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 APD de double voie pour augmenter la capacité de la ligne ferroviaire minière sur le tronçon Bouchegouf - Oued El Kebarit du PK31+000 au PK44+600 avec la conception de la gare de voyageurs de Taoura

Présenté par :

OUNISSI Fares
LALIOUI Rédha

Encadré par :

Mr HAMADI Kamel

Promotion 2018 /2019

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

ملخص:

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية الرابط بين مدينتي بوشقوف و واد الكبريت .
المقطع المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية 31+000 إلى 44+600 بطول 13.6 كلم مع تهيئة محطة توقف قطارات نقل المسافرين بمدينة التاورة.
صمم المشروع وفقا لمعايير الإتحاد الدولي للسكك الحديدية و توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية و قد أجريت دراسة هذا المشروع بإستخدام برنامج النمذجة الهندسة« CIVIL 3D 2018 » و « AUTOCAD 2015 ».

الكلمات المفتاحية : التصميم التفصيلي, السكك الحديدية, محطة نقل المسافرين.

Abstract:

The present project synthetizes the conception and study of a project in detail, of a railway line that links Bouchegoufe to Oued Kebarit.
The studied section starts from the kilometric point KP 31+000 to KP 44+600, of a distance of 13.6 km, in which a passenger train station is planned in Taoura.
The project was elaborated according to the international norms UIC (International Union of Railways), and the recommendations of the Algerian railway company. Using the geometric design software « CIVIL 3D 2018 », and « AUTOCAD 2015 ».

Keywords : the conception and study, railway, passenger train station.

Résumé :

Le présent projet synthétise la conception et l'étude d'avant-projet détaillé d'une ligne ferroviaire à voie unique reliant deux villes Bouchegoufe et Oued Kebarit.
Le tronçon étudié démarre du PK 31+000 au PK 44+600, sur un linéaire de 13.6 Km, sur lequel on prévoit un aménagement d'une gare de voyageur de la ville de Taoura.
Le projet a été élaboré suivant les normes international 'UIC' (Union International de chemin de fer), et les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire) en utilisant le logiciel de conception géométrique « Civil 3D 2018 », et « AUTOCAD 2015 ».

Mot clé : la conception et l'étude, ligne ferroviaire, gare de voyageurs.

Remerciement

Toute notre gratitude, grâce et remerciement vont à ALLAH le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

On remercie en deuxième lieu nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences pendant toute notre formation.

Nous exprimons notre gratitude à notre encadreur M.HAMADI Kamel

Nous tenons à remercier sincèrement notre collège LAAGAGNA AKRAM, qui nous a aidé, et pour le temps qu'il a bien voulu nous consacrer. Nous tenons à remercier spécialement Mr Saadaoui, Mr Tamin pour son accueil chaleureux, ainsi pour tout le personnel d'INFRAFER.

Nous remercions aussi Mme KHOUAS Zohra, Mlle Hanane,

Mr Hamza, Mr A.Nasser et le personnel de SETIRAIL.

Nous remercions tous les enseignants de l'ENSTP qui nous ont formés durant notre cursus. Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, et qui nous feront le plaisir d'apprécier.

Dédicace

Avant tout, je tiens tout d'abord de remercie الله *de m'avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail ; que je dédie:*

A ma chère mère, A mon cher père, aucune dédicace ne saurait exprimer L'affection et l'amour que j'éprouve envers vous.

Puisse ce travail être une légère récompense de vos soutiens moraux et tous vos sacrifices pour assurer mon bien être et mon éducation. Que dieu vous garde pour nous et vous accorde la santé et le bonheur.

Merci du fond du coeur.

À Mes chers frères: AISSA, HALIM

À Mes chères sœurs

À ma chère fiancée

Aussi à neveux nièces: Assia, Rania, Ahmed, Sohaib, Aymen, Marouane, Maroua, Ziko, Anfal et chahde.

À mon binôme et frère LALIOUI REDHA et toute sa famille

À mes amis : Houssem, Smail, djallal, SAKLA, Faycel, Foued, Ramzi, Saad, Oussama, Rami, Didine, Younes, Boubakeur, Salah, Brahim, Taylor, Nadir, Sid Ali, Baba khoya youcef, Tayeb, Mehdi.

À tous mes proches et tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

À vous…Enfin, à tous ceux qui m'aiment de près et de loin.

MERCI

OUNISSI FARES

Dédicace

Je dédie ce travail à :

En premier lieu à mes chers parents qui ont beaucoup sacrifié pour me permettre de réaliser mes objectifs. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude. A mon père qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes et que je peux toujours atteindre mes objectifs. À ma mère qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation et qui a attendu avec patience les fruits de ses efforts. Que dieu le tout puissant les protègent et les gardes.

Et mes beaux-frères : Brahim et Ismail.

Et ma chère sœur : Rayan.

A toute ma famille : LALIOUI et GUERCHOUCHE.

A mon grand pére 'allah yarahmo', et ma grand-père 'rabi ykhalihalna', à mes tantes, à mon oncle, à mes cousins et mes cousines.

A tous mes amis et mes collègues, et spécialement :
HOUSSEM,AYMEN,OUSSAMA,SAAD,DIDIN,YOUNES,SALAH,HMIMI,YOUVA,YAHIA,MEHDI, AKRAM,REDHA,RAMI NIGRO,HATEM,AZIZE,BOUBAKER,MOUNIR,ZINO,RAMZI et tous ceux qui me connais.

Et à la fin une très grandes dédicace à mon binôme OUNISSI Fares.

LALIOUI Rédha

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de raccordement circulaire	m
Rmin	Rayon minimal	m
Lmin	Longueur minimale de l'alignement droit	m
dmax	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
Imax	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
Emax	Excès de dévers maximal	mm
dv	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition	m
dp	Dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clotoïde	m
A	Paramètre de clotoïde	m
R_{vmin}	Rayon verticale minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers	-
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	-
Rp	Résistance de pointe	-
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
Ic	Indice de consistance	-
γ h	Poids volumique humide	t/m³
γ d	Poids volumique sec	t/m
Sr	Degré de saturation	-
ω	Teneur en eau naturel	-
Rc	Résistance à la compression	Mpa
C'	Cohésion fictive du sol	Kpa
ϕ'	Angle de frottement fictif	°
ES	Equivalent de sable	cm
A	Superficie du bassin versant	ha
Qa	Débit d'apport	m³/s
Qs	Débit de saturation	m³/s
DN	Diamètre nominale	m³/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
I	Intensité de la pluie	mm/h
T	Période de retour de l'averse	ans
Tc	Temps de concentration	h
Sm	Section mouillée	m²
Kst	Coefficient de rugosité	-
Rh	Rayon hydraulique	m
P	Pente moyenne du bassin versant	-

H	Différence entre la cote moyenne et la cote minimale	m
L	Longueur du bassin versant	Km
Qps	Débit a plein section	m^3/s
m	Pente du fossé	-
V	Vitesse d'écoulement	m/s

Abréviation Désignation

APD Avant-Projet Détaillé.
LRS Long Rail Soudé.
BV Bassin versant.
PU puits de reconnaissance.
S sondage carotté.
PD Essai de pénétration dynamique type B.
QSi Classe du sol (UIC).
Pi Classe de la plateforme.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Influence de la pose de voie sur le niveau sonore ambiant……..7
Tableau I.2 Caractéristiques techniques des semelles…….……..…12
Tableau II.1 Les précipitations mensuelles et moyennes annuelles à la station de Souk-Ahras……..……16
Tableau III.1 Longueur minimale des alignements de tracé Lmin en (m)……....19
Tableau III.2 Valeurs limites du dévers Dmax……22
Tableau III.3 Valeurs limites de l'insuffisance du dévers Imax……...22
Tableau III.4 Valeurs limites de l'excès de dévers Emax……23
Tableau III.5 Valeurs limites de variation du divers en fonction du temps (SNTF)……24
Tableau III.6 Limite de variation de l'insuffisance de dévers recommandés (SNTF)…….....24
Tableau III.7 Valeurs limites de la longueur minimales……..27
Tableau III.8 Valeurs limites de rayon du profil en long…….....27
Tableau III.9 Paramètres du projet……...28
Tableau III.10 Caractéristique du notre profil en travers……29
Tableau IV.1 Tableau récapitulatif des puits de reconnaissances…….33
Tableau IV.2 Tableau récapitulatif des sondages carottés……34
Tableau IV.3 Tableau récapitulatif des essais préssiométres……38
Tableau IV.4 Résultats des essais de pénétration dynamique(PDL)……....39
Tableau IV.5 Tableau récapitulatif des résultats de laboratoire – Unité Argile (AR)……..40
Tableau IV.6 Tableau récapitulatif des résultats de laboratoire – Unité Grés (GR)……41
Tableau VI.1 Les sections en remblais……50
Tableau VI.2 Les sections en Déblai……51
Tableau VI.3 Les quantités de déblai et remblai……..52
Tableau VI.4 Classification de la qualité des sols (UIC 719R)……53
Tableau VI.5 La classe de portance de la plateforme (fiche 719R)……..54
TableauVI.6 Catégories pour la granularité norme (Norme NF 13450)……...……55
TableauVI.7 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient d'aplatissement (Norme NF 13450)……....56
TableauVI.8 Catégories pour la teneur en grains fins (Norme EN 13450)……..…56
TableauVI.9 Tableau des épaisseurs de la couche d'assise et la quantité mise en projet……..58
Tableau VII.1 Caractéristiques morpho métriques du bassin versant de l'oued Mellègue…...59
Tableau VII.2 Caractéristiques morpho métriques du sous bassin versant de l'oued Medjerdah……60
Tableau VII.3 Moyenne annuelles et mensuelles des températures à la station de Souk-Ahras……..60
Tableau VII.4 Valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies……..61
Tableau VII.5 La délimitation des bassins versants. ……...…62
Tableau VII.6 Les valeurs de C1. ……...64
Tableau VII.7 Les valeurs de C2. ……...64
Tableau VII.8 Les valeurs de C3. ……...64
Tableau VII.9 valeurs du paramètre « a » selon les fréquences. ……64
TableauVII.10 valeurs du paramètre « b » selon la station. ……64
TableauVII.11 valeurs du coefficient de rugosité. ……..65
TableauVII.12 Conditions d'auto curage. ……...66
TableauVII.13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. ……68
Tableau VIII.1 Les différents ouvrages du notre projet. ……69
Tableau VIII.2 Les caractéristiques des ouvrages d'art. ……70

Tableau VIII.3 Les variantes a choisi. ……70
Tableau VIII.4 Hauteurs des poutres. ……72
Tableau VIII.5 Largeur de table de compression. ……...72
Tableau VIII.6 Hauteurs des poutres ……75
Tableau VIII.7 Les dimensions des poutres. ……...76
Tableau VIII.8 Les différentes épaisseurs de l'hourdis supérieur. ……..79
Tableau VIII.9 Critères d'analyse des variantes. ……80
Tableau IX.1 Les déclivités dans les gares. ……83

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Représentation des mécanismes de génération des différents bruits……..4
Figure I.2 Bruit et Vibrations dus au trafic ferroviaire ……..5
Figure I.3 Représentation générale du problème……6
Figure I.4 Modèle MEF pour la variante avec un mur (Membrane) en terre dans le sens de propagation……....……8
Figure I.5 Modèle MEF pour la variante avec lit isolant de vibration dans le sens de propagation……....…8
Figure I.6 Composante de l'impact des vibrations sur les personnes dans les bâtiments……...……...9
Figure I.7 Représentation du système VIPA DFC……..……..10
Figure I.8 Le système VIPA DFC……11
Figure I.9 Semelles sous traverses……12
Figure II.1 : Position géographique de la Zone d'étude.....14
Figure II.2. Le relief de la région 15
Figure II.3. La variation de la température de la région. 15
Figure II.4 : Localisation du projet en 2D……17
Figure II.5 : Zone de projet en 3D ……...17
Figure III.1 : Les éléments du tracé en plan……19
Figure III.2 : les positions des dévers……...…20
Figure III.3 : Schéma du dévers……21
Figure III.4 : Déclivités maximales admissibles……...26
Figure III.5 : Schéma de raccordement circulaire……..27
Figure III.6 : Profil en travers type (zone courante). ……....30
Figure IV.1 Carte géologique régionale d'Annaba (ANRH 2008)……...31
Figure IV.2 Carte géologique de la région de Taoura à 1/50000……..32
Figure IV.3 Puits de reconnaissance exemple de photo……...33
Figure IV.4 Sondage F-15-B-OK-Caisse n° 1/2, profondeur 0.00 à 7.50m……...35
Figure IV.5 Sondage F-16-B-OK-Caisse n° 1/4, profondeur 0.00 à 5.50 m……...35
Figure IV.6 Sondage F-17-B-OK-Caisse n° 1/4, profondeur 0.00 à 4.50 m……...36
Figue IV.7 Sondage F-18-B-OK-Caisse n° 1/3, profondeur 0.00 à 5.00 m……36
Figure IV.8 Sondage F-19-B-OK-Caisse n° 1/4, profondeur 0.00 à 5.00 m……..37
Figure IV.9 Sondage F-20-B-OK-Caisse n° 1/2, profondeur 0.00 à 5.00 m……..37
Figure IV.10 Sondage F-21-B-OK-Caisse n° 1/2, profondeur 0.00 à 7.50 m……38
Figure IV.11 Courbe préssiométrique de l'essai SP12-SB profondeur de 6 m……39
Figure IV.12 Profil d'essai au pénétromètre dynamique (PDL-07-B)……..40
Figure V.1 : Les constituants de la voie ferrée. ……42
Figure V.2 : Rail à gorge. ……43
Figure V.3 : Rail à double champignon. ……..…..43
Figure V.4 : Rail à Vignole. ……..…43

Figure V.5 Assemblage par éclissage……...44
Figure V.6 Assemblage par soudure ……44
Figure V.7 Travers en bois……45
Figure V.8 Travers Métallique……..46
Figure V.9 Travers en béton monobloc et bi-blocs……..46
Figure V.10 Les Attache de type NABLA. ……..47
Figure V.11 Les Attaches de type E-clip. ……47
Figure V.12 Ballast sur la voie ……47
Figure V.13 Profil du ballast et répartition des charges. ……..47
Figure V.14 un branchement et ces éléments constitutifs……48
Figure V.15 schéma d'une traversée jonction simple. ……48
Figure V.16 schéma de traversée jonction double……....48
FigureVI.1 Structure d'assise avec couche de forme intégrée……....54
FigureVI.2 Structure d'assise avec couche de forme rapportée……55
FigureVI.3 Les différentes couches d'assise……..57
Figure VII.1: Les bassins versants de l'Algérie……59
Figure VII.2 : Les sous bassins versants de l'oued Mellègue. ……60
Figure VII.3: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien. ……....61
Figure VII.4 : fosse trapézoïdale. ……....67
Figure VIII.1 : Coupe transversale d'un pont a poutres précontraintes ……..……71
Figure VIII.2 Coupe transversale de la poutre (à mi- travée, sur appui, sur culée)
pour le viaduc…….……...73
Figure VIII.3 Coupe transversale de la poutre (à mi- travée, sur appui, sur culée)
pour le passage inferieure…….....73
Figure VIII.4 : Tabliers bipoutre et multi poutres. ……...74
Figure VIII.5 : Coupe transversale d'un pont métallique bipoutre. ……..74
Figure VIII.6 Coupe transversale de la poutre (à mi- travée, sur appui, sur culée)
pour le Viaduc…….……..76
Figure VIII.7 Coupe transversale de la poutre pour le passage inferieure……76
Figure VIII.9 Dimensionnement d'un voussoir……77
Figure VIII.10 Coupe transversale d'un voussoir sur pile…….....79
Figure VIII.11 Coupe transversale d'un voussoir sur à la clef……..79
Figure X.1: Garage franc. ……83
Figure X.2: Bordures de quais. ……..84
Figure X.3 : Appareil de voie tg 1/12 500 60E1. ……..86
Figure X.4 : Appareil de voie tg 1/9 190 60E1. ……86
Figure X.5 : Chemin Principale de la gare de Taoura. …….…86
Figure X.6 : Assainissement transversal de la gare. ……..……87
Figure X.7: Assainissement longitudinale de la gare. ……...87

