



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Republique Algérienne Democratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Académique

En : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'arts

Présenté par : BAHI Selma

Encadré par : Prof NINOUH Tarek

**MEMOIRE**

**Étude technique de l'évitement de la ville de TEBESSA  
entre la RN 82 et l'intersection RN 10/ RN16**

Présenté et soutenu publiquement, le 29 / 06 / 2020, devant le jury composé de :

MAA. FARES Abd El Hafid

MAA. MESSAOUD Farid

Prof NINOUH Tarek

Promotion: juin 2020



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**Republique Algerienne Democratique Et Populaire**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة العربي التبسي – تبسة  
**Université Larbi Tébessi – Tébessa –**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département de Génie Civil**  
**Pour l'Obtention du Diplôme de Master Académique**  
**En : Travaux Publics**  
**Spécialité : Voies et Ouvrages d'arts**

**Présenté par : BAHI Selma**

**Encadré par : NINOUH Tarek**

**MEMOIRE**

**Étude technique de l'évitement de la ville de TEBESSA  
entre la RN 82 et l'intersection RN 10/ RN16**

**Présenté et soutenu publiquement, le 29 / 06 / 2020, devant le jury composé de :**

**FARES Abd El Hafid**

**MESSAOUD Farid**

**NINOUH Tarek**

**Promotion : juin 2020**

# DEDICACES

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

Je dédie ce travail à :

Ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde ;

Mon père qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, que dieu le garde et le protège ;

A ma sœur SOUHIR

A mes frères (Saif Eddine & Mohamed)

A ma grande famille.

A mon encadreur Mr. NINOUEH Tarek

A tous mes enseignants.

Ma très chère amie et sœur (DJAALALI Cherifa)

A tous mes amis de VOA.

BAHI Selma

# REMERCIEMENT

Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup de sacrifices ; mes remerciements vont d'abord au Créateur de l'univers ALLAH qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette année d'étude. Je tiens aussi à adresser mes remerciements à ma famille, et plus précisément à ma mère et mon père DERBAL MALIKA et BAHY LAKHDER pour leur soutien matériel, financier, moral et psychologique, mais particulièrement pour l'amour qu'ils me portent le long de mes études. J'adresse aussi mes remerciements à ma sœur SOUHIR et mes frères SAIF et MOHAMED. Ce présent travail a pu voir le jour grâce à leur soutien.

J'exprime ma sincère gratitude et remerciements à mon encadreur académique Pr. NINOUEH TAREK pour ses conseils précieux, son aide dans le cheminement de cette étude et pour la peine qu'il s'est donnée tout au long de ce travail afin de faire de ce document ce qu'il représente.

Je voudrais remercier mon professeur, MESSAOUD FARID, d'autant plus qu'il m'a guidé pendant la période d'étude pour apprendre plusieurs programmes de ma spécialité, parmi lesquels figurent : CIVIL 3D, piste ...etc.

Je voudrais remercier tous mes professeurs pour leurs précieux efforts durant notre période de notre formation académique. Je tiens à remercier mon professeur FARES ABDELHAFID pour avoir accepté de participer à la soutenance de mon mémoire de Master.

Je souhaite, également, remercier tous les professionnels et amis travaillant dans la DTP de Tébessa et plus précisément madame KHEDIRI LINDA, chef de service au DTP, ils ont bien voulu répondre à mes différentes questions sur le domaine dans le but de permettre la facilité de l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'encontre de ma grande famille :

Mes grands-mères : BAHY FATMA, DERBAL CHAHBA,

Mes oncles : TURKI ET AMARA, HICHEM ET LOTFI.

En dernier lieu je remercie l'administration de site AUTODESK qui à travers leur programme m'ont fourni des outils de qualité facilitant ma spécialisation.

Je tiens à remercier toute personne qui a, de près ou de loin, contribué d'une manière ou d'une autre au succès de ce travail, et spécialement ceux dont les noms ne sont pas mentionnés, mais qui sont présents dans mon esprit et dans mon cœur.

# TABLE DES MATIERES

<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Notion sur la topographie</b>	
1- Introduction	<b>05</b>
2- Une carte, un plan	<b>05</b>
2-1 Un plan	<b>05</b>
2-2 Une carte	<b>05</b>
3- Les appareils topographiques	<b>06</b>
3-1 Le vocabulaire	<b>06</b>
3-2 Les nivelles	<b>07</b>
3-3 Les lunettes	<b>07</b>
3-4 Le nivellement	<b>08</b>
3-4-1 Nivellement direct ou géométrique	<b>08</b>
3-4-2 Nivellement indirect ou trigonométrique	<b>09</b>
3-5 Les appareils	<b>10</b>
3-2-1 Le niveau	<b>10</b>
3-2-2 Le tachéomètre	<b>11</b>
3-2-3 Le théodolite	<b>12</b>
4- Conclusion	<b>12</b>
<b>Chapitre II : Généralités sur les routes</b>	
1- Introduction	<b>14</b>
1-1 Définition de la route	<b>14</b>
1-2 Historique	<b>15</b>
1-3 Construction des chaussées	<b>16</b>
2- Les caractères de la circulation routière	<b>17</b>
2-1 Notion sur les pneumatiques	<b>17</b>
2-2 Quelques caractéristiques des véhicules	<b>17</b>
3- Détermination du niveau de service	<b>18</b>
3-1 Définition	<b>18</b>
3-2 Classification des routes	<b>18</b>
3-2-1 Classification d'utilité pratique et de situation	<b>19</b>
3-2-2 Classification d'ordre fonctionnel et type d'usage	<b>19</b>
3-2-3 Classification d'ordre constructif	<b>19</b>
3-2-4 Classification faisant état de la nature du trafic	<b>20</b>
3-2-5 Classification d'ordre Administratif Et Juridique	<b>20</b>
4- Terminologie	<b>22</b>

4-1 Eléments géométriques	22
4-2 Eléments constructifs	23
5- Conclusion	23
<b>Chapitre III : Caractéristiques géométriques des routes</b>	
<b>1- Étude de trafic</b>	<b>25</b>
1-1 Introduction	25
1-2 L'analyse des trafics existants	25
1-2-1 Facteurs affectant la conception des routes	25
1-2-2 Vocabulaire	26
1-2-3 Volume de circulation	27
1-2-4 Les comptages	27
1-2-5 Les enquêtes	27
1-2-6 Différents types de trafics	28
1-3 Capacité d'une route	28
1-4 Conclusion	29
<b>2- Tracé En Plan</b>	<b>29</b>
2-1 Introduction	29
2-2 Règles à respecter dans le tracé en plan	30
2-3 Les éléments du tracé en plan	30
2-3-1 Les Alignements	30
2-3-2 Règles concernant la longueur des alignements	31
2-3-3 Arc de cercle	31
2-3-4 Les courbes de raccordement	33
2-4 Les conditions de raccordement	36
2-5 Combinaison des éléments du tracé en plan	38
2-6 Notion de devers	40
2-7 La Vitesse de référence (De base)	41
2-7-1 Choix de la vitesse de référence	42
2-7-2 Vitesse de projet	42
2-8 Calcul d'axe	42
2-9 Conclusion	43
<b>3- Profil en long</b>	<b>43</b>
3-1 Introduction	43
3-2 Règles respectées dans le tracé du profil en long	44
3-3 Les éléments de composition du profil en long	44
3-4 Coordination du tracé en plan et profil en long	45
3-5 Déclivités	45
3-5-1 Déclivité minimum	45
3-5-2 Déclivité maximum	46

3-6 Raccordements en profil en long	46
3-6-1 Raccordements convexes (Angle saillant)	47
3-6-2 Raccordements concaves (angle rentrant)	48
3-7 Détermination pratique du profil en long	50
3-8 Conclusion	53
<b>4- Profil en travers</b>	<b>54</b>
4-1 Introduction	54
4-2 Différent type de profil en travers	54
4-2-1 Profil en travers type	55
4-2-2 Profil en travers courants	55
4-3 Les éléments constitutifs du profil en travers	55
4-4 Conclusion	59
<b>5- Application au projet</b>	<b>60</b>
<b>Chapitre I V : Etude géotechnique</b>	
1- Introduction	72
2- Les moyens de la reconnaissance	72
2-1 L'étude des archives et documents existants	73
2-2 Les visites sur site et les essais « in-situ »	73
3-3 Les Différents essais en laboratoire	75
3-3-1 Les essais d'identification	76
3-3-2 Les essais mécaniques	80
3- Condition d'utilisation des sols en remblais	82
<b>Chapitre V : Dimensionnement de la Structure de la chaussée</b>	
1- Introduction	86
2- La chaussée	87
2-1 Définition	87
2-2 Les différentes couches de chaussée	87
3-2 Les différents types de chaussée	89
3- Les principales méthodes de dimensionnement	91
3-1 Les facteurs déterminants pour les études de dimensionnement de chaussées	91
3-1-1 Trafic	91
3-1-2 Le climat et l'environnement	93
3-1-3 Le sol support	93
3-1-4 Les matériaux	93
3-2 Les Méthodes empiriques	94
3-2-1 Méthode C.B.R (California Bearing Ratio)	94
3-2-2 Méthode A.A.S.H.O: (American Association of State Highway Officials)	95
3-2-3 Méthode d'Asphalte Institute	96
3-2-4 Méthode du catalogue des structures « SETRA »	96



3-2-5 Méthode algérienne du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTPP	<b>98</b>
4- Les matériaux de chaussée	<b>102</b>
5- Conclusion	<b>102</b>
<b>6- Application au projet</b>	<b>103</b>
<b>Chapitre VI : Cubatures des terrassements</b>	
1- Introduction	<b>109</b>
2- Méthodes de calcul des cubatures	<b>109</b>
2-1 Description de la méthode	<b>109</b>
3- Méthode classique	<b>112</b>
<b>4- Application au projet</b>	<b>112</b>
<b>Chapitre VII : Impact sur environnement</b>	
1- Introduction	<b>114</b>
2- Cadre Juridique	<b>114</b>
3- Objectifs et utilités d'une étude d'impact sur l'environnement	<b>115</b>
4- Pollutions d'origine routière et impacts sur l'environnement de proximité	<b>115</b>
5- Impact Sur l'agriculture	<b>116</b>
5-1 Les impacts	<b>116</b>
5-2 Les remèdes	<b>116</b>
6- Les impacts sur le milieu biologique	<b>117</b>
6-1 La faune	<b>117</b>
6-2 La flore	<b>118</b>
7- Impact sur le milieu physique	<b>119</b>
7-1 Le sol	<b>119</b>
7-2 L'eau	<b>119</b>
7-3 L'air	<b>110</b>
8- L'impact sur les habitants	<b>110</b>
8-1 La destruction	<b>121</b>
8-2 Le bruit	<b>121</b>
8-2-1 Les impacts	<b>121</b>
8-2-2 Les remèdes	<b>121</b>
9- Impacts sur la santé	<b>122</b>
10- Conclusion	<b>122</b>
<b>11- Application au projet</b>	<b>122</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>124</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>125</b>
<b>ANNEXE A : Rapport sur l'abscisse curviligne des PI de l'axe.</b>	
<b>ANNEXE B : Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long, côte du projet 1.</b>	
<b>ANNEXE C : Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long, côte du projet 2.</b>	
<b>ANNEXE D : Rapport sur les volumes (côte du projet 2).</b>	

# LISTE DES TABLEAUX

Titre du tableau	Page
<b>Chapitre II : Généralités sur les routes</b>	
<b>Tableau II.1</b> : Types d'environnements.	<b>22</b>
<b>Chapitre III : Caractéristiques géométriques des routes</b>	
<b>Tableau III.3.2</b> Exemple de déclivité	<b>46</b>
<b>Tableau III.5.3</b> : coefficient équivalence P	<b>61</b>
<b>Tableau III.5.4</b> : valeur de K1	<b>62</b>
<b>Tableau III.5.5</b> : valeur de K2	<b>62</b>
<b>Tableau III.5.6</b> : Capacité théorique Cth	<b>62</b>
<b>Tableau III.5.7</b> : Capacité théorique Cth	<b>63</b>
<b>Tableau III.5.8</b> : Les calculs sont représentés dans le tableau suivant	<b>64</b>
<b>Chapitre IV : Etude géotechnique</b>	
<b>Tableau IV.9</b> : Quelques valeurs de vitesses d'ondes P en fonction de la nature du sol	<b>74</b>
<b>Tableau IV.10</b> : Caractérisation des sols à partir de la valeur de ES	<b>79</b>
<b>Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée</b>	
<b>Tableau V.11</b> : classes de trafic en fonction du nombre moyen journalier annuel	<b>92</b>
<b>Tableau V.12</b> : classe de trafic cumulé.	<b>93</b>
<b>Tableau V. 13</b> : portances de sol en fonction l'indice CBR.	<b>93</b>
<b>Tableau V. 14</b> : coefficients d'équivalence pour chaque matériau.	<b>95</b>
<b>Tableau V. 15</b> : Détermination de la classe de trafic en l'absence de données précises	<b>97</b>
<b>Tableau V.16</b> : classes de portance des sols Si.	<b>97</b>
<b>Tableau V.17</b> : Classes de portance à long terme du sol support	<b>100</b>
<b>Tableau V. 18</b> : sur classement avec couche de forme en matériau non traité.	<b>100</b>
<b>Tableau V. 19</b> : Les zones climatiques de l'Algérie.	<b>101</b>
<b>Tableau V. 20</b> : Classe de trafic.	<b>103</b>
<b>Tableau V.21</b> : classes de la portance de sol-support.	<b>104</b>

## LISTE DES FIGURES

Titre de la figure	Page
<b>Introduction générale</b>	
<b>Fig.01</b> Situation géographique de l'évitement de TEBESSA.	<b>03</b>
<b>Chapitre I : Notion sur la topographie</b>	
<b>Fig. I.2</b> Exemple de réticule, avec fils stadimétriques.	<b>07</b>
<b>Fig. I.3</b> Lecture directe.	<b>09</b>
<b>Fig. I.4</b> Principe du nivellement trigonométrique.	<b>09</b>
<b>Fig. I.5</b> Niveau de chantier.	<b>10</b>
<b>Fig. I.6</b> Le tachéomètre.	<b>12</b>
<b>Fig. I.7</b> Le théodolite.	<b>12</b>
<b>Chapitre II : Généralités sur les routes</b>	
<b>Fig. II.8</b> Les chaussées romaines	<b>15</b>
<b>Fig. II.9</b> Route macadam.	<b>16</b>
<b>Fig. II.10</b> Classification des routes en Algérie.	<b>20</b>
<b>Fig. II.11</b> Variation longitudinale du relief.	<b>21</b>
<b>Fig. II.12</b> Profil en travers.	<b>23</b>
<b>Fig. II.13</b> Coupe transversale d'une chaussée.	<b>23</b>
<b>Chapitre III : Caractéristiques géométriques des routes</b>	
<b>Fig. III.2.14</b> Tracé en plan d'une route.	<b>29</b>
<b>Fig. III.2.15</b> Eléments de la clothoïde.	<b>35</b>
<b>Fig. III.2.16</b> Courbe en S.	<b>38</b>
<b>Fig. III.2.17</b> Raccordement Circulaire.	<b>38</b>
<b>Fig. III.2.18</b> Courbe en C.	<b>39</b>
<b>Fig. III.2.19</b> Courbe en Ove.	<b>39</b>
<b>Fig. III.2.20</b> Calcul d'axe.	<b>43</b>
<b>Fig. III.3.21</b> Visibilité sur chaussée unidirectionnelle.	<b>47</b>
<b>Fig. III.3.22</b> Visibilité sur chaussée bidirectionnelle.	<b>48</b>
<b>Fig. III.3.23</b> Rayon assurant le confort dynamique	<b>49</b>
<b>Fig. III.3.24</b> Rayon assurant visibilité.	<b>49</b>
<b>Fig. III.3.25</b> Élément de raccordement parabole.	<b>51</b>
<b>Fig. III.4.26</b> Implantation d'un projet routier.	<b>54</b>
<b>Fig. III.4.27</b> Profil en travers	<b>55</b>
<b>Fig. III.5.28</b> Section transversale de la route	<b>70</b>
<b>Chapitre I V : Etude géotechnique</b>	
<b>Fig. IV. 29</b> Courbe granulométrique.	<b>77</b>
<b>Fig. IV. 20</b> Courbe d'essai Proctor.	<b>80</b>
<b>Fig. IV. 31</b> Machine d'abrasion LOS ANGELES.	<b>81</b>
<b>Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée</b>	
<b>Fig. V. 32</b> Répartition de la charge d'une roue dans les différentes couches de matériaux Constituant une chaussée souple.	<b>86</b>

<b>Fig. V. 33</b> Coupe type d'une chaussée.	<b>89</b>
<b>Fig. V.34</b> Les différents types de chaussée.	<b>90</b>
<b>Fig.V.35</b> les niveaux de réseau principal.	<b>99</b>
<b>Fig. V.35</b> La démarche du catalogue du CTTTP	<b>101</b>
<b>Fig.V.36</b> les résultats obtenus par le programme Alizé LCPC	<b>107</b>
<b>Chapitre VI : Cubatures des terrassements</b>	
<b>Fig. VI.37</b> Notations pour le calcul d'un volume de terres entre deux profils en travers consécutifs.	<b>110</b>
<b>Fig. VI.38</b> Calcul par la moyenne des aires.	<b>111</b>
<b>Fig. VI.39</b> Utilisation de la notion de distance d'application.	<b>112</b>
<b>Chapitre VII : Impact sur environnement</b>	
<b>Fig. VII. 40</b> l'impact de l'usage et de l'entretien des voiries.	<b>116</b>
<b>Fig. VII. 41</b> Cadavre de chevreuil sur une route.	<b>118</b>
<b>Fig. VII. 42</b> Passage aérien pour la faune. Parc national Banff (Colombie-Britannique).	<b>119</b>

## Résumé

Avec le développement démographique et économique du territoire, les besoins et la demande en déplacements routiers sont devenus par endroit largement supérieurs à l'infrastructure existante. Le développement du réseau routier répond à plusieurs objectifs tels que la fluidification du trafic, l'amélioration de l'accessibilité ainsi que la suppression du trafic de transit dans les zones d'habitations. Notre travail intitulée « Etude technique de l'évitement de la ville de Tébessa entre la RN 82 et l'intersection RN10/RN16 » s'inscrit dans le cadre des travaux de construction d'une nouvelle route bitumée de 6 km dans la ville de Tébessa qui va mettre fin au problème de congestion à l'entrée de la ville, causée par les flux de véhicules de gros tonnage qui empruntent la RN10 et La RN16. L'objectif de cette étude est de concevoir un projet répondant aux normes et permettant de supporter le trafic actuel. L'analyse des données et le calcul du trafic ont permis de déterminer que la classe est de niveau. Les études techniques à partir de fond topographique ont permis, en fonction des vitesses de référence, de dresser la partie graphique du projet : le tracé en plan, le profil en long, et les profils en travers. Le calcul de la cubature des terrassements est déterminé à l'aide de logiciel (CIVIL 3D 2019). La structure de la chaussée est dimensionnée par la méthode algérienne présentée dans le catalogue de l'Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics. Une évaluation environnementale sur les impacts potentiels du projet est abordée.

**Mots clés :** chaussée, environnement, évitement, impact, route, trafic.

## ملخص

مع التطور الديموغرافي والاقتصادي للمنطقة، أصبحت الاحتياجات والطلب على الرحلات البرية أكبر بكثير من البنية التحتية القائمة. يلبي تطوير شبكة الطرق العديد من الأهداف مثل تسهيل حركة المرور وتحسين إمكانية الوصول وكذلك القضاء على حركة المرور العابرة في المناطق السكنية.

عملنا بعنوان "دراسة فنية لتفادي مدينة تبسة بين الطريق RN 82 والتقاطع RN10 / RN16"، هو جزء من أعمال إنشاء طريق جديد مرصوف بطول 6 كم في مدينة تبسة التي ستضع حدا لمشكلة الازدحام عند مدخل المدينة، بسبب تدفقات المركبات الثقيلة التي تأخذ RN10 و RN16.

الهدف من هذه الدراسة هو تصميم مشروع يفي بالمعايير ويمكنه دعم حركة المرور الحالية. جعل تحليل البيانات وحساب حركة المرور من الممكن تحديد أن الفئة هي المستوى. وقد مكنتنا الخلفية الطبوغرافية وفقا للسرعات المرجعية من إنجاز الدراسة التقنية، وذلك برسم الجزء التخطيطي من المشروع: مخطط المسار، المقطع الطولي والمقاطع العرضية. تم حساب حجم أعمال الحفر باستخدام البرنامج (CIVIL 3D 2019). كما تم قياس هيكل الطريق بالطريقة الجزائرية الواردة في كتالوج الهيئة الوطنية للمراقبة التقنية للأشغال العمومية. وفي الأخير تمت مناقشة التقييم البيئي للأثار المترتبة على المشروع.

**الكلمات الرئيسية:** رصيف، بيئة، تجنب، تأثير، طريق، حركة مرور.

## **Abstract**

With the demographic and economic development of the region, the needs and demand for road trips have in places become much greater than the existing infrastructure. The development of the road network meets several objectives such as the fluidification of traffic, the improvement of accessibility as well as the elimination of transit traffic in residential areas. Our work entitled "Technical study of the avoidance of the city of TÉBESSA between the RN 82 and the intersection RN10 / RN16" is part of the construction work of a new paved road of 6 km in the city of TÉBESSA which will put an end to the congestion problem at the entrance to the city, caused by the flows of heavy vehicles which take the RN10 and RN16.

The objective of this study is to design a project that meets standards and can support current traffic. Analysis of the data and calculation of the traffic made it possible to determine that the class is level.

The technical studies from topographic background made it possible, according to the reference speeds, to draw up the graphic part of the project: the plan layout, the longitudinal profile, and the transverse profiles. The calculation of the cubature of earthworks is determined using software (CIVIL 3D 2019). The structure of the pavement is dimensioned by the Algerian method presented in the catalog of the National Body for Technical Inspection of Public Works. An environmental assessment on the potential impacts of the project is discussed.

**Keywords:** pavement, environment, avoidance, impact, road, traffic.

# LISTE DES NOTATIONS

- ✓ **T.J.M.A** : Trafic moyen journalier annuel
- ✓ **TMJA<sub>h</sub>** : trafic à l'horizon (année de mise en service 2021)
- ✓ **TMJA<sub>o</sub>** : Trafic à l'année zéro (origine 2016)
- ✓ **T<sub>eff</sub>** : trafic effectif
- ✓ **U.V.P** : Unité de véhicule particulier
- ✓ **V<sub>r</sub>** : vitesse de référence en km/h
- ✓ **L<sub>min</sub>** : Une longueur minimale d'alignement
- ✓ **L<sub>max</sub>** : Une longueur maximale
- ✓ **f<sub>t</sub>** : Coefficient de frottement transversal
- ✓ **RHM** : Rayon horizontal minimal absolu
- ✓ **R<sub>hn</sub>** : Rayon minimal normal
- ✓ **R<sub>hd</sub>** : Rayon au dévers minimal
- ✓ **R<sub>hnd</sub>** : Rayon minimal non déversé
- ✓ **S** : Surlargeur
- ✓ **R** : rayon de l'axe de la route.
- ✓ **A** : paramètre de la Clothoïde.
- ✓ **δ** : Angle polaire.
- ✓ **Δd** : variation de dévers
- ✓ **L** : longueur de raccordement.
- ✓ **I** : Largeur de la chaussée.
- ✓ **I<sub>min</sub>** : Déclivité minimum
- ✓ **I<sub>max</sub>** : Déclivité maximum
- ✓ **R<sub>v</sub>** : rayon vertical (m).
- ✓ **R<sub>vm</sub>** : rayon vertical minimal absolue
- ✓ **R<sub>vn</sub>** : rayon vertical minimal normal.
- ✓ **D<sub>0</sub>** : distance d'arrêt (m) ;
- ✓ **H<sub>0</sub>** : hauteur de l'œil (m) ;
- ✓ **H<sub>1</sub>** : hauteur de l'obstacle (m).
- ✓ **R<sub>v'</sub>** : rayon minimum du cercle de raccordement.
- ✓ **D<sub>1</sub>** : Distance d'arrêt.
- ✓ **D** : changement des devers ;



- ✓ **T** : la tangente
- ✓ **H** : la flèche
- ✓ **T<sub>eff</sub>** : trafic effectif
- ✓ **Q** : Débit de pointe horaire normale
- ✓ **P** : coefficient d'équivalence pris pour convertir les poids lourds.
- ✓ **Z** : le pourcentage de poids lourds
- ✓ **Q<sub>adm</sub>** : Débit admissible
- ✓ **K1/ K2** : coefficient correcteur
- ✓ **C<sub>th</sub>** : capacité théorique.
- ✓ **N** : Le nombre des voies
- ✓ **p1/p2** : des pentes
- ✓ **BB** : béton bitumineux.
- ✓ **GB** : grave bitume.
- ✓ **ES** : enduit superficiel.
- ✓ **M.T.L.H** : matériaux traités aux liants hydrauliques.
- ✓ **M.N.T.L.H** : matériaux non traités aux liants hydrauliques.
- ✓ **G.N.T** : grave non traitée.
- ✓ **D.B.C** : dalle en béton de ciment.
- ✓ **D.B.A.C** : dalle en béton armé continu.
- ✓ **B.M** : béton maigre.
- ✓ **P.F.S** : plate-forme support.
- ✓ **NE** : Trafic cumulé équivalent
- ✓ **C** : étant le facteur de cumul sur la période de calcul
- ✓ **n** : durée de vie.
- ✓ **τ** : Taux de croissance de trafic
- ✓ **C.B.R**: California Bearing Ratio
- ✓ **e** : épaisseur équivalente
- ✓ **I** : indice CBR (sol support)
- ✓ **N** : désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide
- ✓ **TPLi** : La classe de trafic

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Les travaux publics constituent un secteur stratégique, et important au développement social et économique. Le domaine des infrastructures routières a connu une importance particulière dans notre pays.

Avec l'évolution rapide du trafic routier en Algérie, les routes existantes deviennent de plus en plus chargées, pour cela le réseau routier nécessite une intervention urgente de modernisation, réhabilitation, dédoublement, et même la création des nouveaux tracés.

Dans tout projet routier, on doit d'abord commencer par la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain en tenant des obligations suivantes :

- Obligation de confort.
- Une obligation de sécurité, liée au tracé, à la qualité des véhicules admis et à l'adhérence de la surface de roulement.
- Une obligation économique globale.
- Dans le cas de l'étude de projet routier, il faut tenir compte des véhicules admis aux conditions de surface de la chaussée et aux conditions ambiantes (météologie, visibilité, etc.).

La route doit être construite avec beaucoup de soin et de rigueur, de façon à équilibrer entre la bonne conception, la sécurité et le confort des usagers d'une part et les aspects économiques d'autre part.  
[B40.1966]

L'objectif de notre travail est l'étude d'un tronçon routier de 6km à chaussées séparées comportant chacune deux voies en section courante (évitement de Tébessa entre rn82 et l'intersection rn10/rn16). La voie d'évitement de la ville de Tébessa s'inscrit dans le cadre du renforcement du programme de la réhabilitation du réseau routier mené depuis plusieurs années dans l'objectif d'arriver à une meilleure fluidification de la circulation et une meilleure régulation des véhicules empruntant la ville de Tébessa. Cette nouvelle voie de contournement va mettre fin au problème de congestion à l'entrée de la ville, causée par les flux de véhicules de gros tonnage qui empruntent la rn10 et la rn16.

Le mémoire est composé de sept chapitres, une conclusion générale et des annexes, qui sont organisés comme suit :

- ✓ **Le chapitre. I :** donne une notion sur la topographie.
- ✓ **Le chapitre. II :** présente une recherche bibliographique sur les routes.
- ✓ **Le chapitre. III :** des généralités sur les caractéristiques géométriques des routes : tracé en plan, et les profils en long profils en travers.
- ✓ **Le chapitre. IV :** il s'agit d'une étude géotechnique qui s'intéresse aux caractéristiques physiques et mécaniques des sols support de la nouvelle chaussée.
- ✓ **Le chapitre V :** traite le dimensionnement de la structure de la chaussée (définir l'épaisseur de chaque couche ainsi que les matériaux utilisés).
- ✓ **Le chapitre.VI :** donne la cubature des terrassements du tracé étudié.
- ✓ **Le chapitre. VII :** une analyse des impacts du projet sur l'environnement.

Enfin une conclusion générale et des annexes termine le manuscrit sur le travail entrepris.

**ANNEXE A :** Rapport sur l'abscisse curviligne des PI de l'axe.

**ANNEXE B :** Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long, côte du projet 1.

**ANNEXE C :** Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long, côte du projet 2.

**ANNEXE D :** Rapport sur les volumes (côte du projet 2).

## **Présentation du projet**

### **1- Description du tronçon routier**

Le tracé de l'évitement de Tébessa se situe entièrement dans la ville. Il débute à son extrémité ouest sur la rn10, s'achemine vers l'est en traversant la voie ferrée au pk 04+060 et franchit des oueds aux pk 04+600 et 14+133 par des ouvrages d'art.

Trois carrefours plans ont été aménagés à son croisement avec :

- La rn16 reliant Tébessa à Annaba au pk 4+735.
- La rn10 reliant Tébessa à Constantine au pk 166.
- La rn82 reliant Tébessa à Ouenza au pk 11+250.

L'étude des fondations des ouvrages d'art et de la stabilité des remblais importants a été élaborée sur la base des résultats des essais appropriés.

## 2- Présentation du projet :

Notre projet concerne d'évitement routier dans la wilaya de Tébessa. Il débute de la rn 82 (pk 0.000) et se termine à l'intersection du rn 10/rn 16 (pk5+597.830).



**Fig.01** Situation géographique de l'évitement de Tébessa.

Cet évitement routier à étudier s'étend sur une longueur de 5.598 km et véhicule un trafic journalier moyen important estimé à l'ordre de 11460 v/j à l'année 2016.

Le tracé consiste à maintenir au maximum la chaussée existante et à procéder à son dédoublement.

- le pourcentage du poids lourds est 35 %, selon un dernier comptage effectué par DTP (direction des travaux publics) de Tébessa en 2016.
- l'itinéraire du projet se situe dans un relief plat, et se caractérise par des faibles sinuosités (e1). Il est classé en catégorie (c1) et la vitesse de base du projet est estimée à 80 km/h.

## 3- Objectif de l'étude

L'évolution de la demande en transport générée par le développement et l'extension du tissu urbain dans la wilaya de Tébessa a conduit à la nécessité de construire des nouvelles routes ; c'est pour cela, l'évitement routier de la ville de Tébessa a été réalisé, cet évitement pouvant jouer le rôle d'un périphérique interurbain en prenant en charge le trafic de transit.

# **Chapitre I :**

## **Notion Sur La Topographie**

## Chapitre I

### Notion sur la topographie

#### 1- Introduction

La détermination des coordonnées et de diverses caractéristiques de points dans l'espace occupe une place importante dans la plupart des études à buts environnementaux. L'objectif de ces déterminations est généralement l'étude de l'aspect géographique des inters relations entre les divers paramètres ou indicateurs relevés.

L'objet de ce chapitre est de balayer l'ensemble des méthodes et techniques à la disposition des bureaux d'études pour acquérir des informations à la fois géométriques et thématiques sur des objets tridimensionnels, qui composent nos paysages urbains et naturels.

Il ne s'agit évidemment pas de former des topographes chevronnés, mais bien de donner une culture technique de base pour permettre d'une part un dialogue avec les professionnels et d'autre part, lorsque c'est nécessaire, la mise en œuvre de protocoles de mesures simples [S. KESTELOOT, 2017].

#### 2- Une carte et un plan

##### 2-1 Un plan

Un plan est une représentation graphique d'une portion restreinte de la terre obtenue par projection orthogonale sur une surface plane. Les détails y sont représentés à l'échelle [K. NOURIA, 2015].

##### 2-2 Une carte

Une carte est une représentation conventionnellement réduite d'une certaine portion de terrain à petite échelle. Obtenons les relations suivantes entre les échelles classiques des documents et le type de détails représentés [S. KESTELOOT, 2017] :

- Plan de maison  $\rightarrow \frac{1}{50}$ .
- Plan de corps de rue (murs, égouts, trottoirs...)  $\rightarrow \frac{1}{200}$  à  $\frac{1}{500}$ .
- Plan de lotissement, d'occupation des sols, cadastre  $\rightarrow \frac{1}{1000}$  à  $\frac{1}{200}$ .

### 3- Les appareils topographiques

#### 3-1 Le vocabulaire

Ces précisions sémantiques concernent autant les appareils que les méthodes topographiques. Elles se concrétiseront au fil de l'avancée du chapitre [F. MESSAOUD, 2017].

