



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : HAMANI Chemseddine

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : TRAVAUX PUBLICS

OPTION : VOIRIES ET OUVRAGES D'ART

Thème

**Suppression d'un passage à niveau
« Route – Chemin de fer »
- Etude d'un passage supérieur -**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
ZIREGUE Ahmed	MCB	Président
KOUIDRI Zohra	MAA	Examinatrice
BEDERINA Madani	Pr.	Rapporteur

Promotion : juin - 2018



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : sciences et technologie

Filière : travaux publics

Option : voiries et ouvrages d'art

Thème : suppression d'un passage à niveau « Route – Chemin de fer » - étude d'un passage supérieur

Présenté par : HAMANI Chemseddine

Encadré par : BEDERINA Madani

Résumé : Le thème de ce projet de fin d'étude entrant dans le cadre de master en Travaux Publics porte sur l'étude d'une éventuelle suppression d'une intersection à niveau entre la route nationale n°1 (existante) et la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat ». Il s'agit, en effet, de l'étude d'un passage supérieur de la route pour franchir la voie ferrée. A travers ce projet, il était indispensable d'étudier un tronçon de route d'une part, et un tronçon du chemin de fer d'autre part, se trouvant au niveau du croisement, tout en déterminant les caractéristiques géométriques de chaque voie. Enfin, il était également nécessaire de choisir le type de pont qui permet l'aménagement du passage supérieur routier et le passage inférieur des trains en toute sécurité, confort et économie.

Mots clés : passage supérieur, autoroute, voie ferrée, route nationale n°1, tracé en plan, profil en long, profil en travers, dimensionnement de la route, dimensionnement de la voie ferrée.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة عمار ثليجي - الأغواط

كلية: الهندسة المدنية والهندسة المعمارية
قسم: الهندسة المدنية

ملخص مذكرة الماستر

الميدان: علوم وتكنولوجيا

الشعبية: أشغال عمومية

التخصص: طرق و منشآت فنية

عنوان المذكرة: إزالة معبر في نفس المستوى " طريق - سكة حديدية " - دراسة معبر علوي

تقديم الطالب: حماني شمس الدين

الأستاذ المؤطر: بدرينة مداني

ملخص المذكرة: يتمحور مشروع التخرج هذا حول إزالة تقاطع في نفس المستوى بين الطريق الوطني رقم 1 الحالي وخط السكة الحديدية الجديد " الجلفة-الأغواط " وذلك بدراسة ممر علوي لعبور الطريق الوطني فوق السكة الحديدية. الهدف من المشروع يقتضي دراسة مقطعين من الطريقين ينتميان الى منطقة التقاطع: مقطع من الطريق الوطني ومقطع من خط السكة الحديدية، مع تحديد الخصائص الهندسية لكل مقطع وهيكله وتحديد أبعاد كل من الطريق والسكة الحديدية. وفي الأخير، كان من الضروري اختيار نوع الجسر الملائم الذي يسمح بتهيئة هذا التقاطع بمرور الطريق الوطني عبر الممر العلوي وكذا عبور القطارات أسفل الجسر وهذا مع تحقيق الشروط المطلوبة من سلامة وراحة واقتصاد.

الكلمات المفتاحية: ممر علوي، طريق سريع، سكة حديدية، طريق وطني رقم 1، مخطط على المستوى، مظهر طولي، مظهر عرضي، تحجيم الطريق، تحجيم السكة الحديدية.

Remercîments

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

Je voudrai, à l'occasion de ce travail, remercier chaleureusement mon encadreur Mr M. Bederina que j'ai eu le grand plaisir de travailler avec lui, et je tiens absolument à exprimer à ce grand monsieur ma gratitude et ma reconnaissance pour son accueil, son aide, sa patience, ses encouragements, et ses précieux conseils durant tout l'encadrement pour élaborer ce mémoire.

Je remercie vivement Mr A. Ziregue enseignant au département de Génie Civil à l'université de LAGHOUAT pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de soutenance de ma thèse.

Que Mme Z. Kouidri enseignante au département de Génie Civil trouve l'expression de mes profonds remerciements, de faire partie du jury d'examination et pour avoir accepté de juger mon travail.

Je remercie également tous les enseignants du département de Génie Civil à l'université de LAGHOUAT pour tout ce qu'ils ont fait pour notre formation en master en Travaux Publics, et merci tous le personnel administratif du département.

Je remercie aussi A. Attafi, B. Madi, A. Moussouni, A. Chaoui, T. Talhi, et N. Chaki ingénieurs en travaux publics, et R. Oulbani, O. Chelabi, A. Maâtallah et M. Taouti ingénieurs en génie civil, pour leur aide en informations et en documentations afin de réaliser un bon travail.

Merci aussi à tous les ingénieurs et les travailleurs de la DTP de la wilaya de LAGHOUAT, de l'entreprise COSIDER OUVRAGE D'ART à LAGHOUAT, de l'ANESRIF à TAADMIT et de l'LTPSud, pour leur bon accueil et leur aide.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet de fin d'études, je leur dis merci.

إهداء

" أحمد الله عزّ وجلّ على منّهِ وعونه لإتمام هذا العمل "

إلى التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء والحنان، إلى التي صبرت على كل شيء، إلى التي رعتني حقّ الرّعاية وكانت سندي في الشدائد، وكانت دعواها لي بالتوفيق، تتبعتني خطوة خطوة في عملي، إلى من ارتحت كلما تذكرت ابتسامتها في وجهي نبع الحنان {أمي وهيبة} أعز ملاك على القلب والعين جزاها الله عني خير الجزاء في الدارين ...

إلى الذي وهبني كل ما يملك حتى أحقق التّفوّق بعد التّفوّق، إلى من كان يدفعني قدما نحو الأمام لفيل المبتغى، إلى الإنسان الذي امتلك الإنسانية بكل قوة، إلى الذي سهر على تعليمي بتضحيات جسام مترجمة في تقديسه للعلم، إلى مدرستي الأولى في الحياة، {أبي ربيع} الغالي على قلبي أطل الله في عمره ...

إليكما أمي وأبي أهدي ثمرة جهدي هذا العمل المتواضع وأتمنى من كل قلبي أن يُدخل عليكما شبيها من السعادة ...

وإلى إخوتي الأعزّاء أميرة، إلياس ووسام الذين قاسموني الحياة حلوها ومرّها ...

وإلى العائلة الكبيرة عائلة حمّاني، سلام، مدّاح وبوكروثة ...

وإلى روح الجدّين أحمد ورايح وإلى روح جدّتي الزهرة وإلى روح جمال حامّة، رحمهم الله برحمته ...

أهدي أيضا مشروع تخرّجي إلى رفيقي الدّرب وصديقي مصطفى وأمين، اللذان كانا لي السند والوثد ...

وإلى زملائي طلبة الدّفعة الأولى في تخصص طرقات ومنشآت فنيّة، وإلى كل طلبة قسم الهندسة المدنية بالأغواط ...

وإلى أصدقائي سعد، بلقاسم، عبد الحق، الحاج عيسى وأسامة الذين لا أنس دورهم في تفوّقي الدّراسي ...

وإلى أيوب، زكرياء، عبدو، أمين وصفوان وجميع أصدقائي وأحبّابي ...

إلى أبناء حي سوناطراك علاء، حمزة، نونو والبقية ...

إلى جيرانني وأخص بالذكر عمّي حسان وزوجته القديرة ...

إلى أبناء مدينتي حسين داي وسحاولة ...

إلى كل من يعرفني ويحبّ الخير لي، أهده من كلّ قلبي هذا التّخرّج ...

عنوان المذكرة: إزالة معبر في نفس المستوى " طريق – سكة حديدية " – دراسة معبر علوي.

المؤطر: بدرينة مداني

الإسم: شمس الدين

اللقب: حماني

ملخص: يتمحور مشروع التخرج هذا حول إزالة تقاطع في نفس المستوى بين الطريق الوطني رقم 1 الحالي وخط السكة الحديدية الجديد " الجلفة- الأغواط " وذلك بدراسة ممر علوي لعبور الطريق الوطني فوق السكة الحديدية. الهدف من المشروع يقتضي دراسة مقطعين من الطريقين ينتميان الى منطقة التقاطع: مقطع من الطريق الوطني ومقطع من خط السكة الحديدية، مع تحديد الخصائص الهندسية لكل مقطع وهيكله وتحديد أبعاد كل من الطريق والسكة الحديدية. وفي الأخير، كان من الضروري اختيار نوع الجسر الملائم الذي يسمح بتهيئة هذا التقاطع بمرور الطريق الوطني عبر الممر العلوي وكذا عبور القطارات أسفل الجسر وهذا مع تحقيق الشروط المطلوبة من سلامة وراحة واقتصاد.

كلمات مفتاحية: ممر علوي، طريق سريع، سكة حديدية، طريق وطني رقم 1، مخطط على المستوي، مظهر طولي، مظهر عرضي، تحجيم الطريق، تحجيم السكة الحديدية.

Memory title : Removal of a "Road - Railway" crossing at the same level - Study of an upper passage.

Name: HAMANI

First name: Chemseddine

Directed by: BEDERINA Madani

Abstract: This master thesis work involves removing an intersection at the same level between the existing national highway No. 1 and the new railway line "Djelfa-Laghouat" and studying an upper passage way to cross the national road over the railway. The objective of this project requires the study of two stretches situated at the intersection: a stretch from the national road and stretch from the railway line, specifying the geometric characteristics of each. Finally, it was necessary to choose the appropriate type of bridge that allows the passage of the national road over the bridge and the passage of trains under the bridge, ensuring the conditions of safety, comfort and economy.

Key words: upper passage, highway, railway track, national road n°1, outline drawing, long profile, cross section, sizing of the road, sizing of the railway track.

Titre du mémoire : Suppression d'un passage à niveau « Route – Chemin de fer » - Etude d'un passage supérieur.

Nom : HAMANI

Prénom : Chemseddine

Encadreur : BEDERINA Madani

Résumé : Le thème de ce projet de fin d'étude entrant dans le cadre de master en Travaux Publics porte sur l'étude d'une éventuelle suppression d'une intersection à niveau entre la route nationale n°1 (existante) et la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat ». Il s'agit, en effet, de l'étude d'un passage supérieur de la route pour franchir la voie ferrée. A travers ce projet, il était indispensable d'étudier un tronçon de route d'une part, et un tronçon du chemin de fer d'autre part, se trouvant au niveau du croisement, tout en déterminant les caractéristiques géométriques de chaque voie. Enfin, il était également nécessaire de choisir le type de pont qui permet l'aménagement du passage supérieur routier et le passage inférieur des trains en toute sécurité, confort et économie.

Mots clés : Passage supérieur, autoroute, voie ferrée, route nationale n°1, tracé en plan, profil en long, profil en travers, dimensionnement de la route, dimensionnement de la voie ferrée.

Table des matières

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Généralités sur les voies terrestres	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Généralités sur les routes	03
I.2.1. Etude géométrique de la route.....	03
I.2.1.1. Tracé en plan	03
I.2.1.1.1. Critères de choix du tracé en plan	04
I.2.1.1.2. Eléments du tracé en plan	04
I.2.1.1.2.1. Alignement	04
I.2.1.1.2.2. Arc de cercle	05
I.2.1.1.2.3. Clothoïde	05
I.2.1.1.2.4. Rayon en plan.....	05
I.2.1.2. Profil en long	07
I.2.1.2.1 Critères de choix de profil en long	07
I.2.1.2.2 Les éléments de composition du profil en long	08
I.2.1.2.2.1. Déclivité	08
I.2.1.2.2.2. Rayon des courbures de profil en long.....	09
I.2.1.3. Profil en travers	11
I.2.1.3.1. Les éléments du profil en travers	11
I.2.1.3.1.1. La chaussée	11
I.2.1.3.1.2. Les accotements	11
I.2.1.3.1.3. La plate-forme	12
I.2.1.3.1.4. L'assiette	12
I.2.1.3.1.5. L'emprise	12
I.2.1.3.1.6. Le talus	12
I.2.1.3.1.7. Le fossé	12
I.2.1.3.1.8. Le terre-plein central T.P.C.....	12
I.2.1.3.1.9. La largeur roulable	13
I.2.1.3.2. Profil en travers type	14
I.2.1.3.3. Les différentes formes de la chaussée	14
I.2.1.3.3.1. En alignement droit	14
I.2.1.3.3.2. En courbe	15

I.2.1.4. Dimensionnement et structure des chaussées souples.....	16
I.2.1.4.1. Généralités sur les chaussées souples	17
I.2.1.4.1.1. Définition	17
I.2.1.4.1.2. Comportement.....	17
I.2.1.4.1.3. Types de chaussées souples	17
I.2.1.4.2. Construction des chaussées souples	18
I.2.1.4.3. Détermination de l'épaisseur et de la structure des chaussées souples	20
I.2.1.4.3.1. Durée de vie d'une chaussée	20
I.2.1.4.3.2. Facteurs influents sur le dimensionnement de la chaussée	20
I.2.1.4.3.3 Présentation des méthodes de dimensionnement de structure de chaussée	21
I.3. Généralités sur les voies ferrées.....	23
I.3.1. Etude géométriques des voies ferrées	23
I.3.1.1. Tracé en plan	23
I.3.1.1.1. Définition	23
I.3.1.1.2. Critères de choix du tracé en plan	23
I.3.1.1.3. Eléments du tracé en plan	24
I.3.1.2. Profil en long	26
I.3.1.2.1. Définition	26
I.3.1.2.2. Critères de choix du profil en long.....	26
I.3.1.2.3. Déclivité maximale	26
I.3.1.2.4. Rayon admissible en raccords de profil en long.....	27
I.3.1.2.5. Détermination de la longueur minimale de déclivité	28
I.3.1.3. Profil en travers	29
I.3.1.3.1. Définition	29
I.3.1.3.2. Ecartement des rails	30
I.3.2. Dimensionnement et structure des voies ferrées	32
I.3.2.1. Infrastructure des voies ferrées	32
I.3.2.1.1. Généralité	32
I.3.2.1.2. Couche de ballast	32
I.3.2.1.3. Sous couche.....	34
I.3.2.1.4. Plateforme	34
I.3.2.2. Superstructure des voies ferrées.....	37
I.3.2.2.1 Rail	37

I.3.2.2.2 Traverse	39
I.3.2.3. Fixation et éclissage	42
I.3.2.3.1. Fixation	42
I.3.2.3.2. Eclissage.....	44
I.3.2.4. Dimensionnement des voies ferrées	45
I.3.2.4.1. Détermination de l'épaisseur minimale de la couche d'assise.....	45
I.3.2.4.2. Classification des lignes d'UIC.....	46
I.4 Conclusion	46

Chapitre II : Etude et aménagement des croisements « route - chemin de fer »

II.1. Introduction	47
II.2. Généralités sur les passages à niveaux	47
II.2.1. Types de passage à niveau	47
II.2.2. Risques des passages à niveaux	49
II.2.3. Procédures nécessaires pour limiter le risque d'accidents aux PN	50
II.2.4. Suppression des passages à niveaux	50
II.2.4.1. La mise en impasse	51
II.2.4.2. La déviation vers un ouvrage existant	51
II.2.4.3. La création d'un ouvrage dénivelé.....	51
II.3. Généralités sur l'aménagement des carrefours routiers.....	51
II.3.1. Introduction.....	51
II.3.2. Les règles essentielles pour concevoir un carrefour	52
II.3.3. Les principaux types des carrefours.....	52
II.3.3.1. Carrefours plans	52
II.3.3.2. Carrefours dénivelés	53
II.3.4. Les équipements devant être présents dans un carrefour	54
II.4. Généralités sur l'aménagement des croisements « Routes – voie ferrée ».....	55
II.4.1. Introduction.....	55

II.4.2. Types des passages dénivelés	55
II.4.2.1 Passage supérieur	55
II.4.2.2 Passage inférieur	56
II.4.3. Types de passage supérieur et inférieur	56
II.4.4. Critères de choix de type de pont	57
II.5. Conclusion	58

Chapitre III : Présentation générale du projet d'étude

III.1. Introduction	59
III.2. Présentation du projet.....	59
III.2.1. Contexte générale	59
III.2.2. But de l'étude.....	60
III.2.3. Description du projet	60
III.3. Présentation des données d'étude nécessaires.....	62
III.3.1. Données géotechniques	62
III.3.1.1. Données géotechniques relatives à l'ouvrage d'art	63
III.3.1.1.1. Sismicité	63
III.3.1.1.2. Campagne d'investigation sur le site	63
III.3.1.1.3. Lithologie	63
III.3.1.1.4. Analyses chimiques	64
III.3.1.1.5. Analyse granulométrique et classification.....	65
III.3.1.1.6. Contrainte admissible	66
III.3.1.1.7. Conclusion	66
III.3.1.2. Données géotechniques relatives à la voie ferrée	66
III.3.1.2.1. Organisation de la campagne et des essais	66
III.3.1.2.2. Analyse globale	67
III.3.1.2.3. Conclusion	70
III.3.2. Données topographiques.....	70
III.3.3. Données fonctionnelles.....	71
III.3.3.1. Données fonctionnelles pour la route	71

III.3.3.1.1. Trafic routier.....	71
III.3.3.1.2. Vitesse de référence et catégorie de la route	77
III.3.3.1.3. Géométrie de la route	78
III.3.3.2. Données fonctionnelles pour la voie ferrée	78
III.3.3.2.1. Trafic ferroviaire	78
III.3.3.2.2. Gabarits ferroviaire et charges.....	78
III.3.3.2.3. Géométrie de la voie ferrée	81
III.4. Conclusion.....	81

Chapitre IV : Etude des voies de communication

IV.1. Etude de la route	82
IV.1.1. Etude du tracé en plan	82
IV.1.1.1. Introduction	82
IV.1.1.2. Environnement de la route	82
IV.1.1.2.1. La dénivelée cumulée moyenne h/L.....	82
IV.1.1.2.1. La sinuosité	84
IV.1.1.3. Etude de l'alignement droit	85
IV.1.1.3.1. Paramètres fondamentaux	85
IV.1.1.3.2. Vérification de la longueur de l'alignement droit.....	86
IV.1.1.3.2. Calcul des distances de visibilité.....	87
IV.1.1.3.3. Distance d'arrêt d_a	87
IV.1.2. Etude du profil en long	89
IV.1.2.1. Introduction	89
IV.1.2.2. Détermination des déclivités	89
IV.1.2.3. Raccordement en courbe convexe (angle saillant).....	89
IV.1.2.3.1. Condition de visibilité	89
IV.1.2.3.2. Condition de confort.....	90
IV.1.3. Etude des profils en travers	96
IV.1.3.1. Introduction	96
IV.1.3.2. Types de profil en travers.....	96
IV.1.3.2.1. Profil en travers au niveau de la route.....	97
IV.1.3.2.2. Profil en travers au niveau de l'ouvrage d'art	98

IV.1.3.3. Cubatures des terres.....	99
IV.1.3.3.1. Cubatures.....	99
IV.1.3.3.2. Remblais.....	99
IV.1.4. Dimensionnement et structure de la chaussée.....	100
IV.1.4.1. Méthode CBR (California – Bearing – Ratio):.....	100
IV.2. Etude de la voie ferrée.....	104
IV.2.1. Etude du tracé en plan.....	104
IV.2.1.1. Introduction.....	104
IV.2.1.2. site du projet.....	104
IV.2.1.3. Aperçue sur l’alignement droit.....	105
IV.2.2. Etude du profil en long.....	105
IV.2.2.1. Introduction.....	105
IV.2.2.2. vérification de la longueur de déclivité.....	105
IV.2.2.3. Etude du profil en long à l’aide de logiciel.....	106
IV.2.3. Etude du profil en travers.....	107
IV.2.4. Dimensionnement de la voie ferrée.....	108
IV.2.4.1. Dimensionnement de l’infrastructure ferroviaire.....	109
IV.2.4.1.1. La classe portante de la plateforme.....	109
IV.2.4.1.2. calcul de l’épaisseur minimale.....	109
IV.2.4.2. Dimensionnement de la superstructure ferroviaire.....	111
IV.2.4.2.1. Détermination de type des traverses.....	111
IV.2.4.2.1.1. traverses en béton type bi-bloc.....	111
IV.2.4.2.1.2. traverses en béton type monobloc.....	112
IV.2.4.2.1.3. Comparaison entre les traverses bibloc et monobloc.....	113
IV.2.4.2.2. fixation et attaches.....	114
IV.2.4.2.3. Le travelage.....	115
IV.2.4.2.4. Dimensionnement des rails.....	116
IV.2.4.2.5. longueur des rails et joints de dilatation.....	122
IV.2.4.2.5.1. Joints de dilatation.....	122
IV.2.4.2.5.2. Eclissage.....	124

Chapitre V : Aménagement de l'intersection « Route – Voie ferrée »

V.1. Introduction	126
V.2. Choix de l'aménagement.....	126
V.2.1. La voie la portée	126
V.2.2. Hauteur de l'ouvrage	127
V.2.3. Nature du terrain	128
V.2.4. Coût de construction	129
V.2.5. Conclusion	129
V. 3. Tracé.....	129
V.4. Pré-dimensionnement du pont.....	130
V.4.1. Dalle en béton armé	131
V.4.2. Murs de front	131
V.4.3. Fondations.....	131
V.4.4. Dalles de transition	131
V.4.5. Murs de soutènement	131
V.5 Conclusion.....	132
Conclusion générale.....	133

Nomenclatures

Symboles

P : poids propre du véhicule ;

F_c : force centrifuge ;

R' : la composante de la résultante des forces : centrifuge et poids propre ;

R : rayon de courbure ;

m : masse du véhicule ;

g : accélération de la pesanteur ;

v : vitesse du véhicule ;

h : surhaussement de la chaussée ;

i : dévers ;

I_{min} : pente minimale ;

V_r : vitesse de référence ;

A : la base du talus ;

B : hauteur du talus ;

E : module de Young ;

°C : degré Celsius ;

dv : dévers théorique ;

dp : dévers prescrit ;


D_{max} : dévers maximum admissible ;

I : insuffisance de dévers maximale admissible ;

a : écartement de la voie ;

α_{nc} : l'accélération non compensée ;

E : excès de dévers maximal admissible ;



R_v : rayon de courbure verticale ;

V_{max} : vitesse maximale ;

a_v : accélération centrifuge verticale ;

a_{v rec} : accélération recommandée ;

mm : millimètre ;

μ : micron ;

m : mètre ;

m² : mètre au carré ;

cm : centimètre ;

cm² : centimètre au carré ;

ml : mètre linéaire ;

s : seconde ;

kg : kilogramme ;

km : kilomètre ;

km/h : kilomètre par heure ;

t.m : tonne mètre ;

Rc : résistance à la compression simple ;

P1 : Plateforme médiocre ;

P2 : Plateforme moyenne ;

P3 : Plateforme bonne ;

e : largeur de joint de dilatation ;

d : dilatation max du rail ;

s : une marge de sécurité ;

α : coefficient de dilatation ;

ΔT : la variation de température ;

L : la longueur de la barre ;

e : épaisseur minimal de la couche d'assise ;

E : paramètre dépendant de la qualité de portance de la plate-forme ;

a, b, c, d, f et g : paramètres de dimensionnement de la couche d'assise ;

W_p : limite de plasticité ;

W_L : limite de liquidité ;

I_p : indice de plasticité ;

γ_{doptm} : masse volumique sec optimale ;

ω_{optm} : teneur en eau optimale ;

γ_d : masse volumique sec ;

I_{CBR} : indice CBR ;

X : axe des abscisses ;

Y : axe des ordonnées ;

Z : altitude ;

τ : taux d'accroissement annuel ;

n : nombre d'année à partir de l'année d'origine ;

T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon ;

Z : pourcentage de poids lourd ;

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds ;

Q : débit de pointe horaire ;

Q_{adm} : débit admissible ;

C_{th} : capacité théorique ;

K_1 : coefficient qui dépend de l'environnement ;



K₂ : coefficient tient compte de l'environnement et de la catégorie de la route ;

n : nombre de voie ;

S : coefficient de dissymétrie ;

j : jour ;

E1, E2, E3 : classes d'environnement ;

h : dénivelée cumulée ;

L : longueur de l'itinéraire ;

l_s : la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200m ;

L_R : la longueur du rayon ≤ 200 m ;

LAB : la longueur totale de l'itinéraire ;

σ : la sinuosité ;

d_t : dévers transversal ;

t_p : temps de perception ;

f_L : frottement longitudinal ;

f_T : frottement transversal ;

L_{min} : longueur minimale ;

L_{max} : longueur maximale ;

d_m : distance de visibilité de dépassement minimale ;

d_N : distance de visibilité de dépassement normale ;

d_a : distance d'arrêt ;

d_p : distance de perception ;

d_f : distance de freinage ;

K : paramètre du tracé en plan ;



i : déclivité ;

A : point de début du projet ;

D : point de fin du projet ;

S : sommet ;

H_s : Altitude sommet S ;

H_{TN} : altitude de terrain naturel ;

E_{inf} : épaisseur de l'infrastructure ferroviaire donnée par l'ANESRIF ;

H_l : hauteur libre ;

E_d : épaisseur de la dalle de l'ouvrage (compte tenu de la hauteur des poutres) ;

E : épaisseur de la chaussée ;

L_S : distance séparant le début du projet et le point S ;

B : Point de début ;

L_B : distance du point B ;

x₁ : distance entre B et S ;

P₁ : pente de déclivité 1 ;

H_B : altitude du point B ;

y₁ : différence d'altitude entre B et S ;

C : Point de fin ;

L_C : distance du point C ;


x₂ : distance entre C et S ;

P₂ : pente de déclivité 2 ;

H_C : altitude du point C ;

y₂ : différence d'altitude entre C et S ;

L_{AB} : longueur entre A et B ;



L_{CD} : longueur entre C et D ;

L_{rc} : longueur de courbe de raccordement ;

N : nombre journalier de camions de plus 1500 kg à vide ;

P : charge par roue ;

Log : logarithme décimal ;

c₁, c₂, c₃ : coefficients d'équivalence ;

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches de la chaussée ;

v/j : véhicule par jour ;

v/j/s : véhicule par jour et par sens ;

PL/j/s : poids lourd par jour et par sens ;

T_{PL} : trafic du poids lourd ;

S2 : sol à moyenne portance ;

H_{TN1} : altitude de terrain naturel au point de début A ;

H_{TN2} : altitude de terrain naturel au point de fin du projet D ;

H_{DP} : altitude du projet au point de début B ;

H_{FP} : altitude du projet au point de fin C ;

H_t : hauteur totale.

Abréviations


RV_m : rayon minimal absolue ;

RH_N : rayon minimale normal ;

c.à.d : c'est-à-dire ;

TPC : Terre-Plein Central ;

BDG : Bande dérasée de Gauche ;



BDD : Bande Dérasée de Droite ;

BAU : Bande D'arrêt d'Urgence ;

BD : Bande Dérasée ;

BG : Bande de Guidage ;

GNT : Granulats Non Traités ;

PST : Partie Supérieure du Terrassement ;

GB : Grave Bitume ;

MPa : Méga pascal ;

CBR : Californian Bearing Ratio ;

AASHO : American Association of State Highway Officials ;

SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer ;

RFF IN : Réseau Ferrée de France Infrastructure ;

UIC : Union Internationale des Chemins de Fer ;

TGV : Train à Grande Vitesse ;

LRS : Longs Rails Soudés ;

NF EN : Norme Française European Norme ;

MDE : Micro Deval ;

LA : Los Angles ;

QS : Qualité de Sol ;

PN : Passage à Niveau ;

SAL : Signalisation Automatique Lumineuse et Sonore ;

R24 : signalisation de deux ou quatre feux routiers rouges clignotants ;

SETRA : Service D'études Techniques des Routes et Autoroutes ;

ICTAAL : document d'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison ;

PI-CF : Passage Inférieur en Cadre Fermé ;

PI-PO : Passage Inférieur en Portique Ouvert ;

POD : Portique Ouvert Double ;

PSI-DA : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armée ;

PSI-DP : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Précontrainte ;

PSI-DN : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Nervurée ;

PSI-BA : Passage Supérieur ou Inférieur à Poutres en Béton Armé ;

PR-AD : Poutres Précontraintes par Adhérence ;

VI-PP : Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Précontraintes ;

PSI-OM : Passage Supérieur ou Inférieur à Ossature Mixte ;

PSI-DE : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Elégie ;

PS-BQ : Passage Supérieur à Béquilles ;

RN1 : Route Nationale N°1 ;

RN3 : Route Nationale N°3 ;

RN6 : Route Nationale N°6 ;

LNHC : Laboratoire National de l’Habitat et de la Construction ;

COSIDER : Construction des Infrastructures de transport ;

RPA : Règlement Parasismique Algérien ;


NF P : Norme Française bâtiment ;

USCS : Unified Soil Classification System ;

GA-Gb : Gravier Argileux bien gradué ;

LCTP : Laboratoire Central des Travaux Publics ;

SP : Sondage Pressiométrique ;



ANESRIF : Agence Nationale d'Etudes et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires ;

PK : Point Kilométrique ;

SPT : Standard Pénétration Test ;

GTR : Guide Technique Routier ;

XP P : norme expérimentale ;

TJMA_n : Trafic Journalier Moyen à l'Année n ;

TJMA₀ : Trafic Journalier Moyen à l'Année de référence ;

PL : Poids Lourd ;

uvp : unité de véhicule particulier ;

DTP : Direction Des Travaux Publics ;

L120 : route avec une vitesse de référence de 120km/h ;

VRU : Voie Rapide Urbaine ;

GA : Gabarit type A ;

GB : Gabarit type B ;

GB1 : Gabarit type B1 ;

GC : Gabarit type C ;

B40 : normes techniques d'aménagement des routes ;

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ;

AN : Application Numérique ;

TVO : Tout Venant d'Oued ;

BB : Béton Bitumineux ;

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires ;

VF : Voie Ferrée ;

Liste des figures

Chapitre I

Fig. I.1 : Le véhicule en virage sans dévers.	05
Fig. I.2 : Le véhicule en virage avec dévers.	06
Fig. I.3 : Visibilité en courbe verticale convexe sur chaussée bidirectionnelle.	09
Fig. I.4 : Visibilité en courbe verticale concave.	10
Fig. I.5 : Efforts appliqués au véhicule en courbe verticale concave.	10
Fig. I.6 : Profil en travers d'une autoroute.	13
Fig. I.7 : Profil en travers d'une route à 2 ou 3 voies.	13
Fig. I.8: Profil en travers type.	14
Fig. I.9: Profil en travers en alignement droit.	15
Fig. I.10: Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante.	16
Fig. I.11: Les différentes couches d'une chaussée souple.	19
Fig. I.12 : Valeur de déclivité en fonction de sa longueur d'application.	27
Fig. I.13: profil en travers courant d'une voie ferrée.	29
Fig. I.14 : Forces en courbe et dévers.	30
Fig. I.15 : Ecartement des rails.	31
Fig. I.16 : Effet de la superposition des structures d'une voie ferrée.	32
Fig. I.17 : Fixation du rail à double champignon.	37
Fig. I.18 : Profil du rail Vignole.	38
Fig. I.19 : Schéma du rail à gorge.	38
Fig. I.20 : Traverses en bois.	40
Fig. I.21 : Traverses métalliques.	41
Fig. I.22: Traverse en béton type bi-bloc.	41
Fig. I.23 : Traverse en béton type monobloc.	41
Fig. I.24 : Fixation du rail Vignole sur traverse en bois.	42
Fig. I.25 : Fixation du rail sur traverse métallique.	43
Fig. I.26 : Fixation du rail Vignole sur traverse en béton.	43
Fig. I.27 : Eclissage et joint de dilatation d'une voie ferrée.	45

Chapitre II

Fig. II.1 : Différents types de carrefours.....	54
---	----

Chapitre III

Fig. III.1 : Vue en plan du site du projet (source : Google Earth).....	61
Fig. III.2 : Plan de situation du projet d'étude	62
Fig. III.3 : différentes couches composant le sol support.....	64
Fig. III.4 : Courbes de niveaux tracées par logiciel AUTOCAD COVAIDS.	70
Fig. III.5: Gabarits ferroviaires selon l'UIC.....	79
Fig. III.6 : Surface libre pour une ligne ferroviaire à 2 voies.....	80

Chapitre IV

Fig. IV.1 : Variation longitudinale du relief.....	83
Fig. IV.2 : Sinuosité d'un tracé routier.....	84
Fig. IV.3 : Présentation des différentes altitudes et hauteurs de l'ouvrage.....	92
Fig. IV.4 : Résultats de la détermination des points S, B et C par calcul manuel.....	95
Fig. IV.5 : Nouvel tracé vertical de la route à échelle réelle (Excel).	95
Fig. IV.6 : Profil en travers type au niveau de la route.	98
Fig. IV.7 : Profil en travers type au niveau de l'ouvrage d'art.....	99
Fig. IV.8 : Image représentative d'une coupe transversale sur les talus de remblai.	100
Fig. IV.9 : Les différentes couches et épaisseurs du corps de la chaussée.....	104
Fig. IV.10 : Aspect général du profil en long de la voie ferrée.....	107
Fig. IV.11 : Profil en travers type de la voie ferrée à double voies.....	108
Fig. IV.12 : Structure d'une voie ferrée.	110
Fig. IV.13 : TBA bi-bloc.....	112
Fig. IV.14 : Constituants de TBA bi-bloc.	112
Fig. IV. 15 : TBP monobloc.....	113
Fig. IV.16 : dimensions de la traverse bibloc.....	114
Fig. IV.17 : Composants de l'attache de type Nabla.....	115
Fig. IV.18 : Travelage de la voie ferrée.	116

Fig. IV.19 : Efforts supportés par les rails.	116
Fig. IV.20 : Effort de la roue sur le rail.....	117
Fig. IV.21 : Rail Vignole du type S18.....	120
Fig. IV.22 : Rail Vignole de type UIC 60E1.....	121
Fig. IV.23 : Exemple d'un joint de dilatation éclissé.....	123
Fig. IV.24 : Eclisse -vue de coté -.....	124
Fig. IV.25 : Eclisse et rail - vue de coté -	124
Fig. IV.26 : Diagrammes de perçage.....	125

Chapitre V

Fig. V.1 : Plate-forme ferroviaire à double voie.....	127
Fig. V.2 : Hauteur du pont.....	128
Fig. V.3 : Schéma d'un pont portique (pont cadre ouvert) montrant les différents types de murs latéraux.....	129
Fig. V.4 : Vue en plan de l'ouvrage.....	130
Fig. V.5 : Pré-dimensionnement du pont portique.....	132

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Paramètres géométriques du tracé en plan	07
Tableau I.2 : Paramètres géométriques du profil en long	11
Tableau I.3 : Valeurs maximales admissibles du dévers.....	26
Tableau I.4 : Valeurs de rayon minimum en fonction de la vitesse	28
Tableau I.5 : Méthode de classement de la plateforme	36

Chapitre III

Tableau III.1 : Coupe lithologique en section01	63
Tableau III.2 : Coupe lithologique en section02	64
Tableau III.3 : Résultats des analyses chimiques	65
Tableau III.4 : Résultats de l'analyse granulométrique.....	65
Tableau III.5 : Contrainte admissible dans les sections 1 et 2	66
Tableau III.6 : Analyse granulométrique	68
Tableau III.7 : Limites d'Atterberg	68
Tableau III.8 : Essai Proctor	68
Tableau III.9 : Essai CBR imbibé à 4 jours.....	69
Tableau III.10 : Analyses chimiques.....	69
Tableau III.11 : Classification et identification du sol	69
Tableau III.12 : Présentation des résultats de calcul	76
Tableau III.13 : Classification des routes.....	77
Tableau III.14 : Classification des autoroutes	77
Tableau III.15 : Classification des voies rapides urbaines (VRU).....	77
Tableau III.16 : Données géométriques de la route	78
Tableau III.17 : Données géométriques de la voie ferrée.....	81

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité.....	85
Tableau IV.2 : Paramètres fondamentaux	86
Tableau IV.3 : Valeurs de déclivités maximales (B40).....	89
Tableau IV.4 : Résultats du calcul à l'aide du logiciel COVADIS	96
Tableau IV.5 : Coefficients d'équivalence en fonction de matériaux utilisés.....	102
Tableau IV.6 : Résultats de l'étude du profil en long à l'aide de logiciel COVADIS	106

Introduction générale


Introduction générale

Le développement du transport terrestre a pour objet l'amélioration et la modernisation des moyens et des lignes du transport, afin de fournir aux voyageurs plus de confort, plus de sécurité et plus de satisfaction d'une part, et moins de dépenses d'autre part. Dans le même contexte, le transport rapide et sûr des marchandises de types variés présente un enjeu important dans l'économie des pays qui doit satisfaire les désirs des commerçants et de la clientèle.

En fait, le transport terrestre en Algérie est diversifié, vu la superficie du pays. Le réseau routier algérien est l'un des plus importants du Maghreb et d'Afrique, d'une longueur de 108 302 km, répartie sur 76 028 km de routes nationales et départementales, 32 274 km de routes secondaires. Le réseau routier est en plein développement grâce au programme de modernisation des transports routier et à titre d'exemple la réalisation de l'Autoroute Est-Ouest de 1216 km, l'autoroute des hauts plateaux de 1330 km, et la réalisation de 19 000 km de route, ainsi que la finition de la route transsaharienne (nord-sud). En ce qui concerne le réseau ferroviaire, il est estimé à 4 576 km en 2014, il connaît depuis peu de temps une électrification au niveau de certains tronçons, ce qui doit conduire incessamment à l'installation de trains à grande vitesse qui devraient relier les villes les plus importantes du pays. Le trafic du réseau ferroviaire est géré par la Société Nationale Des Transports Ferroviaires (SNTF).

En raison de la bifurcation des routes et des chemins fer en Algérie, il existe plusieurs passages à niveau entre ces deux voies de communication. Ces croisements présentent un danger probable de collision entre les véhicules routier et le matériel roulant ferroviaire. C'est pour cela, et pour assurer le passage des trains et les véhicules routier en toute sécurité, les autorités des travaux publics ont décidé de supprimer tout passage à niveau et de réaliser, s'il s'agit de nouveaux projets, des passages dénivelés. L'importance de cette décision nous a poussé à choisir un sujet intéressant pour notre projet de fin d'étude de Master 2, il s'agit de la suppression d'un croisement à niveau entre la route nationale n°1 et la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat » et de l'étude d'un passage supérieur de la route qui va franchir la voie ferrée, tout en aménageant l'intersection pour une meilleure exploitation des ouvrages. La réalisation de ce travail passe par une méthodologie qui est structurée comme suit :

- ✱ le 1^{er} chapitre se concentre sur des généralités sur les voies terrestres, les routes et les chemins de fer ;

- 
- ✦ le 2^{ème} chapitre se consacre à l'étude et l'aménagement des croisements « Route – Voie ferrée » ;
 - ✦ le 3^{ème} chapitre donne une présentation générale du projet d'étude ;
 - ✦ le 4^{ème} chapitre porte sur l'étude des deux voies de communication, la route et la voie ferrée ;
 - ✦ le 5^{ème} et le dernier chapitre, porte sur l'aménagement de l'intersection « Route –Voie ferrée ».

CHAPITRE I :

Généralités sur les voies terrestres

Chapitre I : Généralités sur les voies terrestres

I.1. Introduction

Les voies de communications se divisent, en général, en trois grandes catégories : Les voies de communication terrestres, les voies de communication maritimes et les voies de communication aériennes. Le présent travail se concentre essentiellement sur les voies terrestres, qui eux-mêmes se divisent en deux catégories différentes ; les *routes* et les *chemins de fer*.

I.2. Généralités sur les routes

I.2.1. Etude géométrique de la route

Toute conception routière dépend étroitement de la géométrie du terrain. L'étude géométrique de la route a pour but de définir les caractéristiques de la piste à construire, tel que le tracé en plan, le profil en long, le profil en travers type [1].

I.2.1.1. Tracé en plan

Le tracé en plan est la projection sur le plan horizontal de l'axe de la chaussée. L'axe étant constitué d'une succession de segments de droites raccordés entre eux par des courbes qui peuvent être soit des cercles, soit des clothoïdes, soit une combinaison des deux.

Le tracé en plan doit assurer les conditions suivantes :

- une bonne visibilité ;
- un meilleur confort ;
- une stabilité des véhicules en virages ;
- une liaison des zones d'habitations ;
- éviter au maximum les expropriations ;
- éviter les zones fortement accidentées ;
- avoir l'un des tracés les plus courts.

Tout ceci doit se faire en maintenant les dépenses du projet dans les limites raisonnables. La conception plane est effectuée à base d'un fond topographique. L'emprise du tracé est définie par les limites des lotissements [1].

1.2.1.1.1. Critères de choix du tracé en plan

- L'adaptation de tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Eviter de passer si possible sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Se raccorder au réseau routier existant.
- Pour des raisons économiques, éviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum les ouvrages d'arts ; si le franchissement est imposé, essayer d'éviter les ouvrages biais.
- Remplacer deux cercles voisins de même sens et de rayon différent par un cercle unique.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques (présence de failles ou des matériaux pressentant des caractéristiques très médiocres).
- Il faut toujours appliquer les rayons supérieurs au rayon minimal normal.
- Eviter les très longs alignements droits [2].

1.2.1.1.2. Eléments du tracé en plan

Un tracé en plan est généralement constitué d'une série de segments de droites (Alignements droits) raccordés par des courbes (cercles et/ou clothoïdes).

1.2.1.1.2.1. Alignement

Pendant longtemps on a préféré le tracé rectiligne parce qu'il est le plus court, mais maintenant les longs alignements sont à proscrire, à cause de :

- l'éblouissement causé par les phares (conduite de nuit) ;
- la monotonie de conduite dans un tel tracé ;
- la mauvaise adaptation de la route au paysage ;
- l'esthétique difficile ;
- l'encouragement des vitesses excessives.

Pour ces raisons-là, on est amené à prévoir un tracé légèrement infléchi. On doit donc remplacer les alignements droits trop longs par une succession d'alignements courts et de courbes.

En fait, il est préférable d'avoir un pourcentage compris entre 20% et 60% en alignement droit, pour une section de route [2].

1.2.1.1.2.2. Arc de cercle

Deux alignements droits de directions différentes 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. C'est pour cela, qu'il faut toujours choisir pour la courbe un rayon convenable. Dans ce cas, trois éléments interviennent pour limiter le rayon de la courbure :

- la stabilité des véhicules sous l'effet de l'accélération centrifuge ;
- la visibilité en plan ;
- le confort des usagers.

Il convient de noter enfin que, certes, il ne faut pas descendre au-dessous du rayon minimum préconisé, mais on essaye quand même de choisir les plus grands rayons possibles, si le terrain naturel le permet, bien sûr [2].

1.2.1.1.2.3. 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 [3]. Leur rayon est uniformément variable, il décroît en entrant dans le virage et croît en sortant.

1.2.1.1.2.4. Rayon en plan

Un véhicule qui se déplace dans un virage est soumis à différentes forces, parmi lesquelles figurent son poids propre **P** et la force centrifuge **F_c** (Figure I.1).

Si la composante de la résultante des deux forces **R'** passe en dehors du polygone des roues, le véhicule perd sa stabilité et se renverse [4]. Il peut y avoir également un dérapage du véhicule vers l'extérieur du virage, si la composante tangentielle de la résultante dépasse le frottement latéral maximum.

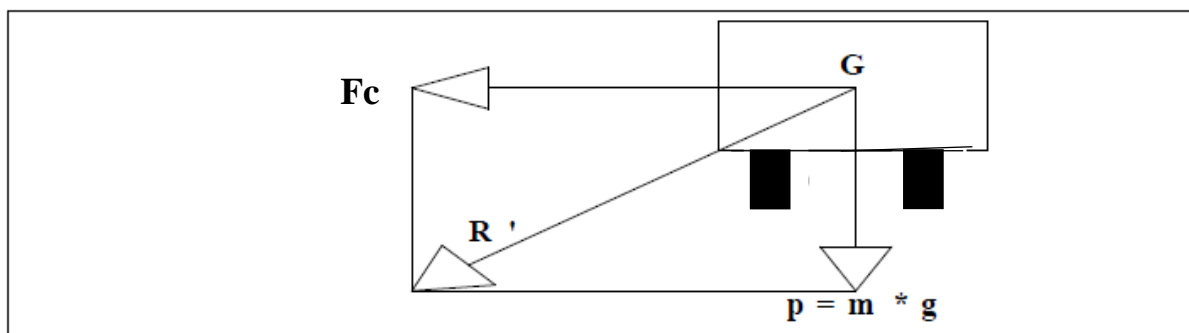


Fig. I.1 : Le véhicule en virage sans dévers.

$$F_c = m \times V^2 / R \quad (I.1)$$

Avec :

F_c : force centrifuge ;

R : rayon de courbure ;

R' : la résultante des forces ;

P : poids du véhicule.