Sommaire

Introduction générale ……1

Chapitre I Impact des vibrations ferroviaire sur l'environnement

I.1. Introduction…….....3

I.2. Facteurs influençant l'amplitude des vibrations…….....3

I.3. Impact des vibrations ferroviaire sur l'environnement…….....4

I.3.1 Bruit et son impact sur l'environnement…….....4

I.3.2. Impact des vibrations ferroviaires sur les bâtiments…….....6

I.4. Les solutions récentes pour réduire le bruit du trafic ferroviaire…….....6

I.5. Les solutions récentes pour réduire les vibrations ferroviaires sur les bâtimen……..…..8

I.6. Autres solutions…….....10

I.6.1. Le système VIPA DFC…….....10

I.6.2. Les semelles sous traverses…….....11

I.7. Conclusion…….....13

Chapitre II Présentation du projet

II.1. Introduction…….....14

II.2. Présentation de wilaya de Souk-Ahras……..……...14

II.2.1. Situation géographique…….....14

II.2.2. Situation démographique…….....15

II.2.3. Le relief…….....15

II.2.4. Le climat…….....15

II.2.5. Infrastructures de base existantes……..16

II.3. Description du projet…….....16

Chapitre III Etude géométrique de la voie

III.1.Introduction…….....18

III.2.Trace en plan…….....18

III.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan……..18

III.2.2. Catégorie de trafic…….....18

Sommaire

III.2.3. Elément du tracé en plan……..…….....19
III.3. Profil en long…….....26
III.3.1. Règle a respecté dans le profil en long……..……26
III.3.2. Les éléments du profil en long…….……...26
III.3.3. Coordination du tracé en plan et du profil en long…….……28
III.3.4. Calcul des paramètres du projet…….…28
III.4. Profil en travers…….…28
III.4.1. Les éléments du profil en travers……...…28
III.4.2. Le profil en travers type…….…29
III.4.3. Les profils en travers affectés au projet…… 29

Chapitre IV Etude géotechnique

IV.1. Introduction…….....30
IV.2. Aperçue géologique…….....30
IV.2.1. Topographie du site…….....30
IV.2.2. Géologie régionale…….....30
IV.2.3. Sismicité…….....31
IV.2.4. Géologie locale…….....32
IV.3. Reconnaissance géotechnique…….....32
IV.3.1. Essais in situ…….....32
IV.3.2. Essais au laboratoire……...40

Chapitre V Superstructure de la voie

V.1.Introduction…….....42
V.2.Composantes de la voie…….....42
V.2.1.Les rails…….....42
V.2.2.Les longs rails soudes…….....45
V.2.3.Les travers…….....45
V.2.4.Les attaches…….....46
V.2.5.Le ballast…….....47
V.2.6.Les appareils de voies…….....48
V.3.Caracteristique et type d'installation pour notre projet……49

Sommaire

Chapitre VI Terrassement et assise de voie

VI.1. Introduction…….....50

VI.2. Section en remblai…….....50

VI.3. Section en déblai…….....51

VI.3.1. Réutilisation des matériaux en remblai……..……51

VI.4. Plate-forme ferroviaire…….....52

VI.4.1. Classification de la plate-forme…….……...52

VI.4.2. Classe de portance de la plate-forme…….…….53

VI.5. Dimensionnement de la couche d'assise…….…..54

VI.5.1. Types de structures d'assise…….…54

VI.5.2. Les constituants de la couche d'assise…….…55

VI.5.3. Calcul de l'épaisseur de la couche d'assise……....57

Chapitre VII Etude hydrologique et assainissement

VII.1. Introduction…….....59

VII.2. Présentation hydrologique de la zone……...59

VII.2.1 présentation générale…….....59

VII.2.2. Le climat…….....60

VII.2.3. Précipitations…….....61

VII.2.4 caractéristiques des bassins versants……...…….…62

VII.3. Etude hydraulique de la zone……..62

VII.3.1. Temps de concentration……..62

VII.3.2. Estimation de débits d'apport (q) ……63

VII.3.3 dimensionnement des ouvrages hydrauliques……...…….64

Chapitre VII Ouvrages d'art

VIII.1. Introduction……..69

VIII.2. Les ouvrages d'art du projet……..……..69

VIII.3. Présentation des ouvrages ferroviaire du projet……...69

VIII.4. Critères de choix du type de l'ouvrage……70

Sommaire

VIII.5. Variante 01: ponts à poutres précontraintes par posttension……..…71
VIII.5.1. Pré dimensionnement de la variante 01……..…71
VIII.6. Variante 02: pont mixte (poutre métallique +dalle en béton arme). ……..…73
VIII.6.1. Pré dimensionnement de la variante 02……..…74
VIII.7. Variante 03: pont voussoirs en béton précontrainte construit par encorbellement (pour le viaduc) …….....77
VIII.7.1. Pré dimensionnement de la variante 03……..78
VIII.8. Analyse des variantes……...80

Chapitre IX Conception de la gare de Taoura

IX.1. Introduction…….....81
IX.2. Types de gares…….....81
IX.3. Etude du plan de masse d'une gare…….81
IX.4. Conditions de conception des gares……81
IX.5. Conception générale d'une gare……..82
IX.5.1. Installations d'une gare à voyageurs……82
IX.5.2. Installations de la base d'une gare de marchandises……82
IX.5.3. Réseau de voie……..82
IX.5.4. Caractéristiques géométriques des gares……..83
IX.5.5 la gare de notre projet…….....85
IX.6. Description du plan des voies et des installations……....85
IX.7. Assainissement de la gare……86
IX.7.1. Assainissement transversale…….....86
IX.7.2. Assainissement longitudinale……...87

Chapitre X Devis quantitatif et estimatif……..88
Conclusion générale……...…….90
Bibliographie
Annexes.

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des années le chemin de fer joue un rôle très important dans le développement socio-économique des nations, car il assure essentiellement un trafic mixte (Voyageurs, Marchandises) d'une part et d'autre part représente un transport de masse d'une grande capacité essentiellement pour les grandes agglomérations à caractère commercial et industriel.

Les veilles lignes ferroviaire nécessitent une modernisation et augmentation de capacité, car ils ne rependent pas aux exigences des normes actualisées et ils sont incapables de supporter l'augmentation du trafic ferroviaire.

Dans ce cadre des enquêtes auprès des opérateurs économiques et des conditions d'exploitation, la ligne ferroviaire minière (Annaba-Tébessa-Djebel Onk) nécessite l'augmentation des fréquences, des hypothèses de croissance des trafics et plus particulièrement marchandises ont était formulées sur le choix d'un couloir dans le sens de la nouvelle géographie, afin de maintenir sa vocation à faire converger des flux considérables de biens et de personnes d'une part et d'autre part à permettre une amélioration de la qualité des transports ainsi qu'une réduction des encombrements sur les routes existantes.

En gardant le même contexte une étude APD a été établie pour la mise en double voie pour augmenter la capacité de la ligne ferroviaire minière qui relie la ville d'Annaba à Djebel Onk sur 338 km. Dans le cadre du présent projet, nous nous sommes intéressés à un tronçon de 13.6 km qui fait partie de la section Souk Ahras-Tébessa (151 km), il débute au PK 31+000 et se termine au PK 44+600 avec une conception de la nouvelle gare de voyageur de Taoura (Souk-Ahras). Afin de procéder à cette étude, on la reparti en dix chapitre :

Chapitre I : Est une recherche bibliographique sur l'impact des vibrations ferroviaires sur l'environnement, dont on a donné les effets de ces vibrations sur l'environnement au voisinage d'une ligne ferroviaire, à la fin de ce chapitre on a cité quelle que recherche et solution technique récentes pour réduire ces vibrations et leur impact.

Chapitre II : Présentation du projet, ce chapitre présenté la wilaya de Souk-Ahras (situation géologique et démographique, relief et le climat),leur infrastructure de base (réseau routier et ferroviaire), et à la fin une description général du projet.

Chapitre III : L'étude géométrique, cette partie permet de désigner les caractéristiques géométriques nécessaires selon les normes spécifiques utilisée pour ce contexte tel qu'UIC (Union international des chemins de fer), SNCF (société nationale des chemins de fer) et SNTF (société national de transport ferroviaire), Dans cette partie on a passé par trois chapitres principaux le tracé en plan, profil en long et profil en travers, en respectant tous les exigences techniques des normes.

Chapitre IV : L'étude géotechnique, cette partie permet d'identifier la composition du sol support et de donner les caractéristiques géotechniques des différentes couches rencontrées, à partir des essais in situ et des essais au laboratoire.

Chapitre V : Superstructure de la voie, ce chapitre donne les définitions du rail et ces types, les différents systèmes de raccordement des rail, la définition des Long Rail Soudés (LRS),les traverses et ces différents types, les attaches, le ballast et on termine par une aperçu sur les appareils de voie.

Chapitre VI : Terrassement et assise de voie s'intéresse aussi à identifier les caractéristiques des matériaux utilisé pour la construction du remblai, les pentes des talus et la couche d'assise.

Chapitre VII : L'étude hydrologique et assainissement, dans cette partie on étudie la pluviométrie de la zone et déterminer les bassins versants pour dimensionné des exutoires a but d'évacuer les eaux de précipitation sur le long de tracé.

Chapitre VII et IX : La conception des ouvrages d'arts et de la gare de Taoura, cette phase consiste à proposer une conception adaptée au site, s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent et on répond au tout besoins.

Chapitre X : Devis quantitatif et estimatif, ce chapitre permet d'avoir une idée générale sur le cout du notre projet.

Enfin, ce mémoire est clôturé par une conclusion générale qui présente l'ensemble des résultats escomptés et les perspectives recommandés.

CHAPITRE MASTER



RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'IMPACT DES VIBRATIONS FERROVIAIRES SUR L'ENVIRONNEMENT

Chapitre I Impact des vibrations ferroviaire sur l'environnement

CHAPITRE I IMPACT DES VIBRATIONS FERROVIAIRE SUR L'ENVIRONNEMENT

I.1. INTRODUCTION

Le trafic ferroviaire induit des sollicitations cycliques et dynamiques sur le véhicule lui-même, sur la voie et l'infrastructure. L'analyse de ces sollicitations et des effets induits (e.g. vibrations, ondes…) est fondamentale pour apprécier leur ampleur et remédier à leurs conséquences éventuelles (tassements, nuisances…).

Dans ce chapitre on s'intéresse aux vibrations qui résultent du trafic ferroviaire, on commence par les sources de ces vibrations, leurs influences et on termine par les solutions les plus récentes de ce phénomène.

I.2. FACTEURS INFLUENÇANTS L'AMPLITUDE DES VIBRATIONS

Le phénomène de vibration provoqué par le trafic ferroviaire peut être décrit comme une propagation d'onde à travers les structures et le sol.

Le mouvement des trains à certains endroits provoque une réaction de l'environnement. Cette réponse dépend de plusieurs facteurs déterminent le niveau de vibration, on cite :

- **État des roues**

La rugosité des roues et les méplats sont la principale cause de vibration des systèmes de trains à roues en acier / à rails en acier.

- **Surface de la piste**

Une piste rugueuse est souvent la cause de problèmes de vibrations. Le maintien d'une piste lisse réduira les niveaux de vibration.

- **Système de support de piste**

Sur les systèmes ferroviaires, le système d'appui aux voies est l'un des principaux éléments permettant de déterminer les niveaux de vibrations transmises au sol. Les niveaux de vibration les plus élevés sont créés par une voie attachée de manière rigide à un sol en béton.

Les niveaux de vibration sont beaucoup plus bas lorsque des systèmes spéciaux de voie de contrôle de vibration tels que des attaches élastiques, des tapis de ballast et des dalles flottantes sont utilisés.

- **La vitesse**

Comme prévu intuitivement, des vitesses plus élevées entraînent des niveaux de vibration plus élevés.

- **Structure de piste**

La règle générale est que plus la structure de la voie est lourde, plus les niveaux de vibration sont faibles.

❖ **Suspension de véhicule**

Si la suspension est rigide dans le sens vertical, les forces de vibration effectives seront plus élevées.

I.3. IMPACT DES VIBRATIONS FERROVIAIRE SUR L'ENVIRONNEMENT

Les chemins de fer sont essentiels aux villes modernes. En tant que voies de transport, elles permettent à un plus grand nombre de personnes de vivre dans des zones concentrées et aident à réduire les embouteillages et la pollution générés par les déplacements sur nos routes.

Cependant, les chemins de fer créent également leurs propres problèmes et peuvent avoir un impact significatif sur ceux qui vivent autour des voies ferrées- ce qui, avec la densité croissante des lignes de train, compte de plus en plus de personnes.

Au-delà de l'irritation du bruit, constitue le problème bien plus important. Des vibrations créées par les trains. Les gens les ressentent et apprendront généralement à les éliminer, mais à long terme, ces vibrations entraîneront des problèmes structurels dans un bâtiment, ce qui peut coûter cher à réparer.

Et, bien que les gens cessent de remarquer qu'ils ressentent ces vibrations, l'effet à long terme sur les niveaux de santé et de confort d'une personne peut être considérable. [6]

I.3.1 Bruit et son impact sur l'environnement

Le bruit à l'émission est influencé par les caractéristiques du matériel roulant et de l'infrastructure ferroviaire et par les circonstances locales, elles-mêmes le résultat de l'exploitation et de la gestion du trafic ferroviaire.

Pour décrire le bruit, il y a lieu de distinguer le « bruit aérien » du « bruit solidien ».

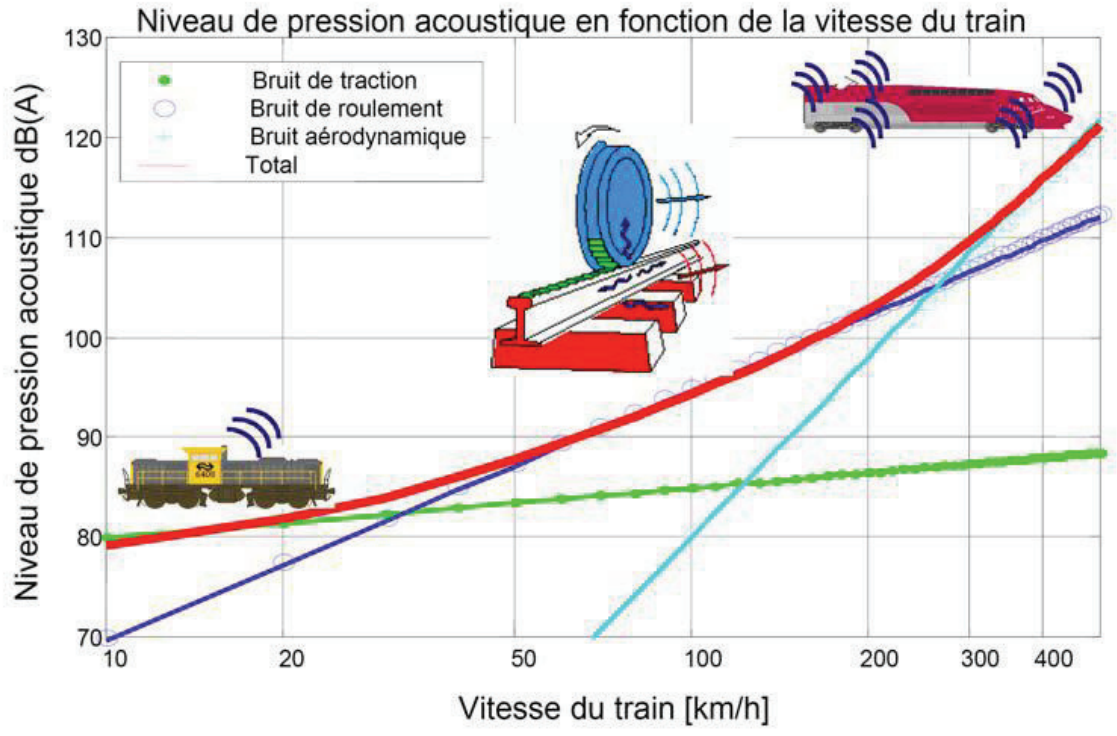


Figure I.1 Représentation des mécanismes de génération des différents bruits

I.3.1.1. Bruit aérien

Le bruit aérien de roulement se transmet dans l'air, il est inhérent au trafic ferroviaire provient :

- ✓ du contact roue / rail.
- ✓ du moteur.
- ✓ des équipements auxiliaires tels que compresseurs, générateurs, ventilation.
- ✓ l'aérodynamisme du train.
- ✓ du rayonnement d'autres structures telles que les ponts métalliques.

