
REMERCIEMENTS

C'est avec beaucoup de gratitude et de reconnaissance que je remercie Mr. CHERIF BENMOUSSA pour la confiance qu'il m'a témoigné, sa disponibilité et ses conseils fructueux durant toute la durée de la réalisation de ce projet.

Je remercie les membres du jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.

Je tiens à remercier aussi ma famille qui a été un soutien moral pour moi tout au long du projet.

Merci à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

RÉSUMÉ

L'accroissement du parc automobile observé depuis ces dernières décennies entraîna un déphasage entre motorisation et infrastructure routière. De ce fait, un important programme de modernisation et de réhabilitation des structures routières a été mis en place par le ministère des travaux public. A l'image de la direction des travaux publics de la wilaya de NAAMA, qui lance un projet de modernisation du chemin de wilaya CW05. Les objectifs fixés consistent à : élargir la voie dans les deux sens de la circulation qui passe de 2x2m à 2x3.5m tout en gardant le même tracé ; mettre en en place de nouveau accotement inexistant dans l'ancien tracé ; installer un nouveau corps de chaussée avec une nouvelle couche de roulement pour assurer la stabilité des véhicules et optimiser le confort des usagers ; améliorer le système de drainage des eaux afin d'éviter la stagnation des eaux superficielle sur la nouvelle chaussée. A cet effet, nous présentons dans ce projet de fin d'étude les différentes étapes de l'étude d'analyse réalisée par nos soins ayant permis d'aboutir aux objectifs cités précédemment.

ABSTRACT

The increasing number of vehicules observed in recent years led to a phase shift between motirization and road infrastructure. To face the problem, an important program of modernization and rehabilitation of road structures has been established by the ministry of public works. As the direction of public works of the province of NAAMA, which launching a project of modernisation of the CW05 wilaya path. The objectives are to : widen the track in both directions of traffic that passes from 2x2m to 2x3.5m while keeping the same layout ; set up new shoulder nonexistent in the old layout ; install a new pavement structure with a new surface to ensure vehicule stability and optimize user comfort. For this purpose, we present in this master thesis, the different steps of the analysis study conducted by us performed to achieve the above objectives.

ملخص

أدى تزايد عدد المركبات التي لوحظت في السنوات الأخيرة لفرق الطور بين المحرك والبنية التحتية للطرق. ولذلك، تم وضع برنامج كبير لتحديث وتأهيل هياكل الطريق من قبل وزارة الأشغال العمومية. تماما مثل إدارة الأشغال العمومية في ولاية نعمة، وهو إطلاق مشروع لتحديث مسار CW05. أهداف هي : توسيع الطريق في كلا الاتجاهين من حركة المرور التي تمر من 2x2m إلى 2x3.5m مع الحفاظ على نفس المسار. إقامة الكتف جديد غير موجود في التخطيط القديم؛ تثبيت بنية الرصيف الجديد مع سطح جديد لضمان ثبات السيارة وزيادة راحة المستخدم. تحسين نظام تصريف المياه لتجنب ركود المياه السطحية في الطابق الجديد. تحقيقا لهذه الغاية، فإننا نقدم في هذه الدراسة النهائية للمشروع في مراحل مختلفة من الدراسة التحليل الذي أجراه لنا القيام بها لتحقيق الأهداف المذكورة أعلاه.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre I – Introduction générale	1
Chapitre II - Etude de trafic	
1. INTRODUCTION	3
2. L'ANALYSE DES TRAFICS EXISTANT	3
2.1. LA MESURE DES TRAFICS	3
2.2. DIFFÉRENTS TYPES DE TRAFICS	6
3. CALCUL DE LA CAPACITÉ	7
3.1. DÉFINITION DE LA CAPACITÉ.....	7
3.2. LA PROCÉDURE DE DÉTERMINATION DE NOMBRE DE VOIES.....	7
3.3. CATÉGORIE DE LA ROUTE.....	8
3.4. DÉBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL	8
3.5. DÉBIT HORAIRE ADMISSIBLE	8
4. APPLICATION AU PROJET	9
4.1. LES DONNÉES DE TRAFIC.....	9
4.2. PROJECTION FUTURE DE TRAFIC.....	10
4.3. CALCUL DU TRAFIC EFFECTIF.....	10
4.4. DÉBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL	11
4.5. DÉBIT ADMISSIBLE.....	11
4.6. LE NOMBRE DE VOIES.....	12
4.7. CALCUL DE L'ANNÉE DE SATURATION	12
5. CONCLUSION.....	13
Chapitre III - Tracé en plan	
1. INTRODUCTION	14
2. MODERNISATION DU TRACÉ EN PLAN	14
2.1. DESCRIPTION	14
2.2. RÉFLEXIONS.....	15
2.3. RÉALISATION.....	15
3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN	15
3.1. ALIGNEMENT	15

3.2. ARCS DE CERCLE.....	16
3.3. SUR-LARGEUR	18
3.4. COURBE DE RACCORDEMENT	18
4. LA VITESSE DE RÉFÉRENCE.....	22
5. CHOIX DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE	22
6. VITESSE DE PROJET	22
7. DEVERS	22
8. CALCUL D'AXE	22
8.1. DÉMARCHE A SUIVRE.....	22
8.2. GISEMENT.....	23
9. APPLICATION AU PROJET	23
10. CONCLUSION	27

Chapitre IV - Profil en long et profil en travers

1. INTRODUCTION.....	28
2. PROFIL EN LONG.....	28
2.1. DÉFINITION.....	28
2.2. MODERNISATION DU PROFIL EN LONG	28
2.3. RÈGLES PRATIQUES POUR LE TRACE DU PROFIL EN LONG.....	29
2.4. COORDINATION DU TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG.....	29
2.5. PALIERS ET DÉCLIVITÉS	30
2.6. RACCORDEMENTS EN PROFIL EN LONG	31
2.7. APPLICATION AU PROJET	32
2.8. ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES AU CALCUL DU PROFIL EN LONG	32
2.9. DÉTERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG.....	33
2.10. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG.....	36
3. PROFIL EN TRAVERS	36
3.1. DÉFINITION.....	36
3.2. MODERNISATIONS DU PROFIL EN TRAVERS	37
3.3. LES ÉLÉMENTS DU PROFIL EN TRAVERS	37
3.4. CLASSIFICATION DE PROFIL EN TRAVERS	38
3.5. APPLICATION AU PROJET	38
4. CONCLUSION	39

Chapitre V - Etude géotechnique

1. INTRODUCTION	40
2. DÉFINITION GÉNÉRALE	40
3. GÉOTECHNIQUE ROUTIÈRE	40
4. DÉROULEMENT D'UN PROJET GÉOTECHNIQUE ROUTIER.....	41
4.1. LES RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES	41
4.2. LA CLASSIFICATION DES SOLS	45
4.3. CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MATÉRIEAUX.....	49
5. RÉGLEMENTATION ALGÉRIENNE EN GÉOTECHNIQUE	53
6. MAÎTRISE DES RISQUES EN GÉOTECHNIQUE.....	54
6.1. PRÉOCCUPATION DU CONCEPTEUR.....	54
6.2. PATHOLOGIES POSSIBLES	54
6.3. LIMITER L'ALÉA GÉOTECHNIQUE.....	54
7. CONCLUSION.....	55

Chapitre VI - Dimensionnement du corps de chaussée

1. INTRODUCTION	56
2. CONSTITUTION DE LA CHAUSSÉE	56
3. DÉFINITION DE LA CHAUSSÉE.....	56
4. STRUCTURE DE CHAUSSÉE.....	57
5. CATÉGORIES DE CHAUSSÉES	57
5.1. CHAUSSÉE SOUPLE.....	57
5.2. CHAUSSÉE SEMI – RIGIDE.....	59
5.3. CHAUSSÉE RIGIDE	60
5.4. LES CHAUSSÉES BITUMINEUSES ÉPAISSES	60
5.5. LES CHAUSSÉES À ASSISE TRAITÉE AUX LIANTS HYDRAULIQUES.....	60
5.6. LES CHAUSSÉES À STRUCTURE MIXTE	61
5.7. LES CHAUSSÉES À STRUCTURE INVERSE.....	61
6. FACTEURS POUR LES ÉTUDES DE DIMENSIONNEMENT	61
6.1. TRAFIC.....	62
6.2. ENVIRONNEMENT	62
6.3. LE SOL SUPPORT.....	62
7. MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSÉE	62
7.1. MÉTHODE C.B.R (CALIFORNIA – BEARING – RATIO)	63
7.2. MÉTHODE A.A.S.H.O.....	64

7.3. MÉTHODE DE ASPHALT INSTITUTE	64
7.4. MÉTHODE DU CATALOGUE DES STRUCTURES	64
7.5. LA MÉTHODE L.C.P.C (LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES)	65
7.6. MÉTHODE DU CATALOGUE DES STRUCTURES ALGÉRIEN	65
7.7. MÉTHODE DU CATALOGUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES NEUVES	65
8. APPLICATION AU PROJET	66
8.1. MÉTHODE « CBR »	66
8.2. MÉTHODE DE CATALOGUE DES STRUCTURES «SETRA».....	68
9. CONCLUSION.....	69

Chapitre VII - Assainissement

1. INTRODUCTION	70
2. OBJECTIFS DE L'ASSAINISSEMENT	70
3. TYPES DE DÉGRADATIONS.....	70
4. TYPES DE CANALISATIONS	71
5. DIMENSIONNEMENT DE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT	71
5.1. CHOIX DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT.....	71
5.2. LE DÉBIT D'APPORT	71
5.3. PLUIE JOURNALIÈRE MAXIMAL ANNUELLE PJ.....	73
5.4. LE DÉBIT DE SATURATION	74
6. DIMENSIONNEMENT DES BUSES.....	75
7. DIMENSIONNEMENT DES FOSSES	76
7.1. CALCUL DE LA SURFACE MOUILLÉE	77
7.2. CALCUL DU PÉRIMÈTRE MOUILLE	77
7.3. CALCUL LE RAYON HYDRAULIQUE.....	77
8. APPLICATION AU PROJET	78
8.1. CALCUL HYDRAULIQUE	78
8.2. DIMENSIONNEMENT DES BUSES	79
8.3. DIMENSIONNEMENT DES FOSSÉS	81
9. CONCLUSION.....	82

Chapitre VIII - Etude d'impact sur l'environnement

1. INTRODUCTION	83
2. ANALYSE DE L'ÉTAT INITIAL DU SITE	83
2.1. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES.....	83

2.2.	CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES.....	83
2.3.	TYPE D'OCCUPATION.....	83
3.	LES CONSÉQUENCES PRÉVISIBLES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT	84
3.1.	REJETS SOLIDES	84
3.2.	REJETS LIQUIDES	84
3.3.	REJETS ATMOSPHÉRIQUES	84
3.4.	NUISANCES SONORES.....	84
3.5.	IMPACTS SUR L'ACTIVITÉ AGRICOLE.....	84
3.6.	INFLUENCE SUR LE MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUE.....	84
4.	MESURES ENVISAGÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	85
4.1.	MESURES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS SUR LE MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUE.....	85
4.2.	REMISE EN ÉTAT DES LIEUX APRÈS TRAVAUX	85
4.3.	MESURES D'URGENCE.....	85
5.	CONCLUSION.....	86
	Chapitre IV - Conclusion générale	87
	Bibliographie	88

LISTE DES FIGURES

Figure III.1. Eléments de la clothoïde.....	20
Figure IV.1. Schéma de la courbe du profil en long.....	33
Figure IV.2. Schéma de la courbe du profil en long en rayon convexe.....	34
Figure IV.3. Les éléments du profil en travers d'une route.....	38
Figure V.1. Sol.....	45
Figure V.2. Constituants d'un sol.....	46
Figure V.3. Classification des particules solides d'un sol.....	47
Figure VI.1. Constitution des structures de chaussée.....	57
Figure VI.2. Chaussées souples.....	59
Figure VI.3. Chaussée semi-rigide.....	59
Figure VI.4. Chaussée rigide.....	60
Figure VI.5. Chaussées bitumineuses épaisses.....	60
Figure VI.6. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.....	61
Figure VI.7. Chaussées à structure mixte.....	61
Figure VI.8. Chaussées à structure inverse.....	61
Figure VI. 9. Organigramme de la démarche catalogue.....	66
Figure VII.1. Section transversale d'un ouvrage d'assainissement représente qui S_m et P_m	75
Figure VII.2. Fossé.....	76
Figure VII.3. Vue de face d'une buse de diamètre $\varnothing = 1000$ mm.....	80
Figure VII.4. Résultat de dimensionnement du fossé.....	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Coefficient d'équivalence p.....	8
Tableau II.2. Type d'environnement.....	8
Tableau II.3. Coefficient lié à l'environnement.....	9
Tableau II.4. Coefficient de réduction de capacité.....	9
Tableau II.5. Valeur de la capacité théorique.....	9
Tableau II.6. Représentation des calculs.....	12
Tableau III.1. Récapitulatif des rayons minimal / environnement de la route.....	18
Tableau III.2. Calcul des sur-largeur.....	18
Tableau IV.1. Tableau de valeur de la déclivité maximale (B 40).....	30
Tableau IV.2. Rayons verticaux utilisés dans le profil en long du projet.....	32
Tableau V.1. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....	50
Tableau V.2. Techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme...	53
Tableau VI.1. Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.....	63
Tableau VI.2. Détermination de la classe de trafic.....	64
Tableau VI.3. Détermination de la classe du sol.....	65
Tableau VI.4. Récapitulatif des résultats.....	67
Tableau VII.1. Coefficient de ruissellement « C ».....	72
Tableau VII.2. Variable de Gauss.....	74
Tableau VII.3. Coefficient de rugosité Ks.	75
Tableau VII.4. Intensité-Durée-Fréquence.....	76
Tableau VII.5. Récapitulatif des résultats.....	81

CHAPITRE I - INTRODUCTION GÉNÉRALE

La route joue un rôle important dans le développement socio-économique d'un pays car elle offre plusieurs avantages à ses usagers. Elle favorise l'implantation d'activités commerciales et industrielles, etc.

Un réseau routier, comme tout ouvrage, est exposé à divers facteurs pouvant causer sa dégradation. Le trafic routier, la chaleur, et les changements brusques de température influent négativement sur la qualité et la durabilité de l'ouvrage.

De ce fait, l'aménagement d'un réseau routier nécessite au préalable une étude de cas complète réunissant de nombreux facteurs : la densité du trafic de véhicules permettant ainsi l'identification des axes susceptibles d'être saturés à un horizon inopportun ; la plage de température de la région avoisinante ; les tendances climatiques ; l'activité humaine autour de l'ouvrage (élevage de bétail, zone rural, zone agricole, etc.) ; la nature de la terre accueillant l'ouvrage, etc.

L'accroissement du parc automobile observé depuis ces dernières décennies entraîna un déphasage entre motorisation et infrastructure routière. De ce fait, un important programme de modernisation et de réhabilitation des structures routières a été mis en place par le ministère des travaux public pour mettre aux normes les différentes routes du pays.

Afin de répondre à la demande de la direction des travaux publics de la wilaya de NAAMA, un projet de modernisation du chemin de wilaya CW05 a été lancé.

Le chemin de wilaya CW05 situé dans la daïra de GAALOUL relie la route nationale 22 à la route nationale 06 qui mène à AIN SEFRA et NAAMA.

La modernisation du chemin de wilaya CW05 s'inscrit dans les programmes d'aménagement routier du troisième quinquennat. Les objectifs fixés par la direction des travaux publics de la wilaya de NAAMA consistent à :

- a) Elargir la voie dans les deux sens de la circulation qui passe de 2x2m à 2x3.5m tout en gardant le même tracé.
- b) Mettre en en place de nouveau accotement inexistant dans l'ancien tracé.
- c) Installer un nouveau corps de chaussée avec une nouvelle couche de roulement pour assurer une stabilité des véhicules et optimiser le confort des usagers.
- d) Améliorer le système de drainage des eaux afin d'éviter la stagnation des eaux superficielle sur la nouvelle chaussée.

La suite de ce document est structurée comme suit :

- Le chapitre 2 est une présentation de l'étude de trafic introduisant ainsi le travail effectué sur le terrain.
- Le chapitre 3 est une étude théorique du tracé en plan, suivi par la présentation du tracé en plan étudié dans le contexte de notre projet.
- Le chapitre 4 introduit respectivement les profils en long et en travers suivi de leur application dans le contexte de notre projet.
- Le chapitre 5 aborde l'étude géotechnique dans un contexte général pour commencer, suivi de son application à notre projet.
- Le chapitre 6 contient tout ce qui concerne le dimensionnement du corps de chaussée.
- Le chapitre 7 traite de toute activité liée à l'assainissement dans ce projet.
- Le chapitre 8 présente une étude d'impact sur environnement afin de revenir sur le travail effectué et ses possibles impacts sur l'environnement.
- Nous clôturons cette étude par une conclusion générale synthétisant en quelques lignes le travail effectué et les impacts positifs et négatifs résultants.

Ce travail étant préparé dans un contexte de préparation de projet de fin d'étude, notre démarche s'est vue appuyée de documents de références tels que :

- le B40 – Normes techniques d'aménagement des routes.
- Le cahier des charges du projet de modernisation du chemin de wilaya CW05.
- GTR – Guide de réalisation des remblais et des couches de formes.

CHAPITRE II – ETUDE DE TRAFIC

1. INTRODUCTION

L'évolution des activités, du nombre véhicules par ménage et des moyens de transport engendre de fortes conséquences sur les conditions de circulation. Ces éléments génèrent du trafic imposent une réflexion constante sur le développement des infrastructures de transport.

L'objectif de l'étude de trafic est de donner des éléments d'analyse pour évaluer la pertinence de l'aménagement que l'on souhaite réaliser sur un tronçon routier, en fonction des changements évolutifs que connaît ou que connaîtra la structure de voirie. Dans cette logique, l'étude de trafic impactera directement sur les caractéristiques des voies à créer ainsi que les caractéristiques des infrastructures.

2. L'ANALYSE DES TRAFICS EXISTANT

Tout projet d'étude d'infrastructure routière doit contenir une évaluation et une analyse précise du trafic supporté, car le dimensionnement de la chaussée est lié étroitement à cette sollicitation. Pour ce faire, on étudiera pour chaque tronçon les conséquences de l'augmentation du trafic sur les débits et sur les durées de parcours (Brunel, 2008). Puis, sont évaluées ensuite les conséquences des différentes solutions d'aménagement, qu'il s'agisse de nouvelles infrastructures ou de développement de l'infrastructure existante, comme cela se présente pour notre projet d'étude.

La résolution de ce problème consiste à déterminer la largeur des voies et leur nombre d'après le trafic prévisible à un horizon donné. Toute la difficulté réside dans la projection de l'état du trafic dans l'avenir. En effet, celui-ci est influencé par divers facteurs. Doivent être pris en compte : la prédominance des transports individuels/marchandises poids lourds, l'évolution local du développement urbain en terme économique lié à l'ouverture/la fermeture d'activités économiques, la construction d'autoroutes ou de chemins de fer à grande vitesse, etc. (Brunel, 2008).

L'étude de trafic présente une approche essentielle dans la conception des réseaux routiers. L'analyse des trafics est destinée à éclairer des décisions relatives à la politique des transports.

2.1. LA MESURE DES TRAFICS

La mesure des trafics est un outil de travail indispensable à la gestion de la mobilité, que ce soit à l'échelle régional ou local. On mesure le débit de circulation en comptant le nombre de

véhicules pendant une période donnée. L'unité la plus utilisée est le nombre de véhicules par jour pendant une année (Brunel, 2008).

La réalisation des comptages de trafic est une phase primordiale à la constitution de données, à leur définition et à l'évaluation de l'impact des mesures prises en cas de modification de situation. Une situation est dite modifiée si des éléments tels que : le taux de fréquentation de la route et sa capacité à absorber la circulation, subissent une évolution.

Même si cette tâche semble être quelque peu ardue et nécessitant une expertise confirmée, la mesure des trafics constitue un outil précieux d'aide à la décision, en particulier pour les gestionnaires de voiries tels que les communes et régions (Antoine and Brandfer, 2008)(Planeco.be, 2015).

La mesure des trafics sur un tronçon est réalisée par différents procédés (Brunel, 2008) complémentaires :

- Les comptages routiers : permettent de quantifier le trafic.
- Les enquêtes : permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs.

2.1.1. LES COMPTAGES ROUTIERS

Les comptages routiers comportent la mesure du trafic routier et consiste à compter les véhicules qui circulent sur une voie de chaussée. Ils sont l'élément essentiel de l'étude de trafic et sont réalisés notamment afin de pouvoir évaluer au mieux l'impact qu'aura le développement d'un projet urbanistique sur son environnement, entre autres dans le cadre de la réalisation d'études (Planeco.be, 2015).

On distingue deux types de comptage : les comptages manuels et les comptages automatiques (Brunel, 2008). Cependant, la principale technologie est la boucle magnétique. Celle-ci est enfouie sous la chaussée et détecte le passage des véhicules. Les informations sont collectées localement dans un boîtier et acheminées vers un centre de gestion du trafic où elles sont agrégées. Les modèles d'exploitation s'appuient sur la mémorisation du passé de l'information (Team.inria.fr, 2015). Nous nous concentrerons pour la suite sur les deux principaux types de comptage.

a. Les comptages automatiques

Les comptages routiers automatiques consistent à dénombrer le nombre de véhicules sur un axe routier simple ou double sens, et également à relever les vitesses. Ils sont effectués à l'aide d'appareil enregistreur comportant une détection pneumatique réalisée par un tube en caoutchouc tendu en travers de la chaussée.

Les résultats de ces comptages sont fournis par sens, par classe de véhicule et sont échantillonnés sur un laps de temps donné. D'autres informations sont accessibles comme la vitesse (moyenne, minimale, maximale, etc.) et l'écart moyen entre 2 véhicules qui se suivent (Btrafic.fr, 2015c).