Pour éviter de déstabiliser le véhicule, il faut donc rapprocher la résultante R' à une position perpendiculaire à la surface de la route. Pour cela, il faut donner un surhaussement « h » du bord extérieur de la voie, (prévoir un dévers) (*figure I.2*) [4].

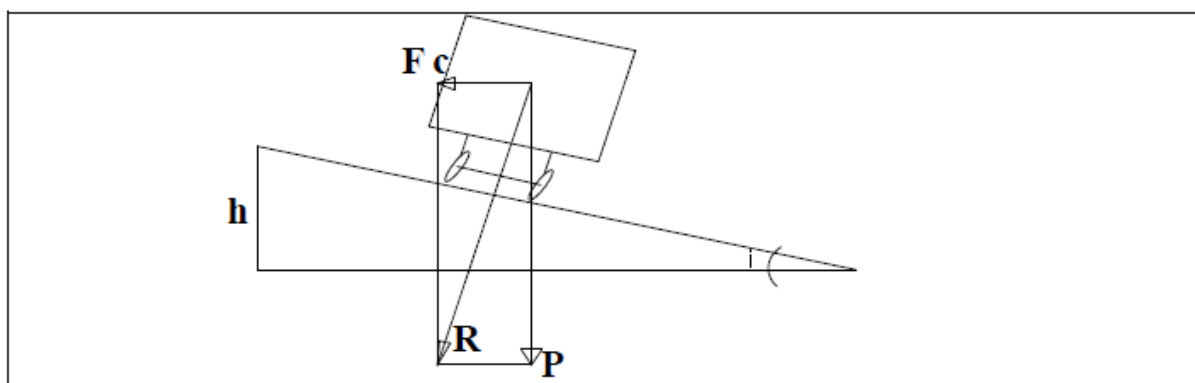


Fig. I.2 : Le véhicule en virage avec dévers.

Ce taux de relèvement (inclinaison i) est appelé dévers. La route ainsi inclinée transversalement est dite déversée ou en dévers.

Le tableau I.1 résume les paramètres géométriques du tracé en plan, donnés par le B40.

Tableau I.1 : Paramètres géométriques du tracé en plan

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de route					
			4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.	
Vitesse de référence		V_r (km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Devers maximal	$\delta M(\%)$	7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers δM)	RH_m	40	120	240	425	665
		Minimal normal (dévers)	RH_N ($\delta\%$)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
		Au dévers minimal	$RH' (2,5\%)$	250	450	650	900	1500
		Non déversé	RH_{nd}	400	600	900	1300	1800

I.2.1.2. Profil en long

Le profil en long est une coupe longitudinale du terrain suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il se compose de segments de droites, appelés « déclivités » (rampe si elle est montante et pente si elle est descendante) et des raccordements circulaires, ou paraboliques.

Ces pentes et rampes forment soit des angles saillants ou des angles rentrants. La courbe de raccordement la plus couramment utilisée est bien la courbe parabolique qui facilite l'implantation des points du projet.

I.2.1.2.1 Critères de choix de profil en long

L'élaboration du tracé de profil en long s'appuiera sur les règles suivantes :

- respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur ;
- éviter les angles rentrants 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 dévers nul dans une pente du profil en long ;
- recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais ;
- éviter une hauteur excessive en remblai ;

- assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles notamment :
 - ✓ éviter 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 [2].

1.2.1.2.2 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 :

- l'altitude du terrain naturel ;
- l'altitude du projet ;
- la déclivité du projet.

1.2.1.2.2.1. Déclivité

- ***Déclivité minimum***

Pour des raisons de l'écoulement des eaux, il faut éviter les paliers de grande longueur ayant une pente minimale $< 0.5\%$ ($I_{\min} = 0.5\%$) [2].

- ***Déclivité maximum***

La déclivité maximum dépend de :

- ✓ condition de l'adhérence entre pneu et chaussée ;
- ✓ vitesse minimum de poids lourd « PL » ;
- ✓ condition économique.

Les pentes auront un maximum de 10%. Cependant dans des cas spéciaux, des pentes jusqu'à 12% pourront être autorisées par la municipalité, seulement aux conditions suivantes : seulement sur un tronçon droit ou avec une courbe de très grand rayon et qu'au bas un plateau minimum de 30 mètres est présent. Les pentes ne pourront toutefois dépasser 5% à l'intérieur d'un rayon de 30 mètres d'une intersection [5].

1.2.1.2.2.2. Rayon des courbures de profil en long

✚ *Rayon des courbes convexes (angle saillant)*

Pour les angles saillant il faut respecter la condition de visibilité et on distingue deux types de rayons verticaux : un rayon minimale et un autre normale.

RVm : rayon minimal absolue ;

RHN : rayon minimale normal.

➤ *Chaussée bidirectionnelle*

La visibilité est assurée lorsque l'œil d'un conducteur de véhicule léger, positionné à une hauteur de 1 m du sol aperçoit un véhicule qui vient à sa rencontre avant une distance suffisante (2 fois la distance d'arrêt) (*figure I.3*) [6].

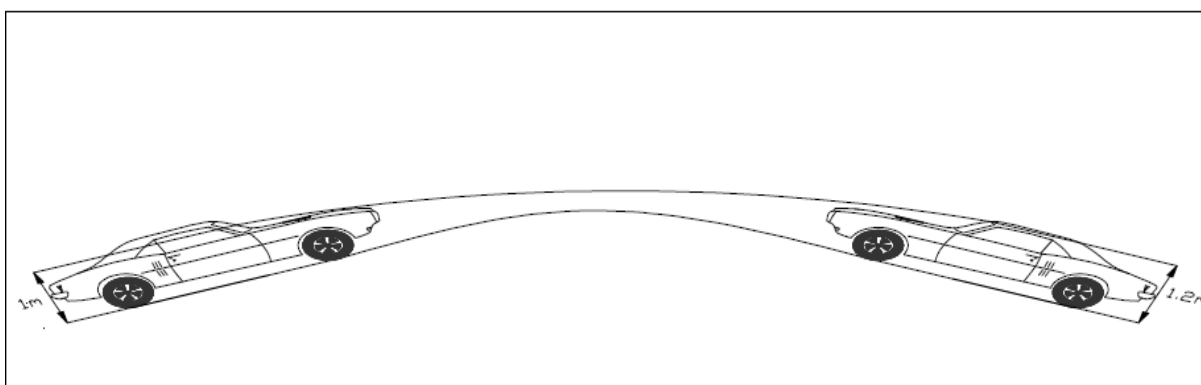


Fig. I.3 : Visibilité en courbe verticale convexe sur chaussée bidirectionnelle.

➤ *Chaussée unidirectionnelle*

Pour une chaussée unidirectionnelle, la distance de visibilité d'un obstacle éventuel de 0,15 m de hauteur doit être au moins égale à la distance d'arrêt pour la vitesse de référence V_r et si possible pour la vitesse $V_r + 20$. L'œil du conducteur est supposé être à 1 m de hauteur [7].

✚ **Rayon des courbes concaves (en angle rentrant)**

Ce rayon doit respecter les deux conditions suivantes :

- la condition de visibilité : la distance éclairée par les phares (conduite de nuit) doit être suffisante, c.à.d. égale à au moins la distance d'arrêt (*Figure I.4*) ;
- et la condition de confort : introduction progressive et confortable de la force centrifuge (*Figure I.5*).



Fig. I.4 : Visibilité en courbe verticale concave.

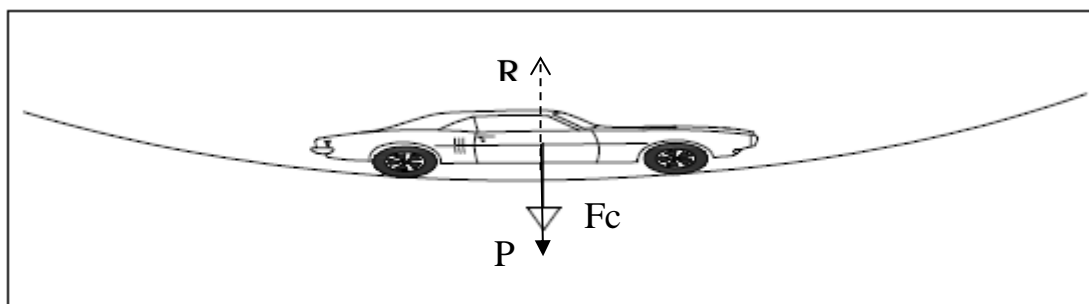


Fig. I.5 : Efforts appliqués au véhicule en courbe verticale concave.

Le B40 adopte des paramètres géométriques du profil en long qui sont résumés dans le tableau I.2.

Tableau I.2 : Paramètres géométriques du profil en long

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Catégorie de route					
			4 ^e	3 ^e	2 ^e	1 ^e	Except.	
Vitesse de référence		V_r (km/h)	40	60	80	100	120	
Profil en long	Déclivité maximal en rampe	$\pi M(\%)$	8	7	6	5	4	
	Rayon en angle saillant RV(m)	Minimal absolu	RV_m	500	1500	3000	6000	12000
		Minimal normal	RHN	1500	3000	6000	12000	12000
	Rayon en angle rentrant RV'(m)	Minimal absolu	RV_m'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal	RVN'	1500	2200	3000	4200	6000

I.2.1.3. Profil en travers

C'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances. Il fait ressortir l'assiette, l'emprise de la route ainsi que les différentes inclinaisons (dévers). Les profils en travers permettent en outre de déterminer le plan général et de calculer les volumes de déblai et de remblai relatifs à la réalisation des terrassements du projet [8].

I.2.1.3.1. Les éléments du profil en travers (Figures I.6 et 7)

I.2.1.3.1.1. La chaussée

C'est la partie renforcée et affectée à la circulation des véhicules. Elle s'oppose directement aux actions des véhicules et aux différents facteurs naturels. Sa largeur est répartie en un certain nombre de voies qui dépend essentiellement du débit de circulation.

I.2.1.3.1.2. Les accotements

Les accotements se trouvent aux cotés de la chaussée, ils étaient utilisés auparavant soit pour le dépôt des matériaux soit pour les piétons ; maintenant, ils sont utilisés pour le stationnement. Sur les routes importantes la largeur des accotements est de 2 à 2.5m utilisés comme bande d'arrêt.

1.2.1.3.1.3. La plate-forme

C'est l'ensemble de la surface de terrain recevant la chaussée et les accotements ; elle se situe généralement entre les fossés et les crêtes de talus de remblais.

1.2.1.3.1.4. L'assiette

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

1.2.1.3.1.5. L'emprise

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances (Talus, exutoires, etc.) limitée par les domaines publics.

1.2.1.3.1.6. Le talus

Le talus a une inclinaison qui dépend de la cohésion des sols qui le constitue ; cette inclinaison est désignée par une fraction (A/B) tel que :

A : la base du talus ;

B : hauteur du talus.

1.2.1.3.1.7. Le fossé

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir et évacuer les eaux pluviales provenant de la route, du talus et de la sous couche drainante s'il elle existe.

1.2.1.3.1.8. Le terre-plein central T.P.C

Il assure la séparation matérielle des deux sens de circulation, sa largeur dépend de celle de ses constituants : les deux bandes dérasées de gauche et la bande médiane.

- Bande dérasée de gauche (B.D.G) : Elle est destinée à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité, Elle est dégagée de tous obstacles, revêtu et se raccorde à la chaussée.
- Bande médiane : Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, et à implanter certains équipements (barrière, support de signalisation, etc.), sa largeur dépend, pour le minimum, des éléments qui sont implantés.

I.2.1.3.1.9. La largeur roulable

Elle comprend les surlargeurs de chaussée, la chaussée et bande d'arrêt [9].

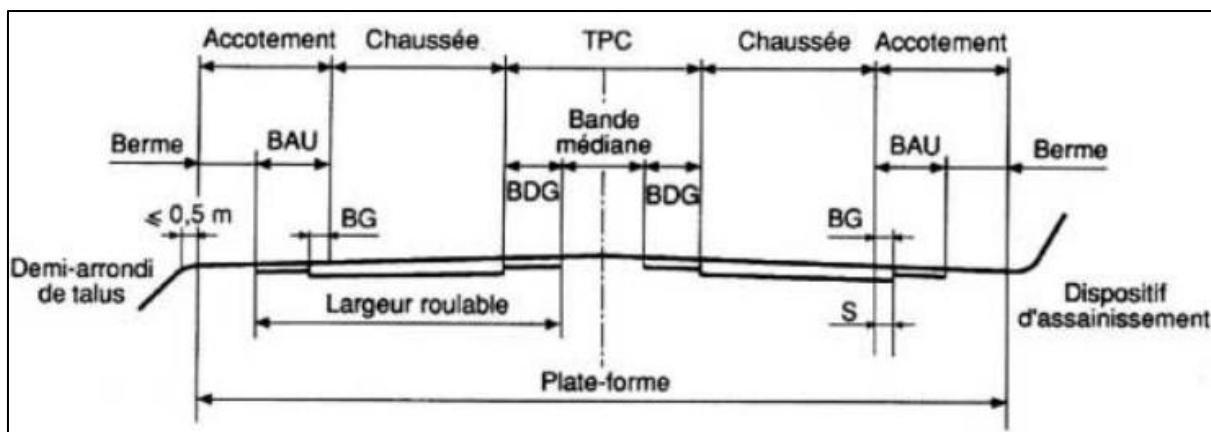


Fig. I.6 : Profil en travers d'une autoroute.

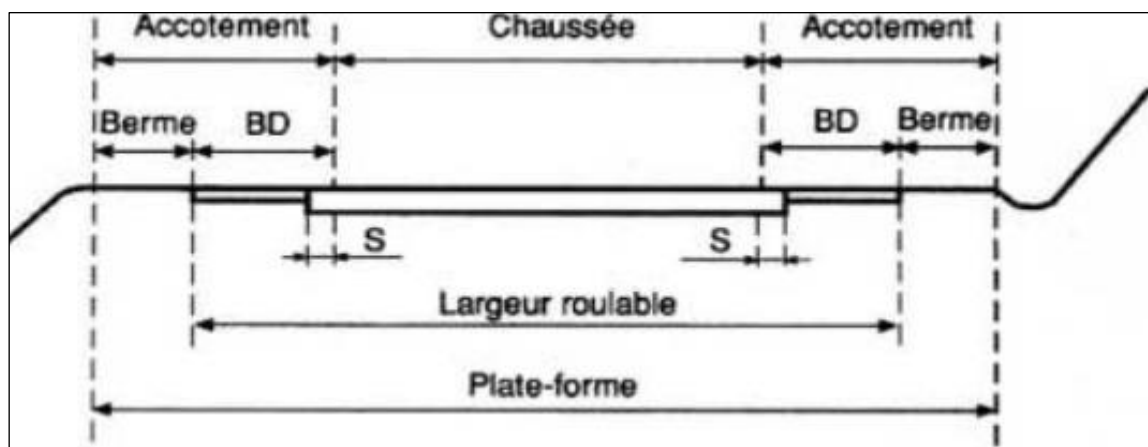


Fig. I.7 : Profil en travers d'une route à 2 ou 3 voies.

Avec :

BAU : bande d'arrêt d'urgence ;

BD : bande dérasée ;

BDG : bande dérasée de gauche ;

BG : bande de guidage ;

S : sur largeur (structurelle) de chaussée ;

TPC : terre-plein central.

I.2.1.3.2. Profil en travers type

Chaque projet de route comporte un grand nombre de dessins de profils en travers, que chacun d'eux comporte les mêmes dimensions générales, et des détails constructifs communs, alors pour éviter cette répétition sur chaque dessin, on établit tout d'abord un profil unique appelé profil en travers type contenant tous les détails (Figure I.8) [9].

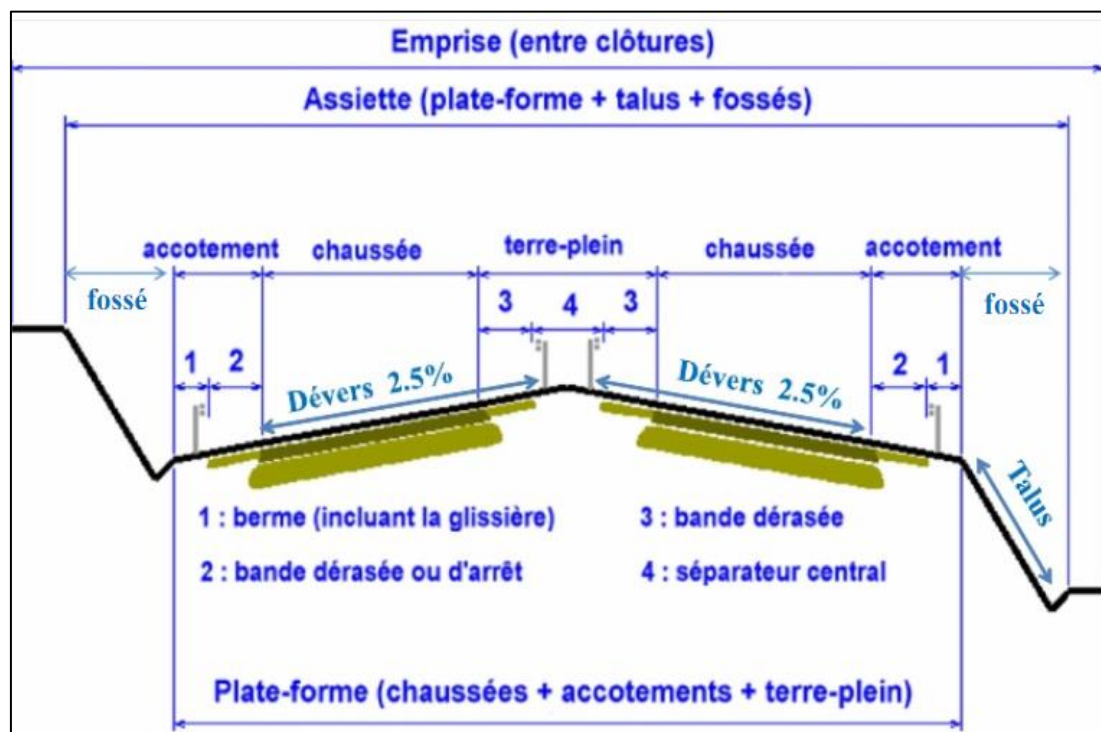


Fig. I.8 : Profil en travers type.

I.2.1.3.3. Les différentes formes de la chaussée

I.2.1.3.3.1. En alignement droit

En alignement droit le profil en travers de la chaussée a une forme généralement en toit (Figure I.9) afin d'assurer l'évacuation des eaux pluviales. Il est donc constitué de deux versants plans symétriques, inclinés suivant la nature de revêtement et la catégorie.

Le profil en travers tient toujours en compte le devers, dans le cas échéant on pourra avoir les problèmes suivants :

- effet de miroir ;
- phénomène de l'aquaplanage ;
- Formation de verglas en hivers [9].

Il doit permettre l'évacuation rapide de l'eau vers les côtés. En général, on adopte les pentes transversales suivantes :

- ✓ Chaussée en béton de ciment : 2%.
- ✓ Chaussée en enduit superficiel ou enrobé : 2,5 à 3%.
- ✓ Chaussée non revêtue : 4% [7].

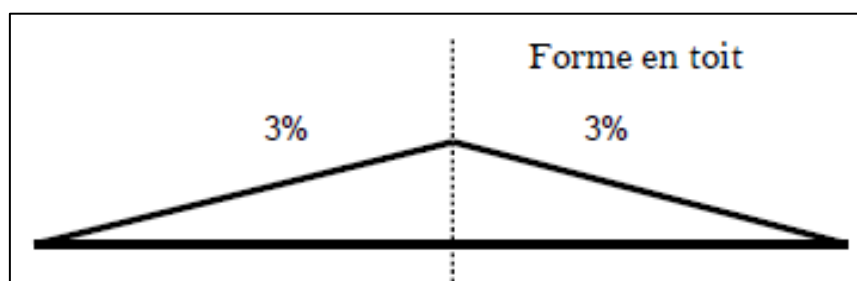


Fig. I.9 : Profil en travers en alignement droit.

En pratique et selon le cas, deux solutions peuvent être prévues pour l'écoulement des eaux sur la chaussée :

- soit en toit (double pentes) ;
- soit avec une pente unique rectiligne sur toute la largeur de la chaussée.

1.2.1.3.3.2. En courbe

Le passage d'une situation (alignement droit) à une autre (courbe) nécessite une zone de transition, cette zone doit être très soigneusement étudiée pour éviter les accumulations des eaux, génératrice (d'aquaplanage). De plus, la pente ne doit pas être très grande, car cela pourrait être dangereux pour les véhicules lents.

En courbe, le profil ne comporte plus qu'un seul versant (relevée de l'extérieur vers l'intérieur), où la pente est le devers évoqué dans le Tableau I.1 (tracé en plan). Elle contribue également à l'équilibre dynamique des véhicules. Toutefois, cette contribution reste limitée et sa valeur est donc plafonnée (généralement à 7%).

I.2.1.4. Dimensionnement et structure des chaussées souples

Le dimensionnement d'une structure de chaussée routière consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante (*Figure I.10*) induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobés [10].

Le trafic pris en compte est celui du poids lourd, c'est-à-dire des véhicules dont le poids total est supérieur à 3,5 tonnes.

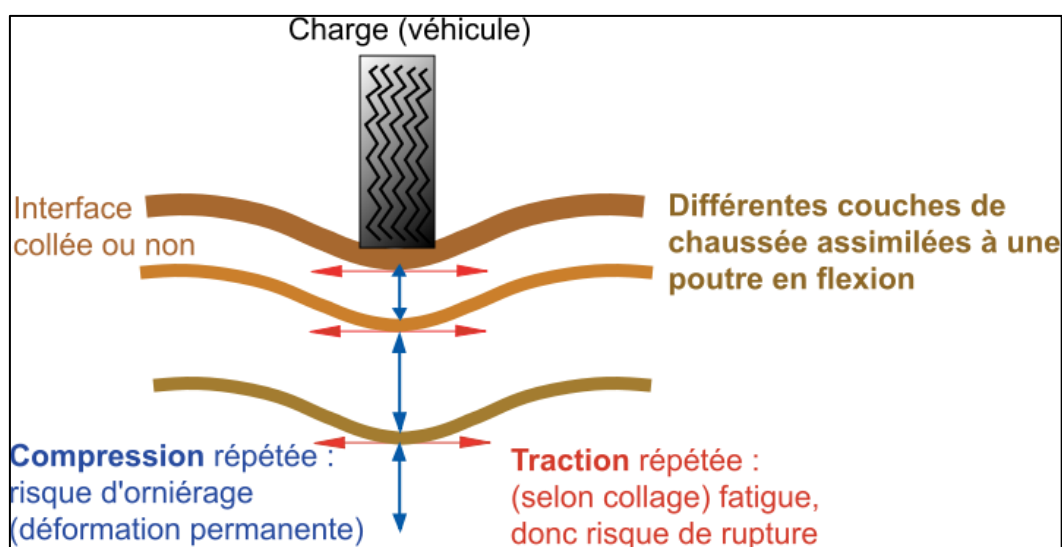


Fig. I.10 : Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée sous l'application d'une charge roulante.

1.2.1.4.1. Généralités sur les chaussées souples

1.2.1.4.1.1. Définition

Elles sont composées d'un revêtement bitumineux relativement mince (< à 15 cm) réduit parfois à un enduit dans le cas de chaussée à très faible trafic. L'assise est réalisée d'une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités (GNT). L'épaisseur d'ensemble de la structure est en générale comprise entre 30 et 60 cm [11].

1.2.1.4.1.2. Comportement

Leurs compositions et leurs épaisseurs font que les efforts dus au trafic, sont directement transmis au sol support avec une faible répartition latérale. La tenue dans le temps est fortement influencée par la qualité du sol support et notamment son comportement en période hivernale ou humide. La qualité de l'étanchéité de la couche de roulement et du drainage de la PST seront déterminants. Une période de sécheresse prolongée peut aussi entraîner une remontée de fissures [11].

1.2.1.4.1.3. Types de chaussées souples

- ***Chaussée souple en grave non traitée***

Utilisée pour les routes à faible trafic GNT (granulats non traités).

Avantage :

- ✓ Structures économiques.

Inconvénients :

- ✓ faible élasticité « E » : de 100 à 500 MPa ;
- ✓ faible rigidité ;
- ✓ épaisseur élevée.

- ***Chaussée souple en grave traité aux liants hydrocarbonés***

Utilisable pour les routes à faible trafic, mais plus cher, GB : grave bitume.

Avantage :

- ✓ élasticité élevé « E » : de 1000 à 15000 MPa ;

- ✓ faible dosage en liant (3 à 6%).

Inconvénient :

- ✓ le module d'élasticité dépend de la température : à 40°C il devient 1/10 de celui à 10°C.

1.2.1.4.2. Construction des chaussées souples

Les chaussées souples constituées par des couches superposées de matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction.

Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures.

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'épaisseurs déterminées, ayant chacune un rôle bien défini (*Figure I. 11*).

En principe une chaussée peut avoir en ordre les 04 couches suivantes :

A. Couche de surface

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

- couche de roulement qui a pour rôle :
 - ✓ d'imperméabiliser la surface de chaussée ;
 - ✓ d'assurer la sécurité (par l'adhérence) et le confort des usages (diminution de bruit, bon uni).
- couche de liaison, qui a pour rôle essentiel d'assurer une transition, avec les couches inférieures les plus rigides.

B. Couche de base

La couche de base joue un rôle essentiel et elle existe dans toutes les chaussées. Elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet du trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes. L'épaisseur de la couche de base varie entre 10 et 25cm.

C. Couche de fondation

En complément des matériaux non traités, elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic, assure une bonne portance du sol support et reprend une partie des charges supérieures.

D. Couche de forme

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe qui sert à adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou de terrain naturel aux caractéristiques mécaniques, géométriques et thermiques requises pour optimiser les couches de chaussée.

Elle n'y est utilisée que pour opérer de corrections géométriques et améliorer la portance du sol support à long terme. L'épaisseur de la couche de forme est en général entre 20 et 70 cm.

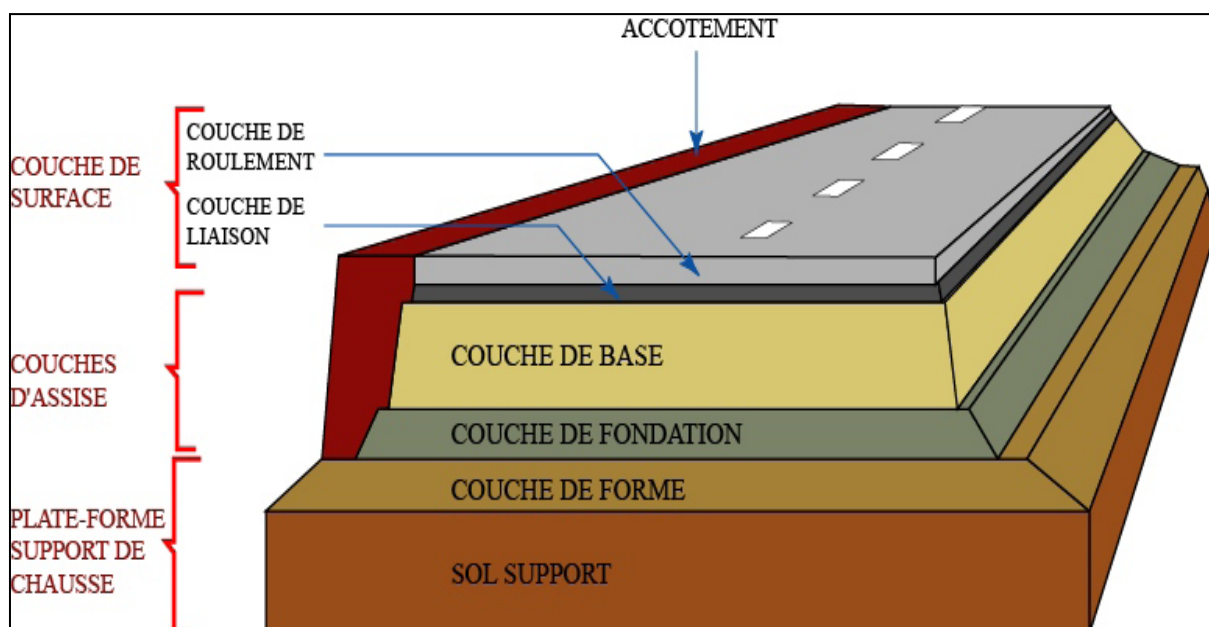


Fig. I.11 : Les différentes couches d'une chaussée souple.

1.2.1.4.3. Détermination de l'épaisseur et de la structure des chaussées souples

Une étude routière ne se limite pas en un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. En effet, une fois réalisée, elle devra résister aux agressions des agents extérieurs et à la surcharge d'exploitation : action des essieux des véhicules lourds, effets des gradients thermiques : pluie, neige, verglas, etc. Pour cela il faudra, non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques, mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques qui lui permettent de résister à toutes ces charges pendant sa durée de vie [12].

1.2.1.4.3.1. Durée de vie d'une chaussée

La durée de vie d'une chaussée varie selon qu'il s'agisse d'une autoroute ou voie express et d'une route nationale ou d'un chemin de wilaya.

- Les autoroutes et voies express ont une durée de vie initiale de 30ans.
- Les routes nationales ou chemins de wilaya sont dimensionnés pour une durée de vie de 15 à 20ans.

Cette distinction a été adoptée pour limiter les interventions d'entretien structurel sur les routes à fort trafic, réduire la gêne de l'utilisateur et limiter les contraintes liées à l'exploitation de la route [13].

1.2.1.4.3.2. Facteurs influents sur le dimensionnement de la chaussée

- ***Le trafic***

Le trafic constitue un élément essentiel dans la sollicitation de la chaussée. A travers les pneumatiques, les véhicules transmettent une pression à la structure dépendant du poids des véhicules. Ces efforts verticaux se diffusent dans le sol. On distingue différents types de dégradation (usure, fluage) ou rupture par fatigue [13].

- ***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, ainsi :

- la variation de la température intervient dans le choix du liant hydrocarboné, et aussi les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support. Donc, l'un des paramètres d'importance essentielle dans

le dimensionnement ; la teneur en eau des sols détermine leurs propriétés et les propriétés des matériaux bitumineux [14].

Les effets du climat sont traduits par :

- l'eau qui diminue les facultés d'adhésivité passive du bitume (c.-à-d. les liaisons entre bitumes et granulats), elle contribue donc au désenrobage des enrobés bitumineux ;
- l'air qui contribue à l'évaporation des solvants et par conséquent à l'oxydation du bitume ;
- la température qui influe sur les propriétés mécaniques du bitume en particulier les variations de température peuvent conduire à fissurer la couche de roulement [13].

- ***Le sol support***

Les structures de chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate – forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme. Les plates formes sont définies à partir de :

- la nature et de l'état du sol ;
- la nature et de l'épaisseur de la couche de forme [14].

- ***Les matériaux***

Les matériaux utilisés doivent résister à des sollicitations répétées un très grand nombre de fois (le passage répétitif des véhicules lourds) [14].

1.2.1.4.3 Présentation des méthodes de dimensionnement de structure de chaussée

D'une façon résumée, le dimensionnement d'une chaussée consiste au calcul des différentes épaisseurs des couches du corps de chaussée en prenant en compte les caractéristiques du sol support, le trafic prévisionnel et sa composition et la durée de vie projetée.

En matière de dimensionnement des chaussées, il n'existe pas de méthodes de calcul universelles applicables rigoureusement à tous les pays. Ainsi, chaque pays a ses propres règles qui s'affinent au gré des progrès réalisés dans la connaissance des paramètres de l'environnement routier et des résultats théoriques sur les modèles mécaniques.

Aussi, existe-t-il un certain nombre de méthodes pratiques plus ou moins adaptées à chaque contexte ? Ces méthodes peuvent se regrouper en deux types :

- **Méthodes empiriques**

L'approche empirique est basée sur l'observation sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales et le suivi de leur évolution dans le temps. Le principe est d'établir des relations, à partir d'études statistiques sur les différentes observations, entre :

- ✓ la géométrie ;
- ✓ la nature des matériaux ;
- ✓ le trafic ;
- ✓ l'état global de la chaussée.

Les principales méthodes empiriques sont :

- ❖ CBR (Californian Bearing Ratio) ;
- ❖ Méthode Russe ;
- ❖ Essais AASHO (American Association of State Highway Officials);
- ❖ Méthode de Shook et Finn ;
- ❖ Méthode de l'Asphalt Institute.

- **Méthodes rationnelles ou théoriques :**

Dans cette approche, on établit un modèle mathématique reproduisant au mieux le comportement de la structure de chaussée. On détermine les contraintes et les déformations sous la charge et on compare ces grandeurs à celles que les matériaux peuvent supporter sans rupture.

Les principales méthodes rationnelles sont :

- ❖ Modèle de Boussinesq (1885) ;
- ❖ Modèle bicouche de Westergaard (1926) ;
- ❖ Modèle de Burmister (1943) ;
- ❖ Modèle de performance ;
- ❖ Méthode française de dimensionnement des chaussées neuves (routières).

Dans tous les cas, pour être explicite conformément à la définition donnée ci-dessus, le dimensionnement de chaussée prend toujours en compte :

- ✚ la qualité du sol support : il est indispensable de disposer d'un bon sol support pour que le corps de chaussée soit mis en place dans des conditions satisfaisantes, et pour qu'il conserve dans le temps une indéformabilité suffisante ;
- ✚ le trafic et la durée de vie de la chaussée ;
- ✚ la qualité des matériaux des couches constituant la structure de chaussée.

Bien entendu, la méthode de dimensionnement tient compte aussi de l'environnement dans lequel la route est réalisée.

I.3. Généralités sur les voies ferrées

La voie ferrée, ou chemin de fer, est un système de transport guidé servant au déplacement de personnes et de marchandises. Il se compose d'une infrastructure spécialisée, de matériel roulant et de procédures d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain [15].

I.3.1. Etude géométriques des voies ferrées

I.3.1.1. Tracé en plan

I.3.1.1.1. Définition

Le tracé en plan d'une voie ferrée est sa projection sur le plan horizontale. Géométriquement, le tracé en plan est constitué d'une série d'alignements droits raccordés avec des courbes horizontales (circulaire, clothoïde). Le principal élément du tracé en plan est bien l'axe de la voie. Ce dernier est pris au milieu (entre les rails) en cas d'une seule voie. En cas de doubles voies l'axe est pris au milieu de la plate-forme.

I.3.1.1.2. Critères de choix du tracé en plan

Le tracé en plan d'une voie ferrée est généralement déterminé sur la base de différents critères, tels que :

- l'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants ;
- éviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières ;
- éviter au maximum les propriétés privées ;

- éviter le franchissement des oueds afin de limiter au minimum le nombre des ouvrages d'arts (pour des raisons économiques) ;
- éviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- essayer d'utiliser le maximum d'alignement ;
- éviter les terrains très plastiques [16].

1.3.1.1.3. Eléments du tracé en plan

✓ *Alignement droit*

La longueur minimale d'un alignement droit est comprise entre 30 et 40 mètres, exceptionnellement 20 mètres. Cette distance minimale représente la longueur maximale d'une seule voiture de train.

✓ *Rayon minimum des courbes horizontales*

La valeur du rayon minimum admissible est limitée en fonction des vitesses de circulation pour :

- assurer le confort des voyageurs ;
- éviter l'apparition d'efforts transversaux trop importants sur la voie ;
- et faciliter le redémarrage du train après un arrêt en courbe (effet des boudins) [16].

En effet, la SNCF adopte les valeurs suivantes :

- ❖ $R \geq 1000\text{m}$ pour les grandes lignes ;
- ❖ $R \geq 250\text{m}$ en zones montagneuses ;
- ❖ $R \geq 150$ à 200m en zones courantes ;
- ❖ $R \geq 100$ à 150m dans les gares.

✓ *Dévers*

Le dévers sera obtenu en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur. La variation du dévers à l'entrée et à la sortie d'une courbe sera continue tout au long de la courbe de transition [16].

Dévers théorique (dv) :

Formule pratique :
$$dv = 11.8 \times \frac{V^2}{R} \quad (\text{I.2})$$

Avec :

dv (mm) : dévers théorique ;

V (km/h) : vitesse sur le tracé ;

R (m) : rayon de courbe horizontale.

Dévers prescrit (dp) :

Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret. Ce dévers donné à la voie est appelé dévers prescrit, et il est en général compris entre 0.4 dv et 0.6 dv [16]. Il est donné par la formule suivante :

$$dp = 11.8 \times \frac{V^2}{R} - 1 \quad (I.3)$$

Où : dp (mm) dévers prescrit.

Dévers maximum admissible D_{max} [16] :

Le dévers maximum est limité afin de ne pas perturber le confort des voyageurs et d'éviter le déplacement de marchandises lors de l'arrêt impromptu du train fret dans une courbe [16].

- Valeur maximale normale du dévers $D_{max} = 160\text{mm}$;
- Valeur maximale exceptionnelle du dévers $D_{max} = 180\text{mm}$.

Insuffisance de dévers maximale admissible I [16] :

On limite l'accélération non compensée, afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et un coût raisonnable de l'entretien de la voie. L'insuffisance de dévers se définit à partir de l'accélération non compensée par la formule suivante :

$$\alpha_{nc} = \frac{g \times I}{a} \quad (I.4)$$

$$I = \frac{\alpha_{nc} \times a}{g} \quad (I.5)$$

« a » étant l'écartement de la voie ;

« g » l'accélération de la pesanteur ;

« α_{nc} » l'accélération non compensée ;

« I » l'insuffisance du dévers.

Les valeurs maximales admissibles sont résumées dans le tableau I.3.

Tableau I.3 : Valeurs maximales admissibles du dévers

	Voie Classique	Voie Rapide
Valeur maximale normale	110 mm	150mm
Valeur maximale exceptionnelle	130mm	160mm

Excès de dévers maximal admissible E [16] :

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes.

Les valeurs maximales admissibles sont les suivantes :

- valeur maximale normale : 110mm ;
- valeur maximale exceptionnelle 130mm.

I.3.1.2. Profil en long***I.3.1.2.1. Définition***

Le profil en long d'une voie ferrée est une coupe longitudinale suivant un plan verticale passant par l'axe de la voie. Le profil en long est constitué de pentes uniformes (déclivités) reliées entre elles par des courbes verticales circulaires. On distingue 2 lignes dans le profil en long : une ligne noire qui représente le terrain naturel et une ligne rouge du projet.

I.3.1.2.2. Critères de choix du profil en long

Le profil en long du terrain naturel est obtenu à partir du tracé en plan et le levé topographique et celui du projet est choisi sur la base de :

- le respect des points imposés (points de début et de fin) ;
- la vérification des conditions techniques ;
- l'économie des terrassements.

I.3.1.2.3. Déclivité maximale

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur. En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-après ; cependant dans le cadre d'une étude de variante, ces valeurs pourront être dépassées selon les normes françaises, tout en respectant les dispositions reprises dans la dernière version de l'instruction SNCF/RFF IN 0272.

- En longueurs inférieures à 3000m, la déclivité ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰ ;
- En longueurs comprises entre 3000m et 15000m, la déclivité diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰ ;
- En longueurs supérieures à 15000m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰ [16].

La figure I.12 précise la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application.

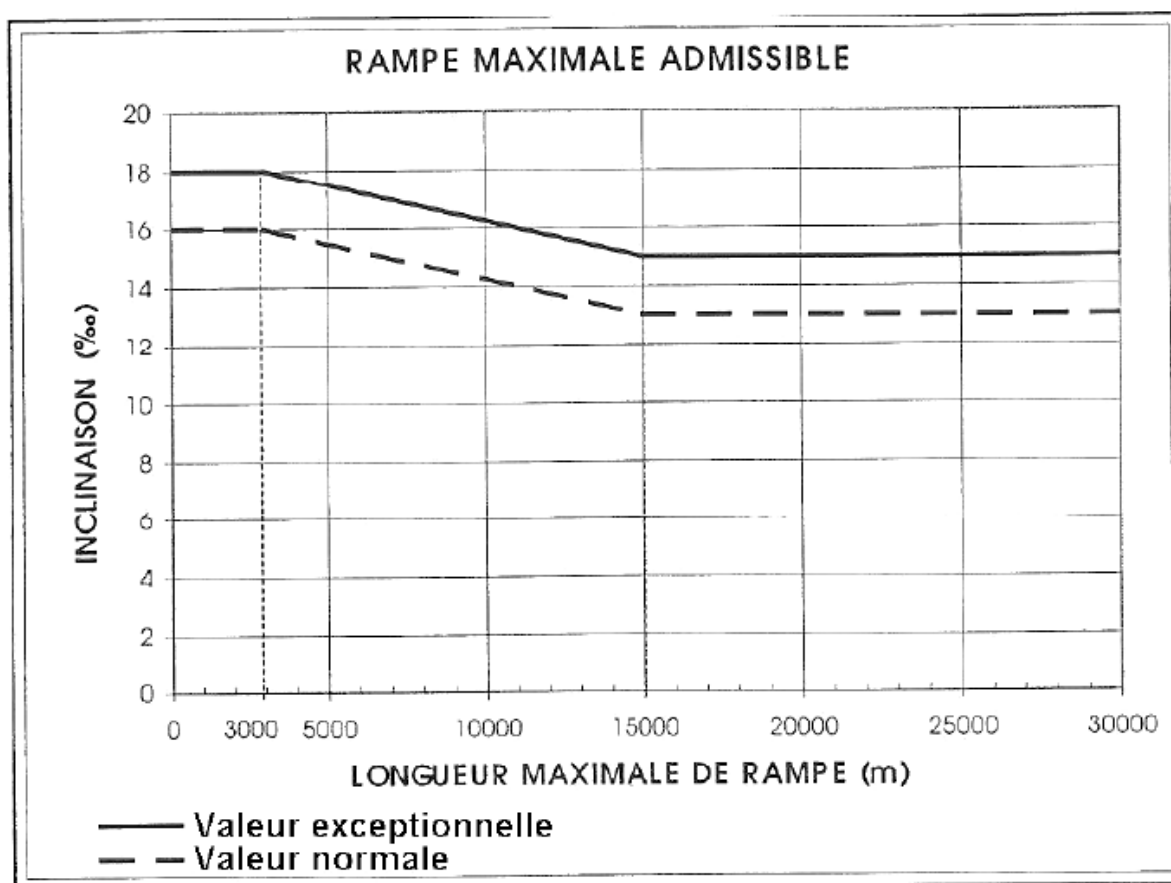


Fig. I.12 : Valeur de déclivité en fonction de sa longueur d'application.

I.3.1.2.4. Rayon admissible en raccordements de profil en long [16]

Les valeurs des rayons minima admissibles en profil en long sont limitées pour tenir compte des considérations suivantes :

- ✓ lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse « V » un raccordement de profil en long de rayon R_v , il est soumis à une accélération centrifuge :

$$a_v = V_{\max}^2 / 12.96 \times R_v \leq a_{v \text{ rec}} [\text{m}^2/\text{s}] \quad (\text{I.6})$$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation ;

- ✓ les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement. Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.
- ✓ Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes.

Il en résulte dans le tableau I.4, les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter (la vitesse V est exprimée en km/h) :

Tableau I.4 : Valeurs de rayon minimum en fonction de la vitesse

Valeur normale	$0,35 V^2$
Valeur exceptionnelle	$0,25 V^2$
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h	$0,15 V^2$

1.3.1.2.5. Détermination de la longueur minimale de déclivité [16]

Entre deux accélérations verticales brutales, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir le choc et d'éviter les effets conjugués de plusieurs accélérations rapprochées, sources d'oscillations importantes du véhicule.

La valeur de la longueur minimale des déclivités constantes est donc limitée à :

- ❖ valeur minimale normale : $V/2$;
- ❖ valeur minimale exceptionnelle : $V/2,5$.

La longueur minimale des raccordements de déclivité est de 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

I.3.1.3. Profil en travers

I.3.1.3.1. Définition

En conception ferroviaire, le profil en travers d'une voie ferrée est représenté par une coupe perpendiculaire à l'axe de la voie de la surface définie par l'ensemble des points représentatifs de cette surface. Le profil en travers peut se rapporter soit au terrain naturel, soit au projet. En général on représente sur le même document à la fois, le terrain naturel et le projet, ce qui permet de bien percevoir l'intégration du projet dans le milieu naturel (*Figure I.13*).