- ✓ **Axe de visée, axe de collimation** : ligne passant par les foyers de l'objectif d'une lunette et le point de mesure en correspondance avec le réticule.
- ✓ **Basculement** : la lunette du théodolite est tournée de 200 gr autour de l'axe horizontal pour éliminer les erreurs instrumentales.
- ✓ **Calage et mise en station** : opération effectuée par l'opérateur pour amener l'axe vertical de l'appareil à l'aplomb d'un repère sur le sol.
- ✓ **Correction** : valeur algébrique à ajouter à une valeur observée ou calculée pour éliminer les erreurs systématiques connues.
- ✓ **Croisée du réticule** : croix dessinée sur le réticule représentant un point de l'axe de visée.
- ✓ **Erreur de fermeture** : écart entre la valeur d'une grandeur mesurée en topométrie et la valeur fixée ou théorique.
- ✓ **Fils stadimétriques** : lignes horizontales marquées symétriquement sur la croisée du réticule. Elles sont utilisées pour déterminer les distances à partir d'une échelle graduée placée sur la station.
- ✓ **Hauteur de l'appareil** : distance verticale entre l'axe horizontal de l'appareil et celle de la station.
- ✓ **Implantation** : établissement de repères et de lignes définissant la position et le niveau des éléments de l'ouvrage à construire.
- ✓ **Levé** : relevé de la position d'un point existant.
- ✓ **Lunette** : instrument optique muni d'une croisée de réticule ou d'un réticule, utilisé pour établir un axe de visée par l'observation d'un objet de mesure.
- ✓ **Mesurage** : opérations déterminant la valeur d'une grandeur.
- ✓ **Nivelle** : tube en verre scellé, presque entièrement rempli d'un liquide (alcool) dont la surface intérieure a une forme bombée obtenue par moulage, de sorte que l'air enfermé forme une bulle qui prend différentes positions suivant l'inclinaison du tube.
- ✓ **Nivellement** : opération consistant à mettre une ligne ou une surface dans la position horizontale, ou mesurage de différences de niveaux.

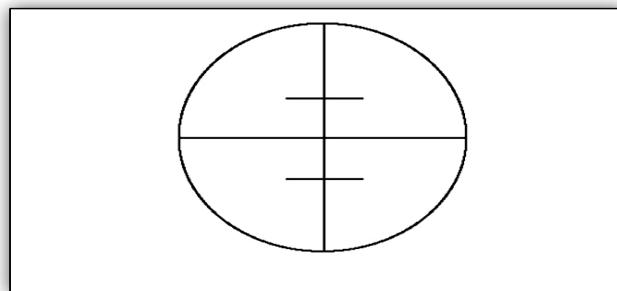
- ✓ **Repères** : points dont on connaît les coordonnées.
- ✓ **Réticule** : disque transparent portant des traits ou des échelles. Il permet d'effectuer correctement des lectures.
- ✓ **Signal, balise** : dispositif auxiliaire pour indiquer l'emplacement d'une station (par un jalon).
- ✓ **Station** : tout point à partir duquel ou vers lequel on effectue une mesure. Cela peut être un point spécifié sur un bâtiment ou un point marqué dans la zone d'étude.
- ✓ **Tolérance** : variation admissible pour une dimension.

### 3-2 Les nivelles

La nivelle se décline essentiellement en deux types : la section de tore et la section de sphère. Le but de cet instrument est de contrôler le calage d'un point, d'un plan, d'un axe de visé... On parle généralement de sensibilité de la nivelle pour qualifier la "vitesse" à laquelle va réagir la bulle. La valeur indiquée dans les documentations constructrices se réfère généralement à l'angle d'inclinaison nécessaire au déplacement de la bulle d'une division (couramment 2mm). De façon générale, les nivelles toriques sont beaucoup plus sensibles, et précises que les nivelles sphériques. Ces dernières sont d'ailleurs généralement utilisées pour effectuer des calages rapides, avant l'emploi de nivelles électroniques et/ou la mise en action de dispositifs de compensation [JEAN ET ALL, 2017].

### 3-3 Les lunettes

Les lunettes sont des systèmes optiques comprenant un réticule et plusieurs lentilles, dont un dispositif de mise au point. Le système optique est caractérisé par les grandeurs classiques de l'optique géométrique : champ, grossissement... Le réticule est le dispositif de lecture et de visée. Ce jeu de lignes (**Fig.I.1**) est actuellement gravé sur une lame à faces parallèles, mais en d'autres temps [JEAN ET ALL, 2017].



**Fig.I.2** Exemple de réticule, avec fils stadimétriques [JEAN ET ALL, 2017].



### 3-4 Le nivellement

Le nivellement est l'ensemble des opérations qui permettent de déterminer des altitudes et des dénivelées (différences d'altitudes).

Si deux points A et B sont peu éloignés l'un de l'autre, on peut définir deux plans horizontaux parallèles passant par A et B qui sont perpendiculaires aux verticales et elles-mêmes parallèles entre elles [D. BOUTELOUP Et All, 2010].

#### 3-4-1 Nivellement direct ou géométrique

Les méthodes de nivellement direct constituent l'arsenal le plus efficace pour déterminer l'altitude de points particuliers. La précision des déterminations dépend du matériel employé mais aussi et surtout, des méthodes, ce que nous allons aborder maintenant [F. MESSAOUD, 2017] :

- **Nivellement par rayonnement** : la première mesure est effectuée sur un point d'altitude connue, de façon à déterminer l'altitude du plan de visée. A partir de là, toutes les altitudes sont déterminées par différence par rapport à ce plan. Cette méthode permet de lever rapidement un semis de points matérialisés (sondages, points de berges, defonds...). Elle présente néanmoins l'inconvénient de n'offrir aucun contrôle sur les déterminations : toute erreur de lecture est indétectable et fatale.
- **Nivellement d'itinéraires par cheminement** : c'est la méthode la plus couramment employée pour déterminer les altitudes de points matérialisés, non situés à une même distance d'une seule station d'appareil. Elle est également plus sûre, quant aux éventuelles erreurs de lecture, et plus intéressante du point de vue de la précision des déterminations : on dispose de méthodes de compensation des erreurs très efficaces.

Plusieurs règles sont appliquées pour minimiser l'influence des erreurs systématiques et accidentelles : les portées équidistantes, les contrôles de marche, le contrôle surfermeture...

- **Nivellement de franchissement** : s'applique dans le cas de franchissement de vallées, où le principe des portées équidistantes est inapplicable. On travaille dans ce cas simultanément avec deux appareils, de part et d'autre de l'obstacle (le cas idéal étant de pouvoir les aligner avec les mires), afin de minimiser les erreurs instrumentales et atmosphériques.
- **Nivellement d'auscultation** : sert de repère et permet de mesurer les variations dans le temps (barrage, pont, bâtiment). Elle nécessite l'application de tous les principes énoncés précédemment, et plus encore : équidistance, réglage optimal du niveau, mires en invar, contrôles, problèmes de réfraction accidentelle (intérieur/extérieur d'un bâtiment).

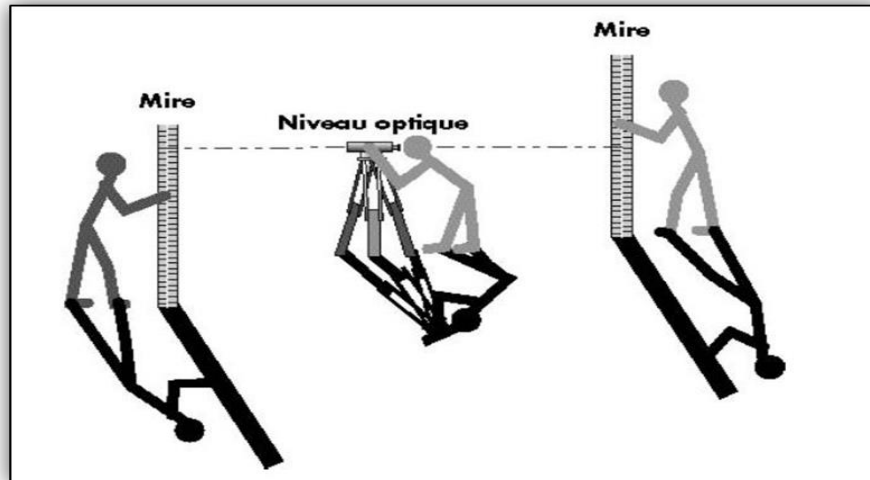


Fig. I.3 Lecture directe [F. MESSAOUD, 2017].

### 3-4-2 Nivellement indirect ou trigonométrique

A la différence, le nivellement trigonométrique est réalisé par calcul de la dénivelée à partir de la distance oblique entre les points, et l'angle (également appelé distance) zénithal. Le principe général est explicité par la figure ci-dessous.

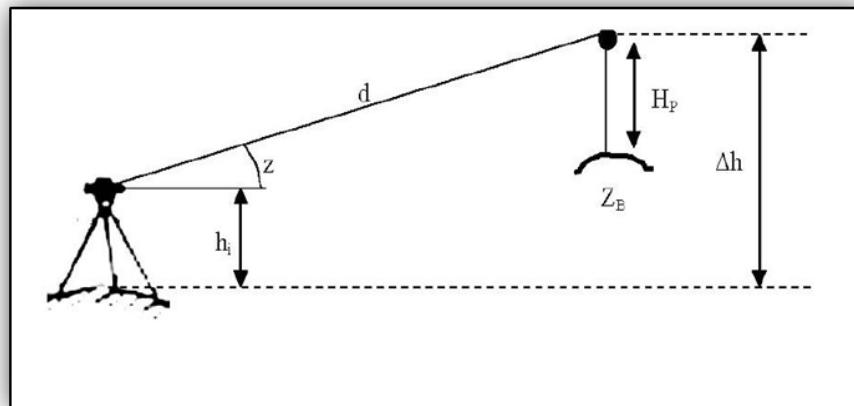


Fig. I.4 Principe du nivellement trigonométrique [F. MESSAOUD, 2017]

Selon ce schéma, l'altitude du point B peut être reliée à celle du point A par la relation : Le nivellement trigonométrique peut être employé selon la méthodologie du cheminement. Ainsi, il n'est pas nécessaire de déterminer ni la hauteur d'appareil  $h_i$ , ni la hauteur de prisme (qui doit cependant rester constante

pour une même station). On n'exploite alors que la distance oblique et la distance zénithale [F. MESSAOUD, 2017].

### 3-5 Les Appareils

#### 3-5-1 Le niveau

Le niveau consiste à associer une lunette, un système de mise en horizontalité et un dispositif de lecture. Le système de visée rendu horizontal permet d'effectuer des lectures métriques sur des mires graduées. La lunette tourne autour d'un axe vertical appelé axe principal qui lui est perpendiculaire et décrit ainsi un plan horizontal [D. BOUTELOUP Et All, 2010].



Fig. I.5 Niveau de chantier [D. BOUTELOUP Et All, 2010].

Il y a 3 types du niveau [JEAN ET ALL, 2017] :

- **Le niveau de chantier** : constitue le matériel le plus simple et le moins onéreux. Il offre généralement une précision très moyenne et est d'une mise en œuvre simple. Le calage est assuré par une nivelle torique.
- **Le niveau automatique** : constitue actuellement l'entrée de gamme de la plupart des constructeurs (les niveaux de chantiers sont de plus en plus souvent automatiques). Il est doté d'un système qui permet de compenser le défaut de calage de l'appareil à la mise en station (prisme suspendu, réticule suspendu, systèmes pendulaires...). Le dispositif de calage est alors une nivelle sphérique.
- **Le niveau numérique** : se répand toujours plus chez les professionnels. D'une grande simplicité d'utilisation, il utilise des principes de compensation similaires au niveau automatique, une caméra CCD et une mire à code-barres. Il permet alors de s'abstenir complètement de la mesure, et des erreurs qu'elle comporte.

### 3-5-2 Le tachéomètre

Le tachéomètre combine un théodolite et un dispositif de mesure de distance. Celui-ci peut être intégré à la lunette, ou indépendant et fixé au-dessus de la lunette. Dans ce second cas, les systèmes de visée et de mesure de distance sont placés sur des axes parallèles : il est alors nécessaire de prendre en compte le déport entre les deux, extrêmement important sur les visées courtes. Les principes de la tachéométrie électronique sont relativement simples, et nous nous y limiterons (informations issues du Lexique topographique de l'AFT) [F. MESSAOUD, 2017].

Le dispositif de mesure électronique des longueurs est appelé distance mètre. L'émetteur produit un train d'ondes électromagnétiques et le récepteur analyse l'écho renvoyé par un réflecteur. L'onde émise est appelée onde porteuse, et fait l'objet d'une modulation.

Le procédé de mesure consiste à comparer la phase de modulation de l'onde reçue à celle de l'onde émise après le trajet aller-retour. Plus concrètement, la mesure est réalisée par une émission successive de plusieurs fréquences distinctes, permettant ainsi de lever l'ambiguïté sur le nombre de cycles entre l'émetteur et le réflecteur. Les réflecteurs les plus souvent utilisés sont des coins de cubes, ou prismes rhomboédriques [S. KESTELOOT, 2017].



**Fig. I.6** Le tachéomètre [F. MESSAOUD, 2017].

### 3-5-3 Le théodolite

Instrument de visée composé d'une lunette montée sur une fourche lui permettant de tourner autour d'un axe horizontal, utilisé en géodésie et en astronomie pour mesurer les angles horizontaux ou verticaux et les coordonnées azimutales d'un astre. [FREYCINET, VOY, 1826].



**Fig. I.7** Le théodolite [S. MILLES, J. LAGOFUN, 1999].

## 4- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé des notions générales sur la topographie qui s'implique en plusieurs activités, et parmi ses applications, les travaux qui sont liés aux autoroutes et les routes, ces travaux s'étendant sur des grandes distances par exemple : Implanter l'axe de la route, piqueter les courbes routières, c'est ce que nous montrerons dans le prochain chapitre.

## **Chapitre II :**

# **Généralité Sur Les Routes**

## Chapitre II

### Généralités sur les routes

#### 1- Introduction

Depuis la création de l'univers, Dieu a donné une grande richesse à l'homme en l'occurrence la terre c'est ainsi que le domaine de route constitue une partie très importante du patrimoine national d'un pays. Elle est, alors, un facteur très important de développement économique et social ; entre les villes, les provinces, les pays et des civilisations. Jusqu'à la fin du siècle dernier, le choix d'un tracé s'inspirait avant tout de la recherche du plus court chemin, tout en limitant les déclivités à des valeurs compatibles avec la traction animale. [T. NINOUEH, 2018]

Le réseau routier a été développé pour répondre aux demandes de déplacement des individus.

Les routes ont été conçues pour répondre notamment à une demande commerciale mais aussi pour répondre aux déplacements domicile-travail, aux migrations de population notamment lors des congés de fin de semaines et les vacances, etc. La montée des préoccupations environnementales et la volonté d'orienter les systèmes de transport vers une croissance plus durable (y compris du point de vue des coûts de financement et d'exploitation des infrastructures) limitent les constructions de nouvelles routes et les élargissements des routes existantes. De plus, les aspects de sécurité lors des déplacements sont jugés de plus en plus importants [ESPIE Et Al., 2002].

#### 1-1 Définition de la route

« Le mot route vient du mot latin « viarupta » qui signifie « voie frayée » c'est donc une voie de communication terrestre permettant de relier un point à une autre, un village à un autre, etc. Nous allons également définir la route moderne comme étant « un espace correctement aménagé pour recevoir un ou plusieurs courants de circulation construite dans le respect des règles d'art ». [FRANCO OLIVIER, 1999].

### 2-1 Historique

Les premières véritables chaussées furent construites par les Romains pour leurs voies impériales, avec un objectif essentiellement utilitaire, celui de permettre un déplacement rapide des légions en différents points de l'empire, quelles que soient les conditions météorologiques.

Les chaussées de cette époque étaient déjà constituées de plusieurs couches de matériaux, parfaitement codifiées, avec de grandes dalles en pierres posées sur un béton de chaux.



**Fig. II.8** Les chaussées romaines [Site N°01]

Avec l'apparition des véhicules plus lourds et plus nombreux, et le début de la mécanisation des travaux, on voit se développer les structures à base de « hérisson » et de « macadam ». Les chaussées de l'époque étaient composées de blocs de 250 mm environ pour le « hérisson » et de pierres cassées 40/70mm pour le « macadam », bloquées avec de l'argile.





**Fig.II.9** Route macadam [Site N°02]

Depuis les années 50, avec les nouvelles conditions de trafic, notamment les poids lourds avec son essieu simple de 13 tonnes, les anciennes solutions type empierrement ou macadam se sont avérées insuffisantes, et l'on a été amené à généraliser l'emploi de matériaux agglomérés par un liant tant pour le corps de chaussée que pour la surface. [T. NINOUEH, 2018]

## **2-2 Construction des chaussées**

L'objet premier des constructeurs de routes est la réalisation de chaussées résistantes aux passages des véhicules. La chaussée a donc pour but de permettre la circulation en toute saison et sans autre intervention qu'un simple entretien de sa surface, un deuxième avantage des chaussées est d'offrir aux véhicules des surfaces unies, peu sonores, confortables et sûres.

Les procédés de construction doivent être économiques et les matériaux utilisés doivent être bon marché et résistants vu l'importance des surfaces devant être pourvues de chaussées. Les matériaux utilisés sont des matériaux pierreux provenant de roches concassées ou de gisement de graviers.

Les chaussées sont constituées par des empilements de couches successives de matériaux auxquelles on a été amené à leur conférer l'imperméabilité et cohésion grâce à deux liants produits à grande échelle :

- ✓ Liants hydrocarbonés (bitume - goudron) ;

- ✓ Liants hydrauliques (ciment).

Concevoir une chaussée, c'est à la fois éditer les normes auxquelles il convient que les matériaux satisfassent et décider de la nature et de l'épaisseur des couches successives à réaliser.

Il est toujours possible de concevoir plusieurs types de chaussées techniquement équivalentes, c'est à dire procurant le même service aux usagers et constructibles. Mais ces diverses solutions n'entraînent pas forcément les mêmes dépenses de construction. Il importe donc au stade de l'étude de connaître le coût de chacune des solutions.

Le choix de la solution étant fait, il reste à construire la chaussée. Il faut, alors, réunir le personnel et le matériel apte à réaliser un ouvrage conforme à celui conçu.

Et encore, de nombreuses solutions sont possibles. Certaines sont plus économiques, plus sûres, plus rapides. C'est l'une des tâches de l'ingénieur d'entreprise que de définir aussi précisément que possible les opérations à exécuter compte tenu du matériel dont il dispose. [A. NEHAOUAL, 2013].

## **2- Les caractères de la circulation routière**

### **2-1 Notion sur les pneumatiques**

Le pneu est l'élément indispensable au déplacement d'un véhicule. IL doit conserver toutes ses performances par tous les temps et sur tous les revêtements de route. Le pneu assure la stabilité de la trajectoire du véhicule sur tous types de revêtements (goudron, terre, cailloux, pavés, ciment...) et selon toutes les conditions météorologiques (chaleur, pluie, vent, neige...). La stabilité de la trajectoire est, essentiellement, apportée par la pression des pneus.

### **2-2 Quelques caractéristiques des véhicules**

Les principes généraux sur les caractéristiques des véhicules admis à circuler sur les routes ont été réglementés dans le code de la route (convention internationale sur la circulation routière- Genève 19/09/1949), mais chaque pays peut établir sa propre réglementation de la circulation routière tout en respectant les principes généraux.

Pour les véhicules automobiles [Code de la route] :

- véhicules à deux essieux = 19 tonnes
- véhicules à trois essieux = 26 tonnes
- véhicules articulés = 38 tonnes
- Charge maximum : 13 tonnes par essieu.

- Poids total : 5 tonnes / ml de distance entre 2 essieux extrêmes.
- Pression de gonflage des pneumatiques  $\approx 8 \text{ Kg / cm}^2$ .
- Largeur maximum (toutes saillies comprises) = 2,50 m.
- Longueur maximum = 12 m (11m normale)
  - = 15 m (véhicule articulé sans remorque)
  - = 18 m (avec remorque).

### 3- Détermination du niveau de service

#### 3-1 Définition

Le niveau de service  $N_{ij}$  d'une route de catégorie  $C_i$  se développant dans un environnement  $E_j$ , est caractérisé par le respect de seuils relatifs aux critères suivants [A. NEHAOUAL, 2013] :

- Vitesse du véhicule,
- Paramètres physiques fondamentaux du comportement de l'utilisateur (temps de réaction, condition de visibilité, condition de confort),
- Paramètres caractéristiques de la dynamique des véhicules (coefficient de frottement pneus chaussées, accélération, décélération, dévers maximal),
- Géométrie (largeur des voies, gabarit),
- Qualité rendue à l'utilisateur (débit horaire admissible),
- Permanence de la liaison,
- Incidence sur les régions traversées.

#### 3-2 Classification des routes

En vue de faire une classification correcte des chaussées routières, il faut connaître les matériaux qui peuvent être utilisés dans les couches routières par leurs caractéristiques intervenant dans les méthodes de dimensionnement adoptées, et leur comportement en exploitation, qui peut conduire, par des études de longue durée malheureusement, à des conclusions intéressantes destinées à influencer les étapes de calcul de dimensionnement, les technologies d'exécution, l'implémentation de nouvelles solutions, etc. [T. NINOUEH, 2018].

Une classification quelle qu'elle soit est en général conçue à partir d'un certain point de vue, selon une certaine base de jugement c'est à dire selon un critère qui peut être [T. NINOUEH, 2018] :

- 1- D'utilité pratique et de situation ;
- 2- D'ordre fonctionnel et type d'usage ;
- 3- D'ordre constructif ;
- 4- Faisant état de la nature du trafic ;
- 5- D'ordre administratif et juridique.

### **3-2-1 Classification d'utilité pratique et de situation [T. NINOUEH, 2018]**

- Les voiries urbaines ;
- Les routes interurbaines ;
- Les routes « de rase campagne », sont une autre dénomination des routes interurbaines ;
- Les routes forestières, situées en forêt,
- Les routes de montagnes, soumises à des contraintes particulières d'aménagement et d'entretien

### **3-2-2 Classification d'ordre fonctionnel et type d'usage**

- **Le réseau autoroutier** : Regroupe l'ensemble des infrastructures autoroutières
- **Le réseau national** : Rassemble essentiellement les routes interrégionales et celles qui relient entre elles les agglomérations principales (généralement plus de 25 000 habitants).  
Le réseau régional fait le lien entre les agglomérations secondaires (généralement de 5000 à 25000 habitants) et entre celles-ci et les agglomérations principales
- **Le réseau collecteur** : Relie les petites agglomérations (moins de 5000 habitants) à celles qui sont plus importantes.
- **Le réseau local** : Permet de relier les petites agglomérations entre elles et d'accéder aux propriétés.
- **Le réseau d'accès aux ressources** : Mène à des zones d'exploitation forestière ou minière, à des chantiers hydroélectriques ou à des zones de récréation et de conservation de compétence gouvernementale. [TOME 1, 2005].

### 3-2-3 Classification d'ordre constructif

- Mode d'exploitation et financement.
- Nature du revêtement, le réseau routier est constitué à la fois de routes revêtues et de routes non revêtues. On distingue les routes revêtues des routes en terre. Parmi les routes revêtues, il y a les routes revêtues en enrobés, en enduits superficiels (couche de bitume ou émulsion de bitume et de gravillons) et les routes en béton [T. NINOUEH, 2018].

### 3-2-4 Classification faisant état de la nature du trafic

D'après les campagnes de comptage une classification de réseau algérien a été établie selon la consistance du trafic (RN1, RN5 et RN4 sont les routes les plus chargées) [A. NEHAOUAL, 2013].

### 3-2-5 Classification d'ordre administratif et juridique

Elle est fondée sur les notions de propriétés, de financement et d'entretien, éventuellement aussi sur la question des compétences en matière de planification générale et d'approbation des projets définitifs [A. NEHAOUAL, 2013].

- **Catégorie de la route**

L'ensemble des itinéraires de l'ALGERIE peut être classé en cinq catégories fonctionnelles, correspondant aux finalités économiques et administratives assignées par la politique d'aménagement du territoire [B40,1977]

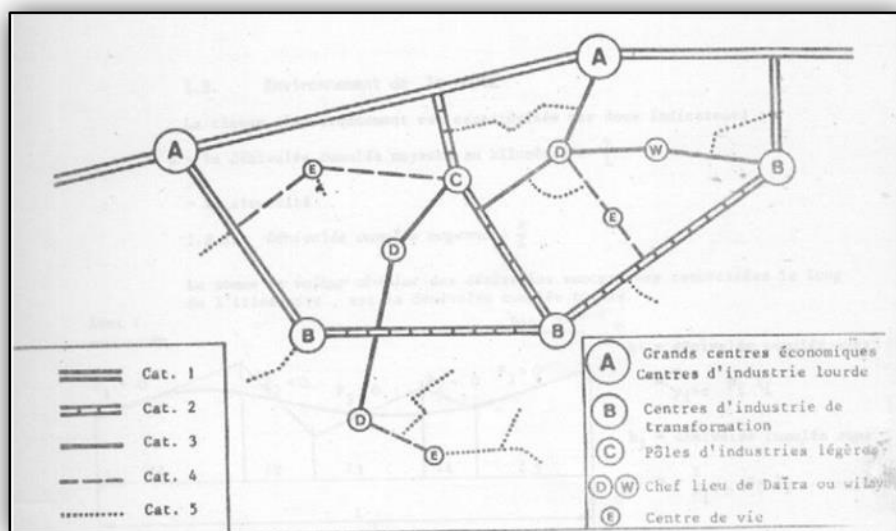


Fig. II.10 Classification des routes en Algérie. [T. NINOUEH, 2018]

**Catégorie 1 :** Liaisons entre les grands centres économiques, les centres d'industrie lourde (A)

Liaisons assurant le rabattement des centres d'industrie de transformation (B) sur ce réseau.

**Catégorie 2 :** Liaisons entre les centres d'industrie de transformation (B), Liaisons assurant le rabattement des pôles d'industries légères diversifiées (C) sur le réseau précédent (Cat .1.)

**Catégorie 3 :** Liaisons des chefs-lieux de daïra et de wilaya (D) non desservis par le réseau précédent, avec le réseau des catégories 1 et 2.

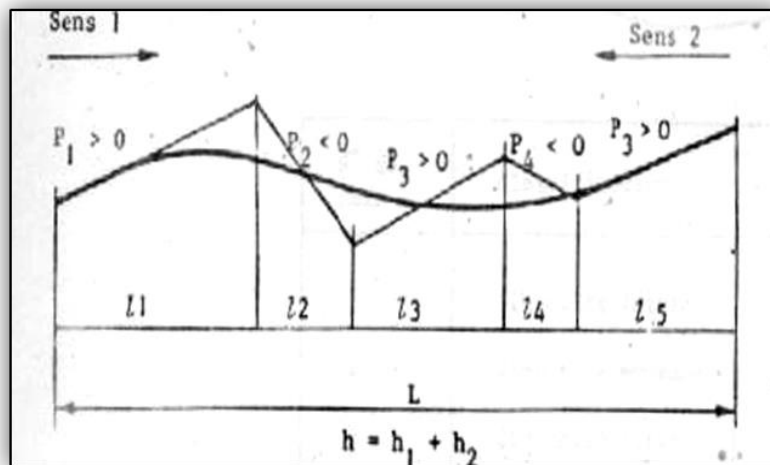
**Catégorie 4 :** Liaisons des centres de vie (E) avec le réseau des catégories 1 et 3.

**Catégorie 5 :** Routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes.

- **Environnement de la route E<sub>j</sub>**

Caractérisé par [B40, 1977] :

- Dénivelée cumulé moyenne au Km :  $h / L$  permettant de mesurer la variation longitudinale du relief



**Fig. II.11** Variation longitudinale du relief. [A. NEHAOUAL, 2013]

Avec  $h$  : *dénivelée totale* =  $\sum h_i = \sum p_i \cdot l_i$  et  $L$  : *longueur itinéraire*.

$h/L \leq 1,5\%$  → *terrain plat*

$1,5\% < h/L \leq 4\%$  → *terrain vallonné*

$h/L > 4\%$  → *terrain montagneux*

- Sinuosité moyenne :  $\sigma = \frac{ls}{l}$ .

Longueur des courbes de  $R \leq 200m$  / longueur totale

$$L_s = l_1 + \dots + l_5 \quad (R \leq 200m)$$

$$L = LAB$$

$\sigma \leq 0,1 \rightarrow$  *sinuosité faible*

$0,1 < \sigma \leq 0,3 \rightarrow$  *sinuosité moyenne*

$\sigma > 0,3 \rightarrow$  *sinuosité forte*

**Tableau II.1** : Types d'environnements. [B40,1977]

Relief/Sinuosité	Environnement		
	Faible	Moyenne	Fort
<b>Plat</b>	E1	E2	/
<b>Valonnée</b>	E2	E2	E3
<b>Montagneux</b>	/	E3	E3

#### 4- Terminologie

##### 4-1 Eléments géométriques [T. NINOUEH, 2018]

- **La route** : est placée sur le terrain qui est naturel avant tous travaux ou préparé après exécution des terrassements.
- **L'emprise de la route** : est la surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est à dire dans les limites du domaine public.
- **L'assiette de la route** est la surface du terrain réellement construite pour créer la route (y compris les talus), c'est à dire dans les limites des terrassements.
- **La plate-forme**, entre fossés ou crêtes des talus en remblai, comprend la chaussée, plus les accotements (éventuellement y compris terre - pleins et voies auxiliaires).
- **La chaussée** est la partie de la route affectée à la circulation des véhicules.
- **Une voie** est une bande de la chaussée correspondant à une largeur de véhicule et circulée dans un seul sens.

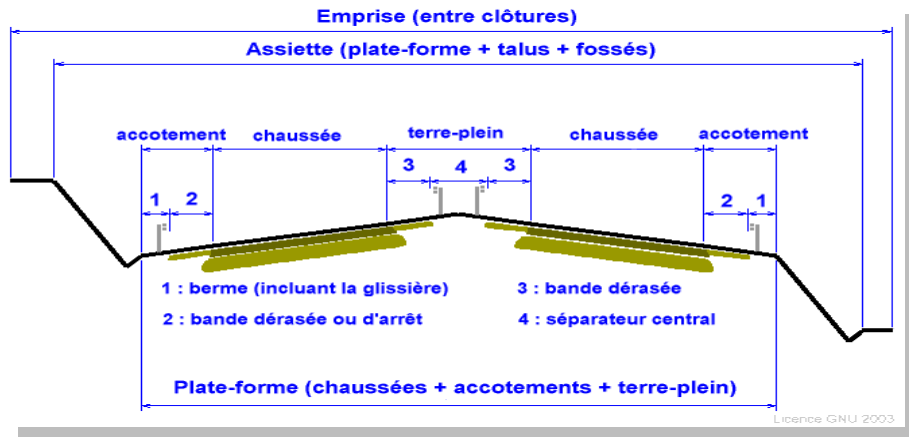


Fig. II.12 Profil en travers [WIKIPEDIA.ORG, 2020]

#### 4-2 Eléments constructifs

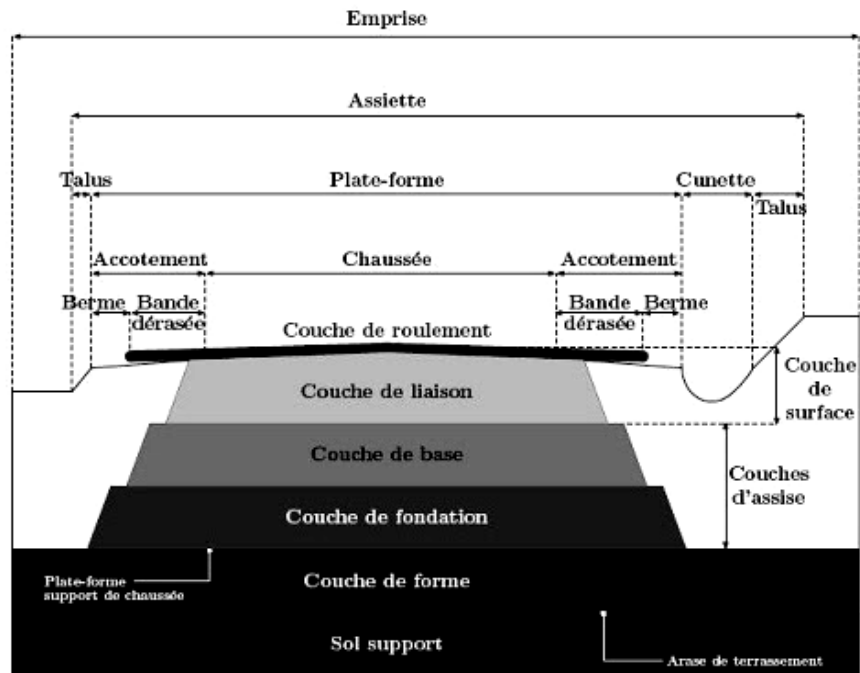


Fig. II.13 Coupe transversale d'une chaussée. [EHG, 2010]

#### 5- Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur l'historique des routes, ses classifications, des notions générales sur les routes. On a besoin d'étudier le trafic pour la conception des routes, c'est ce que nous verrons dans le chapitre suivant.