On distingue :

Les comptages permanents. Ils sont réalisés en certains points choisis pour leur représentativité sur les routes les plus importantes : réseau autoroutier, réseau routier national et le chemin de wilaya les plus circulés (Brunel, 2008).

Les comptages temporaires. Ils s'effectuent une fois par an durant un mois pendant la période où le trafic est intense sur le reste des réseaux routiers à l'aide de postes de comptages tournant (Brunel, 2008).

b. Les comptages manuels ou directionnels

Ils sont réalisés par les enquêteurs qui relèvent la composition du trafic pour compléter les indicateurs fournis par les comptages automatiques. Le comptage manuel permet de déterminer les flux de trafic de véhicules en fonction de leurs directions. Les résultats sont donnés par classes de véhicules et permettent par conséquent de connaître le pourcentage de poids lourds et des transports en communs (Btrafic.fr, 2015a).

Le comptage routier directionnel est le plus souvent effectué sur une même journée, et les résultats sont exprimés en moyenne journalière annuelle (TMJA) (Brunel, 2008).

2.1.2. LES ENQUÊTES ORIGINE – DESTINATION OU ENQUÊTE CORDON

Il est plus souvent opportun de compléter les informations recueillies à travers des comptages par des données relatives à la nature du trafic et à l'orientation des flux. Lorsque l'enquête est effectuée sur tous les accès à une zone prédéterminée - une agglomération entière, une ville ou seulement un quartier - on parle d'enquête cordon ou d'enquête origine – destination (Btrafic.fr, 2015b).

Ces méthodes permettent en particulier de recenser les flux de trafic interzonaux, en définissant leur origine et destination (Btrafic.fr, 2015b). On peut recourir en fonction du besoin à diverses méthodes. Les résultats sont fournis par classe de véhicule et sont échantillonnés toutes les heures ou 1/4 d'heure (Btrafic.fr, 2015b).

Il existe plusieurs types d'enquêtes (Brunel, 2008) :

a. Les enquêtes papillons ou distributions de cartes

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

Avantages. La rapidité de l'exploitation et la possibilité de pouvoir se faire de jour comme de nuit.

Inconvénients. L'enquête ne permet pas de connaître l'origine et la destination exacte des véhicules, mais seulement les points d'entrées et de sortie du secteur étudié.

b. Relevé des plaques minéralogiques

On relève par enregistrement sur un magnétophone en différents points du réseau les numéros minéralogiques des véhicules ou au moins une (de l'ordre de quatre chiffres ou lettres). La comparaison de l'ensemble des relevés permet d'avoir une idée des flux.

Cette méthode permet d'avoir des résultats sans aucune gêne de la circulation. Par contre, le relevé des numéros est sujet à des erreurs non négligeables.

c. Interview des conducteurs

L'interview des usagers permet d'accéder à des données qualitatives fiables. Cette méthode est lourde et coûteuse mais donne des renseignements précis (Btrafic.fr, 2015d).

On arrête un échantillon de véhicules en différents points du réseau et on questionne l'automobiliste pour recueillir les données souhaitées : origine/destination du véhicule, motif du déplacement, fréquence et durée du trajet utilisé. Ces informations s'ajoutent à celles que l'enquêteur peut relever directement telles que le type de véhicule (Btrafic.fr, 2015d).

d. Les enquêtes à domicile - enquête de ménage

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

2.2. DIFFÉRENTS TYPES DE TRAFICS

Le réseau routier est constitué d'un ensemble des tronçons de route susceptibles d'exercer une influence en ce qui concerne le trafic. On procède à l'inventaire des flux de trafic concernés, en tenant compte des flux directs et indirects. Aussi, tout itinéraire susceptible d'être emprunté par l'un d'eux, fera partie du réseau. On distingue :

2.2.1. TRAFIC NORMAL

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en compte celui du nouveau projet (Brunel, 2008).

2.2.2. TRAFIC DÉVIE

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. En d'autres termes, la déviation de trafic n'est qu'un transfert entre les différentes routes qui atteignent le même point (Brunel, 2008).

2.2.3. TRAFIC INDUIT

C'est le trafic qui résulte de (Brunel, 2008) :

- Des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui, en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier, ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations.
- Des nouvelles activités économiques apportées par le nouvel aménagement routier.

2.2.4. TRAFIC TOTAL

C'est le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit et du trafic dévié (Brunel, 2008).

3. CALCUL DE LA CAPACITÉ

3.1. DÉFINITION DE LA CAPACITÉ

La capacité est le nombre de véhicules qui peuvent raisonnablement passer sur une direction de la route, ou deux, avec des caractéristiques géométriques de circulation qui lui sont propres durant une période bien déterminée.

La capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire, elle dépend des (Brunel, 2008) :

- conditions de trafic ;
- conditions météorologiques ;
- caractéristiques géométriques de la route (nombre et largeur des voies) ;
- distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des conducteurs).

3.2. LA PROCÉDURE DE DÉTERMINATION 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'horizon. Pour cela, il est donc nécessaire d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour la vingtième année d'exploitation (Brunel, 2008).

3.2.1. CALCUL DE $TMJA$ À L'HORIZON

La formule qui donne le trafic moyen journalier annuel à l'année horizon est (Brunel, 2008) :

$$TMJA_h = TMJA_0(l + \tau)^n$$

Avec

$TMJA_h$: le trafic à l'année horizon.

$TMJA_0$: le trafic à l'année de référence.

n : nombre d'année.

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

3.2.2. CALCUL DU TRAFIC EFFECTIF

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (UVP), en fonction du type de la route et de l'environnement. On utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les poids lourds (PL) en (UVP).

Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

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

Avec

T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon en (UVP).

z : pourcentage de poids lourd.

p : coefficient d'équivalence pour le poids lourds.

Tableau II.1. Coefficient d'équivalence p.

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

Tableau II.2. Type d'environnement.

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

Les caractéristiques environnementales de notre projet se traduisent par une sinuosité faible et un relief plat. En se basant sur le tableau 2 présenté ci-dessus, nous nous confrontons dans notre projet d'étude à un environnement de type « E1 ».

3.3. CATÉGORIE DE LA ROUTE

Les routes algériennes sont classées en cinq catégories fonctionnelles correspondant aux finalités économiques et administratives des itinéraires considérés. La route de notre projet appartient à la catégorie C3 (selon B40).

3.4. DÉBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL

Le débit de pointe horaire normal est une fraction du trafic effectif à l'horizon. Il est donné par la formule (Brunel, 2008) :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) T_{eff}$$

Avec

Q : débit de pointe horaire (UVP).

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

T_{eff} : trafic effectif.

3.5. DÉBIT HORAIRE ADMISSIBLE

Le débit horaire maximal accepté par voie est déterminé par application de la formule (Brunel, 2008) :

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

Avec

K_1 : coefficient lié à l'environnement.

K_2 : coefficient de réduction de capacité.

C_{th} : capacité théorique par voie qu'un profil en travers peut écouler en régime stable.

- Valeur de K_1

Tableau II.3. Coefficient lié à l'environnement.

Environnement	E1	E2	E3
K1	<u>0.75</u>	0.85	0.90 à 0.95

- Valeur de K_2

Tableau II.4. Coefficient de réduction de capacité.

Environnement	Catégorie			
	1	2	4	
E1	1.00	1.00	<u>1.00</u>	1.00
E2	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96

- Valeur de C_{th}

Tableau II.5. Valeur de la capacité théorique.

Nombre des voies de la route	Capacité théorique (UVP/h)
Route à 2 voies de 3.5m	1500 à 2000
Route à 3 voies de 3.5m	2400 à 3200
Route à chaussée séparée	1500 à 1800

4. APPLICATION AU PROJET

4.1. LES DONNÉES DE TRAFIC

D'après les résultats de trafic fournis par la DTP [5] nous avons :

- Le trafic à l'année 2013 $TJMA_{2013} = 5500 v/j$
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté = 3%
- La vitesse de base sur le tracé $Vb = 80 km/h$
- Le pourcentage de poids lourds $Z = 30\%$
- La mise en service sera en 2015
- La durée de vie est estimée à 20 ans

- Catégorie de la route : C3
- L'environnement : E1

4.2. PROJECTION FUTURE DE TRAFIC

Comme précisé précédemment, la mise en service de la route est prévue pour 2015.

Formule :

$$TMJA_{2015} = TJMA_{2013} \times (1 + \tau)^n$$

Avec

$TMJA_h$: trafic de l'année de mise en service « 2015 »

$TMJA_o$: trafic à l'année zéro (origine 2013)

Formule :

$$TMJA_{2015} = 5500 \times (1 + 0.03)^2 = 5835 \text{ v/j}$$

Donc: $TMJA_{2015} = 5835 \text{ v/j}$

Trafic à l'année (2035) pour une durée de vie de 20 Ans :

$$TMJA_{2035} = 5835 \times (1 + 0,03)^{20} = 10539 \text{ v/j}$$

Donc: $TMJA_{2035} = 10539 \text{ v/j}$

4.3. CALCUL DU TRAFIC EFFECTIF

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

Avec

P: coefficient d'équivalence pris pour convertir le poids lourds pour une route à deux voies dans un environnement E1, on a P=3.

Z: le pourcentage de poids lourds est égal à 30%.

$$T_{eff\ 2015} = 5835 \times [(1 - 0.3) + 3 \times 0.3] = 9336\ uvp/j$$

Donc : $T_{eff\ 2015} = 9336\ uvp/j$

$$T_{eff\ 2035} = 10539 \times [(1 - 0.3) + 3 \times 0.3] = 16862\ uvp/j$$

Donc : $T_{eff\ 2035} = 16862\ uvp/j$

4.4. DÉBIT DE POINTE HORAIRE NORMAL

$$Q = \frac{1}{n} \times T_{eff}$$

Avec

$\frac{1}{n}$: Coefficient de pointe horaire pris est égal à 0.12 (n = 8 heures).

ANNÉE DE MISE EN SERVICE

$$\begin{cases} Q = 0.12 \times T_{eff\ 2015} \\ Q = 0.12 \times 9336 = 1120\ uvp/h \end{cases}$$

ANNÉE HORIZON

$$\begin{cases} Q = 0.12 \times T_{eff\ 2035} \\ Q = 0.12 \times 10539 = 1265\ uvp/h \end{cases}$$

Donc: $Q = 1265\ uvp/h$

4.5. DÉBIT ADMISSIBLE

Le débit que supporte une section donnée :

$$Q_{adm} = K1 \times K2 \times C_{th}$$

Avec

K1: coefficient correcteur pris égal à 0.75 pour E1.

K2: coefficient correcteur pris égal à 1 pour environnement (E1) et catégorie (C3).

C_{th}: Capacité théorique.

$$Q_{adm} = 0,75 \times 1 \times 2000$$

Donc: $Q_{adm} = 1500 \text{ uvp/h}$

4.6. LE NOMBRE DE VOIES

$$N = S \times (Q/Q_{adm})$$

Avec

$$S = 2/3 \text{ donnée}$$

$$N = (2/3) \times (1265/1500) = 0.56 = 1$$

Donc : $N = 1$ voie par sens

4.7. CALCUL DE L'ANNÉE DE SATURATION

$$\begin{cases} T_{eff\ 2015} = 9336 \text{ v/j} \\ Q = 1120 \text{ uvp/h} \end{cases}$$

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

$$\Rightarrow Q_{saturation} = 4 \times 1500 = 6000 \text{ uvp/h}$$

Donc : $Q_{saturation} = 6000 \text{ uvp/h}$

$$Q_{saturation} = (1 + \tau)^n \times Q_{2015}$$

$$\Rightarrow n = \frac{\ln(\frac{Q_{sat}}{Q})}{\ln(1+\tau)} \Rightarrow n = \frac{\ln(\frac{6000}{1120})}{\ln(1+0.03)} = 56,78 \Rightarrow 57 \text{ ans}$$

Donc : $n = 57 \text{ ans}$.

« Notre route sera saturée 57 ans après la mise en service, donc l'année de saturation est l'année 2072 »

Tableau II.6. Représentation des calculs.

TMJA ₂₀₁₅ (v/j)	TMJA ₂₀₃₅ (v/j)	T _{eff 2035} (uvp/j)	Q ₂₀₃₅ (uvp/h)
5835	10539	16862	1265

5. CONCLUSION

Une étude de trafic commence préalablement par la définition des besoins en termes de desserte et de trafics attendus. Les méthodes utilisées pour définir ces deux mesures s'appliqueront à apporter des réponses à des questions telles que : le potentiel de trafic aux différents horizons de temps et l'évolution du trafic dans le temps avec la mise en service de différents projets en cours ou à venir (gpso.fr, 2009). Les différentes méthodes d'analyse des trafics abordées dans ce chapitre nous permettent de répondre aisément à ces exigences.

Ceci étant fait, il s'agit ensuite de préciser les aménagements et les infrastructures nécessaires en fonction des trafics et de leur typologie (gpso.fr, 2009). Ces aménagements peuvent consister en l'évaluation de l'opportunité d'un projet d'infrastructure permettant de réduire les difficultés de circulation. Ou encore en des améliorations sur les infrastructures existantes comme il en est question dans notre projet d'étude, en identifiant par exemple les points bloquants en termes de capacité.

CHAPITRE III – TRACÉ EN PLAN

1. INTRODUCTION

Lors de l'élaboration de tout projet routier, l'ingénieur commence par identifier la localisation géographique de la route. Cette information élémentaire est cruciale dans la détermination des caractéristiques environnementales de la route, dont la finalisation est son adaptation à la configuration du terrain. Cette dite configuration doit tenir compte des obligations suivantes :

- **Une obligation de sécurité.** Liée au tracé en plan, à la qualité des véhicules admis et à l'adhérence de la surface de roulement.
- **Une obligation de confort.** Pour diminuer la fatigue des usagers, la nuisance et fluidifier la circulation.
- **Une obligation d'économie globale.** Pour les collectivités, il s'agit de réduire le coût économique engendré par les accidents et la pollution. Pour les particuliers, il s'agit de réduire le temps de parcours et par conséquent, la consommation de carburant.

Les projets seront donc basés sur un certain nombre de paramètres choisis de telle sorte que la sécurité et le confort soient assurés dans des conditions normales d'utilisation. De plus, dans le cadre d'étude de projets routiers, il faudrait aussi tenir compte des variations relatives aux caractéristiques des véhicules, admis aux conditions de surface de la chaussée et aux conditions ambiantes (météologie, visibilité, etc.).

2. MODERNISATION DU TRACÉ EN PLAN

2.1. DESCRIPTION

Le revêtement de chaussée actuel présente des cas pathologique de dégradation ce qui rend le chemin de wilaya CW05 quasi impraticable. Par conséquent, la déviation qui en résulte augmente le temps de parcours des usagers, ce qui freine le développement économique de la région.

Dans une optique de modernisation des infrastructures existantes, la Direction des Travaux Publics de la wilaya de Naâma engage des travaux de modernisation du chemin de wilaya n° 5 de la Daïra de Gaâloul. Les travaux en question s'étendent sur un tronçon de 8,5 Km.

2.2. RÉFLEXIONS

Le tracé existant présente une chaussée rétrécie sans accotement datant de l'époque coloniale, ainsi qu'une faible sinuosité sur la grande partie de l'itinéraire. Ce dernier est caractérisé par des successions d'alignements et quelques courbes de faibles rayons.

L'aménagement et la modernisation consistent à :

- l'amélioration du tracé en élargissant la voie dans les deux sens et en augmentant les rayons des virages.
- La vitesse de référence du tracé du chemin de wilaya n°05 est fixée à 80 km/h.
- Installe de nouveaux accotements précédemment inexistants.

Pour assurer les meilleures conditions d'exécution, l'élargissement de la chaussée sera réalisé le plus souvent du coté des déblais. Par contre, et pour préserver les constructions et les pistes d'accès, l'élargissement se fera du coté des remblais.

2.3. RÉALISATION

La réalisation d'un ouvrage de génie civil, quel que soit sa dimension, nécessite toujours au préalable des étapes de réflexions, d'analyse et de mise au point. L'acquisition de la vue d'ensemble d'un projet permet une réalisation propre et la prévention d'erreurs pouvant coûter très chère.

Le projet de modernisation est en cours de travaux. L'entreprise chargée des travaux a commencé par une étape de scarification de l'ancien revêtement

3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN

Le tracé en plan d'une route est un des éléments qui permettent de caractériser la géométrie d'une route. Il est constitué par la projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la route (SETRA, 1994).

3.1. ALIGNEMENT

Les alignements sont, en premier, définis par la disposition générale du tracé et serviront généralement de bases à la détermination des autres éléments (cercles, clothoïdes) (SETRA, 1994).

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes est restreint. La cause en est qu'il présente des inconvénients (SETRA, 1994), notamment :

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

Il existe toute fois des cas où l'emploi d'alignements droits se justifie :

- En plaine ou des sinuosités ne seraient absolument pas appréciées.
- Dans des vallées étroites.
- Le long de constructions existantes.
- Pour donner la possibilité de dépassement.

La longueur des alignements dépend de :

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

La longueur minimal de l'alignement se détermine par :

$$L_{min} = T.V_B, \text{ avec } T = 5 \text{ sec et } V_B = \text{vitesse en (m/s)}$$

La longueur maximale de l'alignement se détermine par :

$$L_{max} = T.V_B, \text{ avec } T = 60 \text{ sec}$$

3.2. ARCS DE CERCLE

Les arcs en cercle peuvent correspondre d'emblée à une certaine portion du tracé. Ils servent également en association avec des arcs de clothoïde à relier deux alignements droits (SETRA, 1994).

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- La stabilité des véhicules en courbe.
- La visibilité en courbe.
- L'inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

3.2.1. STABILITÉ EN COURBE

Dans un virage R , un véhicule subit l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système. Afin de réduire l'effet de la force centrifuge, on incline la chaussée transversalement vers l'intérieure du virage (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite devers exprimée par sa tangente (SETRA, 1994).

3.2.2. RAYON HORIZONTAL MINIMAL ABSOLU

$$RH_{min} = \frac{V_r^2}{127(ft + d_{max})}$$

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

3.2.3. RAYON HORIZONTAL MINIMAL NORMAL

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

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

3.2.4. RAYON AU DÉVERS MINIMAL

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

Dévers associé $d_{min} = 2.5 \%$

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

3.2.5. RAYON MINIMAL NON DÉVERSÉ

Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toit et le devers est négatif pour l'un des sens de circulation. Le rayon minimal qui permet cette disposition est le rayon minimal non déversé RH_{nd}

$$RH_{nd} = \frac{V_r^2}{127(f' - d_{min})}$$

$$\begin{cases} f' = 0.07 \text{ cat } 3 \\ f' = 0.075 \text{ cat } 4 - 5 \end{cases}$$

3.2.6. APPLICATION AU PROJET

Pour notre projet qui situé dans un environnement 1 (E1), et classé en catégorie 3 (C3) Avec une vitesse de base de 80km/h.

Donc d'après le règlement des normes algériennes B40, on a le tableau suivant :

Tableau III.1. Récapitulatif des rayons minimal / environnement de la route.

Paramètres	Symboles	Valeurs
Vitesse de base (<i>km/h</i>)	V_b	80
Rayon horizontal minimal (<i>m</i>)	RH_m (7%)	250
Rayon horizontal normal (<i>m</i>)	RH_N (5%)	450
Rayon horizontal déversé (<i>m</i>)	RH_d (2.5%)	1000
Rayon horizontal non déversé (<i>m</i>)	RH_{nd} (-2.5%)	1400

En matière de travaux routiers, l'optimisation du tracé existant est privilégiée à la création de nouvelles infrastructures. Cela permet, entre autres, un gain de temps de réalisation et une économie de budget.

3.3. SUR-LARGEUR

Un long véhicule à 2 essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit. Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une sur-largeur par rapport à sa largeur normale en alignement.

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

L : longueur du véhicule (valeur moyenne $L = 10 \text{ m}$)

R : rayon de l'axe de la route.

Tableau III.2. Calcul des sur-largeur.

Rayon (m)	Sur-largeur (m)
40	1.25
45	1.00
60	1.00
80	0.5
100	0.5
160	0.25
180	0.25

3.4. COURBE DE RACCORDEMENT

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

3.4.1. RÔLE ET NÉCESSITÉ DE LA COURBE DE RACCORDEMENT

L'emploi de la courbe de raccordement se justifie par les conditions suivantes :

- Stabilité transversale du véhicule.
- Confort des passagers dans le véhicule.
- Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

3.4.2. TYPES DE COURBE DE RACCORDEMENT

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

3.4.2.1. Parabole cubique

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

3.4.2.2. Lemniscate

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

3.4.2.3. Clothoïde

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

- **Expression mathématique de la clothoïde :**

Courbure K linéairement proportionnelle à la longueur curviligne L .

$$K = C \times L$$

On pose : $1/C = A^2 \Rightarrow L \times R = A^2$

- **Éléments de la clothoïde :**

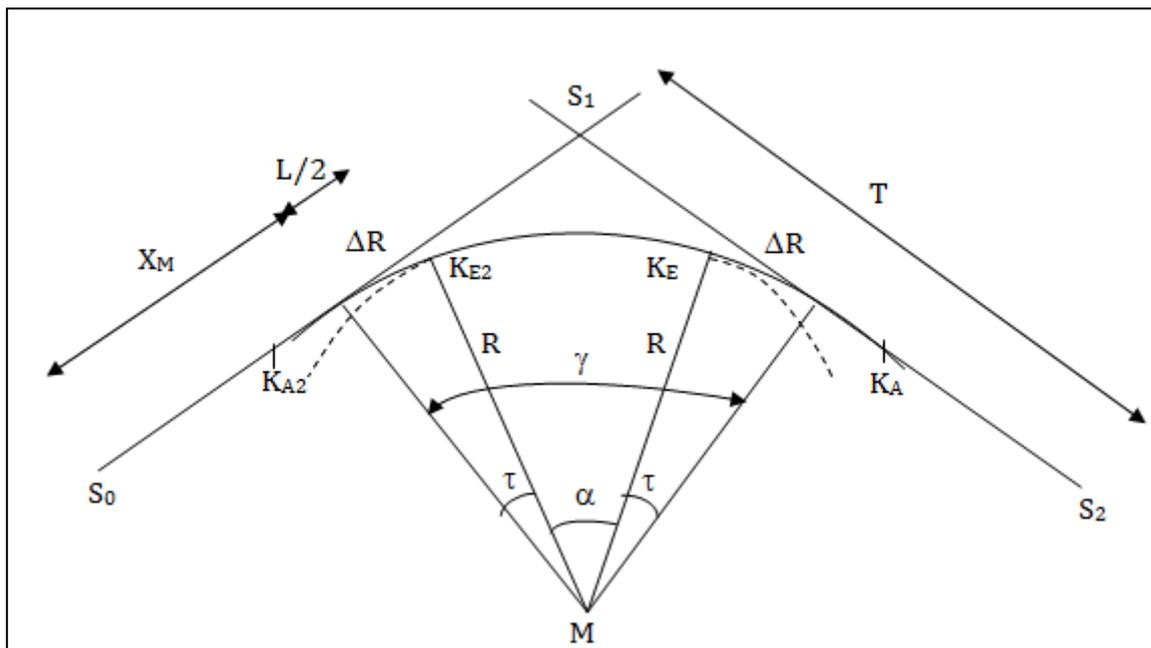


Figure III.1. Eléments de la clothoïde.