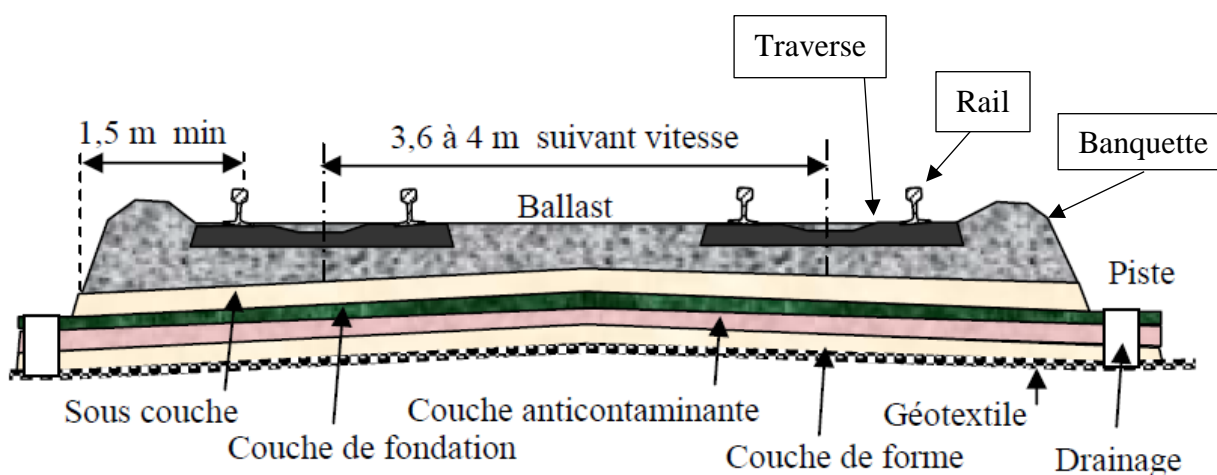


Fig. I.13 : profil en travers courant d'une voie ferrée.

En courbe, la pose de la voie prévoit un dévers pour que la composante des forces soit perpendiculaire au plan de la voie lors d'une circulation à vitesse prévue pour la ligne (*Figure I.14*). Le dévers est limité par le risque de basculement vers l'intérieur lors d'un démarrage de train arrêté en courbe. En cas d'insuffisance de dévers, le moment de force exercé sur la caisse risque de faire basculer le véhicule à l'extérieur. La pendulation des caisses permet d'atteindre une composante perpendiculaire au plancher pour les passagers, en acceptant une insuffisance de dévers pour le véhicule sur le rail. Elle permet d'augmenter la vitesse de circulation en courbe en préservant le confort des voyageurs, sans toutefois approcher les limites de déraillement décrites dans cette section et la suivante [17].

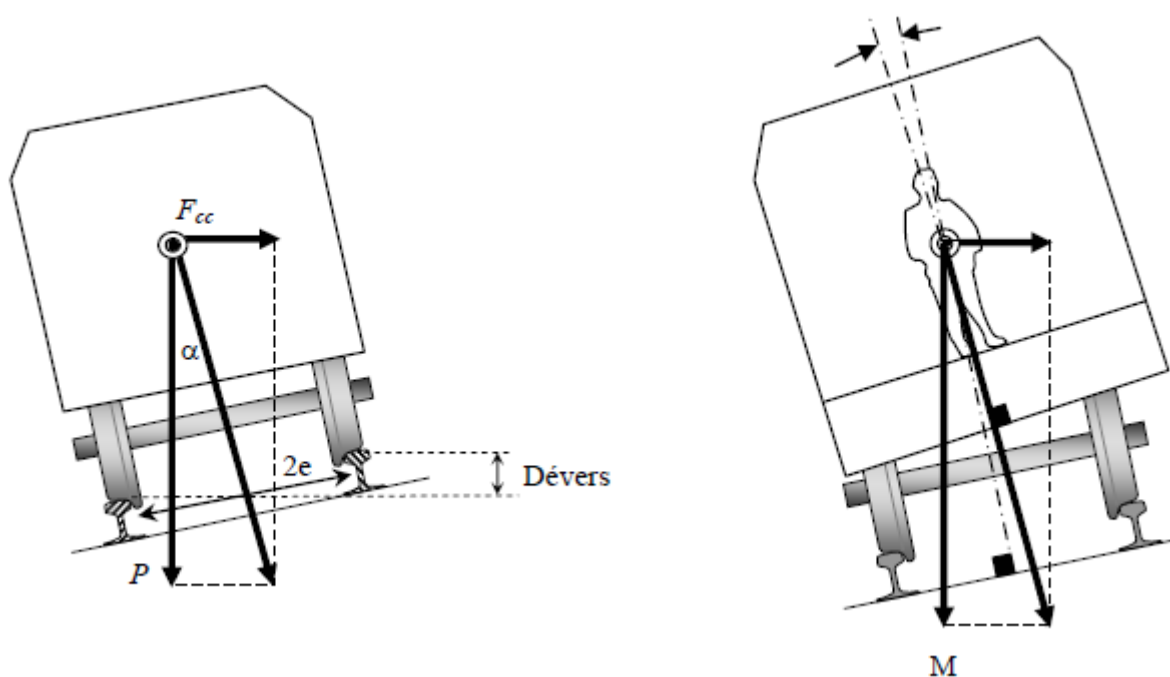


Fig. I.14 : Forces en courbe et dévers.

I.3.1.3.2. Ecartement des rails

L'écartement des rails est la distance séparant le flanc interne des deux files de rails d'une voie ferrée (Figure I.15). L'écartement standard de 1435 mm (soit 4 pieds 8 pouces et demi), définissant la voie « normale », est le plus utilisé à travers le monde (60 % des lignes). On parle de voie large lorsque l'écartement est supérieur et de voie étroite lorsqu'il est inférieur (voie métrique pour l'écartement de 1 m) [18].

Conformément au règlement UIC (union internationale des chemins de fer) l'écartement normal des rails sera comme suit :

- ✓ en alignement 1435 mm, avec une erreur de +0 à +2 mm ;
- ✓ en courbe $80 < R < 150$ m 1434,5 mm, avec une erreur de +0 à +2 mm ;
- ✓ en courbe $R < 80$ m 1430 mm, avec une erreur de +0 à +2 mm.

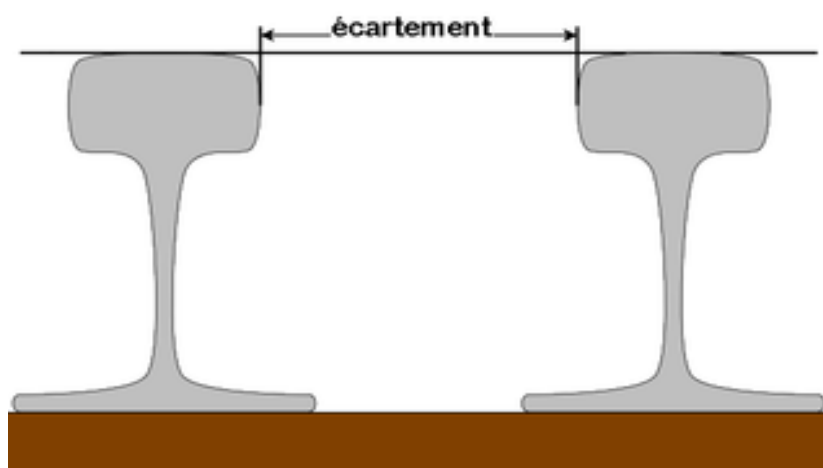


Fig. I.15 : Ecartement des rails.

Le choix de l'écartement des fils de rails est déterminé par [19] :

- ✓ les coûts ;
- ✓ la capacité ;
- ✓ la géographie.

La voie normale : la plus utilisée, permet des vitesses élevées (c'est la voie du TGV et celle des tramways).

La voie métrique : moins coûteuse, ses capacités restent importantes ; elle s'insère très bien dans les paysages.

La voie submétrique : héritière de l'industrie et de l'armée.

Le réseau ferroviaire est composé de voies ferrées de différents écartements, il a donc été conçu des systèmes pour passer d'un type d'écartement à un autre :

- par transfert (quai à quai) des voyageurs ;
- par imbrication des voies ferrées ;
- par des matériels roulants supportant ou adaptés à différents types d'écartement.

I.3.2. Dimensionnement et structure des voies ferrées

I.3.2.1. Infrastructure des voies ferrées

I.3.2.1.1. Généralité (Figure I.16)

Par définition, la couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast).

Leurs rôles principaux sont :

- ◆ l'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rails – Roues ;
- ◆ la répartition des charges provenant des traverses d'une manière presque uniforme sur la plateforme ;
- ◆ La contribution à la stabilité longitudinale et transversale de la voie ferrée ;
- ◆ L'évacuation des eaux de ruissellement par le drainage [20].

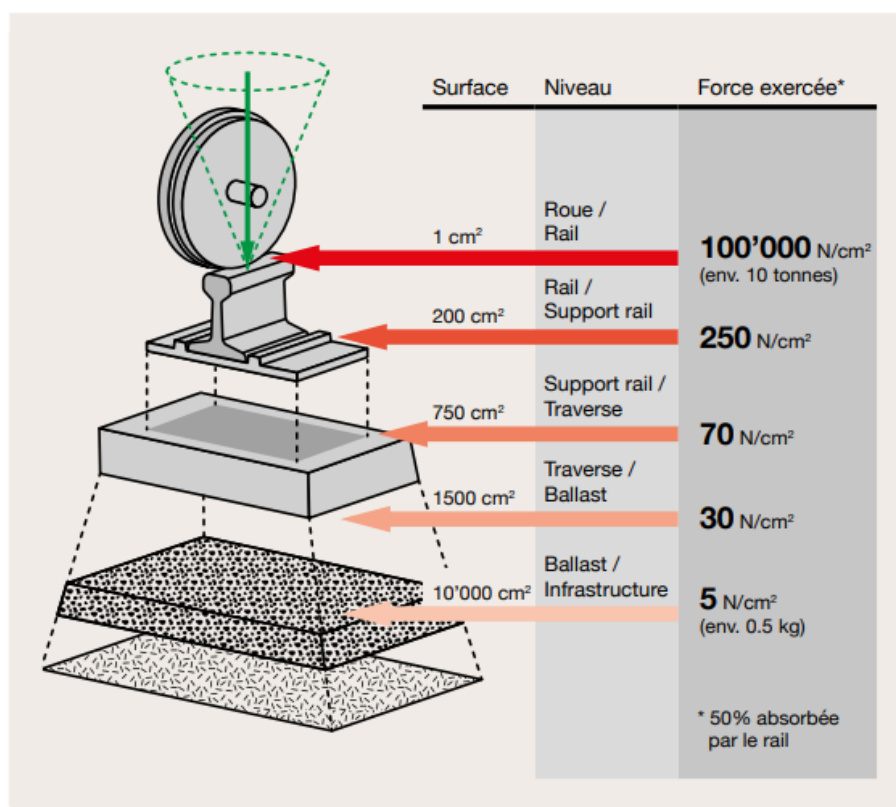


Fig. I.16 : Effet de la superposition des structures d'une voie ferrée.

I.3.2.1.2. Couche de ballast

Le ballast est un granulat utilisé dans la construction de voies ferrées et dont 100 % de la surface des grains est entièrement concassée [20].

- **Rôle du ballast**

- ✓ transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement ;
- ✓ enchâsser les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales, particulièrement importante pour la technique des longs rails soudés (LRS) ;
- ✓ assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielle ;
- ✓ joue le rôle d'un amortisseur de vibration très efficace grâce à sa propriété rhéologique (dissipation de l'énergie de vibration par attrition (contact des éléments)) [20].

- **Matériaux utilisés**

On utilise généralement de la pierre concassée, de granulométrie variant entre 31,5 mm et 50 mm, de type plutonique (roches se forment lors du refroidissement d'un magma en profondeur) granite, diorite, etc. On utilise du gravillon fin (10 mm à 35 mm) pour le nivellement. Les carrières où l'on extrait et transforme ces matériaux sont les ballastières. Il est aussi possible d'utiliser le laitier (produit par les hauts-fourneaux). Les éléments du ballast doivent s'imbriquer, de façon à former une masse compacte, mais perméable. La qualité du ballast est exprimée à partir des essais classiques :

- ✓ essai de la résistance à l'usure (essai Deval ou micro-Deval) ;
- ✓ essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angles) ;
- ✓ essai de la résistance à la compression.

Référence normative : NF EN 13450 Granulats pour ballasts de voies ferrées.

Le ballast utilisé en chemins de fer doit avoir au moins les qualités suivantes :

- ✓ la résistance à la compression simple $R_c \geq 1400 \text{ kg/cm}^2$;
- ✓ coefficient Micro Deval $MDE \leq 15$;
- ✓ coefficient Los Angles sec $LA \leq 24$ [20].

- **Contraintes**

Le ballast subit deux types d'usure :

- ✓ contamination par des matériaux parasites, par exemple de la terre. On procède à des désherbages, mais il est nécessaire de remplacer le ballast régulièrement ;
- ✓ tassement du ballast sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie. Il est alors nécessaire de réinjecter du ballast de faible

granulométrie sous les traverses ; ou bien de réaliser une opération d'entretien à l'aide d'une bourreuse [20].

I.3.2.1.3. Sous couche

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la Plate-forme ; elle peut être mono ou multicouche.

Elle comprend, du haut vers le bas, une couche "sous ballast" en grave propre bien gradué (0/31.5) puis une couche de fondation dans le cas de mauvais sol et enfin, s'il y a lieu une couche anti-contaminatrice complétée par des feuilles de géotextile ou géo-membrane [20].

- ***Rôle du sous couche***

Elle a des rôles multiples :

- ✓ amélioration de la portance et contribue à la meilleure répartition des charges transmises ;
- ✓ contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires ;
- ✓ anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast ;
- ✓ protection contre l'érosion et le gel ;
- ✓ évacuation des eaux de pluies [20].

- ***Exigences technique***

L'épaisseur et la nature de la sous-couche d'assise dépendent des :

- caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme ;
- conditions climatiques du site ;
- caractéristiques hydrogéologique et hydraulique de site.

L'épaisseur de la couche de ballast doit être prise en compte lorsque l'on dimensionne la sous couche [20].

I.3.2.1.4. Plateforme

- ***Définition***

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plateforme est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai. Pour évaluer la qualité de la plateforme, il convient :

- ✓ d'apprécier la qualité de chaque sol composant la plateforme ;

- ✓ d'apprécier la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent [20].

- **Classification des sols pour la plateforme**

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres ci-après :

- la nature géotechnique du sol ; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique ;
- les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ; ces conditions, sont réputées bonnes si :
 - ✚ la couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable) ;
 - ✚ la plateforme n'est pas le siège de percolations (pénétration par l'eau circulant dans le sol (éventuellement polluée) naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives ;
 - ✚ les eaux pluviales sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises. On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon d'autres modalités (voir annexe 1 A1), les quatre classes de **qualité QSi de sols** ci-après :

- ✚ **QS₀ : Sols « impropres »** à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.) ;
- ✚ **QS₁ : Sols « médiocres »** acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants) ;
- ✚ **QS₂ : Sols « moyens »** ;
- ✚ **QS₃ : Bons sols** [20].

- **Classification des plateformes**

La portance d'une plateforme dépend de la :

- ✓ qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai ;
- ✓ qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes suivantes de plateformes en fonction de la qualité de leur portance :

- **P1** : plateforme médiocre ;
- **P2** : plateforme moyenne ;
- **P3** : plateforme bonne.

Les méthodes pour effectuer ce classement sont diverses. Une de ces méthodes illustrée dans le tableau I.5 [20] :

Tableau I.5 : Méthode de classement de la plateforme

Spécifications pour le cœur du remblai ou esplanade naturelle de déblai		Capacité de support nécessaire pour la plateforme	Spécifications pour la couche de forme		
Qualité du matériel	CBR _{min} (a)		Qualité du matériel posé	CBR _{min} (b)	Epaisseur minimale (m)
QS1	2-3	P1	QS1	2-3	--
		P2	QS2	5	0,50
		P2	QS3	10-17	0,35
		P3	QS3	10-17	0,50
QS2	5	P2	QS2	5	--
		P3	QS3	10-17	0,35
QS3	10-17	P3	QS3	10-17	--

Avec :

(a) : le CBR sur échantillon inaltéré lorsqu'il s'agit du terrain naturel, et sur échantillon remoulé et compacté quand il s'agit du cœur du remblai (les échantillons doivent être saturé durant l'essai) ;

(b) : le CBR sur échantillon remoulé et compacté (les échantillons doivent être saturés durant l'essai).

I.3.2.2. Superstructure des voies ferrées

La superstructure est la partie supérieure d'une voie ferrée, elle comprend : les rails, les traverses et les systèmes de fixations et attaches. Parfois, le ballast est considéré comme un élément de la superstructure.

I.3.2.2.1 Rail

- *Définition*

Le rail est une Poutre métallique de répartition des charges de roues dans le sens vertical, transversal et longitudinal et sert pour le guidage et maintien de la stabilité de l'essieu, le contact roue-rail (acier / acier) ayant les avantages de limiter la résistance à l'avancement par un surface réduite de contact et de faire le transfert des charges à la traverse via le système d'attaches. Les rails sont caractérisés par :

- ✓ leur profil ;
- ✓ la nuance d'acier qui les compose [21].

- *Types du rail*

Rail à double champignon :

Le rail à double champignon est caractérisé par une forme symétrique avec champignon supérieur et champignon inférieur. Ce type pouvait être réutilisé par retournement après usure du champignon supérieur, il est fixé sur les travers à l'aide des coussinets en fonte (difficile et couteux) comme montre la figure I.17 [21].

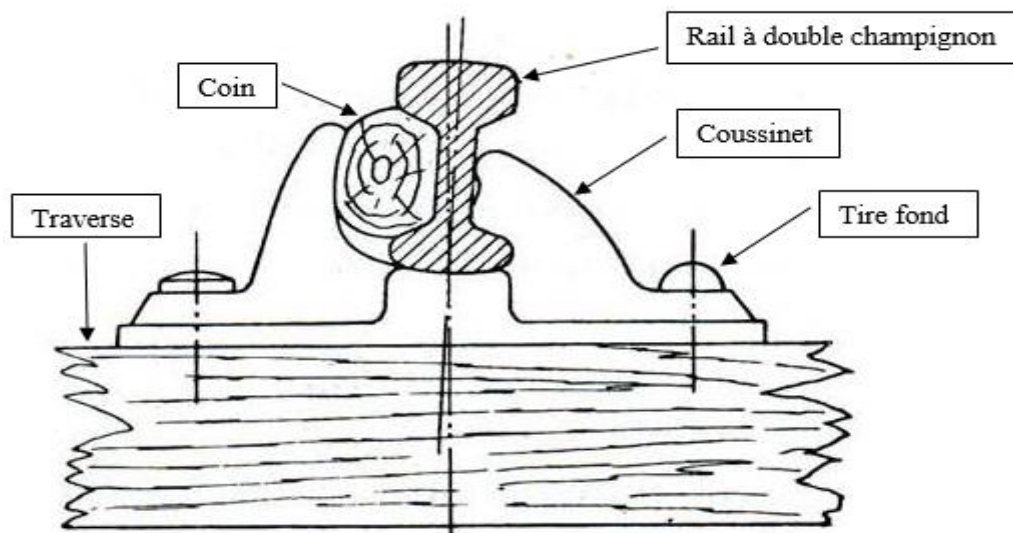


Fig. I.17 : Fixation du rail à double champignon.

Rail Vignole (à patin) :

Ce rail couramment désigné sous le nom de Vignole, se caractérise par une base élargie qui permet une fixation facile sur la traverse. Il évite les nombreux inconvénients du rail à double champignon : fixation dans des coussinets en fonte, encochage du champignon inférieur, difficulté de conservation du dressage. Il est fixé sur les traverses, soit directement, soit par l'intermédiaire de selles métalliques. Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance (*Figure I.18*) [21].

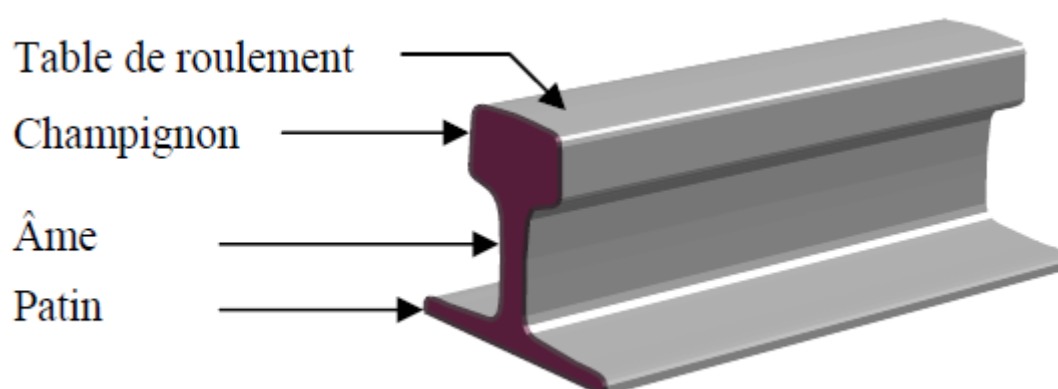


Fig. I.18 : Profil du rail Vignole.

Rail à gorge :

Ce type est généralement utilisé pour le cas des tramways et les métros légers, leur poids propre est de l'environs de 58,96 kg/ml, leur géométrie est schématisée sur la figure I.19 [21].

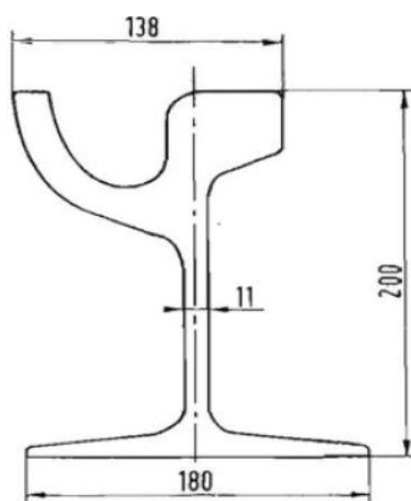


Fig. I.19 : Schéma du rail à gorge.

- **Longueur des rails**

La longueur d'un rail à l'usine peut être de 6 à 12m ou même plus pour faciliter le transport et réduire le poids. Sur chantier et avant la pose des rails, on consiste un coupon des rails soudés pouvant aller de 30 à 120 m. Entre les coupons, on prévoit des joints de dilatation constitués par assemblage métallique (éclissage).

- **Efforts sur les rails**

Les efforts appliqués sur les rails sont :

- efforts longitudinaux dus au freinage du train ;
- efforts transversaux provoqués par l'action des boudins qui se trouvent sur la face intérieure des roues ;
- efforts verticaux dus au poids du train.

1.3.2.2 Traverse

- **Définition**

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails.

- **Rôles principales**

- répartir les charges verticales : augmenter la surface d'appui sur le ballast ;
- ancrer la voie transversalement : contribuer à la stabilité du châssis de voie en charge (efforts des véhicules) ou à vide (stabilité LRS) ;
- contribuer à la position géométrique des rails : écartement et inclinaison notamment ;
- intégrer l'interface avec les systèmes d'attaches.

- **Caractéristiques**

Les traverses doivent avoir :

- un bon comportement mécanique (élasticité et résistance) ;
- une durabilité et adaptation aux conditions climatiques ;
- de bonnes dimensions : longueur, largeur et épaisseur ;

- de bonnes formes qui s'opposent aux déplacements latéraux ;
- une facilité d'attachement des rails ;
- la possibilité d'inclinaison de rail par rapport à la verticale de (1/20).

- **Types de traverse**

On en distingue trois types de traverse :

Traverses en bois :

Le bois est le matériau le plus utilisé et qui remplit mieux les conditions nécessaires mais la rareté et la non disponibilité dans certaines régions ont mené les constructeurs vers l'utilisation d'autres matériaux. Parmi ses avantages :

- ✓ son élasticité ;
- ✓ sa légèreté ;
- ✓ et surtout son isolation électrique.

D'autre part, son principal inconvénient est bien sa faible résistance à l'humidité (*Figure I.20*).



Fig. I.20 : Traverses en bois.

Traverses métalliques :

Ce sont des profilés laminés en forme de U renversé, emboutis aux extrémités pour assurer la résistance latérale de la voie (*Figure I.21*). Parmi ses avantages on cite :

- ✓ la légèreté ;
- ✓ peu d'entretien.

Les traverses métalliques présentent quelques inconvénients comme :

- ✓ difficulté de maintenir la voie ;
- ✓ problème de corrosion ;
- ✓ le bruit.



Fig. I.21 : Traverses métalliques.

Traverses en béton :

Le béton est le matériau qui a concurrencé le bois actuellement (*Figures I.22 et 23*), parmi ses avantages :

- ✓ sa résistance plus élevée ;
- ✓ sa durabilité.

Et parmi ses inconvénients on trouve :

- ✓ Son poids lourds ;
- ✓ Corrosion de l'acier ;
- ✓ Sa fragilité et sa faible résistance aux chocs.

On distingue 2 types de traverses en béton : type monobloc et bi-bloc.



Fig. I.22 : Traverse en béton type bi-bloc.



Fig. I.23 : Traverse en béton type monobloc.

I.3.2.3. Fixation et éclissage

I.3.2.3.1. Fixation

Les rails doivent être fixés aux traverses pour :

- ✓ empêcher le mouvement des rails dans tous les sens (longitudinal, transversal et vertical) ;
- ✓ conserver l'écartement fixe.

Il existe plusieurs systèmes permettant la fixation du rail sur les traverses. Le système de fixation dépend du type de rail et du type de traverse.

✚ Types de fixation

Cas d'une traverse en bois :

Si le rail est de type Vignole on utilise soit :

- ✓ des tirefonds (vis à bois) (*Figure I.24*) ;
- ✓ des crampons (clous spéciaux).

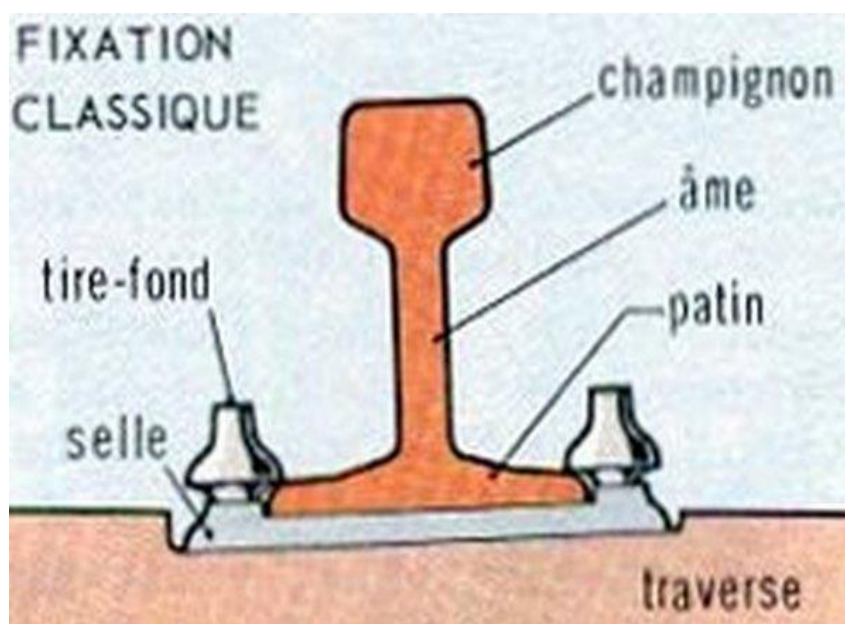


Fig. I.24 : Fixation du rail Vignole sur traverse en bois.

Si le rail est à double champignon (*figure I.17*) la fixation se fait à l'aide des coussinets, un « coin » en bois ou en métal est rentré à force entre l'âme du rail et le coussinet et assure son maintien ainsi que l'absorption des vibrations.

Cas d'une traverse métallique :

On utilise des crapauds fixés par des boulons + écrous (*Figure I.25*).

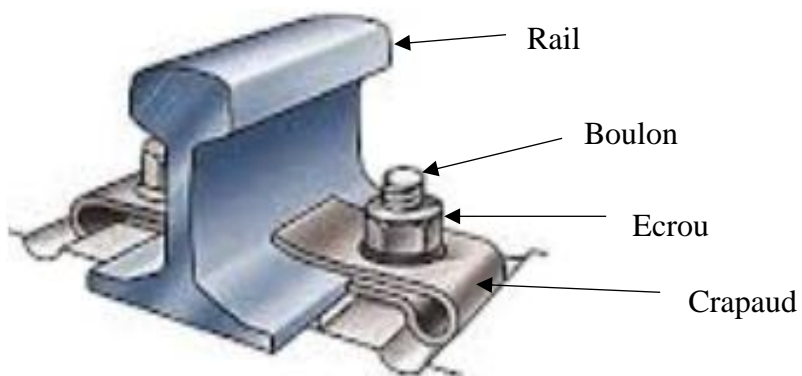


Fig. I.25 : Fixation du rail sur traverse métallique.

Cas d'une traverse en béton :

Les crapauds fixent le rail à l'aide des tirefonds ancrés dans le béton et les écrous de fixation (*Figure I.26*).

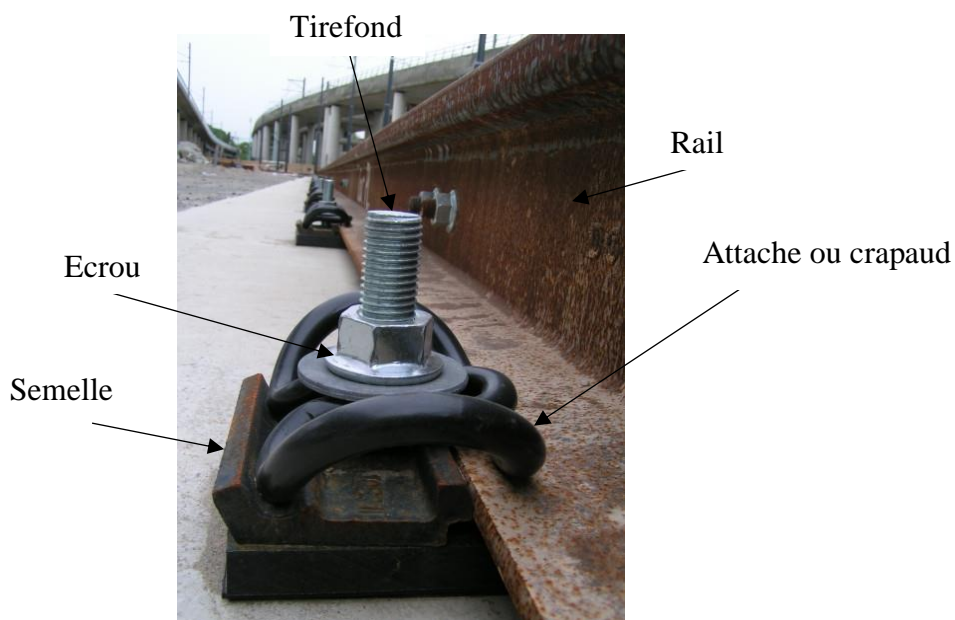


Fig. I.26 : Fixation du rail Vignole sur traverse en béton.

I.3.2.3.2. Eclissage

- ***Définition***

Une éclisse de chemin de fer est une pièce métallique servant à raccorder deux coupons de rails consécutifs d'une voie ferrée, cette opération s'appelle l'éclissage (*Figure I.27*). L'éclissage doit satisfaire le suivant :

- ✓ supporter les charges verticales (poids), transversales (force centrifuge) et longitudinales (freinage ou accélération) ;
- ✓ assurer la régularité et la continuité de la voie ;
- ✓ assurer le libre mouvement longitudinal dû à la dilatation ou le rétrécissement.

- ***Joint de dilatation***

Le joint de dilatation est un vide séparant deux rails consécutifs (éclissés), destiné à absorber les variations de longueur des rails sous l'effet des variations de température sans compromettre l'équilibre de la superstructure assuré par le bon choix de l'éclissage. On doit veiller surtout à fixer une longueur limite des rails, car le joint ne peut guère dépasser 20mm, parce qu'au-delà de 20mm, les roues s'enfoncent trop profondément, le roulement devient dur, les chocs sur l'extrémité du rail deviennent trop importants ce qui peut provoquer à long terme la déformation du rail et des fissures autour des trous d'éclissage. La largeur des joints « e » égale :

$$e = d + s \quad (\text{I.7})$$

Où :

d : dilatation max du rail ;

s : une marge de sécurité qu'on peut prendre entre 1mm et 2mm.

Par ailleurs :

$$d = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (\text{I.8})$$

Où :

α : le coefficient de dilatation [mm/°C.ml] ;

ΔT : la variation de température °C ;

Et L : la longueur de la barre [m].

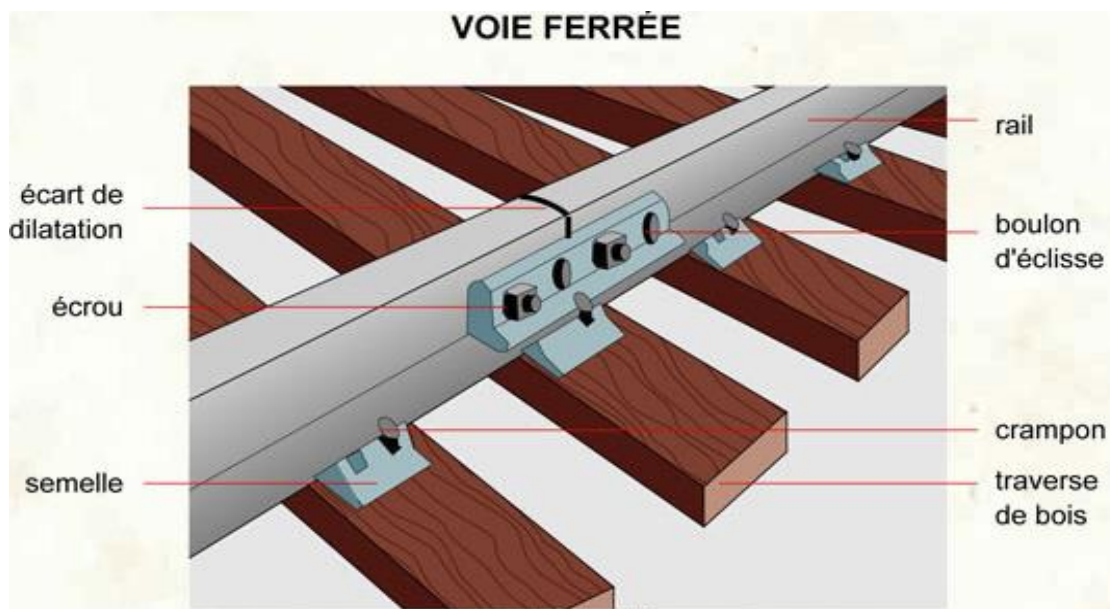


Fig. I.27 : Eclissage et joint de dilatation d'une voie ferrée.

I.3.2.4. Dimensionnement des voies ferrées

I.3.2.4.1. Détermination de l'épaisseur minimale de la couche d'assise

La formule de calcul de l'épaisseur minimal de la couche d'assise est donnée comme suit [22] :

$$e = E+a+b+c+d+f+g \quad (I.9)$$

Avec :

E : paramètre dépendant de la qualité de portance de la plate-forme ;

a, b, c, d, f et g : sont des paramètres qui dépendent de la classe de voie, de l'armement (type de rails), de l'intensité du trafic de la voie et de vitesse du train.

Ces paramètres sont mentionnés dans l'annexe1 (A2, A3 et A4).

I.3.2.4.2. Classification des lignes d'UIC

L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) a établi une classification des lignes en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic.

- ✚ le groupe UIC 1 correspond à des lignes très chargées et, à l'opposé, le groupe UIC 9 correspond à des lignes très faiblement chargées.

Ainsi que les grandes lignes du réseau ferré appartiennent en principe aux :

- ✚ ligne de groupes (UIC 1, UIC 2, UIC 3 et UIC 4) : ce sont des lignes à grande vitesse supportant un trafic important ;
- ✚ ligne de groupes (UIC 5 et UIC 6) : ce sont des lignes à moyenne vitesse supportant un trafic moyen ;
- ✚ les lignes faiblement chargées des groupes (UIC 7, UIC 8 et UIC 9) correspondent en général au réseau capillaire, généralement régional, dont le trafic est faible.

I.4 Conclusion

Les voies de communications terrestres, les routes et les chemins de fer, jouent un rôle principal dans le transport des personnes et de la marchandise. Le réseau routier présentant plusieurs classes de routes (communales, départementales, nationales et autoroutes) assure la circulation des véhicules routiers de différentes catégories. Les chemins de fer qui présentent également plusieurs catégories (voies ferrées principales, voies de desserte, voies de service, voies d'évitement et voies de garage) entraînent vers le bon déroulement et l'organisation du transport ferroviaire (train, métro et tramway). Pour accomplir la mission du transport terrestre, soit par route ou par voie ferrée, il faut une meilleure étude de l'environnement où les voies seront implantées suivie par un bon dimensionnement de la superstructure et l'infrastructure. Enfin, et afin d'aller vers une meilleure exploitation de ces ouvrages, des équipements, tels que les signalisations de la circulation, respecter les délais d'entretien et de contrôle, restent toujours une étape complémentaire à la réalisation des projets de routes et de chemins de fer.

CHAPITRE II :

Etude et aménagement des

croisements « route – chemin de fer »

Chapitre II : Etude et aménagement des croisements

« Route – chemin de fer »

II.1. Introduction

Une intersection routière, ferroviaire ou intersection d'une route avec un chemin de fer est définie comme un lieu de jonction ou de croisement à niveau de deux ou plusieurs voies de circulation terrestre, appelé passage à niveau. Le terme « passage à niveau » désigne tout croisement à niveau d'une route et d'une voie de chemin de fer ou de tramway à plate-forme indépendante. Le fonctionnement d'un passage à niveau (PN) dépend d'un ensemble d'équipements qui permettent la détection de l'approche d'un train, l'avertissement des automobilistes par sonnerie, signalisations et les feux clignotants et la commande de la barrière, afin d'assurer le passage du matériel roulant ferroviaire et les automobiles en toute sécurité et confort.

II.2. Généralités sur les passages à niveaux

Dans cette partie d'étude, nous allons voir les différents types de passage à niveau existants et les risques qu'ils présentent, tout en essayant de donner les méthodes les plus utilisées pour la réduction de ces risques.

II.2.1. Types de passage à niveau

On distingue plusieurs types de passages à niveau [23] :

- selon qu'ils sont gardés (par des gardes-barrière) ou non gardés ;
- selon qu'ils sont munis, ou non, de feux et de barrières, les PN gardés sont toujours équipés de barrières ;
- selon qu'ils sont publics ou privés ;
- selon qu'ils sont ouverts aux véhicules automobiles ou seulement aux piétons.

A titre d'exemple, sur le réseau ferré français, on trouve des passages à niveau à Signalisation Automatique Lumineuse et Sonore (en abrégé, PN à SAL), des exemples sur les passages à niveau « route – chemin de fer » sont joints en annexe 2 A.

Ils se divisent en plusieurs types :

➤ **PN à SAL à feux seuls : SAL 0**

Ce type de PN à SAL ne comporte pas de barrières. Il est donc peu utilisé, uniquement sur les voies routières ayant un trafic extrêmement faible. Sa signalisation de position se compose de deux ou quatre feux routiers rouges clignotants appelés R24 et d'un signal sonore.

➤ **PN à SAL à deux demi-barrières : SAL 2**

Ce type de PN à SAL est le plus répandu. Il est employé sur tous les types de routes. Sa signalisation de position se compose de feux routiers rouges clignotants (deux par sens de circulation routière) appelés R24, d'un signal sonore et de deux demi-barrières barrant chacune la moitié droite de la chaussée.

➤ **PN à SAL à deux barrières : SAL 2B**

Le PN à SAL 2B contrairement au SAL 2, est muni de deux barrières, barrant entièrement la chaussée.

➤ **PN à SAL à quatre demi-barrières : SAL 4**

Un passage à niveau automatique peut être équipé de quatre demi-barrières (SAL 4), dans les cas particuliers suivants :

- ✓ passages à niveaux situés à proximité d'un point d'arrêt où de nombreux trains s'arrêtent ;
- ✓ fermetures régulières et prolongées d'un PN sans passage immédiat d'un train ;
- ✓ passages à niveaux situés à proximité d'un centre scolaire ou sportif. Il peut générer un risque d'enfermement de l'automobiliste entre les barrières et, statistiquement, il y a plus d'accidents sur ce type de passages à niveaux ;

Sa signalisation de position se compose de :

- feux routiers rouges clignotants (deux par sens de circulation routière) appelés R24 ;
- un signal sonore ;
- quatre demi-barrières.

Avec :

PN : Passage à Niveau ;

SAL : Signalisation Automatique Lumineuse.

II.2.2. Risques des passages à niveaux

Le risque que présente un passage à niveau est fonction du comportement de l'automobiliste, de la configuration des lieux, de l'intensité de la circulation sur la voie ferroviaire et sur la voie routière. L'équipement du passage à niveau est réalisé en prenant en compte le « moment de circulation » (produit du nombre de trains par le nombre de véhicules routiers empruntant en moyenne par jour le passage à niveau). Malgré les feux et les barrières, le risque d'une collision ne peut être totalement évité, une voiture pouvant par exemple se trouver bloquée sur les voies ou forcer le passage. En général, compte tenu du rapport de masses entre un convoi ferroviaire et un véhicule routier, le risque est essentiellement du côté routier. Cependant, des conséquences graves pour les circulations ferroviaires peuvent advenir en cas de collision avec un poids lourd, surtout si celui-ci est chargé de matières dangereuses ou inflammables.

La quasi-totalité des accidents de passage à niveau est imputable au non-respect de la signalisation routière. La conception des installations automatiques des passages à niveau leur confère une fiabilité très rarement mise en cause dans les accidents. Par exemple, si le moteur subit une avarie, les barrières se ferment par l'effet de la gravité.

Les accidents de personnes peuvent être attribués à des suicides ou à des causes accidentelles. L'arrêt sur un passage à niveau entraîne la plupart du temps la mort des personnes arrêtées, en général sans menacer la vie des passagers du train. Toutefois, lorsque des personnes à bord du train sont blessées, les coûts peuvent être pris en charge par l'assurance du véhicule motorisé qui est à l'origine de l'accident [23].

Il existe plusieurs causes des accidents, parmi lesquels, on cite :

- ✚ problèmes de visibilité ;
- ✚ perturbation de l'attention ;
- ✚ surpris par le déclenchement de la fermeture du PN ;
- ✚ surprise aggravée par l'alcoolisation ;
- ✚ surprise de l'arrivée d'un train et le non-respect d'un arrêt ;

- ✚ la traversée de l'automobile après passage d'un train, sans attendre la réouverture des barrières ;
- ✚ immobilisation sur le PN ;
- ✚ chute de deux-roues à l'occasion du franchissement de la voie ferrée ;
- ✚ pertes de contrôle ;
- ✚ dysfonctionnement des installations.

II.2.3. Procédures nécessaires pour limiter le risque d'accidents aux PN [24]

Il existe différentes dispositions qu'on peut prendre afin de limiter les accidents causés par les PN ; on peut citer :

1. supprimer les PN accidentogènes dans la mesure du possible et des financements accordés (reporter la circulation sur d'autres voies routières, créer des passages supérieures ou inférieurs) ;
2. rendre la signalisation des PN plus visible (feux avancés ou plus lumineux) ;
3. profiter d'une rénovation des installations ou de la construction d'une installation pour supprimer un PN ou éviter d'en créer un ;
4. mettre en place des dispositifs de détection d'obstacles qui permettent l'arrêt du train avant le PN ;
5. rappeler aux automobilistes les règles imposées par le code de la route (campagnes de prévention). Son application rigoureuse permettrait d'éviter plus de 90 % des accidents. Rappeler qu'en cas de problème sur un PN (véhicule bloqué à l'approche ou non d'un train).

II.2.4. Suppression des passages à niveaux

Pour réduire les risques de collision, on cherche de plus en plus à éliminer les passages à niveau, cette opération peut prendre plusieurs années car une suppression est aboutie grâce à une concertation locale avec le gestionnaire routier, les collectivités, les usagers et les riverains.

Il existe trois façons de supprimer un passage à niveau :

- en mettant la route en impasse ;
- en déviant la route vers un ouvrage de franchissement déjà existant ;
- en créant un franchissement dénivelé sous ou par-dessus les voies.

II.2.4.1. La mise en impasse

Cette solution est uniquement envisageable pour les passages à niveau piétons ou routiers très faiblement empruntés.

II.2.4.2. La déviation vers un ouvrage existant

De nombreux ouvrages franchissent les voies du réseau ferré national. Une solution simple peut consister à dévier la route du passage à niveau vers un de ces ouvrages. Très souvent, on construit alors une route qui longe de part et d'autre la voie de chemin de fer pour rejoindre l'ouvrage à quelques centaines de mètres.

