République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسـيس جانســون
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

ETUDE D'APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE «EL AFFROUN – EL HAMDANIA PORT CENTRE» SUR UN LINEAIRE TOTAL DE 9 KM DU PK29+000 AU PK38+000

Présenté par :

BOUCHELAREM Khadidja

Encadré par :

Mr GOUMETTRE Ahmed

Promotion 2018 /2019

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.

En second lieu je tiens à remercier mon encadreur Mr : GOUMETTRE AHMED pour ses appréciations compétentes, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Je remercie vivement ma famille pour son aide matérielle et morale durant toute la période de préparation.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers tous les Enseignants et le personnel administratif de l'ENSTP et EPST-Tlemcen qui ont contribué à ma formation et à l'élaboration de ce présent travail.

Un grand merci aux ingénieurs de la S.E.T.S.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

إهداء



الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله أما بعد:

إلى التي ربتني وسهرت وتعبت من أجلي أمي الغالية "مريم"

إلى العزيز الذي أفنى عمره في تربيتي وتعليمي، إلى قدوتي وسندي في الحياة أبي الحنون " أحمد"

إلى أخي "طارق" وأختي "نسيبة" وإلى كل عائلة بوشلاغم وبن شامة

إلى جميع أصدقائي وأحبائي

إلى كل من جانبني مقاعد الدراسة يوما من الأيام كل باسمه

إلى جميع الأساتذة والمعلمين من التعليم الابتدائي إلى غاية التخرج

إلى كل من قاسمني أشواط هاته المباراة بحلوها ومرها

إلى كل من كان له فضل علي ولو بكلمة

إليك أنت أيها القارئ

اهدي هذه الرسالة المتواضعة

بوشلاغم خديجة

Résumé

Ce présent mémoire présente une étude d'avant-projet détaillé (APD) et réalisation de l'extension de la nouvelle ligne ferroviaire « El Affroun – El Hamdania port centre » du PK 29+000 (Sidi Amer) jusqu' au PK 38+000 (El Hamdania port centre).

Cette étude consiste à déterminer la cote technique du projet conformément aux recommandations de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et la société nationale de transport ferroviaire (SNTF)

Le tracé de cette ligne est mené par logiciel Civil 3D 2018.

Mot cles : ligne, voie ferré , traverse, platforme

ملخص

هذا العمل يقدم دراسة تفصيلية للتصميم المبدئي وانجاز امتداد الخط الجديد للسكة الحديدية « العفرون – الحمدانية الميناء وسط » ابتداء من النقطة الكيلو مترية 29+000 (سيدي اعمر) إلى النقطة الكيلو مترية 38+000 (الحمدانية الميناء وسط).

تتمثل هاته الدراسة في تحديد الجانب التقني من المشروع استنادا الي مختلف المعايير والتوجيهات التي ينص عليها الاتحاد الدولي للسكة الحديدية (UIC) والشركة الوطنية لنقل السكة الحديدية (SNTF)

تم رسم هدا الخط ببرنامج Civil 3D 2018.

كلمات مفتاحية: خط,سكة حديدية, معبرة, قاعدة

Summary

This project represents a detailed study of the new railway line « El Affroun – El Hamdania port centre » starting from the kilometric point 29+000 (Sidi Amer) to the kilometric point 38+000 (El Hamdania Harbor center).

This study identifies the technical side of the project based on the standards of the international union of railways (UIC) and the national company of rail transport (SNTF).

The line is drawn by the software Civil 3D 2018.

Keys words: line,railway, sleeper, platform.

Liste des figures

Figure I.1 Ballast ferroviaire. 2
Figure I.2 Spécification granulométrique du ballast. 2
Figure I.3 Engins de chantier ferroviaire (Ballastière et Bourreuse). 3
Figure I.4 Profils de vois. 3
Figure I.5 Éléments de géométrie des voies. 4
Figure I.6 Effet du gauche sur le guidage de la roue intérieure basse. 5
Figure I.7 Répartition et évolution du tassement de la voie avec le trafic cumulé. 5
Figure I.8 Évolution du tassement avec le nombre de cycles de chargement. 6
Figure I.9 Action de bourrage. 7
Figure I.10 Accélération de la dégradation géométrique avec les phases de bourrage. 7
Figure I.11 Phénomène de comminution : (a) fracture, (b) attrition, (c) abrasion. 8
Figure I.12 Variation de la courbe granulométrique d'un matériau soumis à un martèlement 9
Figure I.13 Phénomène d'usure de la traverse. 10

Figure II.1 Locomotive **"Alsthom" MF70** à la Mine d'Errouville (Crusnes / Meurthe et Moselle – France. 12
Figure I.2 Le programme du développement ferroviaire algérien. 14
Figure II.3 Localisation du projet. 15
Figure II.4 Les deux variantes proposées. 16
Figure II.5 Variantes proposées pour la desserte du port centre. 17

Figure III.1 Les éléments du tracé en plan. 19
Figure III.2 les forces agissant sur un véhicule dans une courbe. 20
Figure III.3 Schéma de raccordement de devers. 22

Figure IV.1 La valeur de déclivité en fonction de sa longueur. 29

Figure V.1 Situation géographique de la zone d'étude (superposition de la carte MNT avec l'assemblage des carte topographiques 1/200 000 d'Alger et de Médéa). 31
Figure V.2 Carte sismique de l'Algérie. 32
Figure V.3- V.4 Exécution d'un sondage à l'aide d'une sondeuse APAFOR. 34
Figure V.5 - V.6 Exécution de puits de reconnaissance à l'aide d'un retro-chargeur. 35

Figure VI.1 L'infrastructure ferroviaire. 42
Figure VI.2 L'épaisseur minimale ''e'' des couches d'assise. 46
Figure VI.3 Epaisseur des différentes couches. 48

Figure VIII.1 Schéma représentatif du réseau hydrographique de la région d'étude. 51
Figure VIII.2 Délimitation des sous bassins versants traversants le tracé. 52
Figure VIII.3 La surface mouillée et le périmètre mouillé d'une buse. 60
Figure VIII.4 Dimensions des dalots. 61
Figure VIII.5 Dimensions du fossé. 68

Figure IX.1 Profil de rail. 71
Figure IX.2 Rail Vingole. 71

Figure IX.3 Rail à gorge. 71
Figure IX.4 Rail DC. 71
Figure IX.5 Profil rail UIC60. 72
Figure IX.6 L'éclissage. 73
Figure IX.7 Soudure des rails. 73
Figure IX.8 Traverse en bois. 74
Figure IX.9 Traverse métallique. 74
Figure IX.10 Traverse bi-bloc. 75
Figure IX.11 Traverse monobloc. 75
Figure IX.12 Traverse bi-bloc B450. 75
Figure IX.13 Les semelles. **76**
Figure IX.14 Attache Nabla. 76
Figure IX.15 Branchement. 77
Figure IX.16 Branchement simple. 77
Figure IX.17 Branchement double. 77

Figure X.1 Un passage supérieur (routier). 80
Figure X.2 Vue aérienne de la zone d'étude. 81
Figure X.4 Profil en travers type du tunnel ferroviaire. 81

Figure XI.1 Espacement des trains par BAL. 85

Figure XII.1 Communes concernées directement par le projet. 88

Liste des tableaux

Tableau I.1 Classification de la pollution du ballast selon les différents indices d'encrassement. 10

Tableau III.1 Valeurs de longueur minimale de l'alignement (fiche UIC703). 19
Tableau III.2 Valeurs des paramètres du tracé. 25
Tableau III.3 Résultats du calcul des paramètres du tracé en plan. 27

Tableau V.1 les zones de sismicité. 32
Tableau V.2 Normes et objectifs des essais in-situ. 33
Tableau V.3 Description des sondages carottés pour le tronçon étudié. 34
Tableau V.4 Description des puits de reconnaissance. 35
Tableau V.5 Récapitulatif des essais au pénétromètre dynamique lourd. 36
Tableau V.6 Normes et objectifs des essais au laboratoire. 36
Tableau V.7 Résultats des essais au laboratoire. 37
Tableau V.8 Résultats des essais au laboratoire (PK29+750). 37
Tableau V.9 Classification du sol étudié. 38
Tableau V.10 Les principales zones de remblai. 39
Tableau V.11 les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les remblais. 40
Tableau V.12 Calculs de stabilité des remblais. 40
Tableau V.13 Les principales zones de déblai. 40
Tableau V.14 Les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les déblais. 41
Tableau V.15 Calculs de stabilité des déblais. 41

Tableau VI.1 Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695). 43
Tableau VI.2 Détermination de la classe de portance de la plate-forme. 45

Tableau VIII.1 Les données des précipitations moyennes annuelles (1978 -2016**).** 52
Tableau VIII.2 Caractéristiques physiques des bassins versants. 53
Tableau VIII.3 Les paramètres de Montana. 54
Tableau VIII.4 Désignation des coefficients de ruissellement par zones. 54
Tableau VIII.5 Caractéristiques physiques du bassin versant N°1. 57
Tableau VIII.6 Caractéristiques physiques du bassin versant N°9. 58
Tableau VIII.7 Les débits maximaux des BV du PK 29+000 au PK 38+000. 58
Tableau VIII.8 valeurs usuelles de coefficient de Manning Strickler. 60
Tableau VIII.9 Calcul des sections des ouvrages busés pour les BV. 61
Tableau VIII.10 la vérification des conditions d'auto curage. 62
Tableau VIII.12 Calcul des sections des dalots pour les BV. 63
Tableau VIII.13 la vérification des conditions d'auto curage des dalots. 64
Tableau VIII.14 Les débits d'apport. 67
Tableau VIII.15 Dimensions des ouvrages transversaux et longitudinaux. 69

Tableau X.1 les passages supérieurs conçues pour notre tracé. 80

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE :.....1

Chapitre de Master : LES DEGRADATIONS DU BALLAST :

I.1 BALLAST : 2

I.2 MATERIAU BALLAST : 2

I.3 MISE EN PLACE ET PROFILS DE BALLAST : 3

I.4 DEGRADATION DE LA VOIE : 4

I.4.1 Déformation géométrique : 4

I.4.2 Lois empiriques de tassement : 6

I.4.3 Entretien et phases de dégradation : 7

I.5 DEGRADATION DU MATERIAU BALLAST : 8

I.5.1 Phénomène de comminution : 8

I.5.2 Mesure de la comminution : 9

I.5.3 Pollution du ballast : 10

I.5.4 Synthèse : 11

I.6 CONCLUSION : 11

Chapitre II : GENERALITE ET PRESENTATION DU PROJET

II.1 LES MINES DONNENT NAISSANCE AU CHEMAIN DE FER : 12

II.2 HISTOIRE DU CHEMIN DE FER ALGERIEN : 12

II.3 PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX FERROVIAIRES EN ALGERIE : 13

II.4 PRESENTATION GENERALE DU PROJET : 14

II.5 OBJECTIFS DU PROJET : 15

II.6 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES : 15

II.7 APERCU SUR LA PHASE APS : 16

II.7.1 Choix entre les deux variantes : 16

II.7.2 Desserte port centre : 16

II.7.3 CONCLUSION : 17

Chapitre III : TRACE EN PLAN

III.1 INTRODUCTION : 18

III.2 CONDITIONS ET REGLES DU TRACE : 18

III.3 ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA VOIE : 18

III.3.1 L'alignement droit : 19

III.3.2 La courbe circulaire : 19

III.3.3 La courbe de transition (clothoïde) : 19
III.4 LES PARAMETRES DE LA CONCEPTION DU TRACE : 20
III.4.1 Dévers : 20
III.4.2 Coefficient de dévers : 22
III.4.3 Insuffisance de dévers : 22
III.4.4 Excès de dévers : 23
III.4.5 Gauchissement et variation du dévers : 23
III.4.6 Variation d'insuffisance de dévers : 23
III.4.7 Longueur de raccordement de dévers : 24
III.4.8 Rayon minimal normal : 24
III.5 APPLICATION AU PROJET : 25
III.6 CALCUL D'AXE: 27
Chapitre IV : PROFIL EN LONG
IV.2 CONDITIONS ET REGLES DU PROFIL EN LONG : 28
IV.3 ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PROFIL EN LONG : 28
IV.4 DECLIVITE MAXIMALE : 28
IV.5 LIMITES DES VALEURS DES RAYONS DE RACCORDEMENT : 29
IV.6 LA LONGUEUR MINIMALE DES PENTES UNIFORMES ET DES RACCORDEMENTS EN PROFIL : 29
IV.7 APPLICATION AU PROJET : 29
IV.8 COORDINATION ENTRE LE PROFIL EN LONG ET LE TRACE EN PLAN : 30
IV.8.1 Pourquoi on respecte ces conditions ? 30
Chapitre V : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
V.1 INTRODUCTION : 31
V.2 CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE GENERAL : 31
V.2.1 Contexte géographique : 31
V.2.2 Contexte géologique : 32
V.3 CADRE SISMIQUE : 32
V.4 ETUDE GEOTECHNIQUE : 33
V.4.1 Essais in-situ : 33
V.4.2 Essais au laboratoire : 36
V.5 TERASSEMENT : 39
V.5.1 Remblai : 39
V.5.2 Déblai : 40
V.5.3 Réutilisation des matériaux : 41

Chapitre VI : DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE

VI.1 INTRODUCTION : 43
VI.2 LES COUCHES D'ASSISE : 43
VI.2.1 Les principaux rôles des couches d'assise : 43
VI.2.2 Les différentes couches d'assise : 43
VI.2.3 L'épaisseur et la nature des couches d'assise : 44
VI.3 LA COUCHE DE FORME : 45
VI.4 LA PLATE-FORME : 45
VI.4.1 Classifications de la plate-forme : 45
VI.5 CALCUL DE L'EPAISSEUR MINIMALE DES COUCHES D'ASSISE : 47
VI.6 APPLICATION AU PROJET : 48
VI.6.1 Calcul de l'épaisseur minimale 'e' des couches d'assise : 48
VI.6.2 Epaisseur des différentes couches : 49

Chapitre VII : PROFIL EN TRAVERS

VII.1 INTRODUCTION : 50
VII.2 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS : 50
VII.3 CONSTITUANTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE : 50
VII.4 APPLICATION AU PROJET : 51
VII.5 CALCUL DES CUBATURES : 51

Chapitre I : ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT DE LA VOIE

VIII.1 INTRODUCTION : 51
VIII.2 LE RESEAU HYDRAULIQUE : 51
VIII.3 PRECIPITATIONS : 52
VIII.4 CARACTERISTIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS (BV) : 52
VIII.5 CALCUL DES PARAMETRES HYDRAULIQUES : 53
VIII.5.1 Temps de concentration Tc : 53
VIII.5.2 Intensité de pluie I : 54
VIII.5.3 Coefficient de ruissellement C : 55
VIII.5.4 Evaluation des débits d'eaux pluviales : 55
VIII.5.5 Application au projet : 57
VIII.6 DRAINAGE TRANSVERSAL : 59
VIII.6.1 Estimation des débits des ouvrages de traverse : 59
VIII.6.2 Vérification des conditions d'auto curage : 60
VIII.6.3 Dimensionnement des buses : 60
VIII.6.4 Dimensionnement des dalots : 61

VIII.6.5 Application au projet : 61
VIII.7 DRAINAGE LONGITUDINAL : 64
VIII.7.1 APPLICATION AU PROJET : 65
VIII.8 CONCLUSION : 69
Chapitre IX : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE
IX.1 INTRODUCTION : 70
IX.2 CLASSE DE VOIE : 70
IX.3 CARACTERISTIQUE DE LA VOIE : 70
IX.4 LES COMPOSANTE DE LA SUPERSTRUCTURE : 70
IX.4.1 Les rails : 70
IX.4.2 Les traverses : 74
IX.4.3 Les semelles : 75
IX.4.4 Les attaches : 76
IX.4.5 Les appareils de voie : 76
IX.5 CONCLUSION : 78
Chapitre X : OUVRAGES D'ART
X.1 INTRODUCTION : 79
X.2 VIADUC FERROVIARE : 79
X.3 PONTS DE RETABLISSEMENT ROUTIERS : 79
X.4 TUNNEL FERROVIAIRE : 80
Chapitre VII : SIGNALISATION FERROVIAIRE
XI.1 INTRODUCTION : 82
XI.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION : 82
XI.3 SIGNALISATION LATERALE : 82
XI.4 SIGNALISATION EN CABINE : 83
XI.5 VISIBILTES DES SIGNAUX : 83
XI.5.1 Visibilité des signaux hauts : 83
XI.5.2 Visibilité des signaux bas : 83
XI.6 SYSTEME ERTMS : 83
XI.6.1 Les niveaux de l'ERTMS : 83
XI.6.2 ETCS : 84
XI.6.3 GSM-R : 84
XI.7 LE BLOCK AUTOMATQUE LUMINEUX (BAL) : 84
XI.7.1 Caractéristiques : 85
XI.7.2 Utilisation : 85

XI.7.3 Espacement des trains : 85
XI.8 APPLICATION AU PROJET: 85
Chapitre XII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT
XII.1 INTRODUCTION : 87
XII.2 CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE. 87
XII.3 OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT : 87
XII.4 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE : 87
XII.4.1 Zone d'influence indirecte : 88
XII.4.2 Zone d'influence directe : 88
XII.5 ANALYSE DE L'ETAT INITIAL : 88
XII.5.1 Environnement physique : 88
XII.5.2 Environnement biologique : 89
XII.5.3 Environnement socioculturel : 89
XII.6 EVALUATION D'IMPACT : 90
XII.6.1 Impact de la phase de réalisation : 90
XII.6.2 Impact de la phase d'exploitation : 91
XII.7 MESURES D'ATTENUATION : 92
XII.7.1 Mesures de maximisation des impacts positifs : 92
XII.7.2 Mesures d'atténuation des impacts négatifs en phase de réalisation : 92
XII.7.3 Mesures d'atténuation des impacts négatifs en phase d'exploitation : 93
XII.8 CONCLUSION : 94
Chapitre XIII : DEVIS ESTIMATIF ET QANTITATIF
XIII.1 DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF : 95
CONCLUSION GENERALE :.....97
BIBLIOGRAPHIE
ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Ce réseau sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire.

Toutefois, concernant le secteur ferroviaire, notre pays a mis un programme comportant des opérations de renouvellement des voies existantes, de renforcement des ouvrages d'art anciens et la création de lignes nouvelles.

Parmi ces opérations, il a été programmé la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire reliant l'ancienne gare d'El Affroune (Wilaya de Blida) au nouveau grand port commercial d'El Hamdania (Daïra de Cherchell – Wilaya de Tipasa) sur un linéaire total de 40 Km.

Ce présent travail présente la conception et l'étude de la nouvelle ligne ferroviaire « El Affroun-El Hamdania Port centre » sur un linaire de 9 Km. La structure de ce mémoire comporte principalement 13 chapitres.

On aborde dans le premier chapitre une recherche bibliographique sur le comportement et les dégradations du ballast.

Le deuxième chapitre comprendra des généralités sur la voie ferrée et ses projets en Algérie et la présentation du projet.

Dans les chapitres III et IV on présente les définitions des paramètres du tracé retenu, le tracé en plan adopté définitif et ses éléments ainsi que le profil en long du tracé retenu.

Une fois le tracé est fini, on obrde l'étude géotechnique (chapitre V) et on dimensionne l'assise ferroviaire et sa plateforme (chapitre VI).

Dans les chapitres VII et VIII on présente le profil en travers type du projet et on dimensionne le système d'assainissement et on fait le calcul hydraulique.

Pour la superstructure de la voie et les ouvrages d'art, ils sont mentionnés dans les chapitres IX et X.

Dans le reste du mémoire, on aborde la signalisation, l'impact sur l'environnement et un devis estimatif et quantitatif du notre projet (chapitre XI, XII et XII).

Chapitre de master : LES DEGRADATIONS DU BALLAST

I.1 BALLAST :

Le ballast fait partie des éléments des couches d'assises de la voie. C'est un matériau granulaire particulier sélectionné spécifiquement pour sa résistance et ses caractéristiques physiques. Il fait l'objet de la norme NF EN 13450 [1] déterminant les caractéristiques du matériau et de l'IN 0274 [13] traitant la mise en œuvre du ballast sur les voies ferrées.

I.2 MATERIAU BALLAST :

Le matériau granulaire est entièrement composé d'éléments issus de l'extraction et du concassage en carrière de roches massives d'origine naturelle. Il doit satisfaire des exigences en termes de granulométrie, de forme et de résistance.



Figure I.1 Ballast ferroviaire

Le ballast doit être un matériau anguleux, ne comportant aucune face arrondie, et vérifiant des caractéristiques de forme comme par exemple un coefficient d'aplatissement faible. Les caractéristiques de forme du ballast, notamment son caractère anguleux, permettent de garantir un meilleur enchevêtrement des grains améliorant le comportement frottant du ballast.

Généralement, la dimension du ballast est de 31.5/50 mm. Son fuseau granulométrique doit correspondre aux spécifications de la norme représentées sur la figure I.2

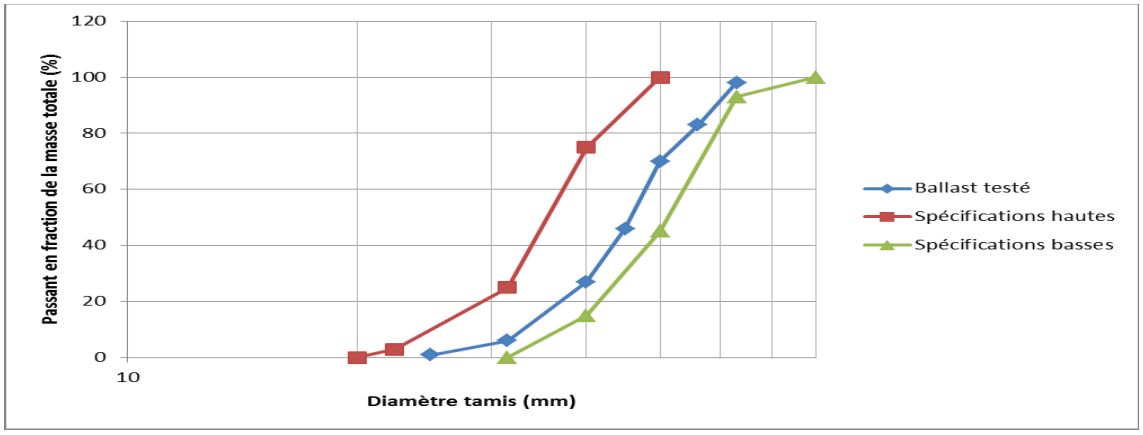


Figure I.2 Spécification granulométrique du ballast

Le ballast est composé de roches dures et résistantes à l'abrasion comme le granite ou la rhyolite. La résistance à l'abrasion est évaluée par l'essai de Micro-Deval et la résistance à la fracturation par l'essai Los Angeles.

Les rôles du ballast sont les suivants :

- La transmission et la répartition des contraintes depuis les traverses vers le sol support ;
- Le maintien de la géométrie de la voie, et sa correction le cas échéant ;
- La résistance aux contraintes latérales, longitudinales et à l'arrachement dû aux efforts thermomécaniques des rails et aux accélérations latérales dans les courbes ;
- La dissipation et l'amortissement des vibrations par l'attrition des grains ;
- Le drainage des eaux pluviales.

I.3 MISE EN PLACE ET PROFILS DE BALLAST :

Le ballast est mis en place sous et entre les traverses. Suivant les méthodes de travail employées, il peut être mis en place par divers engins mécaniques. Généralement, une première couche de ballast est installée avant la mise en place des rails et des traverses. L'espace entre les traverses est ensuite comblé grâce à des wagons ballastières permettant un déversement du ballast en voie.



Figure I.3 Engins de chantier ferroviaire (Ballastière et Bourreuse)

La géométrie de la voie est ensuite travaillée grâce aux bourreuses mécaniques permettant de mettre à niveau la voie et de lui donner les caractéristiques géométriques souhaitées. Les opérations de bourrage et de nivellement font l'objet des IN 0028, IN 0029, IN 0295 et IN 298 [11, 12, 14, 15].

Après chaque phase de bourrage, le ballast est désorganisé. La voie est donc stabilisée afin de retrouver une compacité et une résistance optimale pour l'exploitation. Cette stabilisation est analogue au compactage des terrassements ou au cylindrage des enrobés. Elle peut se faire par deux techniques, soit par circulation de trains lourds (minimum 500 t), soit en utilisant un stabilisateur dynamique.

Le ballast est mis en place de façon à former un épaulement (banquette) à l'extrémité de la traverse. Cette quantité de ballast a pour but de soutenir les efforts latéraux subis par la voie. Suivant l'intensité de ces efforts latéraux ou la sensibilité des éléments de la voie, différents profils de voie sont susceptibles d'être mis en place. Le profil plein, le profil renforcé et le profil super renforcé, représentés sur la figure I.4, sont les trois types de banquettes utilisées. Leurs caractéristiques et leur domaine d'emploi sont définis par l'IN 0274 [13]. .

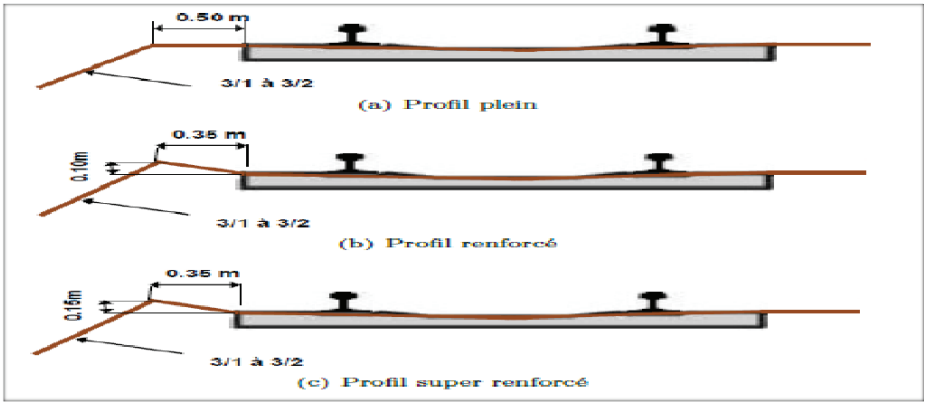


Figure I.4 Profils de voies [16]

Le profil plein est utilisé en section courante sans éléments particuliers et pour des zones courbes dont le rayon est supérieur à 1000 m. Les profils renforcés et super renforcés sont utilisés dans le cas d'une installation sensible comme des appareils de voie ou les appareils de dilatation ou dans le cas d'une courbe plus forte. L'objectif de ces profils est de rajouter une masse supplémentaire augmentant les contraintes et la résistance latérale de la banquette pour prévenir les déformations de voie.

En outre, l'IN 0274 [13] définit également les épaisseurs minimales de ballast à mettre en œuvre sous les traverses selon le type de traverse et la catégorie de voie. Les épaisseurs minimales peuvent varier entre 15 cm, pour les voies les moins circulées, et 35 cm pour les voies les plus circulées. Généralement l'épaisseur maximale de ballast est de 50 cm. Au-delà, il est difficile d'assurer le compactage de la voie.

I.4 DEGRADATION DE LA VOIE :

Les spécifications techniques des voies ferrées garantissent la sécurité et la qualité d'exploitation de l'infrastructure ferroviaire. Le vieillissement de l'infrastructure ferroviaire peut être source d'accident et de problèmes d'exploitation. Ces incidents peuvent aller d'un défaut de signalisation entrainant un blocage de circulation jusqu'à une rupture de rail et un déraillement du matériel roulant. Dans le cas de l'élément ballast, le vieillissement de l'infrastructure se manifeste généralement par une perte de qualité et de résistance du matériau ou par une déformation géométrique de la voie.

I.4.1 Déformation géométrique :

La géométrie de la voie est primordiale pour la sécurité et la qualité d'exploitation de l'infrastructure. Les gauches et les défauts de nivellement sont les deux principaux problèmes de géométrie qui se manifestent au cours du vieillissement de l'infrastructure (voir figure I.5).

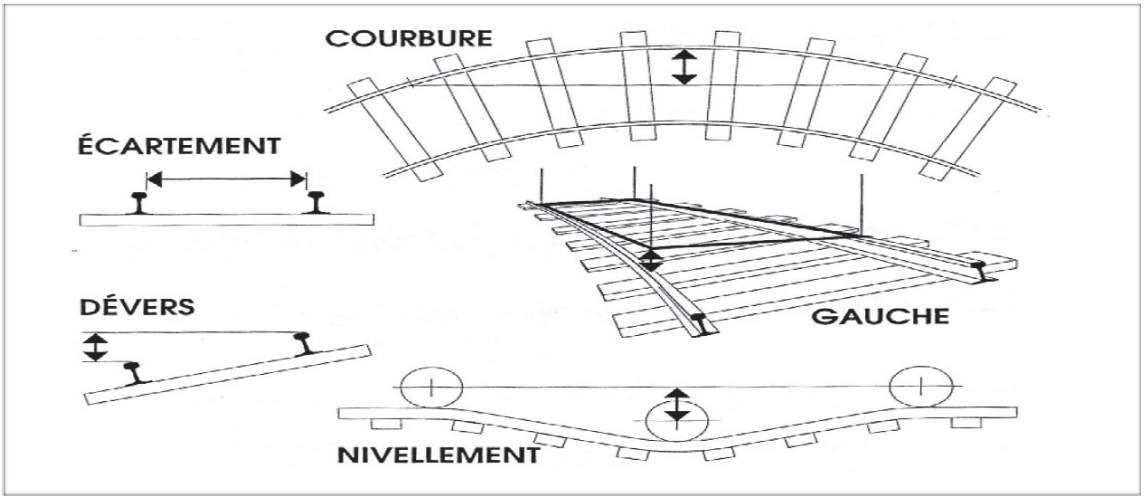


Figure I.5 Éléments de géométrie des voies

La maîtrise de la valeur du gauche d'une voie ferrée est primordiale pour assurer la sécurité des usagers de l'infrastructure. En effet, lorsqu'un train circule dans une zone où la voie présente un gauche, les 4 points d'appui des boggies ne sont pas dans le même plan. L'une des 4 roues peut alors perdre le guidage imposé par le champignon du rail, comme présenté sur la figure I.6, et entrainer le déraillement du train.