- γ : angle entre alignement.
- T : grande tangente.
- ΔR : ripage.
- X_M : abscisse du centre de cercle.
- R : rayon de virage.
- τ : angle de tangente.
- S_L : la corde à la clothoïde.
- σ : l'angle polaire.
- L : longueur de clothoïde.
- K_A : début de clothoïde.
- K_E : fin de clothoïde.

Le choix d'une clothoïde doit respecter les conditions suivantes :

a. Condition optique

La clothoïde doit aider à la visibilité de la route en amorçant le virage. La rotation de la tangente doit être $\geq 3^\circ$ pour être perceptible à l'œil :

$$R > A \geq R/3$$

Règle générale (B40) :

$$\left\{ \begin{array}{l} R \leq 1500 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 1 \text{ m} \rightarrow (\text{Éventuellement } 0.5 \text{ m}) \quad L = \sqrt{24 \times R \times \Delta R} \\ 1500 < R \leq 5000 \text{ m} \rightarrow L \geq R/9 \\ R > 5000 \text{ m} \rightarrow \Delta R = 2.5 \text{ m} \rightarrow L = 7.75 \times \sqrt{R} \end{array} \right.$$

b. Condition confort dynamique

Cette condition consiste à limiter pendant le temps de parcours Δt du raccordement, la variation, par unité de temps, de l'accélération transversale.

$$L = \frac{Vr_2}{18} \times \left(\frac{Vr_2}{127R} - \Delta d \right)$$

Avec

Vr : vitesse de référence en (Km/h).

R : rayon en (m).

Δd : variation de dévers.

c. Condition de gauchissement

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation des dévers. Elle s'explique dans le rapport à son axe.

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

Avec

L : longueur de raccordement.

l : largeur de la chaussée.

Δd : variation de dévers.

A noter :

La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique, peut se faire à l'aide d'une seule condition qui sert à limiter pendant le temps de parcours du raccordement, la variation par unité de temps, du dévers de la demi-chaussée extérieure au virage. Cette variation est limitée à 2%.

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

Pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes. Un changement de celle-ci ne doit être admis

qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible à l'utilisateur (traversée d'une ville, modification du relief, etc.).

4. LA VITESSE DE RÉFÉRENCE

La vitesse de référence (V_r) est une vitesse théorique, qui sert à déterminer les valeurs extrêmes des caractéristiques géométriques et autres intervenant dans l'élaboration du tracé d'une route.

5. CHOIX DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE

Le choix dépend de :

- Type de route.
- Importance et genre de trafic (volume, structure).
- Topographie (degré de difficulté du terrain).
- Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

6. VITESSE DE PROJET

La vitesse de projet V_B est la vitesse la plus élevée pouvant être admise en chaque point de la route, compte tenu de la sécurité et du confort dans les conditions normales.

Remarque : la vitesse de référence choisie dans notre projet et de $V_r = 80 \text{ km/h}$.

7. DEVERS

Pour l'évacuation des eaux pluviales au droit des alignements et assurer la stabilité dynamique des véhicules en courbe, la route nécessite un dévers qui est par définition la pente transversale de la chaussée.

8. CALCUL D'AXE

Le calcul d'axe est l'opération de base par laquelle toute étude d'un projet routier doit commencer. Elle consiste au calcul d'axes point par point du début du tronçon jusqu'à la fin de celui-ci.

Le calcul d'axe se fait à partir d'un point (A) précis dont on connaît les coordonnées. Il ne peut se faire qu'après avoir déterminé le couloir par lequel la route doit passer.

8.1. DÉMARCHE A SUIVRE

Tout calcul d'axe doit suivre les étapes suivantes :

1. Calcul de gisements.

2. Calcul de l'angle γ entre alignements.
3. Calcul de la tangente T.
4. Calcul de la corde S_L .
5. Calcul de l'angle polaire σ
6. Vérification de non-chevauchement.
7. Calcul de l'arc de cercle.
8. Calcul des coordonnées des points singuliers.

8.2. GISEMENT

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

9. APPLICATION AU PROJET

- FORMULES ET MÉTHODES DE CALCULS

Rayon $R_1 = 250 \text{ m}$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_0 (3902500,72 ; 744686,52) \\ S_1 (3902489,17 ; 745801,49) \\ S_2 (3902656,47 ; 746018,96) \end{array} \right.$$

- CALCUL DES GISEMENT

$$\left\{ \begin{array}{l} |\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = 11.55 \\ |\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = 1114.97 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} |\Delta X_1| = |X_{S2} - X_{S1}| = 167.30 \\ |\Delta Y_1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = 217.47 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{S_1 S_0} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} = 1115.03 \text{ m} \\ \overline{S_2 S_1} = \sqrt{(\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2)} = 274.37 \text{ m} \end{array} \right.$$

D'où :

$$G_{s1}^{s0} \text{ [g]} = 400 - \arctg \frac{|\Delta Y|}{|\Delta X|} = 399.34 \text{ grade}$$

$$G_{s2}^{s1} \text{ [g]} = \arctg \frac{|\Delta Y_1|}{|\Delta X_1|} = 41.74 \text{ grade}$$

- CALCUL DE L'ANGLE γ

$$\gamma = 400 - |G_{s2}^{s1} - G_{s1}^{s0}| = 42.4 \text{ grade}$$

- DÉTERMINATION DE L

1. CONDITION OPTIQUE

$$L \geq \sqrt{24 R \Delta R}$$

On a : $R = 250 < 1500 \Rightarrow \Delta R = 1 \Rightarrow L \geq \sqrt{24 \times 250 \times 1} = 77.4596 \text{ m}$ (1)

2. CONDITION DE CONFORT DYNAMIQUE ET DE NON GAUCHISSEMENT

$$\left\{ \begin{array}{l} L \geq \frac{5}{36} \Delta d V_B \\ \Delta d = ? \\ \Delta d = d - (-2.5) \\ RH_m = 250 \text{ m} \Rightarrow d = 7\% \Rightarrow \Delta d = 7 - (-2.5) = 9.5\% \end{array} \right.$$

$$L < \frac{5}{36} \times 9.5 \times 80 = 105.5556 \text{ m} \quad (2)$$

(1) et (2) $\Rightarrow L \geq 105.5556 \text{ m}$.

$$L = A^2/R \Rightarrow A = \sqrt{LR} = 162.4465$$

On prend : $A = 165 \text{ m}$

$$L = A^2/R = 108.900 \text{ m}$$

- CALCUL DE L'ANGLE τ

$$\tau = \frac{L}{2R} \cdot \frac{200}{\pi} = \frac{108.9}{2 \times 250} \cdot \frac{200}{\pi}$$

Avec : $\tau = 13.87 \text{ grade}$

- VÉRIFICATION DE NON CHEVAUCHEMENT

$$\begin{cases} \tau = 13.87 \text{ grade} \\ \gamma/2 = 42.4 / 2 = 21.2 \text{ grade} \end{cases}$$

D'où : $\tau < \gamma/2 \Rightarrow$ pas de chevauchement.

$$\frac{L}{R} \square = \frac{108.9}{250} = 0.435600$$

D'après le tableau de clothoïde on tire les valeurs suivantes :

$$\begin{cases} X_m/R = 0.217456440 \Rightarrow X_m = 54.36411 \text{ m} \\ \Delta R/R = 0.007893323 \Rightarrow \Delta R = 1.9733307 \text{ m} \\ X/R = 0.433538871 \Rightarrow X = 108.384 \text{ m} \\ Y/R = 0.031518128 \Rightarrow Y = 7.879 \text{ m} \end{cases}$$

- CALCUL DE LA TANGENTE

$$\begin{cases} T = X_m + (R + \Delta R) \operatorname{tg}(\gamma/2) = 142.850 \text{ m} \\ T = 54.36411 + (250 + 1.9733307) \operatorname{tg} 21.2 \\ T = \mathbf{141.519 \text{ m}} \end{cases}$$

- CALCUL DES COORDONNÉES S_L

$$S_L = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Avec : $S_L = \sqrt{(108.384)^2 + (7.879)^2} = 108.67 \text{ m}$

CALCUL DE σ

$$\sigma = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X} = \frac{7.879}{108.384} = 4.62 \text{ grade}$$

- CALCUL DE L'ARC

$$\begin{cases} b = K_{E1} \cdot K_{E2} \\ b = \frac{[\pi \cdot R(\gamma - 2\tau)]}{200} \\ b = \frac{[\pi \cdot 250(42.4 - 2 \times 13.87)]}{200} = 57.54 \text{ m} \end{cases}$$

- CALCUL DES COORDONNÉES DES POINTS SINGULIERS

$$K_A \quad \begin{cases} X_{KA} = X_{S2} - (s_2 \overline{S1} - T) \cdot \sin G_{S2}^{S1} \\ Y_{KA} = Y_{S2} - (s_2 \overline{S1} - T) \cdot \cos G_{S2}^{S1} \end{cases}$$

$$K_A \quad \begin{cases} X_{KA} = 3902656.47 - (274.36 - 141.519) \cdot \sin(41.74) = 3902575.474 \text{ m} \\ Y_{KA} = 746018.96 - (274.36 - 141.519) \cdot \cos(41.74) = 745913.6634 \text{ m} \end{cases}$$

$$K_E \quad \begin{cases} X_{KE} = X_{KA} + S_L \cdot \sin(G_{S2}^{S1} - \sigma) \\ Y_{KE} = Y_{KA} + S_L \cdot \cos(G_{S2}^{S1} - \sigma) \end{cases}$$

$$K_E \quad \begin{cases} X_{KE} = 3902575.474 - 108.67 \cdot \sin(41.74 - 4.62) = 3902515.641 \text{ m} \\ Y_{KE} = 745913.6634 - 108.67 \cdot \cos(41.74 - 4.62) = 745822.9488 \text{ m} \end{cases}$$

$$K_{A2} \quad \begin{cases} X_{KA2} = X_{S1} + T \cdot \sin G_{S1}^{S0} \\ Y_{KA2} = Y_{S1} - T \cdot \cos G_{S1}^{S0} \end{cases}$$

$$K_{A2} \quad \begin{cases} X_{KA2} = 3902489.17 + 141.519 \cdot \sin(399.34) = 3902487.703 \text{ m} \\ Y_{KA2} = 745801.49 - 141.519 \cdot \cos(399.34) = 745659.9786 \text{ m} \end{cases}$$

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

$$K_{E2} \quad \begin{cases} X_{KE1} = 3902487.703 + 108.67 \cdot \sin(399.34 + 4.62) = 3902494.458 \text{ m} \\ Y_{KE1} = 745659.9786 - 108.67 \cdot \cos(399.34 + 4.62) = 745551.5188 \text{ m} \end{cases}$$

10. CONCLUSION

La disposition générale du tracé est dans ses grandes lignes déterminée par un ensemble de contraintes identifiées dans le cadre des études préalables et relevant des domaines de l'environnement, de la topographie, de la géologie ou de l'habitat croisées avec les fonctionnalités attendues de la voie : localités à desservir, points de passage obligés pour le tracé, etc.).

Comme nous venons de le voir à travers les différentes sections de ce chapitre, le tracé en plan est profondément marqué par l'influence de la dynamique des véhicules : leur stabilité n'est acquise qu'à condition de respecter les lois liant vitesse du véhicule, rayon de courbure du tracé en plan et dévers de chaussée (comprenant l'effet des forces centrifuges).

CHAPITRE IV – PROFIL EN LONG ET PROFIL EN TRAVERS

1. INTRODUCTION

Un profil en long est la représentation d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, voie ferrée, canalisation, etc.). Le profil en long est complété par des profils en travers qui sont des coupes verticales perpendiculaires à l'axe du projet. Leur établissement 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.

2. PROFIL EN LONG

2.1. DÉFINITION

Le profil en long d'une route est un des trois éléments principaux qui permettent de caractériser la géométrie d'une route. Il est obtenu par élévation verticale dans le sens de l'axe de la route de l'ensemble des points constituant celui-ci (SETRA, 1994).

Le profil en long est une coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé, il est toujours composé d'éléments de lignes droites inclinées (rampes et pentes) et d'arcs de cercle tangents aux droites, constituant les raccordements verticaux (convexes et concaves) (SETRA, 1994)(Rychen, 2014).

La procédure de tracé du profil en long passe par les étapes (Hazzi and Houcini, 2014) suivantes :

- 1) Choix du plan horizontal de référence (Plan de comparaison).
- 2) Définir le terrain naturel : tracé + cotes.
- 3) Définir le projet : tracé + cotes.
- 4) Numéroté la position des profils en travers.
- 5) Indiquer les distances (partielles et cumulées).
- 6) Indiquer la déclivité du projet.
- 7) Indiquer les caractéristiques géométriques du projet : alignements et courbes (vue en plan).

2.2. MODERNISATION DU PROFIL EN LONG

La route à l'état actuel comporte des déclivités moyennes localisées dans la majeure partie du tracé.

La modernisation du profil en long consiste à adopter des déclivités régulières et à éliminer d'éventuels sommets de cotes.

2.3. RÈGLES PRATIQUES POUR LE TRACE DU PROFIL EN LONG

Le coût d'une construction routière varie en fonction de son profil en long, des coûts d'exploitation des véhicules empruntant la route et du nombre d'accident. A cet effet, quelques règles pratiques régissant la conception du profil en long doivent être observées :

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- Les sections où la visibilité de dépassement est assurée doivent alterner fréquemment avec celles où elle ne l'est pas.
- Eviter les hauteurs excessives des remblais.
- Eviter les angles rentrants en déblai, afin d'éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- Pour assurer un bon écoulement des eaux, les zones des dévers nul sont placées dans une pente du profil en long.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et le volume des déblais.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Eviter de placer un point bas du profil en long dans une zone de déblai et en sens inverse, il est contre indiqué de prévoir un remblai dans un point haut.
- Comme pour les traces en plan, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à certaines règles, notamment:
 - o Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines. Les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercle et d'arcs à courbe progressive de très grand rayon.
 - o Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
 - o Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

2.4. COORDINATION DU TRACÉ EN PLAN ET PROFIL EN LONG

Le respect de bonnes conditions de visibilité et la garantie d'une bonne lisibilité de l'itinéraire par l'usager imposent de veiller à une bonne coordination des éléments du tracé en plan et du profil en long. C'est la combinaison des deux éléments qui conditionnent l'image offerte réellement à l'usager et de ce fait est le paramètre déterminant vis-à-vis de son comportement.

Cette étude a pour objectif principal d'assurer aux usagers :

- de distinguer la chaussée et les obstacles possibles suffisamment à l'avance (condition de visibilité) ;
- de distinguer clairement les dispositions des points singuliers (échangeurs, carrefours, aires de services, etc.) ;
- de prévoir de loin l'évolution du tracé ;

- d'apprécier l'adaptation au terrain, sans être abusé par des trompe-l'œil, ou gênés par des coudes, des brisures ou encore des discontinuités désagréables.

Pour éviter les défauts de résultats d'une mauvaise coordination du tracé en plan-profil en long, les règles suivantes sont à observer :

- Si le profil en long est convexe, augmenter le ripage du raccordement introduisant une courbe en plan.
- Avant un point haut, amorcer la courbe en plan (rotation de l'axe visible de 2° à 3°).
- Lorsque le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe, faire coïncider le plus possible raccordement en plan et en profil en long et porter les rayons de raccordement verticaux à 6 fois au moins le rayon en profil en plan.

2.5. PALIERS ET DÉCLIVITÉS

Les paliers sont des sections de routes horizontales. Un véritable palier est à éviter, car l'écoulement longitudinal des eaux y est mal assuré et une humidité néfaste à la chaussée tend à s'y maintenir pendant toute la mauvaise saison.

La déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale. Elle est dénommée rampe si la route s'élève dans le sens du kilométrage, et pentes dans le cas contraire.

2.5.1. DÉCLIVITÉ MINIMALE

Il est recommandé d'éviter les pentes inférieures à 1%, et surtout à 0.5% et ceci dans le but d'éviter la stagnation des eaux.

Dans les longues sections en déblais on prend $I_{mine} = 0.5\%$ pour que les ouvrages de canalisation ne soient pas profonds.

2.5.2. DÉCLIVITÉ MAXIMALE

La déclivité maximale est acceptée particulièrement dans les courtes distances inférieures à 1500 m, en raison de :

- La réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (cas de rampe maximale).
- L'important effort de freinage des poids lourds, responsable de l'usure pneumatique (cas de pente maximale).

Tableau IV.1. Tableau de valeur de la déclivité maximale (B 40)

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

2.6. RACCORDEMENTS EN PROFIL EN LONG

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

On distingue deux types de raccordements :

2.6.1. RACCORDEMENTS CONVEXES (ANGLE SAILLANT)

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

2.6.1.1. Condition de confort

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure de raccordement, les véhicules sont soumis à une accélération verticale insupportable, limitée à $(0.3 \text{ m/s}^2 \text{ soit } g/40)$, le rayon de raccordement à retenir sera donc égal à :

$$v^2/Rv < g/40 \text{ avec } g = 10 \text{ m/s}^2$$

D'où : $Rv \geq 0,3 \times V^2$ (cat. 1-2).

$Rv \geq 0,23 \times V^2$ (cat 3-4-5).

Tel que : Rv est le rayon vertical (m).

V est la vitesse de référence (km/h).

Remarque : la première condition est valable pour les points bas aussi bien à angle rentrant qu'à angle saillant.

2.6.1.2. Condition de visibilité

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à la de condition confort. Deux véhicules circulant en sens opposés doivent pouvoir s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt minimum.

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

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

Avec

D_1 : distance d'arrêt (m)

h_0 : hauteur de l'œil (m)

h_1 : hauteur de l'obstacle (m)

2.6.2. RACCORDEMENTS CONCAVES (ANGLE RENTRANT)

Dans le cas de raccordements dans les points bas, la visibilité du jour n'est pas déterminante. C'est pendant la nuit que l'on doit s'assurer que les phares du véhicule éclairent un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle. La visibilité est assurée pour un rayon satisfaisant la relation :

$$R'_v = \frac{D_1^2}{(1.5 + 0.035 \times D_1)}$$

2.6.2.1. Condition d'ordre esthétique

Une grande route moderne doit être conçue et réalisée de façon à procurer à l'utilisateur une impression d'harmonie, d'équilibre et de beauté. Pour cela, il faut éviter de donner au profil en long une allure sinusoïdale en changeant le sens des déclivités sur des distances courtes. Pour éviter cet effet, on imposera une longueur de raccordement minimale et ($b > 50$) pour des dévers $d < 10\%$ « spécial échangeur ».

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

Avec

Δd : changement de dévers (%)

R_{vmin} : rayon vertical minimum (m)

2.7. APPLICATION AU PROJET

Pour le cas du chemin de wilaya CW05, on a respecté les paramètres suivants (selon le B40) :

Tableau IV.2. Rayons verticaux utilisés dans le profil en long du projet.