II.2.4.3. La création d'un ouvrage dénivelé

Il existe deux moyens de franchir en dénivelé les voies ferrées : soit par un ouvrage supérieur (pont-route), soit par un ouvrage inférieur (pont-rail).

La solution du pont-route présente quelques contraintes importantes qui sont liées à la hauteur à laquelle doit s'élever l'ouvrage, à savoir au-delà de 6 mètres, par-dessus la caténaire (conducteur qui alimente en électricité les engins ferroviaires).

La solution du pont-rail souvent retenue en site urbain peut se décliner sous différents gabarits routiers selon qu'il soit nécessaire de rétablir tout ou partie des circulations (destiné uniquement aux automobiles ou tous véhicules).

Des exemples sur les passages dénivelés sont joints en annexe 2 A.

II.3. Généralités sur l'aménagement des carrefours routiers

II.3.1. Introduction

L'intersection de plusieurs voies routières peut être une source grave d'insécurité. L'aménagement des carrefours a pour but de réduire cette insécurité. Un carrefour est un lieu d'intersection de deux ou plusieurs routes au même niveau (ou de niveau différent). Le bon fonctionnement d'une route dépend essentiellement de la performance des carrefours car ceux-ci présentent des lieux d'échanges et de conflits où la fluidité de la circulation et la sécurité du trafic sont indispensables. Les carrefours représentent une partie importante d'une route, la fluidité, la sécurité et l'intégration aux sites sont les buts recherchés, les règles essentielles de conception sont : la lisibilité, la visibilité, la capacité, la sécurité et enfin l'esthétique [25].

II.3.2. Les règles essentielles pour concevoir un carrefour

- ❖ il doit être lisible et compréhensif en approche et donner la vraie image de ce qu'il est aux usagers ;
- ❖ il doit être le plus compact possible afin de limiter la dispersion des points de conflits ;
- ❖ il doit assurer une visibilité réciproque satisfaisante entre tous les usagers pouvant entrer en conflit ;
- ❖ il doit être simple et réduire les manœuvres de conduite pour le conducteur ;
- ❖ il doit être facilement lisible en interne et ne pas introduire d'hésitation dans le choix de la manœuvre ;
- ❖ il doit permettre une modération de la vitesse de tous les usagers ;
- ❖ il doit prendre en compte l'ensemble des usagers (passages piétons, avancées de trottoirs, îlots refuges, sas vélos, etc.) ;
- ❖ il doit, avant tout, valoriser le critère essentiel de la sécurité, avant même celui de la fluidité [26].

II.3.3. Les principaux types des carrefours

On distingue plusieurs types de carrefour comme montré sur la figure II.1

II.3.3.1. Carrefours plans [25]

- **Carrefour à trois branches « en T »**
C'est un carrefour plan ordinaire à trois branches secondaires. Le courant rectiligne domine, mais les autres courants peuvent être aussi d'importance semblable.
- **Carrefour à trois branches « en Y »**
C'est un carrefour plan ordinaire à trois branches, comportant une branche secondaire uniquement et dont l'incidence avec l'axe principal est oblique (s'éloignant de la normal de plus de 20°).
- **Carrefour à quatre branches « en croix »**
C'est un carrefour plan à quatre branches deux à deux alignées (ou quasi).

- **Carrefour type giratoire ou carrefour giratoire**

C'est un carrefour plan comportant un grand îlot central (normalement circulaire) matériellement infranchissable, ceinturé par une chaussée mise à sens unique par la droite (sens contraire des aiguilles d'une montre), sur laquelle débouchent différentes routes et annoncé par une signalisation spécifique. Les carrefours giratoires sont utiles aux intersections de deux ou plusieurs routes également chargées, lorsque le nombre des véhicules virant à gauche est important.

II.3.3.2. Carrefours dénivelés

Un carrefour dénivelé est un ensemble de deux ou plusieurs routes qui se croisent sur des niveaux séparés (en hauteur) par le biais d'un ou de plusieurs ouvrages d'art. Cela permet à la circulation de chacune de ces routes de couper la circulation de toutes les autres routes sans conflits.

- **Echangeur autoroutier**

Un échangeur autoroutier est un système de bretelles routières permettant de basculer, soit d'un type de réseau routier à un autre (d'une route ordinaire ou une voie rapide à une autoroute), soit de passer d'une autoroute à une autre. Les échangeurs se trouvent donc aux intersections entre réseau routier de types différents et permettent ainsi d'éviter tout croisement à niveau pour limiter le ralentissement des voies concernées. Un échangeur autoroutier compte au minimum un pont. Dans les cas les plus complexes, les chaussées peuvent s'étager sur quatre niveaux différents (échangeur dit « *four-stack* ») [27].

- **Diffuseur**

Les sociétés d'autoroute utilisent le terme « diffuseur » pour désigner les échangeurs entre une autoroute et un autre type de route. Un diffuseur est un carrefour dénivelé entre une autoroute et le réseau routier. Il peut être complet (s'il permet d'entrer et de sortir de l'autoroute dans les deux sens) ou incomplet. Un demi-diffuseur comporte une entrée et une sortie en sens inverse.

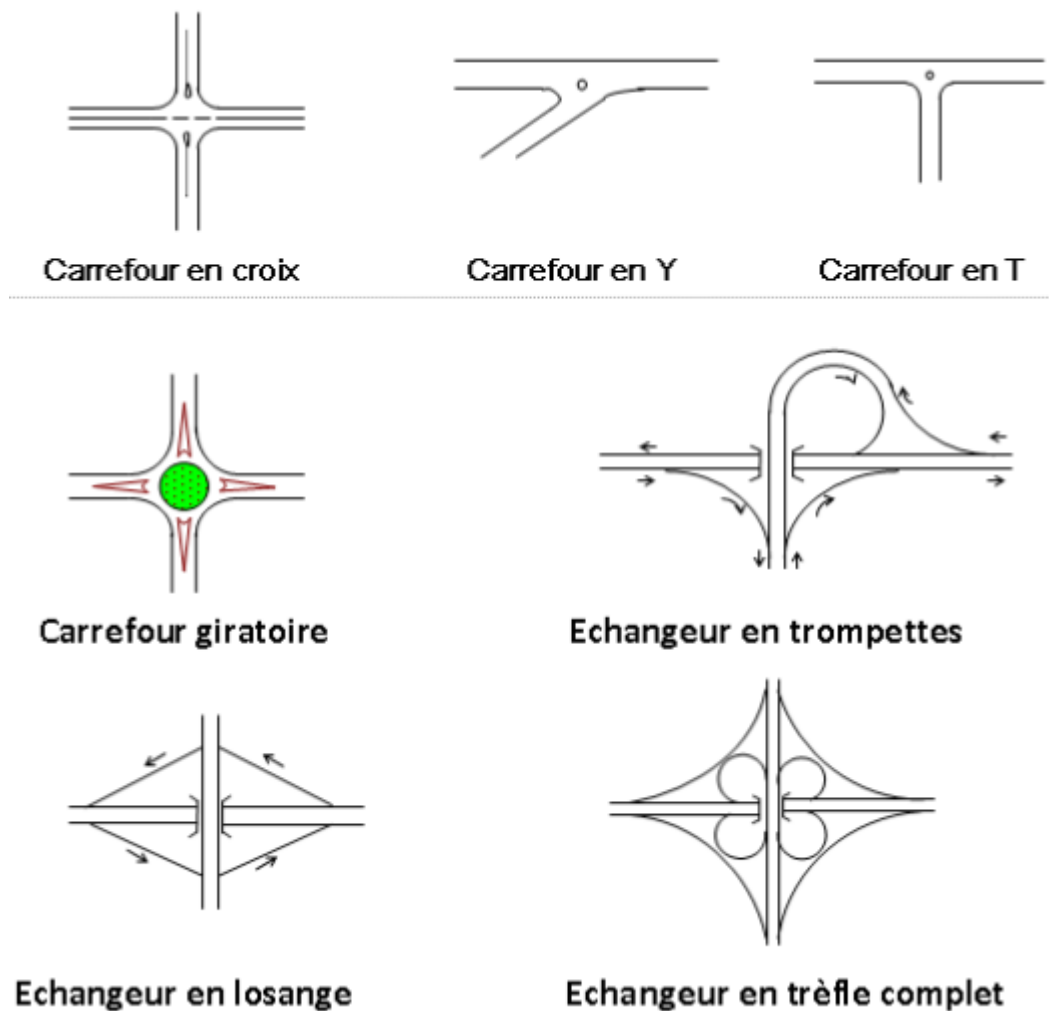


Fig. II.1 : Différents types de carrefours.

Des exemples sur les carrefours routiers sont joints en annexe 2 A.

II.3.4. Les équipements devant être présents dans un carrefour

Pour plus de sécurité, de confort et de débit, un carrefour doit être équipé par :

- une signalisation routière régissant les interdictions et les niveaux de priorité ; elle doit être systématiquement accompagnée du marquage horizontal correspondant ;
- une signalisation directionnelle dont l'utilisateur a besoin pour aborder et quitter le point d'échange ;
- un éclairage bien adapté au milieu et ne pas s'inscrire en obstacle ;
- l'aménagement et le mobilier urbain ne doivent pas constituer des obstacles trop proches des circulations : poteaux, pylônes, supports divers (non fusibles en cas de choc),

- maçonnerie et mobilier urbain, conteneurs, etc. On étend également le mot obstacle à toute contrainte aux cheminements des piétons et des cyclistes ;
- e- il faut assurer la sécurité et la continuité des traversées piétonnes. Les traversées auront de préférence une longueur maximale de 8 m (12 m en carrefour à feux) ou seront traitées, par exemple, en traversées en deux temps ou plus, avec des îlots intermédiaires suffisamment dimensionnés (1,5 m minimum recommandé) ;
notons que les traversées piétonnes doivent présenter un abaissement du trottoir au contact de la chaussée et être équipées de bandes podotactiles (les bateaux et leur traitement font l'objet d'une norme). Plus généralement, les règles d'aménagement permettant des conditions de cheminement optimales pour les personnes handicapées et les Personnes à Mobilité Réduite devront être respectées ;
 - f- les carrefours plans peuvent, dans certains cas, être combinés à des plateaux [26].

II.4. Généralités sur l'aménagement des croisements « Routes – voie ferrée »

II.4.1. Introduction

Les croisements entre la route et la voie ferrée peuvent être à même niveau ce qu'on appelle les « passages à niveau » qui sont défavorable, malgré leur grand nombre, à cause des risques de collision entre le matériel roulant ferroviaire et les véhicules routiers. En général, les passages à niveau sont à éliminer et les remplacer par des passages à niveaux différents appelés passages dénivelés.

II.4.2. Types des passages dénivelés

II.4.2.1 Passage supérieur

On appelle un passage supérieur un ouvrage de franchissement à un niveau supérieur d'une route ou d'une voie ferrée (ou d'un canal) en prenant ces éléments comme référence. Les passages supérieurs ou inférieurs ont pour but de supprimer les passages à niveau. Le passage supérieur est réalisé par la construction d'un pont qui franchit la voie ferrée nommé pont route ou pont routier qui désigne un ouvrage portant une route. Les ponts autoroutiers désignant un ouvrage portant une autoroute, sont rangés dans la famille du pont-route.

II.4.2.2 Passage inférieur

Le passage inférieur signifie que, en cas de croisement entre une route et un chemin de fer, la route passe au-dessous de la ligne ferroviaire. Le passage de la route au-dessous de la voie ferrée se fait généralement par la construction d'un ouvrage qui supporte la ligne ferroviaire appelé pont rail ou pont ferroviaire.

II.4.3. Types de passage supérieur et inférieur

Les passages supérieurs et inférieurs sont des ponts types et qui sont des structures simples, faciles à entretenir, pouvant être réalisées par des entreprises d'importance moyenne.

SETRA* classe les ponts types en 12 familles d'ouvrages [28] :

(* SETRA : un constructeur allemand d'autocars et d'autobus ; entreprise fondée en 1951. « SETRA » vient du mot allemand « *Selbsttragend* » (autoportant).)

- les PI-CF et PI-PO : Passage Inférieur en Cadre Fermé ; Passage Inférieur en Portique Ouvert ;
- les POD : Portique Ouvert Double ;
- les PSI-DA et PSI-DP : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armée ; Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Précontrainte.

Les autres ponts types :

- PSI-DN : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Nervurée ;
- PSI-BA : Passage Supérieur ou Inférieur à Poutres en Béton Armé ;
- PR-AD : Poutres Précontraintes par Adhérence ;
- VI-PP : Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Précontraintes ;
- PSI-OM : Passage Supérieur ou Inférieur à Ossature Mixte ;
- PSI-DE : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Elégie ;
- PS-BQ : Passage Supérieur à Béquilles.

Les ponts en arc ou à voûte peuvent être aussi un ouvrage de passage supérieur ou inférieur.

Les schémas des différents types de ponts sont joints en annexe 2 A.

II.4.4. Critères de choix de type de pont

Le type de pont à construire est choisi selon plusieurs critères, on cite :

- *la longueur du pont*

La longueur d'un pont est une grandeur qui permet de caractériser les dimensions d'un pont, au même titre que sa largeur ou sa portée. Cette longueur est définie conventionnellement selon les types d'ouvrages [29]. On cite par la suite les longueurs maximales selon le type de pont :

- ✓ **Pont cadre et portique** : l'ouverture maximale peut aller jusqu'à 20m ;
- ✓ **Pont-dalle** : pour franchir des brèches allant de 15 à 60m d'ouverture ;
- ✓ **Pont à poutre en béton armé** : la longueur maximale et économique d'une poutre en béton armé est limitée à 25m.
- ✓ **Pont construit en béton précontraint** : les poutres en béton précontraint ont une longueur minimale de 30 à 40m. les dalles nervurées en béton précontraint peut aller jusqu'à 60m de portée. Les ponts-caissons construits en encorbellement permettant d'atteindre une portée de l'ordre de 130 à 140m et parfois une portée principale de 200m.

- *L'obstacle franchi*

L'obstacle à franchir peut être une rivière, un fleuve, une forêt, une dépression, un ouvrage d'art, une voie ferrée, une route ou une autoroute. Le choix du pont à construire dépend de la hauteur et la longueur de l'obstacle.

- *La nature du terrain*

Les caractéristiques géotechniques du sol de fondation interviennent dans le choix de l'implantation des appuis et de la répartition des travées. Elles contribuent principalement au choix du type de fondations (superficielles ou profondes). Le type de fondation le plus simple est bien entendu la fondation superficielle lorsque le sol de bonne portance se trouve à une faible profondeur ; lorsque le bon sol est profond, la fondation serait sur pieux [28].

- *Le coût de construction*

Le coût de construction doit être raisonnable pour un type de pont choisi, tout en assurant la qualité de mise en œuvre de l'ouvrage et en respectant les délais de réalisation.

II.5. Conclusion

Les croisements à niveau dits « passages à niveau » présentent un risque permanent à cause de probabilité de collision entre les véhicules routiers s'il s'agit d'une intersection routière. Le danger est plus important quand il s'agit de croisement à niveau entre une route et une voie ferrée à cause du gabarit et de la vitesse des trains. Les collisions entre les trains et les véhicules routiers restent le cas le plus grave. Pour cette raison-là, il est recommandé de supprimer ces passages à niveau et de créer des passages dénivelés (pont routier, pont rail..etc.) afin de sécuriser la circulation sur les deux voies de communication d'une part, et d'améliorer le confort d'autre part. Vu l'importance de revoir les passages à niveau, notamment pour les intersections « routes – voies ferrés » et de les convertir en passages dénivelés, le présent chapitre s'est concentré particulièrement sur l'étude et l'aménagement de ces types de croisements.

CHAPITRE III :
**Présentation générale du projet
d'étude**

Chapitre III : Présentation générale du projet d'étude

III.1. Introduction

La route nationale N°1 (RN 1 ou N 1) en Algérie est un axe nord-sud de 2 335 km de longueur qui s'étend entre Alger et la frontière algéro-nigérienne au niveau d'In Guezzam. Il s'agit de la plus longue des trois grandes nationales verticales qui traversent le pays, à savoir la RN3 et RN6. Le premier tronçon entre Alger et Chiffa (Blida) de 47 km est une autoroute dont une partie est traversée par l'autoroute Est-Ouest. La partie suivante, entre Chiffa et Laghouat qui a une longueur d'environ 400 km, est en cours d'aménagement pour devenir à caractère autoroutier [30].

Par ailleurs, le réseau des chemins de fer algérien, est aujourd'hui le réseau le plus moderne en Afrique. Il a fait son apparition à la fin du XIX^e siècle. L'ambition actuelle du pouvoir public est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Selon statistiques effectuées en 2014, ce réseau s'étend sur une longueur de 4 576 km [31].

Par conséquent et comme pour la majorité des types de routes, la RN1 peut se croiser avec une ligne ferroviaire dans certains points précis du tracé. L'un des probables croisements de cette route avec le réseau ferroviaire fait donc l'objet de la présente étude.

III.2. Présentation du projet

III.2.1. Contexte générale

Dans le cadre du développement et de l'amélioration de l'état du transport terrestre en Algérie, certaines routes et lignes ferroviaires ont déjà été construites et d'autres sont en cours de réalisation. Il est à noter que parfois les intersections « *route-chemin de fer* » sont inévitables et que les passages à niveaux constituent un vrai problème, aussi bien pour la circulation des véhicules que pour la circulation des trains.

Comme partout dans le monde, en Algérie, les passages à niveau « *route-chemin de fer* » sont en cours de suppression progressives pour les anciens projets. Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage neuf, on a toujours tendance à prévoir plus de passages dénivelés que de passages à niveau. C'est dans ce contexte qu'entre le présent projet qui a pour principal objectif : l'étude et de l'aménagement d'un croisement « *route-chemin de fer* » qui est prévu au niveau de la RN 1 dans la wilaya de Laghouat.

III.2.2. But de l'étude

Le but principal de l'étude du présent projet est de trouver une solution technique ayant pour but d'éviter le croisement à niveau de la route nationale 1 (RN1) avec la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat. Pour ceci, une étude technique d'un tronçon de chacune des deux voies au niveau de leur intersection, s'avère nécessaire. Par cette étude, on détermine les paramètres géométriques (tracé en plan, profil en long et profil en travers) tout en effectuant le dimensionnement des deux voies, la route et le chemin de fer. Puis, on passe au choix de l'ouvrage à réaliser pour permettre le passage supérieur de la route. Le passage supérieur de la RN1 au-dessus de la voie ferrée permettra de :

- éliminer les risques provoqués par le croisement à niveau ;
- faciliter la circulation et éviter l'encombrement routier ;
- éviter le retard des trains ;
- donner un aspect esthétique à l'endroit.

III.2.3. Description du projet

Le projet porte sur un rétablissement routier de la RN1 sur un pont-route pour franchir la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat. L'ouvrage se situe à 10km, environ, de l'entrée nord de la ville de Laghouat, la voie ferrée se croise au niveau du point kilométrique 95.950m (où Djelfa point de départ 0.00km) avec la RN1. La RN1 va subir un dédoublement de voies et va de se convertir en une autoroute de 3x3.5 voies séparées par un terre-plein central. La voie ferrée franchie comporte également 2 voies. Le pont à construire est biais et fait un angle de 50g avec l'axe de la RN1.

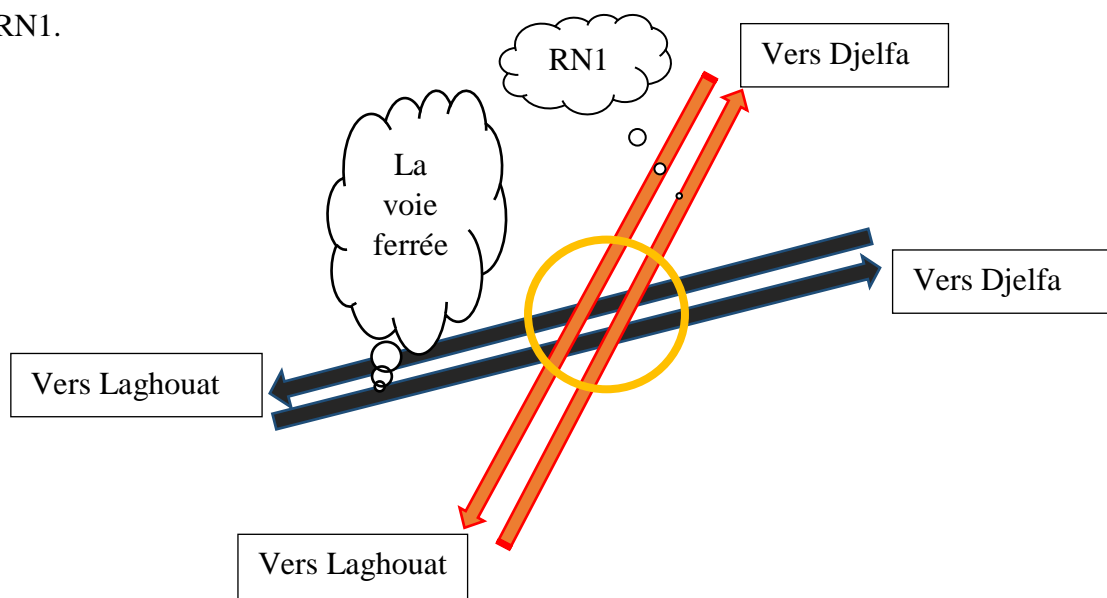


Fig. III.1 (a)



Fig. III.1 (b)

Fig. III.1 : Vue en plan du site du projet (source : Google Earth).

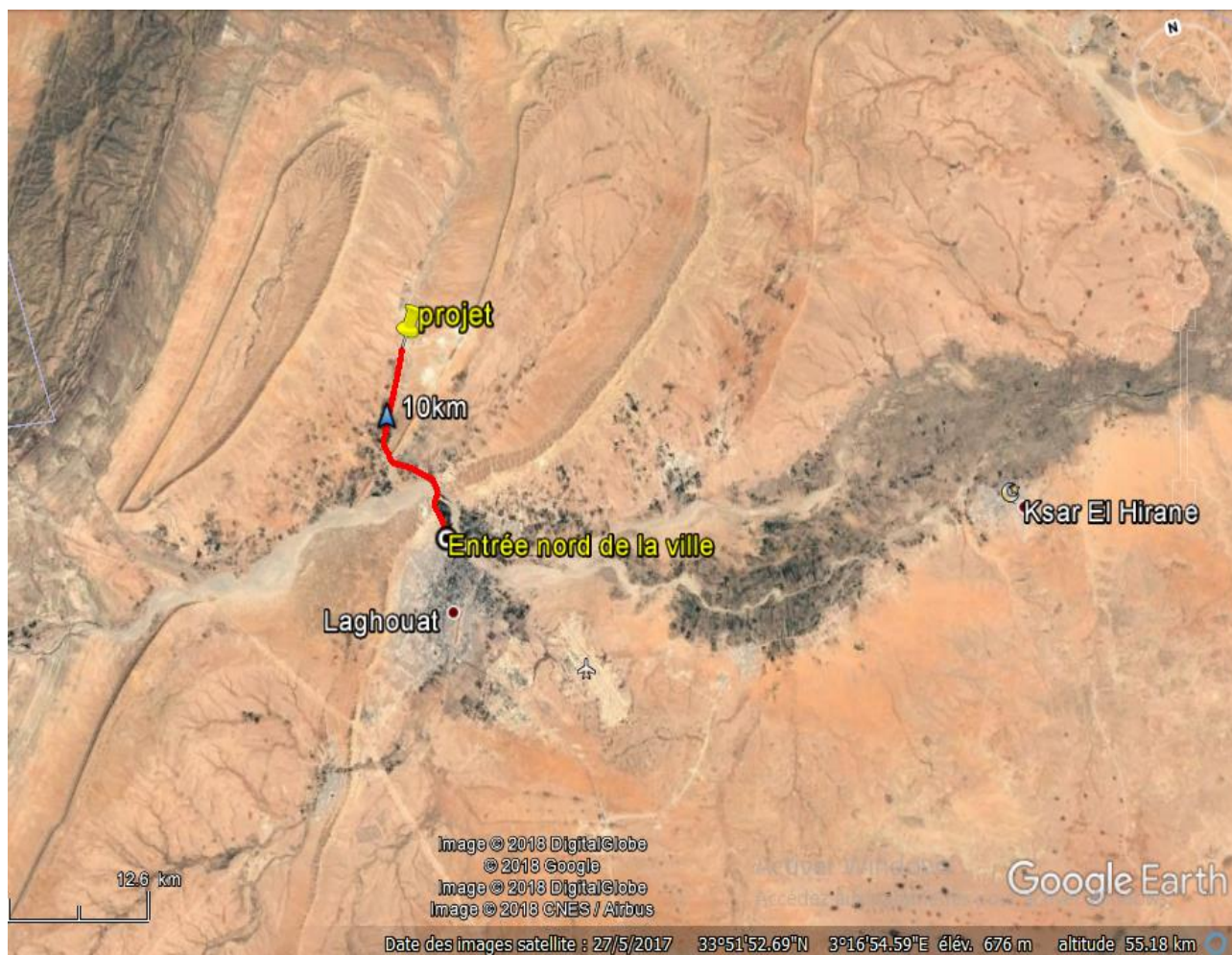


Fig. III.2 : Plan de situation du projet d'étude.

III.3. Présentation des données d'étude nécessaires

III.3.1. Données géotechniques

La géotechnique est l'ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur. Elle englobe l'étude des propriétés mécaniques et physico-chimiques des sols et de l'interaction entre les terrains et les ouvrages environnants d'une part, l'ouvrage objet de la prestation du fait de sa réalisation et/ou de son exploitation d'autre part. La géotechnique s'appuie principalement sur deux sciences :

- ✓ la géologie qui retrace l'histoire de la terre, précise la nature et la structure des matériaux et leur évolution dans le temps ;
- ✓ la mécanique des sols et des roches qui modélise leur comportement en tant que déformabilité et résistance des matériaux [32].

Dans le cadre de notre projet, deux études géotechniques ont été réalisées : étude géotechnique relative à la construction de l'ouvrage d'art (passage supérieur de la route) et l'étude géotechnique relative au tracé de la nouvelle ligne ferroviaire.

III.3.1.1. Données géotechniques relatives à l'ouvrage d'art

En effet, l'étude géotechnique a été réalisée au Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction LNHC unité OUED SMAR à ALGER, mais c'est l'entreprise de réalisation COSIDER OUVRAGE D'ART (antenne Laghouat) qui a mis à notre disposition les données d'études nécessaires.

III.3.1.1.1. Sismicité

Du point de vue sismicité, l'ouvrage projeté est situé dans une région classée comme « **zone I** » ; cette zone, selon le RPA99 - version 2003, correspond à une faible activité sismique.

III.3.1.1.2. Campagne d'investigation sur le site

Une large campagne d'investigation in-situ a été faite pour la reconnaissance de différents sols destinés l'implantation de 06 ouvrages d'art appartenant à la nouvelle ligne ferroviaire. Le programme suivi lors de cette investigation est le suivant ;

- dix (10) sondages de carottés de 15ml ;
- huit (8) sondages pressiométriques de 15ml.

III.3.1.1.3. Lithologie

Les essais de sondages carottés ont mis en évidence, en deux sections, la lithologie du sol support pour notre ouvrage ; les résultats ainsi obtenus sont présentés dans le tableau III.1 et 2.

Tableau III.1 : Coupe lithologique en section01

Profondeur (m)	Coupe lithologique
0-0.5	Terre végétale
0.5-4	Gravier peu cimenté avec plusieurs passages de grès altéré
4-9	Sable fin à moyen beige
9-15	Sable fin beige

Tableau III.2 : Coupe lithologique en section02

Profondeur (m)	Coupe lithologique
0-0.7	Terre végétale
0.7-3.5	Gravier peu cimenté avec plusieurs passages de grès altéré
3.5-8	Sable fin à moyen beige
8-15	Sable fin beige

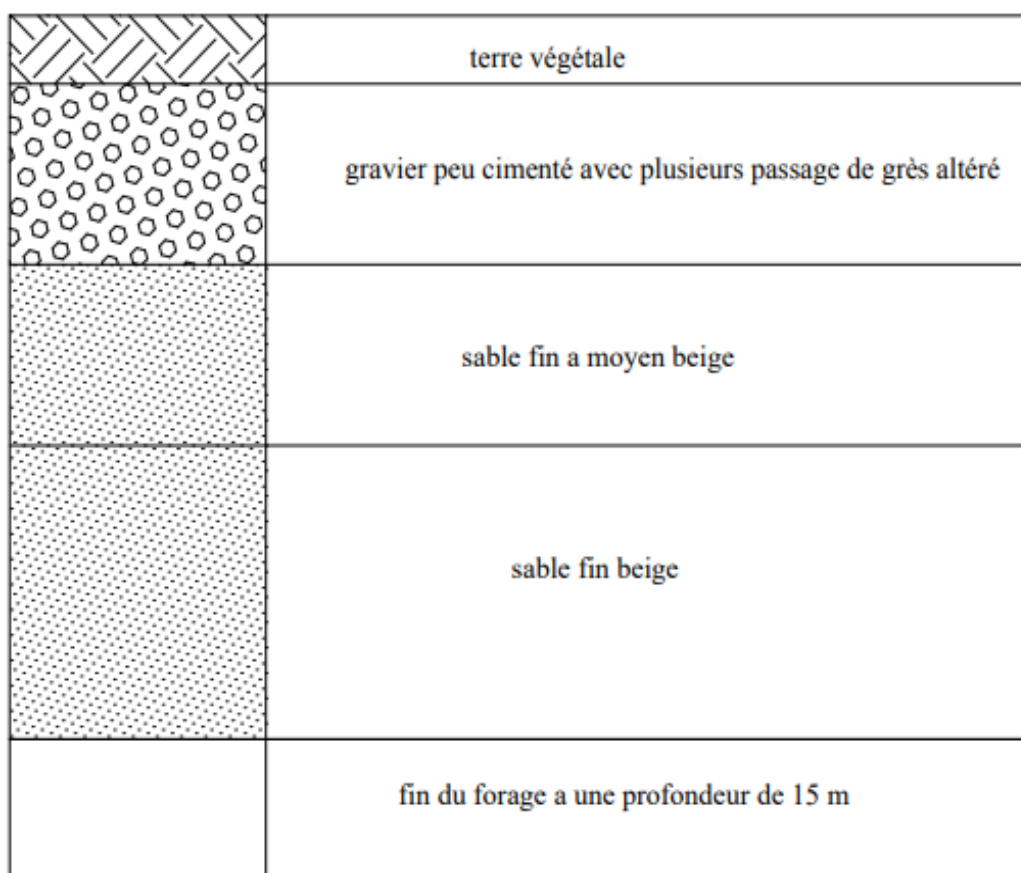


Fig. III.3 : différentes couches composant le sol support.

III.3.1.1.4. Analyses chimiques

Le but des analyses chimiques faites au laboratoire est de quantifier le degré d'agressivité du sol support. Les différents constituants rencontrés dans ce sol sont exprimés en (%) dans le tableau III.3.

Tableau III.3 : Résultats des analyses chimiques

Sondage	Profondeur (m)	Sulfates SO ₄ ⁻	Carbonates CaCO ₃	Chlorures Cl ⁻	Matières organiques
Section	2-3	Traces	63.56	Traces	Traces

III.3.1.1.5. Analyse granulométrique et classification

L'échantillon du sol analysé a été prélevé d'une profondeur de 2 à 3m. Il a été soumis à l'essai de l'analyse granulométrique selon la norme NF P 94-056, Les résultats ainsi obtenus sont mentionnés sur le Tableau III.4.

Tableau III.4 : Résultats de l'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Tamisât (%)
10.00	100.00
5.00	98.98
2.00	51.45
1.00	24.43
0.40	14.71
0.20	7.39
0.10	7.11
0.08	6.94

Par ailleurs, il faut signaler que l'essai de mesure des limites d'Atterberg n'a pas été effectué, car le pourcentage des fines dans notre sol est inférieur à 12% (norme USCS).

Par conséquent, et selon la classification USCS, le sol en question est un Gravier Argileux bien gradué GA-Gb.

III.3.1.1.6. Contrainte admissible

La contrainte admissible du sol a été déterminée à partir des sondages pressiométriques. Le principe de cet essai est de dilater radialement, dans le sol, une sonde cylindrique et de déterminer la relation entre la pression « P » appliquée sur le sol et le déplacement de la paroi de la sonde. Selon les résultats obtenus par les essais pressiométriques réalisés en deux sections, les contraintes admissibles du sol sont données dans le tableau III.5.

Tableau III.5 : Contrainte admissible dans les sections 1 et 2

Sondage (par section)	Contrainte admissible q_a (bar)
SP Section01	6.87
SP Section02	7.23

III.3.1.1.7. Conclusion

D'après les résultats des différents essais réalisés (in-situ et au laboratoire) spécialement pour l'étude du projet de construction « pont route », on peut conclure que le site est caractérisé par :

- ✚ la prédominance des sables fins et grossiers ainsi que les sables cimentés ;
- ✚ aucune présence d'eau n'a été détectée au moment de l'investigation ;
- ✚ l'analyse chimique du sol révèle qu'il s'agit d'un environnement d'agressivité chimique presque nulle ;
- ✚ le sol est classé comme « **S2** » (sol ferme).

III.3.1.2. Données géotechniques relatives à la voie ferrée

L'étude géotechnique pour la réalisation de la ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat » a été effectuée au Laboratoire Central des Travaux Publics LCTP HUSSEIN DEY à ALGER. Des informations concernant cette étude nous ont été communiquées par l'Agence Nationale d'Etudes et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires ANESRIF (antenne Djelfa).

III.3.1.2.1. Organisation de la campagne et des essais

La campagne d'investigation in-situ du tronçon (PK 82 au PK 96) de la voie ferrée « Djelfa-Laghouat » a consisté à l'exécution de 14 pelles mécaniques, 03 pénétrations dynamiques poussées jusqu'au refus, 03 sondages pressiométriques de 15m de profondeur et 11 sondages

carottés avec la réalisation des essais SPT pour effectuer 22 forages avec des essais SPT, 27 puits de reconnaissance, 09 essais de pénétration dynamique poussée jusqu'au refus, 04 sondages pressiométriques et 02 profils sismiques. Plusieurs essais effectués au laboratoire peuvent être résumés comme suit :

- ✓ essais d'identification : analyses granulométriques, limites d'Atterberg, analyses chimiques et indice de consistance ;
- ✓ essais physiques : mesure de la teneur en eau et la masse volumique ;
- ✓ essais de portance et de compactage : essai Proctor et essai CBR imbibé à 4 jours ;
- ✓ essais mécaniques : essais de cisaillement et essai de compressibilité.

III.3.1.2.2. Analyse globale

L'analyse des forages et de puits de reconnaissance a permis l'établissement des coupes géologiques montrant la lithologie des terrains traversés ; le tracé de la ligne ferroviaire passe donc par des terrains sédimentaires de différentes formations qui sont présentées par la suite :

- ✚ recouvrement superficiel constitué de dépôts sabo-graveleux ou sable éolien ;
- ✚ des sables fins limoneux rougeâtres consolidés à très consolidés par endroit ;
- ✚ des formations des calcaires ocres à blanchâtres très durs affleurant en surface comme encroutement de calcaires ;
- ✚ des grès, des argiles et des argilites indurées.

a) Essai pressiométrique (NF P 94-110-1), pénétration dynamique (NF P 94-116)

D'après l'analyse des résultats des essais pressiométriques réalisés au laboratoire, on remarque la présence de deux horizons :

- ✓ horizon sableux fin limoneux rougeâtre très peu argileux carbonaté avec des valeurs de la pression limite de l'ordre de 20 à 30 bars ;
- ✓ un deuxième horizon de grès calcaire avec des valeurs de la pression limite variant de 30 à 35 bars.

Les essais de pénétration ont montré que le sol est de très bonne résistance dont le refus est enregistré à 2.96m, attestant qu'à partir de 1m de profondeur la résistance de pénétration dépasse les 150 bars et 200 bars. On conclut, à l'aide de sondages carottés, que le calcaire est l'origine du refus.

b) Essais au laboratoire

Les résultats des essais au laboratoire des différents puits de reconnaissance sont résumés sur les tableaux III.6, 7, 8, 9 et 10.

Tableau III.6 : Analyse granulométrique

Puits N°	Puit N°01	Puit N°08	Puit N°012
Profondeur	2-2.5m	1.10-1.80m	1.5-2m
Dmax (mm)	1.60	100	0.40
% des passants à 2mm	100	69.00	100
% des passants à 80µ	72	16	99

Tableau III.7 : Limites d'Atterberg

Puits N°	Puit N°01	Puit N°08	Puit N°012
Profondeur	2-2.5m	1.10-1.80m	1.5-2m
Limite de liquidité W_L	41.20	Non mesurable	53.80
Limite de plasticité W_p	20.64	Non mesurable	27.46
Indice de plasticité I_p	20.56	Non mesurable	26.34

Tableau III.8 : Essai Proctor

Puits N°	Puit N°01	Puit N°08	Puit N°12
Profondeur	2-2.5m	1.10-1.80m	1.5-2m
γ_{doptm} (t/m³)	1.90	1.94	1.92
ω_{optm} (%)	12.30	7.20	14.10

Tableau III.9 : Essai CBR imbibé à 4 jours

Puits N°		Puit N°01	Puit N°08	Puit N°012
Profondeur		2-2.5m	1.10-1.80m	1.5-2m
55 coups	$\gamma_d(t/m^3)$	1.82	1.93	1.82
	ICBR	3.60	45.04	3.60
25 coups	$\gamma_d(t/m^3)$	1.74	1.86	1.74
	ICBR	0.92	25.05	0.92
10 coups	$\gamma_d(t/m^3)$	1.60	1.79	1.60
	ICBR	0.87	16.57	0.87

Tableau III.10 : Analyses chimiques

Puits N°	Puit N°01	Puit N°08	Puit N°012
Profondeur	2-2.5m	1.10-1.80m	1.5-2m
Carbonates $CaCO_3(\%)$	25.86	30.17	47.42
Sulfates SO_4^-	Traces	Traces	Traces
Chlorures Cl^-	0.41	0.53	0.35

c) Classification et interprétation des résultats

La classe et la nature du sol ont été déterminées (Tableau III.11) selon la classification **GTR** et l'interprétation des résultats sur la base de la norme **XP P 94-011**.

Tableau III.11 : Classification et identification du sol

Puits N°	Puit N°01	Puit N°08	Puit N°012
Profondeur	2-2.5m	1.10-1.80m	1.5-2m
Classe GTR	A ₂	C ₁ B ₆	A ₂
Nature du sol	Sol fin, plastique et peu portant	Sol grenu, non plastique et dur	Sol fin, plastique et peu portant

III.3.1.2.3. Conclusion

La campagne des essais géotechniques et chimiques réalisés sur le sol support relatif à la voie ferrée, révèle que le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat » passe par des terrains de bonne portance mécanique. L'environnement global de cette voie a été défini comme un environnement d'agressivité parfois nulle et parfois de moyenne agressivité. En conclusion et selon la norme **XP P 94-011** le sol d'assise pour notre voie ferrée peut être considéré comme un sol de qualité « **QS2** » (sol de qualité moyenne).

III.3.2. Données topographiques

Dans tout projet de construction de bâtiments, des ouvrages d'art ou de voie de communications terrestres, *les routes et les chemins de fer*, les données topographiques sont indispensables et nécessaires ; elles ont pour finalité de faire ressortir un fond topographique.

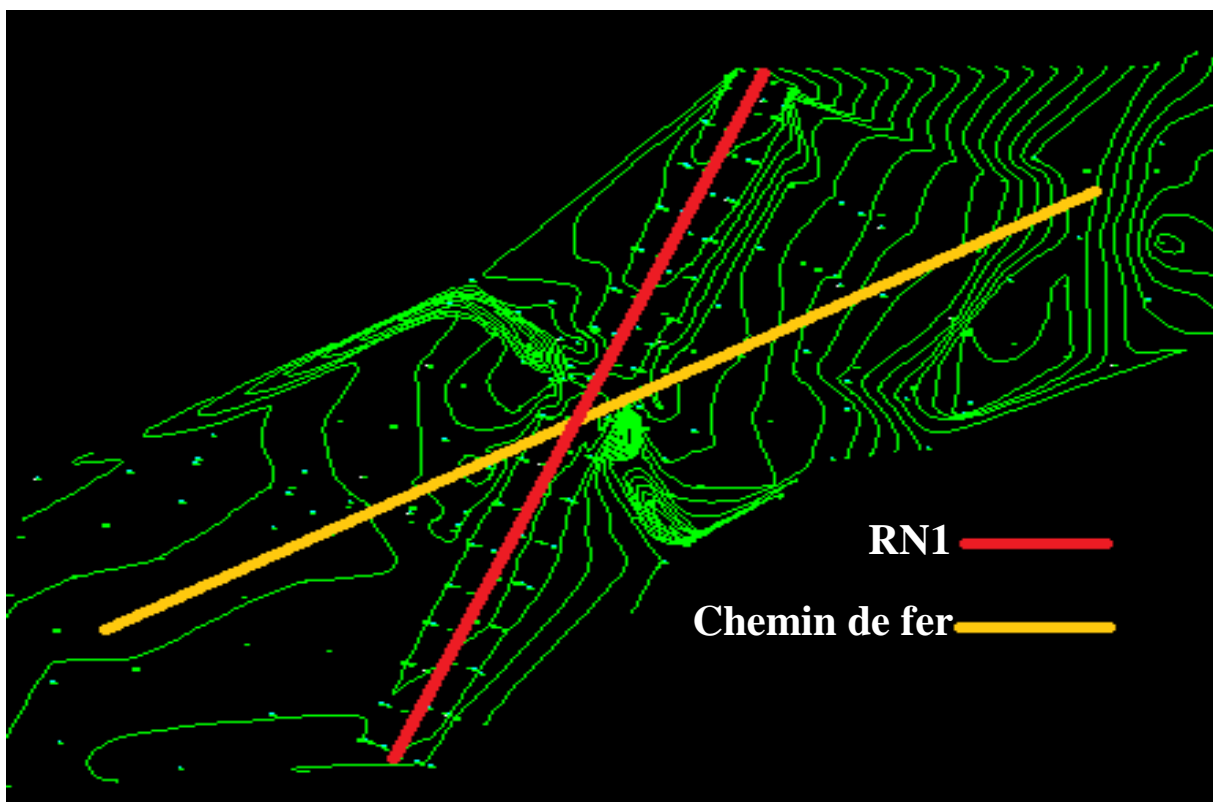


Fig. III.4 : Courbes de niveaux tracées par logiciel AUTOCAD COVAIDS.

Ce fond topographique doit contenir des données existantes sur le terrain en vue de leur transcription, à l'échelle, sur plan ou sur carte. L'ensemble des informations obtenues, un semis de points, peut aussi avoir cette dénomination de *levé topographique*. Deux opérations conjointes sont nécessaires pour pouvoir situer chaque point suivant trois axes X, Y (plan) et Z (altitude) : le levé planimétrique et le levé altimétrique.

Le levé topographique de notre site a été fourni par le topographe de l'entreprise COSIDER OUVRAGE D'ART (antenne Laghouat) qui présente, sous format numérique, un nuage de points montrant les différentes altitudes du terrain à exploiter pour le rétablissement de la RN1 sur un pont route et le passage de la voie ferrée au-dessous de l'ouvrage. On utilise le logiciel AUTOCAD COVADIS 2007 pour faire les différentes études du projet à partir du levé topographique à base de courbes de niveaux comme montré sur la figure III.4.

III.3.3. Données fonctionnelles

III.3.3.1. Données fonctionnelles pour la route

III.3.3.1.1. Trafic routier

✦ *Introduction*

Pour concevoir une nouvelle route, résoudre des problèmes d'aménagement ou d'exploitation routiers, il est insuffisant de connaître la circulation en un point donné sur une route existante. Il est souvent nécessaire de connaître les débits des différents courants de circulation, leurs formations, leurs aboutissements, en d'autres termes de connaître l'origine et la destination des différents véhicules. Cela, permet, par la suite, de déterminer le type des aménagements convenable, le nombre de voies ainsi que l'épaisseur des différentes couches de la chaussée et la nature des matériaux qui la constituent.

✦ *Analyse du trafic*

D'une façon générale, et afin de déterminer en un point et en un instant donné le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de procéder à un comptage qui nécessite une logistique et une organisation appropriée. Pour obtenir le trafic, on peut recourir à divers procédés qui sont :

- statistique générale ;
- le comptage sur route (manuel ou automatique) ;
- une enquête de circulation.

✦ *Différents type de trafic*

On distingue quatre types de trafic :

- **trafic normal** : c'est un trafic existant sur l'ancienne route sans prendre en considération le trafic du nouveau projet ;
- **trafic induit** : c'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations ;
- **trafic dévié** : c'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination ;
- **trafic total** : c'est la somme du trafic induit et du trafic dévié.