On mesure généralement un gauche sur une longueur de 3 m. Normalement, le gauche maximal admissible est de 12 mm. En chantier ou de façon exceptionnelle, le gauche maximal peut être de 18 mm. On considère qu'au-delà de 24 mm de gauche sur 3 m le risque de déraillement est très important.

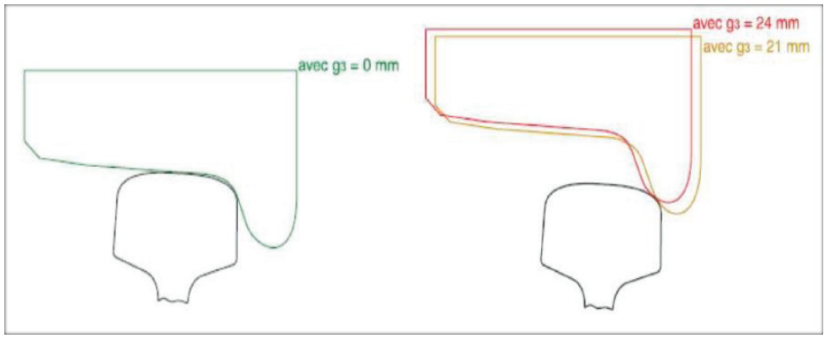


Figure I.6 Effet du gauche sur le guidage de la roue intérieure basse

Un défaut de nivellement vertical quant à lui peut se traduire par un déplacement vertical des engins roulants lors de la circulation. Cela crée des accélérations verticales importantes dégradant la qualité de service et pouvant fragiliser les éléments de la voie par la répétition des impacts.

L'évolution de la géométrie d'une voie est directement due au tassement des différentes couches de matériaux supportant la voie. La majorité du tassement de la voie se produit dans l'épaisseur de la couche de ballast comme illustré par les travaux de Selig et Waters [8] et la figure I.7. Le tassement et les variations de géométrie du ballast sont représentés par des déformations irréversibles et le comportement élastoplastique du ballast.

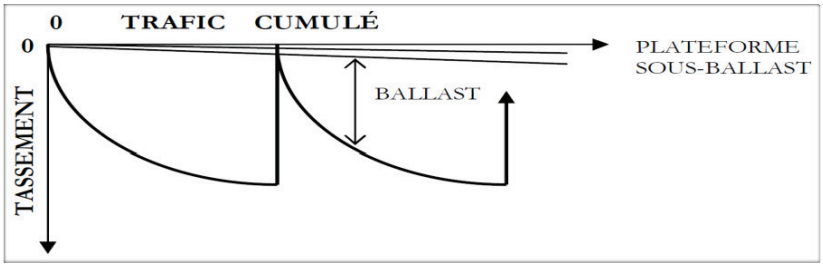


Figure I.7 Répartition et évolution du tassement de la voie avec le trafic cumulé [8]

Durant la vie de l'infrastructure, le tassement de la voie se manifeste en plusieurs phases. Les travaux de Guerin [3] montrent que le comportement de la voie évolue et les variations du tassement sont décrites en deux phases, comme illustrées par la figure I.8. Une première phase d'évolution rapide du tassement correspondante à la stabilisation de la voie, et une seconde phase d'évolution plus lente correspondante au tassement et au vieillissement de l'infrastructure.

Le comportement élastoplastique d'un géo-matériau comme le ballast correspond à la réorganisation des grains qui le composent et à la somme des déplacements relatifs des grains les uns par rapport aux autres. Deux principaux phénomènes sont identifiables. Soit les grains se réorganisent de façon à réduire les vides et l'espace entres les grains, soit ils glissent les uns par rapport aux autres de façon à réorganiser le matériau.

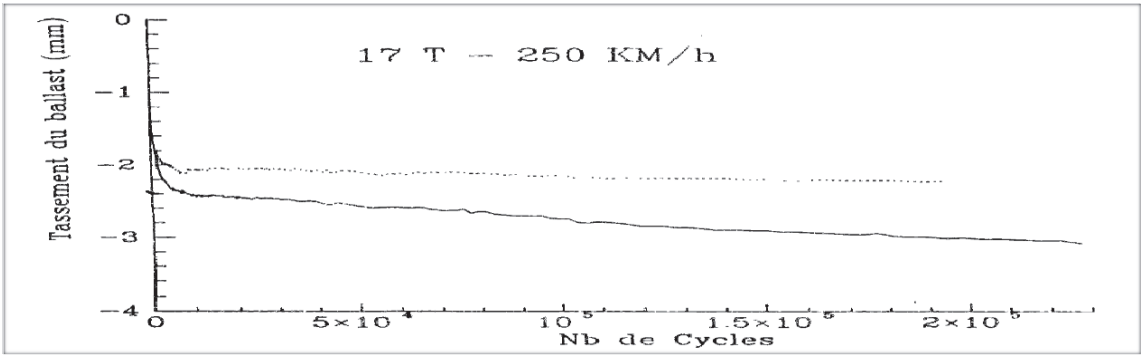


Figure I.8 Évolution du tassement avec le nombre de cycles de chargement [3]

I.4.2 Lois empiriques de tassement :

Afin d'anticiper la dégradation géométrique des voies, plusieurs lois empiriques ont été proposées pour décrire le tassement des voies ferrées en fonction du trafic. Par exemple, Shenton [9, 10] propose plusieurs formules donnant la déformation verticale $\mathcal{E}_{Nc}$ (sans unité) des voies ferrées en fonction du nombre de cycles Nc. Il exprime ε_1^P la déformation initiale, q_{max} l'amplitude du chargement, σ_3 la contrainte de référence, α différent du coefficient de Drucker-Prager et k, a et b les paramètres des équations.

$$\varepsilon_{Nc} = \varepsilon_1 (1 + 0.2 \log Nc) \qquad \text{(I.1 a)}$$

$$\varepsilon_1^P = K \left(\frac{q_{max}}{\sigma_3}\right)^{\alpha} \qquad \text{(I.1 b)}$$

$$\varepsilon (Nc) = a\, Nc^{0.2} + b\, Nc \qquad \text{(I.1 c)}$$

D'autres auteurs, comme Ionescu [17] et al [5], Profillidis [7] et Alva-Hurtado [2], ont également proposé des formules similaires faisant varier la déformation totale de la voie selon des formes logarithmiques en fonction du nombre de cycles ou de la masse de trafic cumulé. Chacune de ces fonctions utilise plusieurs paramètres décrivant la vitesse et l'amplitude des tassements de l'infrastructure. Ces paramètres dépendent entres autres de la qualité du matériau utilisé et de la qualité de sa mise en œuvre. La dégradation de la qualité du matériau aura une influence sur les déformations géométriques de la couche de ballast.

I.4.3 Entretien et phases de dégradation :

Une accumulation de déformations trop importantes conduit à des risques pour l'exploitation ainsi qu'à une chute de la qualité de service, les exploitants d'infrastructures ferroviaires sont contraints de corriger périodiquement la géométrie de voie.

Ces opérations d'entretien correspondent à des opérations de bourrage similaires à celles de mise en place des voies. Une action de bourrage correspond à deux phases présentées sur la figure I.9.

À l'aide d'un système de pinces, les rails et les traverses sont soulevés et placés à la hauteur et à la position désirées. Puis à l'aide de bourroirs (dents métalliques vibrantes), le ballast est repoussé sous les traverses afin de les maintenir dans la position souhaitée.

Ce processus n'est pas neutre pour le matériau ballast. Il provoque une perte de compacité du ballast puisque celui-ci est remanié. Une phase de stabilisation sera de nouveau nécessaire. De plus, l'action mécanique des bourroirs peut être agressive pour le matériau en provoquant localement la perte d'aspérité, la rupture des arêtes et en participant au phénomène de comminution du ballast.

Pour différentes raisons, il est peut-être nécessaire d'apporter un complément de ballast neuf lors de la phase d'entretien. On parle dans ce cas de rechargement.

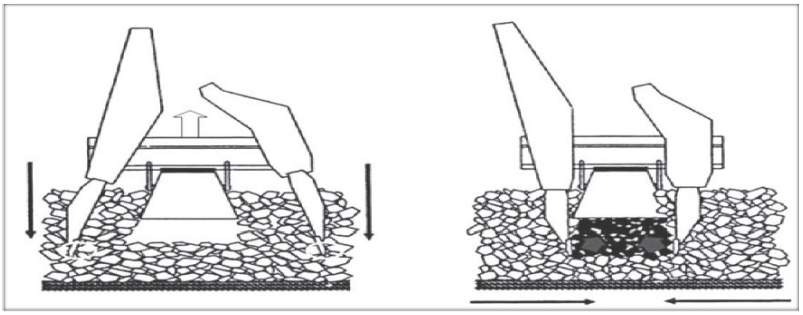


Figure I.9 Action de bourrage [8]

Une phase d'entretien de la voie a pour effet de ramener la structure à sa géométrie initiale, représentée schématiquement par un tassement nul sur la figure I.10. Durant la vie de la structure, la fréquence des phases d'entretien ira en augmentant.

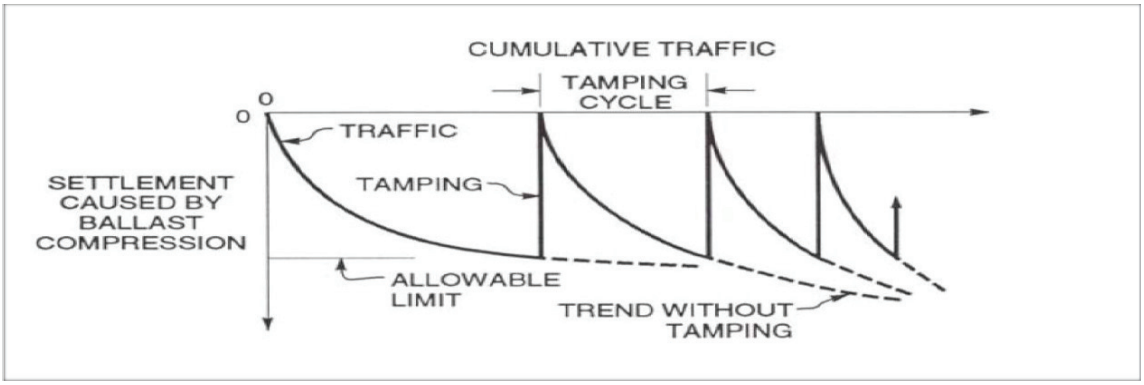


Figure I.10 Accélération de la dégradation géométrique avec les phases de bourrage [8]

Avec l'accumulation des cycles de chargement, le matériau ballast se détériore et perd en qualité. Entre deux phases d'entretien consécutives, la dégradation du matériau aura pour effet d'accélérer l'apparition des tassements et la dégradation géométrique de la voie. Le suivi de la détérioration du ballast et la quantification de sa qualité sont donc importants pour l'étude du vieillissement de l'infrastructure.

I.5 DEGRADATION DU MATERIAU BALLAST :

La dégradation des caractéristiques géométriques de la voie est accompagnée de dégradations du matériau ballast en lui-même. Cette dégradation a pour effet d'accélérer les dégradations géométriques, comme évoqué plus tôt, mais également de diminuer la résistance de la voie aux contraintes qui lui sont imposées. Une perte de qualité du ballast peut augmenter le risque d'incident.

La qualification et la quantification des phénomènes de dégradation du ballast durant la vie de l'infrastructure sont donc nécessaires. On s'intéresse ici aux phénomènes de comminution et de pollution du ballast.

I.5.1 Phénomène de comminution :

Le premier phénomène de dégradation du ballast concerne les grains en eux-mêmes. Comme tout grain d'un géomatériau, les grains de ballast sont sujets à la comminution. Ce phénomène correspond à l'évolution des grains d'une certaine taille en plusieurs grains de tailles inférieures. Généralement, on sépare ce phénomène en trois mécanismes suivant le degré de gravité selon le classement de Guyon et Troadec [4]. Ils sont représentés par la figure I.11.

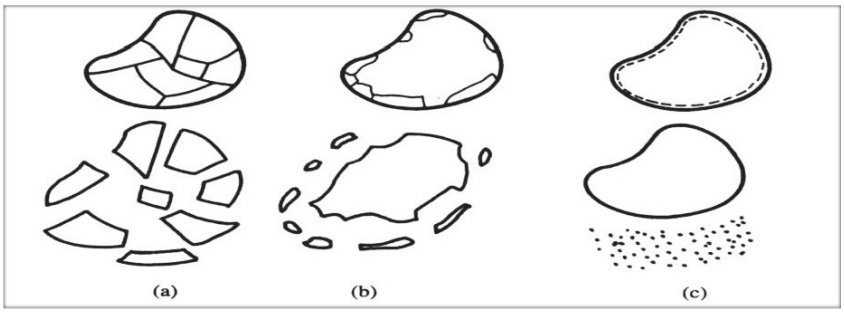


Figure I.11 Phénomène de comminution : (a) fracture, (b) attrition, (c) abrasion [4]

a. Le phénomène de fracture correspond à la séparation du grain initial en grains de tailles similaires sans grain principal ;
b. Le phénomène d'attrition correspond à la séparation de petits éléments du grain initial. Il y a alors un grain principal et des grains secondaires ;
c. Le phénomène d'abrasion correspond à la disparation des aspérités du grain initial et à la formation de poussières.

Ces trois mécanismes sont la manifestation d'un même phénomène, mais à des degrés différents. La fracture des grains se produit généralement lorsque le matériau est soumis à de fortes contraintes isotropiques, alors que l'abrasion peut se manifester pour des contraintes plus faibles.

La comminution des grains de ballast a divers effets sur le comportement du matériau global. L'abrasion se traduit par une perte d'aspérités en surface des grains ce qui diminue les frottements inter-particulaires et la résistance générale du matériau. L'attrition a principalement pour effet d'arrondir les grains ce qui diminue la résistance et l'effet d'imbrication des grains. Enfin, la fracture des grains et l'apparition de grains plus fins en général a pour effet d'introduire des éléments intermédiaires dans le matériau. Ces éléments jouent le rôle de lubrifiant au niveau des points de contact ce qui diminue encore la résistance du matériau.

Enfin, l'apparition de grains plus fins provoque un comblement des vides du matériau. Globalement cela se traduit par une densification du ballast et une perte de volume apparent de matériau participant au tassement de l'infrastructure.

I.5.2 Mesure de la comminution :

La comminution d'un matériau granulaire se traduisant par la diminution de la taille des grains et l'apparition de grains plus petits, elle est notamment visible sur la courbe granulométrique du matériau.

La courbe granulométrique permet de décrire la composition d'un géomatériau en fonction des diamètres de ses grains. On note cette courbe F(d) donnant en fonction d'un diamètre *d* la proportion massique du matériau de diamètre inférieur. La dérivée de cette courbe notée p(d) donne la proportion massique de chaque fraction granulaire dans le matériau.

Lors de la détérioration d'un matériau, la proportion des fractions granulaires de plus gros diamètre diminue. Dans le même temps, la masse correspondant aux fractions granulaires de plus petit diamètre augmente. On constate alors une augmentation générale du passant pour chaque diamètre d. Par exemple, ce phénomène est illustré par la figure I.12 représentant l'évolution d'un matériau granulaire sous l'effet d'un martellement [6].

La mesure de ce phénomène peut se faire de plusieurs façons. Il est possible de comparer les proportions de chaque fraction granulaire ou directement les courbes granulométriques.

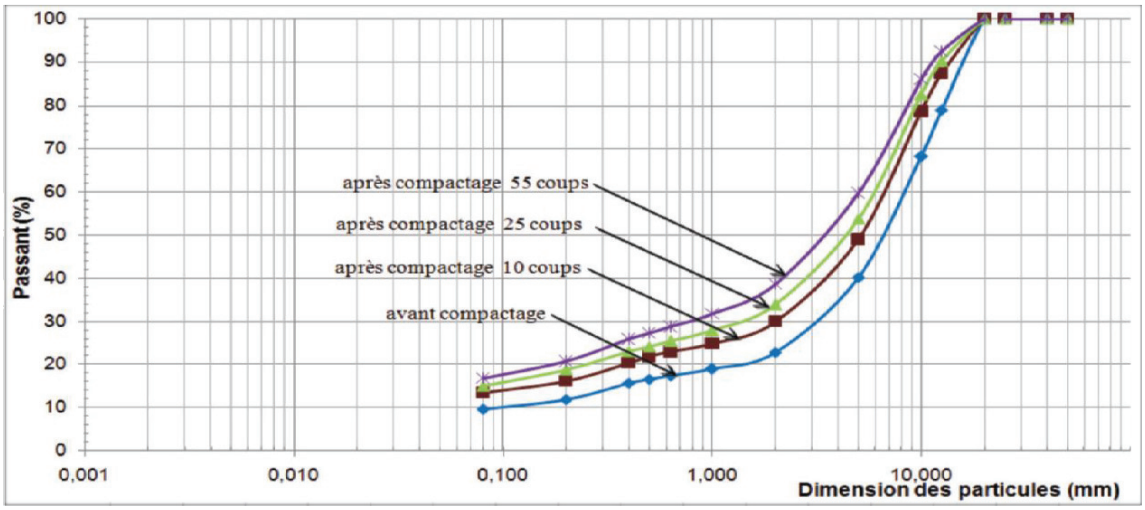


Figure I.12 Variation de la courbe granulométrique d'un matériau soumis à un martèlement [6]

I.5.3 Pollution du ballast :

La comminution des grains n'est pas le seul phénomène aboutissant à une perte de qualité du ballast. En effet, il subit également une pollution et un apport de matériaux extérieurs.

Ces matériaux peuvent provenir de l'environnement immédiat par le vent ou la végétation par exemple. De la même façon, des éléments peuvent provenir de la dégradation des autres composants de la voie ou des trains eux-mêmes. C'est le cas des poussières d'acier provenant de l'usure des rails ou des garnitures de frein. De même, les traverses, notamment en béton, se dégradent sous les chargements répétés des trains. Cela crée également une certaine quantité de fines qui polluent le ballast de façon plus localisée, comme illustré par la figure I.13.

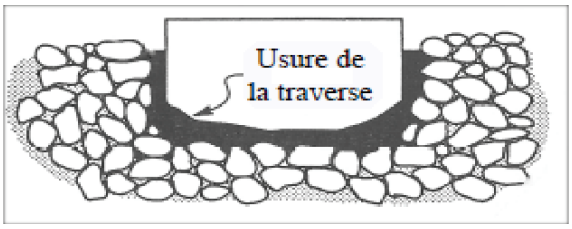


Figure I.13 Phénomène d'usure de la traverse

Enfin, les fines remontant depuis le sol support et la plateforme constituent une source importante de pollution extérieure. Ce phénomène se manifeste davantage lorsque le sol support comporte une part importante de fines notamment argileuses. Les chargements successifs créent un effet de succion de ces éléments dans le ballast.

Pour prévenir ce problème, il est possible de mettre en place des nappes de géotextiles entre la plateforme et le ballast. D'autres solutions techniques sont également utilisées, notamment à l'étranger, en mettant en place des couches de matériau intermédiaire appelés sous-ballast servant de tampon à la remontée des éléments fins du sol.

Il est possible d'évaluer de niveau de pollution du ballast grâce à l'indice d'encrassement (Fouling Index), noté FI. Selig et Waters [8] proposent de mesurer cet indice par la formule (I.2) selon les passants P_4 à 4 mm et $P_{0.075}$ à 0.075 mm.

$$\mathbf{FI = P_4 + P_{0.075}} \qquad \text{(I.2)}$$

Ionescu [17] propose une mesure similaire en utilisant les mesures de $P_{13.2}$ et $P_{0.075}$ et une mesure alternative $\mathbf{FI_D = D_{90} / D_{10}}$. Il propose également une classification de l'état du ballast de propre à très souillé selon le tableau I.1.

Tableau I.1 Classification de la pollution du ballast selon les différents indices d'encrassement

Indice d'encrassement			**Classification**
$\mathbf{FI_p = P_{0.075} + P_{13.2}}$	$\mathbf{FI_D = D_{90} / D_{10}}$	$\mathbf{FI = P_{0.075} + P_{4.75}}$	
$FI_p < 2$	$FI_D < 2.1$ et $P_{13.2} < 1.5\%$	$FI < 1$	Propre
$2 < FI_p < 10$	$2.1 < FI_D < 4$	$1 < FI < 10$	Modérément propre
$10 < FI_p < 20$	$4 < FI_D < 9.5$	$10 < FI < 20$	Modérément encrassé
$20 < FI_p < 40$	$9.5 < FI_D < 40$	$20 < FI < 40$	Encrassé
$FI_p > 45$	$FI_D > 40$, $P_{13.2} > 40\%$, $P_{0.075} > 5\%$	$FI > 40$	Très encrassé

I.5.4 Synthèse :

On peut résumer la dégradation du ballast comme deux phénomènes principaux, la comminution des grains et la pollution du ballast.

Ces deux phénomènes ont pour effet de modifier le comportement du matériau en entraînant notamment une perte de résistance et une perte des capacités drainantes du matériau.

La résistance du ballast est largement due à sa structure enchevêtrée, à son caractère anguleux et à l'état de surface de ses grains. Sa dégradation a donc pour effet d'en diminuer la résistance. La perte d'aspérités a pour effet immédiat de diminuer la résistance au frottement interparticulaire. De même, la rupture des arêtes et l'arrondissement des grains a pour effet de faciliter les rotations et donc les déplacements relatifs des grains. Enfin, l'apparition d'éléments plus petits a un effet de lubrification au niveau des points de contact.

L'ensemble de ces dégradations se traduit de façon macroscopique par une chute de la résistance et de l'angle de frottement du matériau. Cette diminution de la résistance aboutit ensuite à une accélération des tassements et une augmentation des défauts de géométrie de la voie.

I.6 CONCLUSION :

La voie ferrée est une infrastructure de transport soumise à de fortes contraintes techniques garantissant l'efficacité et la sécurité de son exploitation. Elle doit satisfaire des exigences mécaniques et géométriques nécessaires à son bon fonctionnement.

Parmi les éléments qui la composent, le ballast est un élément important. Il répond d'abord aux exigences de résistance, puisqu'il doit résister aux efforts auxquels il est soumis et les transmettre au sol support. Il doit également répondre aux exigences de géométrie primordiales à la sécurité des engins roulants.

La structure ballastée subit donc des chargements importants et répétés ce qui entraine une modification de la géométrie de la voie. Des tassements irréversibles du matériau et des déformations plastiques se manifestent dans la structure. Il est alors nécessaire de réaliser des opérations de nivellement et d'entretien de la géométrie de la voie.

Durant la vie de la structure le matériau ballast est également dégradé. L'état des grains est altéré par le phénomène de comminution. Cela se traduit par une perte d'aspérités et un arrondissement des grains. Ce phénomène peut être accompagné d'un phénomène de pollution extérieure. Dans les deux cas, le phénomène de dégradation du ballast se traduit par une perte de résistance du matériau. D'une part, à cause de la diminution de la résistance interparticulaire et d'autre part à cause des effets de formes des grains et l'apparition de grains fins jouant un rôle lubrifiant dans le matériau.

Cette dégradation du matériau ballast influe directement sur la sécurité de la voie, mais également sur la vitesse de dégradation de la géométrie.

Le suivi du comportement de la structure du ballast sur un très grand nombre de cycles, ainsi que le suivi de ses dégradations ouvrent de nouvelles possibilités de définir une prédiction précise de l'état de dégradation de la structure et la quantification des proportions de matériau sain et de matériau dégradé aidant à l'anticipation et à l'optimisation des opérations d'entretien par exemple.

GENERALITES ET PRESENTATION DU PROJET

II.1 LES MINES DONNENT NAISSANCE AU CHEMAIN DE FER :

L'idée de faire circuler des charges lourdes sur des rails remonte aux premières exploitations minières.

Dès l'époque médiévale, en Europe, les exploitants des mines s'aperçurent en effet que les charrettes de produits lourds rencontraient moins de résistance au frottement lorsqu'elles roulaient sur des rails. Ces rails improvisés furent d'abord en bois et les véhicules eux-mêmes étaient tirés par des chevaux.

Grâce au développement de la métallurgie, on remplaça progressivement les rails en bois par des rails en fer, ce qui améliora de beaucoup les performances de la traction.[18]



Figure II.1 Locomotive "Alsthom" MF70 à la Mine d'Errouville (Crusnes / Meurthe et Moselle - France)

II.2 HISTOIRE DU CHEMIN DE FER ALGERIEN :

La réalisation du réseau de chemin de fer algérien s'est faite par étapes successives. Durant la période coloniale, trois programmes ont été initiés par l'administration de l'époque : le programme de 1857, de 1879 et celui de 1907.

En 1857, un décret daté du 8 avril autorise la construction de 1357 km de lignes. Le 12 décembre 1859, l'armée d'occupation ouvre le chantier de la ligne Alger-Blida. Une entreprise de statut privé, appelée Compagnie des chemins de fer algériens, est créée et celle-ci prend le relais de l'armée à partir du 11 Juillet 1860 pour achever la ligne. Cette compagnie obtient en même temps une concession pour la réalisation des lignes Oran-Sig et Constantine-Skikda, mais elle rencontre des problèmes de financement et seule la ligne Alger-Blida a pu être réalisée et ouverte au service des voyageurs le 8 septembre 1862. Au cours de la période 1857-1878, les lignes ou tronçons de ligne totalisant une longueur de 1365 km ont été réalisés.

En 1879, les lignes sont classées soit d'intérêt général, soit d'intérêt local. Seules les lignes d'intérêt général peuvent bénéficier d'une participation financière de l'Etat pour leur réalisation. Une loi datée du 18 juillet définit les lignes d'intérêt général et ajoute un programme de 1747 km de lignes nouvelles au réseau existant. Au cours de la période 1879-1906, les lignes ou tronçons de ligne totalisent une longueur de 2035 km, réalisés ou entamés.

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km de lignes est établi et vient s'ajouter au réseau existant de 3400 km de lignes ouvertes ou en cours de réalisation. Au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons totalisent une longueur de 1614 km réalisés.

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer sur routes (CFRA). Après l'indépendance nationale, la convention de juin 1959 continuera à régir les relations entre l'Etat et la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens) jusqu'au 31 mars 1976, date à laquelle cette dernière a été restructurée en trois entreprises : la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) chargée de l'exploitation et de l'entretien du réseau ferroviaire ; la SNERIF, société nationale chargée du renouvellement et de l'extension du réseau ferroviaire ; la SIF, société d'engineering et de réalisation d'infrastructures ferroviaires. Cette réorganisation, qui avait pour objectif de séparer les activités d'exploitation et d'entretien de celles du renouvellement et de l'extension du réseau, n'a pas atteint les objectifs attendus.

En 1980, un " large " programme d'investissement a été lancé et qui se caractérise surtout par la modernisation et l'accroissement de la capacité des lignes du réseau, les grands aménagements ferroviaires régionaux et l'extension géographique du réseau.

Depuis décembre 1990, la SNTF est dotée d'un statut d'établissement public à caractère industriel et commercial. Et si en 1946, le réseau était de 5014 km, en 2007, le réseau s'est réduit à 4200 km, dont 3800 km seulement sont exploitables, selon les données de la SNTF.[19]

II.3 PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX FERROVIAIRES EN ALGERIE :

Le rail reste au cœur du développement national. De 4 576 km, actuellement, le réseau ferroviaire national devrait passer à 6 000 km et à plus long terme à 12 000 km avec la réalisation du programme de modernisation et d'extension. L'objectif est de poursuivre le maillage du territoire national, en desservant et en désenclavant un maximum de villes et villages, afin d'insuffler une dynamique économique.

