vertical Curve Information:(crest curve)

PVC Station:	7+121.73	Elevation:	815.192m
PVI Station:	7+169.06	Elevation:	815.550m
PVT Station:	7+216.38	Elevation:	815.437m
High Point:	7+193.62	Elevation:	815.464m
Grade in:	0.76%	Grade out:	-0.24%
Change:	1.00%	K:	95.000m
Curve Length:	94.641m	Curve Radius	9,500.000m
Passing Distance:	1,599.544m	Stopping Distance:	714.414m

Vertical Curve Information:(crest curve)

PVC Station:	7+469.83	Elevation:	814.829m
PVI Station:	7+658.61	Elevation:	814.377m
PVT Station:	7+847.40	Elevation:	806.422m
High Point:	7+469.83	Elevation:	814.829m
Grade in:	-0.24%	Grade out:	-4.21%
Change:	3.97%	K:	95.000m
Curve Length:	377.573m	Curve Radius	9,500.000m
Passing Distance:	577.862m	Stopping Distance:	355.344m

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station:	7+891.00	Elevation:	804.584m
PVI Station:	8+036.46	Elevation:	798.455m
PVT Station:	8+181.91	Elevation:	799.042m
Low Point:	8+156.49	Elevation:	798.990m
Grade in:	-4.21%	Grade out:	0.40%
Change:	4.62%	K:	63.000m
Curve Length:	290.907m	Curve Radius	6,300.000m
Headlight Distance:	303.490m		

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station:	9+364.00	Elevation:	803.812m
PVI Station:	9+400.00	Elevation:	803.957m
PVT Station:	9+436.00	Elevation:	804.487m
Low Point:	9+364.00	Elevation:	803.812m
Grade in:	0.40%	Grade out:	1.47%
Change:	1.07%	K:	67.435m
Curve Length:	72.000m	Curve Radius	6,743.483m

Headlight Distance:

Vertical Curve Information:(crest curve)

PVC Station:	9+580.40	Elevation:	806.611m
PVI Station:	9+669.16	Elevation:	807.917m
PVT Station:	9+757.92	Elevation:	807.565m
High Point:	9+720.17	Elevation:	807.640m
Grade in:	1.47%	Grade out:	-0.40%
Change:	1.87%	K:	95.000m
Curve Length:	177.525m	Curve Radius	9,500.000m
Passing Distance:	916.276m	Stopping Distance:	444.400m

Vertical Curve Information:(sag curve)

PVC Station:	10+030.52	Elevation:	806.481m
PVI Station:	10+121.37	Elevation:	806.120m
PVT Station:	10+212.23	Elevation:	808.380m
Low Point:	10+055.56	Elevation:	806.432m
Grade in:	-0.40%	Grade out:	2.49%
Change:	2.88%	K:	63.000m
Curve Length:	181.707m	Curve Radius	6,300.000m
Headlight Distance:	405.751m		

Material Report

Alignment: Autoroute

Sample Line Group: AUTOROUTE

Start Sta: 0+000.000

End Sta: 10+518.644

	Area Type	Area	Inc.Vol.	Cum.Vol.
		Sq.m.	Cu.m.	Cu.m.
Station: 0+000.000				
	Earthworks(Cut)	23.41	0.00	0.00
	Earthworks(Fill)	0.01	0.00	0.00
	BB	1.69	0.00	0.00
	GB1	2.59	0.00	0.00
	GB2	2.88	0.00	0.00
	TVO	9.32	0.00	0.00
Station: 0+100.000				
	Earthworks(Cut)	28.26	2583.48	2583.48
	Earthworks(Fill)	0.00	0.65	0.65
	BB	1.69	169.39	169.39
	GB1	2.59	259.30	259.30
	GB2	2.88	287.98	287.98
	TVO	9.32	932.17	932.17
Station: 0+200.000				
	Earthworks(Cut)	38.36	3331.10	5914.58
	Earthworks(Fill)	0.00	0.00	0.65
	BB	1.69	169.39	338.78
	GB1	2.59	259.30	518.61
	GB2	2.88	287.98	575.96
	TVO	9.32	932.17	1864.35
Station: 0+300.000				
	Earthworks(Cut)	28.25	3330.51	9245.09
	Earthworks(Fill)	0.00	0.00	0.65
	BB	1.69	169.39	508.17
	GB1	2.59	259.30	777.91
	GB2	2.88	287.98	863.93
	TVO	9.32	932.17	2796.52
Station: 0+310.000				
	Earthworks(Cut)	28.80	285.23	9530.32
	Earthworks(Fill)	0.00	0.00	0.65