✦ *Capacité d'une route*

On définit la capacité d'une route par le nombre maximum des véhicules pouvant raisonnablement passer sur une section donnée d'une voie dans une direction (ou deux directions) avec des caractéristiques géométriques et de circulation pendant une période de temps bien déterminée. La capacité s'exprime sous forme d'un débit horaire.

La capacité dépend :

- des conditions du trafic ;
- des conditions météorologiques ;
- du type d'usagers habitués ou non à l'itinéraire ;
- des distances de sécurité (ce qui intègre le temps de réaction des conducteurs variables d'une route à l'autre) ;
- des caractéristiques géométriques de la section considérée (nombre et largeur des voies) [4].

✦ *Aperçu sur le trafic de la RN1*

Le projet de l'aménagement de la RN1, qui a pour but de la rendre à caractère autoroutier, constitue un avancement dans la dynamique de développement du transport terrestre et plus précisément dans le sud, au vu de l'importance de cette voie routière dans le raccordement du Nord du pays avec le grand Sud.

✦ **Calcul du trafic de la RNI et détermination du nombre de voies**

➤ **Trafic à horizon donnée**

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

$$TJMA_n = (1+\tau)^n TJMA_0 \quad (III.1)$$

Avec :

TJMA_n : trafic journalier moyen à l'année n ;

TJMA₀ : trafic journalier moyen à l'année de référence ;

τ : taux d'accroissement annuel ;

n : nombre d'année à partir de l'année d'origine.

➤ **Trafic effectif**

C'est le trafic traduit en unité de véhicules particulier (uvp), en fonction du type de route et de son environnement. Pour cela, on utilise des coefficients d'équivalence pour convertir les PL (poids lourds) en (uvp). Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

$$T_{eff} = [(1-Z) + P \times Z] TJMA_n \quad (III.2)$$

Avec :

T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon en (uvp) ;

Z : pourcentage de poids lourd ;

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds.

➤ **Débit de pointe horaire normal**

Le débit de pointe horaire normal se calcule en fonction du trafic effectif à l'horizon, il est exprimé en unité de véhicule particulier (uvp) et donné par la formule :

$$Q = (1/n) \times T_{eff} \quad (III.3)$$

Avec :

Q : débit de pointe horaire ;

n : nombre des heures, pris généralement 8.

T_{eff} : trafic effectif.

➤ **Débit horaire admissible**

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

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th} \quad (III.4)$$

Avec :

Q_{adm} : débit admissible ;

C_{th} : capacité théorique ;

K_1 : coefficient qui dépend de l'environnement ;

K_2 : coefficient tient compte de l'environnement et de la catégorie de la route.

➤ **Détermination du nombre de voies**

- ✚ Cas d'une chaussée bidirectionnelle : on compare Q à Q_{adm} et on adopte le profil auquel correspond la valeur de Q_{adm} la plus proche à Q .

$$Q_{adm} \geq Q \quad (III.5)$$

- ✚ Cas d'une chaussée unidirectionnelle : le nombre de voie à retenir par chaussée est le nombre le plus proche du rapport.

$$n = S \cdot Q / Q_{adm} \quad (III.6)$$

Avec :

n : nombre de voie ;

Q_{adm} : débit admissible par voie ;

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

Application au projet :

❖ **Données du trafic :**

Les résultats du trafic qui nous ont été fournis par la DTP de la wilaya de Laghouat sont les suivants :

- ✚ le trafic à l'année 2017 : $TJMA_{2017} = 11\,699$ v/j ;
- ✚ le taux d'accroissement annuel du trafic noté : $\tau = 4\%$;

- ✚ la vitesse de base sur le tracé $V = 120\text{km/h}$;
- ✚ le pourcentage de poids lourds : $Z = 40\%$;
- ✚ l'année de mise en service sera en : 2020 ;
- ✚ la durée de vie estimée de : 20 ans ;
- ✚ catégorie : L120 ;
- ✚ l'environnement : E1.

Calcul du trafic à l'année de mise en service 2020 :

$$TJMA_{2020} = (1+\tau)^3 TJMA_{2017}$$

Avec : $\tau = 4\%$.

$$TJMA_{2020} = (1 + 0.04)^3 \times 11\,699 = \boxed{13\,160 \text{ v/j}}$$

Calcul du trafic à l'année 2039 pour une durée de vie de 20 ans :

$$TJMA_{2039} = (1+\tau)^{19} TJMA_{2020}$$

$$TJMA_{2039} = (1 + 0.04)^{19} \times 13\,160 = \boxed{27\,726 \text{ v/j}}$$

Calcul du trafic effectif :

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

Avec :

Z : pourcentage de poids lourds qui est égal à 40% ;

P : coefficient d'équivalence pour le poids lourds, pris égale à 3 pour une route à 2 voies et un environnement E1 (selon le B40), le tableau représentant les coefficients d'équivalence P est joint en annexe 1 B ;

$TJMA$: de l'année 2039.

$$T_{\text{eff}} = [(1 - 0.4) + 3 \times 0.4] \times 27\,726 = \boxed{49\,907 \text{ uvp/j}}$$

Calcul du débit de pointe horaire normal :

$$Q = 0.12 \times T_{\text{eff}}$$

$$Q = 0.12 \times 49\,907 = \boxed{5989 \text{ uvp/j}}$$

Ce débit prévisible doit être inférieur au débit maximal que notre route peut offrir, c'est le débit admissible.

Calcul du débit horaire admissible :

Le débit que supporte une section donnée : $Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$.

Avec :

$K_1 = 0.75$ pour un environnement E1 (selon B40) ;

$K_2 = 1.00$ pour un environnement E1 et une catégorie L120 (B40) ;

$C_{th} = 1800$ uvp/j pour une route à 2 voies de 3.5m (B40), Les tableaux représentant les valeurs de K_1 , K_2 et de la capacité théorique sont joints en annexe 1 B.

$$Q_{adm} = 0.75 \times 1.00 \times 1800 = \boxed{1350 \text{ uvp/j}}$$

Calcul de nombre de voies :

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

Avec :

n : nombre de voies ;

Q : débit de pointe horaire égal à 5989 uvp/j ;

Q_{adm} : débit admissible par voie égal à 1350 uvp/j ;

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

$$n = (2/3) \times (5989/1350) = \boxed{2.95}$$

Donc : on adopte 3 voies / sens.

Le tableau III.12 présente une récapitulation des résultats de calcul.

Tableau III.12 : Présentation des résultats de calcul

TJMA ₂₀₂₀ (v/j)	TJMA ₂₀₃₉ (v/j)	T _{eff} (uvp/j)	Q (uvp/j)	Q _{adm} (uvp/j)	n
13 160	27 726	49 907	5989	1350	3

✶ Conclusion :

D'après les calculs effectués, on constate que le profil en travers de notre route est de 3 voies de 3.5m chacune pour chaque sens de circulation, ce qui concorde bien avec les propositions géométriques qui nous ont été fournies par la DTP de la wilaya de Laghouat.

III.3.3.1.2. Vitesse de référence et catégorie de la route

La vitesse de référence V_r est une vitesse prise pour définir les caractéristiques géométriques minimales et d'aménagement des points particuliers d'une section de 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.).

La vitesse de référence est choisie par l'auteur du projet routier en tenant compte des critères suivants :

- ◆ caractéristiques topographiques ;
- ◆ importance de la route dans le réseau ;
- ◆ conditions économiques ;
- ◆ volume et structuration du trafic.

Les tableaux III.12, 13 et 14 présentent les différentes catégories des routes ainsi que leur vitesse de référence :

Tableau III.13 : Classification des routes

Catégorie	4 ^{ème}	3 ^{ème}	2 ^{ème}	1 ^{ère}	Exceptionnelle
V_r (km/h)	40	60	80	100	120

Tableau III.14 : Classification des autoroutes

Catégorie	L80	L100	L120
V_r (km/h)	80	100	120

Tableau III.15 : Classification des voies rapides urbaines (VRU)

Catégorie	U60	U80	A80	A100
V_r (km/h)	60	80	80	100

Type U : VRU à caractéristiques non autoroutières ;

Type A : VRU à caractéristiques autoroutières.

La RN1 existante (à laquelle appartient le présent projet) est route de 1^{ère} catégorie avec une vitesse de référence de 100 km/h qui va devenir une autoroute de catégorie L120 avec une vitesse de référence de 120 km/h.

III.3.3.1.3. Géométrie de la route

Concernant la route, les données géométriques sont groupées dans le tableau III.16.

Tableau III.16 : Données géométriques de la route

largeur totale de la route	31m
nombre de voies par chaussée x largeur de la voie	3x3.5m
largeur de chaque chaussée	10.5m
largeur du terre-plein central séparant les deux chaussées	3m
largeur des deux accotements	2.5m
Largeur des deux bermes	1m
dévers transversal de la chaussée	2.5%
dévers transversal des accotements	4%

III.3.3.2. Données fonctionnelles pour la voie ferrée

III.3.3.2.1. Trafic ferroviaire

La nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat » est d'une catégorie III (classification UIC) qui sera conçue pour accueillir un trafic mixte voyageurs et marchandises (fret), avec une vitesse maximale de 220 km/h pour le train de voyageurs et une vitesse de 100km/h pour le train de marchandises.

III.3.3.2.2. Gabarits ferroviaire et charges

a) Gabarits

Le gabarit ferroviaire désigne le contour transversal d'un véhicule ferroviaire, il doit être maintenu libre dans les installations ferroviaires et spécialement lors de passage des trains dans les tunnels, au-dessous des ponts, etc. Les obstacles fixes le long de la voie (supports des câbles électriques, signalisation, etc.), y compris un jeu pour les imprécisions et les mouvements doivent laisser un espace libre plus grand que la taille des véhicules, y compris les jeux liés à

l'imprécision de pose de la voie et aux mouvements latéraux dus aux courbes (saillies en largeur) ou aux suspensions (mouvements en hauteur). L'UIC a défini plusieurs gabarits internationaux (figure III.5).

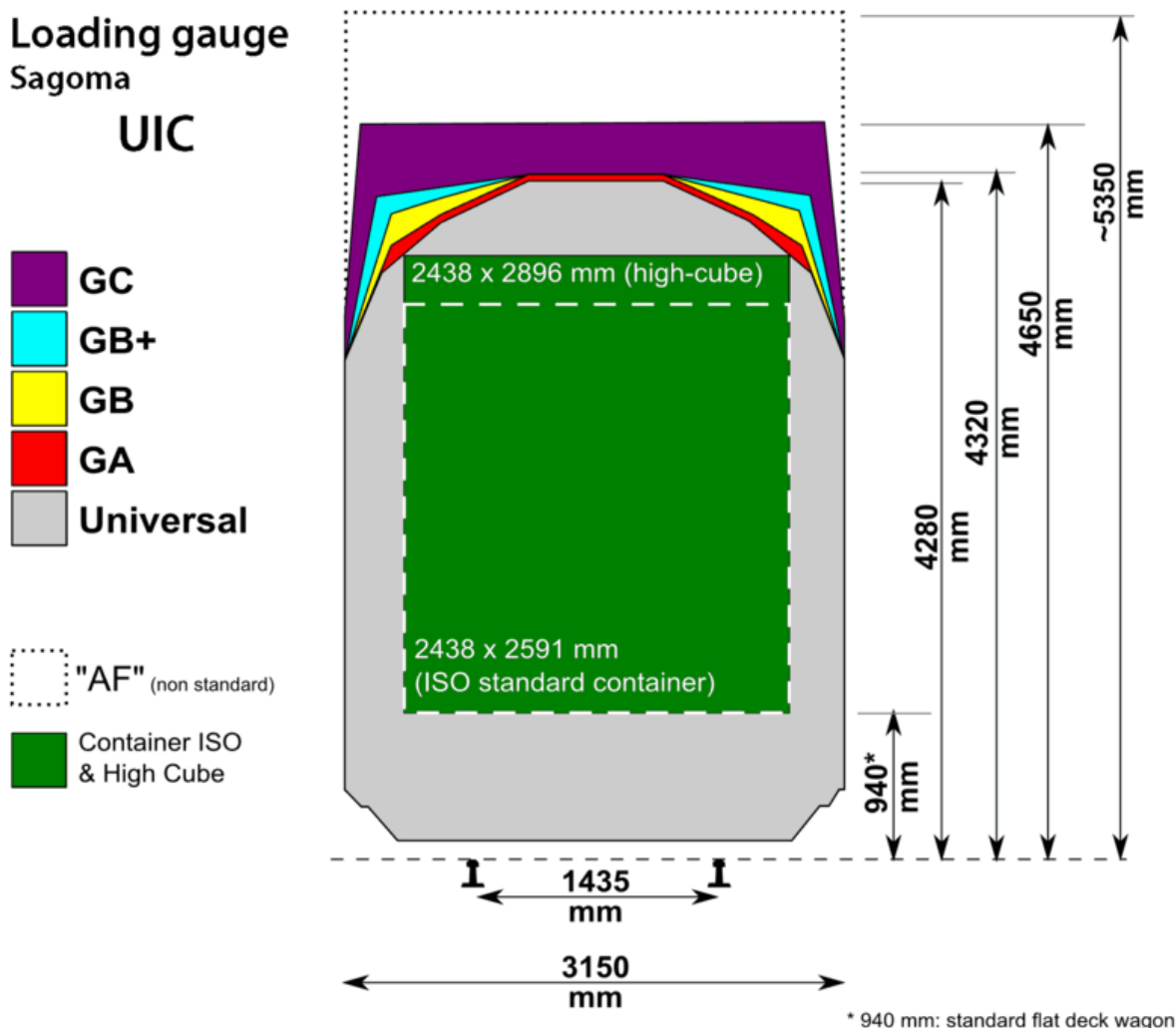


Fig. III.5 : Gabarits ferroviaires selon l'UIC.

Ces gabarits ont tous la même largeur, 3 150 mm, ils ne diffèrent que dans les parties hautes, 4,320 m pour les GA et GB, 4,65 m pour le GC. En outre, un gabarit GB1 a été défini pour permettre le transport de certains conteneurs de grandes dimensions. La différence entre les gabarits GA, GB et GB1 se trouve au niveau de la « corne », c'est-à-dire au raccordement de la rive (limite verticale) et du ciel (limite horizontale haute). Élargir cette corne permet de passer des conteneurs ou des caisses de camions plus larges ou plus hauts.

En Algérie, on peut utiliser de matériels roulants de gabarit GC pour les lignes ferroviaires à grandes vitesses qui sont recommandés par l'UIC. En ce qui concerne les dimensions du pont

route traversée par le train, L'ANESRIF exige une hauteur minimale de 7m mais la SNCF adopte une hauteur minimale de 6.35m + 10cm (5cm une marge de maintenance et 5cm tolérance de réalisation des structures) pour le total de 6.45m, cette hauteur est comptée de plan de roulement des roues jusqu'à la face inférieure du tablier du pont, et une largeur de 13.60m pour une ligne à 2 voies (*figure III.6*).

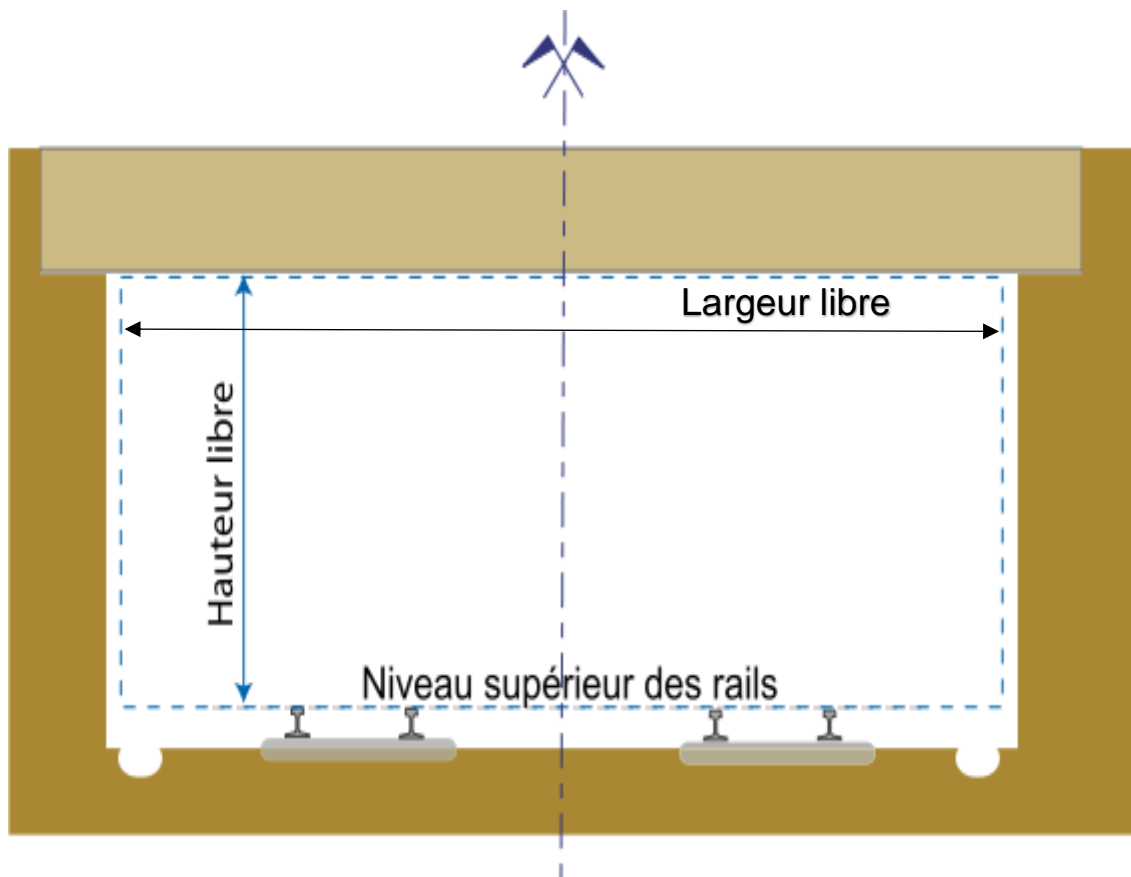


Fig. III.6 : Surface libre pour une ligne ferroviaire à 2 voies.

b) Charges

Parmi les critères de conception de cette ligne ferroviaire électrifiée est bien la valeur de la charge de dimensionnement à prendre par essieu. Selon l'UIC et pour une catégorie de ligne D, la charge par essieu est prise de 25 tonnes. Par ailleurs, le train voyageur est composé de 2 locomotives et 10 wagons d'une longueur de 300m qui pèsent 436 tonnes en tenant compte du poids des voyageurs. Le train marchandises de 520m de longueur se compose d'une seule locomotive motrice et 25 wagons dont le poids total est de 1326 tonnes.

III.3.3.2.3. Géométrie de la voie ferrée

Concernant la voie ferrée, les données géométriques sont groupées dans le tableau III.17.

Tableau III.17 : Données géométriques de la voie ferrée

nombre de voies (sens opposés)	2
type des rails	Vignole
écartement des rails pour chaque voie	1435mm
inclinaison des rails	1/20°
écartement entre les deux voies (distance prise entre axes des plateformes)	4.20m
Type des travers	En béton de type bi-bloc
Travelage (nombre de traverses par km)	1667
Entraxe des traverses (avec une tolérance de ± 2 cm)	0.60m

Rappelons que la présente étude a une grande relation avec les deux voies croisées : la RN1 et la voie ferrée « Djelfa – Laghouat », ce qui nous a obligé de suivre les mêmes données géométriques qui ont été adoptées pour la conception transversale de chacune de ces deux voies.

III.4. Conclusion

L'intersection de la RN1 avec la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat faisant l'objet de cette étude est due au changement du tracé de la voie ferrée lors de l'étude pour des raisons de sécurité (passage de la voie ferrée à côté de la base de la Garde Républicaine) ce qui a obligé les services des travaux publics de rechercher un compromis entre la circulation des véhicules routiers et la circulation des trains sur le chemin de fer en croisement, tout en assurant la sécurité, le confort et l'économie, en construction et en utilisation. Le présent chapitre présente, par conséquent, les données relatives au site et aux deux voies croisées qui sont nécessaire pour l'étude de la suppression du passage à niveau et la conception d'un passage supérieur bien aménagé.

CHAPITRE IV :

Etudes des voies de communication

Chapitre IV : Etudes des voies de communication

IV.1. Etude de la route

IV.1.1. Etude du tracé en plan

IV.1.1.1. Introduction

L'élaboration de tout projet routier commence par la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration de terrain. Dans notre projet, on va suivre le tracé, déjà établi, de la RN1 pour l'étude du tronçon de la nouvelle route. Notre tronçon d'étude est un alignement droit de 1680.71m de longueur.

IV.1.1.2. Environnement de la route

Trois classes d'environnement (E1, E2, E3) sont mentionnées dans B40. Les deux indicateurs adoptés pour caractériser chaque classe d'environnement sont :

- la dénivelée cumulée moyenne : h/L ;
- la sinuosité moyenne : ls/L .

IV.1.1.2.1. La dénivelée cumulée moyenne h/L

La somme des dénivelées cumulées, le long de l'itinéraire existant, rapportée à la longueur de cet itinéraire, permet de mesurer la variation longitudinale du relief [2].

$\frac{h}{L} \leq 1.5\%$: Terrain plat ;

$1.5\% < \frac{h}{L} \leq 4\%$: Terrain vallonné ;

$4\% < \frac{h}{L}$: Terrain montagneux.

Application au projet :

Selon le levé topographique, le tracé de la route varie en altitude sur la globalité de la longueur totale $L = 1680.71$.

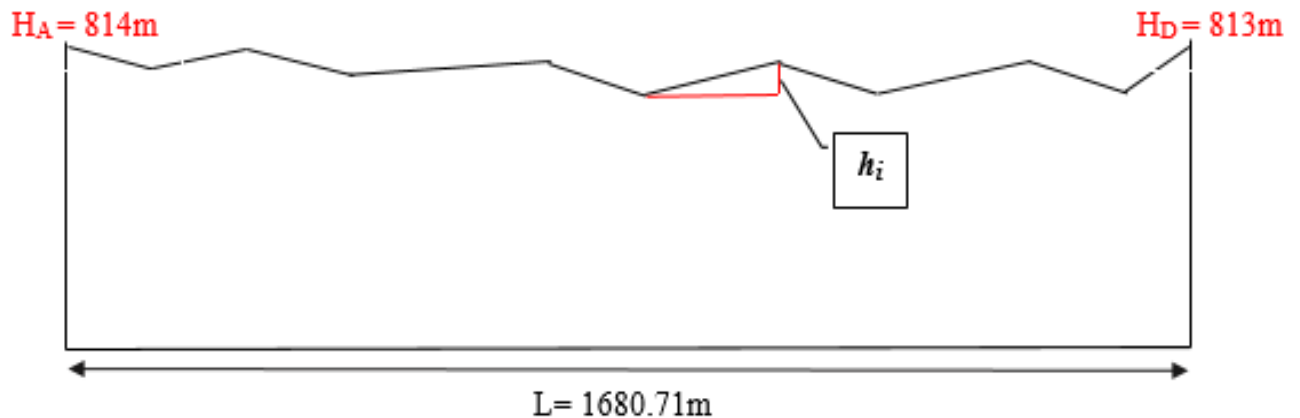


Fig. IV.1 : Variation longitudinale du relief.

- On calcule la somme des dénivelées cumulées h le long de l'itinéraire étudié :

$$\begin{aligned}
 h &= (814 - 813.5) + (813.5 - 813) + |(813 - 813.5)| + (813.5 - 813) + (813 - 812.5) + \\
 &|(812.5 - 813)| + |(813 - 813.5)| + |(813.5 - 814)| + (814 - 813.5) + (813.5 - 813) + (813 - 812.5) \\
 &+ |(812.5 - 813)| + |(813 - 813.5)| + |(813.5 - 814)| + (814 - 813.5) + (813.5 - 813) + \\
 &(813 - 812.5) + |(812.5 - 813)| + |(813 - 813.5)| + |(813.5 - 814)| + (814 - 813.5) + (813.5 - 813) \\
 &+ (813 - 812.5) + |(812.5 - 813)| + |(813 - 813.5)| + |(813.5 - 814)| + (814 - 812.5) + \\
 &|(812.5 - 813)| + |(813 - 813.5)| + |(813.5 - 814)| + (814 - 813.5) + (813.5 - 813) + (813 - 812.5) \\
 &+ |(812.5 - 813)|
 \end{aligned}$$

$$h = 18\text{m}$$

- On calcule la dénivelée cumulée moyenne :

$$\frac{h}{L} = \frac{18}{1680.71} = 0.0107 = \boxed{1.07 \% < 1.5\%}$$

En se référant aux normes B40, on conclue que le terrain en question est **plat**.

IV.1.1.2.1. La sinuosité

La sinuosité σ d'un itinéraire est égale au rapport de la longueur sinueuse L_s sur la longueur totale de l'itinéraire. La longueur sinueuse L_s est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200m [2].

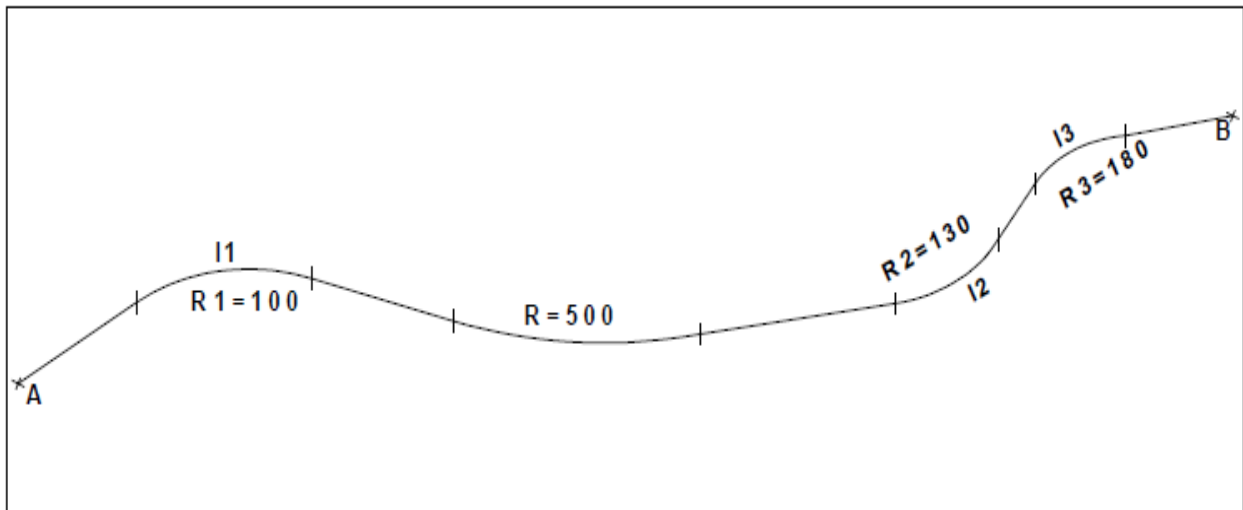


Fig. IV.2 : Sinuosité d'un tracé routier.

$$\sigma = \frac{L_s}{l_{AB}} \quad (\text{IV.1})$$

$$L_s = \sum L_R ; (\leq 200\text{m}) \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

L_s : la longueur sinueuse ;

L_R : la longueur des courbes ayant un rayon $\leq 200\text{m}$;

L_{AB} : la longueur totale de l'itinéraire.

➤ Rappelons que le B40 adopte les valeurs suivantes :

- ✓ $\sigma \leq 0.1$: Sinuosité faible ;
- ✓ $0.1 < \sigma \leq 0.3$: Sinuosité moyenne ;
- ✓ $0.3 < \sigma$: Sinuosité forte.

Application au projet :

✚ Vu que le tronçon à étudier est un alignement droit (inexistence de courbes horizontales), la longueur L_s est nulle.

$$\text{D'où : } \sigma = \frac{0}{1680.71} = \boxed{0 < 0.1 \%}$$

D'après le B40, le tracé est considéré de **faible sinuosité**.

La détermination de l'environnement de la route a pour objet de déterminer la catégorie de la route à réaliser et de fixer sa vitesse de référence. L'association des deux paramètres précédents (sinuosité et dénivelée cumulée moyenne), nous donne l'un des trois types d'environnement montrés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité

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

Il est clair donc que notre route appartient à un environnement E1 qui est relatif à un terrain plat et de faible sinuosité, ce qui justifie la simplicité du tracé avec une vitesse de référence moyennement élevée.

IV.1.1.3. Etude de l'alignement droit

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes modernes est restreint. Il reste de vérifier certains paramètres.

IV.1.1.3.1. Paramètres fondamentaux

D'après le règlement des normes algériennes B40 et pour un environnement E1 et une catégorie L120 avec une vitesse de référence de 120km/h, des paramètres fondamentaux en alignement droit sont résumés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : Paramètres fondamentaux

Paramètres	Valeurs
◆ Vitesse (km/h) : V	120
◆ Dévers transversal minimal (%) : d _t	2.5
◆ Temps de perception-réaction (s) : t _p	1.8
◆ Coefficient de frottement longitudinal : f _L	0.33
◆ Coefficient de frottement transversal : f _T	0.1

IV.1.1.3.2. Vérification de la longueur de l'alignement droit

L'alignement droit est limité par des longueurs min et max.

✚ La longueur minimale L_{min}

Celle qui correspond à un chemin parcouru durant un temps d'adaptation de 5s.

$$L_{\min} = 5 \times \frac{V_r}{3.6} \quad (\text{IV.3})$$

Avec V_r : vitesse de référence.

✚ La longueur maximale L_{max}

Celle qui correspond à un chemin parcouru durant un temps d'adaptation de 60s.

$$L_{\max} = 60 \times \frac{V_r}{3.6} \quad (\text{IV.4})$$

Application au projet :

Calcul de longueur minimale L_{min} :

$$L_{\min} = 5 \times \frac{120}{3.6} = \boxed{166.66\text{m}}$$

Calcul de longueur maximale L_{max} :

$$L_{\max} = 60 \times \frac{120}{3.6} = \boxed{2000\text{m}}$$

La longueur de l'alignement droit avec une vitesse de référence de 120 km/h est comprise entre L_{min} = 166.66m < L = 1680.71m < L_{max} = 2000m, donc la longueur est **vérifiée**.

IV.1.1.3.2. Calcul des distances de visibilité**➤ Distance de visibilité de dépassement minimale d_m**

C'est la longueur parcourue pendant environ 15 secondes à la vitesse V et qui correspond à une manœuvre de dépassement qui dure 7 à 8 secondes. Le B40 donne la formule de calcul pour des vitesses comprises entre 90 à 140km/h :

$$d_m \text{ (m)} = 5 \times V \text{ (km/h)} \quad (\text{IV.5})$$

V : vitesse.

➤ Distance de visibilité de dépassement normale d_N

C'est une distance qui correspond à un manœuvre de dépassement de 11 à 12 secondes.

Pour des vitesses comprises entre 90 à 140km/h, le B40 adopte :

$$d_N \text{ (m)} = 7 \times V \text{ (km/h)} \quad (\text{IV.6})$$

Application au projet :

Pour une vitesse de référence de 120km/h :

❖ Calcul de distance de visibilité de dépassement minimale d_m

$$d_m = 5 \times 120 = \boxed{600\text{m}}$$

❖ Calcul de distance de visibilité de dépassement normale d_N

$$d_N = 7 \times 120 = \boxed{840\text{m}}$$

IV.1.1.3.3. Distance d'arrêt d_a

La distance d'arrêt d'un véhicule est la distance conventionnelle théorique nécessaire à un véhicule pour s'arrêter compte tenu de sa vitesse. Cette distance est le cumul de la distance de freinage, distance conventionnelle nécessaire à un véhicule pour passer de sa vitesse initiale à la vitesse nulle et de la distance de perception-réaction, distance parcourue par un véhicule à vitesse constante pendant le temps de perception-réaction du conducteur [33].

$$d_a = d_p + d_f \quad (\text{IV.7})$$

Avec :

d_a : distance d'arrêt ;

d_p : distance de perception ;

d_f : distance de freinage.

$$d_a = \frac{Vr}{3.6} \times tp + \frac{K \times Vr^2}{254 \times (fL \pm i)} \quad (\text{IV.8})$$

Avec :

Vr : vitesse de référence (km/h) ;

tp : temps de perception (s) ;

K : paramètre du tracé en plan ;

fL : frottement longitudinal ;

i : déclivité en (%).

Application au projet :

❖ Données de calcul :

$Vr = 120 \text{ km/h}$;

$tp = 1.8 \text{ s}$;

$K = 1$ pour l'alignement droit ;

$fL = 0.33$;

$i = -0.04$ (déclivité en pente, le cas le plus défavorable).

$$d_a = \frac{120}{3.6} \times 1.8 + \frac{1 \times 120^2}{254 \times (0.33 - 0.04)} = \boxed{255.49 \text{ m}}$$

IV.1.2. Etude du profil en long

IV.1.2.1. Introduction

La deuxième étape d'une étude technique d'une route est bien l'étude du profil en long, en traçant la ligne rouge du projet pour la détermination des points de début, de fin et le sommet, et en déterminant les déclivités maximales et minimales ainsi que les rayons maximums et minimums des courbes verticales.

IV.1.2.2. Détermination des déclivités

A titre de rappel, on appelle déclivité d'une route la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom pente pour les descentes et rampe pour les montées. Le rétablissement routier dans notre projet impose 2 déclivités formants un toit qui sera raccordé par une courbe verticale convexe (angle saillant). Les déclivités maximales des routes sont en fonction de leurs vitesses, pour notre cas, et pour une vitesse de référence de 120km/h, on peut adopter une déclivité minimale de 1% comme on peut aller jusqu'à la déclivité maximale de 4% comme montre le tableau IV.3 qui présente les déclivités maximales que donne le B40.

Tableau IV.3 : Valeurs de déclivités maximales (B40)

Vr (km/h)	40	60	80	100	120	140
<i>i</i> (%)	8	7	6	5	4	4

IV.1.2.3. Raccordement en courbe convexe (angle saillant)

Concernant notre projet, la longueur du tronçon à étudier est de 1680.71m en alignement droit. L'étude a pour objet de raccorder entre les deux déclivités et de rechercher un rayon verticale bien déterminé qui assure les conditions de visibilité et de confort d'une part, et qui permet de fournir une hauteur suffisante pour l'implantation de l'ouvrage et le passage des trains au-dessous, d'autre part.

IV.1.2.3.1. Condition de visibilité

En courbe convexe, la probabilité de présence, sur la chaussée, d'un obstacle inerte de faible épaisseur susceptible de poser un problème de sécurité est très réduite. Un événement un peu plus probable est la présence d'un véhicule arrêté (accident, retenue de trafic, etc.) ou, encore davantage, la présence d'un piéton. Il est donc nécessaire d'assurer la visibilité à une distance permettant au conducteur de s'arrêter avant un "obstacle" de cette nature, en chaque point du

tracé ; dans ce cas, la distance de visibilité doit être supérieure à la distance d'arrêt [34]. C'est pour cela, la condition de visibilité en courbe verticale convexe doit être strictement vérifiée.

Pour notre cas, chaque chaussée de la route est de sens unique. La formule pour calculer le rayon de raccordement qui satisfait cette condition est par la suite :

$$R_v \geq 0.26 \times da^2 \quad (IV.9)$$

Avec :

R_v : rayon de raccordement vertical (m) ;

da : distance d'arrêt (m).

IV.1.2.3.2. Condition de confort

Les véhicules, pendant leur passage sur une courbe verticale (concave/convexe), sont soumis à une accélération verticale qui tend à lever le véhicule de la chaussée ; cette accélération est limitée à : $0.3m/s^2$ soit $g/40$ (avec g la pesanteur). Le rayon de raccordement à retenir pour vérifier la condition du confort est donné par la formule suivante :

$$R_v \geq 0.3 \times Vr^2 \quad (IV.10)$$

Avec :

R_v : rayon de raccordement verticale (m) ;

Vr : vitesse de référence (km/h).

Application au projet :

- **Vérification de condition de visibilité**

En appliquant la formule (IV.10), on calcule le rayon théorique qui assure la condition de visibilité.

$R_v \geq 0.26 \times da^2$, on prend $da = 255.49m$ (distance d'arrêt calculée avec une vitesse de 120km/h).

$$R_v \geq 0.26 \times (255.49)^2$$

$$R_v \geq 16971.53m$$

On prend $R_v = 17\ 000m$

- **Vérification de condition de confort**

Le rayon à prendre et qui assure le confort des usagers en courbe verticale convexe est :

$$R_v \geq 0.3 \times V_r^2$$

$$R_v \geq 0.3 \times 120^2$$

$$R_v \geq 4320\text{m}$$

En adoptant un rayon vertical de 17 000m, la condition de confort est largement vérifiée.

- **Détermination des éléments géométriques de la courbe de raccordement**

Sommet S :

Le sommet coïncide en effet avec la face supérieure de la couche de roulement posée sur l'ouvrage d'art (le pont). On commence par la détermination de l'altitude et de la distance entre le point de début du projet 0.00m et le sommet S. A partir de ces données on peut déterminer les coordonnées des points de début B et de fin C de la courbe de raccordement.

Altitude H_s du sommet S :

L'altitude de S est calculée à partir de l'épaisseur de l'infrastructure ferroviaire (incluant l'épaisseur du ballast et la hauteur des rails), la hauteur libre, l'épaisseur de la dalle de l'ouvrage ainsi que l'épaisseur de la chaussée :

$$H_s = H_{TN} + (E_{inf} + H_l + E_d + E) \quad (\text{IV.11})$$

Avec :

$H_{TN} = 813.3\text{m}$, altitude de terrain naturel ;

$E_{inf} = 3.5\text{m}$, épaisseur de l'infrastructure ferroviaire donnée par l'ANESRIF ;

$H_l = 7\text{m}$, hauteur libre ;

$E_d = 1.75\text{m}$, épaisseur de la dalle de l'ouvrage (compte tenu de la hauteur des poutres) ;

$E = 0.45\text{m}$, épaisseur de la chaussée (avec couche d'étanchéité).

$$H_s = 813.3 + (3.5 + 7 + 1.75 + 0.45) = \boxed{826\text{m}}$$

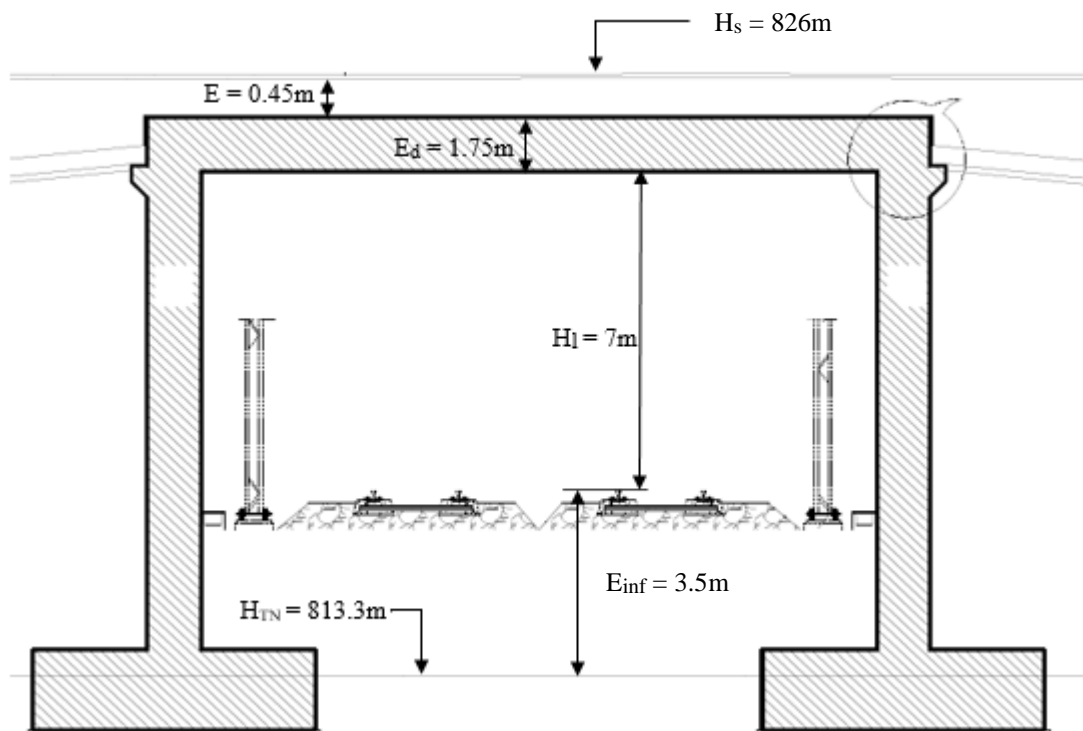


Fig. IV.3 : Présentation des différentes altitudes et hauteurs de l'ouvrage.

La distance L_S séparant le début du projet et le point S :

Connaissant le point de l'intersection entre le tronçon de la route, qui fait 1680.71m, et la ligne ferroviaire, la longueur L_S est fixée de 775.36m à partir du point 0.00m point de début du projet.

Point de début B :

A partir des coordonnées du point S, on peut déterminer le point B.

Distance L_B du point B :

$$L_B = L_S - x_1 \tag{IV.12}$$

$$x_1 = R_V \times P_1 \tag{IV.13}$$

Avec :

L_B : distance de point de début B ;

$L_S = 775.36m$, distance du sommet S ;

x_1 : distance entre B et S ;

$R_V = 17\ 000m$, rayon vertical ;

$P_1 = 2\%$, pente de la 1^{ère} déclivité.

AN :

$$x_1 = 17\,000 \times 0.02 = \boxed{340\text{m}}$$

$$L_B = 775.36 - 340 = \boxed{435.36\text{m}}$$

Altitude H_B du point B :

$$H_B = H_S - y_1 \quad (\text{IV.14})$$

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2R_V} \quad (\text{IV.15})$$

Avec :

H_B : altitude du point B ;

$H_S = 826\text{m}$, altitude du point S ;

y_1 : différence d'altitude entre B et S ;

$x_1 = 340\text{m}$, distance entre B et S ;

$R_V = 17\,000\text{m}$ rayon vertical.

AN:

$$y_1 = \frac{340^2}{2 \times 17000} = \boxed{3.4\text{m}}$$

$$H_B = 826 - 3.4 = \boxed{822.6\text{m}}$$

Point de fin C :

A partir des coordonnées du point S, on peut déterminer le point C.

Distance L_C du point C :

$$L_C = L_S + x_2 \quad (\text{IV.16})$$

$$x_2 = R_V \times P_2 \quad (\text{IV.17})$$

Avec :

L_C : distance du point de fin C ;

$L_S = 775.36\text{m}$, distance du sommet S ;

x_2 : distance entre C et S ;

$R_V = 17\ 000\text{m}$, rayon vertical ;

$P_2 = 1.7\%$ pente de la 2ème déclivité.

AN :

$$x_2 = 17\ 000 \times 0.017 = \boxed{289\text{m}}$$

$$L_c = 775.36 + 289 = \boxed{1064.36\text{m}}$$

Altitude H_c du point C :

$$H_c = H_s - y_2 \quad (\text{IV.18})$$

$$y_2 = \frac{x_2^2}{2R_V} \quad (\text{IV.19})$$

Avec :

H_c : altitude du point C ;

$H_s = 826\text{m}$, altitude du point S ;

y_2 : différence d'altitude entre C et S ;

$x_2 = 289\text{m}$, distance entre C et S ;

$R_V = 17\ 000\text{m}$, rayon vertical.