## **Chapitre III :**

# **Caractéristiques Géométriques Des Routes**

## Chapitre III

### Caractéristiques géométriques des routes

#### 1- Etude du trafic

##### 1-1 Introduction

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

L'étude de trafic constitue un moyen important de saisie des grands flux à travers un pays ou une région, Elle représente une partie appréciable des études de transport, et constitue parallèlement une approche essentielle de la conception des réseaux routiers [A. NEHAOUAL, 2013].

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

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

##### 1-2 l'analyse des trafics existants

L'étude du trafic est une étape importante dans la mise au point d'un projet routier et consiste à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route.

##### 1-2-1 Facteurs influant sur la conception des routes

Les facteurs qui influent sur la conception d'un projet routier sont :

- Le volume de circulation ;

- La classification de la route ;
- Les types de véhicules ;
- La composition du flot de véhicules ;
- Les piétons ;
- La sécurité ;
- Le type de sol ;
- Le climat ;
- l'esthétique ;
- Les facteurs sociologiques.

### 1-2-2 Vocabulaire

Le trafic est l'un des paramètres d'entrée du catalogue. Pour le dimensionnement des chaussées, il est nécessaire de connaître le nombre de poids lourds qu'aura à supporter la chaussée durant sa durée de vie (TC). Pour le choix des couches de surface, il est nécessaire de connaître la classe de trafic  $T_i$  déterminée à partir de la moyenne journalière annuelle en PL à la mise en service (MJA). [M. A. DESTOMBES Et al, 2002] :

- **Trafic de transit** : origine et destination en dehors de la zone étudiée (important pour décider de la nécessité d'une déviation) ;
- **Trafic d'échange** : origine à l'intérieur de la zone étudiée et destination à l'extérieur de la zone d'échange et réciproquement (important pour définir les points d'échange) ;
- **Trafic local** : trafic qui se déplace à l'intérieur de la zone étudiée ;
- **Trafic moyen journalier annuel (T.J.M.A)** : égal au trafic total de l'année divisé par 365 ;
- **Unité de véhicule particulier (U.V.P.)** exprimé par jour ou par heure, on tient compte de l'impact plus important de certains véhicules, en particulier les poids lourds en leur affectant un coefficient multiplicateur.
- **Le trafic journalier moyen d'été** : important pour les régions estivales.

### 1-2-3 Volume de circulation

L'étude des volumes de circulation permet une bonne conception des routes. Elle sert aussi à la classification des routes selon leur importance, à la planification routière, à la réglementation, à la signalisation et à la recherche. Les volumes peuvent s'exprimer de différentes façons : volume horaire maximum, volume journalier moyen (jour moyen annuel J.M.A), volume annuel moyen, et volume horaire par voie de circulation [A. NEHAOUAL, 2013]

### 1-2-4 Les comptages

C'est l'élément essentiel de l'étude de trafic, dont il comprend deux types [C, Roger.1969] :

#### a) Les comptages manuels

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

#### b) Les comptages automatiques

On distingue ceux qui sont permanents et ceux qui sont temporaires. En ce qui concerne les comptages permanents, ils sont réalisés en certains points choisis pour leur représentativité sur les routes les plus importantes. Les comptages temporaires s'effectuent une fois par an durant un mois pendant la période où le trafic est intense.

### 1-2-5 Les enquêtes

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. Il existe plusieurs types d'enquêtes [C, Roger.1969] :

#### a) Les enquêtes simplifiées

- Enquêtes par relevé minéralogique ;
- Enquêtes par cartes ;
- Enquêtes papillons.

#### b) Les enquêtes complètes

- Enquêtes par interview le long des routes ;
- Enquêtes par interview à domicile ou enquêtes ménages.

### 1-2-6 Différents types de trafics

On distingue quatre types de trafic [D, HABITA ; A, GUEDIRI.2013] :

✓ **Trafic normal**

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

✓ **Trafic dévié**

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

✓ **Trafic induit**

Le trafic induit est composé de différents termes qui correspondent chacun à un changement de comportement des usagers. On distingue, généralement, les modifications de comportement à court et à long terme.

✓ **Trafic total**

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

### 1-3 Capacité d'une route

La capacité d'une route est le nombre maximal de véhicule qu'on est en droit de s'attendre à voir circuler dans une section donnée, dans une direction et pendant une période de temps définie (en générale ¼ d'heure).

Elle est fonction du nombre de voies de circulation, de la largeur de ces voies, du dégagement latéral, de la pente, du pourcentage de camions et d'autobus, de la visibilité et du contrôle des accès [B40, 1977].

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

La capacité dépend [B40, 1977] :

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

## 1-4 Conclusion

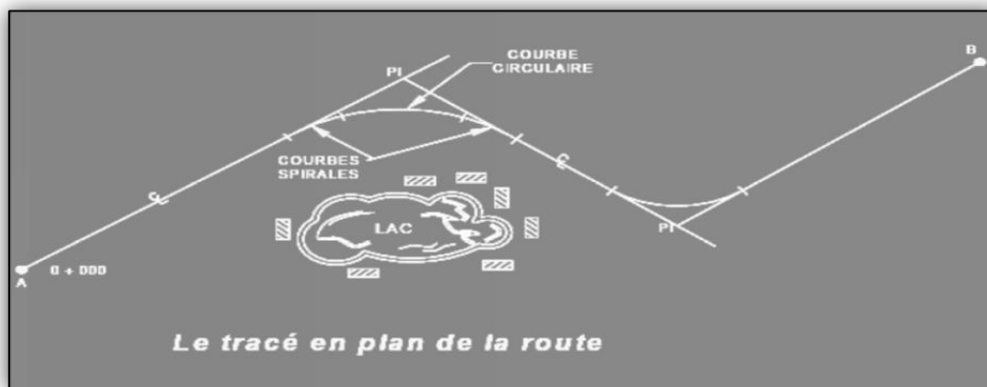
Enfin, l'étude de trafic est une tâche nécessaire aux réflexions sur le développement des infrastructures de transport voire le développement du pays. L'étude de trafic impactera directement les caractéristiques de la route à créer ainsi que leur type d'aménagement à réaliser (nombre de voies, type d'échanges et aussi dimensionnement de la chaussée). Concernant les recensements, on a les comptages (manuels et automatiques) et les enquêtes (complètes et simplifiées). Ce recensement permettra d'hierarchiser le réseau routier par rapport aux fonctions qu'il assure, et de mettre en évidence les difficultés dans l'écoulement du trafic et de ses conséquences sur l'activité humaine. À partir de cette étude on a besoin de déterminer le meilleur choix du tracé routier et c'est ce que nous discuterons.

## 2- Tracé en plan

### 2-1 Introduction

Le tracé en plan est une succession des droites reliées par des liaisons. Il représente la projection de l'axe routier sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité et qui sont données, directement, dans les codes routiers en fonction de la vitesse de base et le frottement de la surface assuré par la couche de roulement [B40.1977].



**Fig. III.2.14** Tracé en plan d'une route. [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012]

## 2-2 Règles à respecter dans le tracé en plan

- ✓ Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles ;
- ✓ Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum de constructions des ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, si on n'a pas le choix, on essaie de les franchir perpendiculairement ;
- ✓ Adapter au maximum le terrain naturel ;
- ✓ Appliquer les normes du B40 si possible ;
- ✓ Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet ;
- ✓ Respecter la cote des plus hautes eaux ;
- ✓ Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau ;
- ✓ Respecter la longueur des alignements droits si c'est possible (ne dépasse pas 60% de la longueur totale du trajet) ;
- ✓ Se raccorder sur les réseaux existants ;
- ✓ S'inscrire dans le couloir choisi [B40.1977].

## 2-3 Les éléments du tracé en plan

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site [SETRA.2006].

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments [B40.1977] :

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

### 2-3-1 Les alignements

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

La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment [B40.1977] :

- ✓ De nuit, éblouissement prolongé des phares ;
- ✓ Monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents ;
- ✓ Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés ;

- ✓ Mauvaise adaptation de la route au paysage.

Il existe toutefois des cas où l'emploi d'alignement se justifie [B40.1977] :

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

Donc la longueur des alignements dépend de :

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

### 2-3-2 Règles concernant la longueur des alignements

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

$$L_{\min} = V_r \times \frac{5}{3.6} \quad \text{III.2.1}$$

Avec:

- $V_r$  : vitesse de référence en *km/h*

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

$$L_{\max} = V_r \times \frac{60}{3.6} \quad \text{III.2.2}$$

### 2-3-3 Arc de cercle

Deux alignements droits de direction différente sont reliés par une courbe. Notre rôle est d'assurer une transition confortable et sécurisante d'un usager passant d'un alignement droit à un autre.

Pour cela, il y a lieu de choisir un rayon de la courbe assurant cette condition. Dans ce cas, trois éléments interviennent pour limiter la courbure :

- La stabilité des véhicules sous l'effet de l'accélération centrifuge ;
- La visibilité dans les courbes.



On essaye de choisir les plus grands rayons possibles en évitant de descendre au-dessous du rayon minimum préconisé [B40.1977].

### 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.

L'équilibre des forces agissant sur le véhicule nous amène à la conclusion suivante [B40.1977] :

#### A) - Rayon horizontal minimal absolu (RHM)

Il est défini comme étant le rayon au devers maximal :

$$\text{RHM} = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{\max})} \quad \text{III.2.3}$$

- $f_t$ : Coefficient de frottement transversal

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

#### B) - Rayon minimal normal (Rhn)

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

$$\text{RHN} = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{\max})} \quad \text{III.2.4}$$

#### C)- Rayon au dévers minimal (Rhd)

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

Dévers associé :

- $d_{\min} = 2.5\%$  En catégorie 1 – 2
- $d_{\min} = 3\%$  En catégorie 3 – 4

$$RHd = \left( \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{min}} \right) \quad \text{III.2.5}$$

#### D)- Rayon minimal non déversé (Rhnd)

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

Pour notre projet (dédoublément de la RN 108) situé dans un environnement (E1), et classé en catégorie (C1) avec une vitesse de base de 80km/h, donc à partir du règlement B40 on peut avoir le tableau suivant :

$$\text{Cat. 1 - 2} \quad \Longrightarrow \quad RHnd = \left( \frac{V_r^2}{127 \times 0.0035} \right) \quad \text{III.2.6}$$

#### E) -Surlargeur :

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

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

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

III.2.7

Avec

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

#### 2-3-4 Courbes de raccordement

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

La courbe de raccordement la plus utilisée est la clothoïde grâce à ses particularités, c'est à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la

courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules [www.genie-civile.blogspot.com].

### 1) Rôle et nécessité des courbes de raccordement

L'utilisation de raccords progressifs pour introduire les courbes répond à deux objectifs [SETRA.2006] :

- Faciliter la manœuvre de virage en permettant au conducteur d'exercer une force constante sur son volant sans à-coups ;
- Permettre d'introduire progressivement le dévers et la courbure ;
- La longueur de ces raccords est limitée afin de faciliter l'appréciation de la courbe finale par l'utilisateur notamment en cas de faible rayon.

### 2) Types de courbe de raccordement

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désirée d'une variation continue de la courbure, nous avons retenu les trois courbes suivantes [B40.1977 ; LCPC ; SETRA.1994] :

- Parabole cubique ;
- Lemniscate ;
- Clothoïde.

#### a. Parabole cubique

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

#### b. Lemniscate

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

#### c. Clothoïde

La clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon progressive elle a pour rôle de maintenir constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.

• Expression mathématique de la clothoïde

Courbure K linéairement proportionnelle à la longueur curviligne.

$$K = C \times L \div R = \frac{1}{R} \implies L \times R = \frac{1}{C} \implies \frac{1}{R} = C \cdot R$$

On pose :  $\frac{1}{C} = A^2$   $\implies$   $L \times R = A^2$

III.2.8

• Éléments de la clothoïde

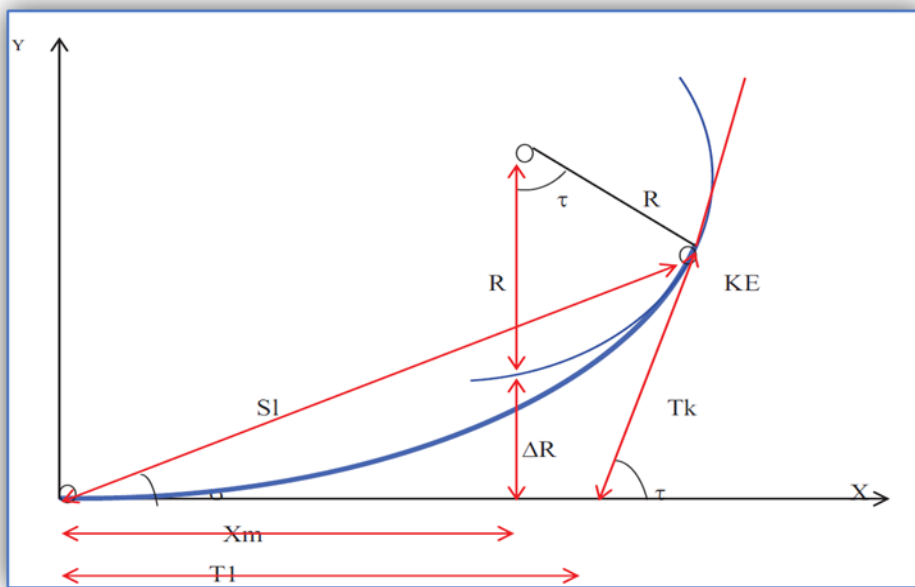


Fig. III.2.15 Éléments de la clothoïde [S. BOUNAR ; S. KHALLA.2016]

R : rayon du cercle.

L : longueur de la branche de Clothoïde.

A : paramètre de la Clothoïde.

KA : origine de la Clothoïde.

KE : extrémité de la Clothoïde.

$\Delta R$  : ripage.

$\tau$ :Angle des tangentes.

TC : tangente courte.

TL : tangente longue

$\delta$ : Angle polaire.

SL : corde KE –KA.

M : centre du cercle d'abscisse  $X_m$ .

$X_m$  : abscisse du centre du cercle M à partir de KA.

$Y_m$  : ordonnée du centre du cercle M à partir de KA.

X : abscisse de KE

Y : ordonnée de KE

#### 2-4 Conditions de raccordement

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes [B40.1977] :

##### A) -Condition de confort optique

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

L'orientation de la tangente doit être supérieure à  $3^\circ$  pour être perceptible à l'œil.

$$\boxed{R/3 \leq A \leq R}$$

III.2.9

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

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

Règle générale (B40) :

-  $R = 1500\text{m}$   $\Delta R = 1\text{m}$  (Éventuellement  $0.5\text{m}$ )

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

III.2.10

-  $1500 < R \leq 5000\text{m}$

$$\boxed{L \geq \frac{R}{9}}$$

III.2.11

-  $R > 5000\text{m}$   $\Delta R = 2.5\text{ m}$

$$\boxed{L = 7.75 \times \sqrt{R}}$$

III.2.12

**B) – Condition de confort dynamique**

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours  $\Delta t$  du raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

$$L = \frac{V_r^2}{18} \left( \frac{V_r^2}{127 \times R} - \Delta d \right) \quad \text{III.2.13}$$

Avec :

- **V<sub>r</sub>** : vitesse de référence (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 de dévers, elle s'applique par rapport à son axe.

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

III.2.14

Avec :

- **L** : longueur de raccordement.
- **l** : Largeur de la chaussée.
- **Δd** : variation de dévers.

**Nota** : La vérification des deux conditions relatives au gauchissement et au confort dynamique peut se faire 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%.

$$L \geq (5 \times \Delta d \times V_r^2) / 36$$

III.2.15

### 2-5 Combinaison des éléments du tracé en plan

La combinaison des éléments du tracé en plan donne plusieurs types de courbes, on cite [B40.1977] :

#### a. Courbe en S

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

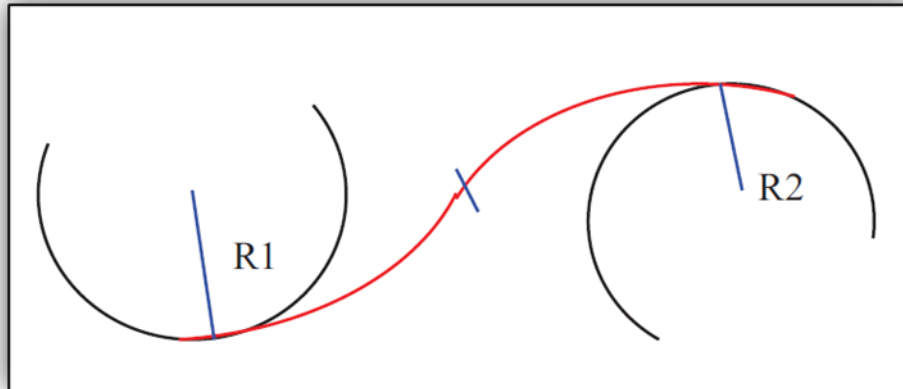


Fig. III.2.16 Courbe en S. [S. BOUNAR ; S. KHALLA.2016]

#### b. Courbe à sommet

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

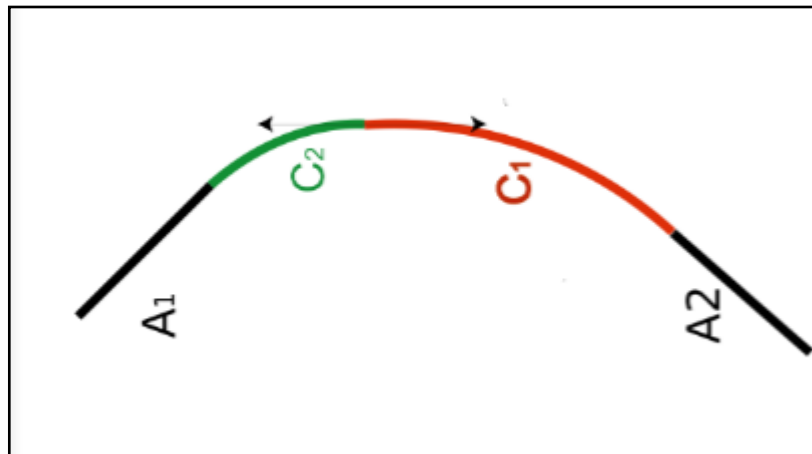
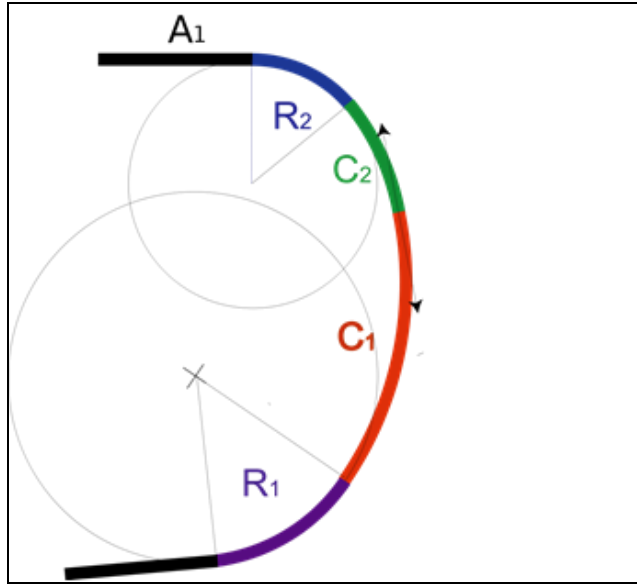


Fig. III.2.17 Raccordement Circulaire. [WIKIPEDIA. 2016]

**c. Courbe en C**

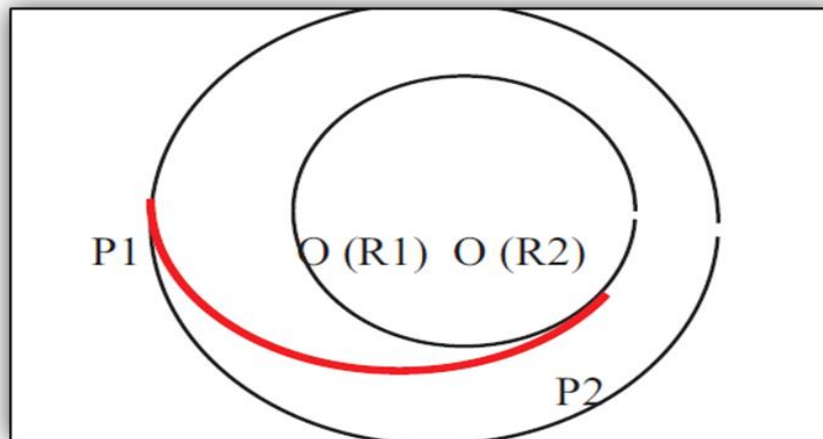
Une courbe constituée de deux arcs de Clothoïde, de même concavité, tangents en un point de même courbure et raccordant deux arcs de cercles sécants ou extérieurs l'un à l'autre.



**Fig. III.2.18** Courbe en C. [WIKIPEDIA. 2016]

**d. Courbe en Ove**

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



**Fig. III.2.19** Courbe en Ove. [S. BOUNAR; S. KHALLA.2016]



## 2-6 Notion de dévers

Le dévers ou pente transversale permet de favoriser l'évacuation des eaux de surface. Dans les rayons de courbure faible, il contribue à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%). Au-delà de cette valeur plafond, d'autres problèmes surviennent et notamment des difficultés constructives. Ce maximum doit être réduit dans certains cas comme par exemple les zones enneigées ou soumises à verglas fréquent ainsi que les zones où la pente en profil en long est déjà forte [SETRA.2006].

Les différents divers sont [B40.1977] :

### a. Devers en alignement

En alignement le devers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée.

Il est pris égal à :  **$d_{min} = 2.5\%$**

### b. Devers en courbe

En courbe permet de :

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

### c. Rayon de courbure

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

### d. Calcul des devers

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

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

III.2.16

$$\boxed{RHn < R < RHd \text{ on a: } \frac{d(R) - d(RHd)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd}} = \frac{d(RHn) - d(RHd)}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}}} \quad \text{III.2.17}$$

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

#### e. Raccordement de devers

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

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

- Dans le cas où les devers sont de même sens le raccordement sera progressif à partir du début de la Clothoïde jusqu'au début de l'arc de cercle ;
- Dans le cas où les devers sont opposés, le problème se pose pour passer du devers d'alignement droit au devers de l'arc de cercle, donc il faut passer par un devers nul, ce dernier peut être placé en général à une distance **Dmin**.

$$dmin = \frac{5}{36} \times V_r \times \Delta d \quad \text{III.2.18}$$

- Appelée longueur de gauchissement ;
- Pour les courbes en S, il est souhaitable de prendre le devers nul au point d'inflexion ;

#### 2-7 La Vitesse de référence (de base)

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

Pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes, un changement de celle-ci ne doit être admis qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible à l'utilisateur (traverser d'une ville, modification du relief, etc...) [B 40. 1977].

### 2-7-1 Choix de la vitesse de référence

Le choix de la vitesse de référence dépend de

- Type de route ;
- Importance et genre de trafic ;
- Topographie ;
- Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

### 2-7-2 Vitesse de projet

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

On entend par conditions normales :

- Route propre sèche ou légèrement humide, sans neige ou glace ;
- Trafic fluide, de débit inférieur à la capacité admissible ;
- Véhicule en bon état de marche et conducteur en bonne conditions normale.

### 2-8 Calcul d'axe

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde, cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées.

L'opération de calcul d'axe n'aura lieu, qu'après avoir déterminé le couloir par lequel passera la voie.

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées, et il doit suivre les étapes suivantes [Jean Et all.2017] :

- Calcul de gisements ;
- Calcul de l'angle  $g$  entre alignements ;
- Calcul de la tangente  $T$  ;
- Calcul de la corde  $SL$  ;
- Calcul de l'angle polaire  $s$  ;
- Vérification de non-chevauchement ;
- Calcul de l'arc de cercle ;
- Calcul des coordonnées des points singuliers ;
- Calcul de kilométrage des points particuliers.



constituant celui-ci. Le profil en long se caractérise par une succession de déclivités liées par des raccordements circulaires [SETRA.2006].

### 3-2 Règles à respectées

Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur [B40.1977] :

- Eviter les angles entrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement ;
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage ;
- Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des devers nuls dans une pente du profil en long ;
- Recherche un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais ;
- Eviter une hauteur excessive en remblai ;
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à certaines règles ;
- Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon ;
- Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique ;
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

### 3-3 Les éléments de composition du profil en long

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires, pour chaque point du profil en long on doit déterminer [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012] :

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

### 3-4 Coordination du tracé en plan et profil en long

Il est très nécessaire de veiller à la bonne coordination du tracé en plan et du profil en long en tenant compte, également, de l'implantation des points d'échange afin [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012]:

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

### 3-5 Déclivités

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

#### 3-5-1 Déclivité minimum

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

On adopte en général les pentes longitudinales minimales suivantes [B40.1977] :

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

### 3-5-2 Déclivité maximum

La déclivité maximale est acceptée, particulièrement, dans les courtes distances inférieures à 1500 m, à cause de [B40.1977] :

- La réduction de la vitesse et l'augmentation des dépenses de circulation par la suite (Cas de rampe Max) ;
- L'effort de freinage des poids lourds est très important qui fait l'usure de pneumatique (cas de pente max.) ;

Donc, la déclivité maximale dépend de :

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

**Tableau III.3.2** : Exemple de déclivité Selon le B40

<b>V<sub>r</sub> Km/h</b>	40	60	80	100	120
<b>I max en %</b>	8	7	6	5	4

### 3-6 Raccordements en profil en long

Le respect de bonnes conditions de visibilité et la garantie d'une bonne lisibilité de l'itinéraire par l'utilisateur 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 conditionne l'image offerte réellement à l'utilisateur et de ce fait est le paramètre déterminant vis-à-vis de son comportement

Outre les objectifs d'intégration dans le site, cette coordination vise également en termes de sécurité à assurer pour l'utilisateur [SETRA.2006] :

- La perception des points singuliers de l'itinéraire ;
- La prévision anticipée des évolutions du tracé ;
- L'appréciation de l'adaptation au terrain sans être abusé par des trompe-l'œil ou gêné par des brisures ou des discontinuités.

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long ; ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort, on distingue deux types de raccordements :

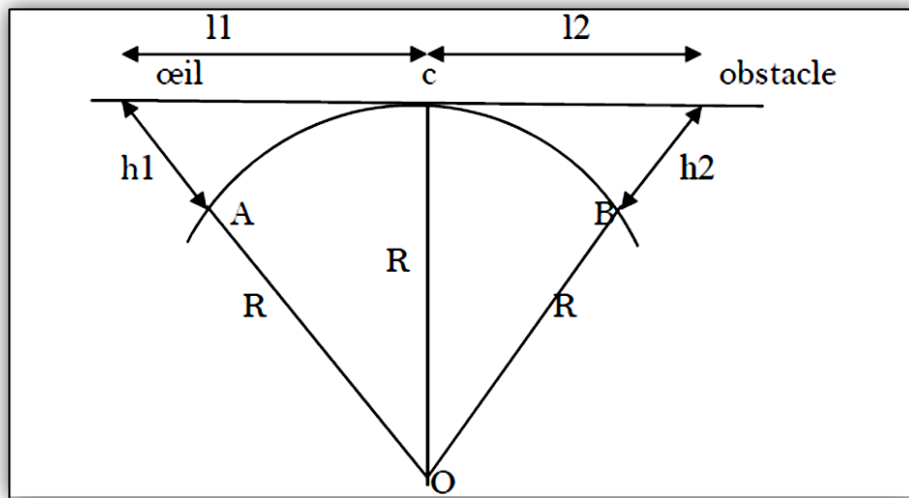
### 3-6-1 Raccordements convexes (Angle saillant) : un point haut

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angles saillants sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain et des obstacles d'une part, des distances d'arrêt et de visibilité d'autre part [B40.1977].

$R_{vm}$  : rayon vertical minimal absolue

$R_{vn}$  : rayon vertical minimal normal.

#### A. Chaussées unidirectionnelles :



**Fig. III.3.21** Visibilité sur chaussée unidirectionnelle. [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012]



## B. Chaussée bidirectionnel :

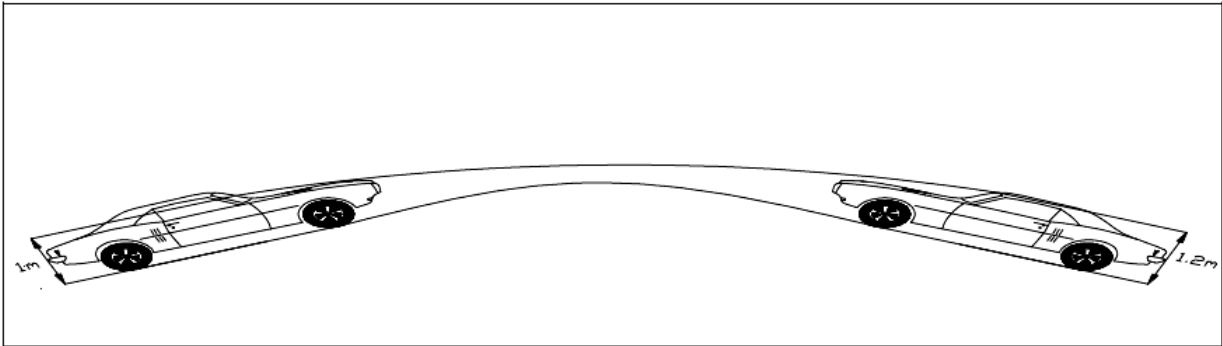


Fig. III.3.22 Visibilité sur chaussée bidirectionnelle. [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012]

### 3-6-2 Raccordements concaves (angle rentrant)

Ces rayons ne posent pas de problèmes de sécurité majeurs mais leur dimensionnement est essentiellement conditionné par des contraintes de confort dynamiques, les conditions de visibilité nocturnes et l'évacuation des eaux de ruissellement. La présence d'un passage supérieur au droit d'un angle rentrant mérite un examen particulier [SETRA.2006].

#### a) Condition de confort

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

$$R_v \text{ min} = 0.3 V_r^2 \quad \text{pour cat. 1-2}$$

$$R_v \text{ min} = 0.23 V_r^2 \quad \text{pour cat. 3-4-5}$$

Avec :

- **R<sub>v</sub>** : rayon vertical (m).
- **V<sub>r</sub>** : vitesse de référence (Km/h).

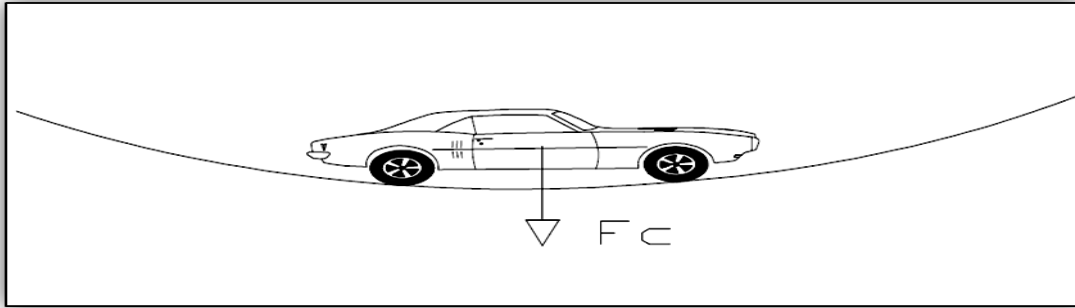


Fig. III.3.23 Rayon assurant le confort dynamique [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012]

**b) Condition de visibilité**

Elle intervient, seulement, dans les raccordements des points hauts comme conditions supplémentaires à celle de confort. Il faut que deux véhicules circulent en sens opposés puissent s’apercevoir à une distance double de la distance d’arrêt au minimum.

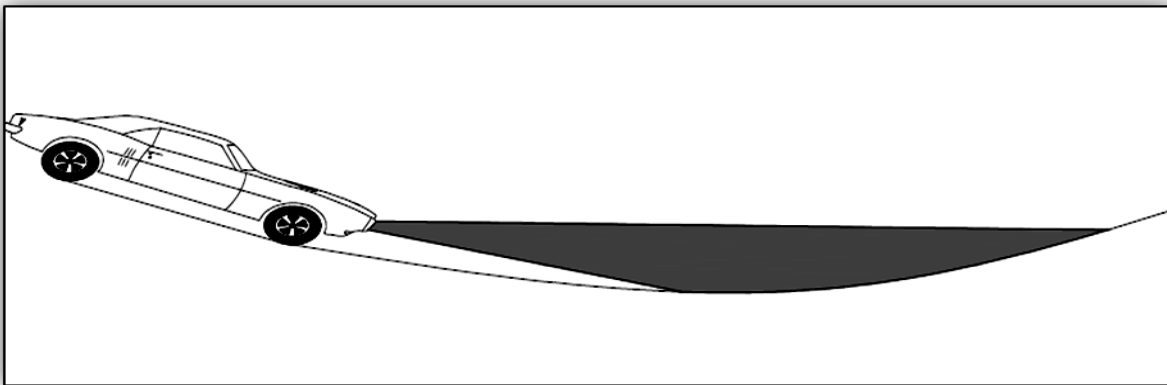


Fig. III.3.24 Rayon assurant visibilité [Y. MADOURI ; A. ZAROUALI.2012]

Le rayon de raccordement est donné par l’expression :

$$R_v = \frac{D^2}{2(h_1 + h_0 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_0})} \tag{III.3.1}$$

Avec :

- D0 : distance d'arrêt (m) ;
- H0 : hauteur de l'œil (m) ;
- H1 : hauteur de l'obstacle (m).