Cet ambitieux projet est confié à l'Agence Nationale d'Etudes et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF), il est illustré comme suit :

- **Doublement avec rectification du tracé de la rocade Nord :**

Ligne : Frontière algéro - marocaine (Akkid Abbes) - Tlemcen - Sidi Bel Abbes - Oran - Relizane- Chlef - Blida - Alger - Bouira - Bordj Bou arreridj - Sétif - Constantine- Annaba - frontière tunisienne (Tabarka) ;

- **Réalisation nouvelle de la rocade des Hauts Plateaux :**

Ligne **:** Moulay Slissen – Saida-Tiaret -Tissemsilt - Boughezoul – M'sila - Ain Touta - Ain Mlila –Tébessa ;

- **Réalisation de la pénétrante Ouest :**

Ligne : Sidi Bel Abbes - Moulay Slissen - Mecheria – Bechar ;

- **Réalisation de la pénétrante centre :**

Ligne : Boumedfaa - Boughezoul - Djelfa - Laghouat - Ghardaïa - Ouargla et Hassi Messaoud ;

- **Modernisation et prolongement de la pénétrante Est :**

Ligne : El Gourzi - Ain Mlila - Batna - ; Biskra - Touggourt - Hassi Messaoud ;

- **Effectuer un maillage serré autour de la rocade Nord ;**
- **Electrification de toute la rocade Nord ;**
- **Modernisation des systèmes de signalisation en cours.**

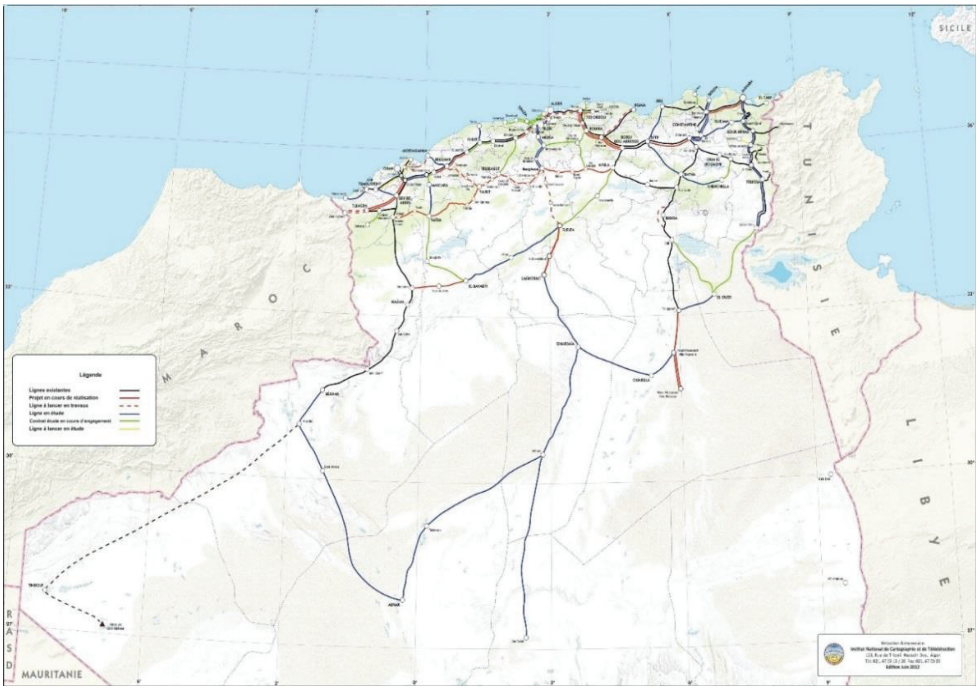


Figure II.2 Le programme du développement ferroviaire algérien [19]

II.4 PRESENTATION GENERALE DU PROJET :

De grands projets structurants seront lancés dans la wilaya de Tipasa. Outre la réalisation d'un grand port commercial à El Hamdania, commune de Cherchell, l'un des plus importants en Afrique.

Tipasa, qui ne dispose pas actuellement d'un réseau de transport ferroviaire, bénéficiera alors de la réalisation d'une ligne ferroviaire qui fera jonction entre la ville d'El Affroune et le port centre d'El Hamdania.

D'environ 40 km, le projet intitulé « la nouvelle ligne ferroviaire EL Affroun- El Hamdania port centre » prend son origine au niveau de la gare ferroviaire de la commune d'El Affroun (W. Blida), en traversant la plaine de Metidja, pour se raccorder au niveau du futur port centre d'El Hamdania (W. Tipasa).

Les communes traversées par le projet sont :

- El Affroun (W Blida) ;
- Ahmar El Ain, Bourkika, Hadjout, Tipaza, Nador, Sidi Ammar et Cherchell (W Tipasa).

Les premiers 24 km du projet traversent la plaine de Metidja, cette dernière est caractérisée par un relief plat et par des potentialités agricoles très importantes.

De Nador vers la fin du projet (El Hamdania), le terrain est plus au moins vallonné, dans cette section, le terrain du projet est caractérisé par la présence du mont de Chenoua (qui est une zone protégée), la rocade de Tipaza et Oued Hachem.

Pour notre projet de fin d'étude on traite la partie du PK 29+000 (Sidi Amer) au PK 38+000 (El Hamdania port centre) d'un linéaire de 9 Km.

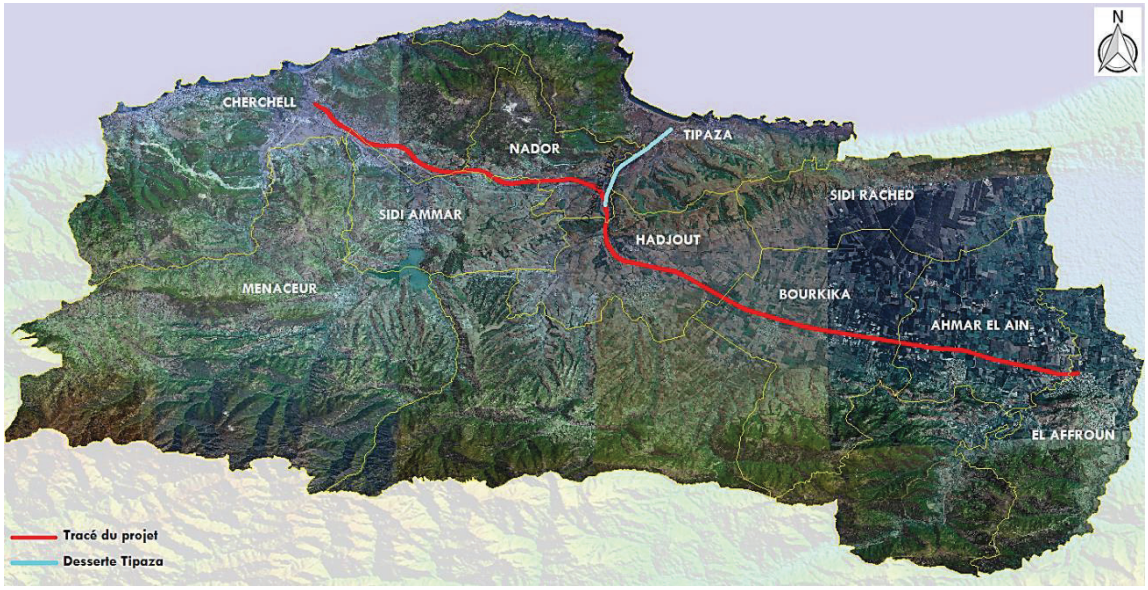


Figure II.3 Localisation du projet

II.5 OBJECTIFS DU PROJET :

- Relier ces villes au réseau ferré ;
- Répondre aux besoins de transports sur le plan voyageurs et marchandises ;
- Permettre le transport des marchandises depuis le port d'El Hamdania ;
- La redynamisation du secteur BTPH lors des travaux ;
- Un gain de temps de transport et une amélioration de la sécurité ;
- La valorisation et l'optimisation de toutes les potentialités ;
- L'ouverture des régions les unes aux autres ;

II.6 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Le tracé de ce projet est conditionné par les caractéristiques suivantes :

- Type de ligne : nouvelle ligne électrifiée à double voie avec un écartement standard de 1435 mm ;
- Type de rails : rails UIC 60 posés sur des traverses bi bloc ;
- Les paramètres du tracé sont suivant les normes UIC ;
- La charges à l'essieu pour la superstructure est de 22.5 tonnes ;
- La charges à l'essieu pour les ouvrages d'art est de 25 tonnes ;
- Type de trafic : mixte (trains voyageurs et trains marchandises) ;
- Vitesses maximales des trains : 160 km/h pour les trains voyageurs et 80 km/h pour les trains marchandises.

II.7 APERCU SUR LA PHASE APS :

L'itinéraire du projet traverse la wilaya de Tipaza et la wilaya de Blida. Deux variantes de tracé ont été développées et présentés ci-après :

- La variante N°01 prend son origine de la gare d'El Affroun jusqu'à à la gare de Tipasa Est, et la ligne desserve 05 gares.
- La variante N°02 prend son origine de la gare d'El Affroun jusqu'à à la gare de Tipasa Ouest, et la ligne desserve 05 gares.

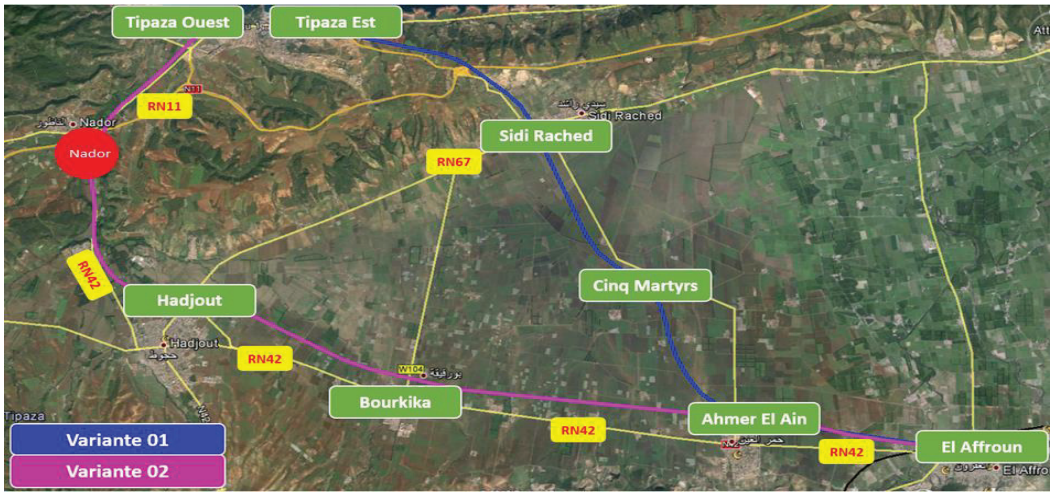


Figure II.4 Les deux variantes proposées

II.7.1 Choix entre les deux variantes :

La variante N°02 est retenue la plus favorable pour les raisons suivantes :

- Le coût de réalisation ;
- L'accessibilité ;
- L'exploitation des trains ;
- Elle attire plus de voyageurs que la variante N°01, car elle couvre la quasi-totalité des villes entre El Affroun et Tipasa ;
- Elle est plus proche du port d'El Hamdania que la variante N°01.

II.7.2 Desserte port centre :

Deux variantes sont proposées pour desservir le futur port centre. Les deux variantes prennent origine de Nador, traversent Oued Nador, Oued Hachem et la rocade de Tipaza :

- La variante N°01 se termine au niveau de la gare proposée de Bou Aroua, Est du port centre ;
- La variante N°02 se termine au niveau de la gare proposée de Cherchell, Ouest du port centre ;

La variante N°02 est retenue la plus favorable pour des raisons économiques.

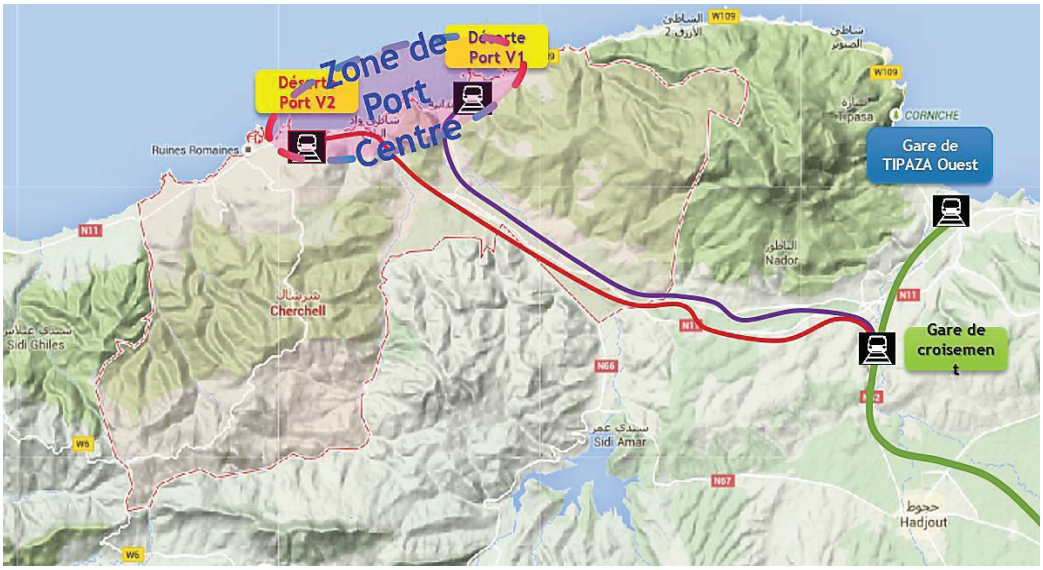


Figure II.5 Variantes proposées pour la desserte du port centre

II.7.3 CONCLUSION :

L'analyse multicritères des variantes N°01 et N°02 des deux sections étudiées (la variante principale et la desserte) a fait ressortir la variante la plus économique et la plus avantageuse sur le plan de transport des biens et des personnes, en l'occurrence la variante N°02 pour la section El Affroun-Tipasa et la variante N°02 pour la section Nador-El Hamdania port centre.

Suite a l'importance du grand port commercial, le tracé final est fixé de telle sorte où il commence au niveau de la gare ferroviaire d'El Affroun (W. Blida) et se termine au niveau du port centre d'El Hamdania-Cherchell (W. Tipaza) avec une desserte pour relier Tipasa à partir de la localité de Nador.

Cette variante choisie en phase APS fera donc l'objet d'une étude d'avant-projet détaillé (APD)

TRACE EN PLAN

III.1 INTRODUCTION :

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'assurer la stabilité dynamique, le confort et la sécurité des biens et des personnes, il est donc indispensable de rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface.

Le tracé en plan est la représentation sur un plan horizontal de l'axe de la voie, il est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes.

En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

- **Vv** : vitesse des trains rapides (voyageurs) ;
- **Vm** : vitesse des trains lents (marchandises).

À partir desquelles on pourra définir et déterminer toutes les caractéristiques géométriques de la voie qui doivent être homogènes pour assurer les conditions de confort et de sécurité.

III.2 CONDITIONS ET REGLES DU TRACE :

Le tracé en plan doit assurer un confort technique et un cout économique, et pour atteindre cet objectif, on doit respecter les conditions et les recommandations suivantes :

- Utiliser le maximum d'alignements droits ;
- Suivre les courbes de niveau afin d'éviter les terrassements trop importants ;
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible. Dans le cas où c'est inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dans les endroits les plus étroits ;
- Eviter au maximum de passer sur des propriétés privées ;
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières ;
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- Eviter les problèmes de talus :
    - ✓ **Talus en déblai :**
        - Présence de nappe ;
        - Terrains plastiques ;
        - Présence de roches fissurées.
    - ✓ **Talus en remblai :**
        - Présence de terrain instable ;
        - Sol très compressible.

III.3 ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA VOIE :

Un tracé en plan est constitué de l'ensemble des trois éléments géométriques :

- L'alignement droit ;
- La courbe circulaire ;
- La courbe de transition (clothoïde).

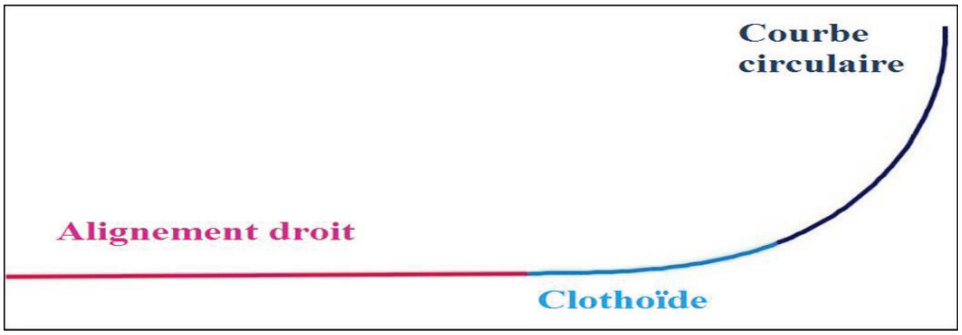


Figure III.1 Les éléments du tracé en plan

III.3.1 L'alignement droit :

C'est le meilleur trace qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, outre le confort apporté aux voyageurs.

Pour les tracés ferroviaires la seule limitation pour les alignements droits est la longueur minimale des éléments qui doit respecter la condition suivante :

Tableau III.1 Valeurs de longueur minimale de l'alignement (fiche UIC703)

Valeur limite normale	**Lmin = Vv/2**
Valeur limite exceptionnelle	**Lmin = Vv/3**

Où **Vv** est la vitesse des trains rapides exprimée en (km/h) et **Lmin** est la longueur minimale de l'alignement droit exprimée en (m).

III.3.2 La courbe circulaire :

Dans les zones ou le relief ne permet pas de réaliser des alignements continus, on procède par des raccordements circulaires avec le plus grand rayon possible.

Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence **Vv** de ne pas déraper.

III.3.3 La courbe de transition (clothoïde) :

Il permet d'éviter la variation brusque de la courbe entre lors du passage d'un alignement à un cercle ou l'inverse, la courbure varie progressivement d'un rayon R= ∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur de rayon R constante au début de l'arc de cercle.

On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant, tel que :

$$\mathbf{A^2 = L_{RP} \times R}$$

Tel que :

- **A :** paramètre de Clothilde ;
- $\mathbf{L_{RP}}$: longueur de raccordement (m) ;
- **R** : rayon de la courbure (m).

III.4 LES PARAMETRES DE LA CONCEPTION DU TRACE :

Les paramètres de la conception du tracé sont conformes au code **UIC 703 R**

III.4.1 Dévers :

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à le renverser vers l'extérieur du virage.

Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail de la file extérieur de la voie par rapport au rail intérieur, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

Remarque : Le dévers en alignement droit est nul.

III.4.1.1 Dévers théorique :

C'est le dévers souhaitable qui sert à annuler la force latérale, de répartir la résultante uniformément dans le plan des rails.

Considérons un train qui circule avec une vitesse uniforme **V** dans une courbe circulaire de rayon **R** un élément matériel de masse **m** est donc soumis en plus de son poids **P** à la force centrifuge **F**. Cette force vaut : $\mathbf{F = m \times a}$ et $\mathbf{a = \frac{V^2}{R}}$

$$\Longrightarrow \quad \boxed{\mathbf{F = m\,\frac{V^2}{R}}}$$

Le poids du train est donné par la relation : $\mathbf{P = mg}$

Tel que :

- **a** : accélération centrifuge ;
- **g** : accélération verticale due à la pesanteur.

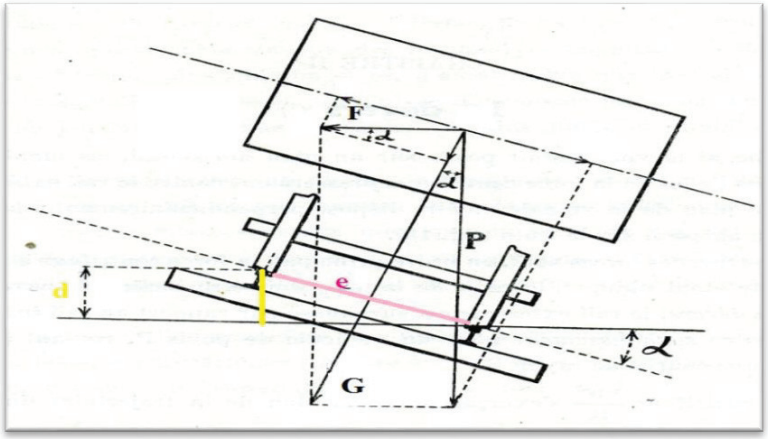


Figure III.2 les forces agissant sur un véhicule dans une courbe

Avec :

- **e** : l'écartement des deux fils de rail ;
- **G** : la résultante des deux forces, **P** le poids du train et **F** la force centrifuge ;
- **α** : angle de dévers entre la résultante **G** et la force verticale **P** ;
- **d** : le dévers.

Pour que le véhicule n'exerce pas des efforts latéraux néfastes à la stabilité de la voie, il faut que la direction de la résultante G soit perpendiculaire au plan de roulement joignant les sommes des deux rails.

D'après la figure : $\sin\alpha = \frac{d}{e}$ et $\tan\alpha = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{R.g}$.

Pour α très petit on a : $\sin\alpha = \tan\alpha \Longrightarrow \frac{d}{e} = \frac{V^2}{R \times g}$;

$$\Longrightarrow \quad d = \frac{V^2 \times e}{R \times g}.$$

Pour :

- **e** = 1.5 m = 1500 mm ;
- **g** = 9.81 m/s² ;
- **V** (m/s) = $\frac{1}{3.6}$ **V** (km/h).

$$\Longrightarrow \quad d = \left[\frac{1}{3.6}\right]^2 \times \frac{V^2}{R} \times \frac{1500}{9.8}$$

Donc :

$$\boxed{d_{th} = 11.8 \ \frac{V^2}{R}}$$

Avec :

- d_{th} : le devers théorique en (mm) ;
- **R** : en (m) ;
- **V** : en (km/h).

III.4.1.2 Dévers prescrit (pratique) :

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 marchandises.

Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique d_p, tel que :

$$\boxed{d_p = \frac{1000 \times C}{R} (mm)}$$

Avec :

- **C** : Coefficient de dévers ;
- **R** : Rayon de raccordement circulaire.

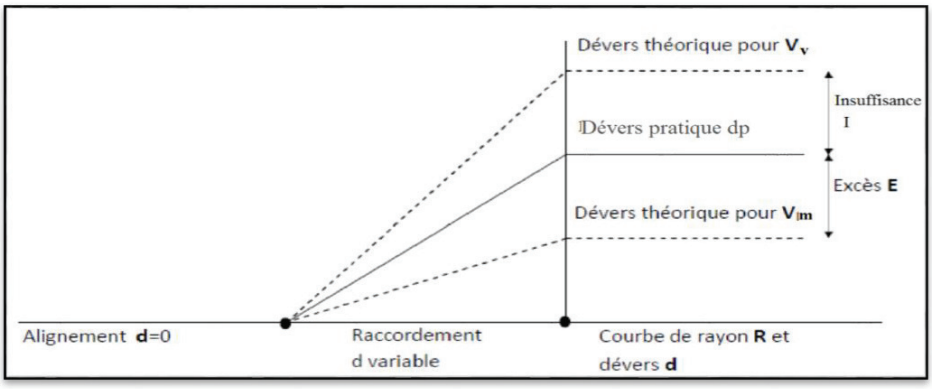


Figure III.3 Schéma de raccordement de devers

III.4.2 Coefficient de dévers :

Le choix d'un coefficient de proportionnalité **C** (appelé coefficient du dévers), constant sur une section de voie à trafic homogène donné, entre le dévers pratique (**dp**) et la courbure (**1/R**), permet de respecter simultanément les valeurs limites normales (ou, dans certains cas exceptionnelles) des paramètres suivants :

- Dévers ;
- Insuffisance de dévers ;
- Excès de dévers ;
- Variation de dévers ;
- Variation de l'insuffisance de dévers.

La valeur optimale du coefficient de dévers étant de l'ordre de :

$$\mathbf{C = \frac{R_{min} \times d_{Rmin}}{1000}}$$

Avec :

- $\mathbf{R_{min}}$: Le rayon de courbe minimal ;
- $\mathbf{d_{Rmin}}$: Dévers pour le rayon minimum ;

III.4.3 Insuffisance de dévers :

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers **I** (en mm) la différence entre le dévers théorique des trains rapides $\mathbf{d_{th}}$ et le dévers pratique $\mathbf{d_p}$, tel que : $\mathbf{I = d_{th} - d_p}$

III.4.4 Excès de dévers :

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers **E** (en mm) la différence entre le dévers pratique $\mathbf{d_p}$ et le dévers théorique $\mathbf{d_{th}}$ des trains lents.

$$\mathbf{E = d_p - d_{th}}$$

III.4.5 Gauchissement et variation du dévers :

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste. Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport **d/L** appelé « gauche » exprime cette variation en **(mm/m).** Sa limite est donnée en fonction de la vitesse des trains rapides **Vv** exprimée en **(km/h)** comme suit :

- Valeur limite normale **:** $\mathbf{dd/dl = 180/Vv}$
- Valeur limite exceptionnelle : $\mathbf{dd/dl = 216/Vv}$

Pour une variation de dévers en fonction de temps $\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dt}}$, on la déduit de la formule précédente tel que :

$$\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dt}} = \frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dl}}\frac{\mathbf{dl}}{\mathbf{dt}} = \frac{d_p \times V_V}{3.6 L_{RP}} \leq \left(\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dt}}\right)_{\mathbf{lim}}$$

Avec :

- $\frac{\mathbf{dl}}{\mathbf{dt}} = \mathbf{V_v\ (m/s)} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{3.6}}\mathbf{V_v\ (km/h)}$**;**
- $\left(\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dt}}\right)_{\mathbf{lim}}$: Valeur limitée par les normes de $\frac{dd}{dt}$;
- $\mathbf{L_{RP}}$: la Longueur de clothoïde en (m).

III.4.6 Variation d'insuffisance de dévers :

Taux exprimé en **(mm/s)** suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une masse circulant à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps. La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule :

$$\frac{\mathbf{dI}}{\mathbf{dt}} = \frac{\mathbf{I \times V_V}}{\mathbf{3.6\ L_{RP}}}\ \mathbf{(mm/s)}$$

III.4.7 Longueur de raccordement de dévers :

C'est la longueur de Clothilde **L_{RP}** qui permet un raccordement convenable du dévers.

Exprimée par la formule suivante :

$$L_{Rmin} \geq \max \{L_{R1}, L_{R2}, L_{R3}\}$$

Tel que :

- $L_{R1} \geq \frac{d_p \times Vv}{3{,}6.\left(\frac{dd}{dt}\right)_{lim}}$;
- $L_{R2} = \frac{d_p \times V_V}{180}$;
- $L_{R3} \geq \frac{I \times V_v}{3.6 \times \left(\frac{dI}{dt}\right)_{lim}}$.

Avec :

- $\mathbf{d_p}$ en (mm) ;
- $\mathbf{L_{Rmin}}$ en (m) ;
- $\mathbf{V_v}$ en (km/h).

III.4.8 Rayon minimal normal :

Les paramètres à prendre en considération pour la détermination des rayons minimaux de courbure sont :

- Les vitesses maximales et minimales d'exploitation ;
- Le dévers appliqué ou dévers normal ou réel ;
- Les valeurs limites d'insuffisance et d'excès de devers.

Le rayon minimal $\mathbf{R_{min}}$ pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation est :

$$\mathbf{R_{min} = \frac{11.8 \times V_v^2}{d_{max} + I_{max}}\ (m)}$$

Tel que :

$$\mathbf{d_{R_{min}} = \frac{V_v^2 \times E_{max} + V_m^2 \times I_{max}}{V_v^2 - V_m^2}}$$

Avec :

- $\mathbf{V_v}$ et $\mathbf{V_m}$ en (km/h) ;
- **E** et **I** en (mm) ;
- $\mathbf{d_{R_{min}}}$ Dévers pour le rayon minimal en (mm).

III.5 APPLICATION AU PROJET :

Données de base :

- Vitesse des trains rapides (voyageurs) $\mathbf{V_v}$ = 160 km/h ;
- Vitesse des trains lents (marchandises) $\mathbf{V_m}$ = 80 *k*m/h.

D'après le **Code UIC 703** et pour notre cas de projet les valeurs des paramètres du tracé sont comme suit :

Tableau III.2 Valeurs des paramètres du tracé

Catégorie Vitesse maximale km/h	**II (120-200)**		
Valeur limite / Paramètres	normale	maximale	exceptionnel
Dévers **d (mm)**	**120**	**150**	**160**
Insuffisance de devers **I (mm)**	**100**	**120**	**150**
Excès de devers **E (mm)**	**70**	**90**	**110**
Variation de devers **dd/dt (mm/s)**	**28**	**35**	**50**
Variation de l'insuffisance de devers **dI/dt (mm/s)**	**25**	**70**	-

❖ **Longueur minimale de l'alignement droit :**

- $L_{min} = V_v/\mathbf{2} = 160/2 = 80$ m (cas normal) ;
- $L_{min} = V_v/3 = 160/3 = 53.33\text{m} \approx 60$ m (cas exceptionnel).

❖ **D'après Code UIC 703 catégorie II on a les données suivantes :**

- $I_{max} = 120$ mm ;
- $E_{max} = 90$ mm
- dmax = 150 mm.

❖ **Dévers pour le rayon minimum :**

$$d_{R_{min}} = \frac{V_v^2 \times E_{max} + V_m^2 \times I_{max}}{V_v^2 - V_m^2} \leq 150\text{mm} \qquad \Rightarrow d_{R_{min}} = \frac{160^2 \times 90 + 80^2 \times 120}{160^2 - 80^2} \leq 150\text{mm}$$

$\Rightarrow d_{R_{min}} = 160$ mm. Donc on prend $d_{R_{min}} = 150$ mm

❖ **Rayon minimum :**

$$R_{min} = \frac{11.8 \times V_v^2}{d_{max} + I_{max}} \qquad \Rightarrow R_{min} = \frac{11.8 \times 160^2}{150 + 120}$$

$$\Rightarrow R_{min} = 1118.81 \text{ m} \approx 1120\text{m}.$$

❖ **Le coefficient de dévers :**

$$C = \frac{R_{min} \times d_{Rmin}}{1000} \qquad \Rightarrow C = \frac{1120 \times 150}{1000}$$

$$\Rightarrow C = 168$$

❖ **Dévers théorique : on prend R= 1200 m**

$d_{th} = 11.8 \ \frac{V^2}{R}$;

- $d_{thv} = 11.8 \times \frac{160^2}{1200}$ $\Rightarrow d_{thv} = 252$mm (trains voyageurs) ;
- $d_{thm} = 11.8 \times \frac{80^2}{1200}$ $\Rightarrow d_{thm} = 63$mm (trains marchandises).