Vitesse de référence (km/h)		80
Rayon en angle saillant (R_v)	Minimal absolu $R_{v,m}$	3500
	Minimal normal $R_{v,n}$	8.000
Rayon en angle rentrant (R'_v)	Minimal absolu $R_{v,m2}$	1600
	Minimal normal $R_{v,n2}$	2400
Déclivité maximale I_{max} (%)		6

2.8. ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES AU CALCUL DU PROFIL EN LONG

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

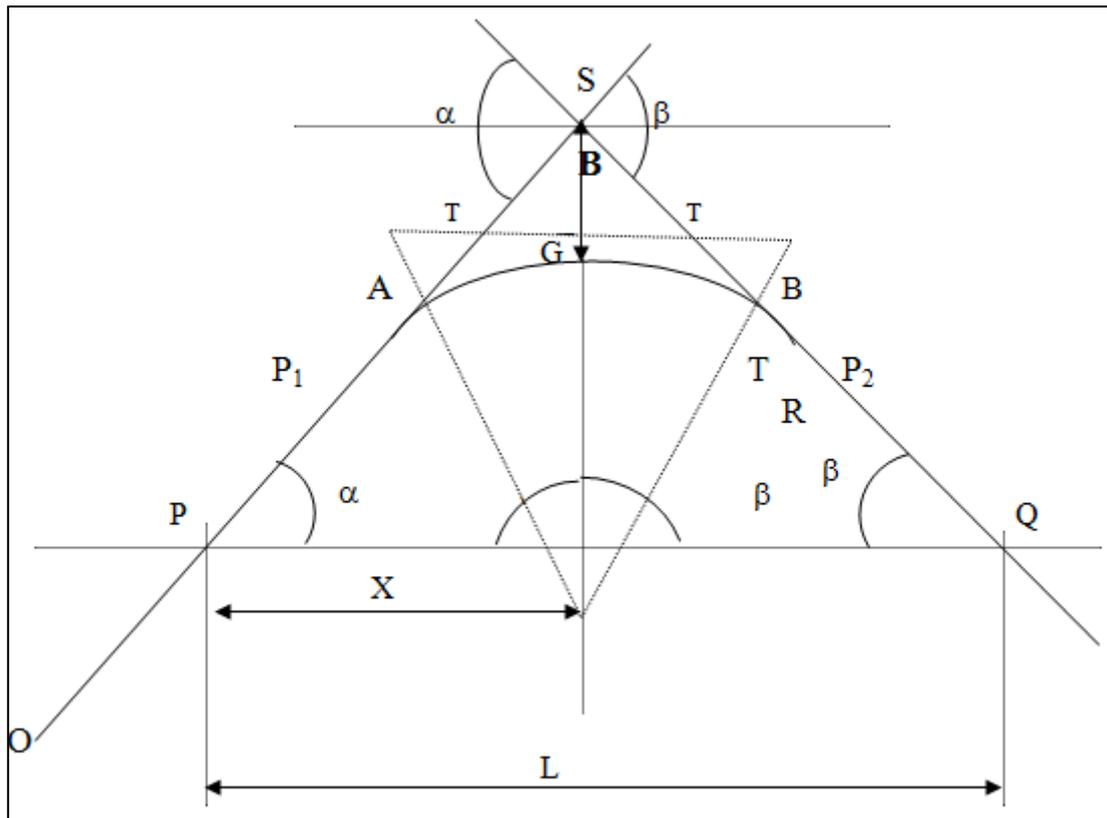


Figure IV.1. Schéma de la courbe du profil en long.

Avec

- A et B** : extrémités du raccordement.
- T** : tangente de part et d'autre du sommet.
- G** : milieu de raccordement situé sur la variante.
- B** : bissectrice.
- P, Q** : deux points connus sur P_1 et P_2 .
- O** : centre du cercle de rayon R .
- X** : distance entre le sommet et un point P sur P_1 .
- S** : sommet ou point de changement de déclivité.
- L** : distance entre les deux points P et Q .

2.9. DÉTERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle :

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

A l'équation de la parabole

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

En pratique, le calcul des raccords se fait de la façon suivante :

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

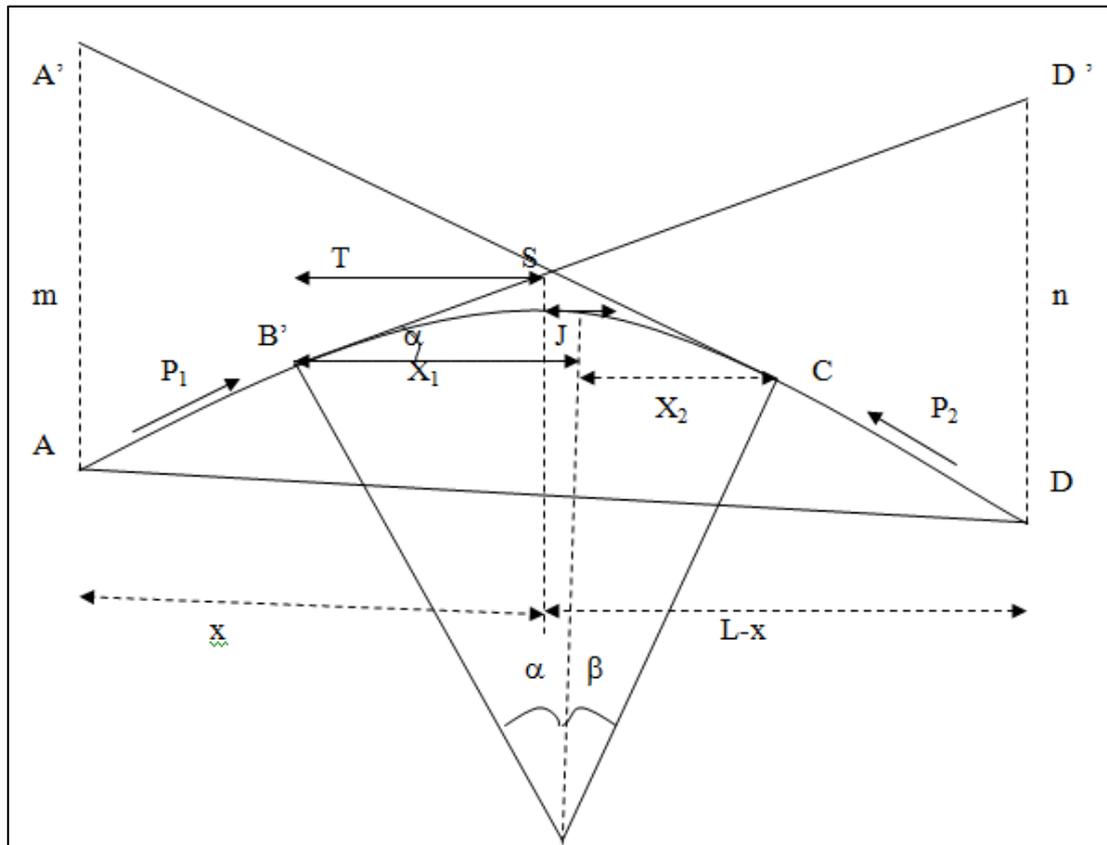


Figure IV.2. Schéma de la courbe du profil en long en rayon convexe.

2.9.1. DÉTERMINATION DE LA POSITION DU POINT DE RENCONTRE (S)

On a :

$$\begin{aligned} Z_A &= Z_{D'} + Lp_2, m = Z_{A'} - Z_A \\ Z_D &= Z_{A'} + Lp_1, n = Z_D - Z_{D'} \end{aligned}$$

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

$$m/n = x/(L-x) \Rightarrow x = m \cdot 3 \cdot L / (n + m)$$

$$S \begin{cases} X_S = X + X_A \\ Z_S = p_1 X + Z_A \end{cases}$$

2.9.2. CALCUL DE LA TANGENTE

$$T = R/2 (p_1 \mp p_2)$$

On prend (+) lorsque les deux pentes sont de sens contraires, et (-) lorsque les deux pentes sont de même sens.

La tangente (T) permet de positionner les pentes de tangentes B et C.

$$B \begin{cases} X_B = X_S - T \\ Z_B = Z_S - T p_1 \end{cases} \quad C \begin{cases} X_C = X_S + T \\ Z_C = Z_S + T p_2 \end{cases}$$

2.9.3. PROJECTION HORIZONTALE DE LA LONGUEUR DE RACCORDEMENT

$$LR = 2T$$

2.9.4. CALCUL DE LA FLÈCHE

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

2.9.5. CALCUL DE LA FLÈCHE ET L'ALTITUDE D'UN POINT COURANT M SUR LA COURBE

$$M \begin{cases} H_x = x^2/2R \\ Z_M = Z_B + X p_1 - X^2/2R \end{cases}$$

2.9.6. CALCUL DES CORDONNÉES DU SOMMET DE LA COURBE (T)

Le point J correspond au point le plus haut de la tangente horizontale.

$$X_1 = R p_1, X_2 = R p_2$$

$$J \begin{cases} X_j = X_B - R \cdot p_1 \\ Z_j = Z_B + X_1 \cdot p_1 - X_1^2/2R \end{cases}$$

Dans le cas des pentes de même sens, le point J est en dehors de la ligne de projet et ne présente aucun intérêt. Par contre, dans le cas des pentes de sens contraire, la connaissance du point J est intéressante, en particulier pour l'assainissement en zone de déblai. Le partage des

eaux de ruissellement se fait à partir du point du J, c'est-à-dire, les pentes des fossés descendants dans les sens J(A) et J(D).

2.10. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG

$$R = 15000 \text{ m}$$

$$A \begin{cases} S = 100\ 300,35 \\ Z = 707,06 \end{cases} \quad S \begin{cases} S = 100\ 378,12 \\ Z = 802,419 \end{cases} \quad D \begin{cases} S = 100\ 454,45 \\ Z = 708,95 \end{cases}$$

Calcul des pentes :

$$|P_1| = \Delta Z_1 / \Delta S_1 = 1,25 \%$$

$$|P_2| = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = -1,22 \%$$

Calcul des tangentes :

$$T = \frac{R}{2} (|p_1| - |p_2|) = 225 \text{ m}$$

Calcul des flèches :

$$H = T^2 / 2R = 1,69 \text{ m}$$

Calcul des coordonnées des points de tangentes :

$$B \begin{cases} S_B = X_S - T = 100\ 153,12 \\ Z_B = Z_S + T \cdot p_1 = 1083,67 \end{cases}$$

$$C \begin{cases} S_C = X_S + T = 100\ 603,12 \\ Z_C = Z_S - T \cdot p_2 = 527,92 \end{cases}$$

Calcul de la longueur de raccordement :

$$L = 2 \times T = 2 \times 225 = 450 \text{ m}$$

3. PROFIL EN TRAVERS

3.1. DÉFINITION

En conception routière, le profil en travers d'une route est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la route de la surface définie par l'ensemble des points représentatifs de cette surface. Il peut se rapporter soit au terrain naturel, soit au projet. En général on représente sur le même document à la fois terrain naturel et projet, ce qui permet de bien percevoir l'intégration du projet dans le milieu naturel (SETRA, 1994)(Portet, 2011).

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

3.2. MODERNISATIONS DU PROFIL EN TRAVERS

La route existante présente un profil en travers caractérisé par une chaussée étroite par rapport à la densité du trafic actuel qui y transite. En effet, la sortie sur site nous a permis, en premier de relever que la largeur de la chaussée existante n'est pas fixe le long du tracé et varie entre 2,5 à 3,5 m. En second lieu, nous avons constaté une insuffisance des accotements et leur absence au niveau de certaines sections de la route.

La modernisation du profil en travers du tronçon en question du chemin de wilaya CW05 nécessite des solutions délicates d'élargissement du profil en travers actuel, mais le coté d'élargissement est variable le long de l'itinéraire. Il est en fonction des contraintes rencontrées au bord de la plate forme.

3.3. LES ÉLÉMENTS DU PROFIL EN TRAVERS

3.3.1. LA CHAUSSÉE

C'est la partie affectée à la circulation des véhicules.

3.3.2. LA LARGEUR ROULABLE

Elle comprend les sur-largeurs de chaussée, la chaussée et la bande d'arrêt.

3.3.3. LA PLATE FORME

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

3.3.4. L'ASSIETTE

C'est la surface de la route délimitée par les terrassements.

3.3.5. L'EMPRISE

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances (talus, chemins de désenclavement, etc.) limitée par le domaine public.

3.3.6. LES ACCOTEMENTS

En dehors des agglomérations, les accotements sont dérasés. Ils comportent généralement les éléments suivants :

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

3.3.7. LE TERRE-PLEIN CENTRAL

Il s'étend entre les limites géométriques intérieures des chaussées. Il comprend :

- Les sur-largeurs de chaussée (bande de guidage).
- Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue.

3.3.8. LE FOSSÉ

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

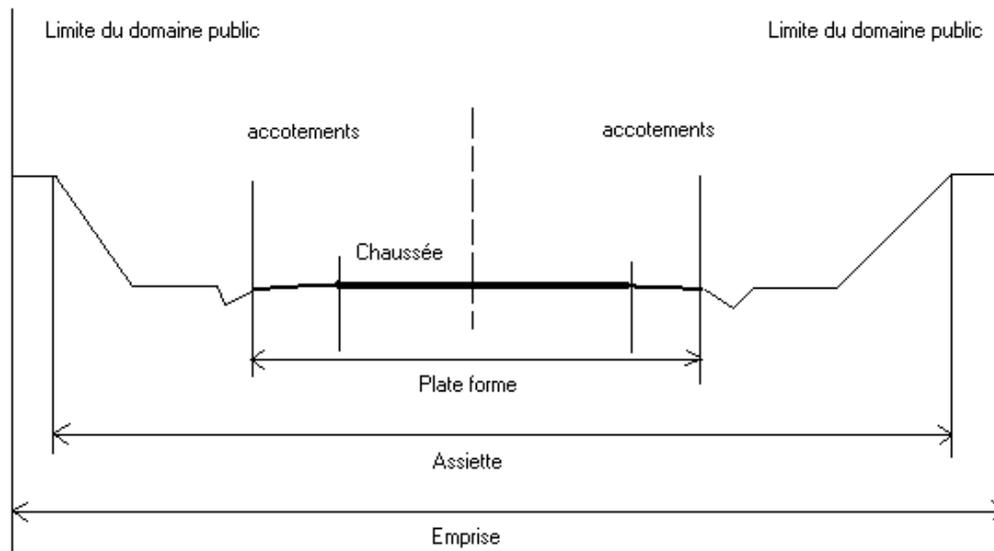


Figure IV.3. Les éléments du profil en travers d'une route.

3.4. CLASSIFICATION DE PROFIL EN TRAVERS

On distingue deux types de profils : les profils en travers courant et les profils en travers type.

3.4.1. LE PROFIL EN TRAVERS COURANT

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à des distances régulières (10, 15, 20, 25 m...) qui servent à calculer les cubatures.

3.4.2. LE PROFIL EN TRAVERS TYPE

C'est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou dans l'aménagement de routes existantes.

Il contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations : en remblais, déblais ou mixte.

3.5. APPLICATION AU PROJET

Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour le chemin de wilaya n° 5 sera composé d'une chaussée bidirectionnelle.

Les éléments du profil en travers type sont comme suit :

- Chaussée : $3.5 \times 2 = 7.00 \text{ m}$
- Accotement : $2 \times 1,80\text{m} = 3,60 \text{ m}$
- Plate forme : $= 10,60 \text{ m}$

4. CONCLUSION

Nous avons abordé dans ce chapitre, l'étude des profils en long et en travers. Dans le cadre de notre projet, l'étude des profils en long et en travers est une étape nécessaire et suffisante pour déterminer le tracé optimal. Ceci nous a permis de calculer le volume des déblais à excaver et des remblais à mettre en place de façon à justifier les coûts de terrassement nécessaire pour réaliser la partie fondation de la route.

CHAPITRE V – ETUDE GÉOTECHNIQUE

1. INTRODUCTION

Une étude géotechnique consiste à définir les contraintes géotechniques du site s'exerçant sur le projet d'infrastructure (contraintes de stabilité), et à caractériser les matériaux (sols, roches) en proposant leur valorisation dans l'ouvrage routier (remblais, couche de forme, voire structure de chaussées). Ce travail permet de définir les principes techniques compatibles avec les caractéristiques géotechniques et de stabilité des matériaux (pente des talus,...), les contraintes hydrogéologiques, mais aussi avec la géométrie du projet (profil en long et en travers).

Toute opération modifiant l'équilibre des terres a une conséquence directe sur le coût des travaux de terrassement et sur les partis d'aménagement général. De ce fait, assurer la stabilité à long terme du projet routier et optimiser la valorisation des matériaux du site doit faire parti des objectifs principaux de l'étude géotechnique. Le mouvement des terres constitue l'aboutissement de l'étude géotechnique et un document de base pour l'élaboration du projet de terrassements.

2. DÉFINITION GÉNÉRALE

La géotechnique est une discipline qui étudie le comportement des terrains en relation ou non avec la construction d'ouvrage. Elle s'inscrit dans une démarche de science expérimentale dont la connaissance s'appuie sur l'observation et la mesure permettant la compréhension des phénomènes et leur modélisation à des fins d'actions. Les résultats seront à leur tour observés, mesurés et analysés (Portet and Noël, 2011).

La géotechnique s'appuie, entre autre, sur les différentes sciences de la terre que sont : la géologie, la géophysique, la mécanique des sols et mécanique des roches, l'hydrologie et l'hydrogéologie (Portet and Noël, 2011).

3. GÉOTECHNIQUE ROUTIÈRE

La géotechnique routière est l'application de la géotechnique au domaine routier. Elle concerne les travaux de terrassement (utilisation du sol comme matériaux de construction en déblai/remblai), les soutènements et stabilisation de talus et les fondations des ouvrages d'art (Portet and Noël, 2011).

Une étude géotechnique vise à reconnaître au droit d'un aménagement existant ou à construire :

- la nature et la répartition des terrains ;
- les caractéristiques et comportements des matériaux ;
- les caractéristiques hydrauliques du site (présence d'eau, nature des écoulements, etc.).

Les terrains constitutifs du sous-sol étant non homogènes avec une répartition spatiale de type aléatoire, la modélisation et l'étude du comportement des terrains s'appuieront sur une reconnaissance qui sera donc toujours partielle. L'étude géotechnique devra lever un maximum d'incertitudes sur le sous-sol pour la conception ou le confortement d'un projet.

4. DÉROULEMENT D'UN PROJET GÉOTECHNIQUE ROUTIER

Un projet géotechnique se déroule de la façon suivante :

- une première étape consiste en les reconnaissances géotechniques ;
- la classification des sols est ensuite effectuée ;
- les études sont établies ;
- les conditions de mise en place des matériaux sont déterminées ; GTR
- et enfin les contrôles qualité et réception de la plate-forme sur chantier clôturent l'étude géotechnique.

4.1. LES RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES

Avant la réalisation d'une route, tous les maîtres d'ouvrage doivent respecter des procédures d'études spécifiques, qu'il s'agisse de projets autoroutiers, de routes nationales, de routes communales.

4.1.1. MÉTHODOLOGIE

La nomenclature et le déroulement des procédures fluctuent suivant les maîtres d'ouvrages et suivant l'importance du projet. En géotechnique routière, la méthodologie utilisée s'apparente à la démarche employée pour les routes. Elle se décompose en 3 phases principales correspondant aux étapes suivantes : les études d'opportunités (ou étude préliminaire), les études d'avant projet et les études de projet.

a. Les études d'opportunités (ou études préliminaires)

L'objectif d'une étude d'opportunité est de définir une bande d'étude de 1000 mètres au minimum, de définir le parti d'aménagement et les fonctions que devra assurer l'infrastructure projetée et de s'assurer de la faisabilité technique, environnementale et financière du projet.

b. Les études d'avant projet

Les études d'avant projet consisteront à caler un ou plusieurs tracés correspondant à une bande de 300 mètres incluse dans le fuseau des 1000 mètres de l'étude d'opportunité.

Il y a lieu de rechercher dans ces études, en premier lieu, les secteurs sensibles susceptibles de remettre en cause le projet et en second lieu, l'équilibre des grandes masses en matière de déblais et de remblais (étude du profil en long).

c. Les études de projet

Les études de projet ont pour objet de dimensionner toutes les caractéristiques géométriques et techniques de tous les ouvrages. Des sondages complémentaires seront souvent nécessaires pour parfaire les études géotechniques en matière de matériaux réutilisables et d'études de stabilité. La recherche de toutes les solutions tendant à l'équilibre des terres doit être une priorité absolue. La prise en compte des conditions météo les plus plausibles lors de la réalisation des travaux de terrassement devra s'effectuer au niveau du rapport géotechnique.

4.1.2. MOYENS DE RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES

Les moyens utilisés pour les reconnaissances géotechniques de tracé sont adaptés aux différentes phases d'étude. Il s'agit (Portet, 2011) :

- de l'analyse de la géologie (reconnaitances terrain, analyse des documents existants)
- de la géophysique
- des sondages

4.1.2.1. Analyse de la géologie

L'analyse de la géologie débute par une reconnaissance terrain et se poursuit par l'analyse de documents existants (cartes géologiques, sondages, photos aériennes...) (Portet, 2011). Elle permet ainsi de définir :

- les étages géologiques : classification du sous sol en fonction de son origine et de son âge.
- la lithologie : description en fonction de la nature du terrain
- la tectonique : présence de plissements, failles, érosions

a. Reconnaissances terrain par l'observation visuelle

Première étape de l'analyse géologique, les reconnaissances visuelles permettent les premières identifications du terrain qui devront être confirmées avec l'examen des cartes géologiques (Portet, 2011).

b. Analyse des cartes géologiques

L'exploitation des cartes géologiques permet la description des terrains (lithologie) et du contexte général (organisation spatiale, tectonique, accidents) (Portet, 2011).

c. Photo interprétation

L'examen stéréoscopique des photos aériennes permet de déterminer la fracturation, les zones humides ou déprimées et la morphologie des terrains (moutonnements, replats...) (Portet, 2011).

d. Cartographie de terrain

La détermination de la nature des terrains, l'observation des affleurements, de l'état d'altération ou de fracturation et de l'orientation des structures nécessitent un contrôle et une

validation sur le terrain. Ceux-ci sont rendus possibles par la réalisation de relevés in-situ et report sur fonds cartographiques précis (Portet, 2011).

e. Données d'archive

En début de projet, l'analyse de données d'archives apporte des informations sur le contexte prévisible, notamment (Portet, 2011) :

- les sondages archivés dans les services de l'Etat, des collectivités territoriales...
- les études et reconnaissances antérieures provenant d'autres projets, mêmes très anciens ou des phases antérieures du projet.

4.1.2.2. La géophysique

La méthode utilisée doit être adaptée au problème et au site. Il convient donc, avant de retenir une méthode, de (Portet, 2011) :

- Préciser la géologie : position d'interfaces, nature des terrains.
- Caractériser des terrains : quantifier un comportement, quantifier la variabilité.
- Rechercher une cible.

4.1.2.2.1. Méthodes de Surface

Nous avons les méthodes (Portet, 2011) :

- a. Sismiques
- b. Électriques
- c. Électromagnétiques

a. Sismique

La sismique étudie les variations de la vitesse sismique du sous-sol, variations qui sont en relation avec la dureté, le degré de consolidation et la saturation. Avec cette méthode on peut distinguer la roche compacte du terrain meuble, la roche compacte et la roche altérée, les zones fracturées dans une roche saine, le niveau de la nappe phréatique.

Parmi les méthodes géophysiques la sismique est de loin la méthode la plus importante tant du point de vue de l'argent dépensé que du point de vue des géophysiciens employés.