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

$$Rv' = \frac{d_1^2}{(1.5 + 0.035 \times d_1)} \quad \text{III.3.2}$$

Avec :

- Rv' : rayon minimum du cercle de raccordement.
- D1 : Distance d'arrêt.

- **Condition esthétique**

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

$$Rv_{\min}' = 100 \times \frac{50^2}{(\Delta d\%)} \quad \text{III.3.3}$$

Avec :

- D : changement des devers ;
- Rv min : rayon vertical minimal.

### 3-7 Détermination pratique du profil en long

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

$$x^2 + y^2 - R^2 = 0. \quad \text{III.3.4}$$

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

- Donnée les coordonnées (abscisse, altitude) des points A, D ;
- Donnée La pente P1 de la droite (AS) ;
- Donnée la pente P2 de la droite (DS) ;
- Donnée le rayon R.

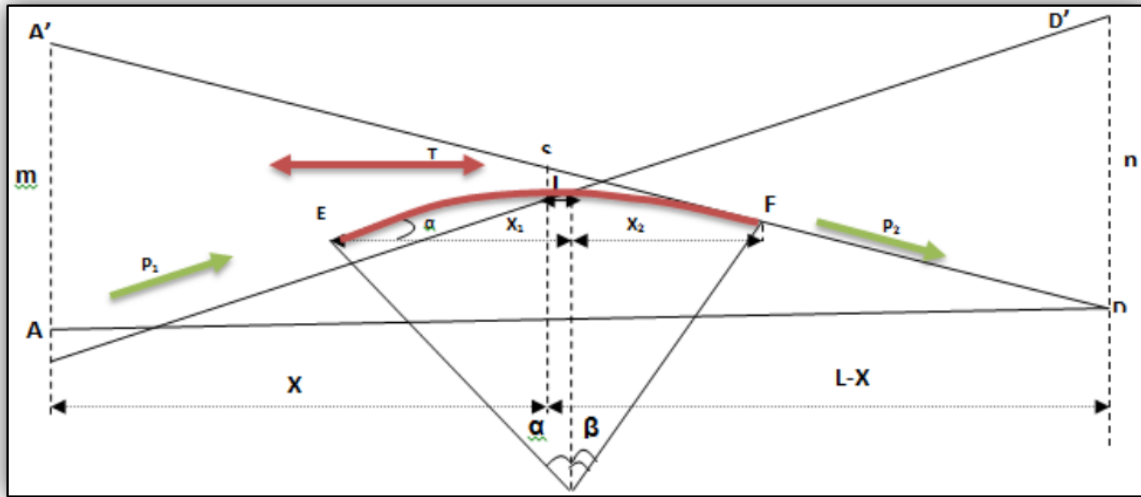


Fig. III.3.25 Elément de raccordement parabole. [M. NEGADI ; A. MADDAAH.2015]

a) Détermination de la position du point de rencontre (s)

$$Z_A = Z_{D'} + L p_2 \tag{III.3.5}$$

$$Z_D = Z_{A'} + L p_1 \tag{III.3.6}$$

$$m = Z_{A'} - Z_A \tag{III.3.7}$$

$$n = Z_D - Z_{D'}$$

$$S \begin{cases} X_S = X + X_A & \text{III.3.8} \\ Z_S = P_1 X + Z_A & \text{III.3.9} \end{cases}$$

Les deux triangles A SA et SDD sont semblables donc :

$$M/n = x/(L-x) \quad x = m \times 3 \times L / (n + m) \quad \text{III.3.10}$$

**b) Calcul de la tangente**

$$T = \frac{R}{2} (p_1 + p_2) \quad \text{III.3.11}$$

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

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

**c) Projection horizontale de la longueur de raccordement :**

$$LR = 2 \times T \quad \text{III.3.12}$$

**d) Calcul de la flèche :**

$$H = \frac{T}{2R} \quad \text{III.3.13}$$

**e) Calcul de la flèche et l'altitude d'un point courant M sur la courbe :**

$$M \begin{cases} H_x = \frac{x^2}{2R} & \text{III.3.14} \\ z_M = Z_M + X \times p_1 - \frac{X^2}{2R} & \text{III.3.15} \end{cases}$$

## f) Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (T)

Le point J correspond aux points le plus hauts de la tangente horizontale.

$$M \left\{ \begin{array}{l} X_1 = R \times p_1 \\ X_2 = R \times p_2 \end{array} \right. \quad \text{III.3.16}$$

$$J \left\{ \begin{array}{l} X_J = X_B - R \times p_1 \\ Z_J = Z_B + X_1 \times p_1 - \frac{X_1^2}{2R} \end{array} \right. \quad \text{III.3.18}$$

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 J, c'est à dire les pentes des fossés descendants dans les sens J (A) et J (D).

### 3-8 Conclusion

Toutes les indications relatives au projet s'inscrivent en rouge (la ligne du projet, les côtes du projet, les déclivités du projet et enfin les alignement et les courbes) ;

Pour des dessins sur calque servant à la reproduction, la ligne rouge sera liguée en trait plus épais que le trait naturel. On indique par une teinte jaune les parties en déblai et par une teinte carmin (rouge foncée) les parties en remblai. Ces teintes sont remplacées sur le calque par des hachures de sens inverse.

On appelle un point haut un sommet formé par des déclivités successives de sens contraire, et inversement les points bas sont des creux.

On appelle profil fictif, le profil situé au point d'intersection de la ligne de terrain naturel et la ligne du projet, son emplacement ayant une influence dans le volume des terrassements (déblais, remblai).

## 4- Profil en travers

### 4-1 Introduction

Le profil en travers d'une route est la coupe perpendiculaire à l'axe de la route par un plan vertical. Le profil en travers contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais, trottoirs) [B40.1977].

### 4-2 Différents types de profil en travers

Lors d'un avant-projet sommaire de l'étude d'un projet routier, le projecteur a besoin d'une vue en coupe du terrain naturel suivant l'axe du projet qu'il étudie : ce graphique est le profil en long du terrain naturel. Des vues en coupe perpendiculairement à l'axe sont aussi nécessaires à l'étude : ce sont les profils en travers. Le type de graphique permettent d'obtenir, après plusieurs études un tracé « idéal » répondant aux impératifs du projet que sont la visibilité, l'emprise sur le terrain, la déclivité maximale, le moindre coût, etc. [COURS IUT.2008].

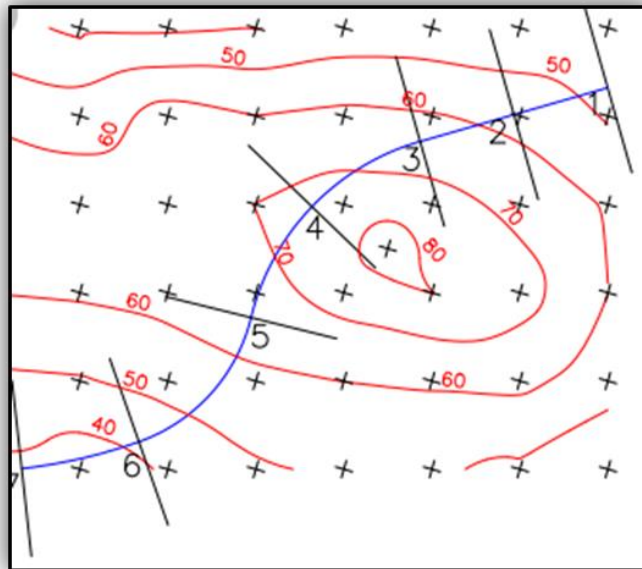


Fig. III.4.26 Implantation d'un projet routier [COURS IUT.2008]

Dans une étude d'un projet de route le concepteur doit dessiner deux types de profil en Travers :

#### 4-2-1 Profil en travers type

Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou l'aménagement de routes existantes. Il contient tous les éléments constructifs de la future route (Largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc...), dans toutes les situations (remblais, déblais). L'application du profil en travers type sur le profil correspondant du terrain en respectant la cote du projet permet le calcul de l'avant métré des terrassements [B40.1977].

#### 4-2-2 Profil en travers courants

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à des distances régulières et en des points singuliers.

#### 4-3 Les éléments constitutifs du profil en travers

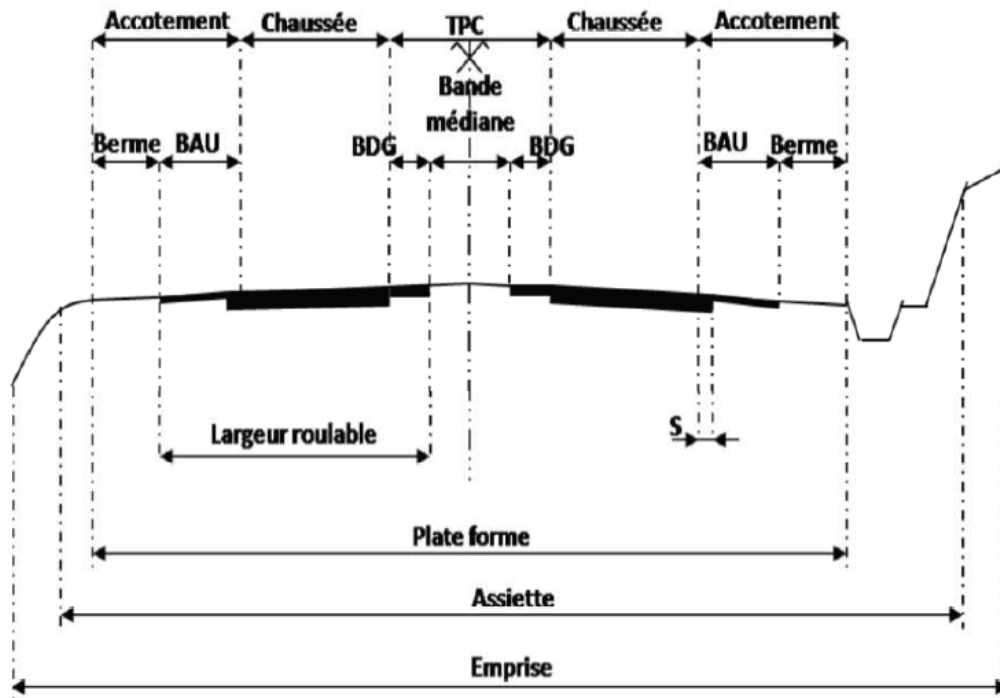


Fig. III.4.27 Profil en travers [T. NINOUEH.2017]



Les éléments constitutifs du profil en travers sont [B40.1977] :

➤ **L'emprise**

L'emprise de la route est la surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est-à-dire dans les limites du domaine public.

➤ **L'assiette**

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

➤ **La plateforme**

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

➤ **Chaussée**

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

➤ **Nombre de voies**

Le nombre de voies est déterminé après des études préalables en prenant compte des données de trafic, des objectifs de niveau de service et des éléments économiques et politiques. Les routes principales comportent 2 voies, 3 voies ou 2 voies avec des créneaux de dépassement, ou 2 x 2 voies.

➤ **Largeur des voies**

La largeur des voies est de 3,50 m pour les routes principales neuves en rase campagne. Celle-ci peut être réduite à 3m en cas de contrainte de site, ou lorsque le trafic total et le trafic lourd sont jugés peu importants. Sur les routes en relief difficile, des largeurs plus réduites que 3.5m peuvent également être adoptées.

➤ **Surlargeur**

Dans les courbes de rayon inférieur à 200 m, une surlargeur est préconisée dans les rayons de virages. Elle vaut normalement, par voie de circulation  $50/R$  en mètres,  $R$  étant le de courbure exprimée en mètres. Cette surlargeur peut être ramenée à  $25/R$  pour les routes en relief difficile.

### ➤ Accotements

L'accotement comprend une partie dégagée de tout obstacle appelée bande dérasée, généralement bordée à l'extérieur d'une berme engazonnée. La bande dérasée est située à l'extérieur de la chaussée (coté accotement) et non l'éventuelle bande dérasée de gauche qui ne fait pas partie de l'accotement. Sur l'accotement et au de-là, dans une zone de sécurité, il est primordial d'exclure tout obstacle agressif, et d'éviter les fossés profonds.

### ➤ Fossés

Ouvrage hydraulique destinée à recevoir les eaux de ruissellement recueillies par la route et les talus.

### ➤ La zone de sécurité

Cette zone, qui comprend la berme, doit être dépourvue de tout obstacle agressif (Plantation de haute tige, poteau électrique ou d'éclairage public, tête de buse non protégée). La largeur de cette zone de sécurité vaut, à compter du bord de chaussée :

- 4m en aménagement des routes existantes ;
- 7m en aménagement neuf des routes de type T ou R (2x 2voies de type R limitées à 80km/h) ;
- 8.5m dans le cas particulier de routes à 2 x 2 voies de type R limitées à 110km/h 10m pour les autoroutes.

### ➤ La zone de récupération

Cette zone comprend : Une sur largeur de chaussée, de structure identique à la chaussée elle-même, d'une largeur de 0,25m dans le cas général, et qui porte le marquage de rive. Une partie stabilisée ou revêtue (pouvant supporter le passage occasionnel d'un poids lourd).

Les fonctions principales de la bande dérasée sont les suivantes :

- Permettre la récupération d'un véhicule déviant de sa trajectoire normale ;
- Permettre l'évitement de collisions multi-véhicules en autorisant des manœuvres d'urgence de départ latéral sur l'accotement (cas des collisions liées au tourne-à-gauche, ou au dépassement) ;
- Permettre aux piétons et éventuellement aux cyclistes de circuler en sécurité. Et alors le revêtement de la bande dérasée devient impératif si celle-ci doit assurer cette fonction pour les cycles sans moteur ;

- Permettre l'arrêt d'un véhicule ;
- Faciliter les opérations d'entretien de la chaussée et de ses dépendances. La bande dérasée est revêtue ou stabilisée Elle est généralement de largeur de 2 m ;
- (Minimum 1,75 m) pour les routes multifonctionnelles (de types R) et de 2,5 m pour les routes de transit (de type T).

➤ **Berne**

Elle est située à l'extérieur de la bande dérasée ou de la bande d'arrêt d'urgence (BAU), est généralement gazonnée. Elle supporte d'éventuels panneaux de signalisation et équipements (glissières de sécurité en particulier). Elle a une largeur de 0.75m éventuellement portée, en présence de dispositifs de retenue, à une valeur de 1m ou d'avantage selon le dispositif de retenue.

➤ **Terre-plein central** : Son rôle est triple :

- **Séparation**

C'est la raison essentielle du T.P.C lorsque sa largeur est inférieure à 12 m, il comporte des dispositifs de sécurité qui peut être souples ou rigides. Dans le cas des dispositifs souples, la largeur du T.P.C doit permettre le débattement des glissières.

- **D'environnement**

Le T.P.C supporte les éventuelles plantations qui ont un rôle d'embellissement et participent à la sécurité de l'utilisateur (lutte contre l'éblouissement). Les terre-pleins centraux ne comportent pas systématiquement de plantation : ils sont parfois pour des raisons d'économie entièrement revêtus, mais seulement lorsque cette largeur est inférieure à 5m.

- **Drainage**

Afin d'éviter des épaisseurs de lames d'eau importantes sur les chaussées notamment à l'intérieur des courbes. Le T.P.C comporte dans les zones déversées, un dispositif de drainage permettant la récupération des eaux de ruissellement de la chaussée extérieure.

### ➤ Pentes transversales

- **Les chaussées**

Le profil de la chaussée est constitué par deux versants de plans raccordés sur l'axe, sauf pour les chaussées unidirectionnelles qui comportent un seul versant plan dirigé vers l'extérieur. Les valeurs de la pente transversale dénommée dévers peuvent être récapitulées dans le tableau suivant : Pour la pente transversale (Pour une route de catégorie R80 ou T80).

- **Evacuation des eaux**

La route comporte généralement des ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux de ruissellement. Ceux-ci doivent être munis de dispositifs de traitement des eaux lorsque les rejets se font dans des eaux ayant une valeur patrimoniale reconnue.

Le choix et le dimensionnement de ces ouvrages sont faits en tenant compte des précipitations prévisibles, des caractéristiques géométriques et physiques de la route et des contraintes de sécurité.

#### 4-4 Conclusion

Pour résumé, les profils en travers permettent d'optimiser la conception de la route. Ils permettent de voir les élévations et la pente transversale du terrain naturel par rapport au pavage et elles permettent d'effectuer les calculs de volumes ; en somme, ils permettent de savoir si les axes et profils ont été bien localisés et s'il n'aurait pas lieu de les relocaliser. Sur les plans pour soumission, les profils en travers aux 20m ne sont pas souvent imprimés car ils prennent trop de place. Toutefois, l'entrepreneur peut les demander lors de la construction ; ils permettent à l'entrepreneur d'avoir plus de détails de construction à propos des pentes de talus, des largeurs et profondeurs des fossés, de la forme, élévations et largeurs des différentes couches de la structure, etc. Lors de la construction, l'entrepreneur peut aussi se procurer, de la part des gens qui ont fait la conception, les fichiers des coordonnées des points d'implantation de la route car cela est facile à faire quand les plans ont été faits à l'aide d'un logiciel tel Civil 3D.

## 5- Applications au projet

### ➤ Etude du trafic

#### 1- Les données de trafic :

D'après les résultats de trafic qui nous ont été fournis par DTP qui sont les suivants :

- Le trafic à l'année 2016  $TMJA(2016) = TMJA0 = 11460 \text{ v/j}$
- Le taux d'accroissement annuel du trafic noté  $\tau = 4\%$
- La vitesse de base sur le tracé  $V_r = 80 \text{ km/h}$
- Le pourcentage de poids lourds  $Z = 35\%$
- L'année de mise en service sera en 2021
- La durée de vie estimée de 20 ans

#### 2- Projection future de trafic :

#### 3- Projection future de trafic :

- L'année de mise en service (2021)

$$TMJA_h = TMJA_o(1 + \tau)^n$$

Avec :

- **TMJA<sub>h</sub>** : trafic à l'horizon (année de mise en service 2021)
- **TMJA<sub>o</sub>** : Trafic à l'année zéro (origine 2016)

$$TMJA(2021) = 11460 \times (1 + 0,04)^5 = 13943 \text{ v/j.}$$

Donc :  $TMJA(2021) = 13943 \text{ v/j}$

- Trafic à l'année (2037) pour une durée de vie de 20 Ans

$$TMJA(2037) = 13943 \times (1 + 0,04)^{20} = 30550 \text{ v/j.}$$

Donc :  $TMJA(2037) = 30550 \text{ v/j.}$

## 4- Calcul du trafic effectif :

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

Tableau III.5.3 : coefficient équivalence P (B40).

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

Avec :

- P : coefficient d'équivalence pris pour convertir les poids lourds.
- Pour une route à deux voies et un environnement E1 on a P=3
- Z : le pourcentage de poids lourds est égal à 35 %

$$T_{eff}(2021) = 13943 \times [(1 - 0.35) + 3 \times 0.35] = 23703 \text{ uvp/h.}$$

Donc :  $T_{eff}(2021) = 23703 \text{ uvp/h}$

$$T_{eff}(2041) = 30550 \times [(1 - 0.35) + 3 \times 0.35] = 51936 \text{ uvp/h.}$$

Donc :  $T_{eff2041} = 51936 \text{ uvp/h}$

## 5- Débit de pointe horaire normale :

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

Avec :

- $\frac{1}{n}$  Coefficient de pointe horaire pris est égal à 0.12

$$Q(2021) = 0.12 \times 23703 = 2963 \text{ uvp/h}$$

Donc :  $Q(2021) = 2963 \text{ uvp/h}$

$$Q(2041) = 0.12 \times 51936 = 6492 \text{ uvp/h}$$

Donc :  $Q(2041) = 6492 \text{ uvp/h}$

## 6- Débit admissible :

Tableau III.5.4 : valeur de K1 (B40).

Environnement	Valeur de K1		
	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.90 à 0,95

Tableau III.5.5 : valeur de K2 (B40).

Environnement	Valeur de K2				
	1	2	3	4	5
E1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau III.5.6 : Capacité théorique Cth (B40).

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

Le débit que supporte une section donnée :  $Q_{adm} = K1.K2.Ct$

Avec :

- K1 : coefficient correcteur pris égal à 0.75 pour E1
- K2 : coefficient correcteur pris égal à 1 pour environnement (E1) et catégorie (C1)
- Cth : capacité théorique.

Cth=1800(D'après le B40 pour E1, C1 et pour une chaussée séparée).

$$Q_{adm} = 0,75 \times 1 \times 1800 = 2400(\text{uvp/h})$$

Donc :

$$Q_{adm} = 1350\text{uvp/h}$$

7- Le nombre des voies :

Tableau III.5.7 : Capacité théorique Cth (B40).

Capacité des routes en UVP/ Heure								
Suivant la largeur de la chaussée et les dégagements latéraux								
Dégagement latéral	Largeur de chaussée unique							
	2 voies				3 voies		4 voies	
	4m	5m	6m	7m	9m	10,5m	12 m	14m
1,8	1000	1300	1600	2000	2600	3200	3000(4500)	3400(5100)
1,6	1000	1200	1500	1900	2400	3000	2950(4400)	3300(5000)
0,6	/	1100	1350	1700	2200	2700	2900(4300)	3200(4800)
0	/	/	1200	1500	2000	2400	2650(4000)	3000(4500)

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

- Cas d'une Chaussée unidirectionnelle :

$$N = S \times \left( \frac{Q_{2041}}{Q_{adm}} \right)$$

Avec :  $S = \frac{2}{3}$

$$N = \left( \frac{2}{3} \right) \times \left( \frac{6492}{1350} \right) = 3,21$$

$$N = 3 \text{ voie /sens}$$

D'après le Tableau des capacités (B40) on trouve, correspond à une route unidirectionnelle de 3 voies de 3 m chacune selon le (B40).



## 8- Calcul de l'année de saturation de 3x3 voies :

$$T_{eff} (2021) = 23703 \text{ uvp/j.}$$

$$Q(2021) = 0.12 \times 23703 = 2844 \text{ uvp/h.}$$

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

$$Q \text{ saturation} = 4 \times 1800 = 5400 \text{ uvp/h}$$

$$Q_{saturation} = (1 + \tau)^n \times Q(2021)$$

$$n = \frac{\log\left(\frac{Q_{saturation}}{Q(2021)}\right)}{\log((1 + \tau))}$$

$$n = \frac{-\log\left(\frac{5400}{2877}\right)}{\log((1 + 0.04))} = 16.3 \text{ ans}$$

Donc : **n = 16 ans**

D'où notre route sera saturée 19ans après la mise en service donc l'année de saturation est :

Année : **2037.**

**Tableau III.5.8** : Les calculs sont représentés dans le tableau suivant.

TMJAh (2021) (v/j)	TMJAh(v/j) (2041)	Teff (2041) (uvp/j)	Q (2041) (uvp/j)	N
13943	30550	51936	6492	3

➤ Trace en plan

- Exemple de calcul d'axe manuellement :

Vr(km/h)	80	X(m)	Y(m)	R(m)
S0		996224,861	247244,388	450
S1		996375,901	246940,402	
S2		996521,593	246278,446	

1- Caractéristiques de la courbe de raccordement

1-1 Condition de confort optique :

a) Calcul du paramètre A :

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

b) Détermination de L(m) :

$$L = \sqrt{24 \times R \times \Delta R} = 109,92 \text{ m}$$

1-2 Condition de confort dynamique et de gauchissement :

$$RHm < R < RHn \text{ on a: } \frac{d(R) - d(RHm)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHm}} = \frac{d(RHm) - d(RHn)}{\frac{1}{RHm} - \frac{1}{RHn}}$$

$$RHn < R < RHd \text{ on a: } \frac{d(R) - d(RHd)}{\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd}} = \frac{d(RHn) - d(RHd)}{\frac{1}{RHn} - \frac{1}{RHd}}$$

**RHn < R < RHd**

- D=4,5%
- Dd = d + 2.5=7,0

a) Détermination de L(m) :

$$L = \left(\frac{5}{36}\right) \times Dd \times Vb = 83,33 \text{ m}$$

b) Détermination de A(m) :

$$A = \sqrt{L \times R} = 216,25 \text{ m}$$

Catégorie	C1
Environnement	E1
Vitesse de référence(km/h)	80
Rhm(7%)	250
RhN(5%)	450
Rhd(2,5%)	1000
Rhnd(-2,5%)	1400
dmax(%)	7
dmin(%)	2,5
Lmin	111,111
Lmax	1333,33

c) Calcul des gisements :

	D X  (m)	D Y (m)
S0S1	XS1 -XS0	YS1 -YS0
	151,04	-303,986
GS0S1(grade)= $\arctg \left  \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right $	229,371	
S1S2	XS2 -XS1	YS2 -YS1
	145,692	-661,956
GS1S2(grade)= $\arctg \left  \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right $	186.201	

d) Calcul de l'angle g :

$$\gamma = | GS1S2 - GS0S1 | = 43,17(\text{grade})$$

e) Calcul de l'angle  $\tau$ :

$$\tau(\text{Grade}) = (L/2R) = 7,35$$

f) Vérification de non-chevauchement :

$$\frac{\gamma}{2} = 21,59 (\text{grade}) \rightarrow \text{Pas de chevauchement}$$

g) Calcul des distances :

$$S1S0 = \sqrt{(DX1^2 + DY2^2)} = 339,44(\text{m})$$

$$S1S2 = \sqrt{(DX1^2) + (DY2^2)} = 677,79(\text{m})$$

h) Calcul de la tangente T :

$$\frac{L}{R} = 0,23$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R} = 1,00(\text{m})$$

$$X_m = \frac{A^2}{2 * R} = 51,96(m)$$

$$Y_m = R + DR = 451(m)$$

$$X = L \times \left(1 - \frac{L^2}{40 \times (R^2)}\right) = 103,78(m)$$

$$Y = \frac{L^2}{6 \times R} = 4,00(m)$$

$$\delta = \text{arc tg}\left(\frac{x}{y}\right) = 97,60 \text{ (grade)}$$

$$\omega = \text{arc tg}\left(\frac{Y}{X}\right) = 2.45 \text{ (grade)}$$

i) Calcul des coordonnées SL :

$$SL = \sqrt{(X^2 + Y^2)} = 103,86(m)$$

j) Calcul de s :

$$\omega = \text{arc tg}\left(\frac{Y}{X}\right) = 2.45 \text{ (grade)}$$

k) Calcul de l'arc :

$$Ke1Ke2 = R(\gamma - 2\tau) = 201,13m$$

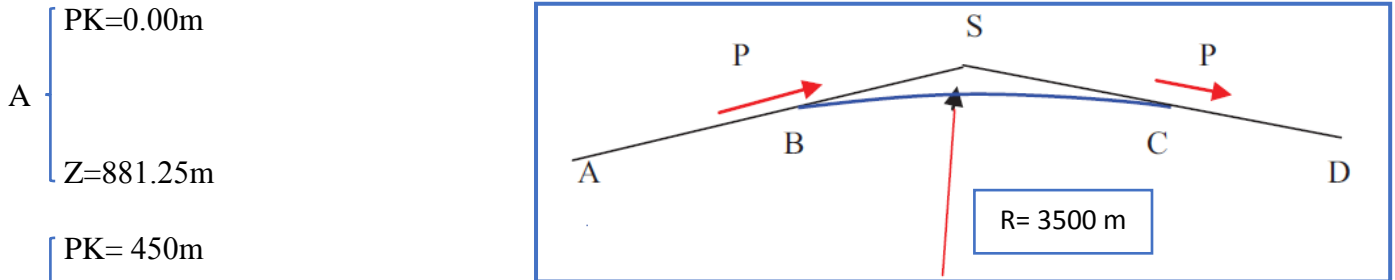
2- Calcul des coordonnées des points singuliers :

Calcul des coordonnées des points singuliers :		
KA1	$XS0+S0S1-T*\text{SIN}(GS0S1)$	996167,86
	$YS0+S0S1-T*\text{COS}(GS0S1)$	247129,21
KE1	$XKA1+SL*\text{SIN}(GS0S1-\delta)$	996259,1055
	$YKA1+SL*\text{COS}(GS0S1-\delta)$	247079,5938
KA2	$XS+T*\text{SIN}(GS1S2)$	996421,5687
	$YS1+T*\text{COS}(GS1S2)$	246734,4722
KE2	$XKA2-SL*\text{SIN}(GS1S2+\delta)$	996321,1118
	$YKA2-SL*\text{COS}(GS1S2+\delta)$	246708,0974

Les résultats de calcul du tracé en plan sont joints en annexe A.

➤ Profil en long

- Exemple du calcul du profil en long :



R(m)		3500
A	PK(m)	0
	Z(m)	881,25
S	PK(m)	450
	Z(m)	879,41
B	PK(m)	612,88
	Z(m)	873,8

A) - Calcul des pentes :

$$P_1 = \frac{\Delta Z}{\Delta PK} = \frac{879.41 - 881.25}{450} = -0.41 \%$$

$$P_2 = \frac{\Delta Z}{\Delta PK} = \frac{873.8 - 879.41}{612.88 - 450} = -3.44 \%$$

B) -Calcul des tangentes :

$$T = \frac{R}{2} \times (|P_1| \pm |P_2|) = \frac{3500}{2} \times (0.0041 - 0.0344) = 53.12 \text{ m}$$

C) -Calcul des flèches :

$$H = \frac{T^2}{2R} = \frac{53.12^2}{2 \times 3500} = 0.403 \text{ m}$$

D) -Calcul des coordonnées des points de tangentes :

B(m)	$XB = XS - T$	396,88
	$ZB = ZS - T \times P1$	879,63
C(m)	$XC = XS + T$	503,12
	$ZC = ZS + T \times P2$	879,19
J(m)	$XJ = XB - R \times p1$	411,19
	$ZJ = ZB + X1 \times p1 - \frac{X1^2}{2R}$	879,66

Les résultats de calcul de la ligne rouge sont joints en annexe A et B.

#### ➤ Profil en travers

Après l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour l'évitement sera composé d'une route de 2 chaussées (3×3,5) voies. Les éléments du profil en travers type sont comme suit :

- 2 Chaussées : (3 m × 3) =18 m.
- Terre-plein centrale (TPC) = 0 ,5m.
- Fossé : 1,5m /0,5m/0,5m
- Plateforme : 18.5 m.

Le dessin a été fait à l'aide d'un logiciel tel **Civil 3D 2019**.

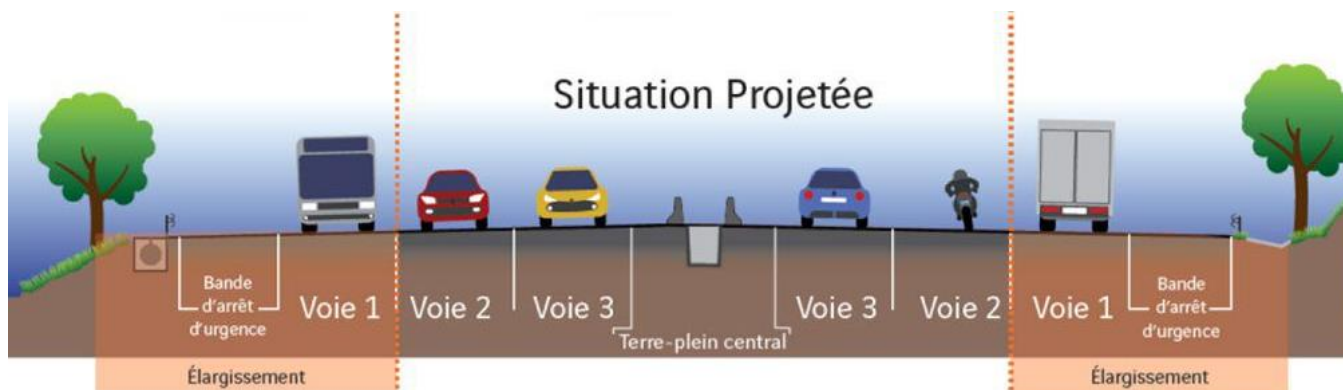


Fig. III.5. 28 Section transversale de la route

## **Chapitre IV :**

# **Etude Géotechnique**



## Chapitre IV

# Étude géotechnique

### 1- Introduction

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée [BOULAHLIB M.S. 2012].