AN:

$$y_2 = \frac{289^2}{2 \times 17000} = \boxed{2.45\text{m}}$$

$$H_c = 826 - 2.45 = \boxed{823.55\text{m}}$$

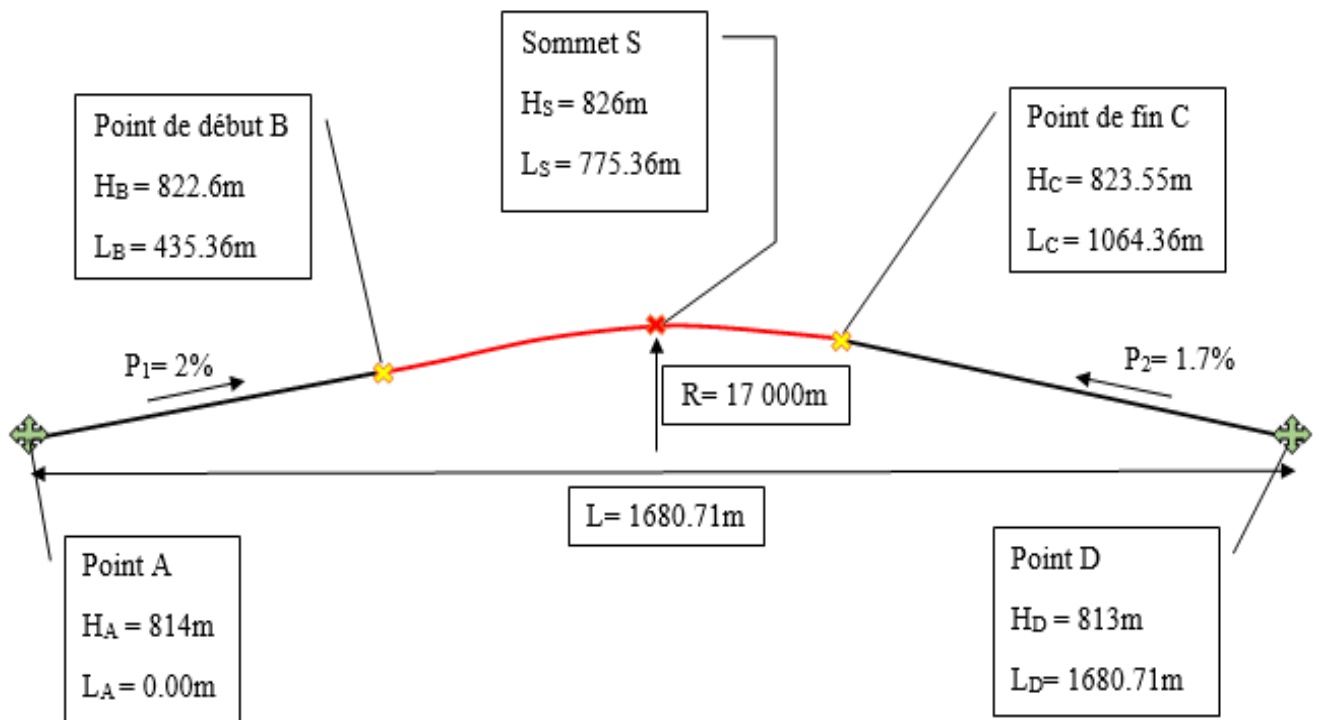


Fig. IV.4 : Résultats de la détermination des points S, B et C par calcul manuel.

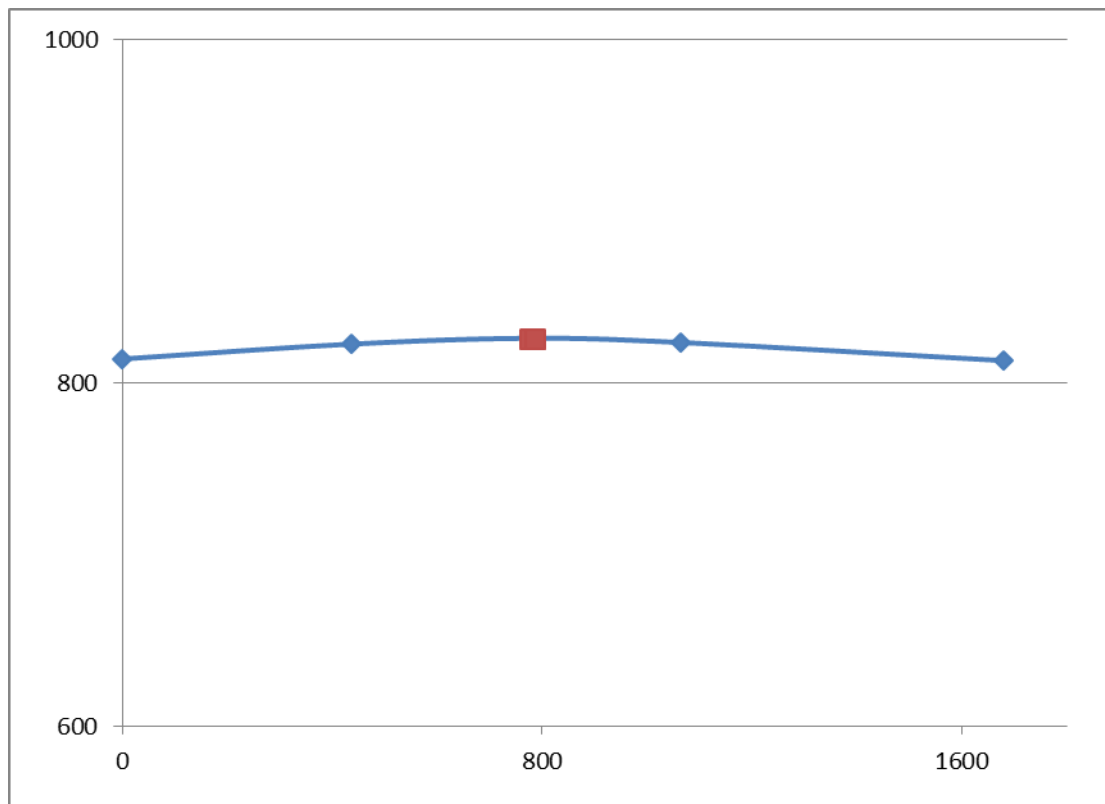


Fig. IV.5 : Nouvel tracé vertical de la route à échelle réelle (Excel).

• **Etude du profil en long à l'aide de logiciel COVADIS**

Le calcul informatique est rapide, facile et précis, par contre, le calcul manuel est moins précis et présente plusieurs incertitudes. L'étude de la ligne rouge du profil en long en utilisant le logiciel COVADIS nous a donné les résultats qui sont résumés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4 : Résultats du calcul à l'aide du logiciel COVADIS

Points	Abscisse (m)	Altitude (m)	Longueur (m)	Pente (%)	Rayon de courbure (m)	Longueur de courbe de raccordement (m)
A	0.000	813.984	L _{AB} = 435.361	2.000	R = 17000	L _{rc} = 632.739
B	435.361	822.691				
S	775.361	826.091				
C	1068.099	823.571	L _{CD} = 612.609	1.722		
D	1680.709	813.022				
Longueur totale de la route	L=1680.71m					

IV.1.3. Etude des profils en travers

IV.1.3.1. Introduction

La dernière étape de l'étude géométrique de la route porte sur l'étude des profils en travers, qui est par définition une coupe suivant un plan transversal vertical perpendiculaire à l'axe de la route.

IV.1.3.2. Types de profil en travers

La détermination du profil en travers consiste à définir la largeur de la chaussée et ses annexes : largeur des voies, largeur des bandes dérasées de gauches BDG, largeur des accotements (largeur des bermes et des bandes d'arrêt d'urgence sont incluses) et la largeur de terre-plein central TPC. On distingue trois types de profils en travers :

- ✚ profil en travers en déblai ;
- ✚ profil en travers en remblai ;
- ✚ profil en travers mixte (remblai et déblai).

Pour notre cas où le soulèvement de la route sera effectué, dans la majorité du tronçon étudié de la route, avec la réalisation des remblais afin de franchir la voie ferrée et préserver la déclivité

de cette dernière ; néanmoins au début et à la fin de ce tronçon, il faut quand même noter qu'il existe quelques cas de déblais avec des faibles quantités qui sont négligeables par rapport à la quantité énorme des remblais. Alors, on s'intéresse essentiellement à un seul type de profil en travers sur remblai en tenant compte des deux positions différentes : un profil en travers en dehors de l'ouvrage et un autre au niveau de l'ouvrage.

Application au projet :

L'étude du trafic a mentionné qu'il est nécessaire d'avoir un profil en travers type de 3 voies par sens de 3.5m de largeur (3×3.5m/sens) pour l'aménagement de la RN1. Les différentes constituants du profil en travers type varient selon l'emplacement de ce dernier, on distingue :

IV.1.3.2.1. Profil en travers au niveau de la route

Le document d'instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison ICTAAL 2000, donne les différentes largeurs dans le profil en travers des routes. Pour une autoroute à 3 voies, le profil en travers est comme suit :

- ✱ largeur de chaque voie : 3.5m ;
- ✱ largeur de chaque chaussée sans accotement : 10.5m ;
- ✱ dévers en pente unique pour chaque chaussée : 2.5% ;
- ✱ largeur du TPC : 3m (dont 1m pour la bande médiane et 1m de chaque côté pour la bande dérasée de gauche) ;
- ✱ largeur des accotements : 2.5m, avec un dévers de 4% ;
- ✱ largeur des bermes : 1m, avec un dévers de 8% ;
- ✱ largeur totale de la route : 31m.

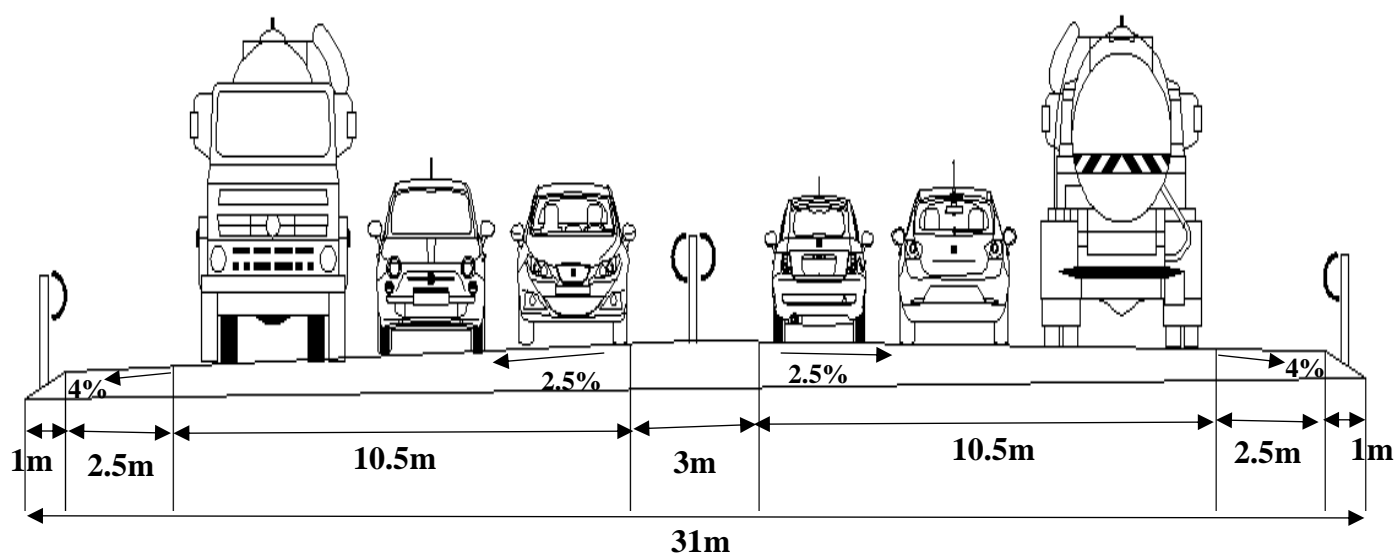


Fig. IV.6 : Profil en travers type au niveau de la route.

Remarque :

On a choisi des glissières de sécurité en métal et non pas des bordures en béton car :

- les glissières en métal absorbent le choc des véhicules mieux qu'une bordure en béton, ce qui implique que les dégâts seront moindres ;
- dans le mauvais temps (vents de sable), ce type de glissière ne regroupe pas les sables des deux côtés, au contraire, les bordures en béton ne laissent pas passer le sable causant l'accumulation des sables aux abords de la chaussée ;
- les glissières sont munies des cataphotes pour améliorer la visibilité en conduite de nuit.

IV.1.3.2.2. Profil en travers au niveau de l'ouvrage d'art

Le profil en travers au niveau du pont garde les mêmes largeurs des voies avec ses dévers. Les accotements sont remplacés par une bande dérasée de droite et un trottoir. Le document d'aménagement des routes principales du SETRA recommande d'adopter le suivant :

- ✱ largeur du TPC : 2m (dont 1m pour la bande médiane et 0.5m de chaque côté pour la bande dérasée de gauche) ;
- ✱ largeur du trottoir franchissable par les piétons : 1.25m, avec une pente transversale de 2.5% ;
- ✱ largeur de la bande dérasée de droite BDD : 2m ;
- ✱ largeur utile de la route (largeurs des corniches non incluses) : 29.5m.

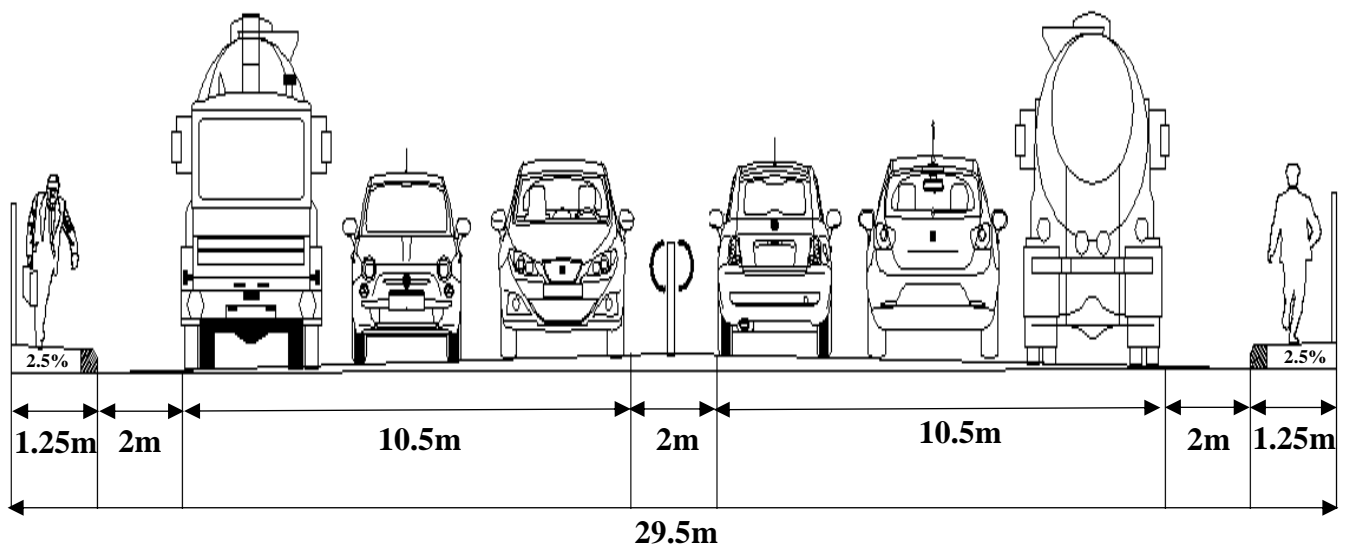


Fig. IV.7 : Profil en travers type au niveau de l'ouvrage d'art.

Remarque :

Le pont est muni des trottoirs pour assurer la circulation des piétons et le personnel de l'entretien de l'ouvrage ainsi que la chaussée au-dessus.

IV.1.3.3. Cubatures des terres

IV.1.3.3.1. Cubatures

La cubature des terrassements est une opération qui consiste à déterminer les volumes des terres (déblais et remblais) dans un projet. Autrement dit, c'est une opération qui consiste à déterminer la quantité des terres à évacuer en cas de déblais ou à apporter en cas de remblais dans un projet routier. Pour notre projet on a calculé ces volumes à l'aide du logiciel COVAIDS. On distingue un volume cumulé de déblais en début et à la fin du projet de 719.38m^3 et qui est un volume négligeable en le comparant avec le volume des remblais qui est égal à $698614,06\text{m}^3$. A noter que le volume exact des remblais est égal à la quantité calculée moins le volume occupé par l'ouvrage d'art. Les détails de calcul informatique sont joints dans l'annexe des cubatures.

IV.1.3.3.2. Remblais

Le rétablissement de la route sera effectuée par la mise en œuvre de plusieurs couches de terres jusqu'à atteindre la hauteur désirée (hauteur du pont) qui pourra atteindre les 12m ; la pente des talus de remblai est prise généralement de $\frac{1}{2}$ (1m de hauteur / 2m de largeur, pente de 50% ou

angle de 27°) ce qui implique qu'à cette hauteur la largeur de remblai à la base sera de 24m. L'étalement du remblai permet de déterminer les longueurs des murs de soutènement des terres.

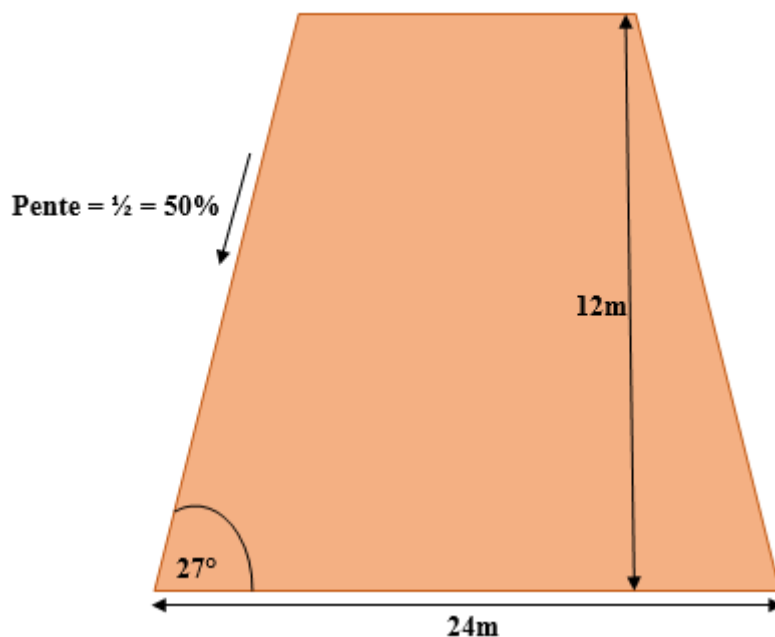


Fig. IV.8 : Image représentative d'une coupe transversale sur les talus de remblai.

IV.1.4. Dimensionnement et structure de la chaussée

Le dimensionnement du corps de la chaussée consiste à déterminer l'épaisseur de chaque couche constituant la chaussée de bas vers le haut : couche de forme, couche de fondation, couche de base et couche de surface. Plusieurs paramètres influent sur cette opération tels que : la portance mécanique du sol support, le trafic prévisionnel et la durée de vie projetée. Pour cela, il existe plusieurs méthodes de dimensionnement ; on opte pour la méthode CBR (California – Bearing – Ratio) pour effectuer cette étape, car c'est la méthode la plus utilisée en Algérie pour la construction des chaussées neuves, pour des raisons économiques.

IV.1.4.1. Méthode CBR (California – Bearing – Ratio)

C'est une méthode semi-empirique qui se base sur les résultats de l'essai de compactage Proctor qui consiste à faire compacter au maximum un échantillon de sol avec une teneur en eau optimale, et par la suite effectuer l'essai de poinçonnement sur l'échantillon pour obtenir la portance du sol. La valeur CBR calculée est donnée en (%). En fin, et sur la base des résultats, on peut déterminer la portance du sol et sa résistance au poinçonnement.

La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule suivante :

$$E = \frac{100 + \sqrt{P} \times (75 + 50 \times \log_{10} \frac{N}{10})}{I_{\text{CBR}} + 5} \quad (\text{cm}) \quad (\text{IV.20})$$

Avec :

- ✚ E : épaisseur ;
- ✚ I_{CBR} : indice CBR (sol support) ;
- ✚ N : désigne le nombre journalier de camions de plus 1500 kg à vide ;
- ✚ P : charge par roue $P = 6.5$ t (essieu 13 t) ;
- ✚ Log : logarithme décimal.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$E = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3 \quad (\text{IV.21})$$

Avec :

- $c_1 \times e_1$: épaisseur équivalente de la couche de surface ;
- $c_2 \times e_2$: épaisseur équivalente de la couche de base ;
- $c_3 \times e_3$: épaisseur équivalente de la couche de fondation.

Où :

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

Le tableau IV.5 présente les coefficients d'équivalence en fonction de matériaux utilisés, donnés par le laboratoire central des ponts et chaussées LCPC.

Tableau IV.5 : Coefficients d'équivalence en fonction de matériaux utilisés

Matériaux utilisés	Coefficients d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobé dense	2.00
Grave bitume	1.20 – 1.70
Grave ciment – grave laitier	1.50
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse – T.V.O	0.75
Sable ciment	1.00 – 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60

Application au projet :**❖ Données d'étude :**

- le trafic à l'année 2017 : $TJMA_{2017} = 11\ 699$ v/j ;
- le taux d'accroissement annuel du trafic noté : $\tau = 4\%$;
- le pourcentage de poids lourds : $Z = 40\%$;
- l'année de mise en service sera en : 2020 ;
- la durée de vie estimée de : 20 ans.

A. Répartition de trafic :

Le trafic routier à l'année de mise en service 2020 exprimé en véhicule par jour est :

$TJMA_{2020} = 13\ 160$ v/j (voir paragraphe **III.3.3.1.1. Trafic routier**) ;

Le trafic routier en 2020 exprimé en véhicule par jour et par sens est :

$$TJMA_{2020} = \frac{13\ 160}{2} = \boxed{6580 \text{ v/j/s}}$$

Le trafic de poids lourds à l'année de mise en service exprimé en PL par jour et par sens se calcule comme suit :

$$T_{PL2020} = 0.4 \times 6580 = \boxed{2632 \text{ PL/j/s}}$$

Le trafic de poids lourds après 20ans (en 2039) exprimé en PL par jour et par sens :

$$T_{PL2039} = (1 + 0.04)^{19} \times 2632 = \boxed{5545 \text{ PL/j/s}}$$

B. Calcul de l'épaisseur E de la chaussée :

On applique la formule : $E = \frac{100 + \sqrt{P} \times (75 + 50 \times \log_{10} \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$ (cm)

Avec :

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

$I_{CBR} = 15\%$: pour un sol de portance moyenne **S2**, et selon la classification GTR l'indice CBR est de 10 à 25% ;

Remarque : la route sera réalisée sur un terrassement en remblai qui lui-même réalisé après une série des compactages, ce qui signifie qu'on peut donner à ce terrassement une portance adéquate. Et vu qu'on n'a pas la portance (valeur de CBR) du remblai, on a pris pour le dimensionnement la valeur de CBR du sol naturel $I_{CBR} = 15\%$.

$N = 5545PL/j/s$: le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide.

$$E = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times (75 + 50 \times \log_{10} \frac{5545}{10})}{15 + 5} = 32.05 \text{ cm}$$

Donc : on prend l'épaisseur totale de la chaussée $E = 35 \text{ cm}$.

C. Calcul de l'épaisseur équivalente E :

Pour calculer l'épaisseur de chaque couche de la chaussée, il faut résoudre l'équation suivante :

$$c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3 = 35 \text{ cm}$$

On fixe deux épaisseurs et on calcule la 3^{ème} :

L'épaisseur de la couche de roulement en béton bitumineux BB est comprise entre 5 et 10cm ; en prenant une épaisseur réelle égale à 6cm, donc : $c_1 \times e_1 = 2 \times 6 = 12 \text{ cm}$;

L'épaisseur de la couche de base en grave concassé GC est comprise entre 10 et 25cm ; en prenant une épaisseur réelle égale à 12cm, donc : $c_2 \times e_2 = 1.0 \times 12 = 12 \text{ cm}$;

On déduit l'épaisseur de la couche de fondation, supposée faite en tuf :

$12 + 12 + c_3 \times e_3 = 35 \text{ cm}$, où $c_3 = 0.6$ pour le tuf.

$$e_3 = \frac{35 - (12 + 12)}{0.6} = 18.33 \text{ cm} ; \text{ soit } e_3 = 19 \text{ cm}$$

On aura :

L'épaisseur théorique équivalente : $E = 2 \times 6 + 1.0 \times 12 + 0.6 \times 19 = 35.4 \text{cm}$

L'épaisseur réelle : $E = 6 + 12 + 19 = 37 \text{cm}$

On note en fin qu'on n'aura pas besoin d'une couche de forme, puisque la chaussée sera réalisée dans la majorité du tronçon étudié sur un remblai de rétablissement qui présente la plateforme de la chaussée. En effet, on prévoit une couche de forme sur les déblais (vers les extrémités du tronçon étudié) en utilisant un matériau en tuf également, de 10cm d'épaisseur.



Fig. IV.9 : Les différentes couches et épaisseurs du corps de la chaussée.

IV.2. Etude de la voie ferrée

IV.2.1. Etude du tracé en plan

IV.2.1.1. Introduction

Comme pour les routes, la construction d'une voie ferrée passe par plusieurs étapes de conception et de calcul. La 1^{ère} étape sera donc l'étude de tracé en plan ; il s'agit de rechercher un meilleur emplacement du tracé de la voie qui permet l'adaptation facile avec le terrain naturel, vu les spécifications techniques des chemins de fer (déclivités maximales 1.6%, longueurs des alignements droits, valeurs des rayons minimaux des courbes verticales et horizontales, Etc.). Pour notre étude, on s'intéresse à l'étude d'un tronçon de la ligne ferroviaire, en alignement droit, de 1091m de longueur.

IV.2.1.2. site du projet

Selon l'étude géologique et topographique, la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat » de 110km sera implantée sur un terrain relativement plat dont la dénivelée entre les deux villes étant peu importante où la pente moyenne du terrain naturel est de 0.4%.

IV.2.1.3. Aperçue sur l'alignement droit

Il est préférable de prévoir des alignements droits de grandes longueurs, si le terrain naturel le permet, puisque dans le transport ferroviaire, les problèmes de monotonie du conducteur et l'éblouissement causé par les phares ne se posent pas pour les trains, puisque les véhicules ferroviaires sont guidés par les rails. Par ailleurs, les trains parcourent plus de distances en alignement droit qu'au virage en raison leur vitesse élevée.

La voie ferrée « Djelfa-Laghouat » passe sur son tracé par un alignement droit de 1091m qui est notre tronçon à étudier. La longueur minimale d'un alignement droit de chemin de fer ne doit pas être inférieure à 30m (longueur maximale d'une seule voiture), donc il n'y aura pas de problème de longueur.

Vu que le tronçon est un alignement droit, et c'est le cas le plus simple, il n'y a pas de grandes choses à vérifier.

IV.2.2. Etude du profil en long

IV.2.2.1. Introduction

L'étude du profil en long est la seconde étape d'étude de la voie ferrée. Il s'agit d'une coupe longitudinale faite suivant un plan vertical dont l'axe est pris au milieu de la plateforme, puisque la ligne ferroviaire est à deux voies à sens opposées. En traçant la ligne rouge du projet, une seule déclivité se présente.

IV.2.2.2. vérification de la longueur de déclivité

Dans le cas meilleur, le tracé de chemin de fer repose sur un terrain de déclivité longitudinale nulle ($i=0\%$) c'est-à-dire un palier, mais, dans le cas le plus défavorable où le terrain est accidenté, la déclivité ne doit pas dépasser 1.6% et 1.8% exceptionnellement si la longueur de déclivité est inférieure à 3000m. En fait, et pour l'étude de notre tronçon, on va fixer la déclivité à 0.1% (ou 1 pour 1000).

Calcul de la longueur de déclivité :

La longueur minimale de la déclivité peut être calculée avec la formule suivante :

$$L_{\min} = \frac{V}{2} \quad (\text{IV.22})$$

Avec :

L_{\min} : longueur minimale normale (m) ;

V : vitesse sur le tracé en (km/h).

AN :

Avec une vitesse maximale des trains de voyageurs de 220 km/h :

$$L_{\min} = \frac{220}{2} = \boxed{110\text{m}}$$

Vu la longueur du tronçon de 1091m, il est clair que cette distance fait presque 10 fois la longueur minimale, donc la longueur est vérifiée.

IV.2.2.3. Etude du profil en long à l'aide de logiciel

Le calcul informatique donne des résultats précis dont le détail est comme suit :

- ❖ altitude de terrain naturel au point de début A : $H_{TN1} = 813.50\text{m}$;
- ❖ altitude de terrain naturel au point de fin du projet D : $H_{TN2} = 813.00\text{m}$;
- ❖ altitude du projet au point de début B : $H_{DP} = H_{TN} + 3\text{m}$ (épaisseur de couche de forme en remblai pour rattraper le niveau avec les ponts rails sur le tracé) = 816.50m ;
- ❖ altitude du projet au point de fin C : $H_{FP} = 815.419\text{m}$
- ❖ pente $i = 0.1\%$;
- ❖ longueur totale du projet : $L = 1091\text{m}$.

Le tableau IV.6 résume les résultats du calcul.

Tableau IV.6 : Résultats de l'étude du profil en long à l'aide de logiciel COVADIS

Points	Abscisse (m)	Altitude (m)	Pente (%)
A	0.000	813.500	0.1
B	0.000	816.510	
C	1091.00	815.419	
D	1091.00	813.000	
Longueur totale de la voie ferrée	L=1091m		

L'aspect général du profil en long est montré sur la figure IV.10.

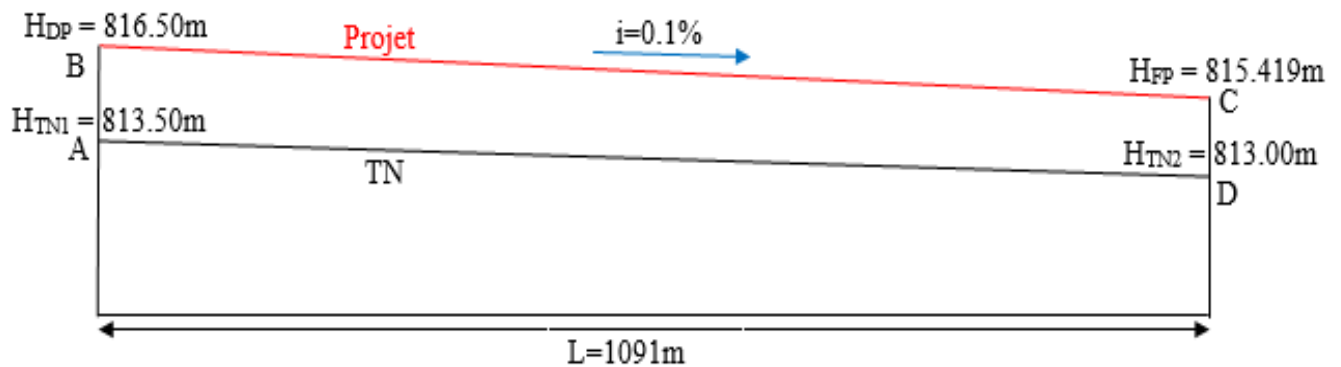


Fig. IV.10 : Aspect général du profil en long de la voie ferrée.

IV.2.3. Etude du profil en travers

Les profils en travers type des voies ferrées les plus répandus des lignes ferroviaires sont à une seule voie ou à deux voies de sens opposées. Dans la coupe transversale, on détermine selon les normes universelles les différentes largeurs et écartements des composants de la voie, et en se référant aux documents techniques « géométrie de la voie » de la SNTF. Le profil en travers type de la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghout » à double voies est comme suit :

- ✳ écartement des rails : 1.435m ;
- ✳ entraxe des voies : 4.20m ;
- ✳ largeur de la plateforme en double voie : 13.60m ;
- ✳ entraxe les poteaux de caténaires et la voie : 3.25m ;
- ✳ dévers transversal en toit pour la couche de forme : 4% .

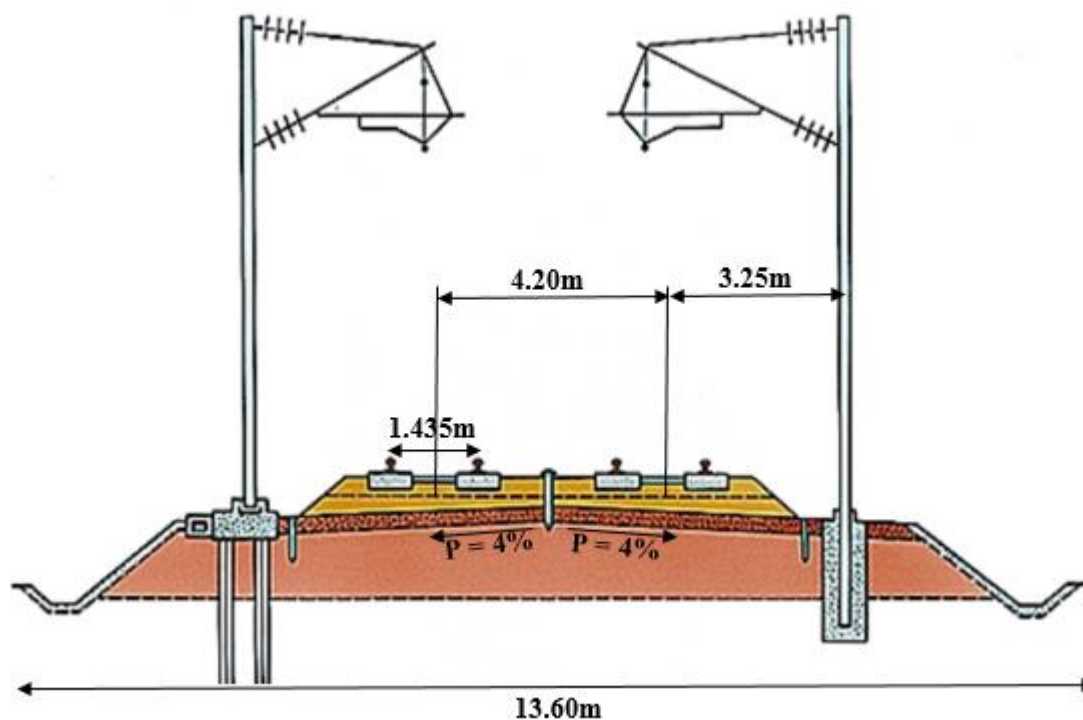


Fig. IV.11 : Profil en travers type de la voie ferrée à double voies.

Nota : Dans le présent projet, on a un profil en travers type en remblai seulement, car la voie est implantée presque tout le long du tracé sur un terrassement en remblai et parfois sur des ouvrages d'art.

Cubatures :

Le volume des remblais a été calculé à l'aide du logiciel COVAIDS. On a trouvé un volume cumulé de remblais de 122179m^3 , rappelant que le volume des déblais est nul. Les détails de calcul informatique sont joints dans l'annexe des cubatures.

IV.2.4. Dimensionnement de la voie ferrée

Cette étape consiste, en 1^{er} lieu, à déterminer l'épaisseur convenable des couches d'assise (couche de ballast, couche sous ballast, couche de protection si nécessaire et la couche de forme) de la voie ferrée, il s'agit donc de l'infrastructure. Et en 2^{ème} lieu, le dimensionnement des rails, des traverses, nombre de traverses, nombre de joints de dilatation, il s'agit là de l'étude de la superstructure.

IV.2.4.1. Dimensionnement de l'infrastructure ferroviaire

C'est la partie inférieure sur laquelle repose une voie ferrée ; elle assure plusieurs rôles (*paragraphe : I.3.2.1.1. Généralité*). L'épaisseur des couches d'assise dépend de :

- ✚ caractéristique globale de la plateforme ;
- ✚ conditions climatiques du site ;
- ✚ condition du trafic ;
- ✚ caractéristiques de l'armement (type de rail, type et espacement des travers).

Le dimensionnement de la couche d'assise et de la couche de forme sera effectué selon les prescriptions de la fiche UIC 719R.

IV.2.4.1.1. La classe portante de la plateforme

Selon les caractéristiques géotechniques ainsi que les conditions hydrauliques et hydrogéologiques, et sur la base de classe GTR du sol excavé, la classe du terrain le long du tronçon d'étude correspond au **QS2** « sol de qualité moyenne ». Pour cela, on peut déterminer la classe portante de la plateforme qui a une relation directe avec la qualité du sol, il s'agit donc d'une plateforme de portance moyenne **P2**.

IV.2.4.1.2. calcul de l'épaisseur minimale

L'épaisseur minimale de la couche d'assise est donnée par la relation suivante (*mentionnée en : I.3.2.4.1. Détermination de l'épaisseur minimale de la couche d'assise*) : $e = E+a+b+c+d+f+g$. Avec une qualité de sol de type **QS2**, une plateforme **P2** et pour une voie rapide de $V \leq 220\text{km/h}$, les valeurs des composants de « e » sont :

- $E = 0.55\text{m}$, pour les plates forme de classe P2 ;
- $a = -0.10\text{m}$, pour une voie qui appartient au groupe 3 (UIC 5 et UIC6) ;
- $b = 0.04\text{m}$, pour une traverse en béton de longueur $L=2.42\text{m}$ ($\frac{2.5-2.42}{2} = 0.04\text{m}$) ;
- $c = 0\text{m}$, pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne) ;
- $d = 0.05\text{m}$, pour une charge maximale par essieu de 22.5 tonnes ;
- $f = 0.05\text{m}$, pour les plates formes P2 des lignes ferroviaires à grande vitesse ;
- $g = +$ géotextile, puisque la couche de forme est en sol QS2.

AN :

$$e = 0.55 - 0.1 + 0.04 + 0 + 0.05 + 0.05 = \boxed{0.59\text{m}}$$

Il est clair donc, que l'épaisseur de l'infrastructure doit être supérieure ou égale à 59cm. Mais en suivant les recommandations de l'ANESRIF on adopte les épaisseurs suivantes :

- ✱ couche de ballast : 30cm ;
- ✱ couche sous-ballast : 25cm ;
- ✱ couche de forme : 35cm ;
- ✱ épaisseur totale : 90cm.

Cubatures :

Après avoir calculé les différentes épaisseurs de l'infrastructure ferroviaire, on a calculé, à l'aide de logiciel COVADIS, le volume cumulé pour chaque couche. On distingue :

- ✓ un volume cumulé de la couche de forme de 5708.575m^3 ;
- ✓ un volume cumulé de la couche sous ballast de 3817.781m^3 ;
- ✓ un volume cumulé de la couche de ballast de 4585.797m^3 .

Les détails de calcul informatique sont joints dans l'annexe des cubatures.

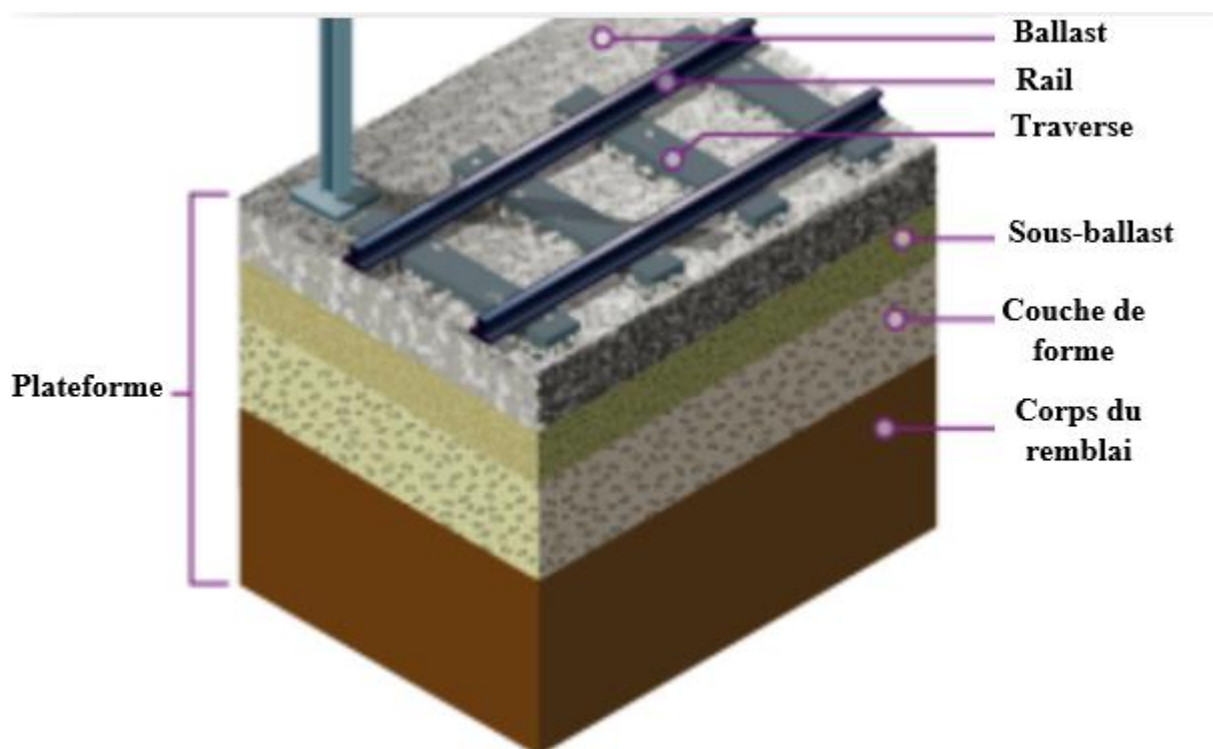


Fig. IV.12 : Structure d'une voie ferrée.

IV.2.4.2. Dimensionnement de la superstructure ferroviaire

C'est la partie supérieure de la voie ferrée qui assure la circulation des trains, elle est composée des rails, des traverses, des attaches et des éclisses. Les rails reçoivent les charges directement et les transmettent aux traverses. Les traverses fixent, par l'intermédiaire des attaches, l'écartement des rails et maintiennent la voie, d'une part, et reçoivent les charges venant des rails et les transmettent à l'infrastructure d'autre part. Par ailleurs, et en raison de la variation de longueurs des rails à cause de la variation de la température, l'utilisation des éclisses ont pour but de conserver les ouvertures des joints de dilatation et d'assurer une performance adéquate au niveau de ces points faibles.

IV.2.4.2.1. Détermination de type des traverses

Comme on le sait, il existe 3 types de traverses : traverses en bois, en béton et en métal. En Algérie, il existe des voies ferrées anciennes avec des traverses en bois qui sont toujours en exploitation. Aujourd'hui, et dans la réalisation des nouvelles lignes ferroviaires, les traverses en bois ne sont pas adoptées à cause de la rareté du bois en Algérie d'une part, et du coût élevé de l'importation de la matière d'autre part. En fait, le béton est le matériau qui a concurrencé le bois, et grâce à son aspect économique (prix moins cher) et la satisfaction des exigences techniques (résistance mécanique élevée, durabilité ...etc.), les nouvelles voies ferrées sont construites avec des traverses en béton. Et dans le même contexte, l'utilisation des traverses métalliques est rare et spécifique.

IV.2.4.2.1.1. traverses en béton type bi-bloc

C'est une traverse en béton armé ordinaire (non précontraint) constituée par 2 blochets massifs à assise large, réunis par une entretoise métallique qui traverse les blochets d'outre en outre et qui constitue l'ossature principale des blochets.



Fig. IV.13 : TBA bi-bloc.

TBA : traverse en béton armé.

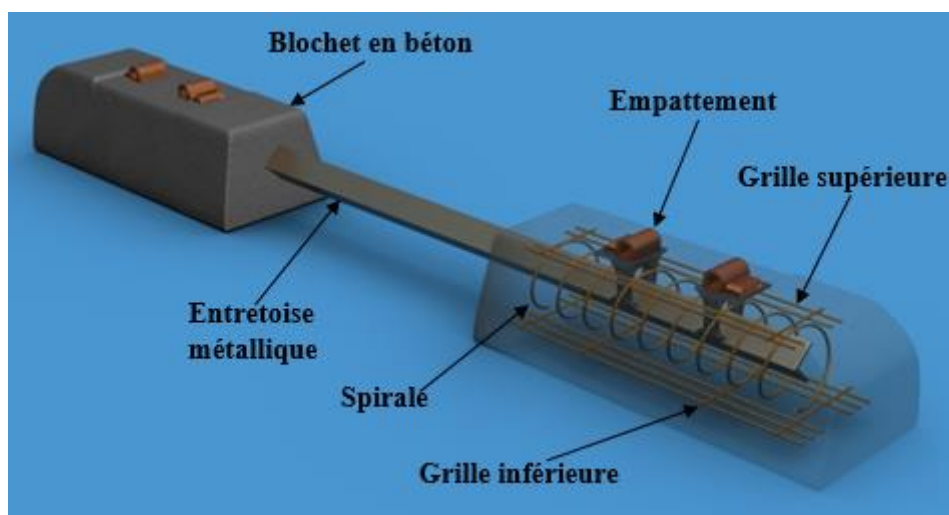


Fig. IV.14 : Constituants de TBA bi-bloc.

IV.2.4.2.1.2. traverses en béton type monobloc

C'est une traverse en béton précontraint sous forme d'un seul bloc ; elle est caractérisée par une forte épaisseur sous rail et une épaisseur au milieu réduite au minimum de manière à réaliser le maximum de déformabilité et le minimum de poids. La concentration des aciers du précontraint est à la partie inférieure, leur excentricité favorise la résistance aux moments positifs.



Fig. IV.15 : TBP monobloc.

TBP : traverse en béton précontraint.

IV.2.4.2.1.3. Comparaison entre les traverses bibloc et monobloc

Bien que leur matériau de base soit similaire, les traverses bibloc et monobloc se diffèrent dans plusieurs points. Une comparaison entre les deux types de traverse est présentée dans l'annexe I B1.