La prépondérance d'une de ces sources, par rapport aux autres est fonction de la vitesse.

Lorsque la vitesse est inférieure à 20 km/h, c'est le bruit du moteur et des équipements auxiliaires qui domine. Entre 50 et 150 km/h, c'est le bruit de contact roue / rail qui domine.

Pour des vitesses supérieures à 200 km/h, c'est le bruit aérodynamique qui domine.

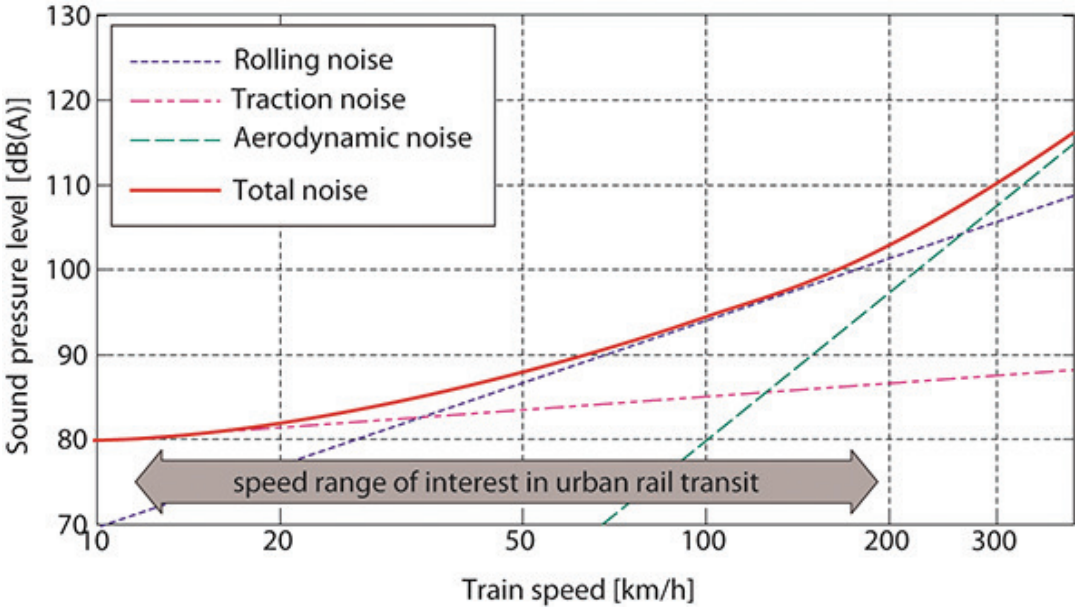


Figure I.2 Bruit et Vibrations dus au trafic ferroviaire [2]

Si la surface des roues et des rails était parfaitement lisse, il n'y aurait pas de bruit de roulement mais il serait extrêmement difficile de freiner et d'accélérer. Cette surface présente des irrégularités (de l'ordre de 1 à quelques dizaines de micromètres) qui, lorsque le train se déplace, sont à l'origine de vibrations de la roue et du rail ce qui produit du bruit aérien. [2]

I.3.1.2. Bruit solidien et vibrations

Le bruit solidien se propage dans les corps solides (sol, bâtiments, …).

Le passage d'un train produit des vibrations au niveau de la voie. Celles-ci sont transmises par le sol aux bâtiments avoisinants dont les parois se mettent en vibrations et, par contact avec l'air ambiant, produisent un bruit solidien. Le bruit solidien n'est dominant par rapport au bruit aérien que dans des cas particuliers, à savoir avec des trains en sous-sol, ou dans des locaux en sous-sol, ou à l'intérieur des bâtiments. Les vibrations proprement dites peuvent constituer une nuisance pour les personnes et peuvent même, à niveau élevé, endommager des constructions. [2]

La transmission des vibrations et leur transformation en bruit solidien dans le local, est un phénomène complexe qui met en jeu plusieurs couplages :

- ✓ Le couplage rail – sol.
- ✓ Le couplage sol – bâtiment.
- ✓ La transmission et la dissipation dans le bâtiment.
- ✓ L'efficacité de rayonnement des parois.

I.3.2. Impact des vibrations ferroviaire sur les bâtiments

Dans le contexte actuel les transports ferroviaires sont une solution au problème posé à l'organisation de nos villes malheureusement ce mode de transport utilise des machines qui génèrent des vibrations significatives dans le sol. Or la densification de nos villes oblige ces infrastructures à être de plus en plus proches de nos habitations.

Ces vibrations se transmettent aux parois des bâtiments proches qui à leur tour génèrent du bruit à l'intérieur des logements.

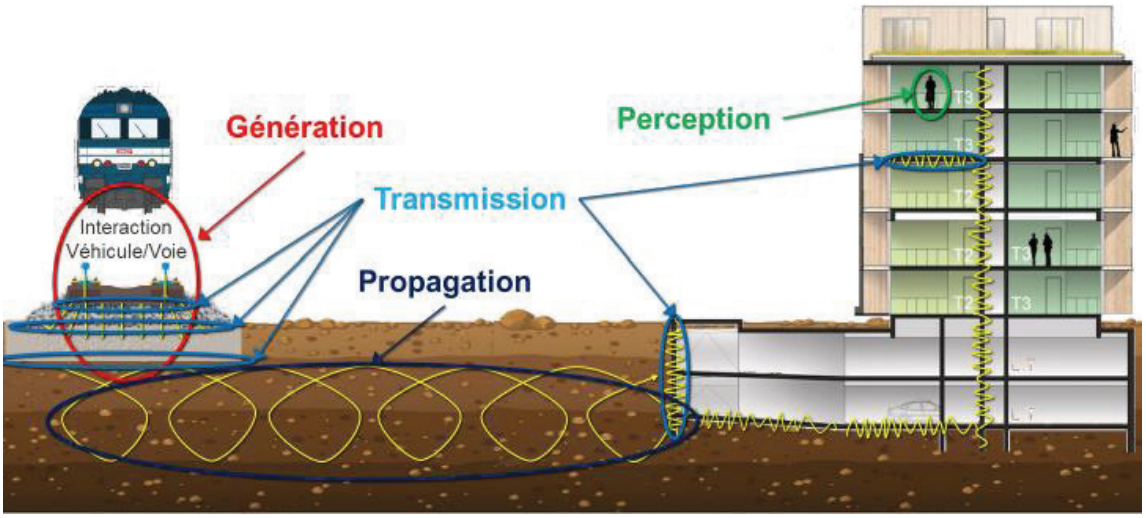


Figure I.3 Représentation générale du problème [1]

Bien que les niveaux vibrations engendrés ne représentent pas de danger pour la structure elle-même, ils peuvent être suffisamment élevés dans les bâtiments pour gêner les habitants.

Ces gènes peuvent fortement impacter la vie des personnes qui y sont quotidiennement exposées. [5]

I.4. LES SOLUTIONS RECENTES POUR REDUIRE LE BRUIT DU TRAFIC FERROVIAIRE

Il existe 3 méthodes pour réduire les émissions de bruit du trafic ferroviaire :

- ✓ diminuer la rugosité des rails et/ou des roues.
- ✓ diminuer la réaction des rails et/ou des roues.
- ✓ diminuer le bruit lié à la motorisation du matériel roulant.

❖ Rugosité

Sur la voie, la rugosité est présente très localement sous la forme d'une usure ondulatoire qui crée une longueur d'onde très caractéristique.

Cette rugosité est meulée pour obtenir une surface plus lisse et ainsi mettre fin au bruit et à d'autres problèmes, mais elle peut réapparaître à court terme. Infrabel mesure l'amplitude de cette usure pour définir les trajets prioritaires de l'engin de meulage des rails.

Le freinage avec des sabots en fonte sur des roues en acier endommage la surface de roulement des roues. En remplaçant les freins à sabots par des freins à disques (éventuellement complétés par d'autres systèmes de freinage tels qu'un frein électrodynamique ou un frein magnétique), les roues restent lisses plus longtemps et le bruit induit par la rugosité caractéristique (et donc, la production de bruit) est réduit d'environ 10 dB(A) même s'il réapparaît plus tard. [2]

❖ Réaction de l'ensemble rail - roue

On pourrait augmenter l'amortissement des roues, mais cette mesure est peu efficace. Une autre mesure à appliquer sur la voiture proprement dite est l'installation d'écrans (appelés jupes) autour des bogies. Cette mesure n'est pas non plus très efficace (réduction sonore de moins de 2 dB(A)).

Au niveau des rails, une réduction sonore peut être obtenue par une pose de rail souple (amortissement des vibrations). Les vibrations, produites par le contact voie - roues, se propagent dans les voies. La vibration de la voie produit un son caractéristique audible avant l'arrivée du train.

Le choix de la pose de voie influence non seulement l'amortissement des vibrations, mais peut aussi augmenter l'absorption sonore dans l'environnement immédiat de la voie (par l'utilisation de ballast).

La technique de rail souple est de plus en plus utilisée par Infrabel car elle augmente également la durée de vie du ballast. Le tableau suivant donne, pour les différents types de pose, un aperçu de l'augmentation du niveau sonore de voie par rapport à la référence « ballast avec traverses en béton », telles que définies par la méthode de calcul nationale des Pays-Bas, « Standaard Reken Methode II » (SRMII) de 1996. La méthode SRMII est recommandée par la directive 2002/49/CE pour l'examen du bruit ferroviaire. [2]

Tableau I.1 Influence de la pose de voie sur le niveau sonore ambiant [2]

Influence de la pose de voie sur le niveau sonore ambiant Source: Standaard rekenmethode II, 1996 (Pays-Bas)	
Type pose de voie	Facteur de correction moyen
ballast, traverses en béton	0 dB(A)
ballast, traverses en bois	+ 1,5 dB(A)
pose directe sur béton, recouvrement par ballast	+ 3,0 dB(A)
ballas t, zone d'aiguillage	+ 3,5 dB(A)
pose directe sur béton, sans ballast	+ 6,0 dB(A)

Une autre solution consiste à limiter le nombre d'axes ou de bogies. Sur le TGV, par exemple, deux caisses sont placées sur un seul bogie. Cette approche reste limitée par la charge maximale imposée par axe et par roue.

- **Les moteurs du matériel roulant**

La Commission européenne œuvre pour un standard d'homologation européen des locomotives. Elle a pris une initiative législative pour limiter le bruit à la source en élaborant des normes de produit pour le nouveau matériel ferroviaire roulant ou le matériel existant si celui-ci est transformé de manière à rendre une nouvelle certification nécessaire (DG Environnement, 2010, p. 447) : « Les Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) du système ferroviaire transeuropéen conventionnel limitent le bruit des locomotives, des automotrices électriques, des autorails diesel, des voitures et des wagons de marchandises.

Des limites acoustiques sont spécifiées pour le bruit à l'arrêt, au démarrage, de roulement et dans la cabine de conduite. Le renouvellement progressif du matériel roulant et de l'infrastructure ferroviaire rendra à terme la circulation des trains plus silencieuse ». [2]

I.5. LES SOLUTIONS RECENTES POUR REDUIRE LES VIBRATIONS FERROVIAIRE SUR LES BATIMENTS

En raison de la difficulté de modifier la source de vibration (type de matériel roulant) et le récepteur (bâtiments), il est nécessaire de modifier les caractéristiques du trajet de propagation des vibrations en changeant la sous-structure sous les traverses.

L'influence des vibrations sur les personnes à l'intérieur du bâtiment a fait nécessité de réduire l'impact du train. Le tableau 3 montre les composants d'impact des vibrations sur les personnes dans les bâtiments sous forme d'amplitude RMS (1/3 octave) à l'horizontale et à la direction verticale pour les cas de calcul considérés. Une solution répondant aux exigences de l'ISO imposait une nécessité d'utilisation un tapis de fondation de 45 mm d'épaisseur, où les courbes de vibrations horizontales et verticales ne dépassent pas les courbe de perception des vibrations de confort. [3]

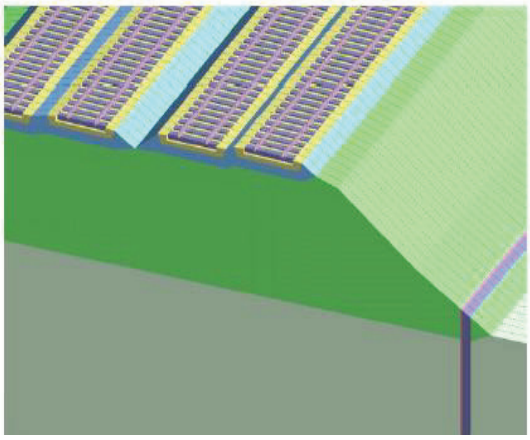


Figure I.4 Modèle MEF pour la variante avec un mur (Membrane) en terre dans le sens de propagation [5]

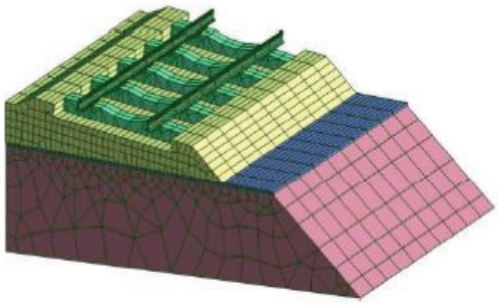


Figure I.5 Modèle MEF pour la variante avec lit isolant de vibration dans le sens de propagation [5]

		HORIZONTAL DIRECTION (X, Y)					VERTICAL DIRECTION - Z				
ferquency		vibration insulating mat th. 45 mm	vibration insulating mat th. 25 mm	Initial state	efficiency mat th. 25 mm	efficiency mat th. 45 mm	vibration insulating mat th. 45 mm	vibration insulating mat th. 25 mm	Initial state	efficiency mat th. 25 mm	efficiency mat th. 45 mm
[Hz]		[m/s²]	[m/s²]	[m/s²]	[%]	[%]	[m/s²]	[m/s²]	[m/s²]	[%]	[%]
1	RMS AMPLITUDE	0,0014	0,0024	0,0024	0%	41%	0,0011	0,0027	0,0027	0%	58%
1,25		0,0011	0,0018	0,0018	4%	38%	0,0030	0,0048	0,0048	0%	39%
1,6		0,0029	0,0044	0,0086	48%	66%	0,0042	0,0124	0,0124	0%	66%
2		0,0072	0,0095	0,0160	40%	55%	0,0057	0,0160	0,0160	0%	65%
2,5		0,0160	0,0223	0,0373	40%	57%	0,0110	0,0319	0,0319	0%	65%
3,15		0,0362	0,0533	0,0995	46%	64%	0,0281	0,0802	0,1213	34%	77%
4		0,0795	0,1288	0,3211	60%	75%	0,0443	0,1163	0,1263	8%	65%
5		0,0841	0,1286	0,3020	57%	72%	0,0610	0,1541	0,1660	7%	63%
6,3		0,2116	0,3499	1,0804	68%	80%	0,1821	0,3786	0,3901	3%	53%
8		0,4790	0,7556	1,6731	55%	71%	0,1592	0,4910	0,5030	2%	68%
10		0,5802	0,9435	2,4258	61%	76%	0,1366	0,6413	0,7230	11%	81%
12,5		0,3842	0,6584	1,5710	58%	76%	0,1304	0,4643	0,5178	10%	75%
16		0,2621	0,4551	1,3106	65%	80%	0,1278	0,1878	0,2736	31%	53%
20		0,1505	0,2345	0,5230	55%	71%	0,1456	0,1640	0,2829	42%	49%
25		0,1075	0,1630	0,3902	58%	72%	0,0854	0,1095	0,1628	33%	48%
31,5		0,0423	0,0573	0,0999	43%	58%	0,0230	0,0256	0,0381	33%	40%
40		0,0266	0,0313	0,0737	58%	64%	0,0085	0,0117	0,0152	23%	44%
50		0,0143	0,0173	0,0341	49%	58%	0,0023	0,0035	0,0035	0%	34%
63		0,0025	0,0031	0,0068	54%	63%	0,0003	0,0007	0,0010	27%	72%
80		0,0003	0,0005	0,0015	69%	77%	0,0001	0,0002	0,0003	21%	68%
100		0,0001	0,0001	0,0002	55%	72%	0,0000	0,0000	0,0000	0%	55%
GLOBAL AMPLITUDE		4,09	9,13	17,33	**47%**	**76%**	4,04	5,60	13,03	**57%**	**69%**

Figure I.6 Composante de l'impact des vibrations sur les personnes dans les bâtiments [3]

Cependant, il convient de noter que la mise en œuvre de tapis isolants a provoqué un désaccord de la réponse de la structure vers les fréquences plus basses. En conséquence, la fréquence de réponse dominante du bâtiment dans les deux sens (horizontal et vertical) était de 16Hz et après utilisation du mât de 10Hz. En réponse à la structure analysée, les vibrations à basse fréquence (jusqu'à 3 Hz) ont également augmenté de manière significative.