❖ **Dévers pratique :**

$d_p = \frac{1000 \times C}{R}(mm)$ $\Rightarrow d_p = \frac{1000 \times 168}{1200}(mm)$;

$\Rightarrow d_p = 140$ mm.

❖ **Excès de dévers :**

$E = d_p - d_{thm}$ $\Rightarrow E = 140 - 63$

$\Rightarrow E = 77$ mm.

❖ **Insuffisance de dévers :**

$I = d_{thv} - d_p$ $\Rightarrow I = 252 - 140$

$\Rightarrow I = 112$ mm.

❖ **Longueur de clothoïde :**

- $L_{R1} \geq \frac{d_p \times Vv}{3{,}6 \times \left(\frac{dd}{dt}\right)_{lim}}$ $\Rightarrow L_{R1} \geq \frac{140 \times 160}{3{,}6 \times 35}$ $\Rightarrow L_{R1} \geq 177.78$ m ;
- $L_{R2} = \frac{d_p \times V_V}{180}$ $\Rightarrow L_{R2} = \frac{140 \times 160}{180}$ $\Rightarrow L_{R2} = 124.44$ m;
- $L_{R3} \geq \frac{I \times V_v}{3.6 \times \left(\frac{dI}{dt}\right)_{lim}}$ $\Rightarrow L_{R3} \geq \frac{112 \times 160}{3.6 \times 70}$ $\Rightarrow L_{R3} \geq 71.11$ m.

$L_{Rmin} \geq \max\{L_{R1}, L_{R2}, L_{R3}\}$ $\Rightarrow$ $L_{Rmin} \geq \max\{177.78; 124.44; 71.11\}$

$\Rightarrow L_{Rmin} \geq 177.78$m $\Rightarrow L_{Rmin} = 178$.

❖ **Paramètre de Clothilde**

$A^2 = L_{RP} \times R \Rightarrow A = \sqrt{L_{RP} \times R}$ $\Rightarrow A = \sqrt{178 \times 1200}$

$\Rightarrow A = 462.16$

Les résultats du calcul des paramètres du tracé en plan sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 Résultats du calcul des paramètres du tracé en plan

N° sommet	R (m)	dp (mm)	d_{thv} (mm)	I (mm)	d_{thm} (mm)	E (mm)	L_{R1} (m)	L_{R2} (m)	L_{R3} (m)	L_{Rmin} (m)	A (m)
S1	1150	146.08	262.67	116.59	65.66	80.42	185.49	129.84	74.02	186	462.49
S2	1150	146.08	262.67	116.59	65.66	80.42	185.49	129.84	74.02	186	462.49
S3	1200	140	252	112	63	77	177.78	124.44	71.11	178	462.16
S4	1200	140	252	112	63	77	177.78	124.44	71.11	178	462.16
S5	1150	146.08	262.67	116.59	65.66	80.42	185.49	129.84	74.02	186	462.49
S6	1500	112	201.38	89.38	50.34	61.66	142.22	99.5	56.74	143	463.14
S7	3000	56	100.69	44.69	25.17	30.83	71.11	49.28	28.37	72	464.75

III.6 CALCUL D'AXE:

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel **CIVIL 3D 2018** et les résultats sont joints dans l'annexe en fin du rapport (Annexe 1).

PROFIL EN LONG

IV.1 INTRODUCTION :

Le profil en long d'une voie ferrée est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive. Donc il exprime la variation de l'altitude de l'axe de la voie en fonction de l'abscisse curviligne.

IV.2 CONDITIONS ET REGLES DU PROFIL EN LONG :

Dans ce paragraphe on va citer les règles dont il faut tenir en compte lors de la conception du profil en long. L'élaboration du tracé s'appuiera sur les règles suivantes :

- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long. (Aspect géométrique) ;
- Respecter la valeur maximale des pentes 16 ‰ ;
- La pente doit être nulle dans les zones neutres et dans les gares ;
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements. (Aspect géométrique) ;
- Eviter aux maximums les angles rentrant pour éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement. (Aspect hydrologique) ;
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux. (Aspect hydrologique) ;
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais. (Aspect économique) ;
- Eviter une hauteur excessive en remblai et en déblais (Eviter le glissement de terrain) ;
- On doit tenir en compte des **PHE**

IV.3 ELEMENTS CONSTITUTIFS DU PROFIL EN LONG :

Les éléments du profil en long sont :

- **Déclivité :** C'est la tangente de l'angle compris entre le profil en long et l'horizontale. Elle est appelée **pente** pour les descentes et **rampe** pour les montées, elle joue un rôle important pour l'écoulement des eaux ;
- **Palier :** C'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale ;
- **Courbes de raccordement verticales :** Ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.

IV.4 DECLIVITE MAXIMALE :

Selon le référentiel technique de la SNTF (chapitre 6 : Géométrie de la voie), la déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰ ;
- En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

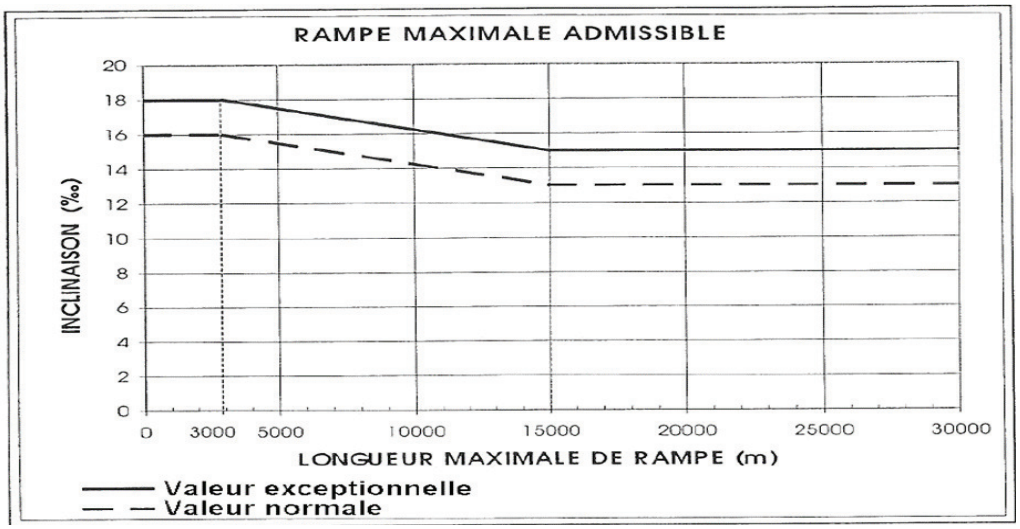


Figure IV.1 La valeur de déclivité en fonction de sa longueur

IV.5 LIMITES DES VALEURS DES RAYONS DE RACCORDEMENT :

Sur voies principales, pour ne pas compromettre le confort des voyageurs, le rayon minimal de raccordement est fixé en fonction de la vitesse limite $\mathbf{V_v}$ de la ligne (Selon la SNTF) :

- Valeur normale : $\mathbf{0.35Vv^2}$;
- Valeur exceptionnelle : $\mathbf{0.25Vv^2}$.

La vitesse Vv est exprimée en (km/h).

IV.6 LA LONGUEUR MINIMALE DES PENTES UNIFORMES ET DES RACCORDEMENTS EN PROFIL :

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir les perturbations.

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

- Valeur minimale normale : $\frac{\mathbf{Vv}}{\mathbf{2}}$;
- Valeur minimale exceptionnelle : $\frac{\mathbf{Vv}}{\mathbf{2.5}}$.

La vitesse Vv est exprimée en (km/h).

IV.7 APPLICATION AU PROJET :

- **Rayon admissible en raccordements :**

$R_{min} = 0.35V^2 = 0.35 \times (160)^2 = 8960m$ (Cas normale) ;

$R_{min} = 0.25V^2 = 0.25 \times (160)^2 = 6400m$ (Cas exceptionnelle).

- **La longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil est de :**

$\frac{Vv}{2} = \frac{160}{2} = 80\ m$ (Cas normale) ;

$\frac{Vv}{2.5} = \frac{160}{2.5} = 64\ m$ (Cas exceptionnelle).

Le calcul des éléments de profil en long a été réalisé à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2018 et les résultats sont joints dans l'annexe en fin du rapport (Annexe 2)

IV.8 COORDINATION ENTRE LE PROFIL EN LONG ET LE TRACE EN PLAN :

Pour assurer une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, il existe des conditions qu'on doit respecter.

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan ;
- Ne pas placer une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan ;
- Eviter la coïncidence entre un raccordement progressif avec un rayon vertical.

IV.8.1 Pourquoi on respecte ces conditions ?

Le respect de ces conditions a pour but de :

- Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant ;
- Offrir du confort aux voyageurs.

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

V.1 INTRODUCTION :

L'étude géotechnique est un préalable dans tous les projets de travaux publics et de génie civil. Elle intervient dans le choix du site, mais le plus souvent son objectif est de fournir les caractéristiques relevant du sol et du sous-sol dont la prise en compte est nécessaire pour la stabilité de la construction.

V.2 CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE GENERAL :

V.2.1 Contexte géographique :

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire El Affroun- Tipasa est situé dans le bassin versant du Côtiers Algérois, le tracé projeté traverse la partie occidentale de la plaine de la Mitidja, une partie de la plaine d'Oued Nador (vallée d'Oued Bouklel et vallée d'Oued Beriche) et la vallée de l'Oued Hachem, qui se trouve dans le sous bassin versant du Côtiers Cherchell.

Cette zone se situe entre les piémonts de l'Atlas Mitidjien au Sud et le littoral au Nord. Administrativement, le tracé traverse le territoire de la Wilaya de Tipaza, il commence de la gare d'El Affroun jusqu'au port centre de Cherchell.

La zone d'étude du tracé est limitée :

- Au Nord, par la ride du Sahel et les Monts de Chenoua ;
- A l'Est, par la plaine de la Mitidja (sous bassin versant du Mazafran) ;
- A l'Ouest, par Djebel Chem Beida et Cap blanc ;
- Et au Sud, par les piémonts de l'Atlas Mitidjien et les collines de Menacer.



Figure V.1 Situation géographique de la zone d'étude (superposition de la carte MNT avec l'assemblage des carte topographiques 1/200 000 d'Alger et de Médéa)

V.2.2 Contexte géologique :

La zone d'étude fait partie de l'Atlas tellien, elle se situe entre les piémonts de l'Atlas Blidéen et les massifs de Meliana au Sud et le littoral au Nord. Le tracé traverse essentiellement :

- La partie occidentale de la plaine de la Mitidja, à remplissage mio-plio-quaternaire, qui se relève graduellement à l'Ouest vers le seuil qui s'étale au Sud du Chenoua en formant un passage à la région de Cherchell ;
- La partie amont de la vallée d'Oued Nador, qui est un synclinal orienté globalement NNE-SSW à remplissage plio-quaternaire, délimité à l'Ouest par des terrains d'âge miocène (faciès argileux, roches éruptives), à l'Est et au Sud par des affleurements calcaréo-gréseux astiens ;
- La vallée d'Oued Hachem, qui se trouve au pied des Monts de Chenoua, et qui correspond à un chenal à remplissage alluvial quaternaire qui repose en discordance sur un substratum marneux crétacé ou calcaire éocène.

V.3 CADRE SISMIQUE :

Le document technique réglementaire D.T.R. concernant les règles parasismiques algériennes RPOA 2008, élaboré par le CTTP (Contrôle Technique des Travaux Publics) et le CGS (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique) divise le territoire algérien en cinq (05) zones sismiques selon le tableau suivant :

Tableau V.1 les zones de sismicité

Zones	0	I	IIa	IIb	III
Sismicité	Négligeable	Faible	moyen	élevé	Très élevé

Compte tenu des critères de classification, et de la carte sismique de l'Algérie en dessous la région étudiée est classée dans la **zone sismique III,** à Sismicité très élevée.

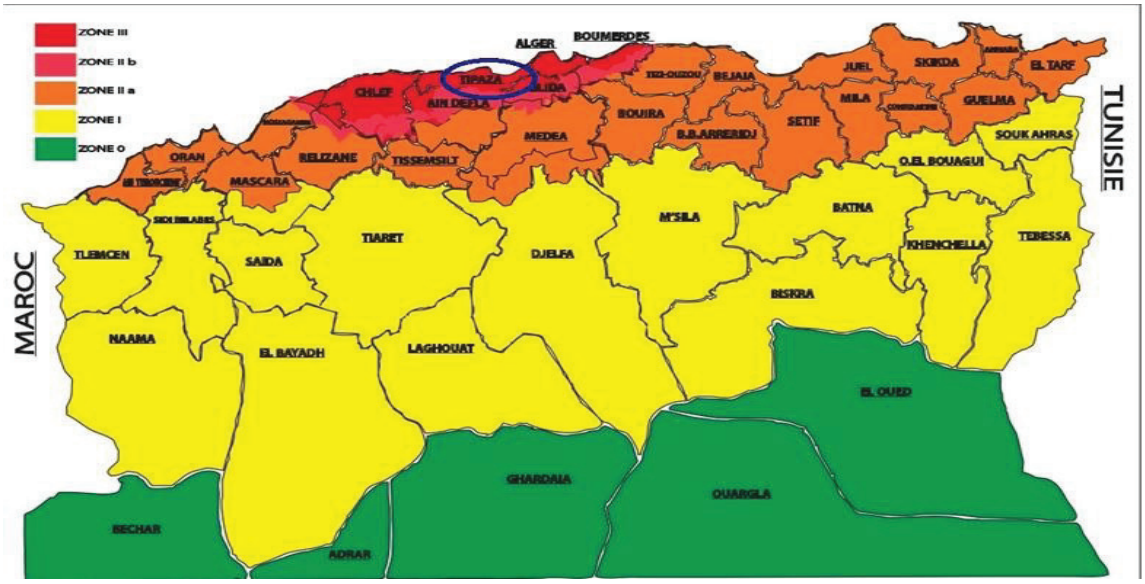


Figure V.2 Carte sismique de l'Algérie

V.4 ETUDE GEOTECHNIQUE :

L'étude géotechnique doit déterminer les caractéristiques globales des sols de la plateforme avec classification des sols de diverses manières. Afin de prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet ferroviaire.

Pour cela, la campagne d'investigation géotechnique au niveau du tronçon étudie allant du PK 29+000 au PK 38+000 consiste à la réalisation des travaux de reconnaissances géotechniques suivant :

- Essais in-situ ;
- Essais au laboratoire.

V.4.1 Essais in-situ :

La campagne de reconnaissance géotechnique in-situ a consisté en la réalisation de sondages carottés, d'essais au pénétromètre dynamique lourd poussés jusqu'au refus et des puits de reconnaissance

Tableau V.2 Normes et objectifs des essais in-situ

N°	Désignation	Norme	Objectifs
1	Sondages Carottés	XP P 94-202	• Identification du sol ; • Distinction des types de formation ; • Prélèvement des échantillons.
2	Essais pressiométriques	NF P94-110-1	• Détermination des pressions limites et de fluage.
3	Essais au pénétromètre dynamique lourd	NF P94-114	• Détermination de la succession des différentes couches de sol ; • Détermination de la capacité portante du sol.
4	Puits de reconnaissance		• Evaluer l'épaisseur des sols de mauvaise qualité à décaper ;

V.4.1.1 Sondages carottés :

Pour le tronçon en étude, quatre (04) sondages carottés, d'une profondeur variante entre 15m et 20m, ont été réalisés au cours de cette campagne de reconnaissances géotechniques.

Les forages ont été réalisés à l'aide de deux (02) machines de forage, par le procédé rotatif non destructif.



Figure V.3- V.4 Exécution d'un sondage à l'aide d'une sondeuse APAFOR.

Les sondages carottés effectués dans le tronçon étudié sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.3 Description des sondages carottés pour le tronçon étudié.

PK	Essais in situ	Profondeur (m)	Lithologie
PK 29+255	SC15-AT	00.00 - 00.50 00.50 – 05.00 05.00 – 08.00 08.00 - 10.50 10.50 – 15.00	Terre végétale Argile sableuse Argile graveleuse sableuse Passage sable et grès Argile graveleuse sableuse
PK 32+525	SC17-AT	00.00 – 02.00 02.00 – 03.00 03.00 – 04.00 04.00 - 08.75 08.75 – 09.00 09.00 - 10.75 10.75 - 11.75 11.75 – 20.00	Terre végétale Argile limoneuse Passage graveleux limoneux Argile limoneuse Passage graveleux sableux Argile limoneuse Passage grès et sable Argile sableuse
PK 33+875	SC18-AT	00.00 – 02.00 02.00 – 11.50 11.50 – 12.50 12.50 – 13.50 13.50 – 20.00	Terre végétale Argile limoneuse jaunâtre a rougeâtre Argile sableuse jaunâtre Argile sableuse graveleuse Argile limoneuse jaunâtre
PK 36+525	SC19-AT	00.00 – 01.50 01.50 – 04.00 04.00 – 06.00 06.00 – 07.50 07.50 – 14.25 14.25 – 20.00	Terre végétale Argile sableuse noire Passage sable graveleux Argile noire Passage sable graveleux Vase

V.4.1.2 Essais pressiométriques :

Quatre (04) sondages pressiométriques, d'une profondeur de 20 rn, ont été réalisés au cours de cette campagne de reconnaissances géotechniques.

Les résultats des essais pressiométriques sont joints dans l'annexe en fin du rapport (Annexe 3).

V.4.1.3 Les puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance ont été réalisés à l'aide d'un retro-chargeur. Les photographies ci-dessous donnent un aperçu de cet engin.

Des échantillons de sol remaniés ont été prélevés systématiquement pour les besoins des essais de laboratoire.





Figure V.5 - V.6 Exécution de puits de reconnaissance à l'aide d'un retro-chargeur

Les puits de reconnaissance effectués dans le tronçon étudié sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1 V.4 Description des puits de reconnaissance

PK	Essai in-situ	Profondeur (m)	La lithologie
PK29+750	PU21-AT	3.5	Limon argileux
PK31+750	PU22-AT	3.5	Limon tufacée
PK34+025	PU23-AT	3.5	Limon argileux
PK34+925	PU24-AT	3.5	Argile limoneuse graveleuse
PK35+350	PU25-AT	3.5	Limon argileux
PK36+275	PU26-AT	3.5	Argile limoneuse
PK37+875	PU27-AT	3.5	Argile limoneuse
PK38+625	PU28-AT	3.5	Argile limoneuse graveleuse

V.4.1.4 Essais au pénétromètre dynamique lourd :

Pour le tronçon en étude, six (06) essais au pénétromètre dynamique lourd type (B), ont été réalisés au cours de cette campagne de reconnaissances géotechniques. Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau V.5 Récapitulatif des essais au pénétromètre dynamique lourd.

PK	Essai in-situ	Profondeur ou refus (m)	La résistance de pointe R_P (bar)	
			R_P Min	R_P Max
PK31+750	PDL13-AT	4.40	24	96
			100	162
PK34+925	PDL14-AT	4.60	6	44
			56	140
PK35+350	PDL15-AT	5.80	8	38
			41	100
PK36+275	PDL16-AT	7.80	12	36
			56	88
PK37+875	PDL17-AT	7.80	6	38
			61	88
PK38+625	PDL18-AT	9.80	10	80

V.4.2 Essais au laboratoire :

Les essais ont été exécutés sur des échantillons intacts ou remaniés, représentatifs du sol dûment prélevé sur le terrain durant la campagne de reconnaissance.

Tableau V.6 Normes et objectifs des essais au laboratoire

Essais	Description	Norme	Objectifs
Essais d'identification	Analyse granulométrique	NF P 94-056	• Répartition pondérale des éléments granulaires d'un matériau des terrassements.
	Teneur en eau naturelle	NF P 94-050	• Détermination de la teneur en eau d'un matériau.
	Valeur au bleu de méthylène	NF P 94-068	• Détermination de la propreté d'un sol.
Essais mécaniques	Proctor modifié	NF P 94-093	• Détermination des références de compactage d'un matériau.
	Essai de cisaillement rectiligne non consolidé et non drainé	NF P 94-071-1	• Connaître les paramètres de résistance au cisaillement rectiligne (cohésion et angle de frottement interne) d'un matériau.

V.4.2.1 Résultats des essais au laboratoire :

Les échantillons prélevés des puits de reconnaissance ont été soumis aux essais et leurs résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau V.7 Résultats des essais au laboratoire.

PK	Analyse granulométrique			Teneur en eau Wn (%)	VBS	Essai Proctor		La lithologie
	Dmax (mm)	<2mm (%)	<80µm (%)			γ_d (t /m^3)	Wop (%)	
PK29+750	6.3	89.38	62.62	16.67	4.64	1.74	17.5	Limon argileux
PK31+750	6.3	83.45	54.87	19.3	1.09	1.65	19.9	Limon tufacée
PK34+025	6.3	89.8	69.47	22.92	1.12	1.63	17.8	Limon argileux
PK34+925	63	52.82	20.97	19.33	0.34	2.08	8.8	Argile limoneuse graveleuse
PK35+350	5	97.01	53.45	20.49	2.31	1.69	16.7	Limon argileux
PK36+275	5	99	95.03	20.23	3.3	1.65	16.3	Argile limoneuse
PK37+875	5	94.75	83.7	29.55	3.46	1.59	19	Argile limoneuse
PK38+625	6.3	85.63	60.35	16.87	3.76	1.62	15.9	Argile limoneuse graveleuse

V.4.2.2 Classification de sol (selon les fiches UIC, GTR et la norme NF P11-300) :

La classification élaborée par l'UIC a été adoptée pour la classification du sol support le long de tracé. Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques.

Pour arriver à cette classification il faut passer en premier par une classification des sols selon la norme NF P11-300.

V.4.2.2.1 Exemple de la classification de sol :

Tableau V.8 Résultats des essais au laboratoire (PK29+750)

PK	Analyse granulométrique			Teneur en eau Wn (%)	VBS	Essai Proctor		La lithologie
	Dmax (mm)	<2mm (%)	<80µm (%)			γ_d (t /m^3)	Wop (%)	
PK29+750	6.3	89.38	62.62	16.67	4.64	1.74	17.5	Limon argileux

Classification GTR :

- D_{max} = 6.3 mm < 50 mm ;
- Passant à 80µm = 62.62% $\Longrightarrow$ **A_1, A_2, A_3, A_4** ;
- VBS = 4.64 $\Longrightarrow$ **A_2** ;
- 0.9Wop=15 < Wn =16.67 < 1.1 Wop = 18.33 $\Longrightarrow$ **A_{2m}**

Classification selon la fiche UIC 719R :

Les quatre classes de qualité **QSi** de sols sont :

- **QS0** : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et à la suite nécessitent certaines mesures correctrices (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.) ;
- **QS1** : Sols médiocres acceptables utilisés en conditions hydrogéologiques favorables. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants) ;
- **QS2** : Sols moyens ;
- **QS3** : Bons sols.

Les résultats de la classification du sol étudié sont récapitulés dans le tableau ci-après

Tableau V.9 Classification du sol étudié

PK	La lithologie	Classification GTR	Classification UIC
PK29+750	Limon argileux	$\mathbf{A_{2m}}$	QS1
PK31+750	Limon tufacée	$\mathbf{A_{1m}}$	QS1
PK34+025	Limon argileux	$\mathbf{A_{1th}}$	QS0
PK34+925	Argile limoneuse graveleuse	$\mathbf{C_1B_{5th}}$	QS0
PK35+350	Limon argileux	$\mathbf{A_{1h}}$	QS0
PK36+275	Argile limoneuse	$\mathbf{A_{2h}}$	QS0
PK37+875	Argile limoneuse	$\mathbf{A_{2th}}$	QS0
PK38+625	Argile limoneuse graveleuse	$\mathbf{A_{2m}}$	QS1

Remarques et commentaires :

- Ce sont des sols dans la majorité $D_{max} \leq 50$mm, avec un VBS allant de 0.34 à 4.64 ;
- La majorité des sols, nous mènent à considérer le sol du projet d'appartenance à la classe $\mathbf{A_1}$ et la classe $\mathbf{A_2}$;
- L'état hydrique indique majoritairement un sol très humide à moyen ;
- Les matériaux de classe **QS0** ne peuvent être utilisés en aucun cas en raison de leur très faible portance, ces sols doivent être remplacés par une substitution du matériau sur une épaisseur de 60cm en sols de meilleures qualités (**QS1** au minimum), et en assurant un bon drainage ;
- La classe de qualité de ce sol est QS1.

V.5 TERASSEMENT :

Dans les points suivants, on va analyser la stabilité en remblais et en déblais. Nous établirons des recommandations d'exécution tant pour les remblais que pour les déblais projetés.

V.5.1 Remblai :

Les principales zones de remblai le long du tracé sont celles dont la hauteur dépassant les 10,00 m de hauteur. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il est à noter que la hauteur de ces remblais est variable.

Tableau V.10 Les principales zones de remblai

PK début	PK fin	Longueur (m)	PK Hmax	Hmax (m)
31+120	31+980	860	31+400	17.17
34+280	36+700	2420	34+820	18.53

V.5.1.1 Conditions d'utilisation des remblais :

- Les matériaux constituant le corps de remblais doivent être exécutés par couches élémentaires superposées. La dimension des plus gros blocs ne doit pas dépasser les deux tiers de la couche élémentaire. Les blocs dont les dimensions sont incompatibles doivent être fractionnés ou enlevés ;
- Les conditions d'utilisation des matériaux dans les remblais sont définies dans le GTR. De manière générale, le GTR stipule que les sols classés A4 ne devront pas être réutilisés pour l'exécution des remblais. Les sols classés A1, A2 et A3 pourront être réutilisés en fonction des conditions d'humidité et de la situation météorologique dans laquelle l'ouvrage est réalisé ;
- En général, les matériaux provenant des excavations des déblais pourront être utilisés dans la construction des remblais (corps), tant qu'ils soient appliqués de façon appropriée selon le GTR ;
- Il est recommandable d'utiliser des sols propres pour l'arase des remblais et pour la PST.

V.5.1.2 Stabilité des remblais :

Les conditions de stabilité des remblais ont été évaluées par l'analyse des surfaces de glissement pour les talus sous indiqués au tableau avec une pente de 3H/2V en considérant une berme de 2m chaque 6m de hauteur. L'analyse selon la méthode simplifiée de Bishop a été effectuée en utilisant le Logiciel **Talren v5.**

Les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les calculs pour chaque remblai sont comme suit :

Tableau V.11 les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les remblais

PK	H (m)	Lithologie	Paramètres		
			γ (KN/m^3)	C (KN/m^2)	Φ °
31+400	17.17	Argile limoneuse	20.9	37	9
		Argile sableuse	20	35	10
		Argile graveleuse	20	32	12
34+820	18.53	Argile limoneuse	20.9	37	9

Le tableau ci-dessous montre une synthèse des calculs de stabilité des remblais.

Tableau V.12 Calculs de stabilité des remblais

PK	Hmax	Pente proposée	FS		Observations
			Conditions statiques	Conditions sismiques	
31+400	17.17	3H/2V	1.57	1.51	Stable
34+820	18.53	3H/2V	1.55	1.50	Stable

Remarques et commentaires :

Le remblai est jugé stable.

V.5.2 Déblai :

Les principales zones de déblai le long du tracé sont celles dont la hauteur dépassant les 10,00 m de hauteur. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.13 Les principales zones de déblai

PK début	PK fin	Longueur (m)	PK Hmax	Hmax (m)	Lithologie	Classe GTR	Classe UIC
29+000	29+975	975	29+975	18.50	Limon argileux	A2m	QS1
30+600	31+080	480	30+940	24.07	Limon argileux	A2m	QS1
32+020	32+780	760	32+260	23.88	Limon tufacé	A1m	QS1

Les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les calculs pour chaque déblai sont comme suit :

Tableau V.14 Les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les déblais

PK	H (m)	Lithologie	Paramètres		
			γ (KN/m^3)	C (KN/m^2)	Φ °
29+975	18.50	Argile noirâtre	20.7	20.9	19.29
		Passage de grès	21	30	28
		Argile marneuse	20	40	20
30+940	24.07	Argile noirâtre	20.7	20.9	19.29
		Passage de grès	21	30	28
		Argile marneuse	20	40	20
32+260	23.88	Terre végétale	18	10	25
		Argile limoneuse	19	20.9	19.29
		Grès	21	30	28
		Argile sableuse	20	47	25

Le tableau ci-dessous montre une synthèse des calculs de stabilité des déblais.

Tableau V.15 Calculs de stabilité des déblais

PK	Hmax	Pente proposée	FS		Observations
			Conditions statiques	Conditions sismiques	
29+975	18.50	3H/2V	1.56	1.11	Stable
30+940	24.07	3H/2V	1.70	1.20	Stable
32+260	23.88	3H/2V	1.68	1.16	Stable

Remarques et commentaires :

Le déblai est jugé stable.

V.5.3 Réutilisation des matériaux :

Les sols de type QS0 ne sont pas réutilisables en remblais conformément aux recommandation UIC fiche 719R.

Les matériaux classés en QS1 de caractéristiques A_{2m} et A_{1m} sont des sols fins très sensibles à l'eau dont le CBR correspondant peut-être de faible portance, il nécessite le cas échéant et après étude géotechnique complémentaire d'être réutilisé en matériaux de remblais moyennement un traitement spécifique (agent de chaux).