La géotechnique routière est l'application de la géotechnique au domaine routier.

Elle concerne [F. PORTET ; N. OLIVIER .2011] :

- Les travaux de terrassement (utilisation du sol comme matériaux de construction en déblai/remblai) ;
- Les soutènements et stabilisation de talus ;
- Les fondations des ouvrages d'art.

L'exécution de chaque projet routier doit être précédée par une reconnaissance des terrains traversés, à ce niveau se concrétise le rôle de l'étude géotechnique soit [IKHLEF N.S, 2015] :

- Pour le dimensionnement du corps de chaussé et éventuellement les fondations des ouvrages d'arts prévues dans la phase d'étude.
- Pour prévoir les matériaux et les méthodes adéquates aux travaux de terrassement dans la phase d'exécution.

### 2- Les Moyens de la Reconnaissance

Les moyens de la reconnaissance d'un tracé routier sont essentiellement [J, Costet ; G, Sanglerat.1983] :

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

## 2-1 L'étude des archives et documents existants

Les études antérieures effectuées au voisinage du tracé sont source précieuse d'informations préliminaires sur la nature des terrains traversés. Les cartes géologiques et géotechniques de la région, lorsqu'elles existent, peuvent aussi apporter des indications assez sommaires mais tout aussi précieuses pour avoir une première idée de la nature géologiques et géotechniques des formations existantes. [OUEDRAOGO ABDOUL RAHIM, 2011]

## 2-2 Les Visites sur site et les essais « in-situ »

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

- Soit la mesure de certaines caractéristiques en place ;
- Soit le prélèvement d'échantillons pour les besoins d'essais de laboratoire ;
- Dans la plupart des cas, ces deux éléments sont combinés.

### ❖ La reconnaissance « in-situ »

Les essais in situ en géotechnique permettent d'approfondir l'étude des sols et des roches avant toute construction en surface ou en profondeur. Parfois discrédités au profit des essais de laboratoire, ils évitent pourtant toute contrainte de transport et de conservation susceptible d'altérer les prélèvements et leurs résultats [J. MONNET, P. GRENOBLE.2016].

Le programme peut comprendre une gamme assez variée d'investigation que l'on présentera succinctement dans ce qui suit [B. OMAR ; C. RAMI.2018] :

### a) Les forages

C'est le seul moyen précis pour reconnaître l'épaisseur et la nature des couches des sols en présence, on y prélève généralement des échantillons de sols remaniés ou intacts pour les besoins d'essais de laboratoire. Les forages permettent aussi de reconnaître le niveau des nappes éventuelles et le suivi de leur niveau à l'aide de types piézométrique. [REZNI YOUSSEUF, 2012]

Les forages peuvent être réalisés :

**1) Manuellement** : ce sont des puits creusés à la main ou à la pelle mécanique, la profondeur ne dépasse pas 3 à 4m. Ils permettent la reconnaissance visuelle directe des parois du puits et le prélèvement d'échantillons intacts et/ou remaniés.

**2) A la tarière** : la tarière est un outil hélicoïdal que l'on enfonce dans le sol et permettent de remonter en surface les terrains traversés à l'état remanié. La profondeur de la reconnaissance est limitée à une dizaine de mètres et la nature de sols est identifiée visuellement.

**3) A la sondeuse** : on peut atteindre plusieurs dizaines de mètres de profondeur en utilisant des tubes carottiers et couronnes diamantées. Les couches de sols sont identifiées visuellement, des échantillons intacts ou remaniés sont prélevés pour les essais de laboratoire.

#### b) Les méthodes géophysique

**1) La prospection sismique** : le principe consiste à mesurer la vitesse de propagation des ondes primaires ou ondes P (les plus rapides) et à en déduire la nature du sol traversé.

**Tableau IV.9** : Quelques valeurs de vitesses d'ondes P en fonction de la nature du sol

Nature de sol	Vitesse Vp (m/s)
Argile et limons	400-1500
Sables et graviers	300-1200
Roches altérées	800-2500
Roches massives	200-6000

Ces méthodes permettent de déterminer de façon approximative l'épaisseur des différentes couches et leur nature, elles ne s'appliquent pas dans le cas de fortes teneurs en eau.

## 2) La prospection électrique

Cette méthode est basée sur la mesure de la résistance électrique d'un volume de sol entre deux électrodes placées en surface, elle permet de connaître les différentes couches de sols et leurs épaisseurs, et en général de contrôler l'homogénéité des terrains. La méthode est bien adaptée pour les sols à fortes teneurs en eau [ZIGI SAMIR ; H, TOUFIK.2009].

## c) Les essais de pénétration

Le principe consiste à enfoncer dans le sol un train de tiges muni d'une pointe ou d'une trousse coupante à son extrémité et de mesure de la résistance du sol à l'effort de pénétration.

Les types de pénétromètres sont utilisés :

- Pénétromètre dynamique ;
- Le standard pénétromètre test ou SPT ;
- Pénétromètre statique.

## 2-3 Les Différents essais en laboratoire :

Les essais réalisés en laboratoire sont :

- Les essais d'identification ;
- Les essais mécaniques.

Les essais d'identification :

- Teneur en eaux et masse volumique.
- Analyse granulométrique ;
- Limites d'Atterberg ;
- Equivalent de sable ;
- Essai au bleu de méthylène (ou à la tache).

Les essais mécaniques :

- Essai PROCTOR.
- Essai CBR.
- Essai Los Angeles.

- Assai Micro Deval.

### 2-3-1 Les Essais d'identification

#### a) Masse volumique et teneur en eau

- ❖ **Teneur en eau** : notée  $w$ , est définie par le rapport du poids de l'eau au poids des particules solides d'un volume donné de sol. Elle s'exprime en Pourcent. Elle est facilement mesurable en laboratoire, soit  $\gamma = \frac{W_w}{W_s}$
- ❖ **Masse volumique** : ( $\varpi$ ) est la masse d'un volume unité de sol : «  $\varpi = \frac{W}{V}$  ».

On calcule aussi la masse volumique sèche :  $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

- ❖ **Principe de l'essai** : on utilise le principe de la poussée d'Archimède. En effet, on mesure le volume d'eau déplacé hors de l'introduction d'un certain poids de sol sec, la connaissance du poids des grains solides et de leur volume permet de calculer le poids volumique des grains solides.
- ❖ **But de l'essai** : le but de cet essai est de déterminé expérimental au laboratoire de certaines caractéristiques physiques des sols.
- ❖ **Domaine d'utilisation** : cet essai utilise pour classer les différents types de sols.

#### b) Analyses granulométriques par tamisage [LCPC .2001]

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

- ❖ **But de l'essai**
  - Déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon.
  - Représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.
- ❖ **Domaine d'application**

Cette opération permet de déterminer le pourcentage d'éléments fins (passant à  $80\mu\text{m}$ ) qui caractérise la sensibilité à l'eau du matériau d'une part et d'examiner, d'autre part, la forme de la courbe granulométrique : représentation graphique de la distribution des grains suivant leurs dimensions.

### ❖ Principe de l'essai

- L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.
- Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau.
- Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

### ❖ Résultats et interprétations

Tracé de la courbe granulométrique : Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats cumulés sur une feuille semi-logarithmique :

- En abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
- En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.
- La courbe doit être tracée de manière continue.

La forme de la courbe granulométrique obtenue apporte les renseignements suivants :

- Les dimensions  $d$  et  $D$  du granulat,
- La plus ou moins grande proportion d'éléments fins,
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

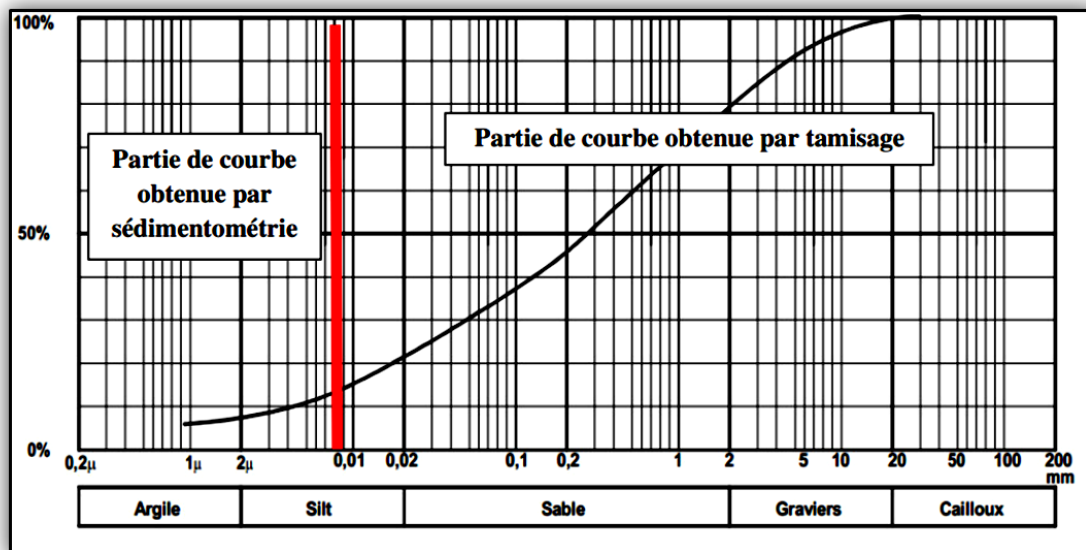


Fig. IV. 29 Courbe granulométrique [LCPC .2001]

### b) Limites d'Atterberg

La consistance que l'on peut définir comme un état de fermeté, est liée aux forces de cohésion entre les particules et ne concerne donc que les sols cohérents. Elle a une influence sur la résistance aux déformations.

La consistance dépend principalement de la distance qui sépare les particules d'un sol (plus l'indice des vides est élevé, plus la distance est grande). En effet, les vides étant remplis d'eau, la mesure de la teneur en eau permet d'évaluer l'indice des vides et, par conséquent, la distance entre les particules [A. GUETTOUCHE.2015].

- Limite de plasticité (WP) : caractérisant le passage du sol de l'état solide à l'état plasticité.

Elle varie de 0% à 100%, mais elle demeure généralement inférieure à 40%.

- Limite de liquidité (WL) : caractérisant le passage du sol de l'état plastique à l'état liquide

$$WL = \varpi \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

$\varpi$  : Teneur en eau au moment de l'essai donnant n coups et N : nombre de coups

- L'indice de plasticité (Ip),

$$IP = WL - WP$$

### d) Equivalent de sable

Cet essai s'exécute sur la fraction des sols passant au tamis de 5 mm. Il s'applique aux sols (en fait aux sables) peu ou pas plastiques donc très peu argileux. L'équivalent de sable est considéré comme indiquant le degré de pollution des éléments sableux d'un sol ou d'un granulat obtenu par concassage.

- ES = 100 % est l'indice d'un sable propre,
- ES = 80 % celui d'un sable argileux.
- ES > 80 : un sable à béton
- ES > 40 : Un sable pour sable-bitume (sand asphalt).

L'essai consiste à mettre en suspension, après défloculation dans une solution spécialement préparée, le sol et à mesurer au bout de 20 mn la hauteur des sédiments, et la hauteur du floculat. ES est égal au rapport de ces hauteurs [Y. ATLAN.1978].

Cet essai révèle très intéressant au laboratoire et sur chantier grâce à sa simplicité, sa rusticité, son faible coût et sa rapidité.

❖ **Domaine d'application** : cette détermination trouve son application dans de nombreux domaines notamment les domaines suivants :

- Classification des sols ;
- Etude des sables et sols fins peu plastique ;
- Choix et contrôle des soles utilisables en stabilisation mécanique ;
- Choix et contrôle des sables à béton ;
- Contrôles des sables utilisés en stabilisation chimique [B. Omar ; C. Rami.2018].

#### e) Essai au bleu de méthylène (ou à la tache)

Les molécules de bleu de méthylène ont pour propriété de se fixer sur les surfaces externes et internes des feuillets d'argile, la quantité de bleu adsorbée par 100 grammes de sol s'appelle « Valeur Au Bleu » du sol et est notée VBs, la VBs reflète globalement :

- La teneur en argile (associée à la surface externe des particules) ;
- L'activité de l'argile (associée à la surface interne).

L'essai consiste à mettre en suspension une fraction de sol (0/d) avec  $d \leq 10\text{mm}$  et à ajouter à cette suspension des doses successives de 5 ml d'une solution de bleu de méthylène jusqu'à apparition d'une auréole bleue autour de la tache constituée par le sol, l'auréole bleue indique l'excès de cette solution dans les particules d'argile.

**Tableau IV.10** : Caractérisation des sols à partir de la valeur de ES [LCPC.2001]

NATURE	ES
Sable pur et propre	100
Sol non plastique	40
Sol plastique	20
Argile pur	0



### 2-3-2 Les Essais mécaniques

#### a) Essai PROCTOR

L'essai Proctor est un essai routier, il s'effectue à l'énergie dite modifiée, il y a aussi l'énergie normale.

##### ❖ But de l'essai

Détermination des références de compactage d'un matériau : masse volumique et teneur en eau.

##### ❖ Principe de l'essai

L'essai Proctor, complètement normalisé, consiste à placer dans un moule de dimensions déterminées, un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par couches au moyen d'une dame de poids standardisé tombant d'une hauteur standardisée.

Pour chacune des teneurs en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe des variations de ce poids volumique en fonction de la teneur en eau [LCPC.2001].

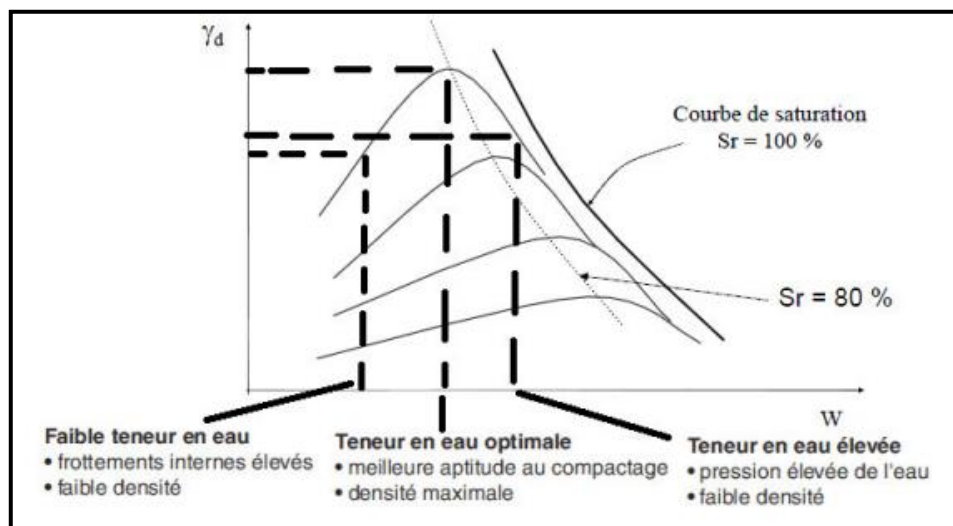


Fig. IV. 30 Courbe d'essai Proctor [LCPC.2001]

**c) Essai C.B.R (Californie Baring Ratio)**

On réalise en général trois essais : « CBR standard », « CBR immédiat », et « CBR imbibé ». On s'intéresse actuellement au « CBR imbibé ». L'essai CBR est un essai qui caractérise la portance d'un sol du point de vue routier. Il s'agit d'un essai totalement empirique et qui n'est pas relié aux caractéristiques intrinsèques ( $\phi$ ,  $c$ ) du matériau étudié. L'échantillon de sol étudié est compacté dans un moule (moule CBR  $\phi = 15,2$  cm, hauteur : 15,2 cm) après avoir été amené à une teneur en eau homogène et bien définie. Il est ensuite poinçonné et on déduit de la pression nécessaire à ce poinçonnement (les modalités du poinçonnement sont normalisées) un indice qui caractérise la qualité routière du matériau dans les conditions de compacité et de teneur en eau de l'essai [Y. ATLAN.1978].

**d) Essai Los Angeles**

L'essai Essai Los Angeles est normalisé par l'administration française, se fait sur les classes granulaires 4/6,3 - 6,3/10 - 10/14 mm. Il consiste à mesurer la quantité  $p$  d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau  $P$  (5 kg) aux chocs de boulets normalisés et aux frottements réciproques dans la machine LOS Angeles (cylindre de 711 mm de diamètre exécutant 500 rotations à  $30 \pm 3$  t/mn). Le coefficient Los Angeles est égal à :  $LA = 100 M/500$ . [Y. ATLAN.1978].



**Fig. IV. 31** Machine D'abrasion LOS ANGELES [SITE N°05]

**e) - Essai Micro Deval**

L'objectif de cet essai est d'apprécier la résistance à l'usure des granulats ; l'essai est réalisé en présence d'eau pour se rapprocher des conditions réelles de séjour des granulats dans les chaussées.

Il consiste à mesurer dans des conditions bien définies l'usure des granulats par frottements réciproques dans un cylindre en rotation. L'usure est mesurée par la quantité de fines produites [LCPC .2001].

**3- Condition d'utilisation des sols en remblais**

Les problèmes de stabilité de pentes se rencontrent fréquemment dans la construction des routes, les digues et les barrages. En outre, certaines pentes naturelles sont ou peuvent devenir instables.

Lorsque les talus et pentes ont des grandes hauteurs, l'instabilité constitue un risque élevé. Une rupture d'un talus peut être catastrophique et provoquer des pertes en vies humaines ainsi que des dégâts naturels considérables [A. FARES.2018].

Les remblais doivent être constitués de matériaux provenant de déblais ou d'emprunts éventuels.

Les conditions d'utilisation des matériaux en remblai sont définies en 7 rubriques [F. PORTET ; N. OLIVIER .2011] :

1. E Extraction
2. G : Action sur la granularité
3. W : Action sur la teneur en eau
4. T : Traitement
5. R : Réglage
6. C : Compactage
7. H : Hauteur de remblai

**➤ Extraction**

Le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais.

**✓ Extraction en couche :**

L'extraction en couche (épaisseur 0,1 à 0,3 m) permet une bonne fragmentation et un tri relatif des différentes couches de matériaux.

✓ **Extraction frontale :**

Pour l'extraction frontale, on observe des effets exactement opposés. Elle offre en plus la possibilité dans des formations stratifiées, de sélectionner le niveau présentant la meilleure portance pour le réserver à la circulation des engins de transport.

➤ **Action sur la granularité**

On distingue deux actions qui permettent d'agir sur la granularité :

- Élimination des éléments :
  - > 800 mm : Cette valeur constitue une limite maximum des blocs admissibles dans le corps d'un remblai compte tenu des performances des compacteurs les plus puissants actuellement.
  - < 250 mm : Cette valeur constitue la dimension maximale des blocs permettant encore un malaxage du sol avec un agent de traitement fragmentation complémentaire après extraction : Cette modalité s'applique aux matériaux rocheux évolutifs.

➤ **Action sur la teneur en eau**

2 grands principes :

- L'aération
- L'humidification

➤ **Traitement**

Le traitement s'effectue :

- Avec de la chaux
- Avec d'autres réactifs (ciments, cendres volantes, laitiers ou autres sous-produits industriels). Le traitement d'un sol consiste 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 aux matériaux des performances mécaniques supérieures à celles qu'ils possèdent à l'état naturel, et durables tout au long de la vie de l'ouvrage.

Dans le cas du traitement avec de la chaux ou des liants hydrauliques, il convient :

- De déterminer par une étude de laboratoire le choix du produit de traitement, les dosages nécessaires, pour atteindre les performances mécaniques recherchées et la plage de teneur en eau du mélange sol-liant.
- De s'assurer de la pérennité des liaisons engendrées par le traitement.
- Les modalités de traitement pour une couche de forme seront beaucoup plus rigoureuses que celles acceptables pour un traitement en remblai.

➤ **Compactage**

Il s'agit d'une donnée qualitative sur le niveau de compactage requis par les différents matériaux.

3 niveaux d'énergie :

- Faible
- Moyen
- Intense

➤ **Hauteur du remblai**

L'utilisation des matériaux est fonction de la hauteur du remblai.

On considère les remblais :

- De faible hauteur, limités à 5 m
- De hauteur moyenne, limités à 10 m
- De grande hauteur, supérieurs à 10m

**NB** : À défaut du manque du rapport géotechnique du projet nous n'avons pas traité convenablement la partie géotechnique pour l'application à notre projet.

## **Chapitre V :**

# **Dimensionnement de la structure de la chaussée**

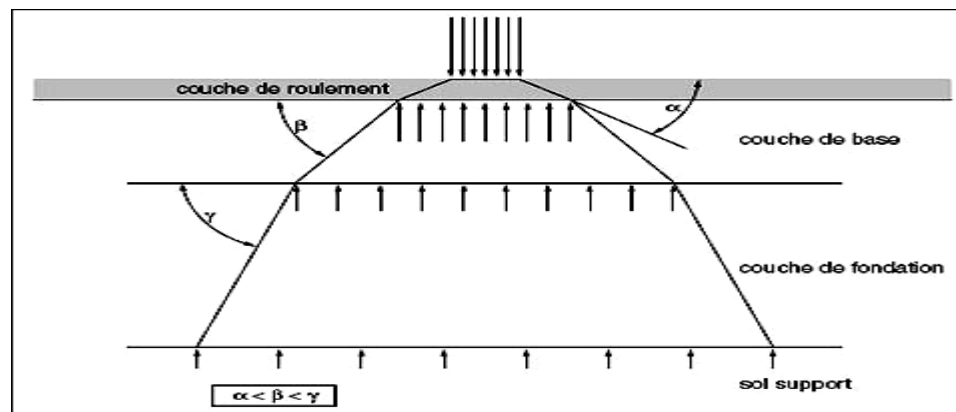
## Chapitre V

### Dimensionnement de la structure de la chaussée

#### 1- Introduction

Le dimensionnement de la structure de chaussée est la recherche de l'épaisseur à donner à une chaussée, suffisante pour qu'elle ait une durée convenable, et non surabondante pour éviter des dépenses superflues. Pour que la couche de surface ne présente que des déflexions insignifiantes, il faut que les couches qui la supportent offrent une résistance convenable. On est obligé d'apporter sur le sol naturel une épaisseur quelque fois importante, de matériaux choisis, dont la qualité va croître au fur et à mesure qu'on se rapproche de la surface de la chaussée.

Depuis ces dernières années, différentes théories et recommandations ont été faites pour résoudre au mieux le problème des chaussées, mais on peut affirmer qu'il n'existe pas actuellement de méthode universellement acceptée pour le calcul des épaisseurs de chaussées et pour la détermination de leurs différentes couches [T. NINOUEH.2017].



**Fig. V. 32** Répartition de la charge d'une roue dans les différentes couches de matériaux Constituant une chaussée souple [T. NINOUEH.2017]

## **BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée**

Le dimensionnement des chaussées souples procédait d'une démarche empirique, menée par analogie avec les structures déjà construites. Pour les chaussées en matériaux non liés, il était fait usage dans certains cas de la méthode CBR (Californian Bearing Ratio) imaginée par Porter (1930) aux Etats-Unis en corrélant les résultats de l'observation de la tenue de chaussées en Californie avec la nature des sols, le trafic et l'épaisseur.

Pour les chaussées en béton la conception s'inspirait des règles américaines faisant appel à des calculs de résistance des matériaux par la méthode de Westergaard (1927) pour les dalles de béton.

Une explication rationnelle du comportement des chaussées en mettant en parallèle les données expérimentales de la méthode CBR et les résultats de calcul du problème de Boussinesq (Boussinesq, 1885).

Devant la complexité des problèmes observés, les méthodes de dimensionnement développées sont basées sur des règles empiriques tirées de l'observation du comportement en service des structures de chaussée ou de sections expérimentales. Ces méthodes présentent des limites qui sont d'autant plus visibles que de nouveaux types de structures et des matériaux plus performants se développent et que le trafic est en constante augmentation. Un développement de méthodes de dimensionnement plus rationnelles apparaît donc nécessaire. Cette nécessité a conduit au développement et à l'application dès les années 1970 de la méthode rationnelle française [LCP, 1994] et, plus récemment, le développement, aux Etats-Unis, de la méthode du guide de dimensionnement AASHTO 2002. [N.S, IKHLEF.2015]

### **2- La chaussée**

#### **2-1 Définition**

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plateforme support de chaussée constituée du sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme [LCPC.1994].

#### **2-2 Les Différentes couches de chaussée : [LCPC.1994]**

**a) La couche de forme :** Cette couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée a une double fonction :

- ✓ Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée,



## **BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée**

- ✓ Vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

Le rôle des couches formant le corps de chaussée :

- les couches d'assise ; fondation et base,
- la couche de surface, peut être distinguée par leur apport aux fonctions que doit assurer la chaussée.

### **b) Les couches d'assise**

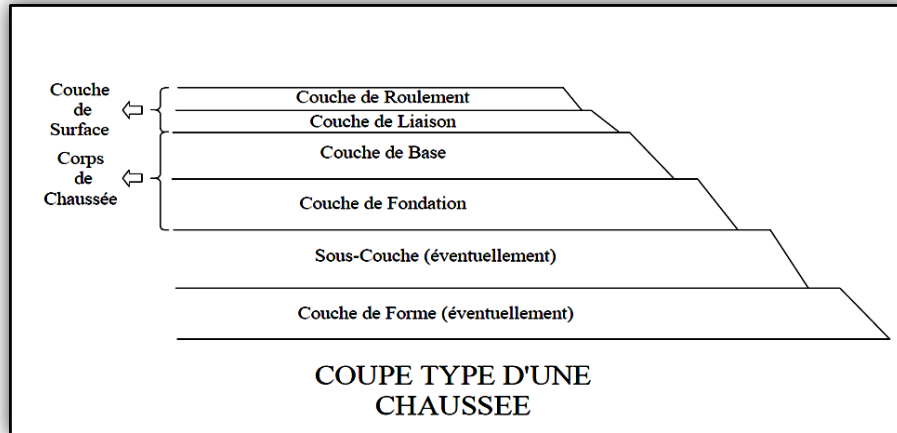
L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés (le plus souvent liés pour les chaussées à trafic élevé) apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans des limites admissibles.

Pour les chaussées à faible trafic, le rôle de couche de fondation peut être, dans certains cas, assuré par un traitement du sol en place.

### **c) La couche de surface**

La couche de surface est constituée de la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat, et le cas échéant d'une couche de //oison, entre les couches d'assise et la couche de roulement. C'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assises traitées aux liants hydrauliques.

Des caractéristiques de surface de la couche de roulement dépendent pour une large part la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue en outre à la pérennité de la structure de chaussée en particulier par la fonction d'étanchéité vis-à-vis de l'assise.



**Fig. V. 32** coupe type d'une chaussée [SITE N°06]

### 2-3 Les différents types de chaussée

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue, généralement, trois différents types de chaussée :

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

#### a) Les chaussées souples

La chaussée souple est constituée de deux éléments constructifs :

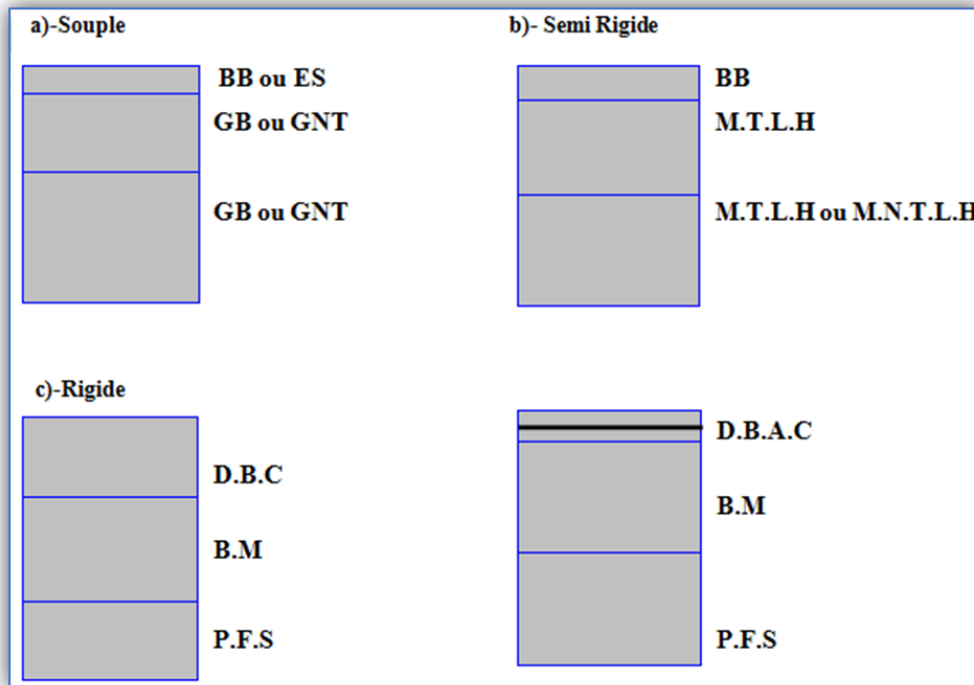
- Les sols et matériaux pierreux à granulométrie étalée ou serrée ;
- Les liants hydrocarbonés qui donnent de la cohésion en établissant des liaisons souples entre les grains de matériaux pierreux.

#### b) Les chaussées semi rigides

Ce sont des chaussées comportant une couche de base (quelques fois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, granulat, ...). La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelque fois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé strictement minimale doit être de 15 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.

**c) Chaussée rigide**

Elle est constituée d'une dalle de béton, éventuellement armée (correspondant à la couche de surface de chaussée souple) reposant sur une couche de fondation qui peut être un grave stabilisé mécaniquement, un grave traité aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques.



**Fig. V .33** Les différents types de chaussée [M. NEGADI ; A. MADDAH.2016]

Avec

- ✓ BB : béton bitumineux.
- ✓ GB : grave bitume.
- ✓ ES : enduit superficiel.
- ✓ M.T.L.H : matériaux traités aux liants hydrauliques.
- ✓ M.N.T.L.H : matériaux non traités aux liants hydrauliques.
- ✓ G.N.T : grave non traitée.
- ✓ D.B.C : dalle en béton de ciment.
- ✓ D.B.A.C : dalle en béton armé continu.
- ✓ B.M : béton maigre.
- ✓ P.F.S : plate-forme support.

**3- Méthodes de dimensionnement : [T. NINOUEH.2017]**

On distingue arbitrairement trois groupes de méthodes de dimensionnement :

- Les méthodes théoriques qui assimilent la chaussée à un édifice justiciable des procédés de l'élasticité ;
- Les méthodes empiriques dérivées des études expérimentales sur les performances des chaussées ;
- Les méthodes dites rationnelles combinent les résultats de certaines études théoriques et des essais et constatations faites sur les routes et les pistes en service. Ces méthodes sont les plus répandues et les plus rationnelles.

Pour cela on s'intéresse aux méthodes rationnelles les plus utilisées

**3-1 Facteurs déterminants pour le dimensionnement de chaussées : [T. NINOUEH.2017]**

**3-1-1 Trafic**

La connaissance du trafic (principalement du poids lourd), constitue un des éléments essentiels pour un bon dimensionnement de la structure de chaussée. Ce trafic s'exprime, généralement, par deux paramètres :

- Le TJMA : trafic journalier moyen annuel à la mise en service ;
- Le nombre cumulé d'essieux de référence passant sur la chaussée tout au long de sa durée de vie et qui sert à faire le calcul de dimensionnement proprement dit.

Le trafic poids lourd comprend tous les véhicules dont la charge utile est supérieure ou égale à 5 tonnes.

**a) Trafic à la mise en service**

- Ce trafic compté sur la base du TJMA est estimé à partir du trafic PL par sens circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service de la route ;
- On définit, en général, des classes de trafic en fonction du nombre moyen journalier annuel de  $PL \geq 5t$ .

La classification du trafic du poids lourds est adoptée par les normes algériennes **Tableau V.11.**

**Tableau V.11** : classes de trafic en fonction du nombre moyen journalier annuel [CTTP.2001]

Classe trafic	T5	T4	T3		T2		T1		T0		
			$T_3^-$	$T_3^+$	$T_2^-$	$T_2^+$	$T_1^-$	$T_1^+$	$T_0^-$	$T_0^+$	
<b>MJA (pl/J)</b>	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000

**b) Trafic cumulé équivalent (NE) :**

Le trafic utilisé pour le dimensionnement est le nombre équivalent d’essieux de référence correspondant au trafic PL cumulé sur la durée de service retenue, il est donné par la relation suivante :

$$NE = N \times CAM. \tag{V.1}$$

$$N = 365 \times MJA \times C \tag{V.2}$$

$$C = \frac{[(1 + \tau)^P - 1]}{\tau} \tag{V.3}$$

L’essieu de référence en vigueur en Algérie est l’essieu de 13 Tonnes.

- ✓ N : est le nombre cumulé de poids lourds PL pour la période de calcul de P années,
- ✓ C : étant le facteur de cumul sur la période de calcul, telle que :
- ✓ P : durée de vie.
- ✓  $\tau$  : Taux de croissance de trafic.
- ✓ CAM : est le coefficient d’agressivité moyenne de PL par rapport à l’essieu de référence.