Il peut s'avérer que réduire la rigidité du trajet de propagation réduira effectivement l'amplitude maximale de l'excitation de la structure, mais le phénomène qui l'accompagne - augmenter l'amplitude des composants basse fréquence entraînera une dégradation du confort des personnes dans le bâtiment occupé.

Le choix approprié des paramètres de matériau pouvant être utilisés lors de la construction du mur antivibratoire doit être précédé d'une analyse appropriée. Entre autres choses, il convient de prendre en compte la nature du chemin des propagations initiales et les caractéristiques dynamiques du bâtiment récepteur. [3]

I.6. AUTRES SOLUTIONS

I.6.1. Le système VIPA DFC

Le système VIPA DFC de Pandrol a été optimisé pour une utilisation sur blocs, traverses ou dalle béton. Il s'agit d'une solution économique et performante destinée aux voies où une atténuation du bruit et des vibrations est requise.

Ce système a été conçu pour une installation sur voie sans ballast. Les ingénieurs ont ainsi conçu un système économique s'associant à la technologie de voie avec traverses en béton qui permet de transférer les charges latérales aux éléments préfabriqués. [4]

I.6.1.1 Présentation du système

Système à deux étages souples

- ✓ Semelle sous rail + semelle sous seıle.
- ✓ Selle en fonte.
- ✓ Permet des raideurs basses sans déplacements latéraux trop important du rail.
- ✓ Système de fixation du rail « classique». [1]

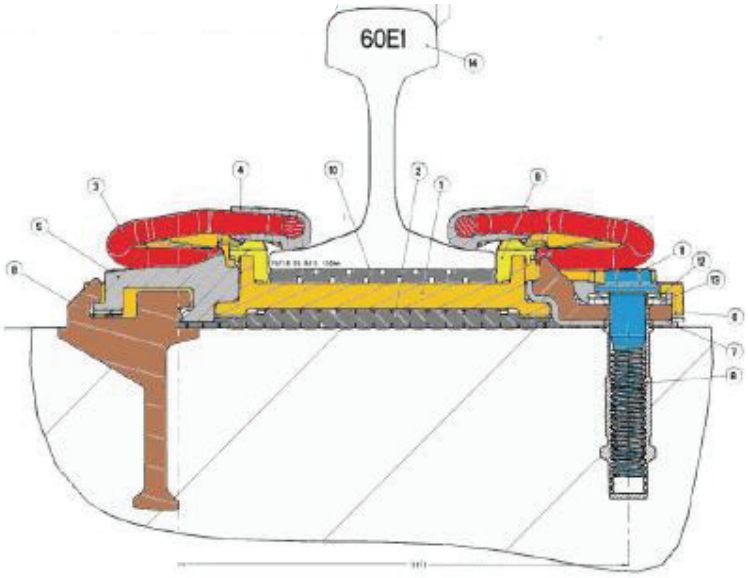


Figure I.7 Représentation du système VIPA DFC [1]

I.6.1.2. Caractéristiques techniques

- ✓ Conçu pour une utilisation sur dalles où une rigidité verticale statique typique de 20-25 kN/mm est requise pour les voies de train léger, les métros, les lignes à grande vitesse et autres voies non ballastées.
- ✓ La gamme de produits VIPA de Pandrol utilise deux couches élastiques pour la diminution des vibrations, une couche sous la selle et la seconde sous le rail.

- ✓ Ses deux couches élastiques offrent de plus deux niveaux d'isolation électrique, le rail étant isolé de la selle et la selle étant isolée de la dalle ou de la traverse.
- ✓ L'interaction voie/structure est possible grâce aux modèles à faible charge sur la base du rail et à rail libre. [4]

I.6.1.2. Avantages

- ✓ La selle VIPA DFC a été conçue pour une installation sur voie sans ballast. Les ingénieurs ont ainsi conçu un système économique s'associant à la technologie de voie avec traverses en béton qui permet de transférer les charges latérales aux éléments préfabriqués.
- ✓ Le système est composé d'une selle réglable à pose indirecte idéale pour une pose sur traverses, blocs ou dalles béton mais pouvant également être utilisée pour la méthode du coulage post-installation.
- ✓ La fixation Fastclip de Pandrol accepte les fortes contraintes et est d'un entretien facile grâce à l'optimisation des engins de mise en œuvre mécaniques pour l'insertion et le retrait. [4]



Figure I.8 Le système VIPA DFC [3]

I.6.2. Les semelles sous traverses

Les semelles sous traverses (USP) sont des systèmes robustes, fabriqués sur mesure destinés à réduire les besoins en entretien des voies et à permettre une atténuation des vibrations par le biais de la fixation d'éléments élastiques sous les traverses.

Ces semelles sont conçues pour être fixées lors de la production des traverses par la technologie de liaison par microfilaments (MFF) de Pandrol. [4]

I.6.2.1. Caractéristiques techniques

- ✓ Produit élastique fixé sur la face inférieure de la traverse.
- ✓ La technique de liaison par microfilaments est utilisée pour fixer les semelles Pandrol au béton frais lors de la production de celles-ci et est compatible avec tous les types de traverses.

- ✓ Les semelles peuvent également être collées aux traverses après la production à l'aide d'un agent adhésif.
- ✓ Adaptées à toutes les traverses en béton mono ou bi-blocs ou en bois. [4]

Tableau I.2 Caractéristiques techniques des semelles [3]

Gamme d'épaisseur d'élastomère	**7 à 20 mm**
Épaisseur de la liaison par microfilaments (MFF)	0,7 mm
Gamme de densité	710 à 1200 kg/m2
Géométrie	Plates
Gamme de module de fondation statique	0,08 à 0,25 N/mm2 selon DIN45673-6
Gamme de modules de fondation dynamique (10 Hz)	0,08 à 0,32 N/mm2 selon DIN45673-6
Résistance à l'arrachement	>0,5 MPa selon DIN45673-6



Figure I.9 Semelles sous traverses [3]

I.6.2.1. Avantages

- ✓ Améliore la qualité des voies grâce à la réduction des contraintes sur tous les éléments ainsi que sur la sous-structure du fait d'une meilleure répartition des charges tant dans le sens longitudinal que transversal.

- ✓ Conçues pour réduire les coûts sur le cycle de vie de la voie en allongeant la durée de service des éléments de la voie, en réduisant le phénomène d'ondulation, l'épaisseur de ballast nécessaire et la fréquence des travaux de bourrage.

- ✓ Capable de réduire les vibrations de 15 dB(v) et de réduire indirectement le bruit de 1 dB(A) par rapport à une voie neuve.

- ✓ Atténuation des nuisances et du compactage du ballast dû à la pénétration de sable apporté par le vent. [4]

I.7. CONCLUSION

Beaucoup de recherches ont été réalisées afin d'améliorer la vitesse des trains avec des voies qui sont dimensionnées pour pouvoir supporter des vitesses de véhicules qui sont de plus en plus élevées. Cependant, plus la vitesse des véhicules est élevée, plus le mouvement dynamique du rail et de l'infrastructure est important.

Ce chapitre synthétisé les différents impacts des vibrations ferroviaires induit par le trafic à grande vitesse sur les bâtiments, l'être humaine et les ouvrages.

BIBLIOGRAPHIE

[1] BALDRIK Faure, VIBRATIONS FERROVIAIRES, Assises nationales de la qualite de l'environnement, page 9, 27 novembre 2017.

[2] FAUVILLE Benoit, SIMONS Jean-Laurent, bruit et vibrations dus au trafic ferroviaire, bruxelles environnement, 29, pages 1-7, mars 2018.

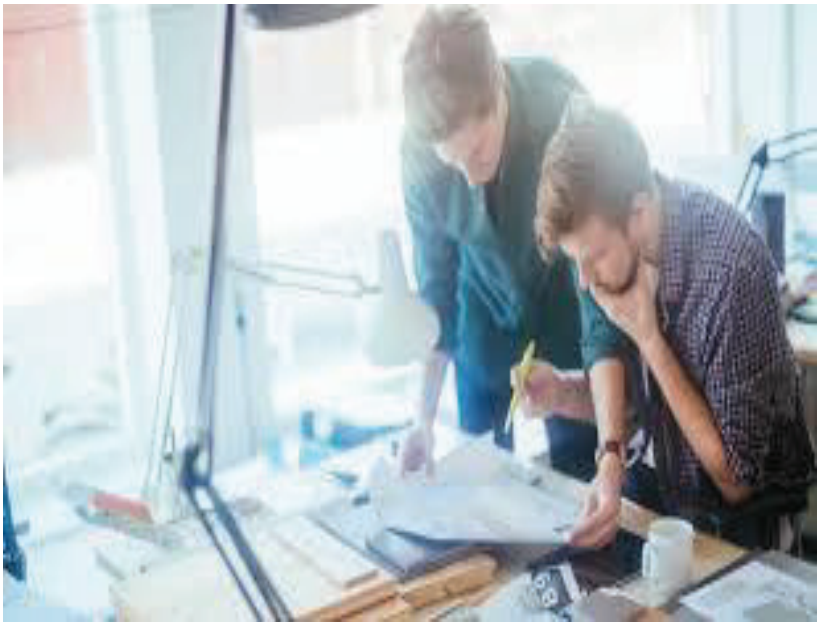
[3] https://www.pandrol.com/fr/, 12/06/2019.

[4] KERRI Samir, Comportement des effets vibratoires du trafic ferroviaire sur l'environnement, mémoire de Master sous l'encadrement de madame KHOUAS, ENSTP, page 41, 2017.

[5] KOZIOL Krzystof, Effect of different solutions of damping railway vibrations on their sensibility by man, procedia engineering, pages 6-7, December 2016.

[6] PROJEX, the Impact of Railway vibrations and how can it be reduced, September 12th, 2016.

PROJET DE FIN D'ETUDE



Chapitre II Présentation du Projet

CHAPITRE II PRESENTATION DU PROJET

II.1. INTRODUCTION

Le Chemin de fer assure essentiellement un trafic mixte (Voyageurs, Marchandises) et représente un transport de masse d'une grande capacité essentiellement pour les grandes agglomérations à caractère commercial et industriel.

Etant donné que le Rail a toujours tenu un rôle important dans le développement et l'évolution du contexte socio-économique de la région et pour alléger la ligne minière ferroviaire (Annaba – Souk-Ahras – Tebessa – Djebel–Onk) des contraintes suscitées et de permettre à la SNTF de répondre aux besoins actuels de transport du minerai de fer et du phosphate à court et à long terme, l'ANESRIF restructure le réseau ferroviaire national dont la modernisation de la ligne minière ferroviaire et ses interconnexions.

Le développement de cette ligne intègre la modernisation des installations et rectification de tracé Mixte Electrifiée sur 3 lots, pour augmenter la vitesse à 120 Km/h pour les trains voyageurs et 80km /h pour les trains marchandises sur le lot 1 et le lot 3 d'une longueur de 234 Km environ, et pour augmenter la vitesse à 160 Km/h pour les trains voyageurs et 100km /h pour les trains marchandises sur le lot 2 destinée à acheminer et desservir les Wilayas de Guelma et Souk-Ahras avec une longueur de 151 Km.

Le thème de ce projet de fin d'étude consiste à faire l'étude d'avant-projet détaillé (APD) d'une section de la double voie électrifiée sur le lot 2 entre la ville de Taoura et la ville de Dréa dans la Wilaya de Souk-Ahras, avec la conception d'une gare à Taoura.

II.2. PRESENTATION DE WILAYA DE SOUK-AHRAS

II.2.1. Situation géographique

La wilaya de Souk-Ahras se situe à l'extrême Est du pays, près de la frontière tunisienne sur une bande de 88 km et à 640 Kilomètres d'Alger dont la superficie est de 4 360 Km².



Figure II.1 Position géographique de la Zone d'étude

II.2.2. Situation démographique

La population totale de la wilaya est estimée à 446 012 habitants, soit une densité de 97 hab/km²

II.2.3. Le relief

La Wilaya de Souk-Ahras présente un relief accidenté avec une altitude moyenne de **1000**m au Nord et **650** m au Sud. Deux ensembles de relief non homogènes déterminent la configuration géomorphologique de la Wilaya :
Nord : montagneux et forestier composé de **12** Communes d'une superficie de **1.879,58** Km^2.
Sud : constitué de hautes plaines et de pâturage englobant **14** Communes sur une superficie de **2 480,07** Km^2.

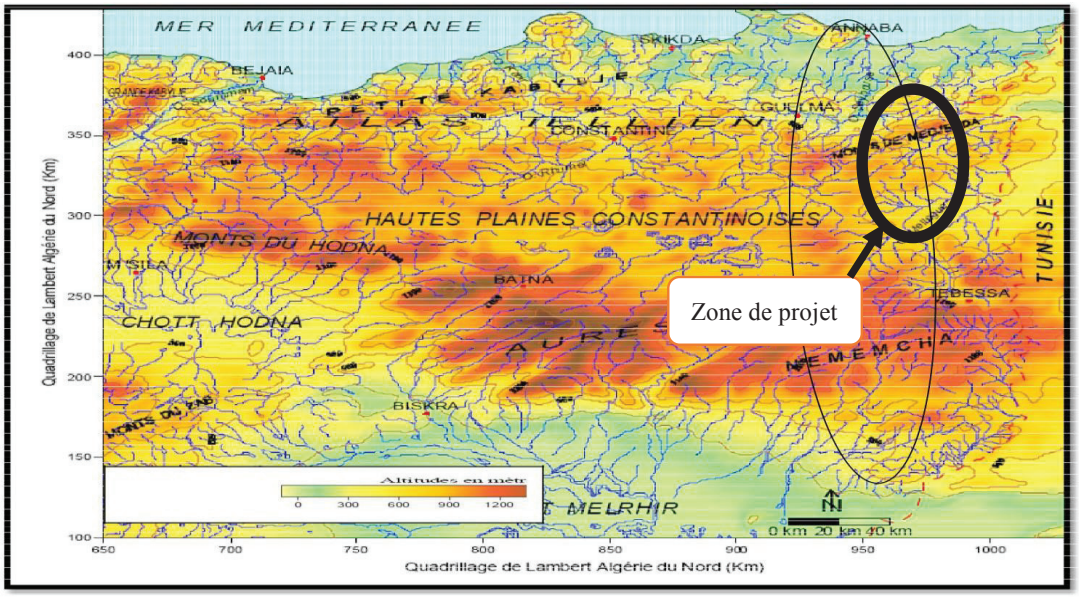


Figure II.2 Le relief de la région [10]

II.2.4. Le climat

La Wilaya de Souk-Ahras est située sur les hauteurs de l'Atlas tellien, elle est exposée aux influences climatologiques méditerranéennes d'une part, et désertiques d'autre part.

❖ **Température**

Cette Wilaya est caractérisée par :

- ✓ été chaud et sec de 20° à 24 ° C en Juillet et Août.
- ✓ hiver froid et humide de 5° à 10° C en Janvier et février.

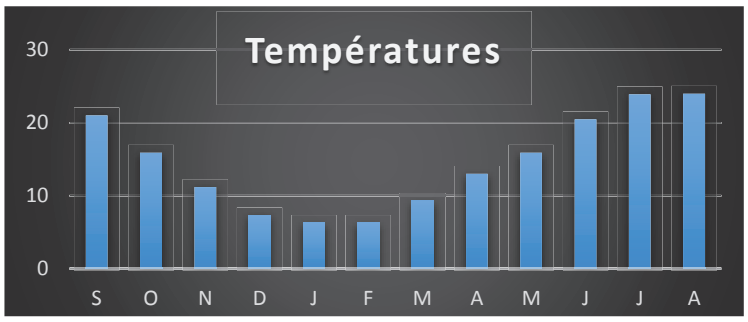


Figure II.3 La variation de la température de la région

❖ **Précipitation**

La répartition des précipitations moyennes à la station de Souk-Ahras, montre que les mois les plus pluvieux sont : le mois de décembre avec une pluviométrie de 107 mm et le mois de janvier avec une précipitation de 108 mm. Les mois de Juillet et d'Août avec respectivement des précipitations 7 mm et 11 mm enregistrent les valeurs les plus faibles de l'année.