Cette opération nécessite un matériel approprié et une technique adaptée et dont le prix au m^3 est plus élevé par rapport aux matériaux d'emprunt.

Par conséquent, les produit d'excavation ne sont pas réutilisable en remblai.

DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE

VI.1 INTRODUCTION :

Les infrastructures ferroviaires contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée.

Elles comprennent les couches d'assise, la couche de forme et la plate-forme.

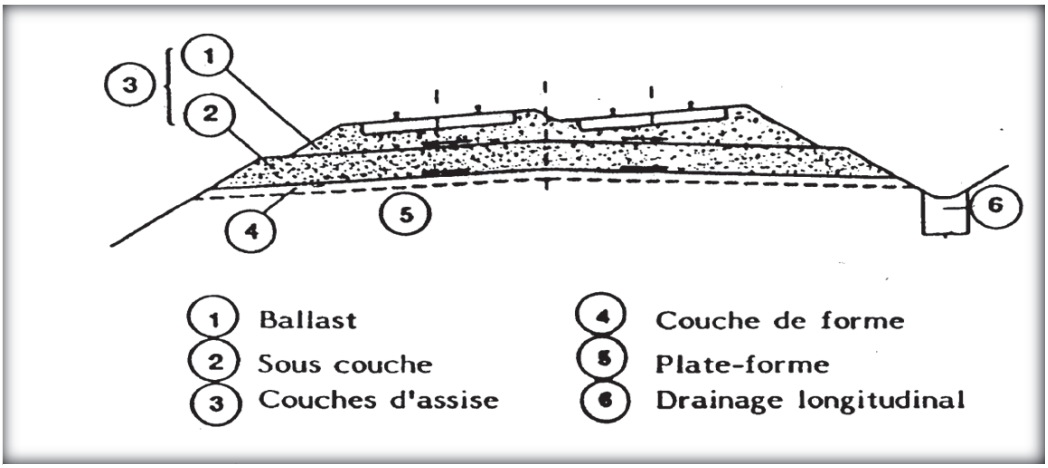


Figure VI.1 L'infrastructure ferroviaire

VI.2 LES COUCHES D'ASSISE :

VI.2.1 Les principaux rôles des couches d'assise :

- L'amortissement des vibrations importantes provenant de contacte Rails – Roue ;
- 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.

VI.2.2 Les différentes couches d'assise :

VI.2.2.1 Ballast :

Le Ballast sera constitué par de la roche concassée. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695) :

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles : ≤ 19 % ;
- Résistance à l'usure Micro Deval : ≤ 6 % ;
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast, conformément au tableau VI.1**.**
- Résistance à la compression : RC ≥ 1200 kg/cm² ;
- Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives ;
- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder 0.5%.

Tableau VI.1 Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695).

CEN/TC-154/SC-4	
MAILLE (mm)	% de la masse passante
63	100
50	70-100
40	30-65
31.5	0-25
22.4	0-3

VI.2.2.2 Sous-couche :

C'est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plate-forme qui peut être mono ou multi couches comprend du haut vers le bas :

- **La couche de sous-ballast** : Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (ST590B) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0/31.5mm), bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25 (Voir Fiche N°01 Annexe 5) ;
- **La couche de fondation** : La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25 et LA+MDE ≤ 50. Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued (fiche N°02 Annexe 5) ;
- **La couche anti-contaminante** : en sable moyen propre d'une épaisseur minimale de 15 cm.

VI.2.3 L'épaisseur et la nature des couches d'assise :

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel, …) ;
- Des caractéristiques globales de la plate-forme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site ;
- Des conditions climatiques du site ;
- Du trafic (tonnages, charges, vitesses) ;
- De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses, …).

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

Note : Le sous-ballast, la couche de fondation et la couche anti-contaminante doivent être posés en pente transversale (4% pour notre projet) afin de mener l'eau de pluie vers l'assainissement.

- 4% pente normale ;
- 3% pente posée dans les zones de désert ;
- 5% pente posée dans les zones littorales.

VI.3 LA COUCHE DE FORME :

La couche de forme servira de support aux structures d'assise et devra permettre la mise en œuvre de la sous-couche. La couche de forme sera composée de matériaux granulaires conformes à la fiche N° 04 de la norme **ST590B** (fiche N° 04 Annexe 5) constitué par des sols de meilleures caractéristiques géotechniques avec matériaux passant à 80 μ m $\leq$ 12%.

La couche de forme devra présenter un compactage supérieur à 95 % d'essai Proctor modifié, un module de déformabilité Ev2 supérieur à 80 MPa et une relation Ev2/Ev1 inférieure à 2,2.

VI.4 LA PLATE-FORME :

La partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plate-forme est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

VI.4.1 Classifications de la plate-forme :

On apprécie d'abord la qualité du sol de la plate-forme puis la classe de portance de la plateforme complète.

VI.4.1.1 Classe de qualités des sols selon la fiche UIC 719R :

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres :

- 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 pollué) naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives ;
  - ✓ Les eaux de pluie 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 sont bonnes ou mauvaises et d'après la classification UIC, les quatre classes de qualité **QSi** de sols ci-dessous :

- **QS0** : Sols "impropres" à la réalisation d'une plateforme correcte et à la suite nécessitent certaines mesures correctrices (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.) ;
- **QS1** : Sols médiocres acceptables utilisés en conditions hydrogéologiques favorables. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants) ;
- **QS2** : Sols moyens ;
- **QS3** : Bons sols.

VI.4.1.2 Classes de portances de la plate-forme :

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 ;
- La qualité et 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 divers réseaux disposent de méthodes différentes pour effectuer ce classement. Une de ces méthodes est donnée dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 Détermination de la classe de portance de la plate-forme

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale e_f (m)
QS1	P1 P2 P2 P3	QS1 QS2 QS3 QS3	- 0.50 0.35 0.50
QS2	P2 P3	QS2 QS3	- 0.35
QS3	P3	QS3	-

La classification :

- Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité **QS1**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous préconisons d' opter pour une plateforme de type **P2** (Plateforme moyenne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (**QS1**) ;
- Les résultats des travaux du terrain et les résultats montre que si on envisage pour une classe **QS1**, une plateforme moyenne, c'est-à-dire de classe **P2**, on aura : Sur les matériaux **QS1**, une couche de forme dont la qualité de sol est **QS2** et cela sur une épaisseur minimale de **50 cm**.

VI.5 CALCUL DE L'EPAISSEUR MINIMALE DES COUCHES D'ASSISE :

L'épaisseur de la couche d'assise "e" est donnée par l'expression suivante :

$$\mathbf{e = E + a + b + c + d + f + g} \quad \text{(en mètre)}$$

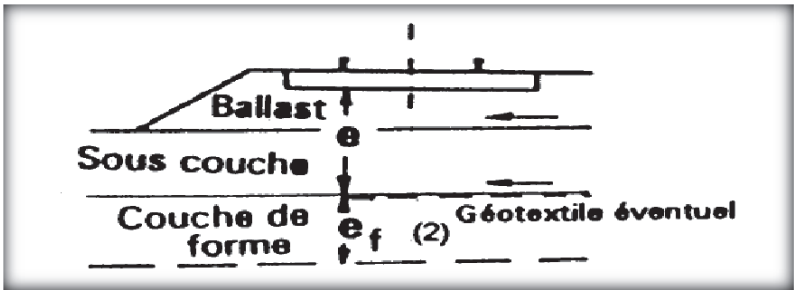


Figure VI.2 L'épaisseur minimale ''e'' des couches d'assise

Avec :

- E = (Classe de la plate-forme P1, P2 et P3)

$\mathbf{E = 0.70\ m}$	Pour les plates-formes de classe de portance **P1**
$\mathbf{E = 0.55\ m}$	Pour les plates-formes de classe de portance P2
$\mathbf{E = 0.45\ m}$	Pour les plates-formes de classe de portance P3

- a = Classe de la voie

$\mathbf{a = 0}$	Pour les groupes UIC **1** et **2** (ou lignes à $\boldsymbol{V > 160}\ \boldsymbol{^{km}/_{h}}$ quel que soit le groupe UIC)
$\mathbf{a = -0.05\ m}$	Pour les groupes UIC 3 et 4
$\mathbf{a = -0.10\ m}$	Pour les groupes UIC 5, 6 et "7, 8, 9 avec voyageurs"
$\mathbf{a = -0.15\ m}$	Pour les groupes UIC "7, 8, 9 sans voyagurs"

- b = Type et longueur de la traverse

$\boldsymbol{b = 0}$	Pour les traverses bois de longueur $\boldsymbol{2.60\ m}$
$\boldsymbol{b = \frac{2.50 - L}{2}}$	Pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2.50 m)

- c = Ligne nouvelle

$\boldsymbol{c = 0}$	Pour un dimensionnement normal
$\boldsymbol{c = -0.10\ m}$	A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageur"
$\boldsymbol{c = -0.05\ m}$	A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur"

- d = La charge maximale à l'axe

$\boldsymbol{d = 0}$	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas $\boldsymbol{200\ kN}$
$\boldsymbol{d = +0.05\ m}$	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas $225\ kN$
$\boldsymbol{d = +0.12\ m}$	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas $250\ kN$

- f = Les lignes parcourues selon la vitesse

$\boldsymbol{f = 0}$	Pour toutes les lignes parcourues à $\boldsymbol{V \leq 160\ km/h}$ et pour les plates-formes de portance $\boldsymbol{P3}$, des lignes parcourues à grande vitesse
$\boldsymbol{f = +0.05\ m}$	Pour les plates-formes de classe de portance $P2$ des lignes de parcourues à grande vitesse
$\boldsymbol{f = +0.10\ m}$	Pour les plates-formes de classe de portance $P1$ des lignes parcourues à grande vitesse

- g = Géotextile

$\mathbf{g = +géotextile}$	Lorsque la couche de forme est en sol $\mathbf{QS_1 ou\ QS_2}$
$\mathbf{g = 0}$ (**pas de géotextile**)	Lorsque la couche de forme est en sol QS_3

VI.6 APPLICATION AU PROJET :

- D'après la classification de sols selon UIC719R on a obtenu un sol **QS1** (Sols médiocres acceptables) ;
- La classe de portance envisagée pour la plateforme est : **P2 ;**
- La couche de forme à mettre en place pour obtenir cette classe de portance **P2** est : **QS2** avec une épaisseur minimale $\mathbf{e_f = 50cm.}$
- Ballast avec une épaisseur minimale $\mathbf{e_{ballast} = 30cm.}$

VI.6.1 Calcul de l'épaisseur minimale 'e' des couches d'assise :

- Valeur de **E** :

Pour les plates-formes de classe de portance **P2** , $\mathbf{E = 0.55\ m}$ **;**

- Valeur de **a**:

Pour les groupes de lignes UIC 3, **a = -0.05m ;**

- Valeur de **b :**

Pour les traverses béton de longueur L= 2.245m, $\boldsymbol{b = \frac{2.50-2.24}{2}}$ **= 0.13m ;**

- Valeur de **c :**

Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne), **c=0m.**

- Valeur de **d :**

Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas $225\ kN$, **d=0.05m ;**

- Valeur de **f :**

Pour toutes les lignes parcourues à V $\leq$ 160 km/h, **f=0m ;**

- Valeur de **g :**

Lorsque la couche de forme est en sol $\mathbf{QS_2}$, **g= + géotextile).**

Alors :

$$\mathbf{e = 0.55 - 0.05 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + géotextile}$$

$$\mathbf{e = 0.68\ m = 68\ cm + géotextile}\ .$$

VI.6.2 Epaisseur des différentes couches :

En synthèse pour la structure d'assise proposée, ainsi, on peut répartir la structure sur différentes sections selon la classification des sols basés sur l'analyse des résultats de laboratoires pour une plateforme de type P2 nécessite la mise en place d'une couche de forme de type QS2 avec une épaisseur minimale de 50 cm.

Les épaisseurs des différentes couches seront ainsi :

- Couche de Ballast : **30cm ;**
- La sous-couche : **20cm ;**
- Couche de fondation : **18cm ;**
- Couche de forme : **50cm.**

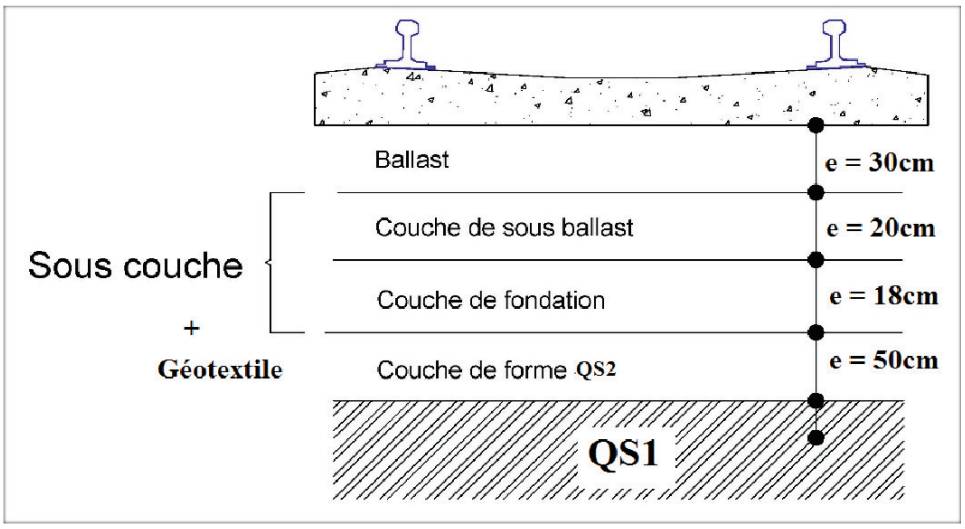


Figure VI.3 Epaisseur des différentes couches

PROFIL EN TRAVERS

VII.1 INTRODUCTION :

Le profil en travers est le levé perpendiculaire à l'axe de la voie sur un plan vertical il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement, le plus souvent représenté par une échelle de 1/100.

Il existe deux types de profil en travers qui sont :

- **Profil en travers courant :** Ce sont des profils dessinés à des distances régulières qui dépendent du terrain naturel ;
- **Profil en travers type :** Il contient tous les éléments constructifs de la future ligne dans toutes les situations (en remblai, en déblai, en alignement et en courbe).

VII.2 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS :

- **Emprise** : la surface du terrain affectée à la voie et limitée par le domaine public ;
- **Assiette** : la surface de la voie délimitée par les terrassements ;
- **Plate-forme** : la partie qui reçoit la voie et le ballast (la couche supérieure) ;
- **La voie** : la partie affectée à la circulation des trains ;
- **La berme** : la partie qui supporte les équipements de signalisation et de sécurité ;
- **Le fossé** : l'ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellements, les eaux de pluie, les eaux provenant de la voie et talus.

VII.3 CONSTITUANTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE :

Le profil en travers doit contenir toutes les informations suivantes :

VII.3.1 Eléments de la superstructure :

- Le rail et son type ;
- La valeur de l'écartement de la voie ;
- L'entraxe de la voie ;
- Les traverses et leur type ;
- Poteaux caténaires et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées) ;
- L'épaisseur de la couche de ballast ;
- La pente latérale de la couche de ballast.

VII.3.2 Eléments de l'infrastructure :

- Les pentes transversales de chaque couche ;
- La pente latérale de la plate-forme ;
- Les épaisseurs et les nominations de chaque couche.

VII.3.3 Eléments de talus :

- La pente de chaque talus ;
- Les ouvrages de consolidation éventuels, tels que les murs de soutènement.

VII.3.4 Eléments d'assainissement :

- Type et dimension des fossés ou des drains.

VII.4 APPLICATION AU PROJET :

- Type de ligne : voie double électrifiée ;
- Ecartement de la voie : 1.435 m ;
- Largeurs de la plate-forme : 13.6 m,
- L'entraxe est de 4.20m ;
- L'axe des poteaux caténaires devra se situer à un minimum de 3.25 m de l'axe de la voie ;
- Une berme de 0.3 m pour la maintenance ;
- La superstructure est formée par des rails UIC 60 et des traverses bi-bloc ;
- Pente latérale de la plate-forme : 4% ;
- Pente latérale de la couche de Ballast 2V/3H
- Epaisseur du ballast : 30 cm ;
- Epaisseur du sous-ballast : 20 cm ;
- Epaisseur de la couche de fondation :18 cm ;
- Epaisseur de la couche de forme : 50 cm ;
- Pente (déblai : 1 /1.5 et remblai : 1 / 1.5) ;
- Fossé trapézoïdale (b= 0.55 m ; h= 0.55m).

VII.5 CALCUL DES CUBATURES :

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel **CIVIL 3D 2018** et les résultats sont joints dans l'annexe en fin du rapport (Annexe 4).

ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT DE LA VOIE

VIII.1 INTRODUCTION :

L'eau est un élément qui peut avoir des effets dégradables sur le projet car il menace le comportement et la vie de la voie ferrée. Le tracé ferroviaire projeté, perturbe les écoulements naturels d'eau. Il est nécessaire pour cela de ne pas leur faire barrage et de les évacuer vers un exutoire en dehors de l'emprise de la voie. On doit étudier les bassins versants et les écoulements naturels en relation. Cela pour définir les relations entre la pluie sur un bassin versant et le débit à l'exécutoire.

Cette étude a besoin des données sur l'hydrologie de la région.

VIII.2 LE RESEAU HYDRAULIQUE :

La zone d'étude dispose d'un réseau hydraulique important. D'Est en Ouest :

- **Oued Mazafran :** est une rivière qui prend naissance aux croisements de l'Oued Chiffa et l'Oued Djer, qui se jette dans la Méditerranée séparant la Wilaya de Tipaza et celle d'Alger ;
- **Le bassin versant de l'oued El Hachem :** s'étend depuis la montagne BouMaad au sud jusqu'à la Méditerranée au nord. La superficie du bassin versant est de 177 km2 ;
- **Oued Djer :** est un cours d'eau, qui prend naissance dans la Mitidja et ses massifs environnants, il rejoint Oued Mazafran et se jette dans la Méditerranée ;
- **Oued Damous.**

La plaine Mitidja Ouest est partagée en deux bassins fluviaux : celui d'oued Nador, d'oued Mazafran, ces derniers la traversent perpendiculairement selon des directions méridiennes. Ces oueds côtiers présentent un certain nombre de caractéristiques communes :

- Ils prennent tous naissance dans l'Atlas et sont tous de dimensions restreintes ;
- Tous présentent un profil longitudinal divisé en deux parties très distinctes ;
- Leur pente est très forte en montagne ;
- Dans un passé récent elles ont été constamment maintenues par le jeu tectonique ;
- Ce sont des oueds aux vallées étroites, profondes, encaissées.

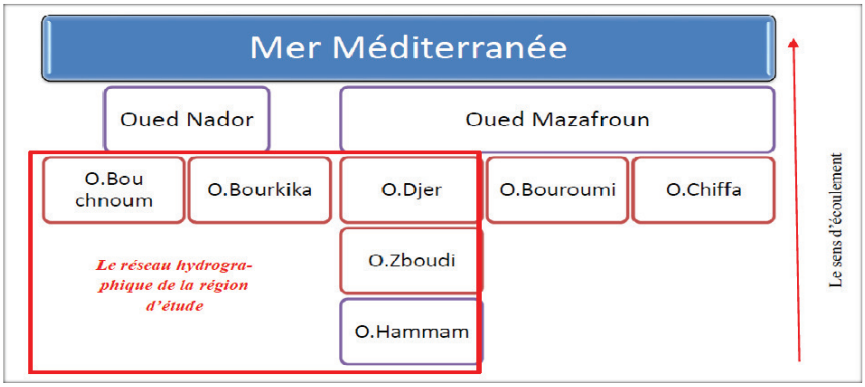


Figure VIII.1 Schéma représentatif du réseau hydrographique la région d'étude

VIII.3 PRECIPITATIONS :

Les données de la précipitation dans la région d'étude, disponibles au niveau de l'ANRH.

Les valeurs moyennes annuelles des précipitations dans la région de Tipasa, durant la période 1988 -1999, sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VIII.1 Les données des précipitations journalières moyennes annuelles (1978 -2016)

Année	**1978**	**1979**	**1980**	**1981**	**1982**	**1983**	**1984**	**1985**	**1986**	**1987**	**1988**	**1989**	**1990**
P(mm)	771	783	496	519	492	611	865	870	663	504	656	351	672
Année	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**
P(mm)	755	482	384	649	748	421	755	596	477	474	434	613	570
Année	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2012**	**2014**	**2015**	**2016**
P(mm)	683	646	559	748	632	687	753	787	524	524	573	649	650

VIII.4 CARACTERISTIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS (BV) :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues :

- Surface : A (km^2) ;
- Longueur du cours d'eau principal : L (km) ;
- Altitude max : Hmax (m) ;
- Altitude min : Hmin (m) ;
- Altitude moyenne : Hmoy (m) = [(Hmax + Hmin) /2] ;
- **ΔH** (m) = Hmax - Hmin ;
- $\overline{\mathbf{H}}$ (m) = Hmoy – Hmin .
- Pente du bassin versant : J = ΔH/ L (m/m) ;

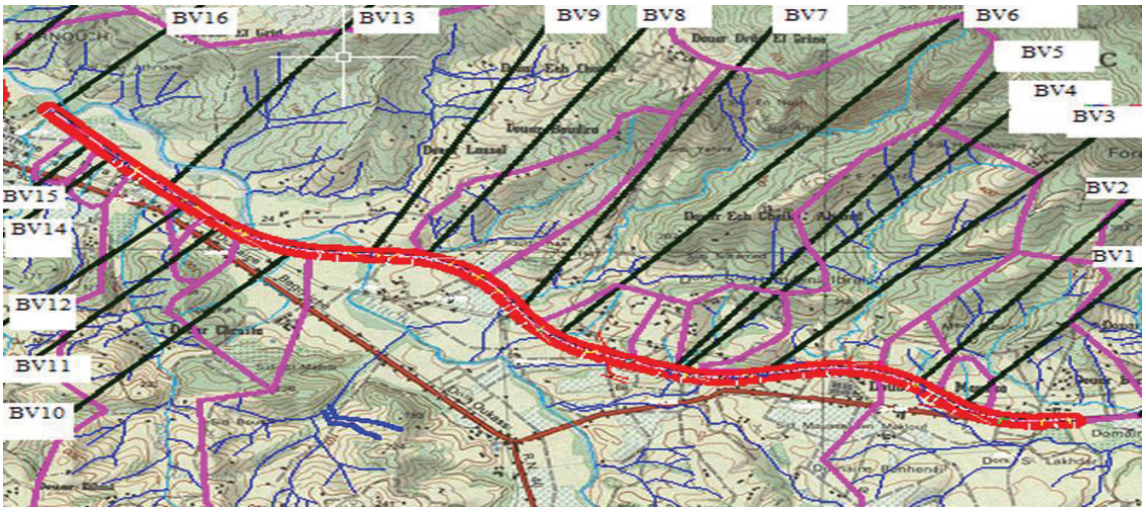


Figure VIII.2 Délimitation des sous bassins versants traversants le tracé

Les paramètres des **BV** des oueds traversant la nouvelle ligne ferroviaire **« El Affroun-El Hamdania Port centre) »** entre le **PK29+000** et le **PK38+000** sont données à l'aide du logiciel Global Mapper. Ils sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.2 Caractéristiques physiques des bassins versants

N° BV	PK	A (km^2)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	ΔH (m)	$\overline{H}$ (m)	J (m/m)
01	29+400	0.1900	0.58	158.00	112.00	135.00	46.00	23.00	0.0793
02	29+890	0.3281	0.55	222.00	122.00	172.00	100.00	50.00	0.1832
03	31+180	3.8530	4.22	466.00	98.00	282.00	368.00	184.00	0.0872
04	31+840	0.6430	1.05	200.00	84.00	142.00	116.00	58.00	0.1102
05	31+910	0.2694	0.39	158.00	86.00	122.00	72.00	36.00	0.1851
06	32+960	0.4772	0.82	148.00	53.00	100.50	95.00	47.50	0.1161
07	33+475	6.1530	5.95	818.00	58.00	438.00	760.00	380.00	0.1276
08	34+425	1.6800	2.63	400.00	40.00	220.00	360.00	180.00	0.1369
09	34+825	181.0200	27.68	1390.00	22.00	706.00	1368.00	684.00	0.0494
10	35+430	1.2400	1.58	206.00	20.00	113.00	186.00	93.00	0.1177
11	36+105	0.2900	0.68	144.00	20.00	82.00	124.00	62.00	0.1824
12	36+460	0.1000	0.43	80.00	18.00	49.00	62.00	31.00	0.1442
13	36+735	5.1900	5.35	486.00	16.00	251.00	470.00	235.00	0.0879
14	37+280	0.2100	0.58	28.00	10.00	19.00	18.00	9.00	0.0310
15	37+560	0.1700	0.63	22.00	10.00	16.00	12.00	6.00	0.0190
16	38+060	3.1500	3.75	252.00	5.00	128.50	247.00	123.50	0.0659

VIII.5 CALCUL DES PARAMETRES HYDRAULIQUES :

VIII.5.1 Temps de concentration Tc :

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Des méthodes simplifiées peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration sur des bassins versants.

Pour notre considération, on va utiliser les formules suivantes :

VIII.5.1.1 Formule de Ventura :

$A \leq 5\ km^2$

$$\mathbf{Tc = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}}}$$

Tel que :

- **Tc (h)** : Temps de concentration ;
- **A (km²)** : Surface du bassin versant ;
- **J (m/m)** : Pente du bassin versant.

VIII.5.1.2 Formule de Passini :

$5km^2 < A \leq 25\ km^2$

$$\mathbf{Tc = 0.108\frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{J}}}$$

Tel que :

- **Tc (h)** : Temps de concentration ;
- **A (km²)** : Surface du bassin versant ;
- **L (km)** : Longueur de l'oued principal ;
- **J (m/m)** : Pente du bassin versant.

VIII.5.1.3 Formule de Giandotti :

$A \geq 25km^2$

$$\mathbf{Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\overline{H}}}}$$

Tel que :

- **Tc (h) :** Temps de concentration ;
- **A (km²)** : Surface du bassin versant ;
- **L (km)** : Longueur de thalweg principal ;
- $\overline{\mathbf{H}}$ **(m)** = Hmoy - Hmin.

VIII.5.2 Intensité de pluie I :

L'intensité de l'averse de durée t et de période de retour T est estimée par la formule de **Montana :**

$$\mathbf{I(t,T) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}}}$$

Tel que :

- **I(t,T) (mm/h)** : L'intensité de la pluie ;
- **T (ans)** : Période de retour ;
- **t (h)** : Durée de traverse;
- **a(T)** et **b(T) :** Paramètres de Montana.

Tableau VIII.3 Les paramètres de Montana

Période de retour (ans)	a	b
10	45.1	0.66
20	52.7	0.66
50	62.6	0.66
100	70	0.66

VIII.5.3 Coefficient de ruissellement C :

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité total des eaux courantes.

Le coefficient de ruissellement est déterminé par 3 paramètres **:**

C (C1, C2, C3)

Tel que :

- **C1** : déterminé selon l'état de couverture sur la terre écoulée ;
- **C2** : déterminé selon la pente J de l'isohypse ;
- **C3** : déterminé selon la nature du terrain.

Tableau VIII.4 Désignation des coefficients de ruissellement par zones

Couverture	Morphologie	Pente (%)	Sable gros	Argile Limon	Argile
Bois	Presque plat	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.25	0.35	0.50
	Montagne	10 - 30	0.30	0.50	0.60
Pâturage	Presque plat	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.15	0.36	0.55
	Montagne	10 - 30	0.22	0.42	0.60
Culture	Presque plat	0 – 5	0.30	0.50	0.60
	Ondulé	5 - 10	0.40	0.60	0.70
	Montagne	10 - 30	0.52	0.72	0.82

VIII.5.4 Evaluation des débits d'eaux pluviales :

Il est évident que le calcul de débit est indispensable pour le calcul des ouvrages hydraulique. Le débit pris en compte pour les calculs hydrauliques et le dimensionnement des ouvrages dans notre projet est le débit centennal (Q_{100}) ou un débit historique supérieur s'il est connu.

Le calcul du débit proposé est effectué par l'un des formules suivantes **:**

VIII.5.4.1 Formule Rationnelle :

$A < 10\ km^2$

$$\mathbf{Q_{100} = \frac{C \times I_{100} \times A}{3.6}}$$

Tel que :

- $\mathbf{Q_{100}}$ **(m^3/s)** : Débit centennal ;
- **A (km^2)** : La superficie de BV **;**
- $\mathbf{I_{100}}$ **(mm/h)** : L'intensité de pluie **;**
- **C** : coefficient de ruissèlement.

VIII.5.4.2 Formule de transition :

$10km^2 < A < 50\ km^2$

$$\mathbf{Q_{100} = \alpha\ Q_{R100} + \beta\ Q_{C100}}$$

Tel que :

- $\mathbf{Q_{100}}$ **(m^3/s)** : Débit centennal ;
- $\mathbf{Q_{R100}}$ **(m^3/s)** : débit centennal fourni par la formule Rationnelle ;
- $\mathbf{Q_{C100}}$ **(m^3/s)** : débit centennal fourni par la formule Crupedix ;
- α = (50 - A) / 40 **;**
- β = 1- α.