**Tableau V. 12** : classe de trafic cumulé. [CTTP.1970]

Classe de trafic	T5	T4	T3-	T3+	Au-delà
CAM	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8 si e20<cm 1.0 si e>20cm

$$NE = 365 \times MJA \times CAM \times \frac{[(1 + \tau)p - 1]}{\tau}$$

V.4

### 3-1-2 Le climat et l’environnement

Le climat et l’environnement influent, considérablement, sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations. L’amplitude des variations de température et la température maximum interviennent dans le choix du liant hydrocarboné. Les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en remblai.

### 3-1-3 Le sol support

Les sols support sont, en général, classés selon leur portance, elle même fonction de l’indice CBR. Ce dernier est, en principe, mesuré à la teneur en eau d’équilibre à long terme du sol support. Si ce dernier facteur n’est pas connu, on prendra comme paramètres une teneur en eau égale à la limite de plasticité et densité sèche égale à 95 % de la densité à l O.P.M.

**Tableau V. 13** : portances de sol en fonction l’indice CBR. [CTTP.1970]

Portance	0	1	2	3	4
CBR	<3	3 à 6	6 à 10	10 à 20	>20

### 3-1-4 Les matériaux

Les matériaux utilisés doivent être conformes aux exigences en fonction de la couche de chaussée concernée et du trafic PL.

### 3-2 Les Méthodes Empiriques

#### 3-2-1 Méthode C.B.R (California Bearing Ratio)

C'est une méthode qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de 90 à 100% de l'optimum Proctor modifié. la détermination de l'épaisseur du corps de chaussée est par la formule de Peltier (1953, 1956). [T. NINOUEH.2017] :

Pour un trafic en voiture particulière : Pour un trafic :  $TMJA \times 365 \times 1.5t > 100000$  t/ans, s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après :

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

V.5

Avec :

e : épaisseur équivalente

I : indice CBR (sol support)

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

$$N = T_H \cdot \%PL$$

V.6

$T_H$  : trafics prévus pour une durée de vie de 20 ans.

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

V.7

$T_0$  : trafics actuel (v/j)

m : année de prévision

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

Log : logarithme décimal

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

V.8

## **BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée**

L'épaisseur totale à donner à la chaussée est

- ✓  $c_1 \times e_1$  : Couche de roulement
- ✓  $c_2 \times e_2$  : Couche de base
- ✓  $c_3 \times e_3$  : Couche de fondation

Où :

- ✓  $c_1, c_2, c_3$  : coefficients d'équivalence.
- ✓  $e_1, e_2, e_3$  : épaisseurs réelles des couches.

Coefficient d'équivalence

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

**Tableau V. 14** : coefficients d'équivalence pour chaque matériau [CTTP.1970]

<b>Matériaux utilisés</b>	<b>Coefficient d'équivalence</b>
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concasse ou gravier	1.00
TUF	0.6
Sable	0.50
Grave bitume	1.60 à 1.70

### **3-2-2 Méthode A.A.S.H.O: (American Association of State Highway Officials)**

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales. Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs [N.S, IKHLEF.2015] :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.



## **BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée**

- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.
- L'influence des charges et de leur répétition.

### **3-2-3 Méthode d'Asphalte Institute**

Elle basée sur les résultats obtenus des essais AASHO, on prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalte institute [T. NINOUEH.2017]

### **3-2-4 Méthode du catalogue des structures « SETRA »**

C'est le catalogue des structures type neuves et 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 [LCPC 1977].

Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données [LCPC 1977] :

- Trafic cumulé de poids lourds à la 20ème année  $T_j$ .
- Les caractéristiques de sol ( $S_j$ ).

#### **a) Détermination de la classe de trafic**

La classe de trafic ( $TPL_i$ ) est déterminée à partir du trafic du poids lourd par sens circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service.

Les classes de trafics adoptées sont dans **le tableau V. 15** :

## BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée

**Tableau V.15** : Détermination de la classe de trafic en l'absence de données précises [CTTP.1970]

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumulé sur 20 ans
T0	$< 3.5 \cdot 10^5$
T1	$3.5 \cdot 10^5 < T < 7.3 \cdot 10^5$
T2	$7.3 \cdot 10^5 < T < 2 \cdot 10^6$
T3	$2 \cdot 10^6 < T < 7.3 \cdot 10^6$
T4	$7.3 \cdot 10^6 < T < 4 \cdot 10^7$
T5	$T < 4 \cdot 10^7$

Le trafic cumulé est donné par la formule :

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

V.9

Avec :

- TPL : trafic poids lourds à l'année de mise en service
- n : durée de vie

**Tableau V.16** : classes de portance des sols Si [CTTP.1970]

Classe du sol	Indices C.B. R
S <sub>1</sub>	25 – 40
S <sub>2</sub>	10 – 25
S <sub>3</sub>	5 – 10
S <sub>4</sub>	< 5

**b) Détermination de la classe du sol**

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

Ce dernier est, en principe, mesuré à la teneur en eau d'équilibre à long terme du sol support.

Si ce dernier facteur n'est pas connu, on prendra comme paramètres une teneur en eau égale à la limite de plasticité et densité sèche égale à 95% de la densité à l'O.P.M.

**3-2-5 Méthode Algérienne du Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTTP**

Cette méthode découle du règlement algérien B60 – B61, elle consiste à déterminer la classe du trafic des poids lourds à la 20eme 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 désire suivant la disponibilité des matériaux de la région.

Les paramètres utilisés dans la méthode du catalogue des chaussées sont : trafic, sol support, environnement et zone climatique.

- **Trafic**

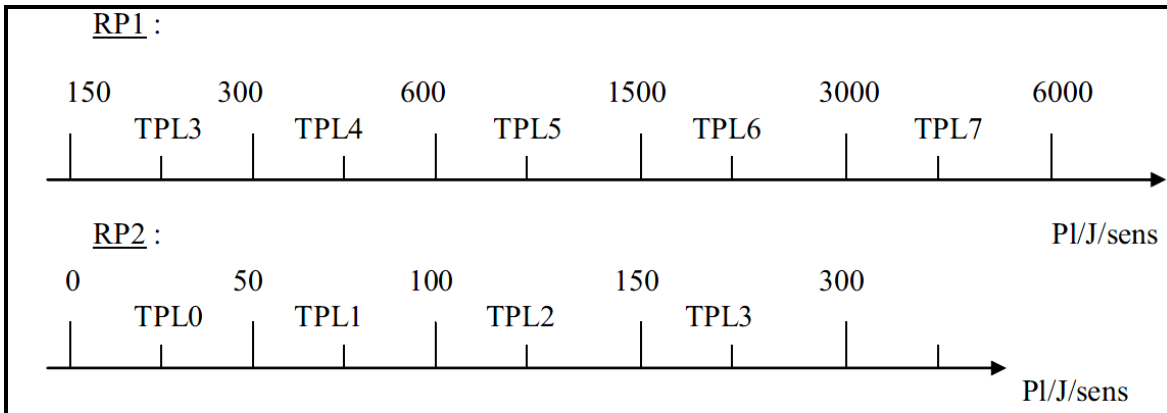
C'est le trafic poids lourds (véhicules de charge supérieure à 3.5 tonnes)

Le réseau principal noté **RP** : il se compose de route reliant :

- Les chefs-lieux de wilayas ;
- Les ports, les aérodromes et les postes frontaliers ;
- Les principales agglomérations et important zone industrielles.

Ce réseau principal se décompose en deux niveaux :

- RP1 ( $T > 1500V/J$ ) : RN, Autoroute, et CW ;
- RP2 ( $T < 1500V/J$ ) : RN et CW,



**Fig.V.34** les niveaux de réseau principal [CTTP.2001]

- **Détermination des classes de portance de sols**

Le tableau V.6 du catalogue regroupe les classes des sols de S0 à S4.

- **Détermination des classes de portance de sols support**

Pour les sols sensibles à l'eau : la portance du sol support est déterminée par :

- L'essai CBR imbibé à 4 jours pour les zones climatiques I et II :
- L'essai CBR immédiat pour les zones climatiques III et IV.

Pour les sols insensibles à l'eau : sols grossiers contenant plus de 25 % d'éléments > 20mm, la portance sera déterminée à partir des essais de chargement à la plaque ou des mesures de déflexions ( $W_{nat} \geq W_{opm}$ ).

- L'essai de plaque le module de sol EV2 la déflexion  $d_c$  (déformation).
- Les deux sont reliés par la relation empirique :  $EV2 \times d_c = 10340$ .

$$\begin{array}{c} \downarrow \quad \downarrow \\ \text{MPa} \quad 1/100\text{mm} \end{array}$$

Les différentes expériences ont fait ressortir la relation entre la rigidité **E** et l'indice **CBR** :

$$E \text{ (MPa)} = 5 \times \text{CBR} \dots \text{ Eq. V.10}$$

**Tableau V.17** : Classes de portance à long terme du sol support [CTTP.2001]

CLASSE	S3	S2	S1	S0
E (MPA)	25-50	50-125	125-200	>200

Il existe différents types de couches de forme suivant le cas de portance du sol terrassé (Si) et la classe du sol support visée (Sj).

La classe de la portance du sol terrassé, les matériaux de la couche de forme (CF), l'épaisseur de la couche de forme (C.F) et la classe de la portance du sol support visée (utilisé) sont données dans le **tableau V.1 18**.

**Tableau V. 18** : sur classement avec couche de forme en matériau non traité [CTTP.2001]

Classe portance du sol terrassé (Si)	Matériaux de C.F	Epaisseur de C. F	Classe portance du sol support visée (Sj)
<S4	Matériau NT	50cm (en 2c)	S3
S4	Matériau NT	35cm	S3
S4	Matériau NT	60cm (en 2c)	S2
S3	Matériau NT	40cm (en 2c)	S2
S3	Matériau NT	70cm (en 2c)	S1

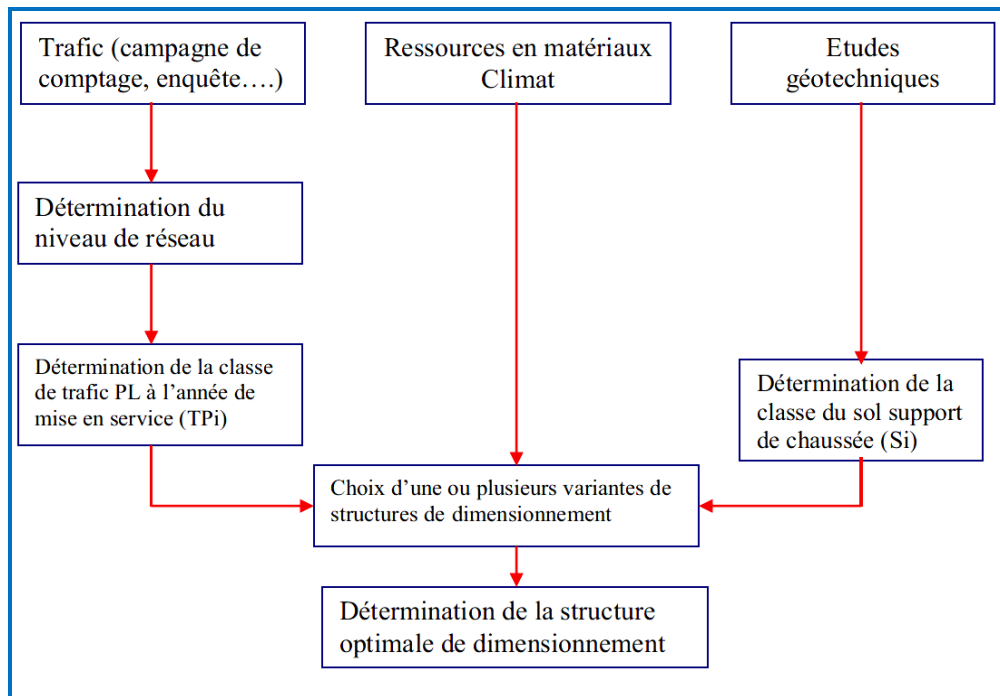
- **Les zones climatiques**

Selon la méthode présentée dans le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTTP, l'Algérie est divisée en quatre zones climatiques (**Tableau V.19**).

**Tableau V. 19 : Les zones climatiques de l'Algérie [CTTP.2001]**

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

**La démarche du catalogue:**



**Fig. V.35 La démarche du catalogue du CTTT**

#### **4- Les matériaux de chaussée**

Les matériaux de chaussée sont constitués d'un mélange de granulats et d'un liant, hydraulique ou hydrocarboné (à l'exception de la GNT). Ces produits de caractéristiques notablement différentes selon le liant utilisé rentrent dans la constitution des chaussées souples, rigides ou semi-rigides, mixtes ou inverses. Des normes européennes encadrent les caractéristiques de ces produits. Les études de formulation visent à optimiser les performances mesurées par des essais normalisés. Les objectifs de compactage en laboratoire sont corrélés à l'expérience du chantier (essai Proctor pour les graves hydrauliques, PCG pour les matériaux hydrocarbonés). Les normes produites désignent des classes de performances dans lesquelles s'inscrivent les formulations étudiées.

Les matériaux de chaussée peuvent être classés en 4 grandes familles [SITE N°07] :

- ✓ Les graves non traitée (GNT)
- ✓ Les matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)
- ✓ Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés (MTB)
- ✓ Les bétons de ciment (BC)

Ces matériaux ont en commun les points suivants [SITE N°07] :

- ✓ Les caractéristiques des granulats utilisés répondent à des critères (dureté, forme, propreté...) en adéquation avec la position dans la structure d'assise et les sollicitations dues au trafic ;
- ✓ Les liants utilisés doivent satisfaire les normes en vigueur (à défaut avoir fait l'objet d'un avis technique) ;
- ✓ Leur formulation doit respecter une méthodologie d'étude, normalisée ;
- ✓ L'étude de leurs performances mécaniques permet leur classification suivant les critères définis par la norme de leur famille.

#### **5- Conclusion**

D'après les méthodes de dimensionnement de la chaussée, on remarque bien que la méthode Algérienne de dimensionnement des chaussées neuves du catalogue du CTTP, Nous donne la structure de la chaussée adéquate et tout en sachant que cette méthode est la plus utilisée en Algérie pour dimensionner les routes nationales et les autoroutes, donc c'est la méthode adoptée pour notre projet.

**6- Application au projet :**

➤ **Dimensionnement de la structure de la chaussée :**

❖ **Méthode du catalogue des chaussées Neuves « CTTTP » :**

✓ **Détermination du type de réseau :**

On a: TJMA=13942,8 v/j > 1500 v/j

Donc le réseau principal est de niveau 1 (RP1).

✓ **Détermination de la classe de trafic TPLi pour RP1 :**

- Le projet est dans la zone climatique : Zone II
- Durée de vie : 20 ans.
- Taux de d'accroissement :  $\tau = 4 \%$ .
- TJMA= 13942,8 (v/j).

$$TPL = \frac{Z \times TJMAh^{2021}}{2} = 0.035 \times \frac{13942.84}{2} = 2440$$

**Tableau V.6. 20 : Classe de trafic [CTTP.1970]**

	TPL0	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
PL/J/sens	0 à	50 à	100 à	150 à	300 à	600 à	1500 à
Pour (RP1)	50	100	150	300	600	1500	3000

• **Classe TPLi pour RP1 :**

Pour RP1 : 1500 < 2440 < 3000

- Donc le réseau principal est de classe (TPL6).



## **BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée**

### ✓ **Détermination de la portance de sol support de chaussée :**

Le sol doit être classé selon la valeur de CBR de densité Proctor modifier maximal les différentes catégories sont données par le tableau indique les classes de sols :  $CBR = 7$ .

$$E = 5 \times CBR = 35 \text{ MPa}$$

- Selon le Fascicule 1 Tableau 2,4 notre sol est classé en S3
- D'autre part Selon le Tableau 5,
- Donc notre sol est classé en S2.

**Tableau V.6.21 : classes de la portance de sol-support [CTTP.1970]**

Classe de sol	E(MPa)
S1	125-200
S2	50-125
S3	25-50
S4	<25

### ✓ **La zone climatique :**

Pour notre projet la zone climatique II Selon la carte climatique de l'Algérie.

Par conséquent d'après les fiches structures pour le RP1 on obtient la structure suivante :

- D'après le catalogue on trouve la structure suivante :

## **6 BB+ 11 GB+ 12 GB.**

### **1- Détermination de la classe de trafic TPLi :**

- ✓ Le trafic à l'année horizon :  $TJMAh(2021) = 13942,84226 \text{ V/j}$
- ✓ Le pourcentage de poids lourds (%) :  $Z = 35\%$
- ✓ Classe de trafic TPLi : RP1(TPL6).

### **2- Détermination des classes de portance de sols :**

- ✓ E (MPa) :  $CBR = 7$
- ✓ Classe de sol : S3

## BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée

### 3- Détermination de structure d'après le catalogue et les matériaux utilisés :

- ✓ La zone climatique : 2
- ✓ Classe de trafic TPLi : RP1
- ✓ La durée de vie :  $n=20$
- ✓ Le risque de calcul considéré
- ✓ Risque de calcul :  $r (%) = 5$
- ✓ Le trafic :  $TPL = 2440$
- ✓ Le sol support de chaussée :  $CBR=7$
- ✓ La zone climatique : 2 (tableau : 7 ; fascicule : 2).
- ✓ Clottois des températures équivalentes :  $\theta_{eq} = 20$  (tableau : 8 ; fascicule : 2).
- ✓ Taux de croissance :  $\tau = 4\%$  (tableau : 5 ; fascicule : 2).
- ✓ Coefficient d'agressivité PL :  $A=0,6$
- ✓ E sol : 35MPa
- ✓  $\nu = 0,35$
- ✓ Coefficient de calage :  $K_c = 1,3$  (tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Dépression sur la loi de fatigue :  $SN=0,45$  (tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Coefficient :  $c=0,02$
- ✓ Dépression sur l'épaisseurs :  $Sh=3$  (tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Fractile de la loi normale :  $t=-1,645$  (tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Module complexe du M bitumineux à 10 °C(MPa) :  $E(10^\circ) = 12500$  (Tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Module complexe du M bitumineux à  $\theta_{eq}^\circ C 20^\circ$  (MPa) : (GB)=7000, (BB)=4000 (Tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Déformation limite (Mpa) :  $\epsilon_6 = 0,0001$  (tableau : 13 ; fascicule : 2).
- ✓ Pente de la fatigue :  $b=-0,146$  (tableau : 13 ; fascicule : 2).

#### • Calcul du trafic cumulé équivalent (TCEi)

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

TMJA 2021 = 13943 v/j (l'année de mise en service).

$TPL_{2021} = Z \times T_{JMA} 2016 = 0,35 \times 13943 / 2 = 2440 \text{ PL/j/sens.}$

## BAHI. Selma Chapitre V : Dimensionnement de la structure de la chaussée

- **Répartition transversale du trafic :**

Nous avons deux chaussées unidirectionnelles à 3 voies. D'après le catalogue algérien du dimensionnement La répartition du poids lourd est de 80% sur la voie de droite la plus chargée fascicule 1 p.10.

Donc :

$$TCEi = TPLi \times \frac{(1+\tau)^2}{\tau} \times C \times A = 15,9154552 \times 10^5 \quad \text{Essieux équivalents de 15T}$$

Donc nous sommes dans un réseau principal de classe C1, un TPL 6 .

- **Calcul des déformations admissibles sur le sol support**

$$\varepsilon_{z,ad} = 22 \cdot 10^{-3} \times (TCEi)^{-0,235} = 446,67 \mu \text{ def.}$$

- **Calcul des sollicitations admissibles**

$$\varepsilon_{t,ad}(GB) = \varepsilon_6(10^\circ C, 25Hz) \times k_{ne} \times k_s \times k_r \times K_c = 185,815 \mu \text{ def}$$

$$K_{ne} = \left( \frac{TCEi}{10^6} \right)^b = 1,49$$

$$K_\theta = \sqrt{\left( \frac{E(10^\circ)}{E(O_{eq})} \right)} = 1,336$$

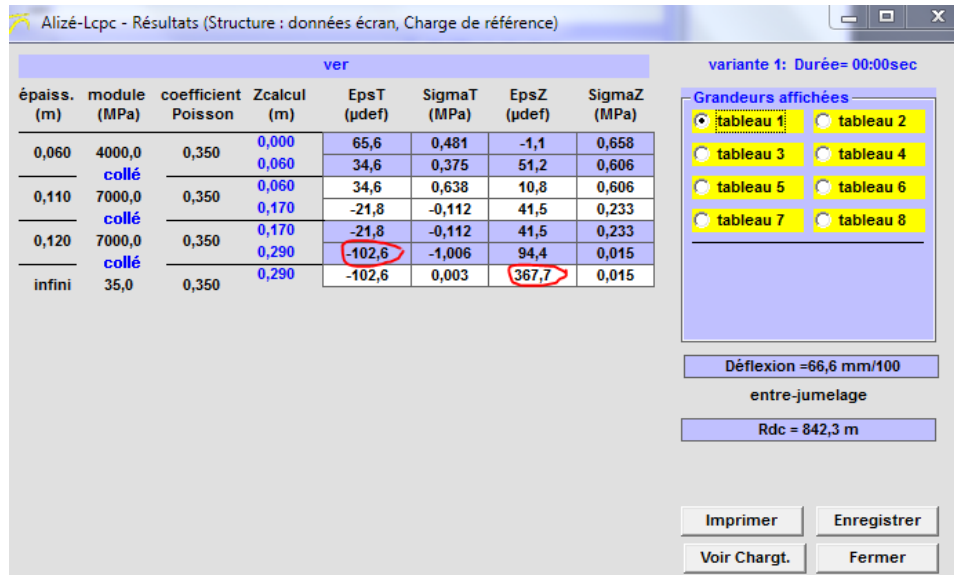
$$K_r = 10^{-t \times b \times \delta} = 0,7137$$

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left( c \times \frac{Sh}{b} \right)^2} = 0,609$$

➤ **Vérification des résultats de calcul par Alize III :**

❖ Caractéristique des couches : Toutes les couches sont collées.

**Résultat obtenue par le programme Alize LCPC :**



**Fig.V.36** les résultats obtenus par le programme Alizé LCPC

Donc la structure **6 BB+ 11 GB+ 12 GB** est vérifié, car :

$$\epsilon_{t,cal} = - 102,6 < \epsilon_{t, adm} = 185,81 \mu \text{ def .}$$

$$\epsilon_{z,cal} = 367,6 < \epsilon_{z,adm} = 446,67 \mu \text{ def .}$$

✓ **On admet la structure de la chaussée : 6 BB+ 11 GB +12 GB.**

Selon le catalogue de dimensionnement de corps de chaussée, cette section nécessite une amélioration par une Couche De Forme de 40cm en Tuf ou TVO (en 2 couches).

**Donc la structure de la chaussée : 6 BB+ 11 GB 12 GB + 40 TVO (en deux couches).**

## **Chapitre VI :**

# **Cubatures Des Terrassements**

## Chapitre VI

# Cubatures des terrassements

### 1- Introduction

La cubature des terrassements c'est le calcul des volumes des terres (déblais et remblais) à l'aide du profil en long et des profils en travers et les distances entre les profils [T. NINOUEH, 2018].

### 2- Méthodes de calcul des cubatures

Plusieurs méthodes permettent de calculer le volume de terrassement [IUT DE ST PIERRE, 2013] :

- La méthode des aires moyennes (en utilisant la formule du prismoïde ou formule des trois niveaux).
- La méthode par le calcul des volumes élémentaires (Calcul d'un volume entre deux profils en travers consécutifs).
- La méthode des profils.

Pour calculer le volume des terrassements, on utilise la méthode de la moyenne des aires. Elle est une méthode pratique qui utilise la formule du prismoïde (ou bien formule des trois niveaux). Elle est très simple et pratique.

#### 2-1 Description de la méthode [T. NINOUEH, 2018].

- **Méthode de la moyenne des aires :**

En utilisant la formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs Où h, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>0</sub> désignant respectivement :

$$V = \frac{h}{6} (S_1 + S_2 + 4 S_{\text{moy}}).$$

VI.1

Avec :

- ✓ h : la distance comprise entre les deux profils P1 et P2.

- ✓ S1 et S2 : les surfaces en profil en travers ;
- ✓ Smoy : la surface du profil en travers à mi-distance de P1 et P2.

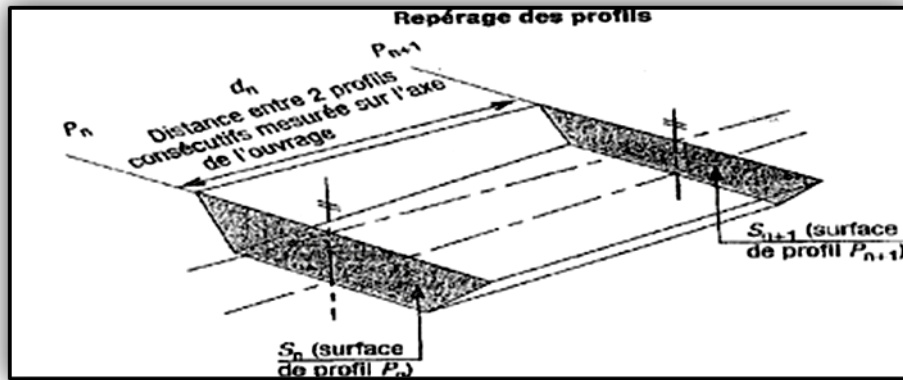


Fig. VI.37 Notations pour le calcul d'un volume de terres entre deux profils en travers consécutifs [T. NINOUEH. 2018]

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

Pour éviter un calcul très long, on simplifie la formule VI.1 en considérant comme très voisines les deux expressions Smoy et  $\frac{(S_1 + S_2)}{2}$

Alors on obtient :

$$V_1 = \frac{l_1}{6} \left( S_1 + S_2 + 4 \times \frac{(S_1 + S_2)}{2} \right) = \frac{l_1}{2} (S_1 + S_2) \tag{VI.2}$$

Donc les volumes seront :

✓ Entre P1 et P2  $V_1 = \frac{l_1}{2} (S_1 + S_2)$ . VI.3

✓ Entre P2 et PF  $V_2 = \frac{l_2}{2} (S_1 + 0)$ . VI.4

✓ Entre PF et P3  $V_3 = \frac{l_3}{2} (0 + S_3)$ . VI.5

✓ Entre P3 et P4 :  $V_4 = \frac{l_4}{2} (S_4 + S_3)$ . VI.6

En additionnant membre à membre les expressions précédentes, on obtiendra le volume total des terrassements suivant :

$$V = \frac{l_1}{2} S_1 + \frac{l_2 + l_3}{2} S_2 + \frac{l_2 + l_3}{2} S_f + \frac{l_3 + l_4}{2} S_3 + \frac{l_4}{2} S_4 \tag{VI.7}$$

Avec :

✓  $S_f = 0$

On voit l'utilité de placer les profils PF puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul (figure VI.2).

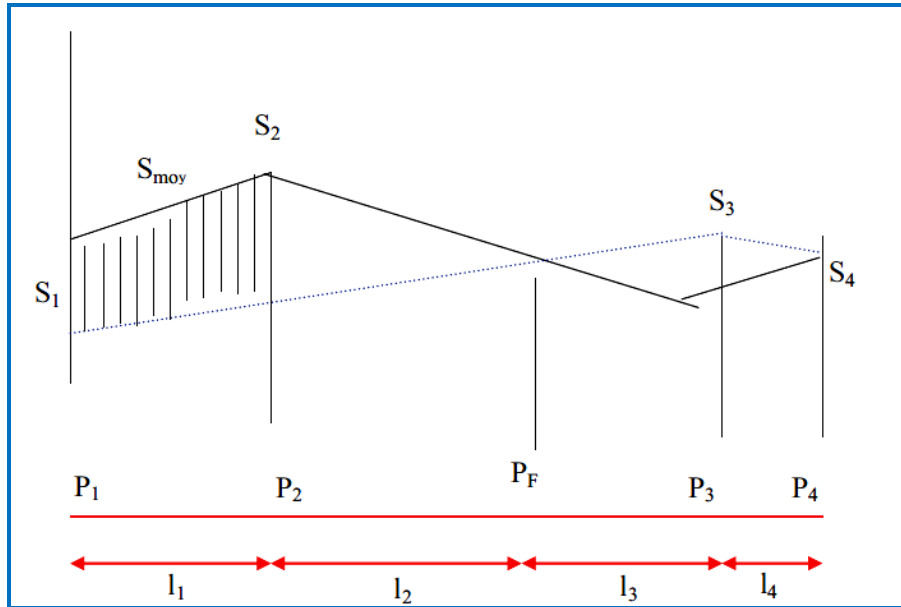


Fig. VI.38 Calcul par la moyenne des aires [T. NINOUEH. 2018]

Donc le volume **V** situé de part et d'autre du profil **Pn** peut s'écrire sous la forme :

$$V_n = \frac{(d_n + d_{n-1})}{2} \times S_n \tag{VI.8}$$

Avec :

- ✓ V<sub>n</sub> : volume engendré par le profil
- ✓ S<sub>n</sub> : surface du profil
- ✓  $\frac{(d_n + d_{n-1})}{2}$  : Longueur d'application (Distance d'application).



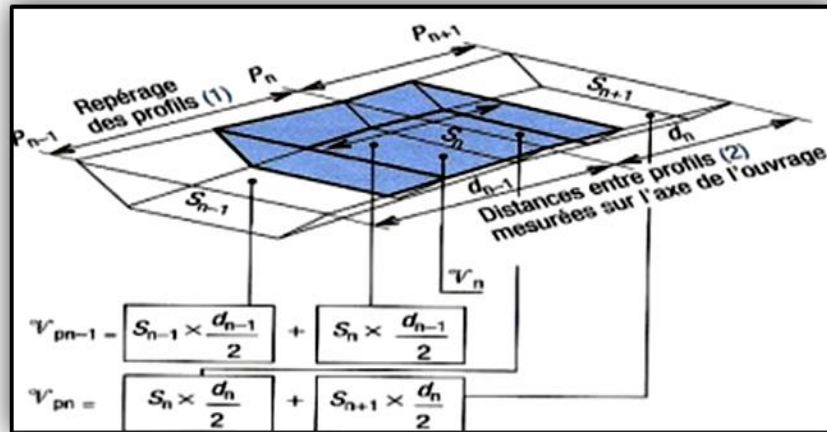


Fig. VI.39 Utilisation de la notion de distance d'application [T. NINOUEH. 2018]

### 3- Méthode classique

Dans cette méthode on distingue deux différents sous méthodes de calcul dont la première est celle dite de GULDEN où les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application au droit de leur centre de gravité, prenant en compte la courbure au droit de profil [M. NEGADI ; A. MADDAH .2016].

### 4- Application au projet

Dans notre projet, le calcul est fait à l'aide de logiciel (CIVIL 3D 2019). Les résultats de calcul de cubature des terrassements sont joints en annexe.

L'objectif fixé pendant le choix de la ligne du projet est de réduire au maximum la différence entre les volumes de déblais et de remblais.

## **Chapitre VII :**

# **Impact Sur Environnement**

## Chapitre VII

### Impact sur environnement

#### 1- Introduction

Le terme "environnement" est à prendre ici au sens large. Ce domaine rassemblera toutes les thématiques qui décrivent les lieux de vie des espèces animales et végétales.

Pour réaliser cette étude d'impact, il faut aborder l'ensemble des thématiques directement liées à l'environnement (eau, air, faune, flore), mais aussi sur l'environnement de l'être humain.

L'objet d'une étude d'impact sur l'environnement est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et à long terme d'un projet et de proposer les mesures adéquates pour limiter les effets négatifs du projet. [Patrick, Michel Bceom.2001. P.153]

Les étapes d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet routier peuvent se résumer en :

- L'analyse de l'état initial ;
- La justification de la solution retenue ;
- La détermination des impacts.

#### 2- Cadre juridique

L'étude d'impact d'un projet d'infrastructure en Algérie, se fait conformément au décret n° 90-78 du 27 février 1990, stipulant qu'une telle étude doit comprendre :

- Une analyse détaillée du projet ;
- Une analyse de l'état initial du site et de son environnement ;

Une analyse des conséquences prévisibles, directes et indirectes, à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement. [Décret exécutif n° 90-78 .1990].

### 3- Objectifs et utilités d'une étude d'impact sur l'environnement

L'objet d'une étude d'impact sur l'environnement est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme d'un projet et de proposer les mesures adéquates pour limiter les effets négatifs du projet.

Elle a pour objectifs [AMINA BACHA, 2007] :

- ✓ Assurer l'intégration des contraintes et des opportunités inhérentes au milieu dans la démarche de conception de la nouvelle infrastructure ;
- ✓ Identifier et évaluer l'importance des impacts appréhendés du projet sur le milieu physique, biologique et humain, ainsi que sur le climat sonore et le paysage ;
- ✓ Proposer des mesures visant à atténuer les impacts identifiés afin d'optimiser l'intégration du projet dans le milieu récepteur.
- ✓ Les mesures envisagées pour réduire, compenser les conséquences dommageables du projet.