Les précipitations varient de 101 mm entre le plus sec et le plus humide des mois.

Tableau II.1 Les précipitations mensuelles et moyennes annuelles à la station de Souk-Ahras [11]

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitations (mm)	108	104	91	67	55	21	7	11	37	52	75	107

❖ **Gelée**

La moyenne de la gelée est de 23 jours/an au Nord et 47 jours/an au Sud.

En relève un certain nombre de jours de gelée (blanche) qui augmente du littoral vers l'intérieur.

❖ **Vent**

Les vents dominants sont du Nord-Ouest et le Sirocco du Sud-ouest environ 20 jours/an.

II.2.5. Infrastructures de base existantes

❖ **Réseau routier**

La Wilaya est dotée d'un important réseau routier, il constitue un axe stratégique et un carrefour entre les Wilayas de l'Est. Ce réseau est composé de **:**

- ✓ Routes nationales **452,897 Km**.
- ✓ Chemins de Wilaya **202** Km.
- ✓ Chemins communaux **1 696,2** Km).

❖ **Réseau Ferroviaire**

Le réseau ferroviaire de la Wilaya s'étale sur l'axe :

- ✓ Annaba, Souk-Ahras, Tébessa, Djebel Onk sur une longueur de 138,8 Km dont 93 Km de ce réseau est électrifié.
- ✓ Souk-Ahras, Ghardimaou (TUNISIE) sur une longueur de 114 Km à sens unique et 12 Km à double sens.

II.3. DESCRIPTION DU PROJET

Le présent projet est un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire de Bouchegouf à Oued-Kebarit et précisément du **PK 31+000** à **PK 44+600.** Il est localisé entre la ville de Taoura et la ville de Dréa, comportant :

- ✓ 2 ponts ferroviaires.
- ✓ Une gare de voyageurs.

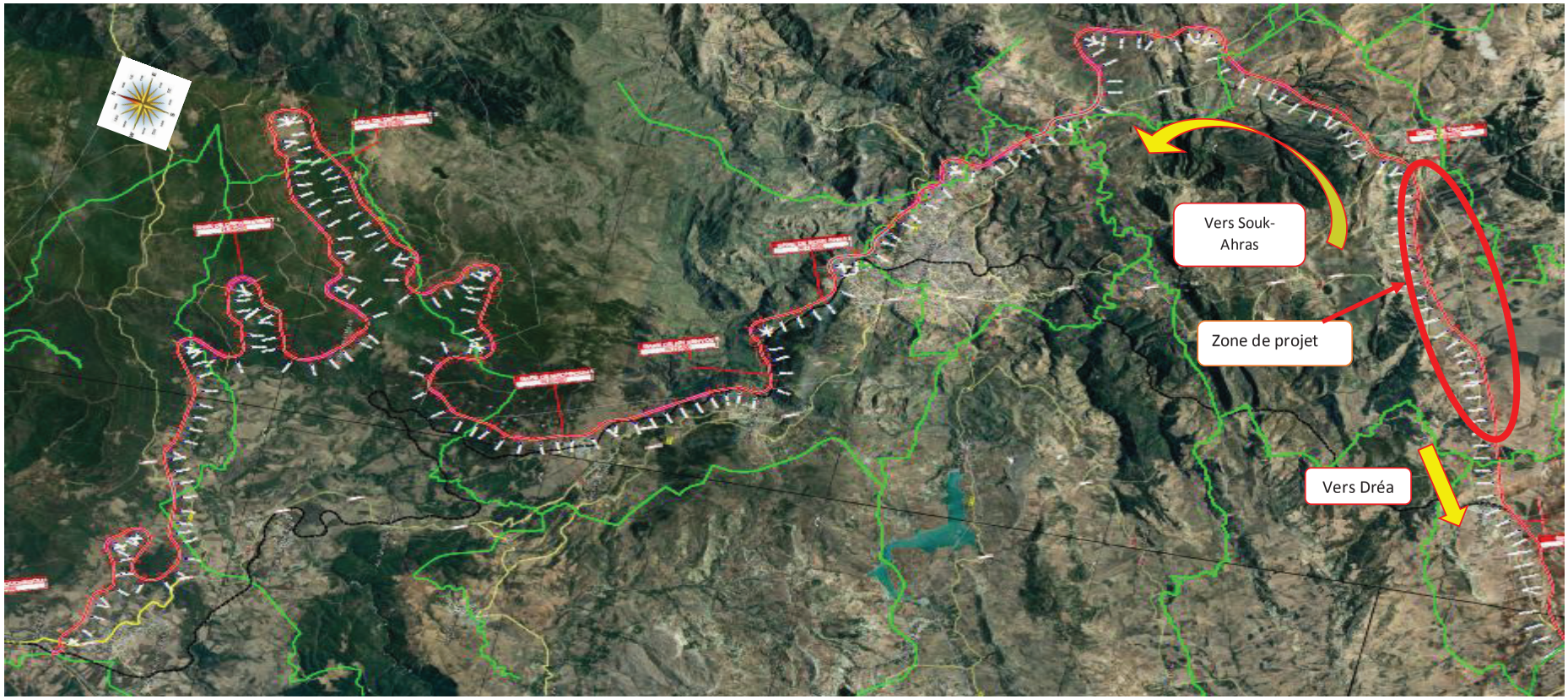


Figure II.4 Localisation du projet [10]



Figure II.5 Zone de projet

Chapitre III Etude géométrique de la voie

ETUDE GEOMETRIQUE DE LA VOIE

III.1.INTRODUCTION

La surface de roulement de la voie est une conception de l'espace, définie géométriquement par trois groupes d'éléments qui sont :

- ✓ L'Axe en plan du tracé.
- ✓ Profil en long du tracé.
- ✓ Profil en travers du tracé.

Pour concevoir le tracé d'une ligne ferroviaire, il faudra prendre en compte les enjeux des territoires desservis et respecte les contraintes de la vitesse ferroviaire (ligne à grande vitesse voyageurs ou ligne mixte voyageurs/fret) liées aux performances et services assignés au projet.

III.2.TRACE EN PLAN

Le tracé en plan représente la projection verticale sur un plan horizontal de la voie ferrée dans l'espace. Ce plan horizontal est en général une carte topographique d'échelle de 1/1000.

Dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques :

- ✓ V_R : vitesse des trains rapides des voyageurs.
- ✓ V_L : vitesse des trains lents des marchandises.

NB : Pour notre projet V_R= 160Km/h et V_L= 100Km/h.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de sécurité.

III.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan

Pour faire un tracé technico-économique, il est recommandé de respecter les règles suivantes :

- ✓ L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- ✓ Eviter de passer sur les terrains agricoles et les zones forestières.
- ✓ Essayer de réduire les portés des ouvrages d'art au niveau des Oueds en les traversant sur un plan perpendiculaires.
- ✓ Eviter le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz, des transformateurs électriques.
- ✓ Essayer d'utiliser le maximum d'alignement droit et respecter la longueur minimale.

III.2.2. Catégorie de trafic

On distingue les catégories de trafic suivantes :

I lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs de 80 km/h à 120 km/h maximum.
II lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 120 km/h et jusqu'à 200 km/h maximum.
III lignes à trafic mixte, conçu pour une vitesse des trains de voyageurs supérieures à 200 km/h et jusqu'à 300 km/h maximum.

IV lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures jusqu'à 230 km/h (ou 250 km/h sur ligne aménagées) avec des véhicules présentant des caractéristiques technique spéciales de conception (faible masse par essieu, faible coefficient de souplesse, etc.).
V lignes spécialement dédiées aux trafics voyageurs avec des vitesses comprises entre 250 km/h et 300 km/h.

Dans le cadre de ce projet, la vitesse de référence est celle des trains de voyageurs (V=160 km/h), donc la catégorie du trafic est : **catégorie II.**

IV.2.3. Elément du tracé en plan

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : Une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement.

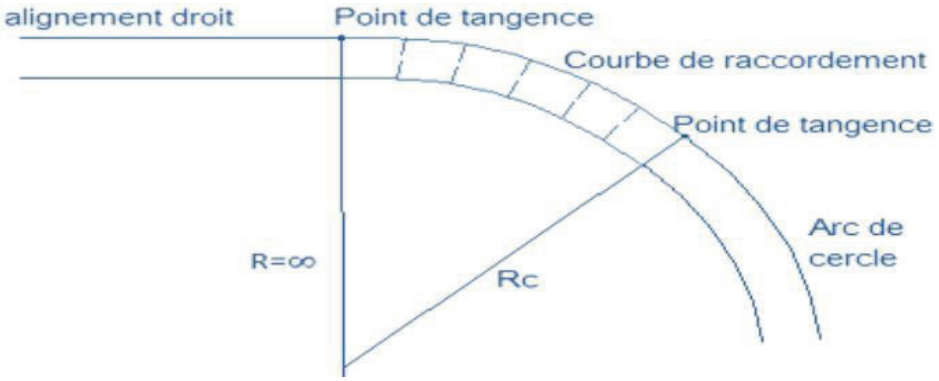


Figure III. 1 Les éléments du tracé en plan

III.2.3.1. Alignement (R=∞)

La conception d'une voie ferrée avec un maximum d'alignements droits offre un meilleur confort aux usagers ainsi qu'à leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan.

Les longueurs minimales des alignements doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après (la vitesse V est exprimée en km/h) :

Tableau III.1 Longueur minimale des alignements Lmin en (m) selon référentiel technique de SNTF

Valeur limite normale	**$V_R/2$**
Valeur limite exceptionnelle	$V_R/3$

III.2.3.2. L'Arc de cercle (R=constant)

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourir au raccordement circulaire ou le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

Dans certains cas, on ne peut pas faire des grands rayons, on est obligé d'utiliser des rayons plus ou moins faibles mais qui correspondent à la vitesse de circulation des trains dans les courbes.

❖ Le rayon minimal

Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, avec l'insuffisance de dévers maximum **I**, il est déterminé à l'aide de l'équation suivante :[15]

$$R_{min}=\frac{11.8*V^2max}{Imax+Dmax}\ (m)$$

D max : Dévers maximum en mm.

I max : Insuffisance de dévers maximum en mm.

V max : Vitesse de train rapide en Km/h.

❖ La tangente

En chacun de ses points le cercle admet une tangente. La tangente en un point M est la droite passant par M et perpendiculaire au rayon issu de M.

❖ La développée

En géométrie, la développée d'une courbe plane est le lieu de ses centres de courbure.

On peut aussi la décrire comme l'enveloppe de la famille des droites normales à la courbe.

❖ Le dévers

Le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. Une courbe est posée en devers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur a la courbe) est surélevée par rapport à la file petit rayon (rail intérieur a la courbe) et en contre- dévers lorsque la file de petit rayon est surélevée par rapport à l'autre.

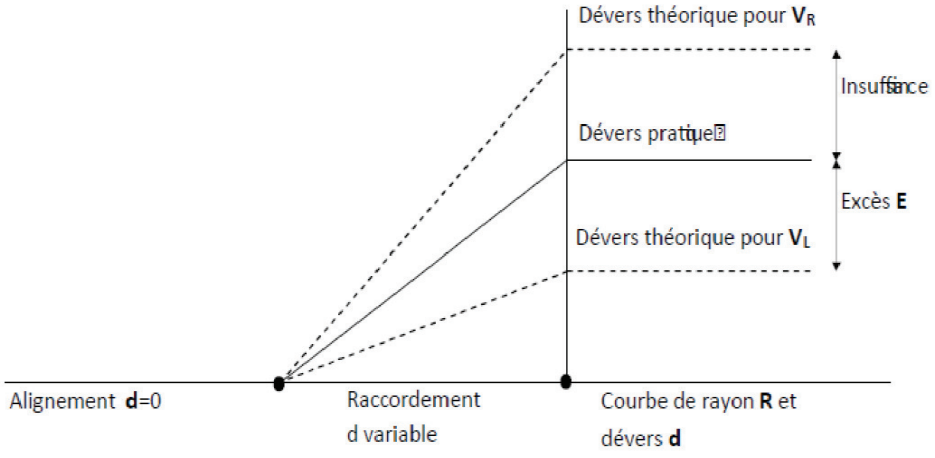


Figure III.2 les positions des dévers

❖ Le dévers théorique

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est telle que la résultante du poids du véhicule et de la force centrifuge est perpendiculaire au plan de roulement,

l'action de l'accélération transversale est entièrement compensée. Pour obtenir ces conditions, il est nécessaire de surélever la file du rail de grand rayon par rapport au niveau de l'autre .d'une valeur appropriée. Cette valeur est appelée devers d'équilibre.il est exprimé en mm.

Dans une courbe de rayon R la force centrifuge vaut : $F=MV^2/R$.

$\boldsymbol{tg\ (\alpha)=F/P=V^2/Rg}$
On a: d = 2e. sinα (α est trop petit donc : sinα ~ α).
$\Rightarrow d=2e.tg\alpha=e.V^2/Rg$
On aura :

$$\boldsymbol{dth=11.8.V^2/R}\ (mm)$$

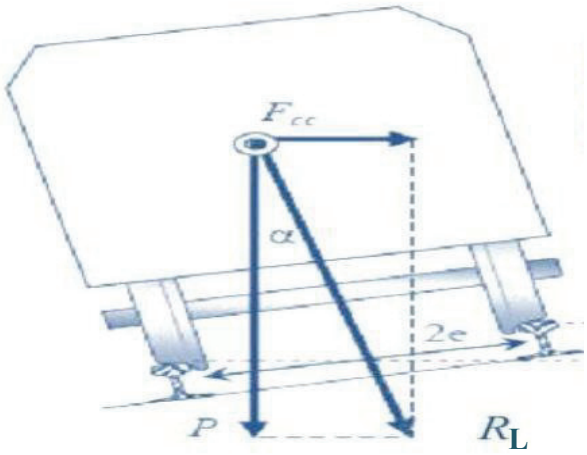


Figure III.3 Schéma du dévers

Avec :

Fcc: force centrifuge.
P: poids de véhicule.
R_L: Résultante.
R : Rayon en m.

❖ **Dévers pratique (prescrit)**

Le choix du dévers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret.

Ce dévers est Calculé suivant la formule :

$$\mathbf{dp=1000} * \frac{\mathbf{C}}{\mathbf{R}}\ (mm)$$

Avec **C** : Le coefficient du dévers.

Les valeurs limites du dévers pratique, en voie principale et en voie de circulation sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.2 Valeurs limites du dévers Dmax selon référentiel technique de SNTF

Valeur recommandée [mm]	160
Valeur maximale [mm]	180

❖ **Le coefficient du dévers**

Le coefficient de devers exprime la proportionnalité entre le devers prescrit et la courbure.

A la création d'une ligne, le respect d'un coefficient de devers commun à toutes les courbes conduit à avoir un rapport constant entre courbure et insuffisance de devers. La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort.

Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{C=0.006} * \boldsymbol{V^2}$$

❖ **Insuffisance de dévers**

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit. Ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le devers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de divers (exprimée en mm) la différence entre le devers d'équilibre et le devers prescrit.

$$\mathbf{I=11.8} * \frac{\boldsymbol{V2}}{\boldsymbol{R}} - \boldsymbol{dp}\ (\text{mm})$$

Les valeurs limites de l'insuffisance de dévers pour les trains rapides, en voie principale et en voie de circulation sont indiquées dans le tableau ci-dessous

Tableau III.3 Valeurs limites de l'insuffisance du dévers Imax selon référentiel technique de SNTF

	Paramètres	**Insuffisance de dévers [mm]**
Valeurs Maximales (catégorie II)	Normal	150
	Exceptionnel	160

❖ **Excès de dévers**

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au devers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le devers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de devers (exprime en mm) la différence entre le dévers prescrit et le devers d'équilibre.

Cet excès de dévers est calculé comme suit :

$$\mathbf{E=dp-11.8} * \frac{\boldsymbol{V^2\,min}}{\boldsymbol{R}}\ (\text{mm})$$

On limite L'excès de dévers pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes causées Par les trains de marchandises qui ont des masses par essieu plus élevées.

Tableau III.4 Valeurs limites de l'excès de dévers Emax selon référentiel technique de SNTF

	Paramètres	Excès de dévers [mm]
Valeurs Maximales (catégorie II)	Normal	110
	Exceptionnel	130

III.2.3.3.La Courbe de Raccordement Progressif (CRP)

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort du voyageur que pour le transport des marchandises et pour l'inscription des véhicules en voie.