VIII.5.4.3 Formule Crupedix :

$A > 50\ km^2$

$$\mathbf{Q_{100} = b' \times Q_{10}}$$

$$\mathbf{Q_{10} = R \times (P_{10}/80)^2 \times A^{0.8}}$$

Tel que :

- **Q10 (m^3/s)** : débit décennal ;
- **Q100 (m^3/s)** : débit centennal ;
- **R** : coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement équivaut au :
  - ✓ **0.2** pour les terrains perméables ;
  - ✓ **1.5** à **1.8** pour les terrains imperméables ;
  - ✓ **1** pour les terrains intermédiaires.
- $\mathbf{P_{10}}$ **(mm)** : pluie journalière de période de retour décennal **;**
- **b'** : paramètre de superficie de BV (**1.4 < b' < 4**) :
  - ✓ Jusqu'au 20 km^2, $\mathbf{b' = \frac{Q_{R100}}{Q_{R10}}}$ calculé par la formule Rationnel ;
  - ✓ Au-delà de 20 km^2, **b'** est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des BV représentatif à proximité de projet.

VIII.5.5 Application au projet :

Tous les bassins versants ont une superficie A < 10 km^2 sauf le bassin versant N°9 qui a une superficie A = 181.02 km^2 > 50 km^2.

Donc on utilise deux méthodes de calcul : la formule Rationnelle et la formule de Crupedix.

VIII.5.5.1 Exemple de calcul par la formule Rationnelle :

Tenant compte le bassin versant N°1 :

Tableau VIII.5 Caractéristiques physiques du bassin versant N°1

N° BV	PK	A (km^2)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	ΔH (m)	$\overline{H}$ (m)	J (m/m)
01	29+400	0.19	0.58	158.00	112.00	135.00	46.00	23.00	0.0793

VIII.5.5.1.1 Temps de concentration Tc :

A < 5 km^2 donc on applique la formule de Ventura :

$$\mathbf{Tc = 0.127 \sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127 \sqrt{\frac{0.19}{0.0793}}} \quad ; \qquad \mathbf{Tc = 0.197\ h.}$$

VIII.5.5.1.2 Intensité de pluie I :

Pour T = 100 ans :

- a = 70
- b = 0.66

$$\mathbf{I\ (t,T) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{70}{0.197^{0.66}}} \quad ; \qquad \mathbf{I = 204.53\ mm/h.}$$

VIII.5.5.1.3 Coefficient de ruissellement :

- C1 : culture ;
- C2 : 5% < J= 7.93% < 10% => ondulé ;
- C3 : limon argileux.

C (C1, C2, C3) = 0.60

VIII.5.5.1.4 Calcul du débit max :

$$\mathbf{Q_{100} = \frac{C \times I_{100} \times A}{3.6} = \frac{0.60 \times 204.53 \times 0.19}{3.6}} \quad ; \qquad \mathbf{Q_{100} = 6.48\ m^3/s.}$$

VIII.5.5.2 Exemple de calcul par la formule de Crupedix :

Tenant compte le bassin versant N°9 :

Tableau VIII.6 Caractéristiques physiques du bassin versant N°9

N° BV	PK	A (km^2)	L (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	ΔH (m)	$\overline{H}$ (m)	J (m/m)
01	34+825	181.02	27.68	1390.00	22.00	706.00	1368.00	684.00	0.0494

VIII.5.5.2.1 Temps de concentration Tc :

A > 25 km^2 donc on applique la formule de Giandotti :

$$\mathbf{Tc = \frac{4\sqrt{A}+1.5L}{0.8\sqrt{\overline{H}}} = \frac{4\sqrt{181.02}+1.5\times27.68}{0.8\sqrt{684}}\ ;}$$ **Tc = 4.557 h.**

VIII.5.5.2.2 Intensité de pluie I :

Pour T = 100 ans :

- a = 70 ;
- b = 0.66

$$\mathbf{I\ (t,T) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{70}{4.557^{0.66}}\ ;}$$ **I = 25.72 mm/h.**

VIII.5.5.2.3 Coefficient de ruissellement :

- C1 : culture ;
- C2 : 0% < J= 4.94% < 5% => presque plat ;
- C3 : Argile limoneuse graveleuse.

C (C1, C2, C3) = 0.50

VIII.5.5.2.4 Calcul du débit max :

- **R**= 1 ;
- **P_{10}** = 75.1 mm.

$$\mathbf{Q_{10} = R \times (P_{10}/80)^2 \times A^{0.8} = 1 \times (75.1/80)^2 \times 181.02^{0.8}\ ;}$$ **Q_{10} = 56.40 m^3/s.**

- **b' = 2**

$$\mathbf{Q_{100} = b' \times Q_{10} = 2 \times 56.40\ ;}$$ **Q_{100} = 112.8 m^3/s.**

Les résultats du calcul des débits maximaux des BV du PK 29+000 au PK 38+000 sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.7 Les débits maximaux des BV du PK 29+000 au PK 38+000

N° BV	PK	Surface A [km^2]	C	T_C [h]	I (100 ans [mm /h]	Q (100ans) [m^3 / s]
1	29+400	0.1900	0,60	0,197	204,53	**6,48**
2	29+890	0.3281	0,72	0,170	124,56	**8,17**
3	31+180	3.8530	0,60	0,846	42,51	**27,30**
4	31+840	0.6430	0,72	0,307	83,83	**10,78**

5	31+910	0.2694	0,72	0,153	133,67	**7,20**
6	32+960	0.4772	0,72	0,258	94,19	**8,99**
7	33+475	6.1530	0,72	1,004	37,90	**46,64**
8	34+425	1.6800	0,72	0,446	65,27	**21,93**
9	34+825	181.0200	0,50	4,557	25.72	**112.80**
10	35+430	1.2400	0,72	0,413	68,72	**17,04**
11	36+105	0.2900	0,72	0,160	129,72	**7,52**
12	36+460	0.1000	0,72	0,106	170,93	**3,42**
13	36+735	5.1900	0,60	1,103	35,58	**30,78**
14	37+280	0.2100	0,50	0,331	79,71	**2,32**
15	37+560	0.1700	0,50	0,380	72,67	**1,72**
16	38+060	3.1500	0,50	0,879	41,43	**18,13**

VIII.6 DRAINAGE TRANSVERSAL :

Les ouvrages hydrauliques de traversée permettent :

- Le franchissement des grandes rivières et de leur champ d'inondation ;
- Le transit d'un coté à l'autre de la plateforme, des eaux des bassins versant naturels et des dispositifs de drainage longitudinal.

Les types d'ouvrages concernés sont :

- Des ouvrages d'art à fonction hydraulique ;
- De petits ouvrages constitués d'un conduit (buse circulaire ou tuyau rectangulaire), de têtes d'extrémités, d'un lit de pose et d'un remblai contigu au conduit.

VIII.6.1 Estimation des débits des ouvrages de traverse :

Le débit de saturation ou le débit capable de l'ouvrage hydraulique est calculé par le biais de la formule de **Manning Strickler** pour un événement pluvial d'occurrence centennale (T=100 ans) :

$$\mathbf{Q_s = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}}$$

Tel que :

- **Q_s (m^3/s)** : Débit de saturation de l'ouvrage ;
- **I (m/m)** : Pente longitudinale de l'ouvrage ;
- **R_h (m)** : rayon hydraulique (**$R_h = S_m/P_m$**), avec (**S_m** : section mouillé, **P_m** : périmètre mouillé) ;
- **Ks** : Coefficient de rugosité de Strickler dépend de la nature de la surface de l'écoulement.

Tableau VIII.8 valeurs usuelles de coefficient de Manning Strickler

Nature de la surface Ks	Valeur
Terre	30
Buses métalliques	40
Maçonneries	50
Bétons (dalots)	70
Bétons (Buses préfabriquées)	80

VIII.6.2 Vérification des conditions d'auto curage :

Les ouvrages de drainage transversaux des eaux pluviales sont dimensionnés en respectant les conditions d'auto-curage afin de les protégés.

Les conditions sont :

- $V_{écoulement} \geq 0.6$ m/s pour $Q_a / Q_{ps} = Rq = 0.1$;
- $V_{écoulement} \geq 0.3$ m/s pour $Q_a / Q_{ps} = Rq = 0.01$;
- Le taux de remplissage en cas de débit d'apport $R_h < 0.8$.

$\mathbf{Q_{ps}}$: le débit à pleine section ; $\mathbf{Q_a}$: débit de crue ; $\mathbf{V_{écoulement}}$: vitesse d'écoulement.

VIII.6.3 Dimensionnement des buses :

Une buse est une conduite circulaire en béton qui assure l'écoulement des fluides qui franchissent le tracé sous la plateforme.

Elle est caractérisée par :

- Son diamètre **D** ;
- Sa surface mouillée : $\mathbf{S_m = \Pi \frac{D^2}{4}}$;
- Son périmètre mouillé : $\mathbf{P_m = \Pi \times D}$;

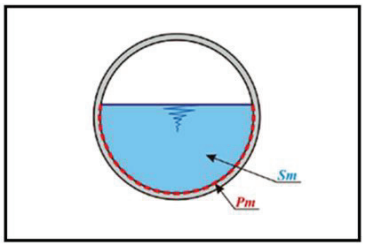


Figure VIII.3 La surface mouillée et le périmètre mouillé d'une buse

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

On utilise la formule de Manning –Strickler, sachant que :

- $\mathbf{R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{\Pi \frac{D^2}{4}}{\Pi D}}$ => $\mathbf{R_h = \frac{D}{4}}$.

Le principe consiste à chercher le diamètre de la buse qui vérifie cette condition.

- $Q_a = Q_s$ => $D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q}{K_s \times \Pi \times \sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}}$;

Une fois le diamètre est calculé. On adoptera un diamètre normalisé commercial tel que : Ø500.Ø800.Ø1000, Ø1200, Ø1500…etc.

VIII.6.4 Dimensionnement des dalots :

Les calculs hydrauliques des ouvertures rectangulaires doivent être vérifiés pour un taux de remplissage $\mathbf{H_r = 0.8H}$, on fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long.

Les dalots sont caractérisés par :

- Leur surface mouillée : $\mathbf{S_m = L \times 0.8H}$;
- Leur périmètre mouillé : $\mathbf{P_m = L + 2 \times 0.8H}$;

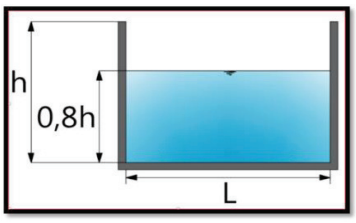


Figure VIII.4 Dimensions des dalots

On utilise la formule de Manning –Strickler, sachant que :

- $\mathbf{R_h = \frac{S_m}{P_m}}$ => $\mathbf{R_h = \frac{L \times 0.8h}{L + 2 \times 0.8h}}$

Le principe consiste à chercher la hauteur du dalot qui vérifie cette condition

- $\mathbf{Q_a = Q_s}$ => $\mathbf{H = \frac{1}{0.8L}\left(\frac{Q_a}{K_S . I^{1/2}}\right)^{3/5} \cdot (L + 1.6H)^{2/5}}$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative. On propose un dalot carré avec une seule cellule : L = H.

Pour assurer un écoulement fluvial, il faut que : $H > h_{critique}$; tel que $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{{Q_a}^2}{g\,L^2}}$

VIII.6.5 Application au projet :

VIII.6.5.1 Dimensionnement des buses :

Pour le bassin versant N° 12 :

$$\mathbf{D = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times Q}{K_s \times \Pi \times \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{8}} = \left(\frac{4^{\frac{5}{3}} \times 3.42}{80 \times \Pi \times \sqrt{0.01}}\right)^{\frac{3}{8}}} \quad ; \quad \mathbf{D = 1.125m = 1125mm.}$$

Donc on prend 1Ø1200.

Les résultats du calcul des sections des ouvrages busés pour les BV sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.9 Calcul des sections des ouvrages busés pour les BV

N°BV	PK	Qa (m^3/s)	I (%) (valeur moyenne de lapente de lit d'oued	D (mm)	Diamètre normalisé Ø	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	Q_s (m^3/s)
12	36+460	3.42	1	1125	1 Ø 1200	1.13	3.76	0.30	4.05
14	37+280	2.32	1	973	1 Ø 1000	0.78	3.14	0.24	2.40
15	37+560	1.72	1	870	1 Ø 1000	0.78	3.14	0.24	2.40

VIII.6.5.1.1 Vérification des conditions d'auto curage :

Pour le bassin versant N° 12 :

1ere condition :

- Rq = 0.1 => Rv = 0.638 ;
- $V_{ps} = Q_S/S = 4.05/1.13 = 3.58$ m/s ;
- $V_{écoulement} = R_v \times V_{ps} = 0.638 \times 3.58$;
- V = 2.28 m/s > 0.6 m/s => la condition est vérifiée.

2eme condition :

- Rq = 0.01 => Rv = 0.315 ;
- $V = R_v \times V_{ps} = 0.315 \times 3.58$;
- V = 1.13 m/s > 0.3 m/s => la condition est vérifiée.

3eme condition :

- Le taux de remplissage en cas de débit d'apport Rh > 0.8
- $Rq = \frac{Q_a}{Q_S} = \frac{3.42}{4.05}$;
- Rq = 0.84 => $R_h = 0.70 < 0.8$ => la condition est vérifiée.

=> La buse est bien dimensionnée.

Les résultats de la vérification des conditions d'auto curage des buses sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.10 la vérification des conditions d'auto curage

N° BV	V_{ps} (m/s)	1ere condition				2emecondition				3emecondition		
		Rq	Rv	$V_é$ (m/s)	$V_é$>0.6 (m/s)	Rq	Rv	$V_é$ (m/s)	$V_é$>0.3 (m/s)	Rq	Rh	Rh<0.8
12	3.58	0.1	0.638	2.28	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.13	**Vérifiée**	0.84	0.70	**Vérifiée**
14	3.07	0.1	0.638	1.95	**Vérifiée**	0.01	0.315	0.97	**Vérifiée**	0.96	0.78	**Vérifiée**
15	3.07	0.1	0.638	1.95	**Vérifiée**	0.01	0.315	0.97	**Vérifiée**	0.71	0.63	**Vérifiée**

VIII.6.5.2 Dimensionnement des dalots :

Pour le bassin versant N°01 :

$$\mathbf{H = \frac{1}{0.8L}\left(\frac{Q_a}{K_S . I^{1/2}}\right)^{3/5} \cdot (L + 1.6H)^{2/5}}$$

- On prend L = 1.5m, par itération on trouve H= 1.5m ;
- $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{{Q_a}^2}{g\,L^2}} = \sqrt[3]{\frac{6.48^2}{9.8 \times 1.5^2}}$; $h_{critique} = 1.23m < H=2m$ => la condition pour assurer l'écoulement fluvial est vérifiée.

Les résultats du calcul des sections des dalots pour les BV sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.12 Calcul des sections des dalots pour les BV

N° BV	PK	Qa (m3/s)	H (m)	L (m)	N° de section	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	I (%)	Qs (m^3/s)	Dimensionnement final (H×L)
01	29+400	6,48	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.5	1(1.5m×1.5m)
02	29+890	8,17	1.5	2	1	2.4	4.4	0.54	1	11.14	1(1.5m×2m)
03	31+180	27,30	2.5	3	1	6	7	0.86	1	36.19	1(2.5m×3m)
04	31+840	10,78	2	2	1	3.2	5.2	0.61	1	16.11	1(2m×2m)
05	31+910	7,20	1.5	2	1	2.4	4.4	0.54	1	11.14	1(1.5m×2m)
07	33+475	46.64	3	3.5	1	8.4	8.3	1.01	1	59.19	1(3m×3.5m)
08	34+425	21.93	2	3	1	4.8	6.2	0.77	1	28.23	1(2m×3m)
09	34+825	112.80	4	4	6	12.8	10.4	1.23	1	617.1	6(4m×4m)
10	35+430	17.04	2	2.5	1	4	5.7	0.70	1	22.07	1(2m×2.5m)
11	36+105	7.52	1.5	2	1	2.4	4.4	0.54	1	11.14	1(1.5m×2m)
13	36+735	30.78	3	3	1	7.2	7.8	0.92	1	46.67	1(3m×3m)
16	38+060	18.13	2	2.5	1	4	5.7	0.70	1	22.07	1(2m×2.5m)

VIII.6.5.2.1 Vérification des conditions d'auto curage :

Pour le bassin versant N° 01 :

1ere condition :

- Rq = 0.1 => Rv = 0.638 ;
- $V_{ps} = Q_S/S = 7.5/1.5^2 = 3.33$m/s ;
- $V_{écoulement} = R_v \times V_{ps} = 0.638 \times 3.33$;
- V = 2.12 m/s > 0.6 m/s => la condition est vérifiée.

2eme condition :

- Rq = 0.01 => Rv = 0.315 ;
- $V = R_v \times V_{ps} = 0.315 \times 3.33$;
- V = 1.04 m/s > 0.3 m/s => la condition est vérifiée.

3eme condition :

- Le taux de remplissage en cas de débit d'apport Rh > 0.8 ;
- $Rq = \frac{Q_a}{Q_S} = \frac{6.48}{7.5}$;
- Rq = 0.86 => R_h = 0.71 < 0.8 => la condition est vérifiée.

=> Le dalot est bien dimensionné.

Les résultats de la vérification des conditions d'auto curage des dalots sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.13 la vérification des conditions d'auto curage des dalots

N° BV	V_{ps} (m/s)	1ere condition				2emecondition				3emecondition		
		Rq	Rv	$V_é$ (m/s)	$V_é$>0.6 (m/s)	Rq	Rv	$V_é$ (m/s)	$V_é$>0.3 (m/s)	Rq	Rh	Rh<0.8
0.1	3.33	0.1	0.638	2.12	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.04	**Vérifiée**	0.86	0.71	**Vérifiée**
02	3.71	0.1	0.638	2.36	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.16	**Vérifiée**	0.73	0.63	**Vérifiée**
03	4.82	0.1	0.638	3.07	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.51	**Vérifiée**	0.75	0.64	**Vérifiée**
04	4.03	0.1	0.638	2.57	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.26	**Vérifiée**	0.66	0.59	**Vérifiée**
05	3.71	0.1	0.638	2.36	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.16	**Vérifiée**	0.64	0.58	**Vérifiée**
07	5.63	0.1	0.638	3.59	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.77	**Vérifiée**	0.78	0.66	**Vérifiée**
08	4.70	0.1	0.638	2.99	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.48	**Vérifiée**	0.77	0.66	**Vérifiée**
09	3.76	0.1	0.638	2.39	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.18	**Vérifiée**	0.18	0.28	**Vérifiée**
10	4.41	0.1	0.638	2.81	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.39	**Vérifiée**	0.77	0.66	**Vérifiée**
11	3.71	0.1	0.638	2.36	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.16	**Vérifiée**	0.67	0.60	**Vérifiée**
13	5.18	0.1	0.638	3.30	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.63	**Vérifiée**	0.65	0.58	**Vérifiée**
16	4.41	0.1	0.638	2.81	**Vérifiée**	0.01	0.315	1.39	**Vérifiée**	0.82	0.69	**Vérifiée**

VIII.7 DRAINAGE LONGITUDINAL :

Le drainage longitudinal (fossé) de l'emprise et de la plateforme a pour objectif d'assurer la pérennité et la sécurité de l'ouvrage ferroviaire. Il a pour fonction de recevoir et de drainer :

- Les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plateforme dans les structures d'assise ;
- Les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants.

Le dimensionnement des ouvrages longitudinaux est pour une période de retour de 10 ans.

VIII.7.1 APPLICATION AU PROJET :

- Les largeurs sont :
  - ✓ 0.3m pour la berme de maintenance (droite et gauche) ;
  - ✓ 6.8 m pour les deux côtés de l'axe de la plateforme ;
- Les Coefficient de ruissellement :
  - ✓ C =0.9 pour plateforme ;
  - ✓ C =0.7 pour les talus et les bermes.
- Les pentes de ces ouvrages sont :
  - ✓ 4% pour la berme ;
  - ✓ 4% pour plateforme droit et gauche ;
  - ✓ 1/1.5 pour les talus. (2v/3h).

VIII.7.1.1 Calcul des débits d'apport :

Le débit est calculé par la formule suivante :

$$\mathbf{Q_a = Q_{pf}}\text{ (plateforme)} + \mathbf{Q_b}\text{(les bermes)} + \mathbf{Q_t}\text{(les talus)}$$

VIII.7.1.1.1 Cas du déblai :

On prend le cas le plus défavorable du talus :

- Longueur = 791.40m ;
- Hauteur (max) = 24.83m.

Pour les talus :

- La surface du talus : (calculé par le logiciel Autocad)
  A = 0.0158918 km² ;
- Le temps de concentration : (calculé par la formule de Ventura A< 5km²)

$T_C = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127\sqrt{\frac{0.0158918}{0.67}}$ => **Tc= 0.0196 h** ;

- L'intensité : (calculé par la formule de Montana)

$I(0.0196, 10) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{45.1}{0.0196^{0.66}}$ => **I = 604.35 mm / h;**

- Le débit de crue : (calculé par la formule rationnelle A< 10km²)

$Q_{10} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.7 \times 604.35 \times 0.0158918}{3.6}$ => **Q_{10} = 1.86 m³/s.**

Pour la berme :

- La surface du talus :

$A = 0.3 \times 791.4 \times 10^{-6}$ =>**A = 0.0002375 km² ;**

- Le temps de concentration : (calculé par la formule de Ventura A< 5km²)

$T_C = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127\sqrt{\frac{0.0002375}{0.04}}$ => **Tc= 0.0098 h** ;

- L'intensité : (calculé par la formule de Montana)

$I(0.0098, 10) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{45.1}{0.0098^{0.66}}$ => **I = 954.92 mm / h ;**

- Le débit de crue : (calculé par la formule rationnelle A< 10km^2)

$Q_{10} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.7 \times 954.92 \times 0.0002375}{3.6}$ => **Q_{10} = 0.044 m^3/s.**

Pour la plateforme :

- La surface du talus :

A = 6.8×791.4×10^{-6} =>**A = 0.0053815 km^2 ;**

- Le temps de concentration : (calculé par la formule de Ventura A< 5km^2)

$T_C = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127\sqrt{\frac{0.0053815}{0.04}}$ => **Tc= 0.0466 h** ;

- L'intensité : (calculé par la formule de Montana)

$I(0.0466, 10) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{45.1}{0.0466^{0.66}}$ => **I = 341.23 mm / h ;**

- Le débit de crue : (calculé par la formule rationnelle A< 10km^2)

$Q_{10} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.9 \times 341.23 \times 0.0053815}{3.6}$ => **Q_{10} = 0.459 m^3/s.**

Calcul du débit :

- $Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t = 0.459 + 0.044 + 1.86$ => **Q_a = 2.363 m^3/s.**

VIII.7.1.1.2 Cas du remblai :

On prend le cas le plus défavorable du talus :

- Longueur = 859.07m ;
- Hauteur (max) = 23.49m.

Pour les talus :

- La surface du talus : (calculé par le logiciel Autocad)

A = 0.0154946 km^2 ;

- Le temps de concentration : (calculé par la formule de Ventura A< 5km^2)

$T_C = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127\sqrt{\frac{0.0154946}{0.67}}$ => **Tc= 0.0193h** ;

- L'intensité : (calculé par la formule de Montana)

$I(0.0193, 10) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{45.1}{0.0193^{0.66}}$ => **I = 610.53 mm / h ;**

- Le débit de crue : (calculé par la formule rationnelle A< 10km^2)

$Q_{10} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.7 \times 610.53 \times 0.0154946}{3.6}$ => **Q_{10} = 1.839 m^3/s.**

Pour la berme :

- La surface du talus :

A = 0.3×859.07×10^{-6} =>**A = 0.0006873 km^2 ;**

- Le temps de concentration : (calculé par la formule de Ventura A< 5km^2)

$T_C = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127\sqrt{\frac{0.0006873}{0.04}}$ => **Tc= 0.0166 h** ;

- L'intensité : (calculé par la formule de Montana)

$I(0.0166, 10) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{45.1}{0.0166^{0.66}}$ => **I = 674.38 mm / h ;**

- Le débit de crue : (calculé par la formule rationnelle A< 10km^2)

$Q_{10} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.7 \times 674.38 \times 0.0006873}{3.6}$ => **Q_{10} = 0.089 m^3/s.**

Pour la plateforme :

- La surface du talus :

A = 6.8×859.07×10^{-6} =>**A = 0.0058417 km^2 ;**

- Le temps de concentration : (calculé par la formule de Ventura A< 5km^2)

$T_C = 0.127\sqrt{\frac{A}{J}} = 0.127\sqrt{\frac{0.0058417}{0.04}}$ => **Tc= 0.0485 h** ;

- L'intensité : (calculé par la formule de Montana)

$I(0.0485, 10) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{45.1}{0.0485^{0.66}}$ => **I = 332.34 mm / h ;**

- Le débit de crue : (calculé par la formule rationnelle A< 10km^2)

$Q_{10} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.9 \times 332.34 \times 0.0058417}{3.6}$ => **Q_{10} = 0.485 m^3/s.**

Calcul du débit :

- $Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t = 0.485 + 0.089 + 1.839$ => **Q_a = 2.413 m^3/s.**

Les résultats du calcul des débits d'apport sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.14 Les débits d'apport

		Cas du déblai		**Cas du remblai**	
		L_{max} (m)	H_{max} (m)	L_{max} (m)	H_{max} (m)
		791.40	24.83	859.07	23.49
Plateforme	C	0.7		0.7	
	J (m/m)	0.67		0.67	
	A (Km2)	0.0158918		0.0154946	
	Tc (h)	0.0196		0.0193	
	I (mm/h)	604.35		610.53	
	Q (m^3/s)	1.86		1.839	
Les bermes	C	0.7		0.7	
	J (m/m)	0.04		0.04	
	A (Km2)	0.0002375		0.0006873	
	Tc (h)	0.0098		0.0166	
	I (mm/h)	954.92		674.38	
	Q (m^3/s)	0.044		0.089	
	C	0.9		0.9	
	J (m/m)	0.04		0.04	
	A (Km2)	0.0053815		0.0058417	

Les talus	Tc (h)	0.0466	0.0485
	I (mm/h)	341.23	332.34
	Q (m^3/s)	0.459	0.485
Qa (m3/s)		2.363	2.413

VIII.7.1.2 Dimensionnement des fossés :

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale tel qu'il est illustré dans la figure ci-dessous :

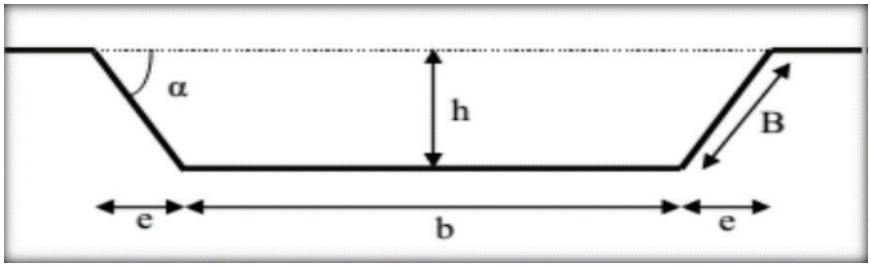


Figure VIII.5 Dimensions du fossé

Pour le dimensionnement on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$Q = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Tel que :

- La pente des berges : z = e / h ;
- La surface mouillée (m^2) : $S_m = (b + z \times h) \times h$;
- Le périmètre mouillé (m) : $P_m = b + 2h\sqrt{1 + z^2}$;
- Le rayon hydraulique (m) : $R_h = \frac{(b+z \times h) \times h}{b + 2h\sqrt{1+z^2}}$;
- La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés est la hauteur totale ;
- Le matériau utilisé pour les fossés est le béton grossier dont le coefficient de rugosité est Ks = 50 ;
- Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation $Q_s = Q_{apport}$:

$$Q = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = K_S \times ((b + z \times h) \times h) \times \left(\frac{(b + z \times h) \times h}{b + 2h\sqrt{1+z^2}}\right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

- Le principe consiste à chercher la hauteur du fossé qui vérifie cette condition

$$\mathbf{h = \left(\frac{Q_a}{K_s \times \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{5}} \times \frac{\left(b+2h\sqrt{1+z^2}\right)^{\frac{2}{5}}}{b+z \times h}}$$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative. On pose :

- b = 0.55 m ;
- α = 45° => z = 1 ;
- I = 1%.

Cas du déblai :

- Qa = 2.363m^3/s ;
- Par itération on trouve : h = 0.55m.

Cas du remblai :

- Qa =2.413 m^3/s ;
- Par itération on trouve : h = 0.55m.

Pour la totalité du projet on prend un fossé de dimensions : **(b , h) = (55cm , 55cm)**.