Conclusion :

En raison de sa fabrication en Algérie, son poids pas gênant, sa stabilité, ses performances techniques, et son coût moins cher, on opte pour la réalisation de la voie ferrée d'une vitesse maximale de 220km/h, des traverses en béton de type bibloc. Les dimensions normalisées de la traverse bibloc sont comme suit :

- ✓ longueur du blochet : 84cm ;
- ✓ largeur du blochet : 29cm ;
- ✓ épaisseur du blochet : 22cm ;
- ✓ longueur totale de la traverse : 2.415m ;
- ✓ poids approximatif : 245kg.

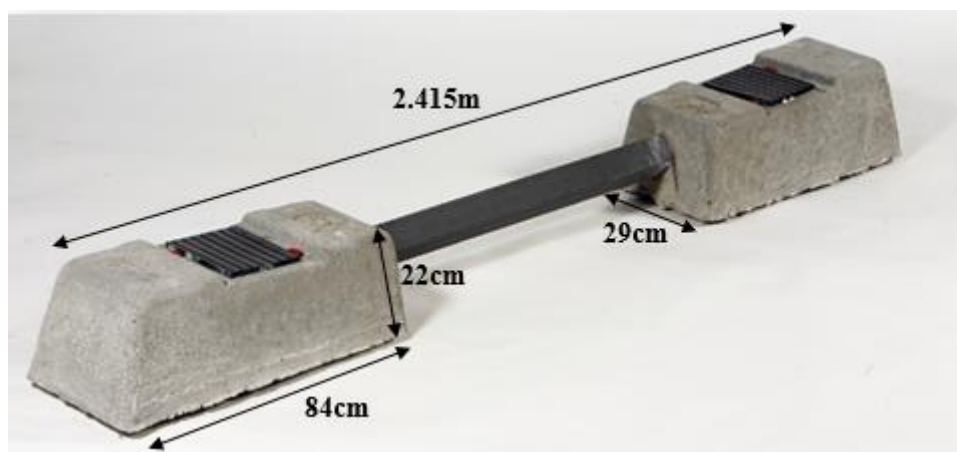


Fig. IV.16 : dimensions de la traverse bibloc.

IV.2.4.2.2. fixation et attaches

Il existe plusieurs systèmes permettant la fixation du rail sur les traverses, ces systèmes varient en fonction du type de traverses, du type de rail et du mode de pose de la voie (LRS ou barres normales). Pour notre cas, le système d'attache le plus répandu pour fixer des rails de type Vignole sur des traverses biblocs est de type Nabla (Figure...), il est composé de :

- ❖ tire-fond : attache vissée pour une meilleur résistance à l'arrachement ;
- ❖ rondelle : elle supporte la pression du tire-fond d'une manière à ne pas laisser les moindres des vides entre le tire-fond et le crapaud ;
- ❖ crapaud : élément de fixation du rail ;
- ❖ butée isolante Nabla : elle donne une certaine souplesse à l'attache, et un isolant utilisé surtout pour les voies électrifiées ;
- ❖ semelle : sous le rail, permet d'évacuer les frottements fer/béton et d'alléger les charges.

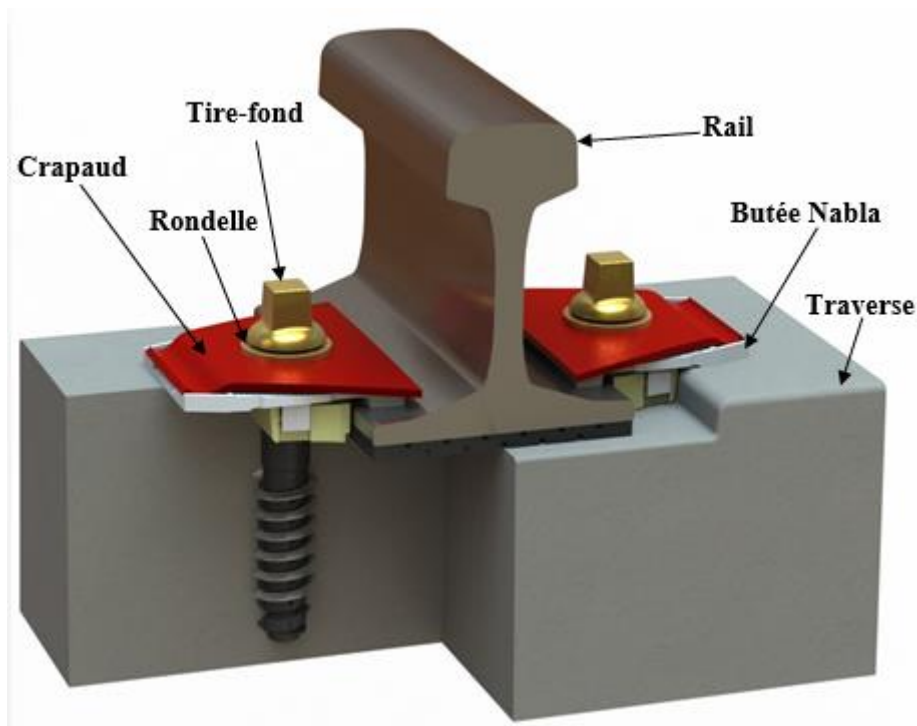


Fig. IV.17 : Composants de l'attache de type Nabla.

IV.2.4.2.3. Le travelage

Le travelage est défini comme étant la densité linéaire de traverses dans une voie ferrée, ou c'est le nombre de traverse par kilomètre. Le travelage dépend des charges maximales des trains, la vitesse de tracé et le profil du rail. Le calcul du nombre de traverses se fait par l'application de la formule suivante :

$$N = \frac{1000}{e} \quad (\text{IV.23})$$

Avec :

N : nombre de traverses ;

e : espacement en axe des traverses.

AN :

e = 0.60m ;

$N = \frac{1000}{0.60} = 1666.6$ traverses.

Pour une ligne ferroviaire de vitesse moyennement élevée, la valeur est standardisée à $N = 1667$ traverses/km.

Pour une distance en l'alignement droit de 1091m, qui représente la longueur de notre projet :

$$N = \frac{1091 \times 1667}{1000} = 1818.7 \text{ traverses.}$$

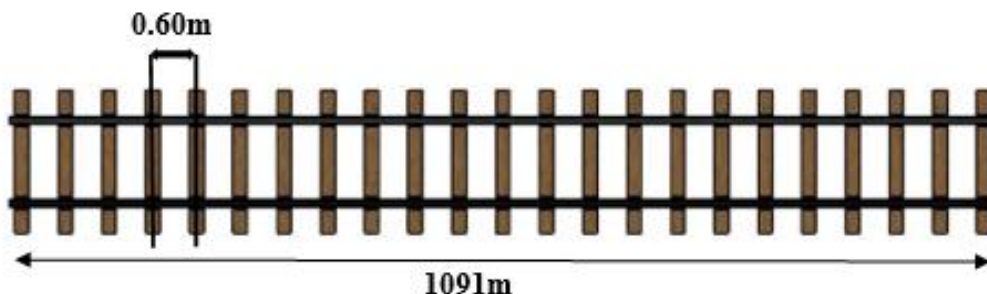


Fig. IV.18 : Travelage de la voie ferrée.

IV.2.4.2.4. Dimensionnement des rails

Les rails sont de trois types : - Rail champignon, qui était utilisé auparavant. - Rail à gorge, c'est un type non saillant utilisé surtout pour les tramways et les métros. - Et le rail Vignole qui est le plus utilisé actuellement pour les lignes ferroviaires de différentes catégories. Le rail supporte et guide la roue du matériel roulant, c'est donc l'élément essentiel de la sécurité de la voie. Il reçoit directement les efforts qui s'exercent sur la voie ; ces efforts sont verticaux, transversaux et longitudinaux.

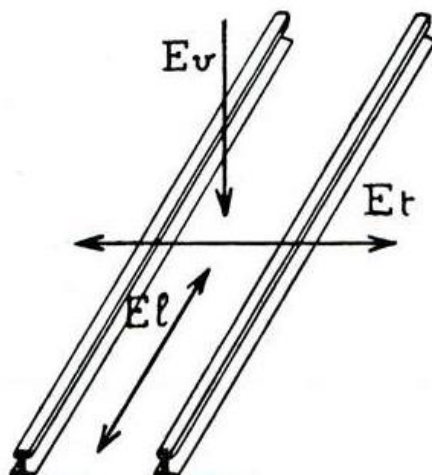


Fig. IV.19 : Efforts supportés par les rails.

Le but de dimensionnement est de déterminer le profil du rail à utiliser pour la voie ferrée. Le principe de cette étape consiste à considérer le rail comme étant une poutre continue une fois entre les deux cas suivant :

- simplement appuyée sur les traverses ;
- et encastrée sur les traverses (fixation avec les attaches).

La roue de la locomotive est supposée être au milieu de la distance entre deux traverses, elle est donc comme une charge statique concentrée au milieu, ce qui signifie que le rail va subir une flexion simple. Dans ce cas, deux moments fléchissant max s'apparaîtront, le moment fléchissant max dû à la flexion de rail simplement appuyé et le moment fléchissant max en cas de l'encastrement. On est alors amené à admettre un moment moyen pour la suite du calcul.

Application au projet :

✚ Calcul des moments fléchissant

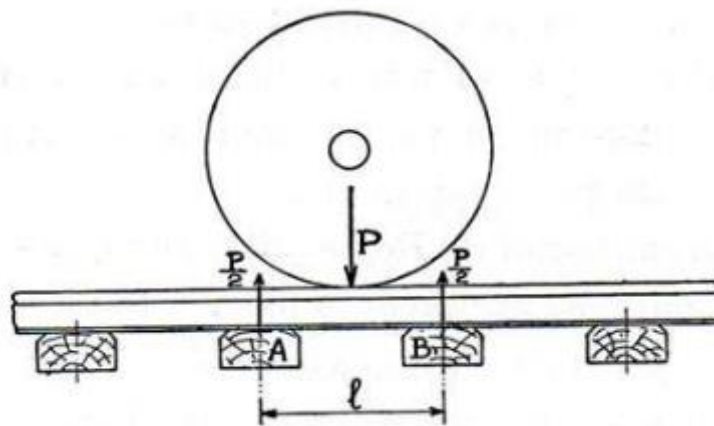


Fig. IV.20 : Effort de la roue sur le rail.

Avant de calculer les moments, il faut déterminer la charge dynamique du train en mouvement appliquée sur le rail, puisque la charge statique est prise à l'arrêt du train. Cette charge est adoptée comme une majoration de la charge statique. Selon l'ingénieur hollandais *Driessen*, le coefficient de majoration dépend de la vitesse et il est donné par cette formule :

$$C_v = 1 + \frac{v^2}{30\,000} \quad (\text{IV.24})$$

Avec :

V : (en km/h) la vitesse maximale de la ligne ferroviaire ;

AN :

Pour une vitesse maximale de 220km/h.

$$C_V = 1 + \frac{220^2}{30\,000} = \boxed{2.61}$$

La charge statique est multipliée par 2.61 pour obtenir la charge dynamique.

On calcule :

- Le moment fléchissant max à la flexion simple M_S :

$$M_S = \frac{P \times C_V \times l}{4} \quad (\text{IV.25})$$

Avec :

$P = 25t$: charge maximale statique par essieu ;

$C_V = 2.61$: coefficient de majoration de la charge ;

$l = 0.60m$: distance entre axe des traverses.

AN :

$$M_S = \frac{25 \times 2.61 \times 0.60}{4} = \boxed{9.7875 \text{ t.m par essieu}}$$

$$\text{Et par roue : } \frac{9.7875}{2} = \boxed{4.89 \text{ t.m}}$$

- Le moment fléchissant max à l'encastrement M_e :

$$M_e = \frac{P \times C_V \times l}{8} \quad (\text{IV.26})$$

AN :

$$M_e = \frac{25 \times 2.61 \times 0.60}{8} = \boxed{4.89 \text{ t.m par essieu}}$$

$$\text{Et par roue : } \frac{4.89}{2} = \boxed{2.44 \text{ t.m}}$$

- La valeur moyenne du moment fléchissant :

$$M = \frac{M_S + M_e}{2} \quad (\text{IV.27})$$

Avec :

M_s : moment fléchissant max à la flexion simple ;

M_e : moment fléchissant max à l'encastrement.

AN :

$$M = \frac{4.89 + 2.44}{2} = \boxed{3.665 \text{ t.m par roue}}$$

✚ Détermination du profil du rail

Par la condition de résistance, on peut déterminer le profil du rail :

$$\sigma_{\max} \leq \bar{\sigma} \quad (\text{IV.28})$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{w_{xx}} \quad (\text{IV.29})$$

$$\frac{M}{w_{xx}} \leq \bar{\sigma} \quad (\text{IV.30})$$

Avec :

σ_{\max} : contrainte maximale ;

$\bar{\sigma}$: résistance à traction de l'acier ;

M : moment fléchissant max ;

W_{xx} : module d'inertie par rapport à l'axe x-x.

AN :

On cherche W_{xx} et on détermine le profil de rail en comparant cette valeur avec une autre plus grande dans le catalogue des rails.

$$W_{xx} \geq \frac{M}{\bar{\sigma}}$$

$$M = 3.665 \text{ t.m} = 3.665 \times 10^5 \text{ kg.cm}$$

$$\bar{\sigma} = 6800 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_{xx} \geq \frac{3.665 \times 10^5}{6800}$$

$$\boxed{W_{xx} \geq 53.89 \text{ cm}^3}$$

Selon le calcul effectué, le choix théorique le plus économique du type du rail est tombé sur le rail S18 (spécifications techniques de la norme DIN 5901) qui a une valeur de module d'inertie de $W_{xx} = 58.1\text{cm}^3$. Ses caractéristiques sont les suivants :

- hauteur : $H = 93\text{mm}$;
- largeur de la base : $B = 82\text{mm}$;
- largeur de la tête : $C = 43\text{mm}$;
- épaisseur de l'âme : $E = 10\text{mm}$;
- poids : $P = 18.3 \text{ kg/ml}$
- moment d'inertie : $I_{xx} = 278\text{cm}^4$;
- module d'inertie : $w_{xx} = 58.1\text{cm}^3$;
- section : $S = 23.14\text{cm}^2$;
- résistance à la traction : $\bar{\sigma} = 6800 \text{ kg/cm}^2$.

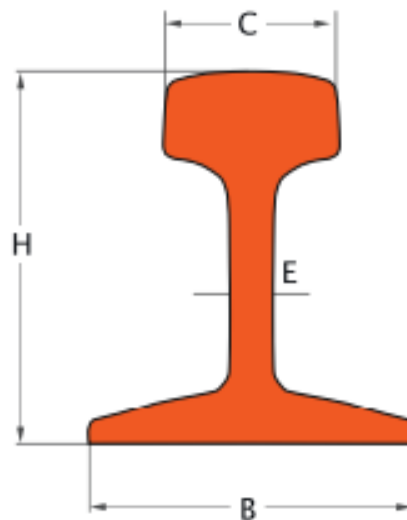


Fig. IV.21 : Rail Vignole du type S18.

Conclusion :

De plus que le choix de type du rail dépend de la charge maximale (train marchandises) et la vitesse (train voyageurs), il dépend aussi de type de traverses utilisées. En fait, et pour la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat », l'ANESRIF n'a pas adopté le rail S18 mais elle a opté pour le rail UIC 60E1 qui s'harmonise bien avec le type de traverse bibloc et qui est plus résistant et plus fiable que le rail S18. Selon la norme NF EN 13674-1, les caractéristiques du rail UIC 60E1 sont comme suit :

- hauteur : $H = 172\text{mm}$;
- largeur de la base : $B = 150\text{mm}$;
- largeur de la tête : $C = 72\text{mm}$;
- épaisseur de l'âme : $E = 16.5\text{mm}$;
- poids : $P = 60.21 \text{ kg/ml}$;
- moment d'inertie : $I_{xx} = 3038.3\text{cm}^4$;
- module d'inertie : $w_{xx} = 335.6\text{cm}^3$;
- section : $S = 76.7\text{cm}^2$;
- résistance à la traction : $\bar{\sigma} = 8800 \text{ kg/cm}^2$.

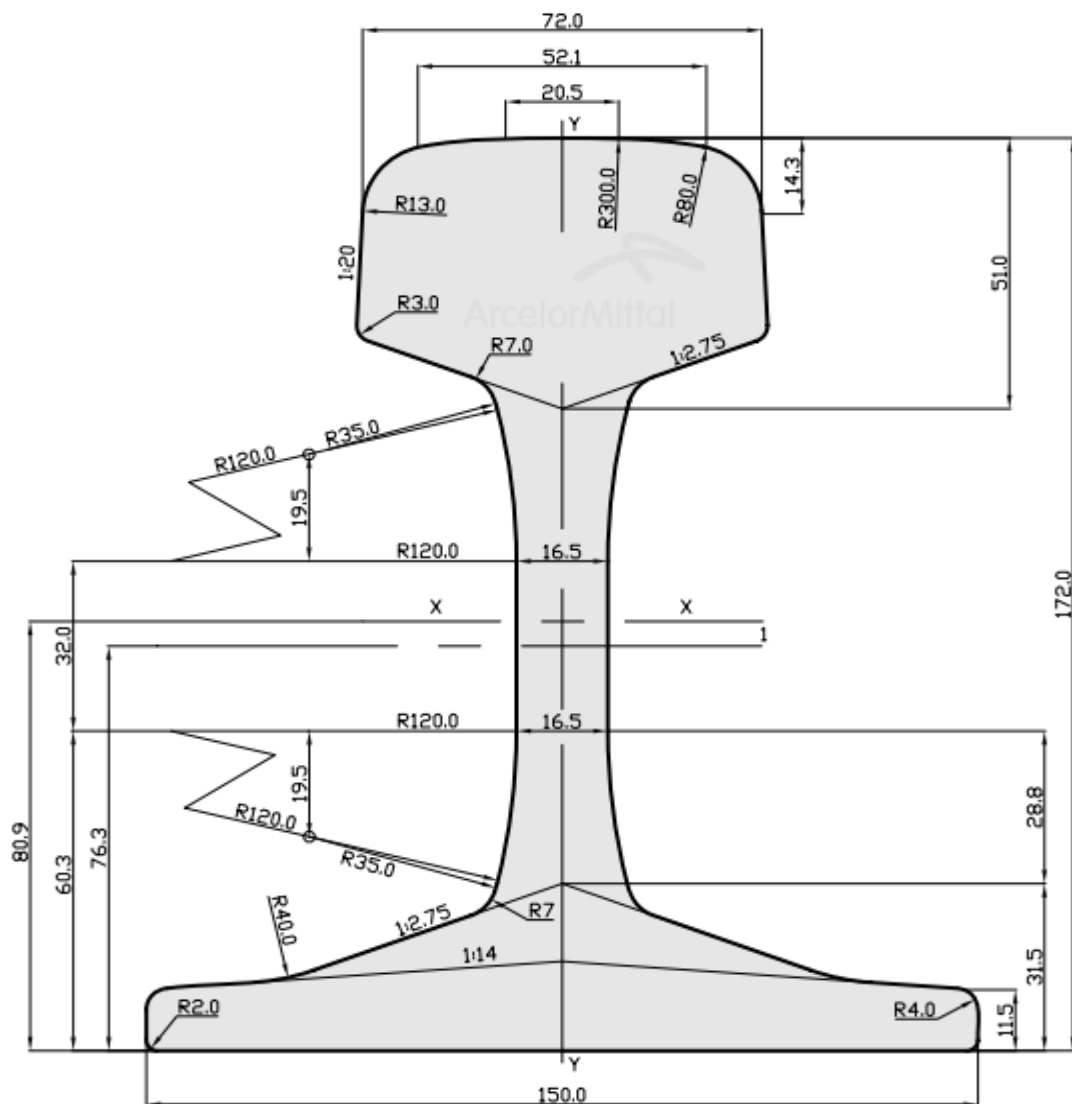


Fig. IV.22 : Rail Vignole de type UIC 60E1.

IV.2.4.2.5. longueur des rails et joints de dilatation

A titre d'exemple, l'industrie des rails en Belgique lamine des barres de 54m que l'on scie aux longueurs désirées. En effet, les rails utilisés dans réalisation des chemins de fer en Algérie sont importés à des longueurs réduites de 18m pour un seul rail, à cause de difficulté du transport du port au chantier d'une part, et de leur poids élevés dont sa manipulation qui demande une grande énergie d'autre part. Au chantier, les rails sont soudés pour obtenir la longueur souhaitée, c.à.d, séparant deux joints de dilatation successifs.

IV.2.4.2.5.1. Joints de dilatation

Les rails sont susceptibles de se dilater ou de se rétrécir à cause de la variation de température de la région. Pour cela, il faut prévoir des joints de dilatation qui assure le libre mouvement longitudinal des rails. La largeur de joint dépend de la longueur, l'étendue de la température et le coefficient de dilatation des rails. Les formules mentionnées dans le paragraphe I.3.2.3.2. *Eclissage* permettent de calculer la longueur maximale des rails qui correspond à une largeur maximale de joint de 2.5cm. On rappelle que :

$$e = d + s$$

$$d = \alpha \times \Delta T \times L$$

Où :

e : largeur de joint de dilatation ;

d : dilatation max du rail ;

s : marge de sécurité de 1 à 2mm ;

α : coefficient de dilatation (mm/°C.ml) ;

ΔT : l'étendue de température (°C) ;

L : longueur de la barre (m).

Application au projet :

❖ **Données de calcul :**

Les données suivantes sont en vigueur en Algérie :

$$e = 25\text{mm} ;$$

$$s = 2\text{mm} ;$$

$$\alpha = 0.011\text{mm}/^{\circ}\text{C.ml} ;$$

$\Delta T = 70^{\circ}\text{C}$. (La température en Algérie est comprise entre -10 et 60°C , ce qui fait $\Delta T = 60 - (-10) = 70^{\circ}\text{C}$, et c'est l'étendue de la température).

Pour déterminer la longueur maximale des rails, on fixe $d=23\text{mm}$ et on calcule L :

$$L = \frac{d}{\alpha \times \Delta T} = \frac{23}{0.011 \times 70} = \boxed{29.87\text{m} \approx 30\text{m}}$$

Donc, pour chaque 30m de rail, il faut un joint de dilatation éclissé.

Pour une distance de 1091m :

$$\frac{1091}{30} \approx \boxed{36 \text{ joints}}$$



Fig. IV.23 : Exemple d'un joint de dilatation éclissé.

IV.2.4.2.5.2. Eclissage

L'éclissage est l'opération de faire raccorder deux coupons de rails soudés à l'aide d'un dispositif métallique qui s'appelle « éclisse », dont chaque type de rail est relié, avec un autre rail, par le type d'éclisse qui lui convient. Pour notre cas, l'éclisse avec laquelle les rails de type UIC 60E1 sont raccordés entre eux sont des éclisses à 4 trous. Leurs caractéristiques selon la norme NF EN 13674-1 sont comme suivant :

- ◆ longueur : 600mm ;
- ◆ largeur : 120.9mm ;
- ◆ épaisseur : (45mm partie supérieur, 43mm partie inférieur) ;
- ◆ poids : 17.47kg :
- ◆ diamètre des trous : 28mm ;
- ◆ boulons TD HL 20 x 130.

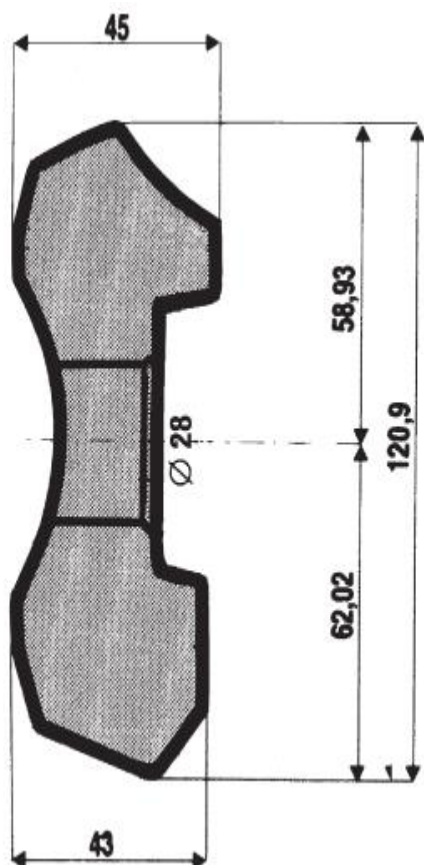


Fig. IV.24 : Eclisse -vue de coté-.

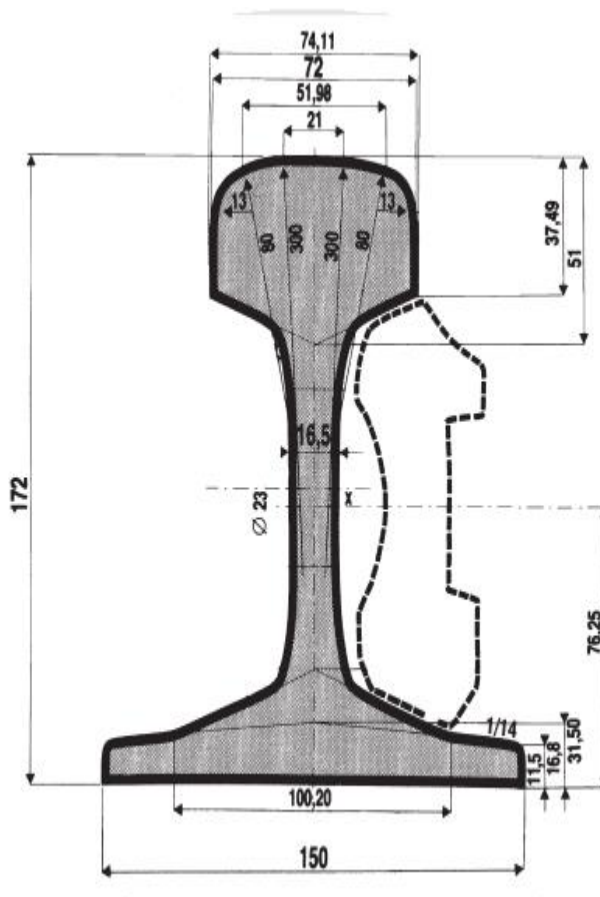


Fig. IV.25 : Eclisse et rail - vue de coté - .

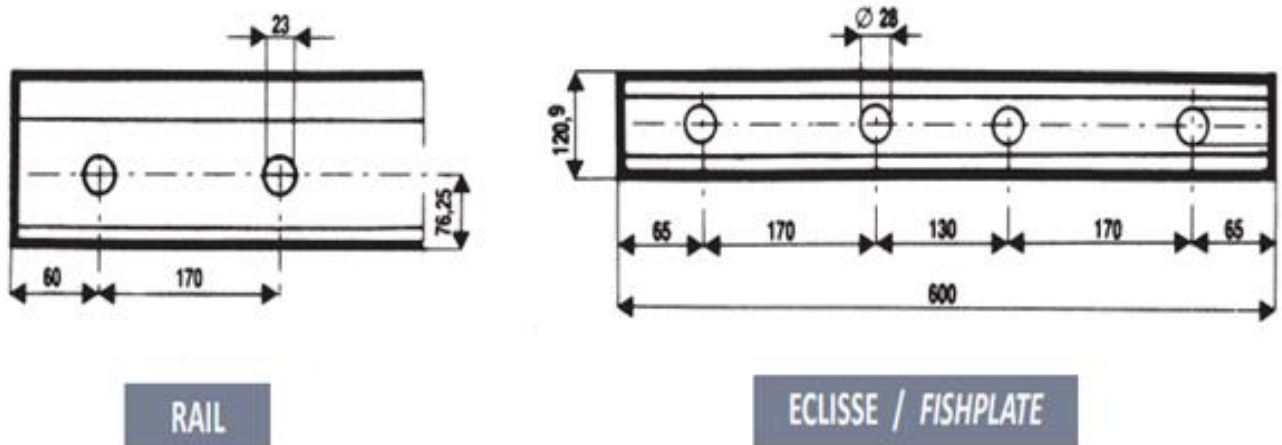


Fig. IV.26 : Diagrammes de perçage.

CHAPITRE V :
Aménagement de l'intersection
« route – chemin de fer »

Chapitre V : Aménagement de l'intersection « Route – Voie ferrée »

V.1. Introduction

La construction de la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghout conduit à plusieurs intersections à niveau avec la route nationale n°1 ; cette dernière va être aménagée en un caractère autoroutier de 3 voies par sens. Pour cela, et comme on l'a mentionné dans la partie II.3, les dangers de croisement à niveau entre les deux voies de circulation, route et chemin de fer, peuvent être éliminés par un passage d'une voie au-dessus de l'autre, appelé passage dénivelé : soit par un passage supérieur de la route sur un ouvrage dit « pont routier » soit par le passage supérieur de la voie ferrée sur un ouvrage dit « pont rail » franchissant la route. Dans notre projet, et vu les conditions techniques de la réalisation des routes et des chemins de fer spécialement (le tracé doit être relativement plat), les autorités ont décidé de surélever la route sur un pont-route en permettant le passage inférieur de la voie ferrée. Dans ce chapitre, on va choisir le type de pont qui convient mieux, techniquement et économiquement, pour notre cas, et qui résoudra au mieux les problèmes de posés par le croisement à niveau, tant pour la circulation routière que pour la circulation ferroviaire.

V.2. Choix de l'aménagement

Vu le relief régulier au niveau de notre croisement, c'est la route qui va être relevée, puisque la sur élévation de la voie ferrée sur remblais ne supporte pas des déclivités trop fortes ; il s'agit donc d'un passage routier supérieur. Par ailleurs, il est clair que le choix du type de pont qui va permettre le passage supérieur de la route et le passage inférieur de la voie ferrée, passe par plusieurs critères. Pour cela, on va étudier les critères suivants pour choisir à la fin le type de pont convenable.

V.2.1. La voie portée

L'ouverture à franchir est le critère principal dans le choix du type de pont. La largeur totale de la plateforme ferroviaire détermine la longueur de cette portée, et selon la figure V.1 qui présente la largeur de la plateforme ferroviaire, on peut déterminer la portée minimale du pont. On adopte une portée de 14m.

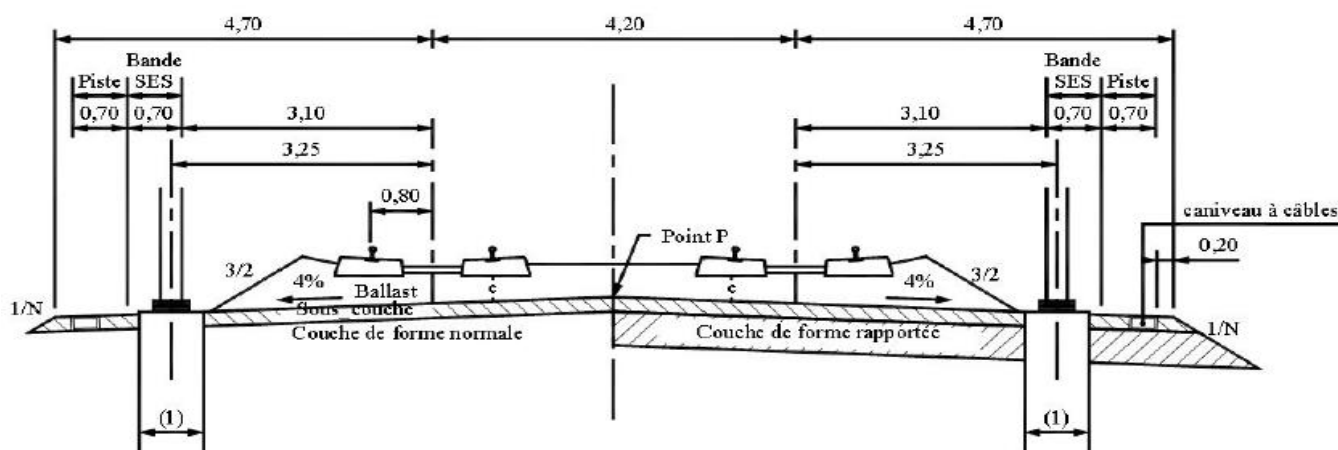


Fig. V.1 : Plate-forme ferroviaire à double voie.

V.2.2. Hauteur de l'ouvrage

En général, pour déterminer la hauteur du pont (hauteur des piles et des culées) il faut savoir la profondeur de la brèche à franchir si c'est le cas, ou savoir la hauteur des matériels du transport terrestre (véhicules routier, véhicules ferroviaire) passant au-dessous du pont s'il s'agit d'une voie de communication. Pour notre cas, c'est la voie ferrée, reposant également sur un terrassement en remblai, qui passe au-dessous du pont. La hauteur suffisante qu'on doit fournir sous le pont pour assurer le passage de tout gabarit de trains et implanter la voie ferrée est de 10.5m à partir du terrain naturel, y compris la hauteur du remblai (valeur mentionnée dans le paragraphe *Altitude H_s du sommet S* dans la partie IV.1.2. Profil en long) (figure V.2).

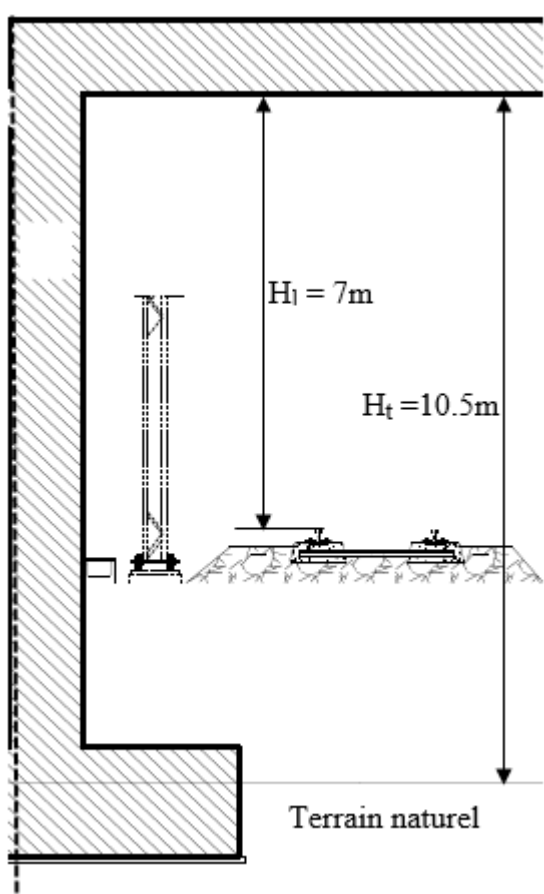


Fig. V.2 : Hauteur du pont.

H_1 : hauteur libre ;

H_t : hauteur totale.

V.2.3. Nature du terrain

La nature du sol sur lequel le pont va être implanté joue un rôle essentiel dans le choix du type des fondations. Si la capacité portante du sol est faible, il faut recourir à des fondations profondes, alors que pour un sol de bonne portance, les fondations superficielles sont suffisantes. En se référant au rapport géotechnique (partie III.3.1.1. Données géotechniques relatives à l'ouvrage d'art), notre ouvrage sera réalisé sur un sol de bonne portance, alors, on propose des fondations superficielles tout en prévoyant un système de drainage autour des fondations afin d'éviter les infiltrations des eaux pluviales.

V.2.4. Coût de construction

Le coût de construction se diffère en fonction du type et des dimensions de l'ouvrage ainsi que des matériaux de construction. En Algérie, la majorité des ouvrages d'art sont construits en béton armé qui satisfait les conditions techniques et économiques. En effet, notre ouvrage, est construit en béton armé et il est de dimensions moyennement faibles.

V.2.5. Conclusion

Après avoir étudié certains critères pour le choix de type de pont, et vu que la voie portée ne dépasse pas les 14m, la hauteur à partir de terrain naturel de 10.5m, on propose un pont portique ouvert (pont cadre ouvert) en béton armé qui repose sur des fondations superficielles comme le montre la figure V.3.

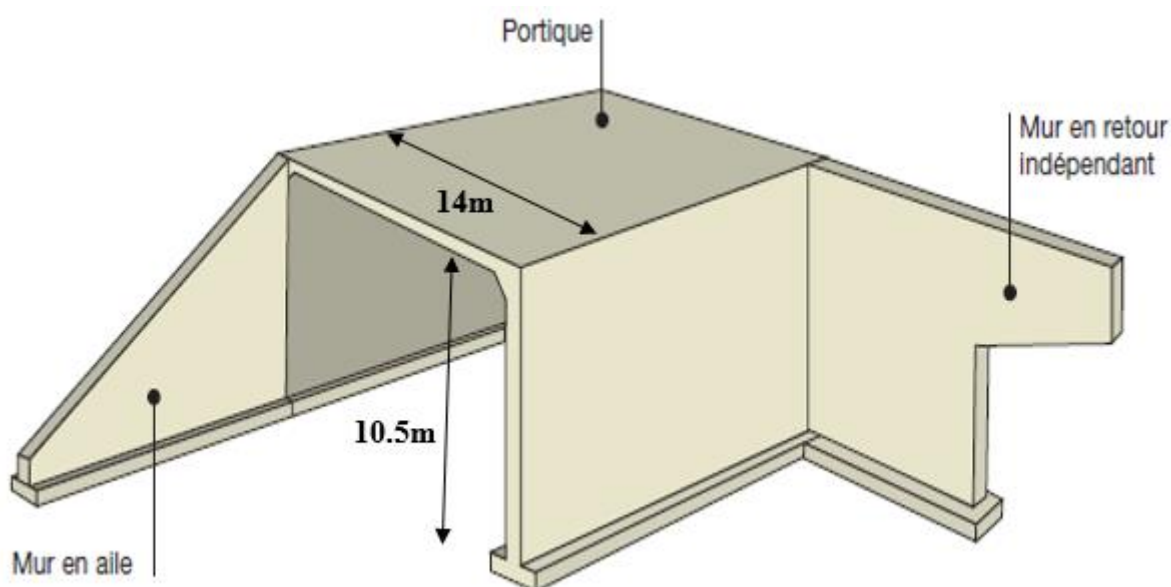


Fig. V.3 : Schéma d'un pont portique (pont cadre ouvert) montrant les différents types de murs latéraux.

V. 3. Tracé

L'ouvrage à réaliser est un pont portique ouvert avec des murs en ailes inclinés et faisant un angle de 50 grades avec l'axe de la route nationale n°1 ; la figure V.4 présente une vue en plan de l'emplacement de l'ouvrage.

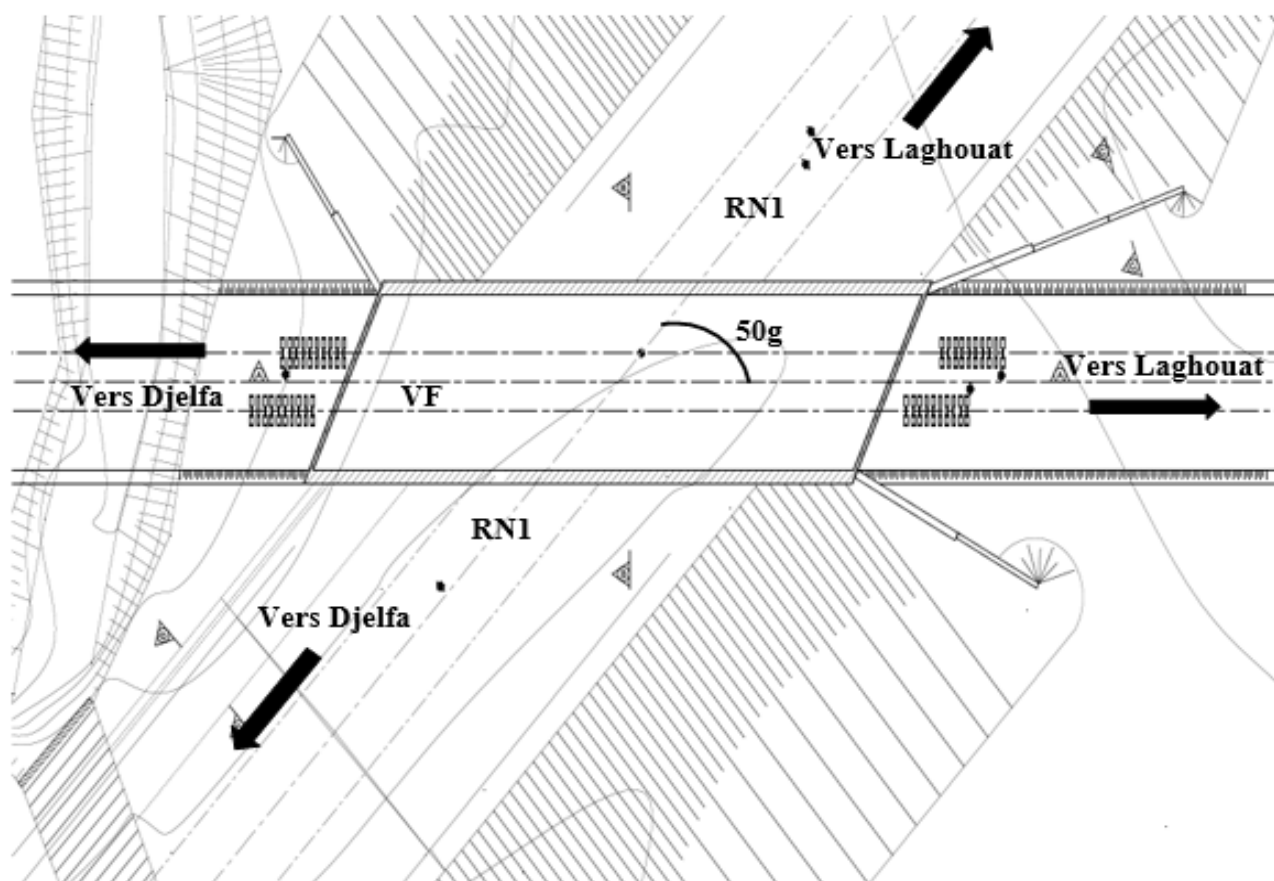


Fig. V.4 : Vue en plan de l'ouvrage.

RN1 : route nationale n°1 ;

VF : voie ferrée.

V.4. Pré-dimensionnement du pont

Cette étape consiste à donner des dimensions approximatives des différents éléments constitutifs du pont proposé : la dalle, les murs de front, les fondations, les dalles de transition et des murs de soutènement. Vu le temps limité pour cette thèse et vu que nos travaux se sont concentrés sur l'étude de la route, puis sur l'étude de la voie ferrée et enfin la recherche de la solution nécessaire pour la suppression du croisement à niveau, nous nous sommes contentés enfin de cette thèse d'établir juste un pré-dimensionnement pour le pont choisi. Pour mener à bien ceci, nous avons suivi le guide de conception des ponts portiques de « SETRA ».

V.4.1. Dalle en béton armé

La dalle en béton armé est l'élément constitutif du tablier sur lequel repose la chaussée et circulent les véhicules. Son épaisseur doit être comprise entre 1 et 1.75m. Vu que le trafic routier est considéré comme moyen et que la portée du pont est relativement faible, on prend 1m ; cette valeur représente en fait la hauteur du tablier.

V.4.2. Murs de front

Les portiques en béton armé sont constitués de murs de front, formant les culées, encastrés dans la dalle en partie haute et dans des fondations qui répartissent les pressions sur le sol. L'épaisseur des murs de front doit être comprise entre 0.5 et 1m. Pour les mêmes raisons citées pour les murs de front, on adopte 1m.

V.4.3. Fondations

En raison de la bonne portance du sol support et la faible charges venant du pont, l'implantation de l'ouvrage sera sur des fondations superficielles filantes de 5.30m de largeur et 1.5m d'épaisseur avec une épaisseur de 10cm de béton de propreté sous les fondations.

V.4.4. Dalles de transition

C'est une dalle en béton armé reposant d'une part sur le remblai, d'autre part sur les corbeaux intégrés dans la partie arrière du mur de front (culée), et qui sert à renforcer le remblai dans les parties dont le compacteur ne peut pas atteindre (compactage insuffisant à proximité des deux culées). Une dalle de transition de 5m de largeur et 30cm d'épaisseur et une assise de béton de propreté de 10cm, est proposée comme un choix.

V.4.5. Murs de soutènement

Les ponts en portique se font avec des murs de soutènement en aile ou avec murs en retour pour supporter la terre en remblai de rétablissement. Pour notre cas, il faut prévoir des murs en retour dont 2 murs dans chaque côté d'ouverture, leur longueur et leur hauteur dépendent progressivement de la pente et de la hauteur du remblai. L'épaisseur des murs est de 30cm reposant sur une fondation de 6m de largeur et 1m d'épaisseur.