	BB	1.69	16.94	525.11
	GB1	2.59	25.93	803.84
	GB2	2.88	28.80	892.73
	TVO	9.32	93.22	2889.74
Station: 0+320.000				
	Earthworks(Cut)	27.58	281.86	9812.17
	Earthworks(Fill)	0.00	0.00	0.65
	BB	1.69	16.94	542.05
	GB1	2.59	25.93	829.77
	GB2	2.88	28.80	921.53
	TVO	9.32	93.22	2982.96
Station: 0+330.000				
	Earthworks(Cut)	25.99	267.84	10080.01
	Earthworks(Fill)	0.00	0.00	0.65
	BB	1.69	16.94	558.99
	GB1	2.59	25.93	855.70
	GB2	2.88	28.80	950.33
	TVO	9.32	93.22	3076.17
Station: 0+340.000				
	Earthworks(Cut)	24.87	254.31	10334.32
	Earthworks(Fill)	0.00	0.00	0.65
	BB	1.69	16.94	575.93
	GB1	2.59	25.93	881.63
	GB2	2.88	28.80	979.13
	TVO	9.32	93.22	3169.39
Station: 0+350.000				
	Earthworks(Cut)	24.24	245.55	10579.87
	Earthworks(Fill)	0.00	0.04	0.70
	BB	1.69	16.94	592.87
	GB1	2.59	25.93	907.57
	GB2	2.88	28.80	1007.92
	TVO	9.32	93.22	3262.61
Station: 0+360.000				
	Earthworks(Cut)	23.74	239.88	10819.75
	Earthworks(Fill)	0.06	0.33	1.02
	BB	1.69	16.94	609.81
	GB1	2.59	25.93	933.50
	GB2	2.88	28.80	1036.72
	TVO	9.32	93.22	3355.83

Station: 0+370.000				
	Earthworks(Cut)	22.78	232.56	11052.32
	Earthworks(Fill)	0.20	1.30	2.33
	BB	1.69	16.94	626.75
	GB1	2.59	25.93	959.43
	GB2	2.88	28.80	1065.52
	TVO	9.32	93.22	3449.04
Station: 0+380.000				
	Earthworks(Cut)	21.64	222.06	11274.38
	Earthworks(Fill)	0.52	3.63	5.96
	BB	1.69	16.94	643.69
	GB1	2.59	25.93	985.36
	GB2	2.88	28.80	1094.32
	TVO	9.32	93.22	3542.26
Station: 0+390.000				
	Earthworks(Cut)	19.98	208.06	11482.43
	Earthworks(Fill)	1.00	7.61	13.57
	BB	1.69	16.94	660.63
	GB1	2.59	25.93	1011.29
	GB2	2.88	28.80	1123.12
	TVO	9.32	93.22	3635.48
Station: 0+400.000				
	Earthworks(Cut)	18.39	191.84	11674.27
	Earthworks(Fill)	1.47	12.37	25.94
	BB	1.69	16.94	677.57
	GB1	2.59	25.93	1037.22
	GB2	2.88	28.80	1151.91
	TVO	9.32	93.22	3728.70
Station: 0+410.000				
	Earthworks(Cut)	16.04	172.16	11846.43
	Earthworks(Fill)	2.19	18.32	44.25
	BB	1.69	16.94	694.50
	GB1	2.59	25.93	1063.15
	GB2	2.88	28.80	1180.71
	TVO	9.32	93.22	3821.91
Station: 0+420.000				
	Earthworks(Cut)	13.46	147.52	11993.95
	Earthworks(Fill)	2.93	25.61	69.86
	BB	1.69	16.94	711.44

	GB1	2.59	25.93	1089.08
	GB2	2.88	28.80	1209.51
	TVO	9.32	93.22	3915.13
Station: 0+430.000				
	Earthworks(Cut)	9.56	115.11	12109.05
	Earthworks(Fill)	4.28	36.06	105.92
	BB	1.69	16.94	728.38
	GB1	2.59	25.93	1115.01
	GB2	2.88	28.80	1238.31
	TVO	9.32	93.22	4008.35
Station: 0+440.000				
	Earthworks(Cut)	6.03	77.92	12186.97
	Earthworks(Fill)	5.28	47.79	153.71
	BB	1.69	16.94	745.32
	GB1	2.59	25.93	1140.94
	GB2	2.88	28.80	1267.10
	TVO	9.32	93.22	4101.57
Station: 0+450.000				
	Earthworks(Cut)	3.40	47.15	12234.13
	Earthworks(Fill)	6.86	60.66	214.37
	BB	1.69	16.94	762.26
	GB1	2.59	25.93	1166.87
	GB2	2.88	28.80	1295.90
	TVO	9.32	93.22	4194.78
Station: 0+500.000				
	Earthworks(Cut)	0.00	83.84	12317.97
	Earthworks(Fill)	28.83	894.09	1108.46
	BB	1.69	84.70	846.96
	GB1	2.59	129.65	1296.52
	GB2	2.88	143.99	1439.89
	TVO	9.32	466.09	4660.87
Station: 0+550.000				
	Earthworks(Cut)	0.00	0.00	12317.97
	Earthworks(Fill)	75.12	2603.99	3712.46
	BB	1.69	84.70	931.65
	GB1	2.59	129.65	1426.17
	GB2	2.88	143.99	1583.88
	TVO	9.32	466.09	5126.96

Station: 10+518.644				
	Earthworks(Cut)	14.20	206.45	428746.18
	Earthworks(Fill)	0.36	42.69	377299.57
	BB	1.69	31.58	17817.67
	GB1	2.59	48.34	27275.30
	GB2	2.88	53.69	30291.41
	TVO	9.32	173.80	98052.06