VIII.8 CONCLUSION :

Les résultats Des dimensions des ouvrages transversaux et longitudinaux sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.15 Dimensions des ouvrages transversaux et longitudinaux

N° BV	**PK**	Drainage transversale				Drainage longitudinale		
		Type d'ouvrage	Nombre de sections	Dimensions		Type d'ouvrage	Dimensions	
				(H×L)	Ø		b (cm)	h (cm)
01	29+400	Dalot	1	(1.5m×1.5m)	/	Fossé	55	55
02	29+890	Dalot	1	(1.5m×2m)	/	Fossé	55	55
03	31+180	Dalot	1	(2.5m×3m)	/	Fossé	55	55
04	31+840	Dalot	1	(2m×2m)	/	Fossé	55	55
05	31+910	Dalot	1	(1.5m×2m)	/	Fossé	55	55
06	32+960	Pont rails						
07	33+475	Dalot	1	(3m×3.5m)	/	Fossé	55	55
08	34+425	Dalot	1	(2m×3m)	/	Fossé	55	55
09	34+825	Dalot	6	(4m×4m)	/	Fossé	55	55
10	35+430	Dalot	1	(2m×2.5m)	/	Fossé	55	55
11	36+105	Dalot	1	(1.5m×2m)	/	Fossé	55	55
12	36+460	Buse	1	/	1 Ø 1200	Fossé	55	55
13	36+735	Dalot	1	(3m×3m)	/	Fossé	55	55
14	37+280	Buse	1	/	1 Ø 1000	Fossé	55	55
15	37+560	Buse	1	/	1 Ø 1000	Fossé	55	55
16	38+060	Dalot	1	(2m×2.5m)	/	Fossé	55	55

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

IX.1 INTRODUCTION :

La voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticités variables qui distribuent et transmettent les charges du train uniformément à la plateforme. L'ensemble des composantes de voie doit également empêcher des mouvements longitudinaux et latéraux de la voie et des déformations verticales. La solidarité des composantes de la voie assure le guidage des circulations dans les conditions de confort et sécurité.

La superstructure de la voie comporte deux files de rails parallèles maintenus par des traverses avec un système d'attaches reposant sur une épaisseur variable de ballast ou béton.

Dans ce chapitre nous allons exposer ces composantes un par un.

IX.2 CLASSE DE VOIE :

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune sous-entendant une vitesse maximale et une charge à l'essieu. On distingue ainsi :

- **Les voies principales** affectées à la circulation des trains ;
- **Les voies de circulation,** affectées à desserte interne des grands complexes ferroviaires ;
- **Les voies de service**, affectées aux manœuvres, qui peuvent être d'anciennes voies principales déclassées ;
- **Les voies d'évitement**, qui permettent à deux trains circulant à contresens sur une voie unique de se croiser ;
- **Les voies de garage**, qui sont des voies de service affectées au stationnement du matériel roulant.

IX.3 CARACTERISTIQUE DE LA VOIE :

Chaque voie de chemin de fer à ses propres paramètres qui servent à définir ses caractères tels que :

- Le type de rail utilisé ;
- Le mode de fixation des rails aux traverses ;
- La longueur des rails en voie (barres normales éclissées ou longs rails soudés) ;
- L'écartement des rails ;
- Le type et la densité des traverses (travelage) ;
- Le tracé en plan (rayon de courbure et dévers) ;
- Le profil en long (pente ou rampe) ;
- Le support (ballast ou béton) ;
- La charge admise par mètre courant ou à l'essieu ;
- La vitesse des trains (voyageurs et marchandises).

IX.4 LES COMPOSANTES DE LA SUPERSTRUCTURE :

IX.4.1 Les rails :

Le rail est une Poutre 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 une 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.

Il existe différents profils et nuances de rail, adaptés aux utilisations auxquelles ils sont destinés La majorité des profils laminés au début du chemin de fer n'ont eu qu'une durée éphémère ; seuls, en effet, le double champignon et le rail Vignole (patin) ont été largement utilisés.

Tous ces profils possèdent en commun les éléments suivants :

- **Champignon** : C'est la partie supérieure du rail. Elle est caractérisée par sa largeur, sa hauteur, le Bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces faces latérales ;
- **Ame** : Raccord avec les portées d'éclissage ;
- **Patin** : Largeur pour transfert de charge à la traverse, portée d'éclissage et zones pour les attaches ;
- **Les portées d'éclissage** : parties inclinées du champignon et du patin qui permettent le serrage des éclisses.

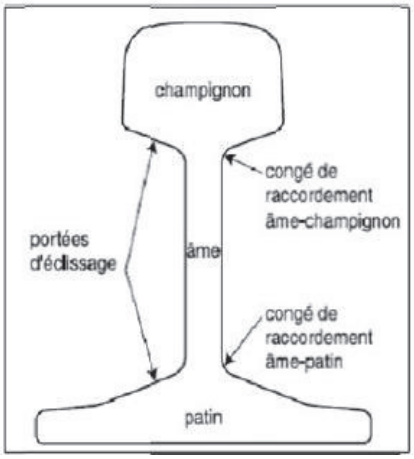


Figure IX.1 Profil de rail

IX.4.1.1 Les types des rails selon leur profil :

Il existe trois profils principaux de rails :

- **Le rail à patin**, dit rail Vignole est le plus utilisé couramment.



Figure IX.2 Rail Vingole

- **Le rail à gorge** (type Broca) est le rail utilisé pour les tramways et les métros légers.



Figure IX.3 Rail à gorge

- **Le rail à double champignons (DC) :** A l'origine, ce profil, constitué de deux bourrelets reliés par une lame, était tout à fait symétrique. Cette conception s'inspirait du souci de pouvoir retourner le rail sens dessus dessous et de doubler ainsi sa durée de vie. Mais, à l'expérience, on a constaté que le bourrelet inférieur se creusait au contact du coussinet et que sa réutilisation était illusoire.
  Finalement, ils ont adopté un profil dissymétrique dans lequel chaque bourrelet a une forme et des dimensions en rapport avec sa destination.



Figure IX.4 Rail DC

Note : Dans ce qui suit ci on va s'intéresser seulement aux rails Vignole UIC60.

IX.4.1.2 Caractéristiques géométriques du rail UIC 60 :

- Surface de la section : 76,70 cm^2 ;
- Masse par mètre : 60,21 kg/m ;
- Moment d'inertie (axe x-x) : 3038,3 cm^4 ;
- Module d'inertie — champignon : 333,6 cm^3 ;
- Module d'inertie — patin : 375,5 cm^3 ;
- Moment d'inertie (axe y-y) : 512,3 cm^4 ;
- Module d'inertie (axe y-y) : 68,3 cm^3 ;
- Hauteur totale : 172mm ;
- Epaisseur Champignon : 72mm ;
- Epaisseur patin :150mm ;
- Epaisseur âme :16.5mm.

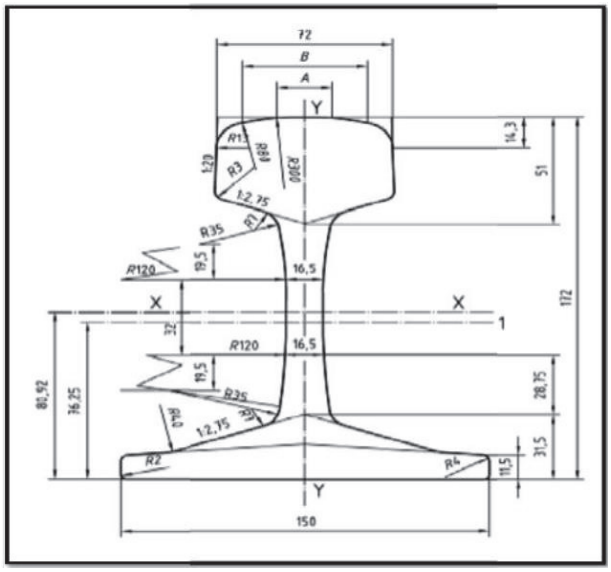


Figure IX.5 Profil rail UIC60

IX.4.1.3 Assemblage des rails :

Il existe deux types d'assemblages : l'éclissage et la soudure

IX.4.1.3.1 L'éclissage :

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées, qui s'insèrent entre le dessous du champignon et le dessus du patin. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportent comme une poutre continue ;
- Avoir la même qualité d'acier que le rail ;
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre toute en permettant le mouvement la dilatation pour ce type d'assemblage, toutefois aucune amélioration apportée n'est pleinement satisfaisante, on a remarqué, en effet, depuis longtemps que plus les boulons d'éclisses sont serrés, mieux les joints se comportent et moins les chocs sont ressentis, mais plus la dilatation des rails est contrariée.



Figure IX.6 L'éclissage

IX.4.1.3.2 Les longs rails soudés (LRS) :

Les longs rails soudés constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs kilomètres.

C'est la méthode de pose adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse. Elle est constituée avec des barres longues, d'une longueur de 144m 300 ou 400 m selon les pays. Ces barres sont produites en atelier par la soudure de rails élémentaires de 18m ou 36m. Ces barres longues sont ensuite posées et soudées entre elles sur place par soudure aluminothermique ou soudure électrique.

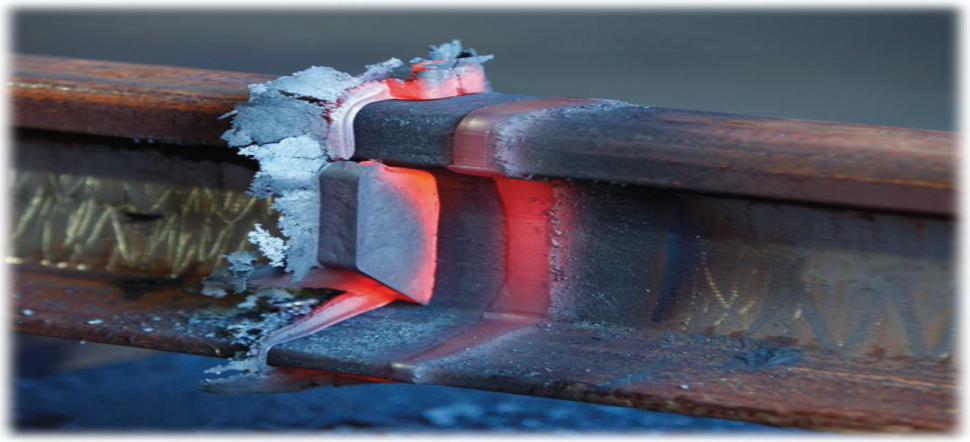


Figure IX.7 Soudure des rails

Leurs avantages :

Les avantages sont d'ordre technique et économique :

- Réduction des coûts d'entretien de la voie ;
- Meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs ;
- Suppression de l'éclissage boulonné (joints) ;
- Réduction du nombre d'avaries des rails ;
- Réduction de l'usure de la superstructure et des véhicules.

Leurs inconvénients :

Leurs inconvénients largement compensés par leurs avantages sont :

- Une technique nécessitant un personnel bien formé ;
- Un risque de déformation par flambement de la voie sous les contraintes de compression excessive lors de périodes de très fortes chaleurs ;
- Non utilisation sur les terrains de mauvaise stabilité (argile, remblai non compacts…) ;
- Une utilisation de quantité importante de ballast, un nivellement et linéarité presque parfaite pour assurer une bonne dilatation et stabilité des rails.

IX.4.2 Les traverses :

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails. Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement entre 1666-1667 traverses/Km.

IX.4.2.1 Fonction principale des traverses :

- 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.

IX.4.2.2 Les types des traverses :

Il existe trois types de traverses :

- **Traverses en bois :**

Fabriquées à partir du bois de chêne (hêtre), elles sont appréciées pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre. Mais étant donné leur courte durée de vie, on procède à un traitement chimique pour régler le problème.

De nos jours les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment vu leurs effets négatifs sur l'environnement et leur cout élevé.



Figure IX.8 Traverse en bois

- **Traverses métalliques :**

Les traverses en acier sont des produits industriels, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé, elles s'enfoncent dans le ballast pour qu'elles s'opposent aux déplacements transversaux de la voie. Elles sont légères (environ 80 Kg) et faciles à poser.



Figure IX.9 Traverse métallique

- **Traverses en béton :**

Elles ont une durée de vie plus importante (50ans), et ne sont pas onéreuses. Leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast, d'où leur forte utilisation à travers le monde. Leur fixation avec les rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc.
Il en existe deux types :

✓ **Bi blocs :** Les traverses en béton bi bloc sont formées de deux blocs de béton armé appelés « Blochets » reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.



Figure IX.10 Traverse bi-bloc

✓ **Monobloc :** Formées en un seul bloc de béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.



Figure IX.11 Traverse monobloc

Note : Dans notre projet on a utilisé les traverses en béton du type bi-bloc B450, ses dimensions sont présentées dans la figure suivante :

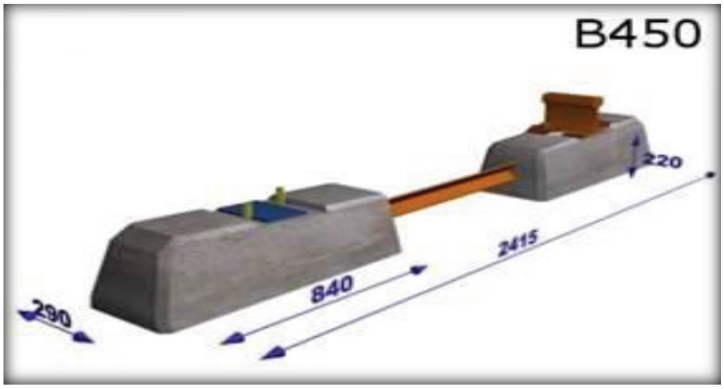


Figure IX.12 Traverse bi-bloc B450

IX.4.3 Les semelles :

C'est un dispositif mis entre le rail et la traverse. Les semelles jouent un rôle très important dans la transmission des charges à la traverse, la stabilité de rail et l'absorption des ondes vibratoires mécaniques et acoustiques (joue le rôle d'un amortisseur). Elles sont en générale en élastomère de petite taille environ 9 mm d'épaisseur.

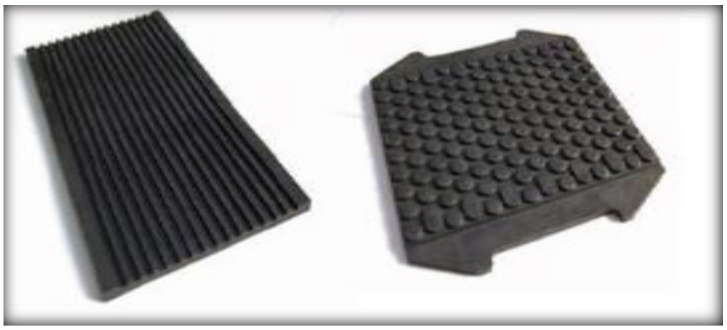


Figure IX.13 Les semelles

IX.4.4 Les attaches :

Une attache est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement.

Il existe plusieurs types d'attaches, elles dépendent de type de traverses utilisées :

- **Fixation pour les traverses en bois :**

Les rails sont fixés sur les traverses en bois par des crampons ou par des tirefonds.
Le premier type serrait mal le patin, le rail pouvant alors se relever de la traverse et le deuxième était tellement rigide que le rail pouvait soulever la traverse en se redressant.

- **Fixation pour les traverses métalliques** :

Le système d'attache est constitué de boulons qui fixent les crapauds sur le patin.

- **Fixation pour les traverses en béton armé :**

Ce type d'attache est le plus répondu au monde, il peut résister d'une manière élastique aux mouvements verticaux, ces déplacements se font sans jeu, sans chocs.

L'attache **Nabla** est la plus utilisée actuellement, constituée par un crapaud (lame-ressort) maintenu par un écrou (tirefond) vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet.



Figure IX.14 Attache Nabla

IX.4.5 Les appareils de voie :

Un appareil de voie est un dispositif qui assure le guidage du matériel roulant ferroviaire et assure la continuité de la voie pour un itinéraire choisi parmi divers itinéraires divergents ou sécants. En effet, le conducteur d'un train n'ayant aucune maitrise de la direction prise par le convoi, ce sont les appareils de voie qui sont chargés de le guider et de l'orienter de façon mécanique.

Il existe deux types d'appareils de voie :

IX.4.5.1 Les branchements :

Le branchement est un appareil de voie qui permet le passage du matériel roulant suivant deux (ou plus) itinéraires ayant une branche commune.

Il est constitué de trois parties :

- Un aiguillage ;
- Une partie intermédiaire ;
- Une partie croisement.

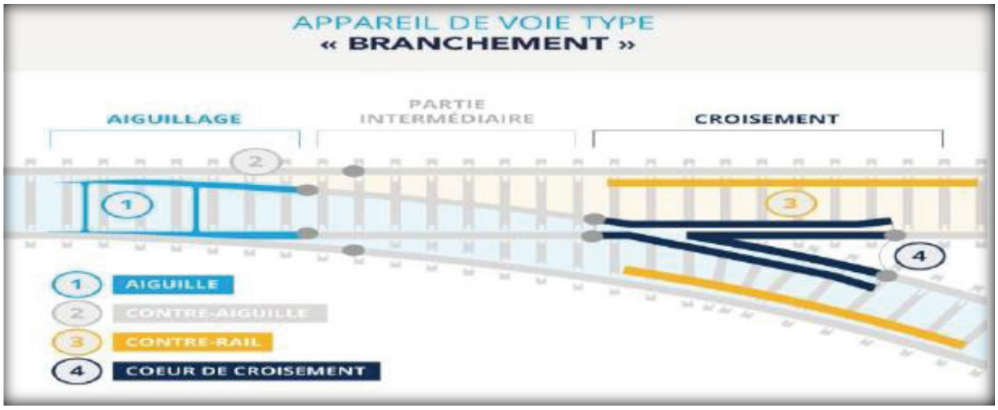


Figure IX.15 Branchement

Il existe deux types de branchement :

- **Branchement simple :**

Dans le cas de l'aiguillage simple, une autre voie (voie déviée) part de la voie en alignement. Si on regarde de la pointe de l'aiguille en direction de la pointe du cœur de croisement, on peut faire la distinction entre le branchement simple à gauche et le branchement simple à droite.

Il y'a plusieurs types de branchement simple selon la vitesse, l'inclinaison et le rayon.

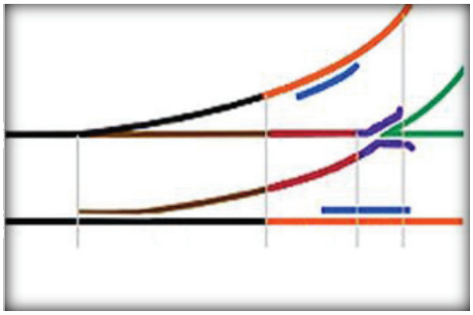


Figure IX.16 Branchement simple

- **Branchement double :**

Dans le cas du branchement double, deux autres voies partent de la voie en alignement (voie directe). Le premier sens de bifurcation est déterminant pour la désignation « à gauche » ou « à droite ».

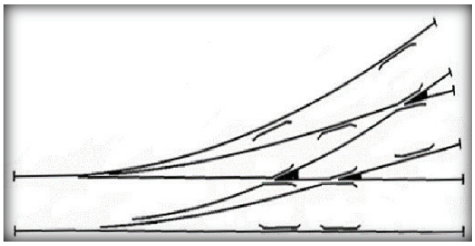


Figure IX.17 Branchement double

IX.4.5.2 Les traversées :

La traversée est un appareil de voie qui permet le passage du matériel roulant suivant des itinéraires qui se coupent.

On a :

- **Traversées ordinaires** qui permettent l'intersection de deux itinéraires ;
- **Les traversées-jonctions** simples ou doubles sont une combinaison de plusieurs aiguillages et d'une traversée.

IX.5 CONCLUSION :

Le choix des différents constituants de la superstructure la voie a un enjeu considérable sur l'aspect économique du projet, donc il est primordial de faire le meilleur choix pour arriver à un coup le plus économique possible.

OUVRAGES D’ART

X.1 INTRODUCTION :

Pour concevoir un bon tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire projetée et le franchissement de différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau, on doit doter cette nouvelle ligne des ouvrages d'arts.

Le tracé retenu contient :

- Un (01) viaduc ferroviaire au PK 32+960 ;
- Deux (02) ponts de rétablissement routiers (Passages supérieurs) au PK 29+300 et PK 32+480 ;
- Un (01) tunnel ferroviaire du PK 29+975 au PK 30+625.

X.2 VIADUC FERROVIARE :

L'ouvrage faisant l'objet de cette étude est un viaduc ferroviaire voussoirs sur oued de cinq (05) travées continues, trois (03) travées de 100,00m et deux (02) travées de 60,00m avec une longueur totale de 420,00m.

Le viaduc est inscrit entre le PK 32+800 et le PK 33+220 dans une courbe de rayon R=1200m.

Le tablier est constitué de cinq (05) travées continues, il comporte trois travées centrales de 100,00m et deux travées de rives de 60,00m de longueur.

Le profil en travers est constitué de deux voies de 4.20 m d'entre axe et la largeur totale est 13.60m.

Les supports sont :

- Deux (02) culées en béton armé avec des murs en retour et des murs en aile d'une hauteur totale de 4,00 m ;
- Les quatre (04) piles sont en béton armé ; les deux piles centrales ont une hauteur de 20m et les deux piles de rives ont une hauteur de 10.00m ;
- Les fondations de l'ouvrage sont de type : fondations profondes ;

X.3 PONTS DE RETABLISSEMENT ROUTIERS :

Les passages supérieurs peuvent être du type continu à 3 travées avec des culées ouvertes ou fermées, ou être conçus comme isostatiques à une travée avec des culées fermées et des murs en ailes en prolongation.

Pour des raisons économiques et de facilité constructive, la typologie choisie pour les passages supérieurs est un portique en béton armé avec des murs en ailes en prolongation

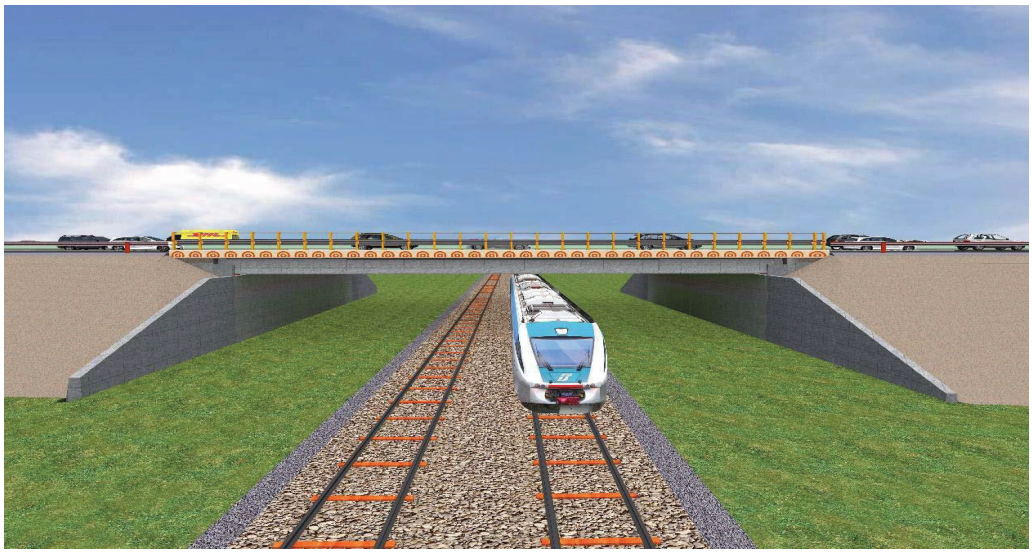


Figure X.1 Un passage supérieur (routier)

Le tracé retenu comporte deux passages supérieurs. Leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau X.1 les passages supérieurs conçues pour notre tracé

PK	Type de voie de franchissement	N° de travée	Longueur totale (m)	Hauteur libre du gabarit (m)
29+300	Route nationale RN42 (02 voies)	01	15	7.5
32+480	Piste agricole	01	15	7.5

X.4 TUNNEL FERROVIAIRE :

Les terrassements sont de différents types, déblais, remblais et mixte, ces terrassements dans certaines zones sont très profonds et qui nécessitent une attention particulière.

Parmi ces zones, le tronçon entre le PK 29+975 AU PK 30+625 qui passe en déblai avec une profondeur maximale d'environ 30.29 m par rapport au niveau du terrain naturel. Cette zone est caractérisée par une agglomération importante ce qui implique des mesures d'expropriation, pour pouvoir passer la ligne ferroviaire telle que prévue dans les études.



Figure X.2 Vue aérienne de la zone d'étude

Les solutions de la problématique exprimée ci-dessus, dépendent de plusieurs paramètres à savoir : la nature du sol ; les conditions de site, le cout et la réalisation.

En effet, la solution proposée pour cette zone est un passage en tunnel ferroviaire du PK 29+975 au PK 30+625 d'un linéaire total de 650ml, avec un gabarit vertical libre de 8.5 m et un rayon de 6.5m.

Le profil en travers de ce dernier est représenté dans la figure suivante :

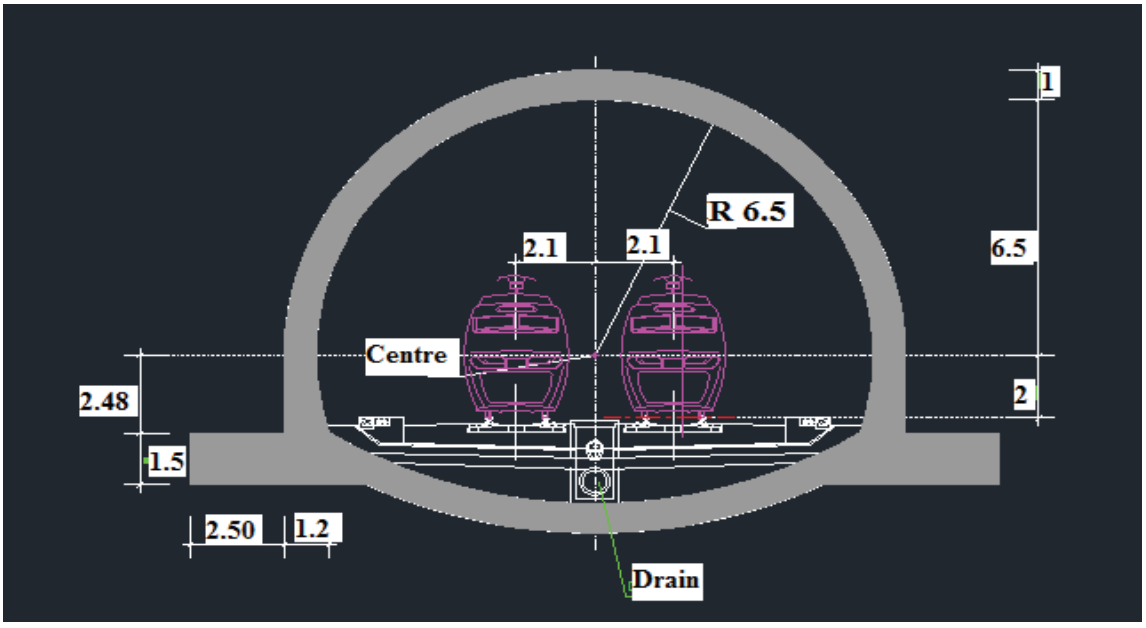


Figure X.3 Profil en travers type du tunnel ferroviaire

Remarque : Pour l'assainissement du tunnel on a proposé la mise en œuvre d'un collecteur d'eau des diamètres : ϕ 800 avant le tunnel, ϕ 1000 dans le tunnel et ϕ 1200 à la sortie du tunnel.

SIGNALISATION FERROVIAIRE

XI.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le mécanicien du train d'une circulation ferroviaire, on lui donnant sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleurs diverses, disposés le long des voies.

Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter, l'information d'une direction géographique vers laquelle le convoi va s'engager et des prescriptions concernant la traction électrique. D'où la signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

XI.2 OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION :

Le système de la signalisation conçu pour notre projet devra respecter les objectifs suivants :

- Assurer un haut niveau de sécurité des circulations ;
- Doter la ligne des équipements nécessaires pour permettre la circulation sûre et efficace des trains avec une vitesse de 160 km/h ;
- On prévoit que la ligne ait un trafic mixte (voyageurs et marchandises). La vitesse maximale d'exploitation sera de 160 km/h pour les trains voyageurs et de 80km/h pour les trains de marchandises ;
- Assurer que par cette ligne, pourront circuler un nombre suffisant de véhicules pour couvrir la demande prévue de passagers et marchandises aussi bien au début de la mise en place de la ligne comme dans les années suivantes ;
- Faciliter l'exploitation de la ligne, à travers un système moderne de signalisation, qui incorpore la commande automatique d'une façon sûre de tous les équipements de la voie ;
- Appliquer un système centralisé d'exploitation depuis le Poste de Contrôle Central (PCC) ;
- Installer un système moderne, adapté aux standards européens aussi bien au niveau de la sécurité que de la qualité ;
- Afin de réaliser l'espacement des circulations, on découpe la voie en sections appelées « cantons », chaque canton est alors procédé d'un signal indiquant si ce canton est libre ou occupé par un autre train.

XI.3 SIGNALISATION LATERALE :

La signalisation latérale ou signalisation classique est constituée de signaux implantés le long de la voie sur des mats, des poteaux ou des portiques.

Cette signalisation est fixe, mais peut être temporaire, et comporte différents types de signaux :

- **Les signaux mécaniques** : sont composés d'une cible de forme particulière (carre, losange, disque, etc.) aisément indentifiable qui est soit présentée perpendiculairement à la voie lorsque l'indication doit être exécutée par le mécanicien, soit parallèlement à la voie lorsqu'elle est dite effacée ;

- **Les signaux lumineux :** comportent, quant à eux, plusieurs feux toujours disposés de la même manière sur une cible à fond noir et liseré blanc ;
- **Signaux à main/mobiles** : lampes, drapeaux.
- **Signaux acoustiques :** pétards, coups de klaxon.

XI.4 SIGNALISATION EN CABINE :

L'avancement et le développement des trains ferroviaires en termes de vitesses a conduit que la signalisation ne permet plus la circulation en toute sécurité, car au de la d'une certaine vitesse, les informations qu'elle donne ne peuvent plus être perçues par le conducteur, On a donc dû inventer des systèmes où ces mêmes informations sont affichées directement dans le poste de conduite.