### 4- Pollutions d'origine routière et impacts sur l'environnement de proximité :

La pollution d'origine routière peut être classifiée en quatre catégories [H. BRANCHU et al.,2013] :

- ✓ La pollution chronique associée au fonctionnement courant de l'infrastructure,
- ✓ La pollution saisonnière qui est principalement associée à l'utilisation de fondants routiers en hiver et à l'usage de produits phytosanitaires au printemps,
- ✓ La pollution accidentelle,
- ✓ La pollution en phase chantier.

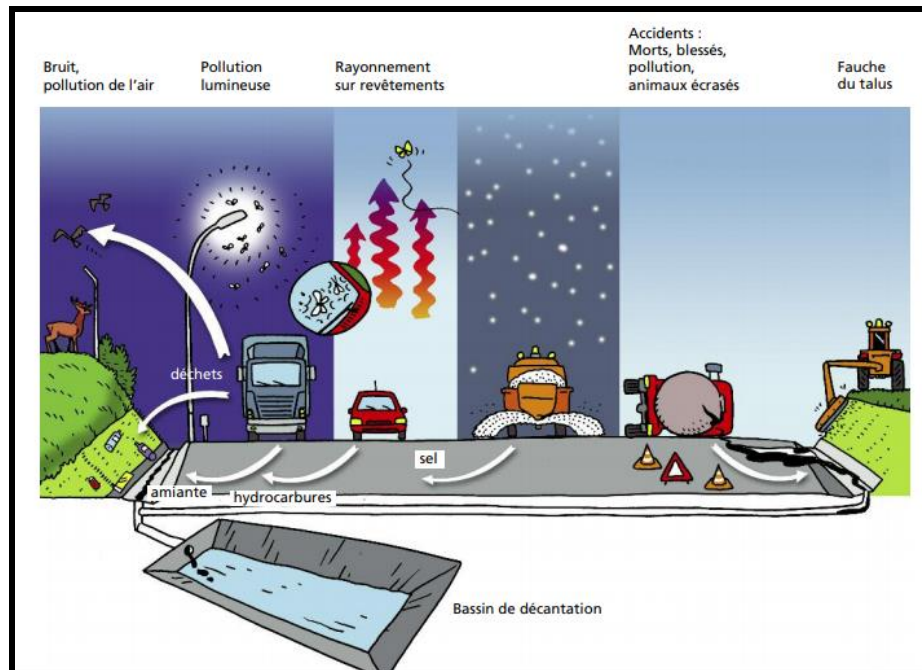


Fig. VII. 40 L'impact de l'usage et de l'entretien des voiries [SITE N°03]

## 5- Impact sur l'agriculture

Il est incontestable que l'agriculture est une activité économique principale et inépuisable. De ce fait elle doit se faire accorder un grand intérêt.

### 5-1 Les impacts

L'ensemble des impacts sur l'agriculture peut se regrouper en [J, HARTLÉN ; A.M, FÄLLMAN ,1999]:

- ✓ L'effet de substitution de sol à vocation agricole, et des diminutions des superficies exploitées ;
- ✓ L'effet de coupure, entraînant la destruction d'une tranche de la parcelle agricole, et difficultés de travail et de circulation par des allongements de parcours (rupture cheminements) ;
- ✓ L'effet de modification du régime agricole.

### 5-2 Les remèdes

Les mesures visant à sauver à ces préjudices sont classées en deux catégories [J, HARTLEN ; A.M, FÄLLMAN,1999] :

- ✓ Mesures protectrices : Devant intervenir en amont, lors des choix du tracé et la détermination des caractéristiques du projet, sinon on aura recours aux

- ✓ Mesures curatives : Comprenant la restriction des exploitations et des mesures techniques allant du rétablissement des réseaux existants à la remise en état des terrains agricoles.

Dans ce cadre, les différentes actions possibles, qu'on peut mener pour les protections et les remèdes sont [B40.1977] :

- ✓ Le passage préférentiel en limite d'agglomération et de territoire agricole évitant la coupure de zones agricoles homogènes.
- ✓ La pris en compte des superficies d'exploitation.
- ✓ Evier des zones hydro-agricoles sensibles aux modifications.

## 6- Les impacts sur le milieu biologique

### 6-1 La faune

Comme pour la flore, les bords de routes, épargnés par la production économique, constituent des refuges pour de nombreuses espèces animales. Ils peuvent même héberger des auxiliaires utiles à l'agriculture et à l'horticulture (pollinisation des vergers par des insectes butineurs, lutte biologique grâce aux insectes et aux oiseaux prédateurs). Préserver ces milieux est un impératif pour le maintien de la diversité de la faune et la sauvegarde du milieu naturel [AIPCR, 1999].

Par contre, la voirie existante a aussi un impact négatif sur une partie de la faune rencontrée, soit en raison de collision avec des véhicules à moteur, soit par la fuite de certaines espèces.

Comme la demande de mobilité augmente sur les autoroutes existantes, traversant des écosystèmes naturels, la probabilité de conflit avec la faune augmente, entraînant des dégâts coûteux, des menaces sur la sécurité des personnes et une mortalité animale.

Si la route sépare les lieux de reproduction, les aires de nourrissage, les territoires de chasse, les risques de mortalité peuvent être importants lors de la traversée. Dans le cas de coupures complètes, un impact durable et irréversible peut être constaté sur la faune riveraine.

En outre, les barrières mises le long des routes peuvent également constituer une contrainte importante pour la survie de certaines espèces.

À cet égard, la construction de barrière a un impact particulièrement négatif sur la faune vivant aux abords de la route.

Aux Pays-Bas, une étude particulièrement intéressante sur les effets de la présence et de l'utilisation des autoroutes sur la densité des espèces d'oiseaux a été publiée en 1995. Les oiseaux sont en effet très

sensibles à la présence de voiries dans des zones herbeuses ou forestières, comme le prouve la faible densité d'espèces d'oiseaux au voisinage des routes.

Des influences allant de 100 à 1 000 m ont été constatées avec des réductions de densité de population parfois jusqu'à 80 %. Toutes espèces confondues, l'effet de distance par rapport à la route et de réduction de densité était en moyenne de 460 m et 34 % dans les zones forestières et de 8 710 m et 39 % pour les zones herbacées.

Une sensibilité très variable a été constatée d'une espèce à l'autre.

Il est dès lors évident qu'un développement cohérent des infrastructures de transport est théoriquement compatible avec le respect des écosystèmes. D'ailleurs, il existe parfois concrètement.

Le tracé de la route provoquera des accidents dus aux collisions des usagers de la route avec ces animaux [AIPCR., 1999].



**Fig. VII. 40** Cadavre de chevreuil sur une route [SITE N°03]

## 6-2 La flore

Les études de rectifications menées sur le terrain permettent d'identifier précisément les groupements végétaux avec le tracé retenu. La connaissance approfondie de la flore locale vise à orienter le choix des espèces à planter sur le talus selon un certain nombre de critères : particularités de la climatologie et du paysage. Les espèces végétales indigènes sont ainsi toujours privilégiées car elles présentent l'intérêt d'être les mieux adaptées au milieu environnant (littoral) [R.S, Hamilton ; R.M. 1991]



**Fig. VII. 41** Passage aérien pour la faune. Parc national Banff (Colombie-Britannique) [site N°04]

## 7- Impact sur le milieu physique

### 7-1 Le sol

En principe en dehors des déversements volontaires importants sur les sites non agréés, les sols exposés à la pollution sont également ceux concernés par les travaux (base chantier, linéaire du projet) et ne présentant donc plus d'intérêt pour l'agriculture ou les plantations. En outre, des bonnes pratiques ont suffi à l'éviter. Même si une plante parvient à se développer sur les sols contaminés, les risques de l'accumulation des métaux lourds ont été grands ce qui mettent en danger les consommateurs et le maillon de cette chaîne alimentaire. Ces impacts négatifs sur le sol ont une courte durée avec une portée locale [I.A. ISMAËL.2016].

### 7-2 L'eau

La pollution diffuse constitue aujourd'hui le principal défi de la gestion de l'eau. Les principales sources de cette pollution diffuse dans les eaux du monde entier proviennent des secteurs de l'agriculture et des transports et ce, en raison des éléments nutritifs transportés par les eaux (phosphates, ammoniacs, nitrates), des éléments lourds (cadmium, zinc, cuivre) et des micropolluants (pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques). La pollution diffuse atteint également les cours d'eau par les dépôts directs ou indirects en provenance d'un transit atmosphérique.



Les voiries existantes engendrent plusieurs impacts sur la pollution de l'eau :

- entraînement de particules solides après érosion des talus, berges, par les eaux de ruissellement vers le réseau hydrographique où les matières en suspension augmentent et où se produit un colmatage des fonds ;

- pollution chronique due à l'usure de la chaussée et des pneumatiques, corrosion des éléments métalliques (barrières de sécurité, carrosseries) et émission de gaz d'échappement ; dès lors, des métaux lourds, des hydrocarbures, des huiles, du caoutchouc, des phénols sont régulièrement déposés sur la chaussée et transportés hors de la plate-forme par les vents et les eaux de ruissellement ; fixés sur des particules solides, ces polluants affectent les eaux superficielles et les nappes alluviales :

- Pollution saisonnière liée aux produits de déverglaçage, aux herbicides et aux engrais essentiels ;
- Pollution accidentelle par déversement de produits dangereux ou polluants [AIPCR.1996-1999].

### 7-3 L'air

La pollution de l'air par le trafic automobile est de plus en plus difficilement acceptée par la population riveraine d'une route, d'autant plus qu'une médiatisation, parfois sans le support d'explication technique, a contribué à augmenter très fortement la sensibilisation. Du fait du fonctionnement du moteur de sa voiture, l'homme introduit dans l'atmosphère voisine de la route des substances de nature à mettre en danger la santé des riverains et à nuire aux écosystèmes et ressources biologiques.

Il importe cependant de noter que d'après l'OCDE, par exemple en Europe occidentale, les véhicules ne seraient la cause que de 20 % d'émissions atmosphériques globales, l'industrie étant responsable des 80 % restants [AIPCR.1996-1999].

### 8- L'impact sur les habitants

Les principaux impacts d'une infrastructure routière sur les habitants sont :

- La destruction ;
- La pollution ;
- Le bruit.

En outre à ces impacts qui sont difficile, voir impossibles à évaluer, il existe d'autres effets qui leur sont liés :

- L'effet de bornage d'une ville par projet ;
- L'effet de barrière entre deux centres urbains ;

- L'effet de destruction au sein des agglomérations. [J, HARTLÉN; A.M, FÄLLMAN, 1999]

### 8-1 La destruction

Les projets d'aménagement routier nécessitent parfois, la destruction de certaines habitations et le déplacement des populations du lieu de leur vie ou de travail, et leur réinstallation par la suite ailleurs, ce qui peut provoquer un bouleversement sur le plan économique et culturel de la vie des individus affectés.

Les impacts de destruction concernent :

- Les populations situées sur l'emprise du projet, et qui seront obligés de se déplacer.
- Les populations situées au périmètre d'accueil.

Ces impacts sont d'ordre :

- Economique : modification des systèmes de production.
- Socioculturel : désorganisation des communautés, et modification culturelle.
- Naturel : modification dans l'exploitation des ressources naturelles [J, Hartlén; A.M, Fällman, 1999].

### 8-2 Le bruit

#### 8-2-1 Les impacts

La construction d'une autoroute au voisinage d'habitation a des conséquences sur la santé humaine suite à la gêne due au bruit pouvant se manifester de plusieurs façons :

- a- Perte de sommeil ;
- b- La fatigue ;
- c- Baisse de l'acuité auditive.

#### 8-2-2 Les remèdes

- Eviter les zones de grandes densités d'habitation en agissant en amont sur la configuration du tracé ;
- Mettre des protections entre cette source de bruit et les récepteurs ;
- Agir sur les façades des bâtiments concernés ;
- La protection entre la source et le récepteur consiste à interposer un obstacle entre les voies de circulation et les habitations situées à la proximité ;

- Dans le cas d'immeubles de grande hauteur, ces dispositifs sont incapables de protéger les étages supérieurs.

En générale on peut avoir recours à l'amélioration de la couche de roulement en agissant sur les enrobés au dépend des frottements, pour minimiser les bruits de circulation [J, HARTLEN ; A.M, FÄLLMAN, 1999].

### **9- Impacts sur la santé**

La mise en service de la route a entraîné des impacts négatifs sur la sécurité des biens et des personnes. En effet, l'aménagement et le bitumage des routes ont permis d'accroître le trafic routier et la vitesse de circulation de véhicules. Ce qui se traduit souvent par une augmentation des accidents des personnes (poids lourds à centre de gravité excentré, excès de vitesse) et des animaux, notamment dans les zones à forte densité humaine et les zones d'élevage. De manière globale, les impacts de la route aménagée ont été positifs et directement ressentis par les populations locales. De forte intensité et d'importance majeure, ces impacts vont durer longtemps pendant toute la durée de vie des routes, à l'échelle de la région [I.A. ISMAËL.2016].

### **10- Conclusion**

Le défi est de limiter le plus possible l'impact sur l'environnement humain tout en préservant les ressources naturelles. Cet engagement permanent doit s'imposer tout le long des trois étapes successives qui marquent la vie de la route :

- Sa conception ;
- Sa construction ;
- Son exploitation.

### **11- Application au projet :**

Pour notre projet, on constate que le tracé de l'évitement de TEBESSA traverse un terrain agricole. Ce projet routier a eu différents impacts sur l'environnement :

- un impact visuel lié aux terrassements nécessités par le projet (déblais et remblais)
- un prélèvement de terres agricoles pour l'emprise du projet,
- le passage à proximité d'habitations,
- la division de plusieurs terrains agricoles en deux par la route qui a des conséquences pratiques sur leurs exploitations.

Et d'autre part les nombreux passages d'engins agricoles et de camions rendent la route très boueuse, donc glissante et dangereuse.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

La présente étude effectuée dans le cadre du projet d'aménagement du réseau routier de la commune de Tébessa, plus précisément de l'évitement de la ville de Tébessa entre la RN 82 et l'intersection RN10/RN16. Dans notre démarche d'étude nous avons essayé de respecter toutes les normes algériennes existantes qui ne peuvent pas être négligées et nous avons pris en considération l'économie et la protection de l'environnement avec la prise en compte de la sécurité des usagers et de leur confort. Notre souci durant l'étude était de proposer un projet réaliste, facilement réalisable, de moindre coût et d'entretien facile.

Des propositions techniques ont été faites sur les caractéristiques géométriques du tracé routier avec la prise en compte des normes B40. Pour l'élaboration du tracé en plan, nous avons effectué une étude de trafic qui a donné comme résultat : un profil de 2×2 voies pour un trafic prévu pour l'année 2041, et d'après les calculs nous avons adopté : deux chaussées séparées avec chacune deux *voies* de circulation :  $(3 \times 3.5) = 27$  m. La structure de la chaussée est déterminée par l'application de la méthode proposée par le catalogue algérien de l'organisme CTPP qui a donné La structure suivante : 6BB-11GB-12 GB.

Cette étude a été une occasion pour nous de mettre en application les connaissances théoriques acquises durant le cycle de notre formation, et elle nous a permis de chercher des solutions aux problèmes techniques qui peuvent se présenter lors d'une étude d'un projet routier dans une zone suburbaine. Il était pour nous d'une part l'occasion de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine, et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet des travaux publics. Ce travail nous a permis aussi de mieux maîtriser l'outil informatique tel que les logiciels : Autodesk Civil 3d V 2019, Excel, Franson Coordtrans 2.3 et Tcx Converter ...etc.

### **A partir de ces constatations, nous recommandons ce qui suit :**

- Les résultats obtenus lors de notre travail serviront éventuellement de base pour plus tard et ils seront appuyés par d'autres études de réalisation d'un projet routier après avoir les données nécessaires des levées topographiques et de trafic routier et selon les normes à partir de DTP, puis ils y'aura possibilités de comparer entre les résultats des différents logiciels de calcul.
- On peut effectuer les plans du projet et les terrassements des terres à l'aide de logiciel civil 3d basé sur les normes françaises.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- **ATLAN. Y.,** *Catalogue Des Essais Géotechniques Exécutés Au Laboratoire Géotechnique D'orléans.* Orléans.1978. P.34.
- **BOULAHLIB.M.S.,** *Géométrie des tracés, conception et entretien des chaussées* Cours M1IT L'université Mentouri Constantine1. 2012. P. 75
- **BOUTELOUP. D., NICOLON. Ph., VINCENT. S., VALENTIN. P.,** *Mesure des altitudes.*2010. P.50.
- **BACHA. A.,** *Exposé, étude d'impact des projets routiers sur l'environnement, Mémoire de master en Géologie de l'ingénieur,* USTHB 2007.
- **BOUKHARI. Z., BENGUIZA.M.,** *Etude Du Dédoublment De La Rn01 De La Wilaya De Djelfa Sur 25 Km.* Ecole Nationale Des Travaux Publics (E.N.T.P) De Kouba – ALGER.2007. P.125.
- **BRANCHU.H., BADIN A., BECHET. B., Laurent. E., Tiphaine. MARSEILLE L.F., and TRIELLI.E.,** *Pollution d'origine routière et environnement de proximité.* Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 15 février 2013, Online de 18 Octobre 2012, connexion on 08 June 2020.
- URL:  
<http://journals.openedition.org/vertigo/12775;DO:https://doi.org/10.4000/vertigo.12775>
- **BOUNAR. S., KHALLA.S.,** *Etude de l'évitement de la ville EL FEDJOU DJ sur 5km.* Université 8 Mai 45 Guelma,2016. P.120.
- **B 40,** *Etudes Générales Techniques Et Economiques Des Aménagements Routiers Normes Techniques D'aménagement Des Routes, MTP .10/1977,* P.281.

- **COSTET. J., SANGLERAT. G.,** *Cours pratique de mécanique des sols*, Dunod, 1983, p 442.
- **Comité AIPCR de l'Environnement (C14),** 1996-1999.
- **Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990,** *études d'impact sur l'environnement*, p. 318.
- **DESTOMBES. M. A.,** *catalogue des structures*. France.2002.
- **FARES. A.,** *Cours MDS, stabilité des pentes et des talus*. Université de Larbi Tébessi, Tébessa, 2017-2018.
- **GUETTOUCHE. A.,** *Mécanique des sols*. Département de Génie Civil I. Université Ferhat Abbas- Sétif-1, Faculté de Technologie.2015/2016.
- **HENRY, JEAN. B.,** *Notions Géodésiques De Base. Cours de Topographie et Topométrie Générale*. Université de luis pasteur Strasbourg. Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST),2017. P.65.
- **HARTLÉN. J., FÄLLMAN. A.M.,** *Principles for risk assessment of secondary materials in civil engineering work*. Naturvardsverket ,1999.
- **HARTLÉN. J., FÄLLMAN. A.M.,** *Principles for risk assessment of secondary materials in civil engineering work*. Naturvardsverket ,1999.
- **HABITA.D., A., GUEDIRI.** *Etude d'aménagement d'un échangeur sur la RN04 a boumedfaa (w. Ain defla) en APS et APD avec 8 km de l'autoroute est-ouest*. Mémoire d'ingénieur. Alger, Algeria. (2010).
- **Hamilton. R.S., Harrison. R.M.,** *Highway Pollution, Studies in Environmental Science 44*. Amsterdam: Elsevier, 1991.
- **HAMILTON. R.S., HARRISON. R.M.,** *Highway Pollution, Studies in Environmental Science 44*. Amsterdam: Elsevier, 1991.

- **ISMAËL.I.A.**, Rapport du stage, *Etude D'impact De La Réhabilitation De La Route Zinder Guidimouni : Evaluation Du Plan De Gestion Environnemental Et Social Dans Son Volet Suivi Environnemental*. Université De Zinder. Nigeria .2016.
- **IUT de St Pierre**. *Construction Travaux Publics, les routes. UE33, Module C5, l'institut universitaire de technologie de St Pierre*, France. 2008-2006.
- **IUT de St Pierre**. *Travaux de terrassement, Module01- GCI*, Institut Universitaire de Technologie de St Pierre, France.2013. P.16.
- **IKHLEF. N.**, *Comportement d'un matériaux routier traité aux liants hydrauliques- Application aux Autoroutes*, thèse doctorat. Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès 2014-2015. P.202.
- **KAID. N.**, *Topographie Partie I Notions de bases*. Université de L'USTO.2015-2016. P.96.
- **KESTELOOT. S.**, *Cours topographie, partie 1 : nivellement*. Institut Universitaire de Technologie de Béthune. France, 2017.P.16.
- **LCPC**. *Collection Techniques et méthodes des laboratoires des Ponts et Chaussées,2001*, p.148.
- **LCPC, SETRA**. *Guide technique ; Conception et dimensionnement des structures de chaussées*. Paris : Bagnaux, décembre 1994.p250
- **MESSAOUD. F.**, *Cours topographie, Méthodes tonométriques*. Université de Larbi Tébessi, Tébessa, 2017-2018.
- **MESSAOUD, F.**, *Cours, Méthodes tonométriques*. Université De Larbi Tébessi, Tébessa, 2017-2018.
- **MONNET. J., GRENOBLE. P.**, *Les essais in situ en géotechnique. Sous la direction de Gilles Pijaudier-Cabot*. Collection Génie civil et géomécanique dirigée par Félix Darve et Gilles Pijaudier-Cabot. Février 2016.P.394.



- **MADOURI.Y., ZAROUALIA.A.,** *Etude Technique D'un Tronçon D'une Route Evitement De La Ville Sfisef Sur 7 Km, Master.* Université Abou bekr Belkaid, Tlemcen.2012. P.150.
- **MILLES. S., LAGOFUN. J.,** *Topographie et Topométrie Modernes, TOME 1.* Le 01/07/1999. Eyrolles.P.535.  
Disponible sur :  
<https://acadwld.blogspot.com/2017/04/topographie-et-topometrie-modernes-tome.html>
- **NINOUH. T.,** *Cours routes, Représentation graphique des routes.* Université de Larbi Tébéssi, Tébessa, 2017-2018.
- **NINOUH. T.,** *Cours routes, cours route 2 et 3.* Université de Larbi Tébéssi, Tébessa, 2017-2018.
- **NEHAOUA. A.,** *Cours route I.* Faculté, Technologie -U.F.A. S.2013.P.12.
- **NEGADI.M., MADDAH. A.,** *Etude En APD Du Dédoublment De La Route Nationale RN108 Sur 7.5 Km, MASTER.* Centre Universitaire d'Ain T'émouchent Belhadj Bouchaib.2016. P.99.
- **Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).** *Routes à deux voies en rase campagne : caractéristiques routières, écoulement de la circulation.* PARIS. 1972, 158 p.
- **OUEDRAOGO.A.R.,** *Etude technique et détaillée des travaux de construction et de bitumage de l'interconnexion de la RN 01 et RN 04,* Mémoire Master. Burkina Faso, 2011
- **OLIVIER. F.,** *manuel Mais in imchoot pratique de formation pour cadre des techniques de bureau d'études,* Genève, 1999, tome 1.
- **OMAR.B., RAMI. C.,** *Etude de dédoublement de RN06 de wilaya de Bechar sur 10 km.*2018. P.126.

- **PORTET.F., OLIVIER. N.**, ENTE d'Aix-en-Provence Sylvie Nicaise, Laboratoire du CETE Méditerranée Carole Portillo et Mathieu Vermeulen, Ecole des Mines de Douai, V4.18 juillet 2011.
- **REZNI. Y.**, *Etude d'une route reliant le village Haraza à RN°06*, Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2012.
- **ROGER. C.**, (1969). *Route circulation tracé et construction*. Livre1. Eyrolles, Paris.
- **SETRA.** (2012). L'induction de trafic. France.
- **SETRA**,2006. *Service d'Études Techniques des routes et autoroutes*. PARIS.
- **SITE N°01:**  
<https://www.rome-roma.net/les-voies-romaines/>
- **SITE N°02 :**  
<https://agenceanta.com/deces-de-johns-macadam-fondateur-des-routes-en-pave-denommes-macadam/>
- **SITE N°03 :**  
<http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/brochure-concilier-routes-et-environnement-.pdf>
- **SITE N°04 :**  
<https://journals.openedition.org/vertigo/4352>
- **SITE N°05 :**  
<https://french.alibaba.com/product-detail/los-angeles-abrasion-testing-machine-123154730.html>
- **SITE N°06 :**  
[https://genie-civile.blogspot.com/2013/03/les-differentes-couches-de-chaussee\\_31.html](https://genie-civile.blogspot.com/2013/03/les-differentes-couches-de-chaussee_31.html)

- **SITE N°07** : (Laboratoire Indépendant Expert En Géotechnique Et Travaux Routiers)  
<https://www.aggeris.fr/rubrique/materiaux-de-chaussee/>
- **VOY. F.**, *Autour du monde*, 1826, p. 306.
- **ZIGI. M.**, ; **TOUFIK. H.**, *Rapport d'étude géotechnique technique de la RN 06. Naama : Laboratoire des travaux publics de l'ouest*. Août 2009.pp4-35 p38.

## **ANNEXE A :**

**Rapport sur l'abscisse  
curviligne des PI de l'axe.**

# Rapport sur l'abscisse curviligne des PI de l'axe

**Client :**

Client

Client Company

Address 1

Date : 15/06/2020 18:41:00

**Préparé par :**

Preparer

Your Company Name

123 Main Street

Nom de l'axe : TRACE EN PLAN

Description : EVITEMENT TEBESSA

Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 0+000.00, Extrémité : 5+597.83

Abcisse curviligne du PI	Ordonnée	Abcisse	Distance	Direction
0+000.00	247,243.9461m	996,224.4191m		
			364.652m	S30° 35' 07.60"E
0+364.65	246,930.0272m	996,409.9625m		
			17.118m	S20° 47' 50.70"E
0+381.69	246,914.0243m	996,416.0406m		
			2.969m	N70° 49' 55.13"E
0+382.11	246,914.9991m	996,418.8450m		
			17.457m	S7° 45' 02.15"E
0+398.81	246,897.7018m	996,421.1992m		
			721.326m	S7° 45' 02.15"E
1+120.05	246,182.9659m	996,518.4781m		
			205.622m	S1° 35' 24.11"W
1+325.67	245,977.4235m	996,512.7725m		
			15.011m	S8° 11' 52.79"E
1+340.61	245,962.5660m	996,514.9130m		
			2.595m	S81° 10' 42.11"W
1+340.94	245,962.1681m	996,512.3491m		
			15.261m	S19° 13' 59.89"E
1+355.62	245,947.7585m	996,517.3764m		
			119.933m	S19° 13' 59.89"E
1+475.47	245,834.5197m	996,556.8841m		
			25.512m	S9° 26' 42.98"E
1+500.90	245,809.3536m	996,561.0708m		
			4.499m	N86° 10' 26.84"E
1+501.80	245,809.6538m	996,565.5596m		
			26.336m	S11° 34' 53.56"W
1+526.34	245,783.8543m	996,560.2723m		

			509.230m	S11° 34' 53.56"W
2+035.49	245,284.9921m	996,458.0381m		
			698.251m	S14° 15' 31.18"W
2+733.74	244,608.2519m	996,286.0591m		
			1,557.544m	S21° 57' 57.78"W
4+291.28	243,163.7769m	995,703.4486m		
			14.859m	S12° 10' 40.87"W
4+306.06	243,149.2519m	995,700.3141m		
			2.568m	N78° 22' 23.67"W
4+306.39	243,149.7694m	995,697.7989m		
			15.104m	S1° 17' 14.88"W
4+320.92	243,134.6693m	995,697.4596m		
			578.534m	S1° 17' 14.88"W
4+899.37	242,556.2810m	995,684.4607m		
			698.455m	S15° 35' 39.85"W
5+597.83	241,883.5370m	995,496.6980m		

## **ANNEXE B :**

**Rapport sur la courbe  
verticale de la ligne de profil  
en long, côte du projet 1**

# Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long

**Client :**  
 Client  
 Client Company  
 Address 1  
 Date : 15/06/2020 18:30:04

**Préparé par :**  
 Preparer  
 Your Company Name  
 123 Main Street

Axe vertical : COTE TP1  
 Description : EVITEMENT TEBESSA CP1  
 Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 0+000.00, Extrémité : 5+597.83

## Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+627.53	Altitude :	879.083m
Abscisse curviligne du PIV :	0+687.85	Altitude :	878.714m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	0+748.18	Altitude :	875.919m
Point élevé :	0+627.53	Altitude :	879.083m
Pente d'entrée:	-0.61%	Pente de sortie:	-4.63%
Modifier	4.02%	K :	30.000m
Longueur de la courbe :	120.650m	Rayon de la courbe	3,000.000m
Distance de dépassement :	191.534m	Distance d'arrêt :	145.149m

## Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+997.36	Altitude :	864.373m
Abscisse curviligne du PIV :	1+075.00	Altitude :	860.775m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	1+152.64	Altitude :	862.000m
Point bas :	1+113.19	Altitude :	861.689m
Pente d'entrée:	-4.63%	Pente de sortie:	1.58%
Modifier	6.21%	K :	25.000m
Longueur de la courbe :	155.287m	Rayon de la courbe	2,500.000m
Distance des phares :	152.744m		

## Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	1+425.06	Altitude :	866.299m
Abscisse curviligne du PIV :	1+501.57	Altitude :	867.506m
	1+578.08	Altitude :	865.055m



Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
Point élevé :	1+475.55	Altitude :	866.697m
Pente d'entrée:	1.58%	Pente de sortie:	-3.20%
Modifier	4.78%	K :	32.000m
Longueur de la courbe :	153.022m	Rayon de la courbe	3,200.000m
Distance de dépassement :	186.859m	Distance d'arrêt :	147.758m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :			
1+980.40	Altitude :	852.165m	
Abscisse curviligne du PIV :			
2+063.05	Altitude :	849.517m	
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
2+145.69	Altitude :	850.561m	
Point bas :			
2+098.95	Altitude :	850.266m	
Pente d'entrée:	-3.20%	Pente de sortie:	1.26%
Modifier	4.47%	K :	37.000m
Longueur de la courbe :	165.284m	Rayon de la courbe	3,700.000m
Distance des phares :	209.130m		

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :			
2+431.05	Altitude :	854.165m	
Abscisse curviligne du PIV :			
2+493.68	Altitude :	854.956m	
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
2+556.31	Altitude :	853.132m	
Point élevé :			
2+468.94	Altitude :	854.405m	
Pente d'entrée:	1.26%	Pente de sortie:	-2.91%
Modifier	4.18%	K :	30.000m
Longueur de la courbe :	125.261m	Rayon de la courbe	3,000.000m
Distance de dépassement :	189.010m	Distance d'arrêt :	144.332m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :			
2+853.89	Altitude :	844.466m	
Abscisse curviligne du PIV :			
2+937.49	Altitude :	842.032m	
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
3+021.10	Altitude :	843.591m	
Point bas :			
2+955.81	Altitude :	842.982m	
Pente d'entrée:	-2.91%	Pente de sortie:	1.87%
Modifier	4.78%	K :	35.000m

Longueur de la courbe :	167.212m	Rayon de la courbe	3,500.000m
Distance des phares :	197.701m		
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	3+468.70	Altitude :	851.940m
Abscisse curviligne du PIV :	3+525.00	Altitude :	852.990m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	3+581.30	Altitude :	852.229m
Point élevé :	3+533.98	Altitude :	852.549m
Pente d'entrée:	1.87%	Pente de sortie:	-1.35%
Modifier	3.22%	K :	35.000m
Longueur de la courbe :	112.607m	Rayon de la courbe	3,500.000m
Distance de dépassement :	220.314m	Distance d'arrêt :	162.333m
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	4+220.10	Altitude :	843.592m
Abscisse curviligne du PIV :	4+283.08	Altitude :	842.740m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	4+346.07	Altitude :	845.062m
Point bas :	4+253.90	Altitude :	843.364m
Pente d'entrée:	-1.35%	Pente de sortie:	3.69%
Modifier	5.04%	K :	25.000m
Longueur de la courbe :	125.967m	Rayon de la courbe	2,500.000m
Distance des phares :	157.099m		
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	4+618.41	Altitude :	855.103m
Abscisse curviligne du PIV :	4+725.00	Altitude :	859.032m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	4+831.59	Altitude :	857.281m
Point élevé :	4+765.87	Altitude :	857.821m
Pente d'entrée:	3.69%	Pente de sortie:	-1.64%
Modifier	5.33%	K :	40.000m
Longueur de la courbe :	213.185m	Rayon de la courbe	4,000.000m
Distance de dépassement :	205.461m	Distance d'arrêt :	165.199m
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	5+194.67	Altitude :	851.316m
Abscisse curviligne du PIV :	5+288.78	Altitude :	849.769m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	5+382.90	Altitude :	854.128m
Point bas :	5+243.96	Altitude :	850.911m
Pente d'entrée:	-1.64%	Pente de sortie:	4.63%
Modifier	6.27%	K :	30.000m
Longueur de la courbe :	188.227m	Rayon de la courbe	3,000.000m
Distance des phares :	173.782m		