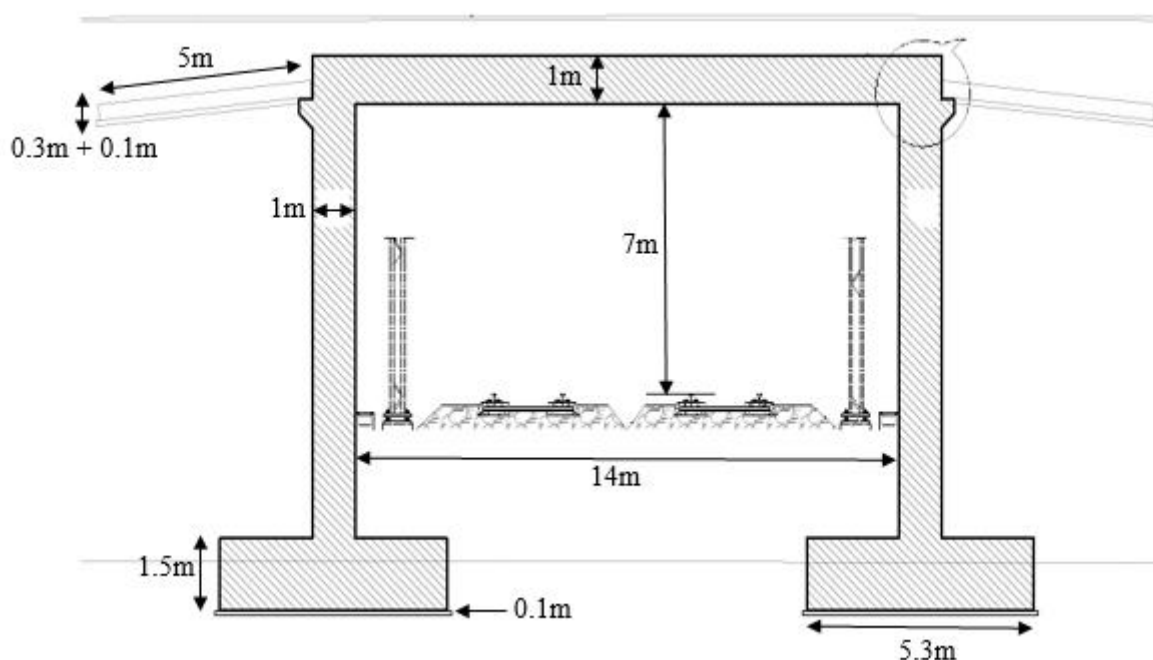


Fig. V.5 : Pré-dimensionnement du pont portique.

Nota : des illustrations concernant le pont portique ouvert et ses éléments sont jointes en annexe 2 B.

V.5 Conclusion

Après détails précédemment faits, le pont portique ouvert en béton armé reste le choix le plus convenable, en construction et en économie, pour aménager le croisement entre la RN1 et la voie ferrée. Dans cette étude et le temps limité, nous n'avons fait qu'une étude de pré-dimensionnement en ce qui concerne le pont proposé, mais pour une éventuelle réalisation, il faut recourir à des méthodes de calcul exactes et détaillées afin d'obtenir des dimensions plus fiables. Par ailleurs, et pour une meilleure exploitation, il faut veiller à assurer une bonne réalisation (mise en œuvre et control) d'une part, et de munir le pont des équipements nécessaires tels que : l'assainissement, l'étanchéité, glissières et gardes corps, éclairage et joints de chaussée, d'autre part. Enfin, il convient de signaler que la réalisation de ce compromis de circulation (le passage supérieur des véhicules routier et le passage inférieur des trains), pourrait donner également un aspect esthétique à la région ce qui contribuera sans doute à un confort supplémentaire des usagers.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le développement du transport routier et ferroviaire exige, lors de la réalisation des ouvrages, à faire des modifications dans des points bien déterminés du tracé, surtout lorsqu'il s'agit des intersections entre les routes et les chemins de fer. Celles-ci demandent des études fiables et de bons résultats opérationnels afin de trouver une solution qui mène à une circulation fluide et sécuritaire dans les deux voies inter-croisées. Notre projet de fin d'étude porte sur une étude de l'intersection de la nouvelle ligne ferroviaire « Djelfa-Laghouat » de 110km, avec la route nationale n°1 qui reste la route la plus importante en Algérie en reliant le nord avec le sud du pays. L'objectif de l'étude consiste à la recherche d'une solution adaptée pour permettre la circulation des véhicules routiers et les trains tout en assurant la fluidité des courants, la sécurité et le confort des usagers dans les deux voies. Le travail à faire commence par la connaissance de possibilité de passage d'une voie au-dessus d'une autre. En suivant les études faites par les services de travaux publics, il était clair que le passage de la route au-dessus de la voie ferrée par l'intermédiaire d'un ouvrage d'art est considéré comme la solution idéale. Alors, on a étudié géométriquement et structurellement les tronçons inter-croisés : un tronçon de la RN1 en alignement droit de 1680.71m de longueur et un tronçon de la voie ferrée de 1091m de longueur en alignement droit toujours. La dernière étape de l'étude a porté sur le choix convenable de l'ouvrage qui permet le franchissement de la route au-dessus de la ligne ferroviaire. L'étude a mené vers la nécessité d'un rétablissement routier effectué sur les remblais jusqu'à atteindre une altitude désirée qui va fournir, après la construction du pont, un espace suffisant pour un passage parfait des trains au-dessous de l'ouvrage. Par ailleurs, la ligne ferroviaire a été étudiée normalement. Le pont choisi pour l'aménagement de l'intersection est un pont portique ouvert en béton armé, qui permet le passage supérieur de la route et le passage inférieur de la voie ferrée. Ce projet va donner de l'esthétique à l'endroit, d'une part, et améliorer la circulation des transports, routier et ferroviaire, tout en leur assurant la sécurité optimale, d'autre part.

Il est à noter enfin, que ce travail m'a permis de mettre en œuvre toutes les connaissances acquises durant mon cycle de formation de master, et d'acquérir certaines perfections dans l'utilisation des logiciels informatiques notamment relatifs au domaine des Travaux Publics, tels que : COVADIS et AUTOCAD.

Bibliographie

Bibliographie

[1] : ARMAND, B. (2013). *Etude technique de réalisation d'un tronçon de voirie allant du pk0 au pk2+920 dans le cadre du projet de construction et de bitumage de la route départementale 152 Ouagadougou Nioko Saaba*. Thèse de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou Burkina Faso.

[2] : Direction Des Etudes Générales et De La Réglementation Technique. (Octobre 1977). *Etudes générales technique et économique des aménagements routiers (B40 normes techniques d'aménagements des routes)*. Le Paradou-Hydra : Alger, 280p.

[3] : LCPC ; SETRA. (décembre 1994). Guide technique : « *Conception et dimensionnement des structures de chaussées* ». Paris : Bagnaux, 250p.

[4] : COQUAND Roger. (1958). *Route circulation tracé et construction*. Edition Eyrolles, livre1, Paris.

[5] : Direction Des Services Techniques. (avril 2004). *Cahier des normes de construction routière des chemins municipaux (annexe A)*. Chelsea (Québec).

[6] : SAWADOGO, R A. (2013). *Etude technique pour l'aménagement d'un carrefour et des voies d'accès à l'intersection de la route nationale 3 (RN3), de la route nationale 4 (RN4) et de l'avenue Kunda Yoore dans le cadre du projet de l'interconnexion RN3-RN4*. Thèse de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou Burkina Faso.

[7] : BERTHIER Jean. (1992). Techniques de l'ingénieur : « *Projet et construction de routes* ». 39p.

[8] : Sânem Tôogo, M C. (2011). *Etude technique détaillée des travaux de bitumage et de construction de l'interconnexion des routes nationales RN01 et RN04 lot 2 tronçon 1 section1*. Thèse de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou Burkina Faso.

[9] : SETRA. (Circulaire du 12 décembre 2000). *ICTAAL : Instruction Sur Les Conditions Techniques d'Aménagement Des Autoroutes De Liaison*. Paris : Bagnaux, 60p.

[10] : TP Concept. « Dimensionnement des structures de chaussées » [En ligne] <http://www.am41.org/> (consulté en mars 2018).

[11] : Entreprise Des Travaux Publics. « Les différents types de chaussées » [En ligne] <http://www.wikitp.fr/> (consulté en mars 2018).

[12] : DJELTI, A Z et HATTOU, M. (juillet 2009). *Etude de la réhabilitation du chemin de wilaya CW54*. Mémoire d'ingénieur, Université Abou bekr Belkaid, Tlemcen.

[13] : LCPC ; SETRA. (juillet 2000). Guide technique fascicule 1 et 2 : « *Réalisation des remblais et des couches de forme* ». 2^{ème} édition, Paris : Bagnaux, 98p, 102p.

[14] : MOUHAMED, M et OULAD SIDI OMAR, A. (2016). *Etude d'un tronçon de dédoublement de la RN 01 entre la commune de Bouzbayar et le chef-lieu de Laghouat (du PK 516 au PK 522)*. Thèse de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla.

[15] : ACADEMIC. « Chemin de fer » [En ligne] <http://fracademic.com/> (consulté en mars 2018).

[16] : NEHAOUA Adel. « Chemins de fer chapitre 2 : géométrie de la voie ». *SlideShare*, le 10 janvier 2015, [En ligne] <https://fr.slideshare.net/> (consulté en mars 2018).

[17] : ALLENBACH, J M. (2013). *Techniques ferroviaire*. 2^{ème} édition, 106p

[18] : Train de Champignelles. « Atelier : mécanique ; réparation ; conception. » [En ligne] <http://train-de-champignelles.net/> (consulté en mars 2018).

[19] : GASC, J M. (Janvier 2012). *Étude de la voie ferrée*. Edition 'À dessein' : Bureau d'études spécialisé, Cesson, France, 48p.

[20] : NEHAOUA Adel. « Chemins de fer chapitre 3 : dimensionnement des structures d'assise ». *SlideShare*, le 10 janvier 2015, [En ligne] <https://fr.slideshare.net/> (consulté en mars 2018).

[21] : NEHAOUA Adel. « Chemins de fer chapitre 1 : généralités ». *SlideShare*, le 10 janvier 2015, [En ligne] <https://fr.slideshare.net/> (consulté en mars 2018).

[22] : UIC. (01.01.94). *Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires*. 2^{ème} édition, 20p.

[23] : Sécurité Passage à Niveau. « Passages à niveau » [En ligne] <https://www.securite-passageaniveau.fr/> (consulté en mars 2018).

[24] : Bernard Aubin. « Accidents aux passages à niveau (PN) : causes et remèdes ». *Le Hérisson du Rail*, le 15 décembre 2017 [En ligne] <http://bernardaubin.over-blog.com/> (consulté en mars 2018).

[25] : MEHDID Hicham. « 10-étude des carrefours ». *SlideShare*, le 30 juin 2015, [En ligne] <https://fr.slideshare.net/> (consulté en mars 2018).

[26] : CERTU ; Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. (Décembre 2008). Fiche n°06 : « *Généralités sur les carrefours plans* ».

[27] : L'actualité de Burkina sur internet. « Projet de construction de l'échangeur de Bobo » [En ligne] <http://lefaso.net/> (consulté en mars 2018).

[28] : FIB ; CERIB ; SNBPE ; SNPB ; CIMBETON. (septembre 2005). Béton et Ouvrage D'art 'TOM1' « *Les ponts courants en béton* ». Edition DBG Studios - S2974, 198p.

[29] : Wikiwand. « Longueur d'un pont » [En ligne] <http://www.wikiwand.com/> (consulté en mars 2018).

[30] : WikiVisually. « Route nationale 1 (Algérie) » [En ligne] <https://wikivisually.com/> (consulté en mars 2018).

[31] : Jeune Afrique. « Transport ferroviaire : une co-entreprise algéro-chinoise pour les lignes à grande vitesse ». *Jeuneafrique*, le 16 février 2016, [En ligne] <http://www.jeuneafrique.com/> (consulté en mars 2018).

[32] : Union Syndicale Géotechnique USG. « Définition de la géotechnique » [En ligne] <http://u-s-g.org/> (consulté en avril 2018).

[33] : L'histoire-Géographie au Collège. « Distance d'arrêt et distance de freinage » [En ligne] <https://sites.google.com/> (consulté en avril 2018).

[34] : SETRA. (août 1994). Guide technique : « *Aménagement des routes principales* ». Paris : Bagnaux, 140p.

Annexe 1

A. Tableaux (chapitre I) :

A1 : Classification des sols selon la qualité

Classification des sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15 % de fines) foisonnés, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (quick-clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 0.6 Sols mixtes "minéraux organiques"	QS0 Sols impropres
1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.4 Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes non altérés 1.5 Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	QS1 Sols médiocres
2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines 2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines mais uniformes ($C_U \leq 6$) 2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} \leq 40$	QS2 Sols moyens
3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines 3.2 Roches dures Par exemple : Si $\text{MDE} \leq 25$ et $\text{LA} \leq 30$	QS3 Bons sols

A2 : Valeurs de E

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P_1
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P_2
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P_3

A3 : Valeurs de a, b et c

a	=0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le groupe UIC)
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs
a	= - 0,15 m	pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur'
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	= $(2,50 - L)/2$	pour les traverses béton de longueur L (b en m. L en m, b peut être négatif si $L > 2,50$ m)
c	=0	pour un dimensionnement normal
c	=-010 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur
c	=-0 05 m '	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que"7, 8, 9 sans voyageur"

A4 : Valeurs de d, f et g

d	=0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	=+0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	=0	pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plates-formes de portance P_3 , des lignes à grande vitesse.
f	=+ 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P_2 des lignes à grande vitesse.
f	=+ 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P_1 des lignes à grande vitesse
g	=+ géotextile	lorsque la couche de forme est en sol QS_1 ou QS_2
g	= 0 (pas de géotextile)	lorsque la couche de forme est en sol QS_3

B. Tableaux (chapitre III) :**B1 : Coefficients d'équivalence pour les poids lourds**

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

B2 : Valeurs de K1

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.90 à0.95

B3 : Valeurs de K2

Environnement	1	2	3	4
E1	1.00	1.00	1.00	1.00
E2	0.99	0.99	0.99	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96

B4 : Valeurs de la capacité théorique

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

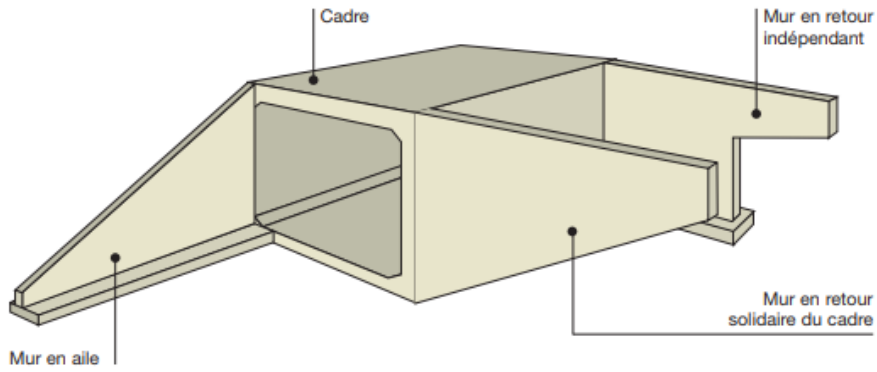
C. Tableaux (chapitre IV) :

C1 : Comparaison entre la traverse bibloc et monobloc

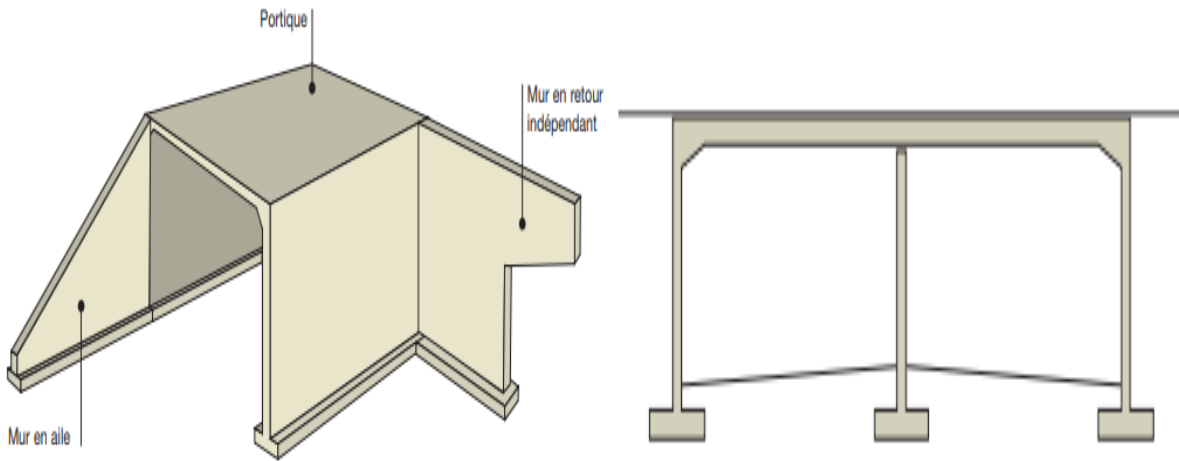
Traverse en béton type bibloc	Traverse en béton type monobloc
<p>Simplicité de fabrication : le coût d'une installation d'une usine de production de biblocs est plus faible et la mise en exploitation plus rapide. Et une mécanisation bien conçue permet des rendements journaliers élevés sans investissements excessifs. La fabrication elle-même est moins sophistiquée et plus fiable, donc le coût est moins cher.</p>	<p>Vu la technique de la précontrainte, la fabrication est complexe, plus chère et l'exploitation exige des appareils plus développés.</p>
<p>Stabilité transversale conférée à la voie : chacun des blochets de la traverse biblocs étant noyés dans le ballast, elle présente deux butées dans chaque sens de déplacement transversal.</p>	<p>Le poids est un élément favorisant la stabilité, la traverse monobloc est plus lourde, donc plus stable.</p>
<p>Elimination des risques de fissuration dans l'axe de la traverse : l'entretoise métallique de la traverse biblocs élimine ce problème. La traverse ne risque pas d'être détériorée.</p>	<p>Puisque le béton est fragile vis-à-vis des vibrations et les chocs, la traverse monobloc est susceptible d'être fissurer, au milieu spécialement.</p>
<p>Moindres frais de transport, de pose et de maintenance : le du poids léger et la forme facilite la manipulation de la traverse bibloc.</p>	<p>Son poids lourd demande plus d'énergie de transport et de manutention.</p>
<p>Les traverses biblocs sont utilisées pour des lignes ferroviaires à vitesse moyenne.</p>	<p>Les traverses monoblocs sont utilisées pour des lignes ferroviaires à grandes vitesse comme les TVG.</p>

Annexe 2

A. Figures (chapitre II) : schémas des différents types de ponts.

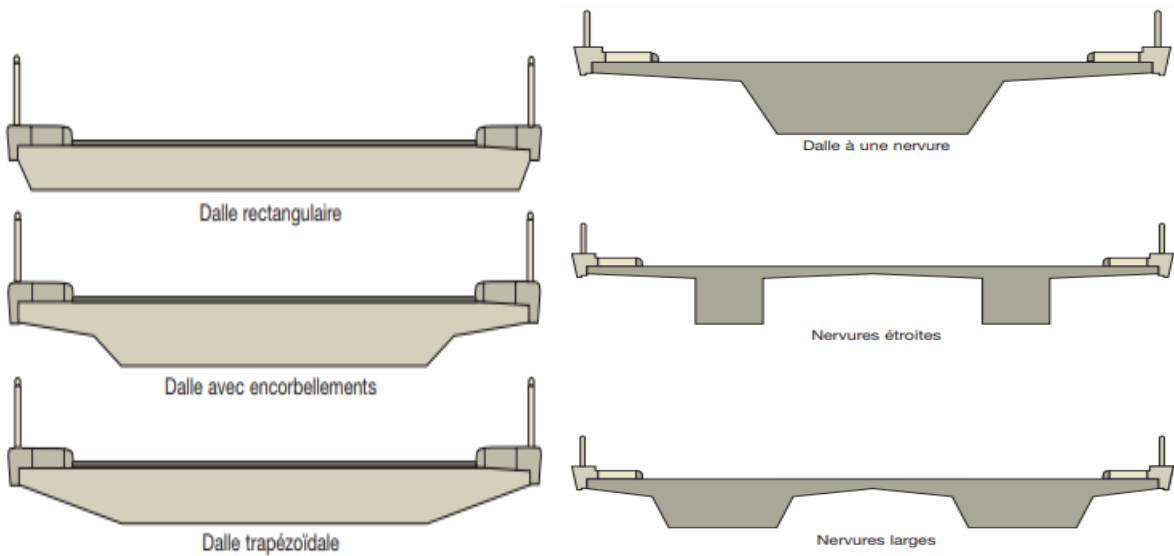


A1 : Schéma type d'un PI-CF.



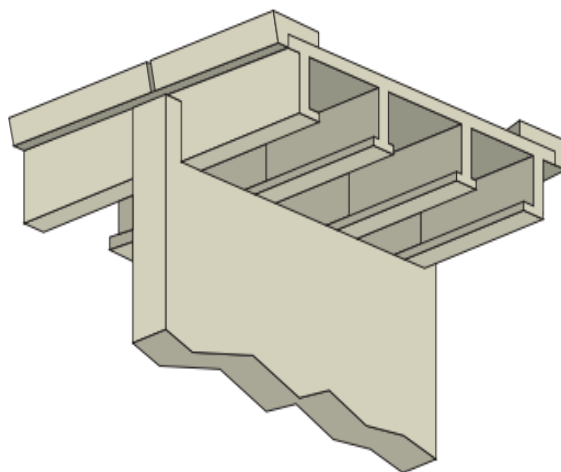
A2 : Schéma type d'un PI-PO.

A3 : Schéma du portique ouvert double

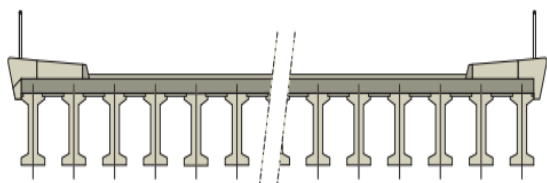


A4 : Coupes types d'un pont dalle.

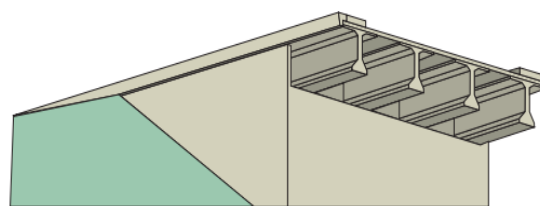
A5 : Schéma de dalles nervurées.



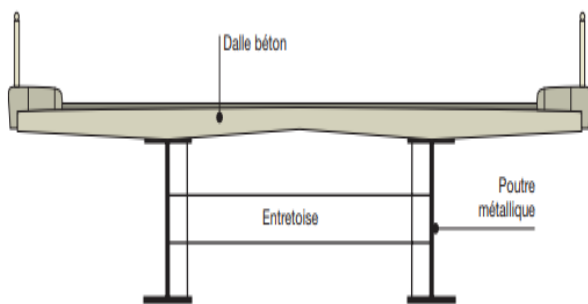
A6 : Schéma d'un pont à poutre en béton armé.



A7 : Coupe type d'un pont PR-AD.



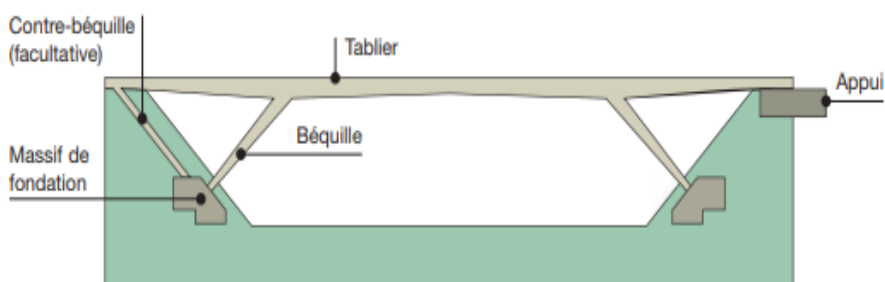
A8 : Schéma type d'un VI-PP.



A9 : Bipoutre mixte.



A10 : Schéma d'une dalle élégie.



A11 : Schéma type d'un PS-BQ.

Exemples des passages à niveau « route – chemin de fer » :



A12 : Croisement à niveau « route – chemin de fer » (exemple1).



A13 : Croisement à niveau « route – chemin de fer » (exemple2).

Exemples des passages dénivelés :



A14 : Passage supérieur de la route sur un pont route franchissant la voie ferrée.

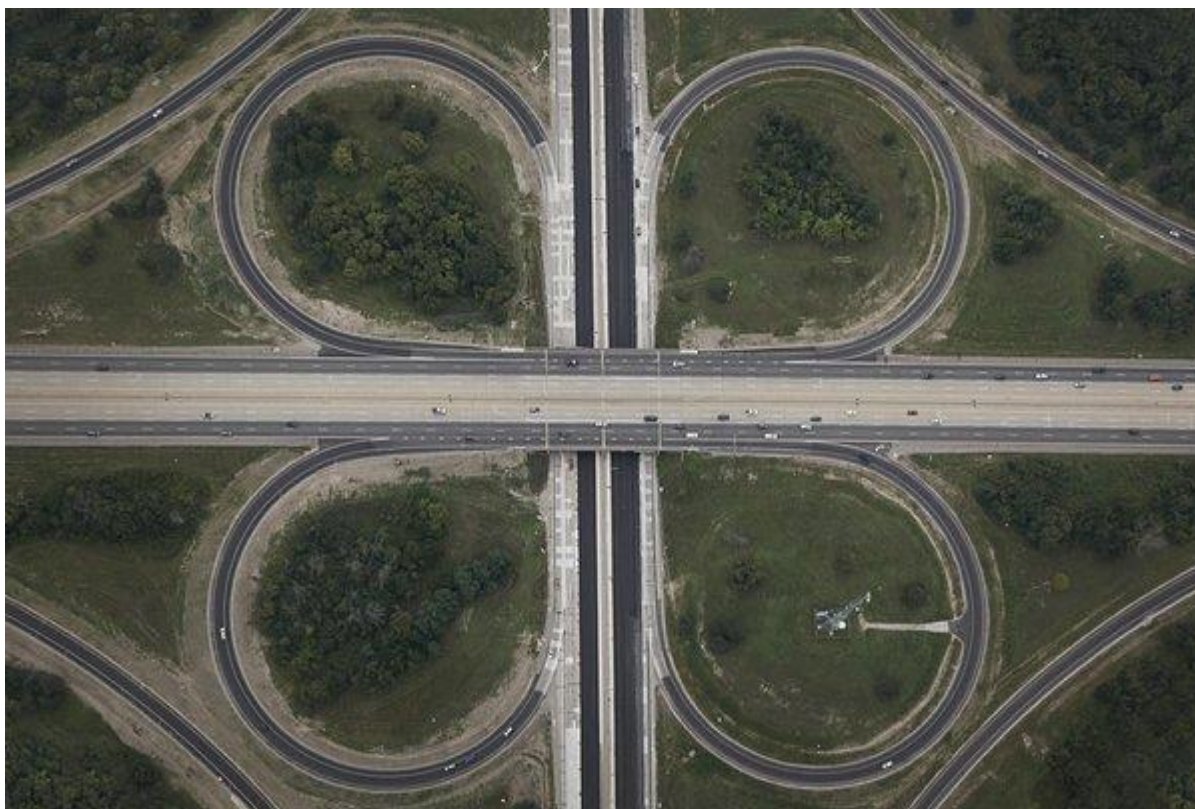


A15 : Passage supérieur de la voie ferrée sur un pont rail franchissant l'autoroute.

Exemples des carrefours routiers :

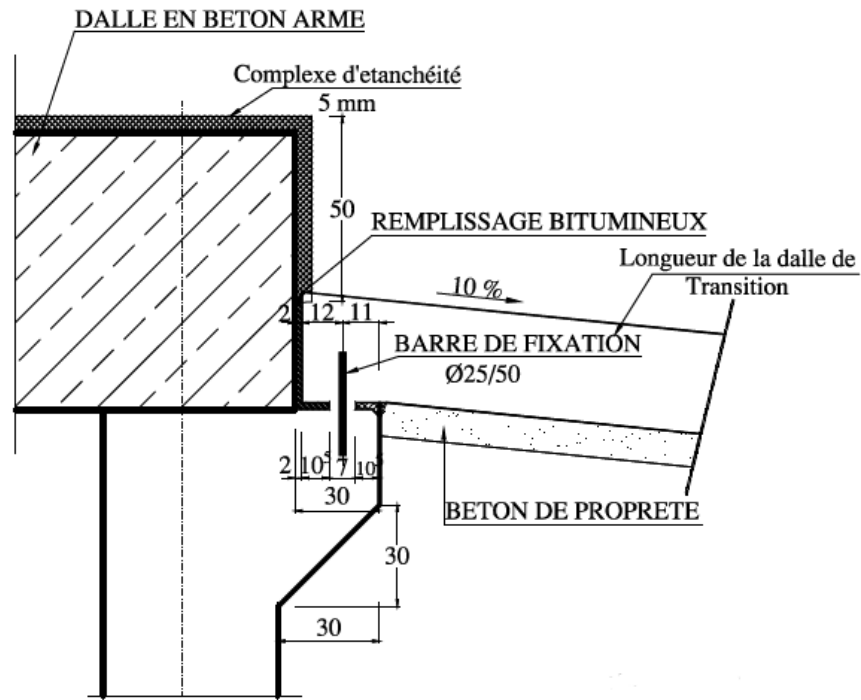


A16 : Carrefour giratoire (carrefour plan).

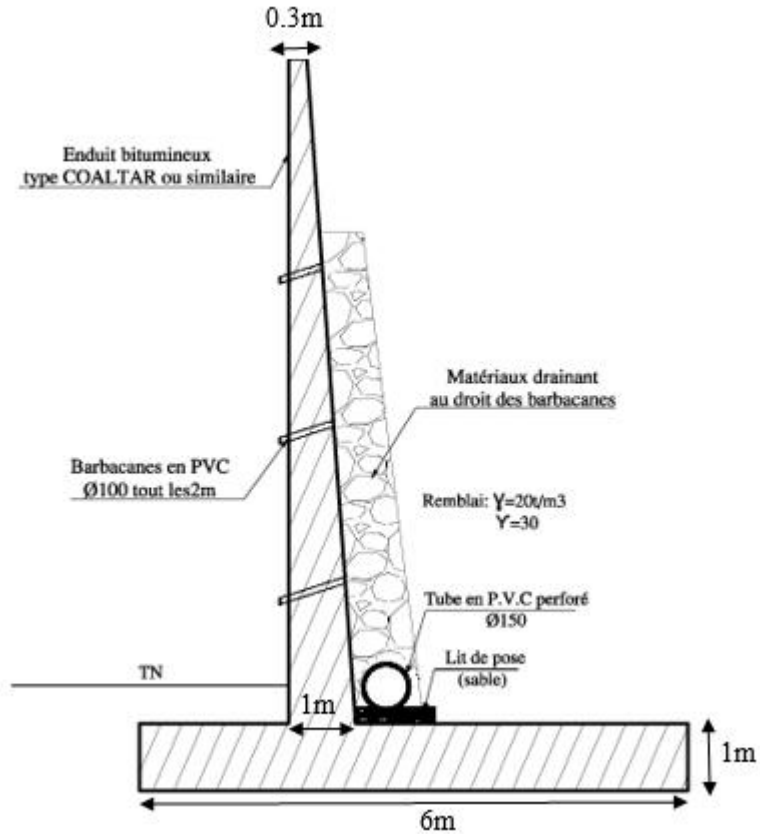


A17 : Echangeur routier en ase de trèfle (carrefour dénivelé).

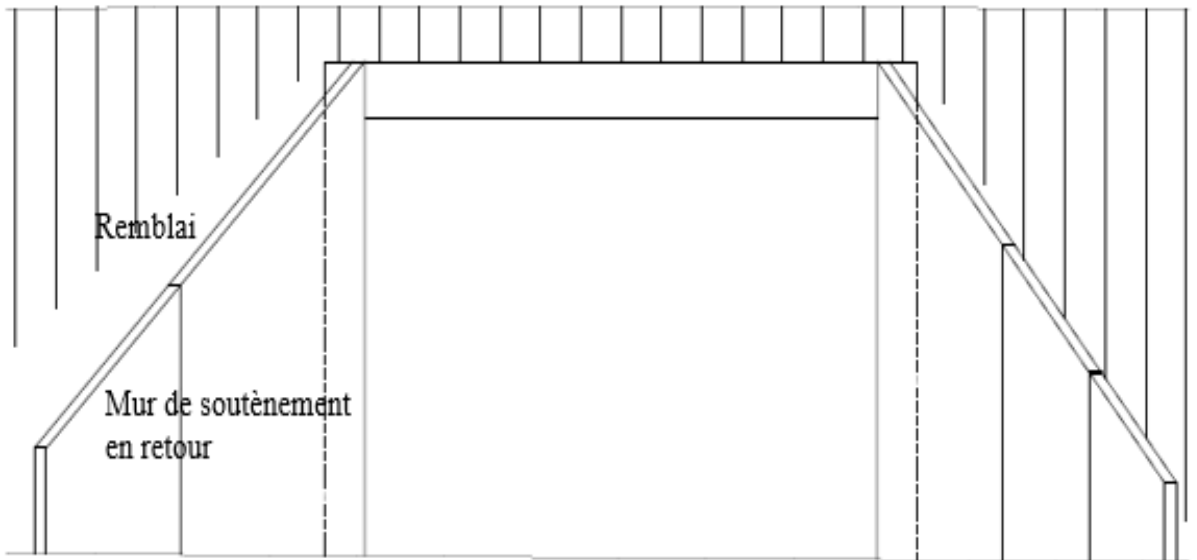
B. Figures (chapitre V) :



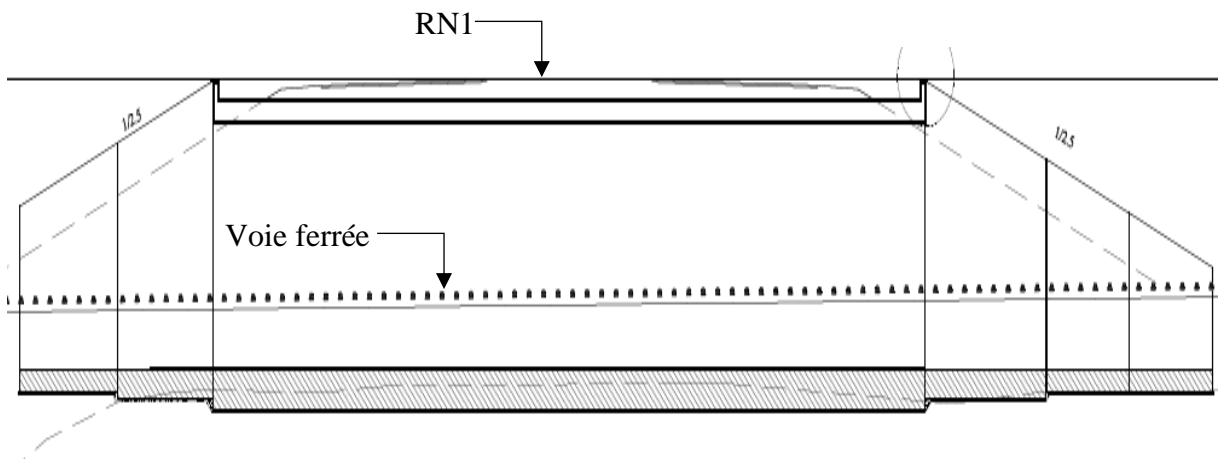
B1 : Détails de l'appui de la dalle de transition sur le mur de front.



B2 : Mur de soutènement.



B3 : Vue en élévation du pont.



B4 : Coupe transversale du pont.



B5 : Image représentative d'un pont portique.



B6 : Image représentative d'un passage inférieur de la voie ferrée sous pont portique.

Annexe des cubatures

A. Cubatures de la route :

Tableau récapitulatif des cubatures de déblai et remblai par profil :

Profil n°	Abscisse (m)	Longueur d'application (m)	Déblais					Remblais				
			Surf. G (m²)	Surf. D (m²)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)	Surf. G (m²)	Surf. D (m²)	Surf. Tot (m²)	Volume (m³)	Cumul Vol. (m³)
P1	0,00	25,00	7,79	8,24	16,03	400,67	400,67	0,54	0,00	0,54	13,44	13,44
P2	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	29,12	26,24	55,37	2768,31	2781,76
P3	100,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	57,03	49,26	106,29	5314,44	8096,20
P4	150,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	71,14	71,61	142,75	7137,50	15233,70
P5	200,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	90,19	92,34	182,52	9126,24	24359,94
P6	250,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	106,71	108,21	214,92	10745,87	35105,80
P7	300,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	129,89	143,45	273,34	13667,16	48772,96
P8	350,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	205,99	188,97	394,97	19748,44	68521,40
P9	400,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	221,52	213,25	434,77	21738,49	90259,89
P10	450,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	256,83	242,32	499,15	24957,46	115217,35
P11	500,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	289,46	272,14	561,60	28079,78	143297,13
P12	550,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	316,73	325,21	641,94	32097,25	175394,37
P13	600,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	381,95	399,20	781,14	39057,14	214451,51
P14	650,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	391,68	381,96	773,64	38681,87	253133,38
P15	700,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	402,10	399,68	801,78	40088,78	293222,17
P16	750,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	432,65	459,48	892,13	44606,41	337828,58
P17	800,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	455,81	485,80	941,61	47080,59	384909,17
P18	850,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	415,29	449,14	864,44	43221,76	428130,94
P19	900,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	364,93	435,05	799,98	39998,99	468129,92
P20	950,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	329,47	404,12	733,59	36679,42	504809,35
P21	1000,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	327,69	322,08	649,77	32488,59	537297,94
P22	1050,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	288,91	271,01	559,91	27995,63	565293,57
P23	1100,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	289,76	270,79	560,55	28027,61	593321,18
P24	1150,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	239,34	244,16	483,50	24175,25	617496,43
P25	1200,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	177,11	168,84	345,95	17297,39	634793,82
P26	1250,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	180,80	172,65	353,45	17672,53	652466,35
P27	1300,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	142,94	140,09	283,03	14151,53	666617,88
P28	1350,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	95,03	100,00	195,03	9751,37	676369,25
P29	1400,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	75,33	73,09	148,42	7421,03	683790,28
P30	1450,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	45,17	45,29	90,46	4522,92	688313,20
P31	1500,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	56,33	62,03	118,36	5918,12	694231,32
P32	1550,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	31,92	36,75	68,67	3433,68	697665,00
P33	1600,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	400,67	11,08	6,32	17,40	870,10	698535,10
P34	1650,00	40,35	1,35	0,00	1,35	54,53	455,19	0,57	1,38	1,96	78,97	698614,06
P35	1680,71	15,35	7,65	9,56	17,21	264,18	719,38	0,00	0,00	0,00	0,00	698614,06

B. Cubatures de la voie ferrée :

Tableau récapitulatif des cubatures de déblai et remblai par profil :

Num.	Abscisse (m)	Longueur (m)	Surfaces (m ²)		Volumes Partiels (m ³)		Volumes Cumulés (m ³)	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	15.00	0.00	51.18	0.000	767.646	0	768
P.2	30.000	30.00	0.00	51.87	0.000	1555.952	0	2324
P.3	60.000	30.00	0.00	49.74	0.000	1492.344	0	3816
P.4	90.000	30.00	0.00	49.88	0.000	1496.450	0	5312
P.5	120.000	30.00	0.00	50.77	0.000	1523.017	0	6835
P.6	150.000	30.00	0.00	51.30	0.000	1538.965	0	8374
P.7	180.000	30.00	0.00	65.95	0.000	1978.402	0	10353
P.8	210.000	30.00	0.00	77.24	0.000	2317.106	0	12670
P.9	240.000	30.00	0.00	70.57	0.000	2117.117	0	14787
P.10	270.000	30.00	0.00	54.20	0.000	1625.944	0	16413
P.11	300.000	30.00	0.00	70.02	0.000	2100.661	0	18514
P.12	330.000	30.00	0.00	87.25	0.000	2617.470	0	21131
P.13	360.000	30.00	0.00	101.43	0.000	3043.021	0	24174
P.14	390.000	30.00	0.00	128.84	0.000	3865.073	0	28039
P.15	420.000	30.00	0.00	148.91	0.000	4467.362	0	32507
P.16	450.000	30.00	0.00	167.76	0.000	5032.727	0	37539
P.17	480.000	30.00	0.00	220.01	0.000	6600.180	0	44139
P.18	510.000	30.00	0.00	235.51	0.000	7065.332	0	51205
P.19	540.000	30.00	0.00	154.76	0.000	4642.671	0	55847
P.20	570.000	30.00	0.00	152.75	0.000	4582.521	0	60430
P.21	600.000	30.00	0.00	122.98	0.000	3689.376	0	64119
P.22	630.000	30.00	0.00	135.82	0.000	4074.728	0	68194
P.23	660.000	30.00	0.00	169.41	0.000	5082.170	0	73276
P.24	690.000	30.00	0.00	164.19	0.000	4925.705	0	78202
P.25	720.000	30.00	0.00	188.24	0.000	5647.137	0	83849
P.26	750.000	30.00	0.00	159.44	0.000	4783.083	0	88632
P.27	780.000	30.00	0.00	153.33	0.000	4599.962	0	93232
P.28	810.000	30.00	0.00	134.20	0.000	4026.039	0	97258
P.29	840.000	30.00	0.00	211.09	0.000	6332.571	0	103591
P.30	870.000	30.00	0.00	187.43	0.000	5622.772	0	109214
P.31	900.000	30.00	0.00	87.80	0.000	2633.939	0	111847
P.32	930.000	30.00	0.00	69.59	0.000	2087.621	0	113935
P.33	960.000	30.00	0.00	67.46	0.000	2023.904	0	115959
P.34	990.000	30.00	0.00	64.28	0.000	1928.474	0	117887
P.35	1020.000	30.00	0.00	58.33	0.000	1749.851	0	119637
P.36	1050.000	30.00	0.00	49.33	0.000	1479.944	0	121117
P.37	1080.000	20.52	0.00	41.39	0.000	849.320	0	121967
P.38	1091.042	5.52	0.00	38.50	0.000	212.533	0	122179

ANNEXE DES CUBATURES

Tableau récapitulatif des cubatures, par profil, de corps de la voie ferrée :

Num	Abscisse (m)	Lg Ap. (m)	Surfaces (m ²)						Volumes		Cumulés (m ³)
			Gauche			Droite			S B	C F	B
			S B	C F	B	S B	C F	B			
P.1	0.000	15.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	52.488	78.483	63.047
P.2	30.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	157.464	235.450	189.141
P.3	60.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	262.440	392.417	315.235
P.4	90.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	367.417	549.383	441.329
P.5	120.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	472.393	706.350	567.423
P.6	150.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	577.369	863.317	693.517
P.7	180.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	682.345	1020.283	819.611
P.8	210.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	787.321	1177.250	945.705
P.9	240.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	892.298	1334.217	1071.799
P.10	270.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	997.274	1491.183	1197.893
P.11	300.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1102.250	1648.150	1323.987
P.12	330.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1207.226	1805.117	1450.082
P.13	360.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1312.202	1962.083	1576.176
P.14	390.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1417.179	2119.050	1702.270
P.15	420.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1522.155	2276.017	1828.364
P.16	450.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1627.131	2432.983	1954.458
P.17	480.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1732.107	2589.950	2080.552
P.18	510.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1837.083	2746.917	2206.646
P.19	540.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	1942.060	2903.883	2332.740
P.20	570.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2047.036	3060.850	2458.834
P.21	600.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2152.012	3217.817	2584.928
P.22	630.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2256.988	3374.783	2711.022
P.23	660.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2361.964	3531.750	2837.116
P.24	690.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2466.940	3688.717	2963.210
P.25	720.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2571.917	3845.683	3089.304
P.26	750.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2676.893	4002.650	3215.398
P.27	780.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2781.869	4159.617	3341.492
P.28	810.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2886.845	4316.583	3467.586
P.29	840.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	2991.821	4473.550	3593.680
P.30	870.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3096.798	4630.517	3719.774
P.31	900.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3201.774	4787.483	3845.868
P.32	930.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3306.750	4944.450	3971.962
P.33	960.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3411.726	5101.417	4098.057
P.34	990.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3516.702	5258.383	4224.151
P.35	1020.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3621.679	5415.350	4350.245
P.36	1050.000	30.00	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3726.655	5572.317	4476.339
P.37	1080.000	20.52	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3798.462	5679.687	4562.591
P.38	1091.042	5.52	1.75	2.62	2.10	1.75	2.62	2.10	3817.781	5708.575	4585.797

Lg Ap : longueur appliquée ;

S B : sous ballast ;

C F : couche de forme ;

B : ballast.