XI.5 VISIBILTES DES SIGNAUX :

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite

XI.5.1 Visibilité des signaux hauts :

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2.42m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2.8m et 6.3m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou égale à 10m du plan de front des tampons.

XI.5.2 Visibilité des signaux bas :

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1.75m de l'axe de la voie et à 0.240m au-dessus du plan de roulement, doivent rester continus-éléments visible.

XI.6 SYSTEME ERTMS :

C'est un système de contrôle/commande assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable. Le système ERTMS, a été conçu, suite à la volonté de l'Union Européenne d'uniformiser les différents systèmes de signalisation ferroviaires. Il est constitué de deux composantes fondamentales :

- Le système ETCS (Européen Train Control System), qui permet de gérer le trafic ferroviaire ;
- Le système GSM-R (Global System for Mobiles - Railways), qui permet aux trains de communiquer avec les postes de signalisation.

XI.6.1 Les niveaux de l'ERTMS :

On distingue trois niveaux, en fonction de la manière suivant laquelle l'autorisation de mouvement est fournie au train :

- **Niveau 1** : le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol ; cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons ;
- **Niveau 2** : le train se repère à l'aide des balises au sol, transmet sa position au centre de contrôle via le GSM-R, qui lui communique son autorisation de mouvement en fonction de l'occupation des autres cantons ;
- **Niveau 3** : le train se repère à l'aide des balises au sol, échange ses données avec le centre de contrôle et détermine lui-même son autorisation de mouvement en fonction de la position des autres trains.

XI.6.2 ETCS :

Pour rouler en ETCS, un train doit posséder une autorisation de mouvement (Movement Authority), correspondant à une certaine distance sur laquelle la voie est réservée au train.

Au fur et à mesure de la progression du train, cette autorisation de mouvement est remise à jour, Sur la base de cette autorisation de mouvement, l'ordinateur embarqué construit une courbe de vitesse maximale autorisée, et supervise la vitesse du train par rapport à cette courbe, en tenant compte de la position du train, de sa vitesse et de sa capacité de freinage.

Cette courbe matérialise la vitesse maximale permise à chaque instant de façon à respecter le profil de vitesse imposé : si le conducteur dépasse cette courbe de vitesse maximale, par exemple en ne freinant pas alors qu'il approche d'une zone à vitesse plus réduite, l'équipement embarqué appliquera un freinage d'urgence pour éviter que le train ne respecte pas le profil de vitesse imposé.

XI.6.3 GSM-R :

Le système GSM-R est une variante du système GSM, mais avec des particularités liées aux chemins de fer, telles que la gestion d'appel prioritaire, rendant possible le transfert d'informations sensibles comme un ordre de freinage par exemple. Pour ce faire, il s'appuie à la fois sur le standard GSM, et sur la technologie GPRS.

Le système GSM-R est utilisé dans le cadre de l'ERTMS en niveau 2 ou 3, pour permettre l'échange d'information entre le train et le poste de signalisation : le train signale sa position (qu'il repère grâce aux balises au sol) tandis que le RBC lui communique son autorisation de mouvement. A noter qu'en niveau 1, le GSM-R n'est pas utilisé.

XI.7 LE BLOCK AUTOMATQUE LUMINEUX (BAL) :

Le BAL est un système de signalisation ferroviaire automatique utilisé pour assurer l'espacement des trains circulant sur une même voie. Il fait appel à des signaux lumineux placés à l'entrée de chaque canton, et à des circuits de voie permettant d'en changer l'aspect en fonction de l'avancement des trains.

XI.7.1 Caractéristiques :

Les signaux sont constitués de panneaux (cibles) à fond noir et liseré blanc portant plusieurs feux.

Les principales indications rencontrées en BAL sont les suivantes :

- **Un feu vert :** voie libre. Le mécanicien est autorisé à circuler en marche normale, si rien ne s'y oppose ;
- **Un feu jaune :** avertissement. Le mécanicien doit être en mesure de s'arrêter au prochain signal d'arrêt ;
- **Un feu rouge :** sémaphore. Le mécanicien doit s'arrêter avant le signal. En BAL, il peut être franchi en marche à vue après avoir marqué l'arrêt.

XI.7.2 Utilisation :

Ce système est implanté sur les lignes principales à fort trafic, avec une longueur de canton limitée ce qui autorise un débit important.

XI.7.3 Espacement des trains :

Avec le BAL, les cantons sont d'une longueur proche de la distance d'arrêt des trains, elle est de1500 à 2000 m.

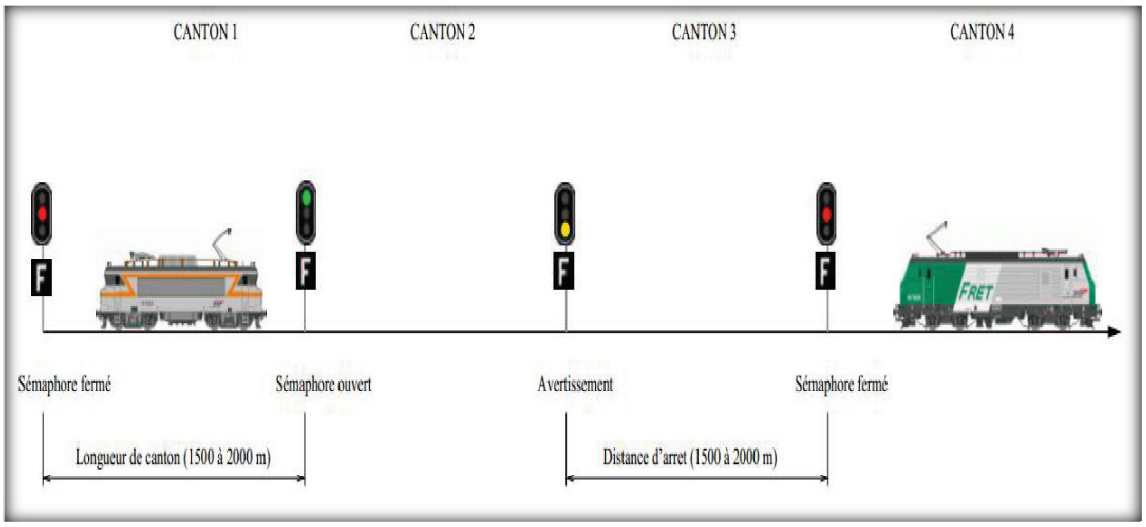


Figure XI.1 Espacement des trains par BAL

XI.8 APPLICATION AU PROJET:

Pour la nouvelle ligne ferroviaire El Affroun- El Hamdania Port centre, on a proposé la mise à niveau des installations de signalisation suivante :

- La vitesse de conception de la ligne est de 160 km/h pour le train de voyageur et de 80 km/h pour le train de marchandises ;
- Sur tous les tronçons de la ligne les gares seront équipées en signalisation lumineuse latérale ;

- La protection des trains sera assurée par l'ERTMS/ETCS niveau 1 ;
- La détection des trains est assurée par les compteurs d'essieux ;
- Un poste de commande et de contrôle centralisé qui permet la gestion de toute la ligne (implanté en gare marchandises) ;
- La commande locale de chaque gare est prévue ;
- Mode de cantonnement BAL (block automatique lumineux) ;
- Intégration de toutes les installations de signalisation dans le PCC de la gare marchandises ;
- Installation des moteurs d'aiguilles électriques.

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1 INTRODUCTION :

La construction d'un aménagement ferroviaire provoque plusieurs impacts sur l'environnement qui entoure la zone du projet, en effet l'extraction de matériaux, les déboisements, l'utilisation des ressources en eau et l'émission de bruits engendrés par ce type de projets sont des actions qui peuvent altérer l'environnement.

Toute étude d'un projet doit comprendre : Une analyse détaillée du projet, Une analyse de l'état initial du site et de son environnement et une analyse des conséquences prévisibles, directes et indirectes, à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement.

XII.2 CADRE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE.

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) d'un projet d'infrastructure en Algérie se fait conformément à :

- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- Décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 relatif à la détermination du camp d'application, du contenu et des modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement ;
- Décret exécutif n°90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.

XII.3 OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

L'objectif de l'étude d'impact sur l'environnement est de rassembler les informations pertinentes sur les composantes des milieux physique, biologique et humain, se trouvant à proximité du projet, de façon à permettre l'identification et l'analyse des impacts potentiels des activités de construction et d'opération de la nouvelle ligne ferroviaire sur les composantes environnementales.

L'analyse de ces impacts permettra de faire ressortir les grands enjeux environnementaux associés au projet et ainsi de proposer des mesures d'atténuation les mieux adaptées possible aux réalités du projet afin de minimiser les conséquences de sa réalisation sur l'environnement local et régional. L'EIE veille également à l'application de ces mesures.

XII.4 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Une délimitation de la zone d'étude est nécessaire pour assurer la prise en compte de l'ensemble des impacts générés par les activités liées au projet.

XII.4.1 Zone d'influence indirecte :

La zone d'influence indirecte est partagée entre les deux Wilayas de Tipaza et Blida. Vu l'envergure du projet de future port centre d'El Hamdania-Cherchell- W de Tipaza, cette zone peut être élargie vers Alger, Ain Defla et Médéa, toutes ces Wilayas limitrophes peuvent bénéficier des atouts positifs de ladite liaison ferroviaire entre le port entre d'El Hamdania, et la gare d'El Affroun, qui va servir aux différentes destinations de marchandises.

XII.4.2 Zone d'influence directe :

C'est la zone composée d'une bande d'environ 01 km (500m de l'axe du projet sur les deux rives de l'axe de la ligne ferroviaire), c'est la zone qui subit le plus des impacts positifs et/ou négatifs du projet. Elle s'étale sur une superficie de 334,97 km².

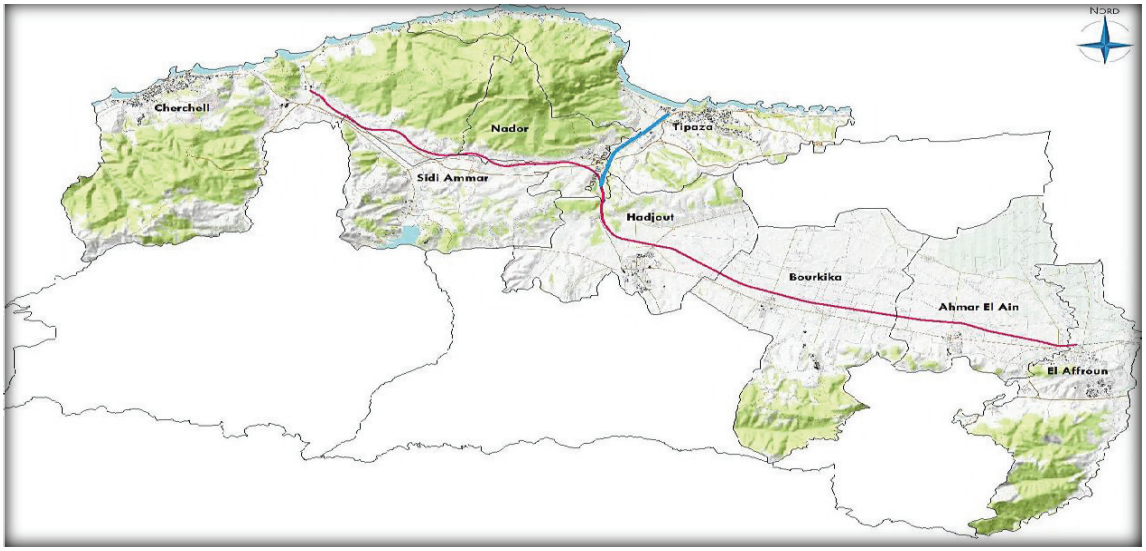


Figure XII.1 Communes touchées directement par le projet.

XII.5 ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :

La description du milieu récepteur est essentielle à l'analyse environnementale, afin d'obtenir une connaissance adéquate des composantes qui risquent d'être touchées par le projet.

XII.5.1 Environnement physique :

La zone d'étude appartient à la zone climatique A (Littoral marin).

XII.5.1.1 Climat :

La région étudiée est caractérisée par un climat Subhumide avec deux saisons bien distinctes :

- Eté chaud et sec ;
- Hiver doux et humide ;

XII.5.1.2 Précipitation :

Les données de la précipitation des précipitations mensuelles couvrent une période de 38 ans (1978 -2016). La période pluvieuse s'étale du mois de Novembre au mois de Mars, les mois de et Décembre étant le plus pluvieux avec des valeurs moyennes de 99,2 mm, les mois de Juillet et Aout sont les plus secs avec des valeurs moyenne de 3,1 mm et 5,2 mm respectivement.

XII.5.1.3 Température :

Les données disponibles, concernant les températures moyennes mensuelles, couvrent une période de 12 ans (1980 -1992). On peut distinguer deux saisons :

- Une saison chaude, s'étalant du mois de Mai au mois d'Octobre, avec un maximum au mois d'Aout (27,6°C) ;
- Une saison froide, qui s'étale du mois de Novembre au mois de Mai, avec un minimum au mois de Janvier (10 C).

XII.5.1.4 Relief :

Le territoire d'étude couvre une superficie de 1 707 km^2 qui se répartit en :

- Montagnes : 336 km^2 ;
- Collines et piémonts : 577 km^2 ;
- Plaines : 611 km^2 ;
- Autres : 183 km^2.

XII.5.2 Environnement biologique :

XII.5.2.1 La faune :

De par la variété de ses biotopes, la région renferme un potentiel cynégétique important. Cette conservation tant aussi à protéger l'habitat de la faune sauvage commune qui existe dans la région.

XII.5.2.2 La flore :

La région d'étude comme tout le littoral algérien est caractérisée par une végétation typiquement méditerranéenne, dépendant des conditions du milieu où elle vie.

XII.5.3 Environnement socioculturel :

XII.5.3.1 Population et habitat :

La zone d'étude s'étale sur une superficie de 384,47 km², et compte une population estimée à 132 072 Habitant selon le (RGPH 2015), avec une densité moyenne de 619 hab /km².

La commune de Hadjout (W. Tipaza) enregistre le plus grand nombre de population (51548 habitants), ce qui représente 39,03 % du total de la population du groupement de

communes étudiées, avec une densité de 983 hab/km², suivi par la commune d'El Affroun (W. Blida) avec 42 465 habitants, et une densité de 760 hab/km².

La commune de Nador enregistre le plus faible nombre de population du groupement des communes étudiées, avec 10 671 habitants, soit 8,07 % du total de la population du groupement, et une densité de 333 hab/km².

XII.5.3.2 Agriculture :

La zone d'étude est connue par sa vocation agricole, elle dispose d'une superficie agricole totale (SAT) de 22 147 Ha, dont une superficie agricole utile (SAU) de 21 508 Ha, ce qui représente 97,11 % de la SAT, dont 7194 Ha sont irrigués.

XII.6 EVALUATION D'IMPACT :

XII.6.1 Impact de la phase de réalisation :

Les impacts de cette phase sont généralement limités dans le temps, et d'une influence directe ou indirecte sur la santé de la population et sur l'Environnement naturel.

XII.6.1.1 Impact sur le milieu physique :

- **Impact sur les ressources en eau :**
  - ✓ Les eaux superficielles de cette zone peuvent être altérées temporairement par les différents travaux ;
  - ✓ Risque de contamination des eaux souterraines par infiltration des huiles et des graisses lors d'un accident de déversement ou lors des opérations de nettoyage.

XII.6.1.2 Impact sur le milieu biologique :

- **Impact sur la faune et la flore :**
  - ✓ Pour la Faune, les pertes de superficies boisées et des terrains végétales sont considérées comme des pertes d'habitats pour diverses espèces fauniques ;
  - ✓ Les travaux de chantier peuvent entrainer l'abattage de quelques pieds d'Arbres, et d'autres formations herbacées, ce qui provoque une réduction du couvert végétal, et de productivité agricole.
- **Impact sur la qualité de l'air :**
  - ✓ Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappements des engins et des camions, dont les principaux gaz échappés sont les CO, CO2, SO2.
  - ✓ Des émissions de poussières dues au transport de matériaux par les camions
- **Impact des déchets solides**
  - ✓ **Les déchets inertes (I) :** composés des déblais et remblais, déchets et boue de béton, minéraux (sable, cailloux), terre et pierres...etc.

- ✓ **Les déchets spéciaux (S) :** constitués principalement par les boues de nettoyage et lavage, déchets métalliques, mélanges bitumineux, pneus hors usage, lubrifiants.
- ✓ **Les déchets spéciaux Dangereux (SD) :** composés essentiellement par le Fuel, Oïl, essence et mélanges, emballages contaminés par des substances nocives, véhicules hors usage, filtres à huile, liquide des freins, batteries.

XII.6.1.3 Impact sur le milieu socioculturel :

- **Impact sur la population :**
  - ✓ L'expropriation des biens (bâtis, équipements et terrains agricoles) ;
  - ✓ Impacts sonores : Le bruit généré par les travaux (terrassements, transports de matériaux, etc…)
- **Impact sur l'agriculture :**
  - ✓ Occupation temporaire de terrain pour des éventuelles zones de passage, avec pertes de revenus, la destruction de clôtures, difficultés d'accès éventuels aux parcelles ;
  - ✓ Envol de poussières suite aux travaux ;
  - ✓ Allongement des trajets (agriculteurs et troupeaux) suite à des coupures des itinéraires.
- **Effet de coupure :**
  - ✓ Le chantier de construction provoquera des gênes à la circulation (coupure de routes, limitation des possibilités de liaison entre les deux côtés du tracé).
- **Risque d'accidents :**
  - ✓ L'accroissement de la circulation liée à la présence d'engins de chantiers accroît les risques d'accident pour les populations situées à proximité de l'emprise, des voies d'accès au chantier, et aux travailleurs sur chantier.

XII.6.2 Impact de la phase d'exploitation :

XII.6.2.1 Impact sur le milieu physique :

- ✓ Une dégradation de la propreté du paysage par le rejet des déchets solides ;
- ✓ Le paysage sera partiellement modifié, ainsi que le champ visuel ;
- ✓ Création de nouveaux milieux sur les bords de plate- forme.

- **Impact sur les ressources en eau :**
  - ✓ Modification de l'écoulement et du drainage des eaux de surface et souterraines

XII.6.2.2 Impact sur le milieu biologique :

- **Impact sur la faune et la flore :**
  - ✓ Pour la Faune, l'impact le plus significatif est la mortalité par collision ou écrasement par véhicules ;

- ✓ Perturbation des zones d'habitats et du déplacement de la faune ;
- ✓ Les risques de pollution des formations végétales par les émissions Atmosphériques du moteur de trains, et par les effluents liquides surtout au période des pluies, sont les causes des maladies graves, la mortalité des formations floristiques.

- **Impact sur la qualité de l'air :**
  - ✓ Des émanations de gaz par les installations

XII.6.2.3 Impact sur le milieu socioculturel :

- **Impact sur la population :**
  - ✓ Pour les riverains, la nuisance sonore provoque une gêne, parfois importante, le bruit généré directement par l'exploitation de l'infrastructure. La gêne du bruit peut se manifester de différentes façons : Perte de sommeil, la fatigue, baisse d'acuité auditive…etc.

XII.7 MESURES D'ATTENUATION :

Les mesures d'atténuations regroupent tout dispositif, action ou organisation, dont l'objectif est de supprimer, réduire ou compenser un impact négatif du projet.

XII.7.1 Mesures de maximisation des impacts positifs :

Des mesures de maximisation des impacts positifs peuvent être prises, notamment dans le domaine économique :

- ✓ Emplois pendant la phase travaux : privilégier l'embauche de main d'œuvre locale ;
- ✓ Création d'itinéraires touristiques, etc.

XII.7.2 Mesures d'atténuation des impacts négatifs en phase de réalisation :

XII.7.2.1 Sur le milieu physique :

- **Sur les ressources en eau :**
  - ✓ La mise en place de sanitaires raccordés à une fosse étanche ;
  - ✓ Le nettoyage du matériel de chantier doit être effectué loin des cours d'eaux ;
  - ✓ Prévoir un dispositif de traitement des eaux collectées par des fossés revêtus avant leur restitution dans le milieu naturel.

XII.7.2.2 Sur le milieu biologique :

- ✓ Arrosage des pistes lors des travaux afin d'éviter l'envol des poussières qui sont une source de nuisance pour la santé des travailleurs et des populations riveraines.

- **Sur la faune et la flore :**
  - ✓ Eviter le maximum les zones d'habitats des animaux ;
  - ✓ Eviter le maximum les zones riches en végétation (forêts, …).
  - ✓ Les espèces forestières peuvent être transmises vers la forêt la plus proche.

- **Sur les déchets :**

  - ✓ Le stockage des produits dangereux doit faire l'objet de dispositifs strictes et particulièrement spécifiques ;

  - ✓ Récupération et l'évacuation régulière des déchets du chantier ;

  - ✓ La mise en place de sanitaires raccordés à une fosse étanche ;

  - ✓ La réutilisation des déblais pour les sections en remblais chaque fois que la qualité des matériaux extraits le permet.

  - ✓ Les déchets ménagers et les déchets inertes peuvent être collectés et transportés vers le centre d'enfouissement technique (C.E.T.).

- **Sur la qualité d'air :**

La pollution atmosphérique est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Cependant plusieurs types d'actions peuvent être envisagés pour limiter à proximité de la voie la pollution.

- ✓ Le tracé de la route doit éviter au maximum les zones d'habitats ;
- ✓ La dispersion des polluants peut également être limitée ;
- ✓ La pollution gazeuse ne peut être stoppée ou éliminée par un écran physique. Par contre la diffusion particulaire peut être piégée par des écrans physiques et végétaux.

XII.7.2.3 Sur le milieu socioculturel :

- **Sur la population :**

  - ✓ Pour les nuisances sonores et atmosphériques en phase de travaux, la circulation des engins doit être limitée à l'intérieur des emprises du projet et des pistes d'accès, dans des horaires bien définis ;
  - ✓ Les travaux de nuit ne seront effectués qu'en cas d'urgence ;
  - ✓ La signalisation des chantiers et pistes d'accès pour limiter les risques d'accident

XII.7.3 Mesures d'atténuation des impacts négatifs en phase d'exploitation :

XII.7.3.1 Sur le milieu physique :

- ✓ Végétalisation des talus pour l'esthétique et la fixation des talus et protection contre l'érosion superficielle.

- **Sur les ressources en eau :**

  - ✓ Pour ne pas modifier l'écoulement et du drainage des eaux de surface, on réalise des ouvrage hydrauliques (buse, dalot, pont).

XII.7.3.2 Sur le milieu biologique :

- **Sur la faune et la flore :**
  - ✓ La création des passages à Faune appropriés selon les types des Animaux de la région diminue les risques de mortalité ;

XII.7.3.3 Sur le milieu socioculturel :

- **Sur la population :**
  - ✓ L'utilisation des engins aux normes en matière de bruit ;
  - ✓ Des équipements anti bruit pour les ouvriers occupant des postes de haut niveau sonore.

XII.8 CONCLUSION :

L'objectif principal à atteindre est celui d'intégrer le projet dans l'environnement qu'il traverse avec le minimum de nuisances économiques, environnementales et écologiques.

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

XIII.1 DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF :

N°	Désignation	Unité	Prix unitaire (DA)	Quantité	Montant (DA)
I	**INSTALATION GENERALE**				
I.1	Installation du chantier	F	3% du Total (II+ III)		104920882.6
Total I					104920882.6
II	**TERRASSEMENT**				
II.1	Décapage de la terre végétale sur 0.30 m	M^3	600	140000	84000000
II.2	Déblai mis en remblai	M^3	900	700388.50	630349650
II.3	Déblai mis en dépôt	M^3	650	1107182.5	719668625
II.4	Remblai en provenance des emprunts	M^3	1200	200000.38	240000456
Total II					1674078731
III	**STRUCTURE D'ASSISE**				
III.1	Couche de ballast	M^3	5000	24300.2	121501000
III.2	Couche de sous ballast	M^3	3100	25452.51	78902781
III.3	Couche de fondation	M^3	2800	23905.2	66934560
III.4	Couche de forme	M^3	2200	71363.9	157000580
Total III					424338921
IV	**LA VOIE**				
IV.1	Rail UIC 60	T	130000	2160	280800000
IV.2	Traverse en béton bi-bloc	U	7000	29988	209916000
IV.3	Attaches type nabla et accessoires	U	15000	119952	1799280000
Total IV					2289996000
V	**POSE DE VOIE**				
V.1	Pose de rail	ML	16000	18000	288000000
V.2	Soudure électrique	U	12000	2000	24000000
Total V					312000000

VI	**ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL ET TRANSVERSAL**				
VI.1	Dalot	M^3	35000	500.40	17514000
VI.2	Buse Ø 1000	ML	20000	120	2400000
VI.3	Buse Ø 1200	ML	24000	70	1680000
VI.4	Fossé	ML	3500	18000	63000000
Total VI					84594000
VII	**OUVRAGES D'ART**				
VII.1	Viaduc ferroviaire	M^2	250000	5712	1428000000
VII.2	Passage supérieur	M^2	150000	189	28350000
VII.3	Tunnel ferroviaire	ML	6000000	650	3900000000
Total VII					5356350000
VIII	**SIGNALISATION**				
VIII.1	Signalisation	F	5% du Total IV		114499800
Total VIII					114499800
IX	**AMENAGEMENT DES PAYSAGES ET PLANTATION**				
IX.1	Aménagement des paysages et plantation	F	1% du Total (II + III)		20984176.52
Total IX					20984176.52
Cout Total du Projet HT					10381762510
Cout Total du Projet en TTC					12354297390
Cout Total du Projet par kilomètre					1372699710

Le cout total du projet est estimé à : Douze milliard trois cent cinquante-quatre millions deux cent quatre-vingt-dix-sept mille trois cent quatre-vingt-dix Dinars Algériens.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'étude a été une grande opportunité pour moi afin de mettre en application mes connaissances acquises durant tout mon cursus en respectant rigoureusement les normes, directives et les recommandations liés au domaine ferroviaire afin d'avoir des résultats qui servent à contrecarrer les contraintes rencontrées sur le terrain.

J'ai touché dans ce présent travail aux principales phases de l'étude d'une voie ferrée nouvelle, et j'ai constaté que celle-ci est une synthèse de différentes disciplines des sciences de l'ingénieur à savoir, la géométrie, la géotechnique, la mécanique des chaussées, hydraulique appliquée …etc.

De plus, Ce travail m'a permis de mieux maîtriser les outils informatiques de calcul et de conception tels que les logiciels : Civil3D (version 2018), Autocad et Global Mapper. Grâce à l'exploitation de ces derniers, j'ai pu concevoir un meilleur tracé.

Enfin, ce mémoire, m'a donné l'opportunité de cerner tous les problèmes théoriques qui peuvent se présenter dans un projet ferroviaire, de profiter de l'expérience des ingénieurs et des spécialistes expérimentés du domaine d'une part et d'apprendre à suivre une méthodologie rationnelle pour réaliser un projet dans le domaine des travaux publics d'autre part.

BIBLIOGHRAPHIE

[1] Afnor. NF EN 13450, Granulats pour ballast de voies ferrées.
[2] JE Alva-Hurtado and ET Selig. Permanent strain behavior of railroad ballast. In Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, volume 1, pages 543–546, 1981.
[3] Nathalie Guerin. Approche expérimentale et numérique du comportement du ballast des voies ferrées. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1996.
[4] Étienne Guyon and Jean-Paul Troadec. Du sac de billes au tas de sable. Odile Jacob,1994.
[5] D Ionescu, B Indraratna, D Christie, et al. Laboratory evaluation of the behaviour of railway ballast under static and repeated loads. In 7th Australia New Zealand Conference on Geomechanics: Geomechanics in a Changing World: Conference Proceedings, page 86. Institution of Engineers, Australia, 1996.
[6] Massamba Ndiaye, Jean Pierre Magnan, Ibrahima Khalil Cisse, and Lamine Cisse. Etude de l'amélioration de latérites du sénégal par ajout de sable. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, pages pp–123, 2013.
[7] Vassilios Profillidis. La voie ferrée et sa fondation - Modélisation mathématique. Thèse de doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées - ENPC , October 1983.
[8] Ernest Theodore Selig and John M Waters. Track geotechnology and substructure management. Thomas Telford, 1994.
[9] MJ Shenton. Deformation of railway ballast under repeated loading conditions. In Railroad track mechanics and technology, pages 405–425. Elsevier, 1978.
[10] MJ Shenton. Ballast deformation and track deterioration. Track technology, pages 253–265, 1985.
[11] SNCF. IN 0028 ; Entretien du nivellement et du tracé de la voie courante ; Bourrage et dressage mécaniques lourds, Balayage et regarnissage mécaniques, Stabilisation dynamique partielle.
[12] SNCF. IN 0029 ; Entretien du nivellement et du tracé des appareils de voie ; Bourrage, dressage mécaniques lourds.
[13] SNCF. IN 0274 ; Mise en œuvre du ballast pour voie ferrée.
[14] SNCF. IN 0295 ; Bourrage mécanique lourd, Principes généraux.
[15] SNCF. IN 0298 ; Relevage général de la voie et des appareils de voie par bourrage mécanique ; conditions d'exécution.
[16] SNCF. IN 3003 ; Conditions techniques applicables aux travaux de création, de renouvellement ou de modification de LRS sur Lignes classiques et Lignes à Grandes Vitesse.
[17] Daniela Ionescu et al. Ballast degradation and measurement of ballast fouling. In Proceedings of the 7th Railway Engineering Conference, Commonwealth Institute, London,2004