En recherche pétrolière il s'agit essentiellement de sismique réflexion alors que dans les travaux relevant de la géologie de l'ingénieur (construction de routes, barrages, tunnels, hydrogéologie,...), il s'agit le plus souvent de sismique réfraction.

b. Electrique

La prospection électrique implique la détection en surface d'effets produits lorsqu'un courant électrique traverse le sous-sol. Il existe une grande variété de techniques utilisant les méthodes électriques, on peut mesurer par exemple : une chute de potentiel, un courant, un champ électromagnétique.

Par ailleurs, dans un domaine envisagé, il existe de nombreuses techniques de mesure. Les méthodes fondées sur la mesure du paramètre "résistivité" sont actuellement les plus

répandues, les plus développées et les plus diversifiées (Elles ont été imaginées en 1912 par les frères Schlumberger).

c. Electromagnétique

Ce type de méthode exploite le principe d'induction électromagnétique dans les matériaux conducteurs. Cette méthode est dite "active" car on émet artificiellement un champ magnétique primaire, qui est conduit par le sous-sol, et dont les modifications mesurées en surface nous renseignent sur les propriétés du terrain.

4.1.2.2.2. *Diagraphie en sondage*

Nous avons (Portet, 2011) :

- a. RAN
- b. microsismiques
- c. nucléaires (YY et NN)
- d. imagerie de paroi

a. **Diagraphie de radioactivité naturelle (RAN)**

Les diagraphies font un usage intensif de la mesure de la radioactivité dans les forages. Les logs nucléaires ont en effet un grand avantage, ils peuvent être enregistrés en trous ouverts ou tubés, vides ou remplis de n'importe quel type de fluide.

Les plus couramment utilisés sont : le gamma ray, qui est une mesure de la radioactivité naturelle, le log gamma-gamma ou log densité et le log neutron- neutron qui sont des mesures de radioactivité provoquée.

b. **Diagraphie microsismique**

Cette technique consiste à mesurer les temps de propagation des ondes de compression à la périphérie d'une paroi de forage au moyen d'une sonde descendue dans un forage. Cette sonde comporte un émetteur de chocs constitué par un mini marteau pneumatique et deux capteurs de vibrations.

Les 2 mesures de temps, T1 et T2, seront réalisées entre l'émetteur de chocs et les 2 capteurs distants de l'émetteur. La sonde est déplacée et mise en station à raison de 3 stations par mètre dans les cas les plus courants.

c. **Diagraphie nucléaires Gamma-Gamma (YY) ou neutron-neutron (NN)**

Les diagraphies de cette nature sont toutes basées sur le principe de l'interaction entre une radioactivité incidente et les composants de la formation soumis au bombardement radioactif.

On bombarde la formation par un faisceau de rayons gamma d'énergie constante (0,1 à 1 MeV). Ces photons gammas entrent en collision avec les électrons de la matière. A chaque collision, l'énergie du faisceau incident est atténuée, cette atténuation peut se faire de trois façons :

- effet photoélectrique ;
- effet Compton ;

- effet de production de paire.

Lorsque l'on soumet une formation à un bombardement de neutrons rapides, plusieurs types d'interactions neutrons noyaux peuvent prendre naissance. L'évaluation qualitative de ces phénomènes peut renseigner sur le contenu atomique de la formation.

d. Diagraphie par imagerie de parois

Réalisation d'images depuis la sonde descendue dans le forage.

4.1.2.3. Sondages

Différents moyens de sondages :

- pelle mécanique : échantillons remaniés à faible profondeur (3 à 4m), très rapides, très peu chers.
- sondages tarières : échantillons remaniés à grande profondeur et terrains meubles ou tendres, rapides, peu chers en petit diamètre.
- sondages destructifs : échantillons remaniés à grande profondeur et terrains durs, rapides, peu chers.
- sondages carottés : échantillons non remaniés à toutes profondeurs et toute dureté, lents, chers.
- sondages avec hydrogéologie : essais lefranc (sol) ou lugeons (roche), tubes piézométriques.
- sondages avec essais mécaniques : pressiométriques, pénétrométriques, scissométriques, inclinométriques.

4.2. LA CLASSIFICATION DES SOLS

Un sol est le produit de la décomposition des roches sous l'action d'agents atmosphériques (air, eau). C'est un mélange en proportions variables de particules de toutes dimensions et de matériaux de comportement complexe (Portet, Noël and Nicaise, 2011).

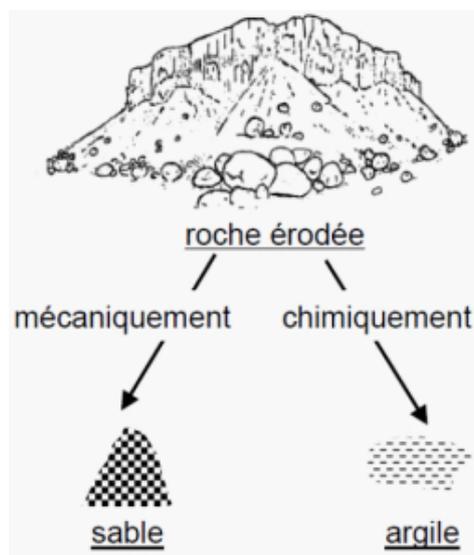


Figure V.1. Sol.

4.2.1. TERMINOLOGIE UTILISÉE EN GÉOTECHNIQUE ROUTIÈRE

- **Sols** : constitués de grains plus ou moins gros facilement dissociables et comprennent moins de 3 % de matière organique .
- **Matériaux rocheux** : matériaux naturels compacts dont le dégagement se fait avec des moyens puissants (explosifs, engins puissants).
- **Sols organiques** : comprennent plus de 3 % de matière organique.
- **Sous produits industriels** : produits de l'activité humaine (cendres volantes, matériaux de démolition et haut-fourneaux...)

4.2.2. CARACTÉRISTIQUES D'UN SOL

Un sol est un mélange de 3 éléments (Portet, Noël and Nicaise, 2011) :

- solide (squelette)
- eau (libre ou non)
- gaz (air)

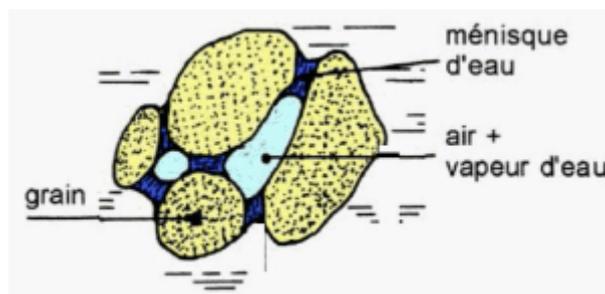


Figure V.2. Constituants d'un sol.

Phase gazeuse : air + gaz de décomposition ou vapeur d'eau. Un sol est saturé lorsque les vides sont remplis.

Phase liquide :

- eau absorbée : constitue un film entre les grains jouant ainsi un rôle de lubrifiant. Ne s'écoule pas, s'élimine par chauffage très intense (>300°).
- eau libre : s'écoule, s'élimine par étuvage vers 100°.

a. Classification des particules solides d'un sol

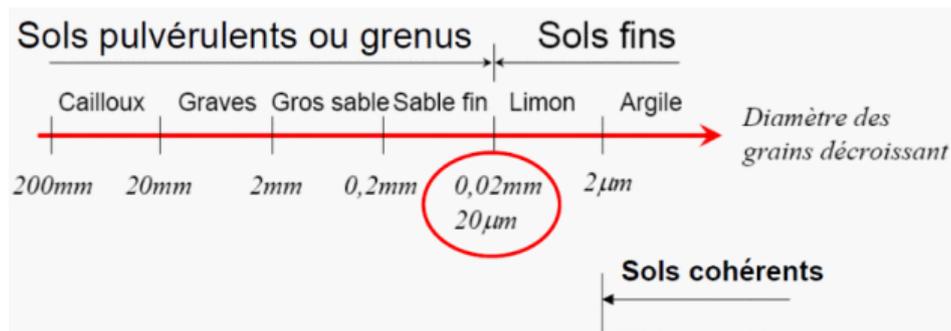


Figure V.3. Classification des particules solides d'un sol.

4.2.3. CLASSIFICATION DES SOLS SELON LA NOMENCLATURE GTR

On distingue 3 familles :

1. les sols fin de :
 - **Classe A** : sols fins
 - **Classe B** : sols sableux et graveleux avec fines
 - **Classe C** : sols comportant des fines et des gros éléments
 - **Classe D** : sols insensibles à l'eau
2. les matériaux rocheux de classe : **R**
3. les sols organiques et sous produits industriels de classe : **F**

4.2.4. IDENTIFICATION DES SOLS

Les paramètres retenus pour l'identification des sols sont :

- les paramètres de nature, dont les caractéristiques sont :
 - granularité
 - argilosité
- les paramètres de comportement mécanique, dont les caractéristiques sont :
 - résistance à la fragmentation
 - résistance à l'usure
 - friabilité
- les paramètres d'état hydrique :
 - état hydrique

Chaque caractéristique sera déterminée à l'aide des essais de laboratoire.

4.2.5. PRINCIPAUX ESSAIS DE LABORATOIRE

4.2.5.1. Paramètres de nature

Essais d'identification pour déterminer les paramètres de nature (granularité et argilosité) :

- Granularité qui permet de déterminer la distribution des tailles de particules :
 - Analyse granulométrique : déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon et représenter la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

- Argilosité qui permet d'identifier la fraction argileuse :
 - Limites d'Atterberg : déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre les différents états (solide, plastique et liquide) qu'on appelle « Limites d'Atterberg » :
 - limite de Liquidité : WL (frontière entre état plastique et liquide)
 - limite de Plasticité : WP (frontière entre état solide et plastique)
 - Essai au bleu : évaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.
 - Equivalent de sable : déterminer, dans un sol, la proportion de sol fin et de sol grenu.

4.2.5.2. Paramètres de comportement mécanique

Essais d'identification pour déterminer les paramètres de comportement mécanique (résistance à la fragmentation, résistance à l'usure et friabilité) :

- Los Angeles (LA) : évaluer la résistance à la fragmentation de la matrice d'une roche.
- Essai Micro Deval en présence d'Eau (MDE) : évaluer la résistance à l'usure par frottement des granulats et leur sensibilité à l'eau.
- Friabilité des sables (FS) : déterminer la résistance à la fragmentation d'un sable.

Sol	Roches
<ul style="list-style-type: none"> • Résistance à la fragmentation <ul style="list-style-type: none"> ○ Los Angeles (LA) • Résistance à l'usure <ul style="list-style-type: none"> ○ Micro Deval en présence d'Eau (MDE) • Friabilité <ul style="list-style-type: none"> ○ Friabilité des Sables (FS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistance à la fragmentation <ul style="list-style-type: none"> ○ Fragmentabilité • Résistance à l'usure <ul style="list-style-type: none"> ○ Dégradabilité • Autres essais utilisés <ul style="list-style-type: none"> ○ Los Angeles (LA) ○ Micro Deval en présence d'Eau (MDE) ○ Friabilité des Sables (FS)

4.2.5.3. Paramètres d'état hydrique

Cinq états considérés :

1. état très sec (ts)
2. état sec (s)
3. état moyen (m)
4. état humide (h)
5. état très humide (th)

Essais pour déterminer les paramètres d'état hydrique :

- Teneur en eau : les paramètres retenus sont la pesée et le séchage (150 °).
- Essai Proctor Normal : appréhender l'aptitude d'un sol à se compacter et définir les objectifs de compactage à atteindre. Pour les sols sensibles à l'eau, il permet également de définir les états hydriques du sol.

- Poinçonnement IPI : évaluer l'aptitude du matériau à supporter la circulation des engins. Pour les sols sensibles à l'eau, il permet également de définir les états hydriques du sol (h et th).

4.3. CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX

4.3.1. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN REMBLAI

a. Principes retenus

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux, des sous-produits industriels sont exprimées, en exigences techniques directement intégrables dans les cahiers des charges des marchés pour obtenir la qualité généralement recherchée pour ces ouvrages. Elles ont été définies dans le double souci :

- d'une part, de viser le juste niveau de qualité technique nécessaire compte tenu des possibilités des matériels d'exécution actuels et des pratiques habituelles,
- d'autre part, de tenir compte des coûts moyens des différentes techniques et méthodes utilisées actuellement dans les pays industrialisés. De ce fait il est possible que certaines conditions d'utilisation non citées puissent être retenues et donner satisfaction dans des contextes technico-économiques différents où ne s'appliquent pas les mêmes règles de délais de construction, de niveau de service ou de coût. En particulier, dans cet esprit, on considère que les matériaux sensibles à l'eau se trouvant dans un état hydrique très humide (th) ou très sec (ts) ne sont pas réutilisables normalement dans les remblais ou les couches de forme.

b. Présentation des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai

Le tableau suivant indique les conditions de mise en œuvre à respecter en fonction de la situation météorologique constatée au moment où le matériau est mis en remblai. Ne sont indiquées que les conditions particulières qui sont considérées comme nécessaires dans chaque cas à l'obtention de la qualité.

Tableau V.1. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai (selon GTR).

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2m)
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination des éléments > 800mm
	2	Elimination des éléments > 250 mm pour traitement
	3	Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Réduction de la teneur en eau par aération
	2	Essorage par mise en dépôt provisoire
	3	Arrosage pour maintien de l'état
	4	Humidification pour changer d'état
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un réactif ou un additif adaptés
	2	Traitement à la chaux seule
R Régilage	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	1	Compactage intense
	2	Compactage moyen
	3	Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Remblai de hauteur faible ($\leq 5m$)
	2	Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$)

Le tableau comporte trois colonnes :

- **Première colonne :** les conditions d'utilisation en remblai présentées dans le tableau se groupent en sept rubriques symbolisées par une lettre.
 1. **E : Extraction :** le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais dans la mesure où l'extraction en couche permet une bonne fragmentation et un tri relatif des différentes couches de matériaux. Et que l'extraction frontale se caractérise par des effets exactement opposés. Elle offre en plus la possibilité dans les formations stratifiées, de sélectionner le niveau présentant la meilleure portance pour le réserver à la circulation des engins de transport.
 2. **G : Action sur la granularité :** dans cette rubrique sont envisagées différentes actions visant à modifier la granularité du matériau entre son extraction et la fin de sa mise en remblai. Les moyens utilisables pour agir sur la granularité sont variés : pétardage, concassage, utilisation d'engins spéciaux tels que rouleaux à pieds "dameurs", chenillage avec de gros boteurs, fragmentation à l'aide de marteaux ou burins hydrauliques, etc.

3. **W : action sur la teneur en eau :** il s'agit des différentes mesures pouvant être prescrites pour modifier l'état hydrique des matériaux et notamment l'aération par conditions météorologiques favorables ou l'humidification.
 4. **T : Traitement :** cette rubrique concerne les actions de traitement des matériaux avec de la chaux ou d'autres réactifs (ciments, cendres volantes, laitiers ou autres sous-produits industriels éventuellement). Avec des sols fins moyennement ou très argileux, le traitement à la chaux occupe une place privilégiée au point qu'il soit justifié dans de nombreux cas de le recommander exclusivement.
 5. **R : Régalage :** sous cette rubrique est donnée une indication sur l'épaisseur des couches élémentaires à mettre en œuvre. Il ne s'agit que d'une indication approximative compte tenu des méthodes de régalage utilisées en terrassement.
 6. **C : Compactage :** trois niveaux d'énergie sont distingués : faible, moyen, intense. Comme pour les épaisseurs de régalage il s'agit d'une indication qualitative sur le niveau d'énergie de compactage requis par les différents matériaux. De manière générale, le compactage "faible" doit être appliqué aux matériaux humides pour éviter leur mise en saturation et le compactage intense aux matériaux secs.
 7. **H : Hauteur des remblais :** l'existence de cette rubrique tient au fait que les possibilités d'utilisation des matériaux sont fonction de la hauteur du remblai. Il est donc précisé que certaines conditions de mise en œuvre, qui sont acceptables pour des remblais de faible hauteur, ne doivent pas être employées pour des remblais plus élevés car elles introduiraient des risques excessifs du point de vue du tassement ou de la stabilité. Il est à rappeler qu'il ne s'agit ici que de la stabilité et du tassement propres du corps de remblai. La question du comportement du sol de fondation doit être prise en considération par ailleurs.
- **Seconde colonne :** figurent des codes correspondants aux différentes conditions d'utilisation. L'utilité de ces codes est notamment de permettre une formulation rapide des conditions d'emploi lorsqu'une grande variété de sols doit être prise en compte dans un projet ainsi qu'une détection immédiate des éléments qui différencient deux ou plusieurs solutions.
 - **Troisième colonne :** figurent les conditions d'utilisation en remblai. Comme dans tout système de classification un cas de matériau donné dans un état donné représente en fait une certaine gamme de possibilités comprises entre des limites inférieure et supérieure. Les conditions d'utilisation indiquées visent donc la situation moyenne du milieu de la gamme.

4.3.2. CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN COUCHE DE FORME

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée. La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la « plate-forme support de chaussée ».

a. Matériaux de couche de forme

Pour qu'un matériau puisse être employé en couche de forme il faut qu'il satisfasse aux critères définis ci-après. Certains matériaux pourront être utilisés en l'état, d'autres pourront être rendus aptes à un emploi en couche de forme moyennant une modification de leur nature et/ou de leur état par une technique appropriée décrite dans la sous section suivante. Les critères à prendre en considération concernent :

- **l'insensibilité à l'eau** : le matériau de couche de forme doit avoir des caractéristiques mécaniques indépendantes de son état hydrique, soit à l'état naturel, soit par une modification appropriée (traitement avec de la chaux et/ou des liants hydrauliques, élimination de la fraction 0/d...)
- **la dimension des plus gros éléments** : la dimension des plus gros éléments doit permettre d'assurer un nivellement de la plate-forme dans les tolérances requises, en général + ou - 3 cm, et le cas échéant, un malaxage intime avec les produits de traitement.
- **la résistance sous circulation des engins de chantier** : un matériau de couche de forme, utilisé sans traitement avec un liant hydraulique, doit être suffisamment résistant à la fragmentation et à l'attrition pour ne pas donner lieu, sous l'effet du compactage et du trafic, à la formation d'éléments fins en surface qui le rendraient sensible à l'eau. Cette résistance est appréciée à partir des résultats d'essais mécaniques (Los Angeles, micro-Deval en présence d'eau, friabilité des sables).
- l'insensibilité au gel : l'incidence néfaste du gel s'apprécie sous deux aspects :
 - o la dégradation des roches et des matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques par "gélifraction",
 - o le gonflement au gel des sols par "cryosuccion".

b. Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme

Ces techniques sont répertoriées et codifiées dans le tableau ci-dessous. Ce tableau est à l'image de celui relatif aux conditions d'utilisation des sols en remblai, mais ne comporte pas de rubrique sur les conditions de compactage. Les techniques considérées se rangent en quatre rubriques :

- **Rubrique G : Actions sur la granularité** : un grand nombre de matériaux exigent l'élimination de leur fraction grossière pour être utilisables en couche de forme. Pour ce faire, plusieurs techniques peuvent être envisagées, en particulier l'emploi de cribles mobiles.
- **Rubrique W : Actions sur l'état hydrique** : ces actions concernent surtout les matériaux sur lesquels on doit pratiquer un traitement à la chaux ou aux liants hydrauliques pour les rendre aptes à un emploi en couche de forme. Le respect d'un état hydrique aussi voisin que possible de la teneur en eau à l'optimum Proctor normal du mélange matériau-liant est indispensable pour obtenir les performances mécaniques élevées escomptables. Les actions sur l'état hydrique envisageables sont : un arrosage pour maintenir la teneur en eau

durant le malaxage et le compactage, une humidification de la masse du matériau pour ramener son état hydrique de sec à moyen.

- **Rubrique T : Traitement** : cette rubrique rassemble les actions consistant à mélanger différents produits tels que la chaux (éventuellement sous forme de lait de chaux), des liants hydrauliques (ciment, cendres volantes, laitiers...) ou des correcteurs granulométriques, pour conférer au matériau des performances mécaniques supérieures à celles qu'il possède à l'état naturel, et durables tout au long de la vie de l'ouvrage.
- **Rubrique S : Protection superficielle** : les matériaux granulaires non traités utilisables en couche de forme requièrent souvent une protection de surface pour leur donner une résistance suffisante aux efforts tangentiels créés par les pneumatiques des engins (accélérations, freinages, virages), ou garantir les exigences de nivellement. D'autres objectifs peuvent être encore poursuivis avec cette protection comme la recherche d'un bon accrochage avec la couche de fondation, la réduction des poussières sous le trafic...

Tableau V.2. Techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme (selon GTR).

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol
	3	Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau et de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	5	Fragmentation de la fraction grossière pour l'obtention d'éléments fins
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Arrosage pour maintien de l'état hydrique
	2	Humidification pour changer d'état hydrique
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un liant hydraulique
	2	Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux
	3	Traitement mixte : chaux + liant hydraulique
	4	Traitement à la chaux seule
	5	Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement un correcteur granulométrique
	6	Traitement avec un correcteur granulométrique
S Protection superficielle	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Enduit de cure éventuellement gravillonné
	2	Enduit de cure gravillonné éventuellement clouté
	3	Couche de fin réglage

5. RÉGLEMENTATION ALGÉRIENNE EN GÉOTECHNIQUE

La géotechnique couvre un grand champ qui va de la reconnaissance des sols, au calcul et à l'exécution des ouvrages en passant par les tests de sols en laboratoire ou sur terrain (in situ) (Hazzi and Houcini, 2014).

Les normes algériennes adoptées dans le domaine de la géotechnique sont relatives aux modes opératoires et aux essais de sols couramment réalisés en laboratoire dans le cadre des études géotechnique. Nous pouvons citer :

- Les essais en place : essais pressiométrique, pénétromètre statique ou dynamique, etc.
- Les essais de laboratoire : essais d'identification et de classification.