Cette variation progressive de la courbure sur une certaine distance, permet en outre de faire varier progressivement le dévers depuis sa valeur nulle en alignement à la valeur « dp » prescrite pour la courbe considérée, ainsi que l'insuffisance correspondante.

Les propriétés de ce raccordement doivent donc :

- ✓ Assurer une courbure progressive entre l'alignement et l'arc de cercle.
- ✓ Etre tangent à l'alignement et à l'arc de cercle.
- ✓ Avoir au point de tangence à l'alignement une courbure nulle (R=∞).
- ✓ Avoir au point de tangence à l'arc de cercle le même rayon R que lui.

❖ **Géométrie de la courbe de raccordement**

Les courbes de raccordement de la voie en plan doivent être conçues pour limiter la variation de l'accélération transversale non compensée, afin de répondre à des exigences de confort. Ces courbes de raccordement de la voie en plan peuvent être réalisées de différentes manières.

La courbe la plus utilisée aujourd'hui est la clothoïde.

Les clothoïdes sont des courbes homothétiques, c'est-à-dire géométriquement semblables entre elles, le paramètre de la clothoïde étant le rapport d'homothétie ou facteur de similitude.

Les angles et les rapports sont donc des invariants. On utilise ce type de raccordement afin de :

- ✓ Introduire progressivement le devers.
- ✓ Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant.
- ✓ Respecter les conditions du confort et de sécurité.

❖ **Gauchissement et variation du dévers**

✓ **Variation en fonction du temps (Δd/Δt)**

Une limite de la variation de dévers (dd/dt) dans les courbes de translation est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules ne nuise pas à leur stabilité.

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d * V\,max}{3.6 * L}$$

Tableau III.5 Valeurs limites de variation du divers en fonction du temps selon référentiel technique de SNTF

Valeur	Variation du dévers en fonction du temps[mm/s]
Normal	50
Exceptionnel	60

✓ **Variation en fonction de la longueur (Δd/Δl)**

Taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur. La formule qui nous donne cette variation est :

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{3.6 * \Delta d}{Vmax * \Delta t} = \frac{dp}{L}$$

Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Valeurs limite normal $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{180}{V}$

Valeur limite exceptionnelle $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{216}{V}$

✓ **Variation d'insuffisance de dévers**

Pour les éléments de transition avec variations uniformes de la courbure et du dévers, on peut établir la relation suivante, où Δl est la variation totale d'insuffisance de dévers :

$$\frac{dl}{dt} = \frac{I * Vmax}{3.6 * L}$$

Tableau III.6 Limite de variation de l'insuffisance de dévers recommandés selon référentiel technique de SNTF

Valeur	Variation de l'insuffisance de dévers [mm/s]
Normal	75
Maximal	90

❖ **Longueur de la clothoïde**

La longueur de la clothoïde doit être déterminée à partir des valeurs limites imposées par les paramètres suivants :

- ✓ Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps ΔI/Δt.
- ✓ Variation de dévers en fonction de la longueur Δd/Δl.
- ✓ Variation de dévers en fonction du temps Δd/Δt.

A l'aide des formules suivantes :

✓ $L \geq \frac{I.V}{3.6\,(\frac{\Delta l}{\Delta t})}$ **(m)**

- ✓ $\mathbf{L \geq \frac{dp}{(\frac{\Delta d}{\Delta l})}}$ **(m)**
- ✓ $\boldsymbol{L \geq dp.\frac{V}{3.6\,(\frac{\Delta d}{\Delta t})}}$ **(m)**

Dans le cadre de notre projet on a utilisé 4 rayons de 1500 et un rayon de 4000 et un rayon de 7000, le calcul qui suit se fait pour une vitesse maximale de 160Km/h et une vitesse minimale de 100Km/h.

Tableau III.7 Les valeurs calculées pour notre projet

Rayon (m)	1500	4000	7000
Le coefficient de dévers	153.6	153.6	153.6
Le dévers pratique	102.4	38.4	21.94
Le dévers théorique (mm)	201.38	75.52	43.15
L'insuffisance de dévers (mm)	98.98	37.12	21.21
L'excès de dévers (mm)	23.73	8.9	5.08
Longueur de la clothoïde (m)	100	40	20
paramètre de clothoïde	387.29	400	374.166

Les valeurs calculées pour notre projet sont respectées les valeurs limites exigées par le référentiel technique de SNTF.

III.3. PROFIL EN LONG

Le profil longitudinal est défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Il est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires

L'élaboration du profil en long est la tâche la plus importante, par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique ou paraitra l'importance des terrassements, soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre tracé en plan et profil en long et l'emplacement des gares.

III.3.1. Règles a respectées dans le profil en long

L'élaboration de la ligne de projet n'est pas arbitraire mais elle doit se baser sur des recommandations et des règles qui assurent la stabilité, la sécurité, le confort et l'évacuation des eaux. Parmi ces conditions les suivantes :

- ✓ Adapter la ligne rouge au terrain naturel pour minimiser les travaux de terrassement.
- ✓ Equilibre entre le volume des déblais et le volume des remblais.
- ✓ Eviter les hauteurs excessives des remblais.
- ✓ Evité les angles sortant en déblai.
- ✓ Eviter la coïncidence entre les rayons en profil en long et les rayons en tracé en plan.
- ✓ Ne pas dépasser une pente maximale ou rayon minimale préconisée par les règlements.

III.3.2. Les éléments du profil en long

III.3.2.1. Déclivités maximales

La déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal, elle est dénommé « une pente » pour les descentes « une rampe » pour les montées. Ces dernières doivent respectés les recommandations exigées par le référentiel du SNTF en raison de sécurité et de confort dont :

- ✓ En déclivité de longueur inférieure à 3 000 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‰.
- ✓ En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 16‰.

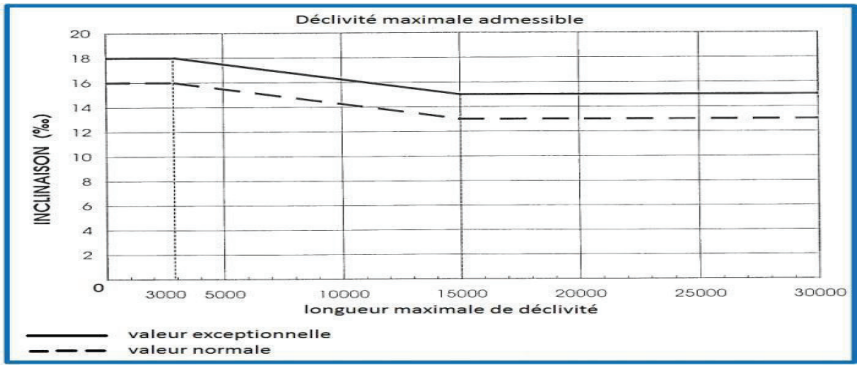


Figure III.4 Déclivités maximales admissibles [9]

- ✓ **Pente**: c'est la partie du tracé qui définit la descente.

- ✓ **Rampe**: c'est la partie du tracé qui définit la montée.
- ✓ **Palier**: c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.

III.3.2.2. Longueur minimale des éléments du profil

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux changements successives des déclivités, un temps assez long doit se passer pour permettre aux suspensions d'amortie les oscillations, Ce temps est résumé dans une longueur bien définit :

Tableau III.8 Valeurs limites de la longueur minimales selon référentiel technique de SNTF

Valeur minimale normale	Valeur minimale exceptionnelle
$V_R/2$	$V_R/2{,}5$

V_R étant la vitesse du train le plus rapide exprimée en **km/h.**

III.3.2.3. Rayon de raccordement en profil (raccord circulaire)

C'est un arc de cercle qui assure la liaison entre deux déclivités de la ligne rouge pour le confort des voyageurs et pour limités les accélérations verticales des véhicules.

Tous les rayons de raccordement circulaire doivent avoir une longueur supérieure ou égale à 30m pour éviter le changement brusque des pentes.

Le rayon minimale de raccordement est donné fonction de la vitesse V dans le tableau suivant :

Tableau III.9 Valeurs limites de rayon du profil en long selon référentiel technique de SNTF

Valeur minimale normale	Valeur minimale exceptionnel
$0{,}35V^2_R$	$0{,}25\ V^2_R$

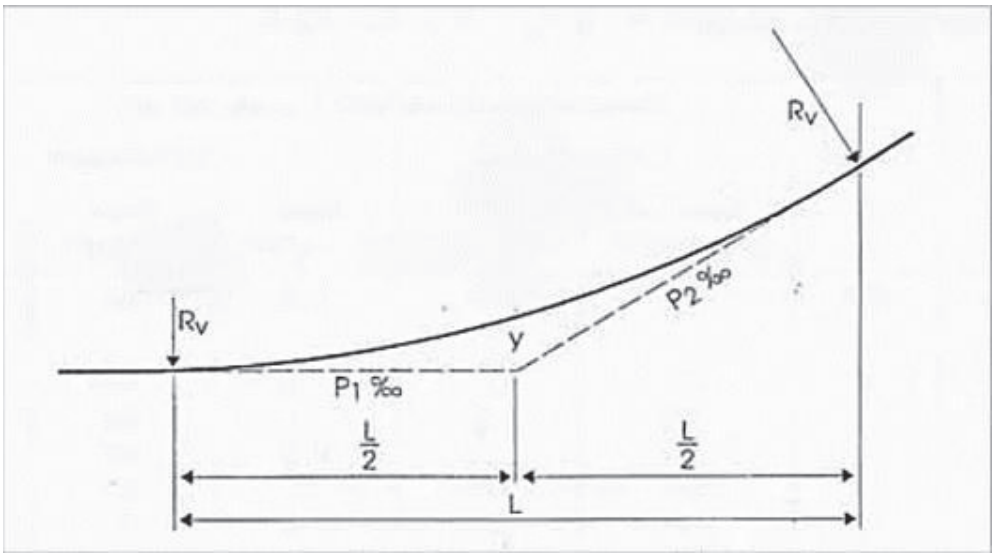


Figure III.5 Schéma de raccordement circulaire

III.3.3. Coordination du tracé en plan et du profil en long

Il est nécessaire de veiller à la bonne coordination du profil en long et du tracé en plan, pour cela on doit :

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

III.3.4. Calcul des paramètres du projet

Tableau III.10 Paramètres du projet selon référentiel technique de SNTF

V_R	160 km/h
$R_{Min\ normale}$	8 960 m
$R_{Min\ exceptionnel}$	6 400 m
$L_{Min\ normale}$	80 m
$L_{Min\ exceptionnel}$	64 m
Déclivité Max	16‰
Longueur Max de la déclivité	3 000 m

III.4. PROFIL EN TRAVERS

Après les études du tracé en plan et du tracé en élévation qui recherchaient essentiellement l'évolution de l'axe de la voie, il s'agit maintenant de définir le 3éme élément d'un projet ferroviaire : Profil en travers**.**

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.
Il permet de calculer les paramètres suivants :

- ✓ La position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements.
- ✓ L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel.
- ✓ Les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

III.4.1. Les éléments du profil en travers

- ❖ **La plate-forme :** C'est l'élément sur laquelle se repose la voie elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.

- ❖ **Assiette:** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

- ❖ **L'emprise :** La surface de terrain appartenant à la collectivité, c'est à dire dans les limites du domaine public, comprend la plate-forme, les talus et les fossés ou ouvrages.

- ❖ **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.

- **La berme:** Elle supporte d'éventuels panneaux de signalisation et équipements (glissières de sécurités). Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

- **Le fossé :** Ce sont les excavations aménagées latéralement de part et d'autre de la plate-forme, destinés à assainir la plate-forme et de talus en collectant les eaux de ruissellement.

III.4.2. Le profil en travers type

Le profil en travers doit contenir tous les éléments suivants :

- **Éléments d'infrastructure :**
  - ✓ Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.
  - ✓ Les pentes de chaque couche.
  - ✓ La pente latérale de la plate-forme.

- **Eléments de superstructure :**
  - ✓ La distance entre les axes des deux voies.
  - ✓ L'épaisseur du ballast.
  - ✓ La longueur des butées du ballast.
  - ✓ La valeur du devers maximale en courbe.

- **Éléments du talus :**
  - ✓ La pente de chaque talus qui est de 3H/2V.
  - ✓ Les ouvrages de consolidations éventuelles.

- **Éléments d'assainissement :**
  - ✓ type et dimension du fossé ou des drains.

III.4.3. Les profils en travers affectés au projet

Pour notre projet on caractérise nos profiles en travers comme se suit :

Tableau III.11 Caractéristique du notre profil en travers.

Type de ligne	double voie mixte électrifiée
Ecartement de la voie	1.435 m (standard)
Largeurs de la plate-forme	13.6 m
Pente latérale de la plate-forme	4%
Pente latérale de la couche du ballast	3H /2V
Epaisseur du ballast	30cm
Epaisseur du sous-ballast	15 cm
Epaisseur de la couche de fondation	15 cm
Pentes profils courants	déblai : 3H/2V et remblai : 2H/1V
Fossé trapézoïdale	b= 0.60 m ; h= 0.50 m avec une berme de 3H/2V

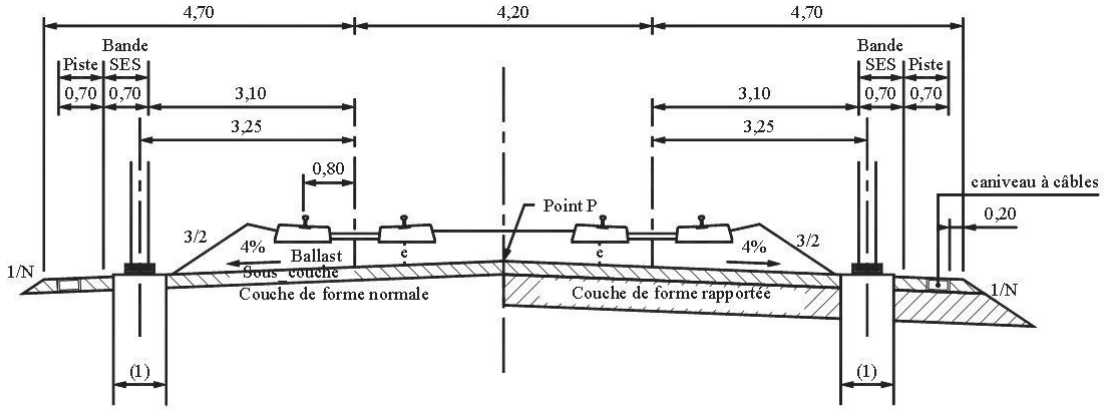


Figure III.6 Profil en travers type (zone courante). [16]

Chapitre IV Etude Géotechnique

CHAPITRE V ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.1. INTRODUCTION

Pour une bonne étude et meilleure réalisation d'un projet ferroviaire, il s'avère nécessaire d'avoir une connaissance précise sur le sous-sol, de son comportement, de sa composition et de sa nature. Toutes ces informations vont contribuer à définir le terrain traversé par le tracé.

Les données sont déduit à partir des cartes géologique, des sorties sur terrain et des investigations Géotechniques (les sondages, les essais en laboratoire, les essais in situ) sur le long du tracé et au droit d'emplacement des ouvrages.

Ce chapitre traite les caractéristiques géologique et géotechnique des matériaux sur laquelle la nouvelle ligne minière section centre, tronçon Taoura-Dréa du PK 31+000 au PK 44+600 sera réalisée.

IV.2. APERÇUE GEOLOGIQUE

IV.2.1. Topographie du site

Le terrain présente une morphologie accidentée à très accidenté, il est situé dans une zone montagneuse à forêt dense.

IV.2.2. Géologie régionale

Les dépôts qui constituent le territoire de la zone d'étude vont du Trias au Quaternaire :

- **Le Trias**

Composé de dépôts d'argile, marnes bariolées à gypse avec des blocs de cargneules, calcaires. Elles sont représentées par les dépôts évaporitiques.

Ces formations ont généralement une extension remarquable orientée NE-SW.

Elles affleurent à la faveur d'extrusion, soit sous forme de masses chaotiques où dominent le gypse, les argiles et les dolomies, renfermant d'innombrables petits blocs de roches disséminés dans la masse argilo – gypseuse.