## **ANNEXE C :**

**Rapport sur la courbe  
verticale de la ligne de profil  
en long, côte du projet 2**

# Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long

**Client :**  
 Client  
 Client Company  
 Address 1  
 Date : 15/06/2020 18:28:51

**Préparé par :**  
 Preparer  
 Your Company Name  
 123 Main Street

Axe vertical : COTE TP2

Description : EVITEMENT TEBESSA CT2

Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 0+000.00, Extrémité : 5+597.83

## Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+378.83	Altitude :	880.312m
Abscisse curviligne du PIV :	0+450.00	Altitude :	880.135m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	0+521.17	Altitude :	877.063m
Point élevé :	0+378.83	Altitude :	880.312m
Pente d'entrée:	-0.25%	Pente de sortie:	-4.32%
Modifier	4.07%	K :	35.000m
Longueur de la courbe :	142.341m	Rayon de la courbe	3,500.000m
Distance de dépassement :	200.921m	Distance d'arrêt :	155.051m

## Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+548.14	Altitude :	875.899m
Abscisse curviligne du PIV :	0+612.88	Altitude :	873.106m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	0+677.61	Altitude :	873.106m
Point bas :	0+677.61	Altitude :	873.106m
Pente d'entrée:	-4.32%	Pente de sortie:	0.00%
Modifier	4.32%	K :	30.000m
Longueur de la courbe :	129.465m	Rayon de la courbe	3,000.000m
Distance des phares :	186.519m		

## Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	0+837.56	Altitude :	873.106m
Abscisse curviligne du PIV :	0+895.65	Altitude :	873.106m
	0+953.74	Altitude :	871.282m

Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
Point élevé :	0+837.56	Altitude :	873.106m
Pente d'entrée:	0.00%	Pente de sortie:	-3.14%
Modifier	3.14%	K :	37.000m
Longueur de la courbe :	116.174m	Rayon de la courbe	3,700.000m
Distance de dépassement :	226.146m	Distance d'arrêt :	166.734m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :			
1+189.57	Altitude :	863.877m	
Abscisse curviligne du PIV :			
1+239.51	Altitude :	862.309m	
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
1+289.45	Altitude :	862.736m	
Point bas :			
1+268.07	Altitude :	862.645m	
Pente d'entrée:	-3.14%	Pente de sortie:	0.86%
Modifier	3.99%	K :	25.000m
Longueur de la courbe :	99.872m	Rayon de la courbe	2,500.000m
Distance des phares :	177.600m		

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :			
2+249.51	Altitude :	856.042m	
Abscisse curviligne du PIV :			
2+287.59	Altitude :	855.811m	
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
2+325.66	Altitude :	854.674m	
Point élevé :			
2+249.51	Altitude :	856.042m	
Pente d'entrée:	-0.61%	Pente de sortie:	-2.99%
Modifier	2.38%	K :	32.000m
Longueur de la courbe :	76.149m	Rayon de la courbe	3,200.000m
Distance de dépassement :	259.821m	Distance d'arrêt :	181.428m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :			
2+589.35	Altitude :	846.799m	
Abscisse curviligne du PIV :			
2+636.09	Altitude :	845.403m	
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :			
2+682.84	Altitude :	845.464m	
Point bas :			
2+678.95	Altitude :	845.461m	
Pente d'entrée:	-2.99%	Pente de sortie:	0.13%
Modifier	3.12%	K :	30.000m

Longueur de la courbe :	93.482m	Rayon de la courbe	3,000.000m
Distance des phares :	252.193m		
Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	3+780.20	Altitude :	843.116m
Abscisse curviligne du PIV :	3+813.71	Altitude :	842.872m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	3+847.22	Altitude :	843.269m
Point bas :	3+805.72	Altitude :	843.023m
Pente d'entrée:	-0.73%	Pente de sortie:	1.19%
Modifier	1.91%	K :	35.000m
Longueur de la courbe :	67.022m	Rayon de la courbe	3,500.000m
Distance des phares :	1,559.459m		

**ANNEXE D :**  
**Rapport sur les volumes**  
**(côte du projet 2)**



# Rapport sur les volumes

**Client :**

Client

Client Company

Address 1

Date : 15/06/2020 18:35:53

**Préparé par :**

Preparer

Your Company Name

123 Main Street

Axe TRACE EN PLAN:

Groupe de tabulations: Groupe de tabulations - 1

Abscisse curviligne de départ: 0+000.00

Abscisse curviligne de fin: 5+597.83

Abscisse curviligne	Surface de déblai (m <sup>2</sup> )	Volume de déblai (m <sup>3</sup> )	Volume réutilisable (m <sup>3</sup> )	Surface de remblai (m <sup>2</sup> )	Volume de remblai (m <sup>3</sup> )	Vol. déblai cum. (m <sup>3</sup> )	Vol. réutilisable cum. (m <sup>3</sup> )	Vol. remblai cum. (m <sup>3</sup> )	Vol. net cum. (m <sup>3</sup> )
0+000.00	18.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+025.00	16.70	433.93	433.93	0.00	0.00	433.93	0.00	0.00	433.93
0+050.00	1.05	221.95	221.95	10.60	132.50	655.88	132.50	132.50	523.38
0+075.00	0.47	19.10	19.10	13.66	303.25	674.98	435.75	435.75	239.23
0+100.00	1.31	22.29	22.29	8.10	272.04	697.27	707.79	707.79	-10.52
0+125.00	2.08	42.32	42.32	3.50	145.05	739.60	852.84	852.84	-113.24
0+150.00	5.67	96.81	96.81	0.07	44.66	836.41	897.49	897.49	-61.09
0+175.00	23.02	358.60	358.60	0.00	0.89	1,195.01	898.39	898.39	296.62
0+200.00	31.75	684.68	684.68	0.00	0.00	1,879.69	898.39	898.39	981.30
0+225.00	43.37	939.06	939.06	0.00	0.00	2,818.74	898.39	898.39	1,920.35
0+250.00	45.42	1,109.89	1,109.89	0.00	0.00	3,928.63	898.39	898.39	3,030.24
0+275.00	42.91	1,104.18	1,104.18	0.00	0.00	5,032.81	898.39	898.39	4,134.42
0+300.00	45.31	1,102.86	1,102.86	0.00	0.00	6,135.67	898.39	898.39	5,237.28
0+325.00	52.67	1,224.82	1,224.82	0.00	0.00	7,360.49	898.39	898.39	6,462.10
0+350.00	46.80	1,243.42	1,243.42	0.00	0.00	8,603.91	898.39	898.39	7,705.52
0+375.00	6.41	662.76	662.76	1.59	19.40	9,266.66	917.79	917.79	8,348.88
0+400.00	0.00	79.01	79.01	105.22	1,331.24	9,345.67	2,249.02	2,249.02	7,096.65
0+425.00	1.68	20.68	20.68	12.91	1,477.14	9,366.35	3,726.16	3,726.16	5,640.19
0+450.00	35.19	460.88	460.88	4.43	216.66	9,827.23	3,942.83	3,942.83	5,884.40
0+475.00	41.15	954.22	954.22	4.30	109.06	10,781.45	4,051.88	4,051.88	6,729.57
0+500.00	50.80	1,149.30	1,149.30	3.70	100.02	11,930.75	4,151.90	4,151.90	7,778.85
0+525.00	76.79	1,594.90	1,594.90	0.68	54.81	13,525.65	4,206.71	4,206.71	9,318.95
0+550.00	96.92	2,171.45	2,171.45	0.14	10.25	15,697.10	4,216.96	4,216.96	11,480.14
0+575.00	114.97	2,648.69	2,648.69	0.00	1.74	18,345.79	4,218.69	4,218.69	14,127.10
0+600.00	126.97	3,024.32	3,024.32	0.00	0.00	21,370.11	4,218.69	4,218.69	17,151.41
0+625.00	126.56	3,169.19	3,169.19	0.00	0.00	24,539.29	4,218.69	4,218.69	20,320.60
0+650.00	120.92	3,093.54	3,093.54	0.00	0.00	27,632.84	4,218.69	4,218.69	23,414.14
0+675.00	101.29	2,777.67	2,777.67	0.00	0.00	30,410.51	4,218.69	4,218.69	26,191.82
0+700.00	79.15	2,255.51	2,255.51	0.00	0.00	32,666.02	4,218.69	4,218.69	28,447.33
0+725.00	58.32	1,718.39	1,718.39	0.00	0.00	34,384.41	4,218.69	4,218.69	30,165.72
0+750.00	36.21	1,181.66	1,181.66	0.00	0.00	35,566.07	4,218.69	4,218.69	31,347.38

0+775.00	20.39	707.47	707.47	0.00	0.00	36,273.55	4,218.69	4,218.69	32,054.85
0+800.00	7.84	352.80	352.80	0.00	0.00	36,626.35	4,218.69	4,218.69	32,407.66
0+825.00	0.64	105.99	105.99	9.05	113.08	36,732.34	4,331.77	4,331.77	32,400.57
0+850.00	0.00	8.03	8.03	25.88	436.62	36,740.37	4,768.39	4,768.39	31,971.98
0+875.00	0.00	0.00	0.00	34.86	759.29	36,740.37	5,527.68	5,527.68	31,212.69
0+900.00	0.00	0.00	0.00	38.81	920.82	36,740.37	6,448.50	6,448.50	30,291.87
0+925.00	0.00	0.00	0.00	31.07	873.43	36,740.37	7,321.93	7,321.93	29,418.44
0+950.00	0.00	0.02	0.02	21.01	651.03	36,740.39	7,972.96	7,972.96	28,767.43
0+975.00	0.50	6.28	6.28	10.08	388.64	36,746.67	8,361.60	8,361.60	28,385.07
1+000.00	2.61	38.86	38.86	1.57	145.65	36,785.53	8,507.25	8,507.25	28,278.29
1+025.00	15.97	232.28	232.28	0.00	19.68	37,017.82	8,526.93	8,526.93	28,490.89
1+050.00	21.80	472.16	472.16	0.00	0.00	37,489.98	8,526.93	8,526.93	28,963.05
1+075.00	28.01	622.55	622.55	0.00	0.00	38,112.53	8,526.93	8,526.93	29,585.60
1+100.00	42.75	884.50	884.50	0.00	0.00	38,997.03	8,526.93	8,526.93	30,470.10
1+125.00	48.12	1,141.74	1,141.74	0.06	0.67	40,138.77	8,527.60	8,527.60	31,611.17
1+150.00	60.51	1,357.89	1,357.89	0.00	0.76	41,496.66	8,528.37	8,528.37	32,968.30
1+175.00	70.91	1,642.79	1,642.79	0.00	0.00	43,139.45	8,528.37	8,528.37	34,611.08
1+200.00	77.54	1,855.65	1,855.65	0.00	0.00	44,995.10	8,528.37	8,528.37	36,466.74
1+225.00	81.35	1,986.08	1,986.08	0.00	0.00	46,981.19	8,528.37	8,528.37	38,452.82
1+250.00	71.37	1,908.99	1,908.99	0.00	0.00	48,890.18	8,528.37	8,528.37	40,361.81
1+275.00	53.98	1,566.93	1,566.93	0.00	0.00	50,457.10	8,528.37	8,528.37	41,928.74
1+300.00	30.52	1,056.29	1,056.29	0.00	0.00	51,513.40	8,528.37	8,528.37	42,985.03
1+325.00	12.19	527.50	527.50	0.19	2.41	52,040.90	8,530.78	8,530.78	43,510.12
1+350.00	4.50	196.56	196.56	3.32	45.93	52,237.45	8,576.71	8,576.71	43,660.74
1+375.00	0.83	63.78	63.78	8.65	152.04	52,301.23	8,728.75	8,728.75	43,572.48
1+400.00	1.33	27.02	27.02	5.21	173.17	52,328.25	8,901.92	8,901.92	43,426.33
1+425.00	1.70	37.90	37.90	4.33	119.20	52,366.15	9,021.12	9,021.12	43,345.03
1+450.00	1.07	34.54	34.54	7.48	147.64	52,400.68	9,168.75	9,168.75	43,231.93
1+475.00	1.14	26.95	26.95	31.53	487.54	52,427.63	9,656.30	9,656.30	42,771.33
1+500.00	2.95	44.23	44.23	24.01	699.72	52,471.86	10,356.01	10,356.01	42,115.85
1+525.00	0.93	41.69	41.69	33.35	721.62	52,513.54	11,077.63	11,077.63	41,435.91
1+550.00	0.15	12.64	12.64	27.74	762.14	52,526.19	11,839.78	11,839.78	40,686.41
1+575.00	0.26	5.03	5.03	15.32	538.31	52,531.22	12,378.09	12,378.09	40,153.13
1+600.00	0.40	8.17	8.17	28.34	545.80	52,539.39	12,923.88	12,923.88	39,615.50
1+625.00	0.92	16.48	16.48	4.69	412.86	52,555.87	13,336.75	13,336.75	39,219.12
1+650.00	2.88	47.56	47.56	0.46	64.35	52,603.43	13,401.10	13,401.10	39,202.33
1+675.00	6.55	117.96	117.96	0.00	5.78	52,721.39	13,406.88	13,406.88	39,314.51
1+700.00	15.00	269.46	269.46	0.00	0.00	52,990.84	13,406.88	13,406.88	39,583.97
1+725.00	22.21	465.19	465.19	0.00	0.00	53,456.04	13,406.88	13,406.88	40,049.16
1+750.00	25.52	596.66	596.66	0.00	0.00	54,052.69	13,406.88	13,406.88	40,645.82
1+775.00	31.77	716.09	716.09	0.00	0.00	54,768.78	13,406.88	13,406.88	41,361.90
1+800.00	32.87	807.90	807.90	0.00	0.00	55,576.68	13,406.88	13,406.88	42,169.80
1+825.00	21.75	682.67	682.67	0.00	0.00	56,259.35	13,406.88	13,406.88	42,852.47
1+850.00	14.38	451.65	451.65	0.00	0.00	56,711.00	13,406.88	13,406.88	43,304.12
1+875.00	9.06	293.08	293.08	0.00	0.00	57,004.07	13,406.88	13,406.88	43,597.20
1+900.00	6.49	194.45	194.45	0.10	1.30	57,198.52	13,408.18	13,408.18	43,790.35

1+925.00	6.55	163.09	163.09	0.02	1.52	57,361.62	13,409.70	13,409.70	43,951.92
1+950.00	1.88	105.41	105.41	3.54	44.47	57,467.03	13,454.17	13,454.17	44,012.86
1+975.00	0.46	29.29	29.29	11.03	182.13	57,496.32	13,636.29	13,636.29	43,860.02
2+000.00	0.10	7.06	7.06	18.06	363.60	57,503.38	13,999.90	13,999.90	43,503.48
2+025.00	0.00	1.26	1.26	27.09	564.29	57,504.64	14,564.18	14,564.18	42,940.45
2+050.00	0.00	0.00	0.00	43.63	882.91	57,504.64	15,447.09	15,447.09	42,057.55
2+075.00	0.00	0.00	0.00	52.53	1,201.95	57,504.64	16,649.04	16,649.04	40,855.60
2+100.00	0.00	0.00	0.00	66.56	1,488.68	57,504.64	18,137.72	18,137.72	39,366.92
2+125.00	0.00	0.00	0.00	74.36	1,761.62	57,504.64	19,899.34	19,899.34	37,605.29
2+150.00	0.00	0.00	0.00	115.27	2,370.43	57,504.64	22,269.78	22,269.78	35,234.86
2+175.00	0.00	0.00	0.00	94.92	2,627.38	57,504.64	24,897.16	24,897.16	32,607.48
2+200.00	0.00	0.00	0.00	100.71	2,445.35	57,504.64	27,342.51	27,342.51	30,162.12
2+225.00	0.00	0.00	0.00	107.35	2,600.74	57,504.64	29,943.25	29,943.25	27,561.39
2+250.00	0.00	0.00	0.00	118.62	2,824.68	57,504.64	32,767.93	32,767.93	24,736.70
2+275.00	0.00	0.00	0.00	121.92	3,006.81	57,504.64	35,774.75	35,774.75	21,729.89
2+300.00	0.00	0.00	0.00	116.46	2,979.84	57,504.64	38,754.59	38,754.59	18,750.05
2+325.00	0.00	0.00	0.00	104.72	2,764.76	57,504.64	41,519.35	41,519.35	15,985.29
2+350.00	0.00	0.00	0.00	97.55	2,528.34	57,504.64	44,047.68	44,047.68	13,456.95
2+375.00	0.00	0.00	0.00	76.05	2,170.03	57,504.64	46,217.71	46,217.71	11,286.92
2+400.00	0.00	0.00	0.00	42.39	1,480.48	57,504.64	47,698.19	47,698.19	9,806.45
2+425.00	0.38	4.69	4.69	19.78	777.08	57,509.33	48,475.27	48,475.27	9,034.06
2+450.00	3.17	44.32	44.32	4.96	309.19	57,553.65	48,784.46	48,784.46	8,769.19
2+475.00	11.49	183.27	183.27	0.00	61.95	57,736.92	48,846.41	48,846.41	8,890.51
2+500.00	23.46	436.90	436.90	0.00	0.00	58,173.82	48,846.41	48,846.41	9,327.41
2+525.00	34.90	729.51	729.51	0.00	0.00	58,903.33	48,846.41	48,846.41	10,056.92
2+550.00	46.30	1,014.95	1,014.95	0.00	0.00	59,918.27	48,846.41	48,846.41	11,071.87
2+575.00	51.09	1,217.33	1,217.33	0.00	0.00	61,135.60	48,846.41	48,846.41	12,289.19
2+600.00	52.46	1,294.40	1,294.40	0.00	0.00	62,429.99	48,846.41	48,846.41	13,583.59
2+625.00	49.27	1,271.69	1,271.69	0.00	0.00	63,701.68	48,846.41	48,846.41	14,855.28
2+650.00	29.28	981.96	981.96	0.00	0.00	64,683.64	48,846.41	48,846.41	15,837.24
2+675.00	21.71	637.42	637.42	0.00	0.00	65,321.07	48,846.41	48,846.41	16,474.66
2+700.00	12.28	424.86	424.86	0.00	0.00	65,745.93	48,846.41	48,846.41	16,899.53
2+725.00	3.67	199.39	199.39	1.05	13.07	65,945.33	48,859.48	48,859.48	17,085.85
2+750.00	0.77	58.29	58.29	9.77	130.85	66,003.61	48,990.33	48,990.33	17,013.28
2+775.00	0.45	15.30	15.30	15.50	315.88	66,018.92	49,306.22	49,306.22	16,712.70
2+800.00	0.42	10.90	10.90	12.71	352.66	66,029.82	49,658.88	49,658.88	16,370.94
2+825.00	0.18	7.49	7.49	16.21	361.54	66,037.31	50,020.42	50,020.42	16,016.89
2+850.00	0.05	2.90	2.90	16.48	408.62	66,040.21	50,429.04	50,429.04	15,611.17
2+875.00	0.00	0.64	0.64	24.41	511.08	66,040.84	50,940.12	50,940.12	15,100.72
2+900.00	0.00	0.00	0.00	33.41	722.71	66,040.84	51,662.83	51,662.83	14,378.01
2+925.00	0.00	0.00	0.00	47.83	1,015.46	66,040.84	52,678.29	52,678.29	13,362.56
2+950.00	0.00	0.00	0.00	60.89	1,358.97	66,040.84	54,037.25	54,037.25	12,003.59
2+975.00	0.00	0.00	0.00	69.44	1,629.10	66,040.84	55,666.35	55,666.35	10,374.49
3+000.00	0.09	1.13	1.13	92.50	2,024.17	66,041.97	57,690.52	57,690.52	8,351.45
3+025.00	0.00	1.13	1.13	132.90	2,817.47	66,043.09	60,507.99	60,507.99	5,535.10
3+050.00	0.06	0.69	0.69	97.43	2,879.09	66,043.79	63,387.08	63,387.08	2,656.71

3+075.00	0.00	0.69	0.69	141.22	2,983.09	66,044.48	66,370.17	66,370.17	-325.69
3+100.00	0.10	1.30	1.30	95.87	2,963.63	66,045.78	69,333.79	69,333.79	-3,288.01
3+125.00	0.00	1.30	1.30	80.71	2,207.29	66,047.08	71,541.09	71,541.09	-5,494.01
3+150.00	0.00	0.00	0.00	66.58	1,841.20	66,047.08	73,382.29	73,382.29	-7,335.21
3+175.00	0.00	0.00	0.00	59.93	1,581.35	66,047.08	74,963.64	74,963.64	-8,916.56
3+200.00	0.00	0.00	0.00	56.82	1,459.31	66,047.08	76,422.95	76,422.95	-10,375.87
3+225.00	0.00	0.00	0.00	54.50	1,391.44	66,047.08	77,814.39	77,814.39	-11,767.31
3+250.00	0.00	0.00	0.00	52.74	1,340.49	66,047.08	79,154.88	79,154.88	-13,107.80
3+275.00	0.00	0.00	0.00	51.37	1,301.39	66,047.08	80,456.26	80,456.26	-14,409.18
3+300.00	0.00	0.00	0.00	49.14	1,256.38	66,047.08	81,712.65	81,712.65	-15,665.57
3+325.00	0.00	0.00	0.00	45.41	1,181.86	66,047.08	82,894.51	82,894.51	-16,847.43
3+350.00	0.00	0.00	0.00	43.26	1,108.35	66,047.08	84,002.86	84,002.86	-17,955.78
3+375.00	0.00	0.00	0.00	37.26	1,006.46	66,047.08	85,009.32	85,009.32	-18,962.24
3+400.00	0.00	0.00	0.00	32.67	874.12	66,047.08	85,883.44	85,883.44	-19,836.36
3+425.00	0.01	0.10	0.10	21.81	681.08	66,047.18	86,564.52	86,564.52	-20,517.34
3+450.00	0.32	4.11	4.11	12.12	424.11	66,051.28	86,988.63	86,988.63	-20,937.35
3+475.00	1.57	23.69	23.69	2.98	188.73	66,074.98	87,177.36	87,177.36	-21,102.38
3+500.00	5.98	94.47	94.47	0.01	37.46	66,169.45	87,214.82	87,214.82	-21,045.37
3+525.00	13.24	240.28	240.28	0.00	0.18	66,409.73	87,215.00	87,215.00	-20,805.27
3+550.00	20.12	417.05	417.05	0.00	0.00	66,826.78	87,215.00	87,215.00	-20,388.22
3+575.00	25.37	568.68	568.68	0.00	0.00	67,395.45	87,215.00	87,215.00	-19,819.55
3+600.00	30.07	692.99	692.99	0.00	0.00	68,088.45	87,215.00	87,215.00	-19,126.55
3+625.00	33.72	797.41	797.41	0.00	0.00	68,885.86	87,215.00	87,215.00	-18,329.14
3+650.00	35.07	859.94	859.94	0.00	0.00	69,745.80	87,215.00	87,215.00	-17,469.21
3+675.00	34.95	875.22	875.22	0.00	0.00	70,621.02	87,215.00	87,215.00	-16,593.99
3+700.00	33.75	858.64	858.64	0.00	0.00	71,479.65	87,215.00	87,215.00	-15,735.35
3+725.00	47.75	1,018.67	1,018.67	0.00	0.00	72,498.32	87,215.00	87,215.00	-14,716.68
3+750.00	60.89	1,357.92	1,357.92	0.00	0.00	73,856.24	87,215.00	87,215.00	-13,358.76
3+775.00	67.74	1,607.81	1,607.81	0.00	0.00	75,464.05	87,215.00	87,215.00	-11,750.95
3+800.00	74.49	1,777.87	1,777.87	0.01	0.09	77,241.92	87,215.09	87,215.09	-9,973.17
3+825.00	79.08	1,919.69	1,919.69	0.00	0.09	79,161.61	87,215.19	87,215.19	-8,053.58
3+850.00	75.93	1,937.64	1,937.64	0.00	0.00	81,099.26	87,215.19	87,215.19	-6,115.93
3+875.00	69.38	1,816.37	1,816.37	0.00	0.00	82,915.63	87,215.19	87,215.19	-4,299.56
3+900.00	62.73	1,651.39	1,651.39	0.00	0.00	84,567.01	87,215.19	87,215.19	-2,648.18
3+925.00	56.00	1,484.11	1,484.11	0.00	0.00	86,051.12	87,215.19	87,215.19	-1,164.07
3+950.00	49.20	1,315.01	1,315.01	0.00	0.00	87,366.13	87,215.19	87,215.19	150.94
3+975.00	42.62	1,147.73	1,147.73	0.00	0.00	88,513.86	87,215.19	87,215.19	1,298.67
4+000.00	36.55	989.55	989.55	0.00	0.00	89,503.41	87,215.19	87,215.19	2,288.22
4+025.00	30.98	844.10	844.10	0.00	0.00	90,347.51	87,215.19	87,215.19	3,132.32
4+050.00	25.93	711.39	711.39	0.00	0.00	91,058.90	87,215.19	87,215.19	3,843.71
4+075.00	21.16	588.57	588.57	0.00	0.00	91,647.47	87,215.19	87,215.19	4,432.28
4+100.00	16.48	470.40	470.40	0.00	0.00	92,117.87	87,215.19	87,215.19	4,902.68
4+125.00	11.88	354.46	354.46	0.00	0.00	92,472.33	87,215.19	87,215.19	5,257.14
4+150.00	7.38	240.75	240.75	0.00	0.00	92,713.08	87,215.19	87,215.19	5,497.89
4+175.00	3.58	136.96	136.96	0.62	7.70	92,850.04	87,222.89	87,222.89	5,627.14
4+200.00	1.68	65.71	65.71	3.05	45.84	92,915.75	87,268.73	87,268.73	5,647.02

4+225.00	0.92	32.51	32.51	6.59	120.46	92,948.26	87,389.19	87,389.19	5,559.07
4+250.00	0.46	17.25	17.25	10.29	210.97	92,965.51	87,600.16	87,600.16	5,365.35
4+275.00	0.05	6.31	6.31	15.34	320.43	92,971.82	87,920.59	87,920.59	5,051.23
4+300.00	0.04	0.99	0.99	19.60	439.88	92,972.81	88,360.47	88,360.47	4,612.34
4+325.00	0.00	0.43	0.43	23.60	545.65	92,973.24	88,906.13	88,906.13	4,067.12
4+350.00	0.00	0.00	0.00	26.86	631.31	92,973.24	89,537.44	89,537.44	3,435.81
4+375.00	0.00	0.00	0.00	30.53	717.38	92,973.24	90,254.82	90,254.82	2,718.43
4+400.00	0.00	0.00	0.00	34.99	819.00	92,973.24	91,073.82	91,073.82	1,899.42
4+425.00	0.00	0.00	0.00	39.52	931.29	92,973.24	92,005.11	92,005.11	968.13
4+450.00	0.00	0.00	0.00	44.12	1,045.42	92,973.24	93,050.53	93,050.53	-77.29
4+475.00	0.00	0.00	0.00	48.79	1,161.41	92,973.24	94,211.94	94,211.94	-1,238.70
4+500.00	0.00	0.00	0.00	53.67	1,280.83	92,973.24	95,492.77	95,492.77	-2,519.53
4+525.00	0.00	0.00	0.00	57.99	1,395.83	92,973.24	96,888.60	96,888.60	-3,915.36
4+550.00	0.00	0.00	0.00	61.86	1,498.18	92,973.24	98,386.78	98,386.78	-5,413.54
4+575.00	0.03	0.43	0.43	30.49	1,154.33	92,973.67	99,541.11	99,541.11	-6,567.44
4+600.00	0.00	0.43	0.43	51.78	1,028.38	92,974.10	100,569.50	100,569.50	-7,595.39
4+625.00	0.00	0.00	0.00	43.65	1,192.95	92,974.11	101,762.45	101,762.45	-8,788.34
4+650.00	0.00	0.00	0.00	43.01	1,083.28	92,974.11	102,845.72	102,845.72	-9,871.62
4+675.00	0.00	0.00	0.00	34.65	970.73	92,974.11	103,816.46	103,816.46	-10,842.35
4+700.00	0.00	0.00	0.00	25.39	750.46	92,974.11	104,566.92	104,566.92	-11,592.81
4+725.00	0.03	0.40	0.40	16.54	524.05	92,974.51	105,090.97	105,090.97	-12,116.46
4+750.00	0.73	9.58	9.58	7.50	300.45	92,984.09	105,391.42	105,391.42	-12,407.33
4+775.00	2.15	36.05	36.05	2.30	122.53	93,020.14	105,513.95	105,513.95	-12,493.81
4+800.00	4.54	83.65	83.65	0.26	32.01	93,103.79	105,545.96	105,545.96	-12,442.18
4+825.00	9.75	178.62	178.62	0.00	3.23	93,282.41	105,549.19	105,549.19	-12,266.78
4+850.00	19.33	363.44	363.44	0.00	0.00	93,645.85	105,549.19	105,549.19	-11,903.34
4+875.00	28.92	603.10	603.10	0.00	0.00	94,248.95	105,549.19	105,549.19	-11,300.24
4+900.00	41.28	884.24	884.24	0.00	0.00	95,133.19	105,549.19	105,549.19	-10,416.00
4+925.00	40.35	1,020.45	1,020.45	0.68	8.54	96,153.64	105,557.73	105,557.73	-9,404.09
4+950.00	46.35	1,083.79	1,083.79	0.00	8.54	97,237.43	105,566.27	105,566.27	-8,328.84
4+975.00	59.04	1,317.32	1,317.32	1.30	16.28	98,554.75	105,582.54	105,582.54	-7,027.79
5+000.00	69.21	1,603.04	1,603.04	1.50	34.99	100,157.79	105,617.54	105,617.54	-5,459.74
5+025.00	99.98	2,114.84	2,114.84	0.00	18.72	102,272.64	105,636.25	105,636.25	-3,363.62
5+050.00	117.92	2,723.70	2,723.70	0.00	0.00	104,996.33	105,636.25	105,636.25	-639.92
5+075.00	112.13	2,875.57	2,875.57	0.00	0.00	107,871.90	105,636.25	105,636.25	2,235.65
5+100.00	97.79	2,624.02	2,624.02	0.00	0.00	110,495.92	105,636.25	105,636.25	4,859.67
5+125.00	79.11	2,211.25	2,211.25	0.00	0.00	112,707.17	105,636.25	105,636.25	7,070.92
5+150.00	63.50	1,782.59	1,782.59	0.00	0.00	114,489.76	105,636.25	105,636.25	8,853.51
5+175.00	57.94	1,517.95	1,517.95	0.00	0.00	116,007.72	105,636.25	105,636.25	10,371.46
5+200.00	55.38	1,416.46	1,416.46	0.00	0.00	117,424.17	105,636.25	105,636.25	11,787.92
5+225.00	58.95	1,429.12	1,429.12	0.00	0.00	118,853.30	105,636.25	105,636.25	13,217.04
5+250.00	55.40	1,429.44	1,429.44	0.00	0.00	120,282.74	105,636.25	105,636.25	14,646.49
5+275.00	53.57	1,362.24	1,362.24	0.00	0.00	121,644.98	105,636.25	105,636.25	16,008.73
5+300.00	36.58	1,126.89	1,126.89	0.00	0.00	122,771.87	105,636.25	105,636.25	17,135.62
5+325.00	34.59	889.58	889.58	0.00	0.00	123,661.45	105,636.25	105,636.25	18,025.20
5+350.00	28.64	790.37	790.37	0.00	0.00	124,451.82	105,636.25	105,636.25	18,815.57

5+375.00	29.88	731.55	731.55	0.00	0.00	125,183.36	105,636.25	105,636.25	19,547.11
5+400.00	30.85	759.14	759.14	0.00	0.00	125,942.50	105,636.25	105,636.25	20,306.25
5+425.00	17.37	602.74	602.74	0.00	0.00	126,545.24	105,636.25	105,636.25	20,908.99
5+450.00	1.69	238.25	238.25	3.22	40.26	126,783.49	105,676.52	105,676.52	21,106.97
5+475.00	0.45	26.67	26.67	10.24	168.23	126,810.16	105,844.75	105,844.75	20,965.41
5+500.00	0.02	5.85	5.85	17.06	341.28	126,816.01	106,186.03	106,186.03	20,629.98
5+525.00	0.02	0.52	0.52	19.08	451.76	126,816.52	106,637.79	106,637.79	20,178.73
5+550.00	0.00	0.24	0.24	22.21	516.10	126,816.76	107,153.89	107,153.89	19,662.87
5+575.00	0.23	2.93	2.93	20.00	527.69	126,819.68	107,681.58	107,681.58	19,138.10
5+597.83	17.50	202.39	202.39	0.00	228.34	127,022.08	107,909.92	107,909.92	19,112.16