6. MAÎTRISE DES RISQUES EN GÉOTECHNIQUE

6.1. PRÉOCCUPATION DU CONCEPTEUR

En premier lieu, il est nécessaire de bien définir les objectifs pour satisfaire au mieux les besoins du maître d'ouvrage. Les premières préoccupations du concepteur et du maître d'ouvrage seront : la pérennité de l'ouvrage, le rapport qualité/prix, le respect de l'environnement.

C'est aussi dans le domaine des terrassements que les prévisions sont le moins bien respectées (on est beaucoup plus tributaire des conditions météorologiques...) et que l'on trouve le plus grand nombre de paramètres à prendre en compte (géométrie de l'ouvrage, formations géologiques, nature et états des sols, météorologie, hydrologie, matériels...).

6.2. PATHOLOGIES POSSIBLES

On peut rencontrer :

- des affaissements de terrain ;
- des affaissements de chaussée ;
- des problèmes de terrassements en cas de venues d'eau ;
- des compactages insuffisants des bords de talus ;
- des instabilités dues à la présence de nappes.

6.3. LIMITER L'ALÉA GÉOTECHNIQUE

Il existe des aléas géotechnique qu'il convient de maîtriser par :

- des reconnaissances géotechniques poussées ;
- des études qui prennent en compte l'analyse du risque géotechnique ;
- le respect des conditions de mise en place des matériaux ;
- des contrôles qualité adaptés tout au long des travaux jusqu'à la réception de la plateforme sur chantier.

60 à 80% des dépassements des coûts des travaux proviennent d'aléas géotechniques.

La connaissance du site d'un projet ne peut jamais être exhaustive et comporte toujours une part d'incertitude. Aussi il convient d'en analyser les impacts et les coûts aux différents stades des études.

Principes :

- lister les conditions nécessaires pour répondre point par point aux objectifs des études ;
- décrire pour chaque point les incertitudes correspondantes :
- quantifier chaque incertitude (probabilité d'occurrence et loi de distribution) ;
- quantifier les impacts (coût maximal) ;
- cumuler les risques de façon statistique.

7. CONCLUSION

Tous les acteurs d'un projet sont concernés par les études géotechniques, d'où leur importance. Les entreprises qui réalisent les ouvrages sont directement confrontées aux conditions géotechniques réelles du site et doivent obligatoirement s'y adapter.

Le maître d'ouvrage par exemple, instigateur et destinataire final du projet, se doit de connaître le site sur lequel doit s'implanter l'ouvrage afin d'en maîtriser les conditions de construction et d'exploitation. Le maître d'œuvre, chargé de la réalisation du projet, doit en identifier les risques et prendre les dispositions appropriées pour les maîtriser. Quant aux bureaux d'études techniques chargés de finaliser les projets, ils doivent en maîtriser l'interface avec les terrains d'assise (dimensionnements et maîtrise des coûts / aléas). Les contrôleurs techniques, doivent s'assurer que les choix techniques mis en œuvre permettent de garantir la pérennité de l'ouvrage, notamment vis à vis de l'adaptation au site, et la sécurité des travaux.

CHAPITRE VI – DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

1. INTRODUCTION

Le terme dimensionnement des chaussées désigne l'épaisseur à donner aux différentes couches qui la constitue. Ces épaisseurs doivent être calculées d'une façon optimale pour assurer une durée de vie convenable, et non surabondante pour éviter les dépenses superflues.

La chaussée doit permettre la circulation des véhicules dans les conditions de confort et de sécurité voulue d'une part et résister aux agressions causées par les divers phénomènes qu'une route peut subir à travers son temps de service à savoir : les variations de températures et le phénomène de fatigue.

Le calcul et la justification des épaisseurs des différentes couches de la structure de chaussée retenue, sont fixés en fonction de : l'environnement de la route, le trafic, la nature du sol support, les matériaux choisis et la durée de vie de la chaussée

2. CONSTITUTION DE LA CHAUSSÉE

Les éléments qui constituent une chaussée sont dimensionnés pour assurer la transmission des charges roulantes de la surface à la couche d'assise afin de préserver toute la structure en assurant la sécurité des usagers et garantir la fluidité de la circulation à court et long terme, il faut que la surface de roulement ne se déforme pas sous l'effet :

- de la charge des véhicules ;
- des chocs ;
- des intempéries ;
- des efforts tangentiels dus à l'accélération, au freinage et au dérapage.

3. DÉFINITION DE LA CHAUSSÉE

Au sens géométrique du terme, la chaussée désigne la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. Au sens structurel, se sont l'ensemble des couches de matériaux superposées, qui permettent la reprise des charges.

Cette structure a pour rôle d'encaisser les charges horizontales et verticales et les transmettre au sol support.

4. STRUCTURE DE CHAUSSÉE

En général, quelque soit le trafic supporté, une route se présente sous la forme d'une structure multicouche où chaque couche possède sa fonction particulière. On peut distinguer cette structure en trois niveaux distincts : la couche de surface, la couche d'assise et le sol support.

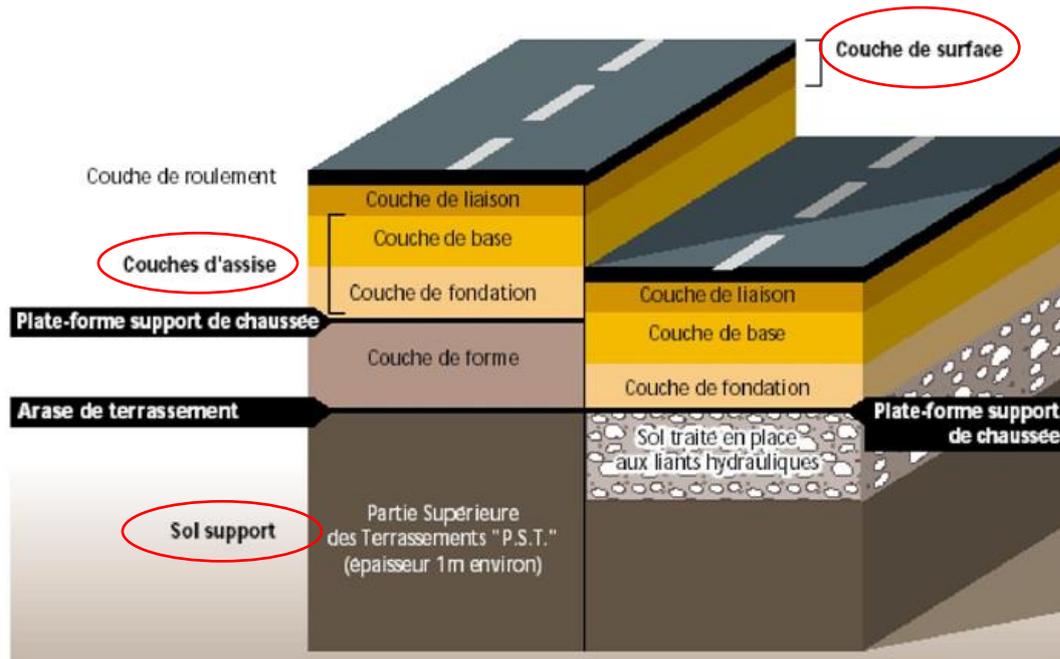


Figure VI.1. Constitution des structures de chaussée.

5. CATÉGORIES DE CHAUSSÉES

La chaussée est constituée d'une structure multicouche et peut être de type souple, rigide ou semi-rigide, composée de matériaux granulaire traité ou non traité, avec des liants hydrocarbonés ou en ciment.

On distingue :

- Les chaussées classiques (souples, semi rigides et rigides).
- Les chaussées inverses.

5.1. CHAUSSÉE SOUPLE

La chaussée souple est constituée de deux éléments constructifs :

- Les sols et matériaux pierreux à 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 des couches suivantes :

a. COUCHE DE ROULEMENT (DE SURFACE OU ENCORE D'USURE)

La couche de surface subit directement les agressions du trafic et du climat, elle a pour rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoqué par la circulation. Elle est en général composée de :

- 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 usagés.

b. COUCHE DE LIAISON

Cette couche est primordial en cas de trafic important elle est interposée entre la couche de roulement et la couche de base elle a pour rôle la reprise des efforts superficiels (horizontaux) et donc : assurer une transition, avec les couches inférieures les plus rigides.

En général, l'épaisseur de la couche de roulement représente une couverture bitumineuse relativement mince. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm.

c. COUCHE DE BASE

Pour résister aux déformations permanentes sous l'effet du trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes. L'épaisseur de la couche de base varie entre 10 et 25 cm.

d. COUCHE DE FONDATION

En plus d'assurer le même rôle que celui de la couche de base, la couche de fondation assure un bon uni et bonne portance de la chaussée finie. L'épaisseur de la couche de fondation varie entre 20 et 50 cm).

e. COUCHE DE FORME

A court terme, la couche de forme doit assurer la traficabilité quasi tout le temps des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation, permettre le compactage efficace de la couche de fondation, satisfaire les exigences de nivellement de la plate-forme support de chaussée et assurer la protection de l'arase de terrassement vis-à-vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée.

A long terme, elle doit permettre d'homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante, de maintenir dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade du dimensionnement de la structure de chaussée et d'améliorer la portance de la plateforme pour optimiser le coût de l'ensemble « couche de forme - structure de chaussée ».

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

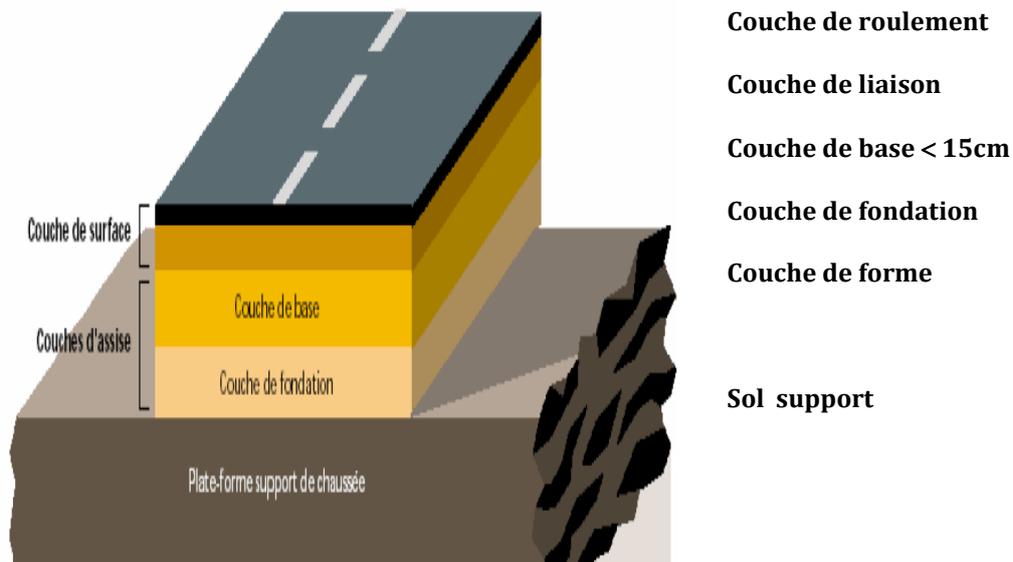


Figure VI.2. Chaussées souples.

5.2. CHAUSSÉE SEMI – RIGIDE

On distingue :

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

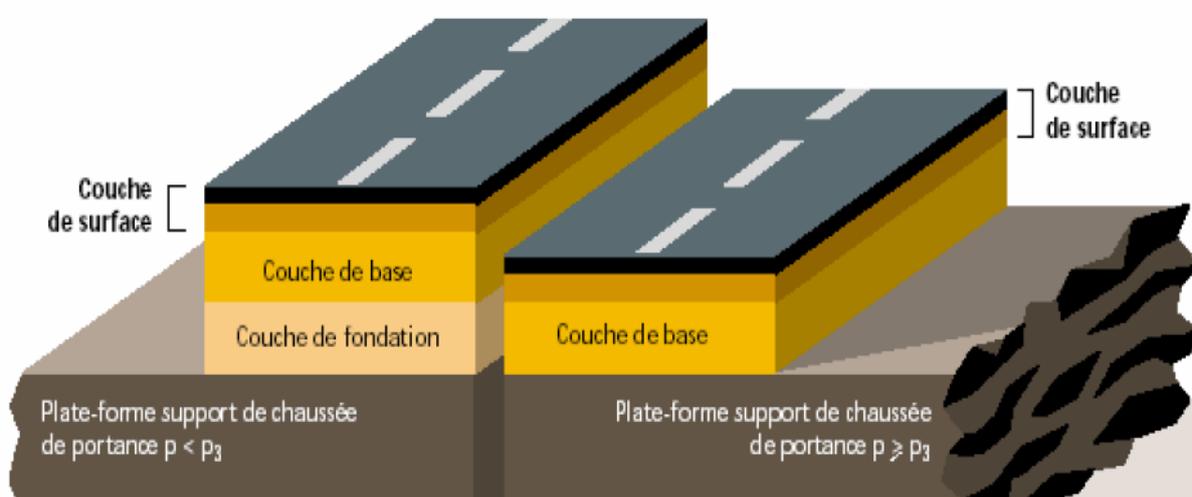


Figure VI.3. Chaussée semi-rigide.

5.3. CHAUSSÉE RIGIDE

Ces structures comportent une couche de béton de ciment (BC) de 15 à 40 cm d'épaisseur qui sert de couche de roulement éventuellement recouverte d'une couche mince en matériaux bitumineux. Généralement, elle repose sur une couche de fondation en matériau non traité et éventuellement sur une sous-couche entre la couche de fondation et le terrain naturel.

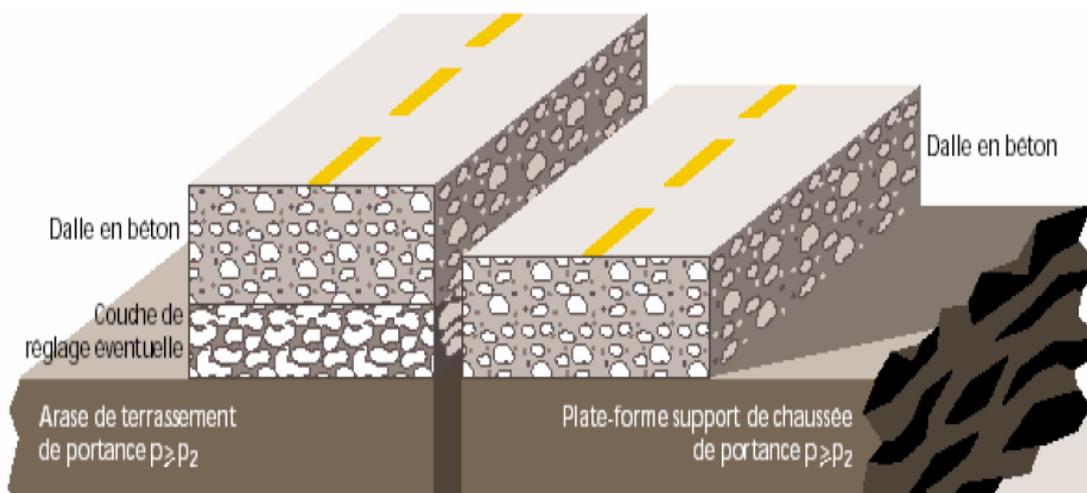


Figure VI.4. Chaussée rigide.

5.4. LES CHAUSSÉES BITUMINEUSES ÉPAISSES

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base et fondation). L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm.



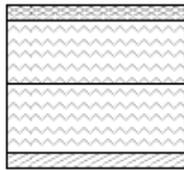
Chaussées bitumineuses épaisses:

1. Couche de surface de matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d'assise (de 15 à 40 cm)
3. Plate-forme support

Figure VI.5. Chaussées bitumineuses épaisses.

5.5. LES CHAUSSÉES À ASSISE TRAITÉE AUX LIANTS HYDRAULIQUES

Ces structures sont qualifiées couramment de « **semi-rigides** ». Elles comportent une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) disposés en une ou deux couches (base et fondation) dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm.



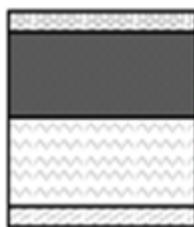
Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques:

1. Couche de surface de matériaux bitumineux (6 à 14 cm)
2. Matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 50 cm)
3. Plate-forme support

Figure VI.6. Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.

5.6. LES CHAUSSÉES À STRUCTURE MIXTE

Ces structures comportent une couche de roulement et une couche de base en matériaux bitumineux (épaisseur de la base : 10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm).

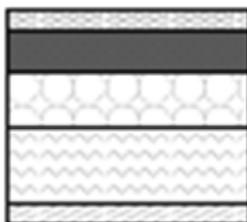


1. Couche de surface de matériaux bitumineux.
2. Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20 cm).
3. Matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm).
4. Plate-forme support.

Figure VI.7. Chaussées à structure mixte.

5.7. LES CHAUSSÉES À STRUCTURE INVERSE

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur totale, sur une couche de grave non traitée (environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm.



1. Couche de surface de matériaux bitumineux.
2. Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20 cm).
3. Matériaux granulaires non traités (~ 12 cm).
4. Matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm).
5. Plate-forme support.

Figure VI.8. Chaussées à structure inverse.

6. FACTEURS POUR LES ÉTUDES DE DIMENSIONNEMENT

Toutes les méthodes de dimensionnement sont basées sur la connaissance de certains paramètres fondamentaux liés au :

6.1. TRAFIC

Le trafic, des poids lourds, est l'un des paramètres prépondérants dans la conception des structures. Il intervient d'abord dans le choix des matériaux puis dans le dimensionnement proprement dit de façon plus détaillée. Le trafic gouverne les choix suivants :

- Choix d'un niveau de service qui se traduira notamment par le choix de la couche de surface.
- Choix de l'épaisseur des structures qui implique la fixation d'un niveau de risque.

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

- Le trafic des poids lourds « T » à la mise en service, résultat d'une étude de trafic et de comptages sur les voies existantes ;
- Le trafic cumulé sur la période considérée qui est donnée par :

$$N = T . A . C$$

Avec

N : trafic cumulé.

A : facteur d'agressivité globale du trafic.

C : facteur de cumul :

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

τ : Taux de croissance du trafic.

p : nombre d'années de service (durée de vie) de la chaussée.

6.2. ENVIRONNEMENT

L'environnement extérieur de la chaussée est l'un des paramètres d'importance essentielle dans le dimensionnement. La teneur en eau des sols détermine leurs propriétés ; la température a une influence marquée sur les propriétés des matériaux bitumineux et conditionne la fissuration des matériaux traités par des liants hydrauliques.

6.3. LE SOL SUPPORT

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

Les plates-formes sont définies à partir :

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

7. MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSÉE

Pour la détermination de l'épaisseur du corps de chaussée, il faut commencer par l'étude de sol. Les formules utilisées sont empiriques et/ou rationnelles, et basées sur :

- La détermination de l'indice portant du sol.
- L'appréciation du trafic composite.
- L'utilisation d'abaques ou formules pour déterminer l'épaisseur de chaussée.

On distingue deux méthodes : les méthodes empiriques et semi empiriques. Ces méthodes s'appuient sur trois paramètres :

- La force portante : obtenue par les différents essais géotechniques.
- Le trafic : charge par voie, pression de gonflage et répétition des charges.
- Caractéristiques mécaniques des différents matériaux constituant les couches.

On peut citer :

7.1. MÉTHODE C.B.R (CALIFORNIA – BEARING – RATIO)

C'est une méthode (semi empirique), elle se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol support contenu dans des éprouvettes compacté à une teneur en eau optimal obtenue a partir des essais de compactages PROCTOR. les abaques qui donnent l'épaisseur «e» des chaussées en fonction des pneus et du nombre de répétitions des charges, tout en tenant compte de l'influence du trafic.

L'épaisseur de la chaussée, obtenue par la formule CBR améliorée, correspond à un matériau bien défini (grave propre bien gradué). Pour ce matériau, le coefficient d'équivalence est égal à 1.

Et pour les qualités différentes, il faudra utiliser le coefficient (e_i), tel que :

$$e = \sum a_i e_i$$

Avec a_i : coefficient d'équivalence de chacun de matériau à utiliser.

Tableau VI.1. Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Bétonbitumineux – enrobé dense	2.00
Grave bitumen	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 .	0.75
Sable	0.50
Grave bitumen	1.60 à 1.70
Tuf	0.60

7.2. MÉTHODE A.A.S.H.O

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

Chaque section reçoit l'application d'environ un million de charges roulantes qui permet de préciser différents facteurs :

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

7.3. MÉTHODE DE ASPHALT INSTITUTE

Basée sur les résultats obtenus des essais A.A.S.H.O, on prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et on utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalt institute.

7.4. MÉTHODE DU CATALOGUE DES STRUCTURES

Le catalogue des structures type neuf est établi par «SETRA »

- Il distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB).
- Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 Véh/J.
- Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation.
- Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données : le trafic cumulé de poids lourds à la 20^{ème} année Tj et les caractéristiques de sol (Sj).

Tableau VI.2. Détermination de la classe de trafic.

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumule sur 15 ans
T ₁	$T < 7.3 \cdot 10^5$
T ₂	$7.3 \cdot 10^5 < T < 2 \cdot 10^6$
T ₃	$2 \cdot 10^6 < T < 7.3 \cdot 10^6$
T ₄	$7.3 \cdot 10^6 < T < 4 \cdot 10^7$
T ₅	$T > 4 \cdot 10^7$

Le trafic cumulé est donné par la formule suivante :

$$T_c = T_{pl} \left[1 + \frac{(1+\tau)^{n+1}}{\tau} \right] \cdot 365$$

Avec

T_{pl} : trafic poids lourds à l'année de mise en service.

τ : taux d'accroissement annuel.

Tableau VI.3. Détermination de la classe du sol.