- **Le Jurassique**

Constitué de dolomies, calcaires et grès fins, ces formations correspondent au domaine externe qui est formé par un empilement complexe de nappes surmontant au Sud l'autochtone présaharien des hautes pleines.

- **Le Crétacé inférieur**

Intercalation de grès et marno – calcaire à la base, suivie de marnes claires, calcaires, argiles marneuses, dolomies, grès, calcaires quartzeux à interlits de calcaires et de marnes, calcaires marneux clairs, marnes et aleurolites et des marnes grises au sommet.

- **Le crétacé supérieur**

Caractérisé par ses dépôts qui commencent par des marnes grises suivies de calcaires organogènes ; de marnes et calcaires marneux puis des dépôts de brèches, des calcaires noirs marneux, des marnes, des aleurolites de calcaire, des calcaires compacts blancs, des marnes grises et des calcaires marneux, puis des calcaires, des microbréches et marnes, suivis au sommet par des marnes grises bleutées et des calcaires gris-clairs et blancs.

- **Le Paléogène** :

Est constitué de dépôts débutant par des marnes noires, des argilites puis des calcaires marneux suivis de calcaire clairs, dépôts bitumineux à silex, des calcaires à nummulites, des marnes noires des microbréches et des grès micacés, des argilites et aleurolites et des grès quartzeux au sommet.

❖ **Le Néogène**

Commence par des grès quartzeux et marnes suivis de calcaires, grès glauconitiques à interlits de glauconie, puis des conglomérats et grès, des argiles à gypse, des argiles à poudingues et calcaires, des grès rouges et gris, des marnes, des conglomérats, dépôts de brèches, grès et marnes et au sommet des conglomérats, grès et argiles.

❖ **Le Quaternaire**

Débute par des dépôts Plio-Quaternaire qui sont caractérisés par des travertins avec des filons d'onyx, et se termine par des alluvions anciennes et récentes au sommet.

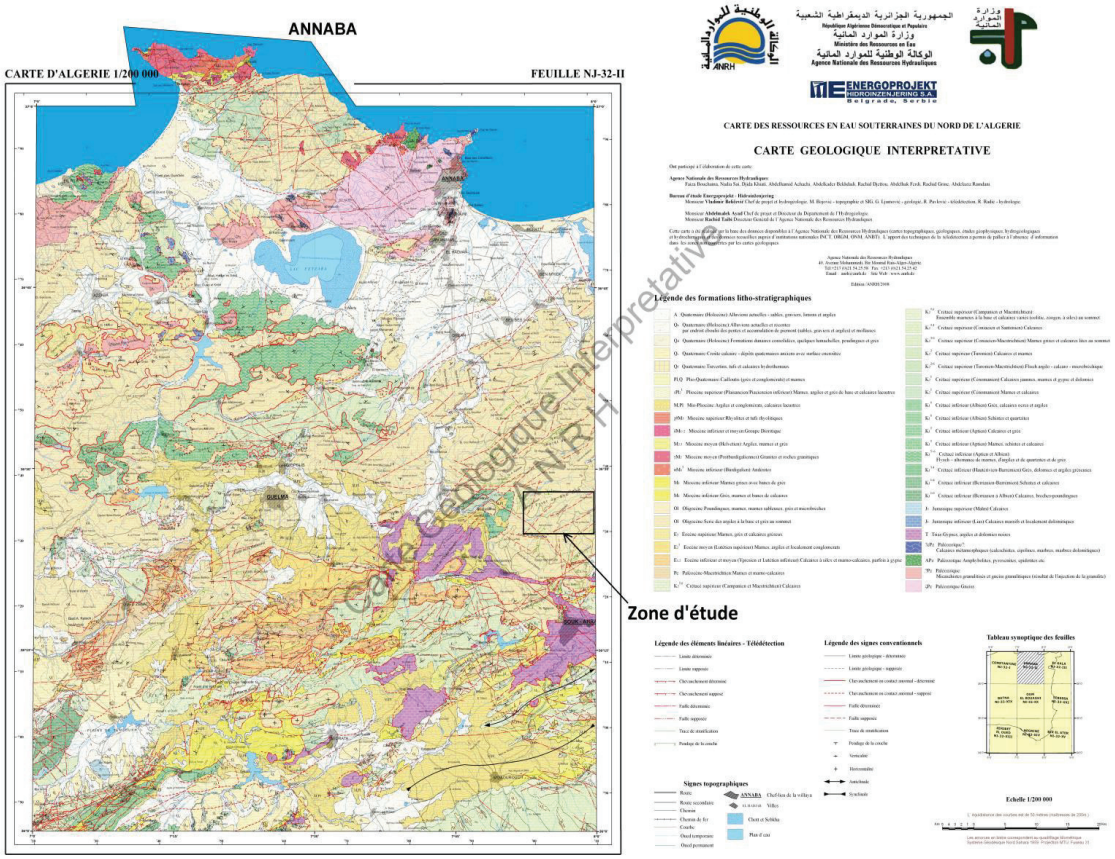


Figure IV.1 Carte géologique régionale d'Annaba (ANRH 2008)

IV.2.3. Sismicité

La région de Souk Ahras est située dans la zone (I) de faible sismicité, la conception et la réalisation du projet devra prendre en considération la sismicité de la région et au règlement parasismique Algérien en vigueur (RPA 99version 2003, RPOA 2008).

IV.2.4. Géologie locale

Du point de vue géologique la zone est constituée essentiellement par des argiles versicolores, d'âge Oglio-miocène et des grés beiges d'âge numidien, fracturés et plissés.

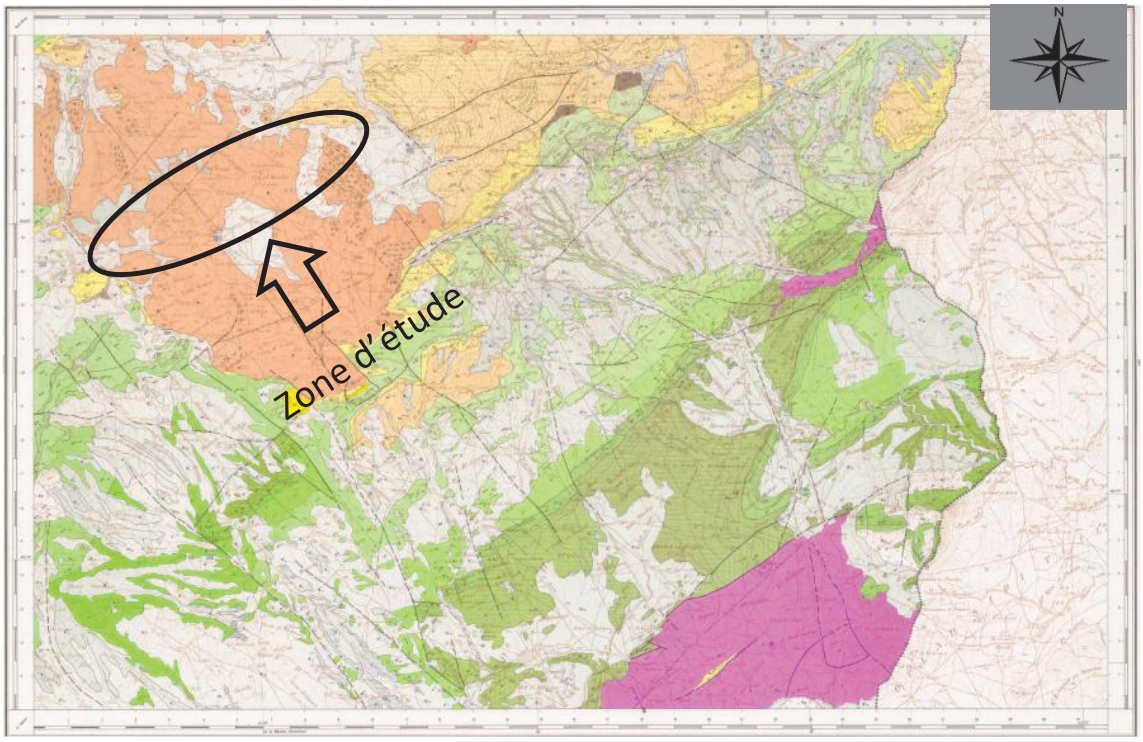


Figure IV.2 Carte géologique de la région de Taoura à 1/50000

IV.3. RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

C'est une étude "in situ" et en laboratoire qui permet de définir l'ensemble des caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des terrains en place.

Son but est de donner les éléments nécessaires pour les études et les travaux de fondations.

IV.3.1. Essais in situ

La campagne de reconnaissance géotechnique in-situ a consisté en la réalisation de 7 puits de reconnaissance, 7 sondages carottés, 3 sondages pressiometriques, 8 pénétromètre dynamique :

IV.3.1.1. Les puits de reconnaissance

07 puits de reconnaissance pour l'étude géotechnique du tronçon étudié ont été réalisés.



Figure IV.3 Puits de reconnaissance exemple de photo

La localisation des puits et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 Tableau récapitulatif des puits de reconnaissances

Puits	PK	Coordonnées UTM		Profondeur (m)	Description
		X	Y		
PU-13-B-OK	33+688	400867	4033366	0.00-0.40m 0.40-4.00m	-Remblais de la piste existante, composé de limon argilo-graveleux. -Argile tachetée en : rouge rouille, grise claire à grise verdâtre, peu humide au touché, renferment des traces d'oxydations.
PU-14-B-OK	34+822	401846	4033543	0.00-0.30m 0.30-1.20m 1.20-3.20m	-Remblais de la piste existante, composé de limon argilo-graveleux, de couleur brunâtre -Argile limoneuse, tachetée en : rouge rouille, grise claire à grise verdâtre, sec au touché. -Argile limono-gréseuse, de couleur grise, renferment des fragments rocheux de nature gréseuse, durs de couleur beige.
PU-15-B-OK	35+553	402162	4033788	0.00-0.30m 0.30-3.50m	-Remblais de la piste existante, composé de limon argilo-graveleux. -Argile tachetée en: rouge rouille entre (0.30-0.80m).Le terrain devient plus résistant à creuser à partir de 2.40m.

PU-16-B-OK	38+804	404952	4035638	0.00-0.30m 0.30-2.10m 2.10-3.50m	-Remblais de la piste existante, composé de limon argilo-graveleux. -Argile limono-graveleuse, bariolé en rouge, renferment des traces d'oxydations et des racines d'arbre en surface. -Argile, d'une consistance raide, d'aspect pierreux, de couleur grise verdâtre à bleuâtre.
PU-17-B-OK	39+305	405731	4036007	0.00-0.40m 0.40-3.50m	-Remblais de la piste existante, composé de limon argilo-graveleux. -Argile tachetée en : *rouge rouille entre (0.40-1.90m) *grise claire à grise verdâtre, friable à indurée à partir de 2.00 mètre de profondeur, sec au touché, renferment des traces d'oxydations et des fragments rocheux de 30 cm de diamètre d'une nature gréseuse durs
PU-18-B-OK	42+804	407979	4036031	0.00-0.80m 0.80-3.00m	-Argile friable d'aspect tufeux, renferment des traces d'oxydations. -Argile indurée, d'aspect pierreux, sensible à l'air, de couleur grise verdâtre.
PU-19-B-OK	43+806	407241	4035332	0.00-0.15m 0.15-2.00m	-Limon argilo-caillouteux, mélangé à la terre végétal, de couleur brunâtre. -Sable moyen à grossier, limon-argileux, de couleur beige à orange, renferment des fragments gréseux.

IV.3.1.2. Sondages carottés

Les sondages carottés réalisés nous ont permis de déterminer la nature des formations en place et de récupérer des échantillons intacts transmis au laboratoire pour subir les différents essais physiques et mécaniques. Ces sondages sont équipés d'un piézomètre pour mesurer le niveau d'eau souterraine éventuellement.

Dans ce cadre une compagne de 7 sondage carotté ont était prélevés le long de notre tracé et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 Tableau récapitulatif des sondages carottés

Sondage	PK	Profondeur (m)	Description	Niveau d'eau (m)
F-15-B-OK	31+156	0.00→0.80 0.80→4.80 4.80→9.50 9.50→15.00	-Limon argileux et graveleux. -Argile limono-gréseux. -Argile,d'une consistance ferme à friable, de couleur grise à grise bleuâtre. -Grés à grain fin,durs,de nature silicieuse,beige,récupérés sous forme de fragments très fracturés et oxydé aux niveaux de ces fractures. avec un RQD de très mauvaise qualité.	14.6



Figure IV.4 Sondage F-15-B-OK-Caisse n° 1/2, profondeur 0.00 à 7.50m.

F-16-B-OK	32+459	0.00→0.30 0.30→20.00	-Limon argileux et graveleux. -Argile limoneuse de couleur bariolé devenant grisâtre à partir de 10m avec des passages des grés siliceux, de grain moyen à fin récupérés sous forme de fragments dans les profondeurs (0.4-0.6 m ; 3.50-5.40 m et 5.50-6.00 m)	14.3



Figure IV.5 Sondage F-16-B-OK-Caisse n° 1/4, profondeur 0.00 à 5.50 m.

F-17-B-OK	33+825	0.00→0.30 0.30→1.50 1.50→2.30 2.30→11.90 11.90→12.6 12.60→20.0	-Limon argileux et graveleux. -Argile limoneuse de couleur rouge. -Grés, durs, fracturés, de couleur beige, avec un RQD de bonne qualité. -Argile légèrement limoneuse, de couleur bariolé. -Grés, durs, fracturés, de couleur beige, récupérés sous forme de fragments centimétrique à décimétrique. -Argile, de couleur grise bleuâtre, avec des intercalations des grés, durs, fracturés, de couleur beige, récupérés sous forme de fragments centimétrique à décimétrique sur les profondeurs (16.50-16.70m; 18.60-18.85m et 19.70-19.90m)	7



Figure IV.6 Sondage F-17-B-OK-Caisse n° 1/4, profondeur 0.00 à 4.50 m

F-18-B-OK	35+862	0.00→0.40 0.40→3.90 3.90→15.00	-Limon argileux et graveleux. -Argile légèrement limoneuse, oxydée, de couleur rougeâtre entre (0.40-3.50m) et grise verdâtre entre (3.50-3.90m). -Bade gréseux durs, récupérés sou forme fragments de diamètre centimétrique à décimétrique, fracturé, de couleur beige).RQD de mauvaise qualité entre 5m à 8m et de très mauvaise qualité dans le reste des passages.	12.35



Figue IV.7 Sondage F-18-B-OK-Caisse n° 1/3, profondeur 0.00 à 5.00 m

F-19-B-OK	37+314	0.00→3.50 3.50→8.00 8.00→15.00 15.00→20.0	-Limon argileux de couleur bariolé. -Grés, durs, fracturés, de couleur beige, avec un RQD de moyenne qualité. -Argile limoneuse brunâtre à rougeâtre. -Argile sableuse grisâtre.	13



Figure IV.8 Sondage F-19-B-OK-Caisse n° 1/4, profondeur 0.00 à 5.00 m

F-20-B-OK	41+058	0.00→6.00 6.00→15.00	-Argile gréseuse renferment des traces d'oxydation, légèrement marneuse en profondeur -Mollasse d'aspect tufeux, de couleur grise orange, composé de limon argilo-sableux, cimentée par des argile-carbonaté, d'une consistance raide à l'origine, récupérée sous forme broyée lors de forage, renferment des fragments gréseux et siliceux durs.	10



Figure IV.9 Sondage F-20-B-OK-Caisse n° 1/2, profondeur 0.00 à 5.00 m

F-21-B-OK	44+320	0.00→0.20 0.20→0.90 0.90→1.00 1.00→4.00 4.00→7.50 7.50→12.00	-Limon sableux, mélangé à la terre végétal, de couleur brunâtre. -Argile gréseux brunâtre. -Fragment de grés. -Grés argileux de couleur orange renferment des fragments centimétriques gréseux. -Argile gréseux. - Mollasse d'aspect tufeux, de couleur grise orange, composé de limon argilo-sableux, cimentée par des argile-carbonaté, d'une consistance raide à l'origine, récupérée sous forme broyée lors de forage, renferment des fragments gréseux et siliceux durs.	9



Figure IV.10 Sondage F-21-B-OK-Caisse n° 1/2, profondeur 0.00 à 7.50 m

IV.3.1.3. Essais pressiométres

Le pressiométre est un essai de chargement direct, réalisé sur site, il consiste à introduire une sonde cylindrique dilatable à l'intérieur d'un forage exécuté au préalable.