Classe de sol	Indice C.B.R
S1	25-40
S2	10-25
S3	05-10
S4	<05

7.5. LA MÉTHODE L.C.P.C (LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES)

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression :

$$Teq = [TJMA \cdot a [(1+\tau)^n - 1] \cdot 0.75 \cdot P \cdot 365] / [(1+\tau) - 1]$$

Avec

Teq : trafic équivalent par essieu de 13t.

TJMA : trafic à la mise en service de la route.

a : coefficient qui dépend du nombre de voies.

τ : taux d'accroissement annuel.

n : durée de vie de la route.

p : pourcentage de poids lourds.

Une fois la valeur du trafic équivalent déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente e (en fonction de Teq , I_{CBR}) à partir de l'abaque L.C.P.C.

L'abaque L.C.P.C est découpé en un certain nombre de zones pour lesquelles il est recommandé en fonction de la nature et la qualité de la couche de base.

7.6. MÉTHODE DU CATALOGUE DES STRUCTURES ALGÉRIEN

Cette méthode découle du règlement algérien en B60 – B61, et elle consiste à déterminer la classe du trafic des poids lourds à la 20^{ème} année et de la classification du sol support. Une grille combinant ces deux paramètres permet au projecteur de trouver le type de chaussée qu'il devire suivant la disponibilité des matériaux aux environs.

7.7. 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.

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

La méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelle qui se base sur deux approches : une approche théorique et une approche empirique.

La démarche catalogue :

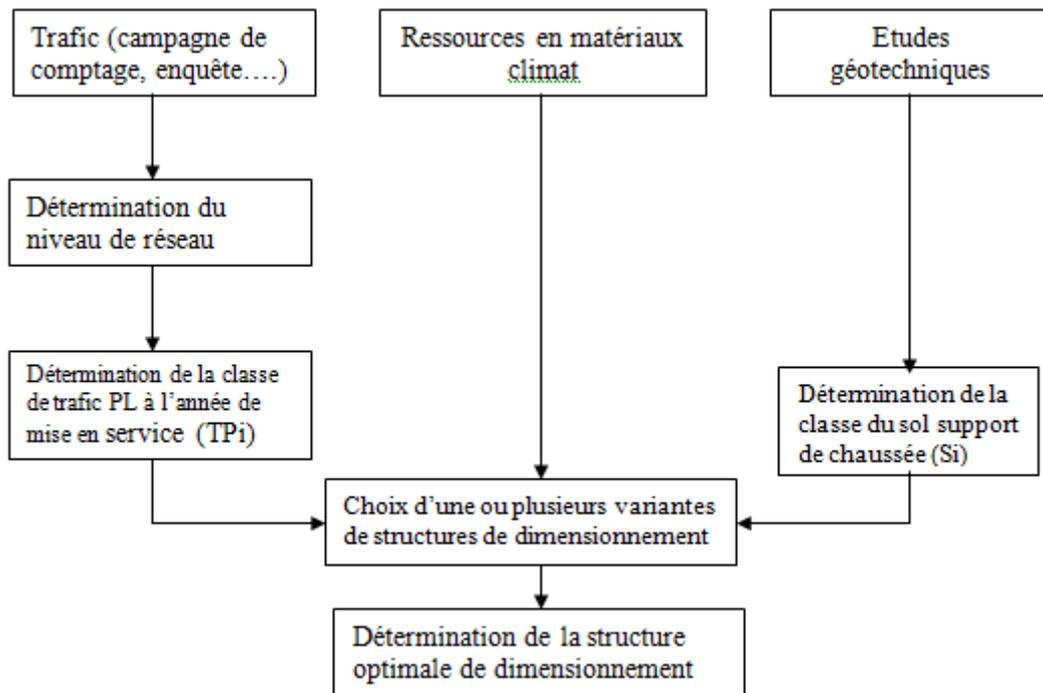


Figure VI. 9. Organigramme de la démarche catalogue.

8. APPLICATION AU PROJET

Pour le dimensionnement du corps de chaussée on utilise les méthodes:

- La méthode dite CBR.
- La méthode de catalogue des structures SETRA.

8.1. MÉTHODE « CBR »

On a : $I_{CBR} = 6.00$. Ce sol appartient donc à la classe de sol (**S3**), selon le tableau n° 3

Pour passer à un sol d'une bonne portance on ajoute une couche de forme de **40cm** de matériaux non traité.

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

Avec

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

Log : logarithme décimal.

N : désigne le nombre moyen de camion de plus 1500 kg à vide.

$$N = T_{2035} \times \%PI$$

Avec %PL = 30%, **T** = 3%, $I_{CBR} = 6$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_H = \frac{T_0}{2} (1+0.03)^m = \frac{5835}{2} (1+0.03)^{20} \rightarrow T_H = 5270 \text{V/J/sens} \\ N = 5270 \times 0.30 \Rightarrow N = 1581 \text{pl/j/sens} \\ e = \frac{100 + (\sqrt{6})(75 + 50 \log \frac{1581}{10})}{6+5} = 50,28 \text{cm} \end{array} \right.$$

Donc : **E_{éq} = 51 cm**

On a : $E_{éq} = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$. Pour déterminer la structure définitive, on fixe les épaisseurs e_1, e_2 afin de calculer l'épaisseur e_3 .

$$\left\{ \begin{array}{ll} e_1 : 8 \text{ cm en béton bitumineux (B.B)} & c_1 : 2 \\ e_2 : 15 \text{ cm en grave bitume (G.B)} & c_2 : 1,2 \\ e_3 : \text{épaisseur en grave concassé (G.C).} & c_3 : 1 \end{array} \right.$$

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

$$\left\{ \begin{array}{l} e_3 = \frac{E_{éq} - (c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2)}{c_3} \\ e_3 = \frac{50 - (8 \times 2 + 15 \times 1,2)}{1} = 16 \end{array} \right.$$

Donc : $e_3 = 20 \text{ cm}$

Tableau VI.4. Récapitulatif des résultats.

Couches	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence (ci)	Epaisseur équivalente (cm)
BB	8	2	16
GB	15	1.2	18
GC	20	1	21
TOTAL	43		54

Notre structure comporte : **8BB + 15GB + 20GC**

- **8cm du BB** (couche de roulement).
- **15 cm GB** (couche de base).
- **20cm GC** (Grave concassé).

8.2. MÉTHODE DE CATALOGUE DES STRUCTURES «SETRA»

Le calcul du trafic poids lourds à l'année de mise en service:

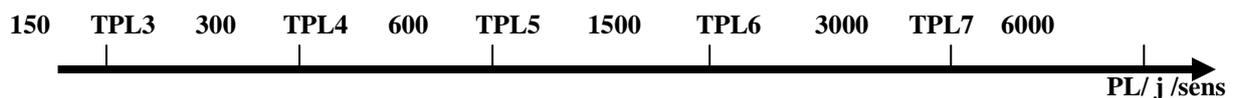
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{TJMA}_{2015}=5835 \text{ v/j} \Rightarrow \text{T}_{\text{PL}2015}=5835 \times 0.30 / 2 = \mathbf{876 \text{ PL/J/sens.}} \\ \text{T}_{\text{PL}2035} = 876 \times (1 + 0.03)^{20} = \mathbf{1583 \text{ PL/j/sens.}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{T}_c = \text{T}_{\text{PL}} \left[1 + \frac{(1 + \tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right] 365 \Rightarrow \text{T}_c = 1583 \left[1 + \frac{(1 + 0.03)^{20+1} - 1}{0.03} \right] 365 \\ \text{T}_c = \mathbf{1\ 828\ 266 \text{ PL/J/sens.}} \end{array} \right.$$

Selon les Tableau 2 notre trafic est classé en T2, et selon les Tableau 3 notre sol est classé en S3. Par conséquent d'après le règlement B60 « SETRA » on obtient la structure suivante:

$$\text{TJMA}_{2015}=5835 \text{ v/j} \Rightarrow \text{T}_{\text{PL}} = \frac{5835 \times 0.30}{2} = 876 \text{ PL/J/sens.}$$

Classe TPLi pour RP1



Pour RP1 : $600 < 876 < 1500 \Rightarrow \text{TPL5}$.

D'après le classement donné par le catalogue des structures, notre trafic est classé en TPL 5.

8.2.1. CLASSE DE SOL SUPPORT :

$$E = 5 \times \text{CBR} = 5 \times 6 = 30 \text{ MPA}$$

Selon les Tableau 3 notre sol est classé en **S3**.

8.2.2. LA ZONE CLIMATIQUE :

Notre projet se caractérise par une zone climatique de type II selon la carte climatique de l'Algérie. Par conséquent, d'après les fiches de structures pour le RP1 on obtient la structure suivante :

6BB + 20GB + 30GC + 40TUF (en deux couches)
--

9. CONCLUSION

L'objectif essentiel des structures des routes est la réalisation des chaussées résistantes et que la répétition des passages des véhicules ne puisse l'endommager trop rapidement. C'est pourquoi l'évolution de la chaussée a toujours été étroitement liée à celle du moyen de transport routier.

La qualité de la construction des chaussées joue à ce titre un rôle primordial. Celle-ci passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, lui permettant de résister aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation. Il est ensuite indispensable que la mise en œuvre de ces matériaux soit réalisée conformément aux exigences arrêtées.

CHAPITRE VII – ASSAINISSEMENT

1. INTRODUCTION

L'assainissement des voies de circulation comprend l'ensemble des dispositifs à prévoir et à réaliser pour récolter et évacuer toutes les eaux superficielles et les eaux souterraines. C'est-à-dire :

- L'assèchement de la surface de circulation par des pentes transversale et longitudinale, des fossés, des caniveaux, des curettes, des rigoles, des gondoles, etc.
- Les drainages : ouvrages enterrés récoltant et évacuant les eaux souterraines (tranchées drainant et canalisations drainant).
- Les canalisations : ensemble des ouvrages destinés à l'écoulement des eaux superficielles (conduites, chambre, cheminées, sacs, ...).

2. OBJECTIFS DE L'ASSAINISSEMENT

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning).
- Le maintien de bonnes conditions de viabilité.
- Réduction du coût d'entretien.
- Eviter les problèmes d'érosions.
- Assurer l'évacuation des eaux d'infiltration à travers de corps de la chaussée (danger de ramollissement du terrain sous-jacent et effet de gel).
- Evacuation des eaux s'infiltrant dans le terrain en amont de la plate-forme (danger de diminution de l'importance de celle-ci et l'effet de gel).

3. TYPES DE DÉGRADATIONS

Les ruissellements des eaux en surface de la route engendre de graves dégâts a cause de mauvais drainages et entretiens. Ces dégradations se présentent sous forme de :

- Pour les chaussées :
 - o Nid de poule (dégel, forte proportion d'eau dans la chaussée avec un important trafic).

- Affaissement (présence d'eau dans le corps de chaussées).
- Décollement des bords (affouillement des flancs).
- Désenrobage.
- Pour le talus :
 - Affouillements du pied de talus.
 - Glissement.
 - Érosion.

4. TYPES DE CANALISATIONS

L'évacuation des eaux hors ouvrage s'effectue par le biais de dispositifs adéquats appelés « canalisations ». Son réseau est partagé en deux catégories :

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

5. DIMENSIONNEMENT DE RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT

Le réseau d'assainissement doit collecter les eaux de ruissellement provenant des bassins versants routiers et des talus pour les évacuer vers la mer. Son architecture se développe principalement tout le long de l'infrastructure suivant une logique hydraulique gravitaire (entre un point haut et un point bas) par assemblage d'ouvrages élémentaires (linéaires ou ponctuels, enterrés ou superficiels).

5.1. CHOIX DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT

Il n'existe a priori aucune solution toute faite et reproductible à tous les projets routiers. Toutefois, le choix d'un ouvrage d'assainissement doit principalement reposer sur les critères suivant :

- Sa capacité hydraulique ;
- Son insertion dans le profil en long et le profil en travers du projet routier, donc sa géométrie qui prend en compte l'aspect sécurité de l'utilisateur également ;
- Son niveau de protection au regard de la vulnérabilité des eaux ;
- Sa facilité d'entretien et d'exploitation des ouvrages.

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

$$Q_a = Q_s$$

5.2. LE DÉBIT D'APPORT

Le débit d'apport est évalué à l'aide de la formule rationnelle suivante :

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

Avec

Qa : débit d'apport en provenance du bassin versant (m³/s).

K : coefficients de rugosité K= 0.2778

C : coefficient de ruissellement sans dimension.

A : l'aire du bassin versant (ha ou Km²).

It : l'intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).

Remarque : d'après SETRA, la formule - $Qa = K \times C \times I_t \times A$ - est empirique. Elle a été faite pour les unités suivantes :

- **Qa** en (m³/s) valable pour : **It** en (mm/h) ; **A** en (km²) ; **K= 0.2778**
- **Qa** en (L/s) valable pour : **It** en (mm/h) ; **A** en (ha) ; **K= 2.778**

5.2.1. COEFFICIENT DE RUISSellement « C »

Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisées par rapport à la surface drainée. Sa valeur est obtenue en tenant compte des paramètres suivants : la pente et la couverture végétale du bassin versant, l'intensité de pluie et la perméabilité du terrain.

C'est le rapport du volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau reçu sur elle. Il peut être choisi suivant le tableau ci-après :

Tableau VII.1. Coefficient de ruissellement « C ».

Type de chaussée	Coefficient « C »	Valeurs prise
Chaussée revêtue en enrobé	0.8 à 0.95	0.95
Accotement (sol légèrement perméable)	0.15 à 0.40	0.35
Talus, sol perméable	0.10 à 0.30	0.25
Terrain naturel	0.05 à 0.20	0.20

5.2.2. L'INTENSITÉ DE LA PLUIE I_t

$$I_t = i \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^\beta$$

Avec

$\beta = b - 1$ avec: $b = 0.36$

i : intensité horaire (mm/h).

t_c : temps de concentration (heure)

L'intensité horaire i

$$i = \left(\frac{Pj(\%) }{t} \right)$$

Avec

$$t = 24\text{h}$$

Temps de concentration t_c

La durée t de l'avers qui produit le débit maximum Q prise égale au temps de concentration. Dépendant des caractéristiques du bassin drainé, le temps de concentration est estimé respectivement d'après VENTURA, PASSINI, GIADOTTI, comme suit :

- Si $A < 5 \text{ km}^2$, selon VENTURA :

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

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

$$t_c = 0,108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{P}}$$

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

$$t_c = \frac{(4 \times \sqrt{A}) + (1,5 \times L)}{(0,8 \sqrt{H})}$$

Avec

A : aire du bassin versant (km^2).

P : Pente moyenne du bassin versant (m/m).

L : Longueur de bassin versant (km).

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

La pluie de fréquence pour le calcul du dimensionnement des ouvrages hydrauliques correspond à une durée de pluie 15 minute = 0.25 heures ($t_c = 0.25 \text{ h}$).

5.3. PLUIE JOURNALIÈRE MAXIMAL ANNUELLE PJ

Pj est donné par la formule de GALTON :

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

Avec

P_{j moy} : pluie journalière moyenne (mm).

C_v : Coefficient de variation climatique.

ln : Log Népérien.

μ : Variable de Gauss. (Fonction de la période de retour) dont les valeurs sont données par le tableau suivant :

Tableau VII.2. Variable de Gauss.

Fréquence au dépassement (%)	50	20	10	5	2	1
Période de retour (années)	2	5	10	20	50	100
Variable de GAUSS (μ)	0	0.84	1.28	1.64	2.05	2.3

Remarque :

- Les buses seront dimensionnées pour une période de retour 10 ans.
- Les dalots seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans.
- Les ponts dimensionnées pour une période de retour 100 ans.

5.4. LE DÉBIT DE SATURATION

Le débit de saturation ou le débit capable est calculé par le biais de la formule de MANNING STRICKLER sur un écoulement en régime uniforme.

$$Q_s = S_m \times K_{st} \times R_h^{2/3} \times \sqrt{J}$$

Avec

Q_s : Le débit de saturation.

S_m : Surface mouillée (m²).

J : pente moyenne de l'ouvrage.

R_h : Rayon hydraulique (m) / **R_h** = $\frac{S_m}{P_m}$

st : Section totale de l'ouvrage.

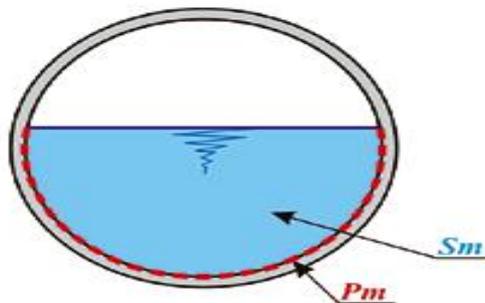
K_{st} : coefficient de rugosité.

Avec

$$S_m = \frac{\pi R^2}{2}, \quad P_m = \pi R \Rightarrow R_h = \frac{R}{2}$$

Tableau VII.3. Coefficient de rugosité K_{st} .

Matériaux constituant la buse	Coefficient de rugosité K_{st}
En terre	30
En metal	40
En maçonnerie	50
En béton ordinaire (dalots)	70
En béton préfabriqué (buses)	80

**Figure VII.1.** Section transversale d'un ouvrage d'assainissement qui représente S_m et P_m .

6. DIMENSIONNEMENT DES BUSES

Le dimensionnement d'une buse résulte de la comparaison entre le débit d'apport et le débit de saturation de cette buse, c'est-à-dire qu'il faut que $Q_a = Q_s$.

Donc le principe consiste à chercher le rayon de la buse qui vérifie cette condition.

$$Q_s = S_m \times K_{st} \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} ; Q_a = K \times C \times I_t \times A$$

Avec

$K_{st} = 80$ (béton préfabriqué)

J : la pente de pose (2.5%).

$$\begin{cases} Q_s = \frac{\pi \times R^2}{2} \times K_{st} \times \left(\frac{R}{2}\right)^{2/3} \times \sqrt{J} \\ Q_s = Q_a \rightarrow R = \left[\frac{Q_a \times 2\sqrt{2}}{\pi \times K_{st} \times \sqrt{J}} \right]^{3/8} \end{cases}$$

Une fois le rayon R déterminé, on prend le diamètre de la buse $\varnothing = 2R$, ce diamètre est normalisé commercialement tel que : $\varnothing 300$, $\varnothing 400$, $\varnothing 500$, $\varnothing 800$, $\varnothing 1000$... etc.

Pour le dimensionnement des buses on prend un temps de concentration égale à 15min. Alors $t_c = 0.25h$, et une période de retour de 10 ans.

Tableau VII.4. Intensité-Durée-Fréquence.

Période	15 min	30 min	1H	2H	3H	6H	12H	24H
5ans	38.29	27.2	19.33	13.73	11.24	7.986	5.674	4.031
10ans	54.81	31.83	22.62	16.07	13.16	9.346	6.64	4.717
50ans	61.06	36.28	25.77	18.31	14.99	10.65	7.566	5.375
100ans	75.22	46.33	32.92	23.39	19.15	13.6	9.664	6.866

D'après les données précédentes et le tableau « Intensité-Durée-Fréquence ». On a obtenu une intensité $I_t = 54.81 \text{ mm/h}$.

7. DIMENSIONNEMENT DES FOSSES

Pour l'évacuation des eaux de ruissellement venant de la chaussée, de l'accotement et des talus, nous prévoyons des fossés en forme de V de 50 cm d'ouverture et 50 cm de profondeur. Les fossés doivent être en béton légèrement armé en treillis soudé afin d'éviter d'éventuels érosions.

Le profil en travers hypothétique de fossé est donné par la figure ci-dessous :

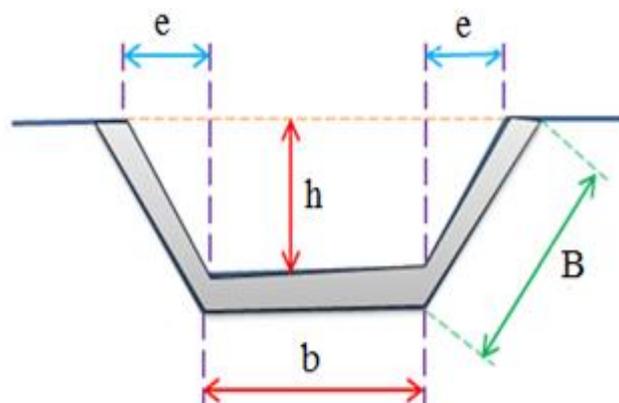


Figure VII.2. Fossé.

7.1. CALCUL DE LA SURFACE MOUILLÉE

$$\begin{cases} S_m = (b \times h) + 2 \times \left(\frac{e \times h}{2} \right) \\ \tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \end{cases}$$

D'où: $e = n \times h$

$$\begin{cases} S_m = (b \times h) + (n \times h^2) = h \times [b + (n \times h)] \\ S_m = h \times [b + (n \times h)] \end{cases}$$

7.2. CALCUL DU PÉRIMÈTRE MOUILLE

$$P_m = b + 2B$$

Avec

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

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

7.3. CALCUL LE RAYON HYDRAULIQUE

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

Pour le dimensionnement, le calcul se fera par itération. On fixe le paramètre n et on fait varier b et h . On calcul à chaque fois le débit de saturation qui doit être supérieur ou égal au débit d'apport : $Q_s \geq Q_a$

$$\begin{cases} Q_s \geq Q_a \Rightarrow K_{ST} \times S_m \times R_h^{2/3} \times J^{1/2} \geq K \times C \times I_t \times A \\ Q_s = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2 h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2} \end{cases}$$

8. APPLICATION AU PROJET

Les données pluviométriques nécessaires pour le calcul :

- Pluie moyenne journalière $P_j = 55\text{mm}$.
- Exposant climatique $b = 0.36$.
- Le coefficient de variation climatique $C_v = 0,37$.

8.1. CALCUL HYDRAULIQUE

8.1.1. CALCUL DE LA PLUIE JOURNALIÈRE MAXIMALE ANNUELLE PJ

Pendant 10ans

$u = 1.28$, $C_v = 0.37$, $P_{j\text{moy}} = 55\text{mm}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_j(10\%) = \left[\frac{55}{\sqrt{0,37^2+1}} \right] \times \left[e^{\left(1,28 \times \sqrt{\ln(0,37^2+1)} \right)} \right] \\ P_j(10\%) = 81.587 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Pendant 50ans

$u = 2.05$, $C_v = 0.37$, $P_{j\text{moy}} = 55\text{mm}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_j(2\%) = \left[\frac{55}{\sqrt{0,37^2+1}} \right] \times \left[e^{\left(2,05 \times \sqrt{\ln(0,37^2+1)} \right)} \right] \\ P_j(2\%) = 107.50\text{mm} \end{array} \right.$$

8.1.2. L'INTENSITÉ HORAIRE I

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

Pour: $P_j(10\%) = 81.587\text{mm}$.

$$I(10\%) = \left(\frac{81.587}{24} \right) = 4.00 \text{ mm/h}$$

Pour : $P_j(2\%) = 107.50\text{mm}$.

$$I(2\%) = \left(\frac{107.50}{24} \right) = 4.48 \text{ mm/h}$$

8.1.3. CALCUL DE LA SURFACE DU BASSIN VERSANT

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

$$\left\{ \begin{array}{l} A_C = 7.5 \times 100 \cdot 10^{-4} = 0,075 \text{ ha} \quad (\text{Surface de chaussée}). \\ A_A = 2 \times 100 \cdot 10^{-4} = 0,02 \text{ ha} \quad (\text{Surface d'accotement}). \\ A_T = 4 \times 100 \cdot 10^{-4} = 0,04 \text{ ha} \quad (\text{Surface de talus}). \\ A_{\text{total}} = A_C + A_A + A_T = 0.075 + 0.02 + 0.04 = 0.135 \text{ ha} \end{array} \right.$$

8.2. DIMENSIONNEMENT DES BUSES

$$\text{PK : 0+777KM}$$

8.2.1. CALCUL DES DÉBITS D'APPORT:

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

Le débit apporté par la chaussée

$C = 0.95$, $P = 2.5 \%$, $I (10\%) = 4.00 \text{ mm/h}$, $A = 0.075 \text{ ha}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,075}{2,5}} \Rightarrow t_c = 0,022 \text{ h} \\ I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^{b-1} = 4,00 \times \left(\frac{0,022}{24}\right)^{0,36-1} \Rightarrow I_t = 351.76 \text{ mm/h} \\ Q_a = 2,778 \times 0,95 \times 351.76 \times 0,075 \Rightarrow (Q_a)_{\text{chaussée}} = 0,0696 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right.$$

Le débit apporté par l'accotement

$C = 0,4$, $p = 4 \%$, $I (10\%) = 4,00 \text{ mm/h}$, $A = 0.02 \text{ ha}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,02}{4}} \Rightarrow t_c = 0.0089 \text{ h} \\ I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^{b-1} = 4,00 \times \left(\frac{0.0089}{24}\right)^{0,36-1} \Rightarrow I_t = 627.75 \text{ mm/h} \\ Q_a = 2,778 \times 0,4 \times 627.75 \times 0,02 \Rightarrow (Q_a)_{\text{accotement}} = 0,014 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right.$$

Le débit apporté par le talus

$C = 0,3$, $p = 100\%$, $I (10\%) = 4,00 \text{ mm/h}$, $A = 0,04 \text{ ha}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,04}{100}} \Rightarrow t_c = 0,00254 \text{ h} \\ I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^{b-1} = 4,00 \times \left(\frac{0,00254}{24}\right)^{0,36-1} \Rightarrow I_t = 1400,56 \text{ mm/h} \\ (Q_a)_{\text{talus}} = 2,778 \times 0,3 \times 1400,56 \times 0,04 \Rightarrow (Q_a)_{\text{talus}} = 0,0466 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_a = 0,0696 + 0,014 + 0,0466 \Rightarrow Q_a = 0,1302 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right.$$

8.2.2. CALCUL DE DÉBIT DE SATURATION (Q_s)

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

On a: $J = 2,5\%$, $K_{ST} = 80$, $R_h = \frac{R}{2}$, $S_m = \frac{1}{2} \times \pi \times R^2$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_s = Q_a \Rightarrow 80 \times (R/2)^{2/3} \times \frac{\pi}{2} \times R^2 \times (0,025)^{1/2} = 0,126 \text{ m}^3/\text{s} \\ R^{8/3} = \frac{2^{5/3} \times Q_a}{80 \times \pi \times \sqrt{J}} = \frac{2^{5/3} \times 0,1302}{80 \times \pi \times \sqrt{0,025}} \Rightarrow R^{8/3} = 0,035 \\ \varnothing = 2R = 567 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Remarque :

On propose: $\varnothing = 1000 \text{ mm}$; pour l'accès et les travaux de curage des buses.

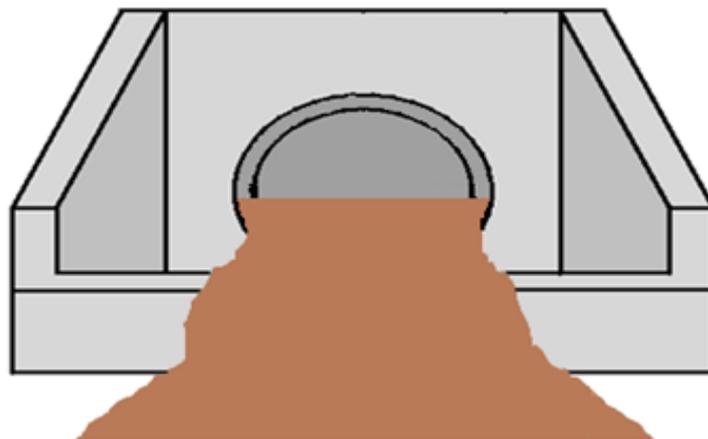


Figure VII.3. Vue de face d'une buse de diamètre $\varnothing = 1000 \text{ mm}$.

Tableau VII.5. Récapitulatif des résultats.

N°	Localisation par rapport au Projet (PK)	Ouvrages
1	0+777	Buse (Ø1000)
2	1+197	Buse (Ø1000)
3	2+112	Buse (Ø1000)
4	3+046	Buse (Ø1000)
5	3+761	Buse (Ø1000)
6	4+006	Buse (Ø1000)
7	4+043	Buse (Ø1000)
8	4+256	Buse (Ø1000)
9	5+397	Buse (Ø1000)
10	5+621	Buse (Ø1250)
11	5+861	Buse (Ø1000)
12	6+255	Buse (Ø1000)
13	7+091	Buse (Ø1000)
14	7+571	Buse (Ø1000)
15	9+016	Buse (Ø1000)

8.3. DIMENSIONNEMENT DES FOSSÉS

Le calcul se fera par itération, on fixe le paramètre **n** et on fait varier **b** et **h**. on calcul à chaque fois le débit de saturation qui doit être supérieur ou égal au débit d'apport :

$$Q_s \geq Q_a$$

A partir des résultats obtenus précédemment :

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_a = K_{ST} \times h \times [b + (n \times h)] \times \left[\frac{h \times [b + (n \times h)]}{b + 2 h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{2/3} \times J^{1/2} \\ J = 2 \%, K_{ST} = 30, b = 0,5 \text{ m} \\ 0.1302 = 30 \times h \times [0,5 + (1,5 \times h)] \times \left[\frac{h \times [0,5 + (1,5 \times h)]}{0,5 + 2 h \times \sqrt{1 + 1,5^2}} \right]^{2/3} \times 0,02^{1/2} \end{array} \right.$$

D'Après le calcul itératif on trouve $h \approx 0.48\text{m}$. Donc les dimensions retenues du fossé sont :

$$b = h = 50 \text{ cm}$$

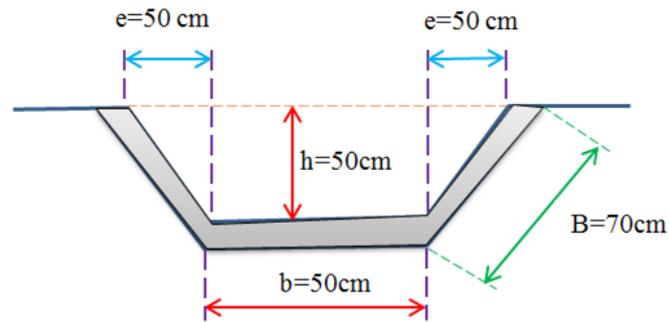


Figure VII.4. Résultat de dimensionnement du fossé.

9. CONCLUSION

Les résultats de calcul donnent des buses de diamètres variante entre 500 mm et 900 mm. Pour notre projet, nous avons choisi d'opter pour des buses de 1000 mm de diamètre pour faciliter l'opération de curage.

Pour assainir la partie existante, les ouvrages qui sont bien dimensionnés seront maintenus et prolongés du côté de la partie d'élargissement. Pour les ouvrages sous dimensionnés, ceux-ci doivent être tout bonnement remplacés.

CHAPITRE VIII – ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

1. INTRODUCTION

Le renforcement et la modernisation de l'infrastructure du réseau de transport du chemin de wilaya CW05 de la daïra de NAAMA permettant de satisfaire la continuité du réseau et l'établissement d'une stratégie réfléchie pour véhiculer les usagers dans des conditions optimales de fonctionnement et de sécurité, avec la prise en considération des contraintes socio-économiques et environnementales sont parmi les objectifs essentiels de notre projet.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet de modernisation du chemin de wilaya CW05, qui permet de relier entre la route nationale n°22 et la route national n°6 pour permettre d'assurer l'itinéraire le plus court entre la daïra GAALOUL et AIN SEFRA.

La présente étude a été élaborée dans le but d'apporter une vision actuelle, et future, sur les impacts pouvant être causés sur l'environnement accueillant la réalisation de notre projet.

2. ANALYSE DE L'ÉTAT INITIAL DU SITE

2.1. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

La morphologie du terrain est caractérisée par de vastes plaines. Le sol d'étude est caractérisé par un sol sableux. La zone prospectée représente une surface de 8,5 km.

Pour plus de détails sur les caractéristiques physiques du terrain, nous invitons le lecteur à se référer au chapitre 05 – Etude géotechnique – de ce document.

2.2. CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES

L'itinéraire de la route est caractérisé par la présence de végétations naturelles, de zones d'importance écologiques et zones pastorales.

2.3. TYPE D'OCCUPATION

Le tracé longe la région de Sfissifa à Ain Sefra. Même si nous pouvons observer la présence de domaines privés et de zone d'élevage, le tracé de la route n'empiète en rien sur la vie privée de la population ou sur les habitudes des différentes espèces animales occupant les lieux environnant.

3. LES CONSÉQUENCES PRÉVISIBLES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Les rejets et déchets pouvant être générés durant les travaux d'exécution du projet sont résumés comme suit:

3.1. REJETS SOLIDES

Les déchets solides pouvant être générés par l'exécution des travaux résultent des différentes consommations du chantier des produits industriels et alimentaires en plus des déchets résultant des déblais provenant des travaux de pose. Les cahiers de charge prévoient l'évacuation de tous genres de déchets solides à la décharge publique après consentement des autorités municipales de la région.

3.2. REJETS LIQUIDES

Les rejets liquides proviendront essentiellement des eaux utilisées pour l'approvisionnement du chantier. Ces eaux ne contiendront aucun produit chimique ni hydrocarbure; elles seront rejetées en milieu naturel dans les cours d'eau ou les oueds et n'entraîneront aucune contamination au sol.

3.3. REJETS ATMOSPHÉRIQUES

En raison de la nature des travaux, les rejets atmosphériques résultent principalement du matériel utilisé dans les travaux de remblais, déblais et décapage. Aucun réel danger environnemental n'est à déplorer.

3.4. NUISANCES SONORES

En phase de construction, le niveau sonore dus à la mobilisation d'engins lourds (side-boom, trax, pelles mécaniques, bulldozer, camions, etc..) reste dans les limites admissibles et est inhérente à tout chantier de cette envergures. Cependant, tout le personnel dispose du matériel de protection individuelle (casques, bouchons d'oreilles, etc..) afin de pouvoir opérer dans des conditions sécurisantes.

La sécurité des autres intervenants et des tiers est assurée en respectant les distances réglementaires par rapport au chantier, cette distance doit être généralement supérieure à 100 m.

3.5. IMPACTS SUR L'ACTIVITÉ AGRICOLE

Etant donné qu'il est question d'une modernisation d'un tracé déjà existant, aucun dégât agricole n'est à déplorer.

3.6. INFLUENCE SUR LE MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUE

Lors de l'exécution du projet, a pu être observé :

- Perturbation de la circulation au moment du transport des éléments de construction par camions, du lieu de stockage jusqu'au chantier.
- Gêne pour les riverains lors des travaux : dégagement de poussières, bruits, etc.

4. MESURES ENVISAGÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

4.1. MESURES POUR RÉDUIRE LES IMPACTS SUR LE MILIEU SOCIO-ÉCONOMIQUE

Au niveau des agglomérations, nous établissons un plan de circulation en accord avec les municipalités et les autorités locales. Des bandes signalétiques fluorescentes limiteront les zones des travaux et des panneaux de signalisation seront implantés à chaque croisement.

4.2. REMISE EN ÉTAT DES LIEUX APRÈS TRAVAUX

La remise en état des lieux comprend notamment les opérations suivantes :

- Réfection des fossés et talus.
- Enlèvement et évacuation des déblais excédentaires vers des décharges appropriées.
- Décompactage des terres sur la bande de roulement.
- Rétablissement des clôtures, murs, etc.

Par ailleurs, la remise en état des lieux est sanctionnée par un PV de remise en état des lieux après travaux signé entre l'entreprise et la direction des travaux publics de la wilaya de Naâma.

4.3. MESURES D'URGENCE

En cas d'incident sur le réseau de transport, les unités chargées de la surveillance et de l'intervention ont pour objectifs de mettre en œuvre le plus rapidement possible les moyens nécessaires pour assurer la sécurité des personnes et des biens.

On distingue quatre phases d'intervention : l'alerte, la reconnaissance, la mise en sécurité, la réparation en urgence.

4.3.1. L'ALERTE

L'alerte regroupe le processus intégral de connaissance, de transmission et de première vérification de l'information. Elle permet aux services concernés d'être avertis d'un incident affectant un ouvrage. Elle doit permettre d'assurer une transmission rapide, complète et exacte des informations relatives à un incident.

L'alerte permet de prendre les premières dispositions permettant à la cellule d'intervention d'assurer la sécurité et de remédier aux anomalies constatées ou signalées. Elle permet de prendre toutes les mesures nécessaires pour faire face aux conséquences éventuelles de l'incident.

4.3.2. LA RECONNAISSANCE

Elle est déclenchée après réception du message d'alerte. Elle doit permettre d'obtenir dans les meilleurs délais la validation de l'alerte donnée et la localisation exacte de l'incident.

La reconnaissance consiste à collecter les renseignements permettant de prendre toutes les mesures appropriées concernant la sécurité, d'informer de façon précise les services concernés par l'incident et de décider du mode d'intervention.

Dans cette phase, il faut : prendre les premières mesures vis à vis des tiers ; évaluer le périmètre de la zone dangereuse ; déclencher la mise en sécurité.

4.3.3. LA MISE EN SÉCURITÉ

La mise en sécurité consiste à prendre les premières mesures d'exploitation sur le réseau de transport. Cette phase vise à limiter le sinistre ou à en réduire rapidement les effets, en sauvegardant la sécurité des personnes et des biens.

Les mesures de mise en sécurité des personnes et des biens sont souvent décidées par les services publics chargés de la sécurité, avant l'arrivée des équipes d'intervention. Il convient de veiller à l'exécution rapide et complète des mesures conservatoires appropriées (éloignement des curieux et des véhicules, délimitation de la zone dangereuse, déviation de la circulation...).

4.3.4. LA RÉPARATION EN URGENCE

La réparation en urgence consiste à réparer d'une façon provisoire ou définitive l'ouvrage accidenté.

5. CONCLUSION

Les travaux effectués dans le cadre de cette modernisation auront des impacts négatifs relativement faibles sur l'environnement.

Les impacts peuvent être d'une manière générale aisément maîtriser par la mise en place de mesures compensatoires ou d'atténuation pour éviter des érosions accrues des sols, des pollutions inopportunes des ressources hydriques par les déchets de chantier de diverses origines ou une dégradation générale de la qualité paysagère par la production et la dispersion de déchets liés aux activités de chantier.

CHAPITRE IV – CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous avons étudié dans ce projet de fin d'étude, la modernisation du chemin de wilaya CW05 de la daïra de Gaaloul. Pour ce faire, nous avons traité en premier lieu les différentes données collectées sur site comme le trafic moyen journalier annuel ou encore les résultats de l'étude géotechnique.

Les différentes couches à mettre en place ont été étudié sur la base de ces données et de la nous avons pu déterminer le nouveau corps de chaussée ainsi que la nouvelle couche de roulement à réaliser.

Ce projet de modernisation fut lancé suite à l'observation de l'état de dégradation avancé du chemin de wilaya CW05 rendant la route impraticable pour les usagers. Les automobilistes se retrouvaient donc contraints de faire un détour sur leur parcours habituel ce qui augmentait considérablement le temps de trajet en plus de l'isolement dont commencer à souffrir la Daïra de Gaaloul. Donc, ce projet avait pour but de répondre à des besoins tels que :

- Accroître la capacité du dispositif de transport de la région.
- Améliorer la sécurité, la fluidité et les conditions de circulation de la route.
- Contribuer à l'aménagement du territoire.
- Contribuer au développement économique de la région.

Mettre a contribution ses connaissances acquise durant un cursus de formation tel que le nôtre est un exercice de style plus ardue qu'il n y paraît. En effet, l'accomplissement de ce projet fut l'occasion pour nous de confronter nos bases théoriques à la dureté du terrain, même si certains aspects ne sont pas nouveaux pour nous.

BIBLIOGRAPHIE

- Antoine, D. and Brandfer, F. (2008). *Des comptages. Comment ? Pourquoi ?*. 1st ed. [ebook] La CeMathèque. Available at: http://mobilite.wallonie.be/files/Centre%20de%20doc/CeMath%C3%A8que/cematheque23_200805.pdf [Accessed 29 Mar. 2015].
- Brunel, H. (2008). *Cours de route*. 1st ed. [ebook] Available at: <http://www.brunel-ejm.org/biblio/coursroutev2007.pdf> [Accessed 26 Mar. 2015].
- Btrafic.fr, (2015). *Comptage routier - B Trafic - comptage directionnel*. [online] Available at: <http://www.btrafic.fr/comptage-directionnel-traffic-routier.html> [Accessed 29 Apr. 2015].
- Btrafic.fr, (2015). *Comptage routier - B Trafic - enquête O/D*. [online] Available at: http://www.btrafic.fr/enquete_OD_origine_destination.html [Accessed 12 Apr. 2015].
- Btrafic.fr, (2015). *Comptage routier - B Trafic- comptage automatique*. [online] Available at: <http://www.btrafic.fr/comptage-automatique-traffic-routier.html> [Accessed 15 Apr. 2015].
- Btrafic.fr, (2015). *Comptage routier - B Trafic- enquête et interview*. [online] Available at: http://www.btrafic.fr/enquete_stationnement_interview.html [Accessed 29 Mar. 2015].
- gpso.fr, (2009). *Méthodologie des études de trafic et d'exploitation*. 1st ed. [ebook] Maison Ferée de France. Available at: http://www.gpso.fr/Note_methodo_etudes_traffic_exploitation.pdf [Accessed 14 Mar. 2015].
- Hazzi, I. and Houcini, F. (2014). *Etude de modernisation et renforcement du cw55 sur 9 km dans la wilaya de sidi Bel abbés*. 1st ed. [ebook] Ecole Nationale des Travaux Publics. Available at: <http://www.ingdz.net/Downloads-Etude-de-modernisation-et-renforcement-du-cw-cinquante-cinq-sur-neuf-km-dans-la-wilaya-de-sidi-Bel-abbes-view-864.html> [Accessed 18 Mar. 2015].

-
- Planeco.be, (2015). *Comptage de trafic routier | Planeco*. [online] Available at: <http://www.planeco.be/comptage-de-trafic-routier-et-analyse-des-statistiques-de-circulation> [Accessed 29 Mar. 2015].
- Portet, F. (2011). *Les reconnaissances de sols*. 1st ed. [ebook] Ecole des Mines de Douai. Available at: http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/geotechnique_Portet/TeleversementPagesAccesLibre/Module2_ReconnaissancesSols_110718.pdf [Accessed 16 Feb. 2015].
- Portet, F. and Noël, O. (2011). *Contexte et finalités*. 1st ed. [ebook] Ecole des Mines de Douai. Available at: http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/1_ContexteEtFinalites/co/generations_web_ContexteFinalite.html [Accessed 13 Mar. 2015].
- Portet, F., Noël, O. and Nicaise, S. (2011). *La classification des sols*. 1st ed. [ebook] Ecole des Mines de Douai. Available at: http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3_ClassificationSols/co/generation_web_ClassificationSols.html [Accessed 15 Mar. 2015].
- Rychen, P. (2014). *Impact du changement climatique sur les infrastructures routières – Analyse de risque et mesures d'adaptation*. 1st ed. [ebook] École polytechnique fédérale de Lausanne. Available at: http://infoscience.epfl.ch/record/183753/files/EPFL_TH5611.pdf [Accessed 14 Mar. 2015].
- SETRA, (1994). *Recommandations techniques pour la conception générale et la géométrie de la route*. 1st ed. [ebook] SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES (France). Available at: <http://www.enrdd.com/documents/documents/Construction-Ecoconstruction/am%C3%A9nagement%20des%20routes%20principales.pdf> [Accessed 2 Apr. 2015].
- Team.inria.fr, (2015). *Mesure du trafic routier | pumas*. [online] Available at: <https://team.inria.fr/pumas/mesure-du-trafic-routier/> [Accessed 29 Apr. 2015].