Le chargement s'effectue à la suite de l'application de pression dans la sonde pour plusieurs paliers jusqu'à la fin du forage pressiométrique. Cette pression croissante agissant sur la paroi du forage donne naissance à la rupture du sol.

Trois (03) sondages préssiométriques ont été réalisés le long de notre tracé, dont leurs profondeurs varient entre 14 et 20 m.

Tableau IV.3 Tableau récapitulatif des essais préssiométres

Essai préssiométrique	PK	Coordonnées UTM	
		X	Y
SP-12-B-OK	31+662	399663	4032300
SP-13-B-OK	33+210	400720	4032896
SP-15-B-OK	36+232	402990	4034149

La figure ci-dessous présente la courbe préssiométrique (aussi appelée : courbe d'expansion) réalisé à de 6 m (PK 31+660 SP12-B).

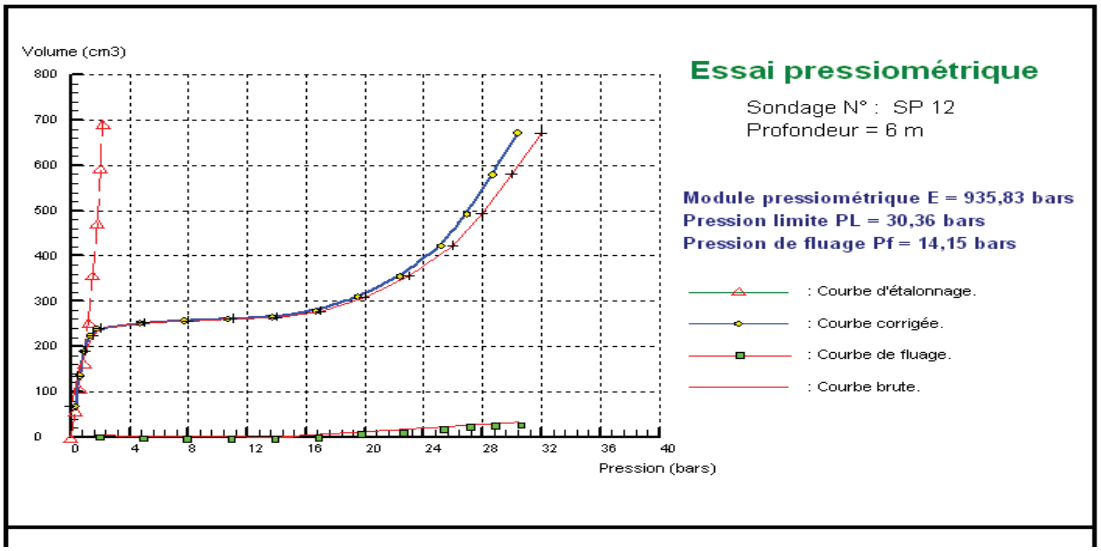


Figure IV.11 Courbe préssiométrique de l'essai SP12-SB profondeur de 6 m

Les résultats expérimentaux enregistrés sont interprétés, les caractéristiques pressiométriques de cet essai sont :

- ✓ Module pressiométrique (E).
- ✓ Pression limite (PL).
- ✓ Pression de fluage (Pf).

IV.3.1.4. Essai Pénétromètre Dynamique

L'analyse des huit (08) pénétrogrammes nous a permis de déterminer les plages de résistances de pointe (Rp) suivantes :

Tableau IV.4 :Résultats des essais de pénétration dynamique(PDL)

N° d'essai	PK	Profondeur (m)	Variation de la résistance de la pointe Rp (bars)	Observations
PDL-07-B-OK	31+693	0.00-0.80 m	Rp<786.53	Refus à 0.80 m, avec Rp = 786.53 bars
PDL-08-B-OK	34+822	0.00-1.80 m	Rp<723,46	Refus à 1.80 m, avec Rp = 723,46 bars
PDL-09-B-OK	35+557	0.00-1.40	Rp<723,46	Refus à 1.40 m, avec Rp = 723,46 bars
PDL-10-B-OK	39+305	0.00-2.20	Rp< 669,75	Refus à 2.20 m, avec Rp = 669,75 bars
PDL-11-B-OK	42+804	0.00-2.00	Rp<723,46	Refus à 2.00 m, avec Rp = 723,46 bars
PDL-12-B-OK	43+806	0.00-0.80	Rp<786,53	Refus à 0.80 m, avec Rp = 786,53 bars

L'examen des résultats obtenus par les essais au pénétromètre dynamique nous permet de constater que :

- Un horizon de (0.00 à 2.20 m) : horizon à forte résistances de pointe (refus à la profondeur de 2.20m maximum avec une résistance de pointe maximale inférieure à 786.53 bars).

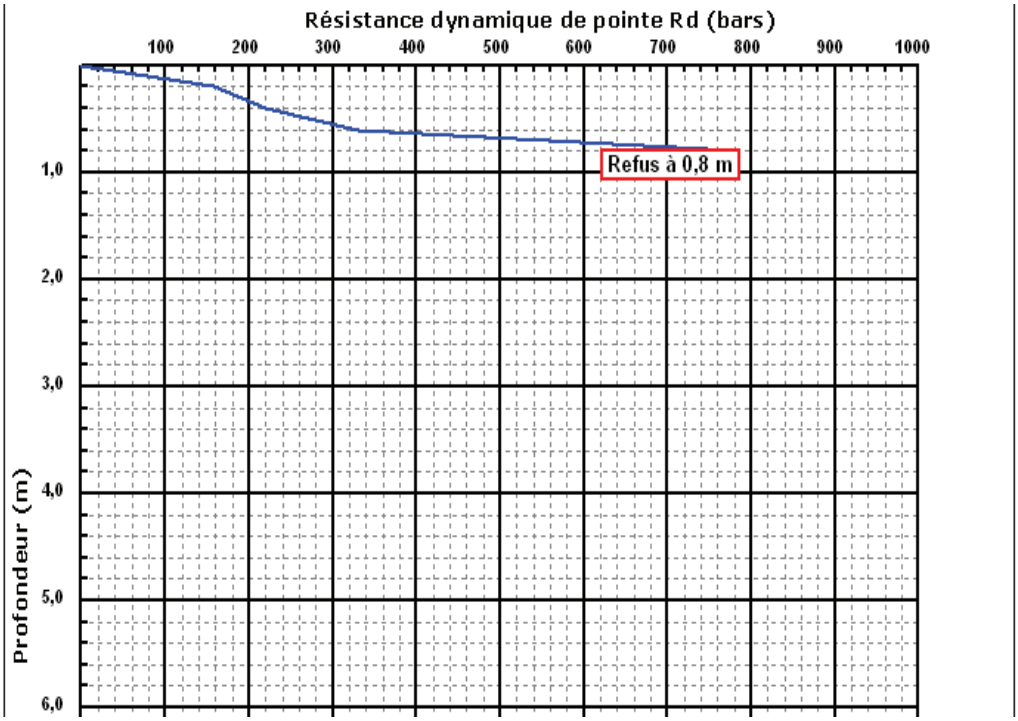


Figure IV.12 Profil d'essai au pénétromètre dynamique (PDL-07-B)

IV.3.2. Essais au laboratoire

- **Unité 1 Argile (AR)**

Cette unité est rencontré pratiquement le long du tracé du PK 31+000 au PK 44+600 dont les profondeurs varient entre 2 m et 20 m, les différents caractéristiques géotechniques de la formation sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 Tableau récapitulatif des résultats de laboratoire – Unité Argile (AR)

Paramètres	Désignation	Nombre de valeur	Valeur Max	Valeur Min	Valeur moyen
Poids volumiques sec	γd (t/m3)	10	2.22	1.55	1.75
Poids volumiques humide	γh (t/m3)		2.36	1.84	2.02
Teneur en eau	ω (%)		21.5	6.44	16.19
Degré de saturation	Sr (%)		100	52.08	77.51
Granulométrie	% < 2 mm	9	99.34	64.08	79.75
	% < 80 µm		98.29	47.18	66.57

	% < 2 µm		75.87	27.9	46.75
Limites d'Atterberg	ω_L (%)	8	74.6	37.74	56.46
	ω_P (%)		35.62	20.22	26.21
	I_P (%)		39.06	17.52	30.25
L'Odomètre	Pc (KPa)	4	576	79	278.5
	Cc (%)		20.6	10.6	15.65
	Cg (%)		5.6	2.2	3.88
Cisaillement rectiligne	C' (KPa)	3	47.47	26.75	39.39
	Φ' (°)		26	15.4	19.37
Analyse chimique	Chlorure NaCl %	5	0.53	0.35	0.43
	Carbonates (CaCO3)		21.55	10.34	17.38
	Sulfates CaSO4, 2H2O)		Traces		
	Anhydride Carbonique (CO2)		9.48	4.55	7.73
	Matière organique (M.O)	1	1.05	1.05	1.05
Pression limite	PL(bars)	7	60.47	6.86	33.08
Module pressiométrique	Em (bars)		1615.95	97.71	815.9
Classification GTR	A_3ts				
Classification UIC	QS_1				

❖ Unité 2 Grés (GR)

Cette unité est rencontré entre PK 31+000 au PK 37+320 dont les profondeurs varient entre 1.5m et 12.2m, les différents caractéristique géotechniques de la formation sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 Tableau récapitulatif des résultats de laboratoire – Unité Grés (GR)

Paramètres	Désignation	Nombre de valeur	Valeur Max	Valeur Min	Valeur moyen
Poids volumiques sec	γd (t/m3)	4	2.43	2.13	2.33
Compression simple	Rc (MPa)		1020	583	754.25
Pression limite	PL (bars)	2	68.85	55.34	62.09
Module pressiométrique	Em (bars)		1336.86	1164.22	1250.54
Classification GTR	R_4				
Classification UIC	QS_2				

Chapitre V Superstructure de la voie

CHAPITRE V SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

V.1. INTRODUCTION

La superstructure ferroviaire comprend toutes les installations fixes qui permettent d'assurer le bon guidage des wagons à leur trajectoire et de supportant les efforts transversaux, longitudinaux et verticaux. Elle se compose de deux files de barre en acier appelées (rails) posées parallèlement sur des supports transversaux que l'on nomme (traverses) reposant sur une couche de ballast.

Le but de ce chapitre est d'apporter des notions simples mais indispensables de ce qui est la voie ferrée et ses composantes.

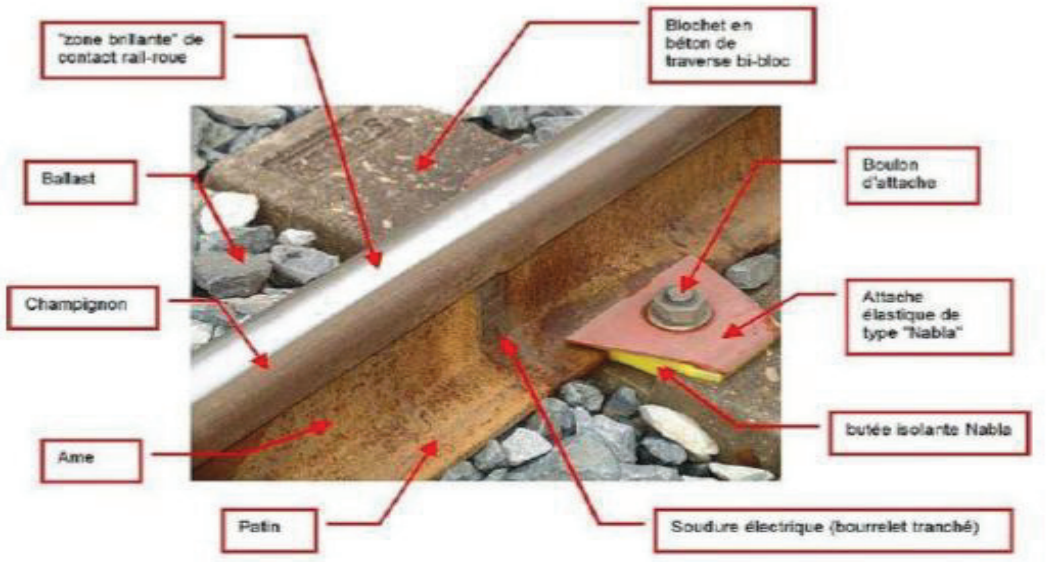


Figure V.1 Les constituants de la voie ferrée [2]

V.2. COMPOSANTES DE LA VOIE

La voie ferroviaire est constitué de :

V.2.1. Les rails

Le rail est un élément linéaire en acier, doté d'un profil particulier. La mise en parallèle de deux files de rails crée une voie ferrée. Le rail doit assurer les fonctions suivantes :

- ✓ Supporter la charge des roues et les efforts dynamiques qui en résultent.
- ✓ Former une surface de roulement continue et plane qui permet de minimiser les efforts de traction (faible résistance spécifique à l'avancement).
- ✓ Assurer le guidage des wagons en courbe, en reprenant les efforts transversaux dus à la force centrifuge.
- ✓ Reprendre les efforts longitudinaux provoqués par l'accélération, le freinage et la résistance au roulement des convois.

V.2.1.1. Les différents types du rail

Plusieurs profils de rail ont été utilisés depuis l'existence des véhicules guidés mais il ne reste que trois types principaux qui sont :

❖ Rail à gorge

Ces rails sont utilisés pour les voies encastrées dans les chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

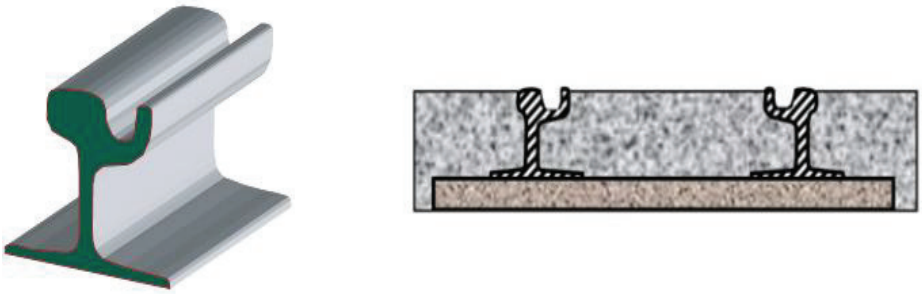


Figure V.2 Rail à gorge [2]

❖ Les rails à double champignon

Le rail à double champignon symétrique avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc de doubler sa durée de vie. Le défaut de ce système était que le rail était retourné, il était déjà abimé (poinçonnements dû à l'écrasement au niveau des berceaux). Ce principe a été abandonné de nos jours.



Figure V.3 Rail à double champignon [2]

❖ Le rail Vignole

Le rail moderne est généralement du type « Vignole », dans une section transversale, on distingue le patin qui s'appuie sur la traverse, le champignon qui constitue le chemin de roulement, et l'âme, filet vertical qui relie le champignon au patin.

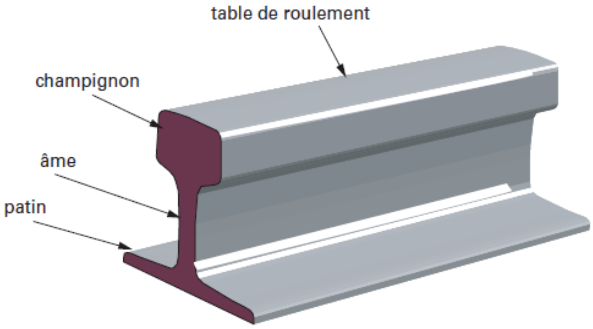


Figure V.4 Rail à Vignole [2]

V.2.1.2. Systeme de raccordement des rails

❖ **L'éclissage**

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes:

- ✓ Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportement 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.



Figure V.5 Assemblage par éclissage

❖ **Soudures**

- ✓ Soudure électrique ou forgeage :

Utilisée essentiellement en atelier. Le principe est de relier les deux extrémités à souder, l'un à une anode et l'autre à une cathode, puis de les rapprocher. L'arc électrique engendré provoque la fusion du métal et son forgeage.

- ✓ Soudure aluminothermique:

Réalisé en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport.

Les grands avantages qu'elle offre cette méthode sont :

- ✓ une réduction des couts d'entretien de la voie.
- ✓ une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.



Figure V.6 Assemblage par soudure aluminothermique

V.2.2. Les longs rails soudes

Les longs rails soudés (L.R.S) sont des barres dont la longueur est suffisante pour qu'un, au moins, de ses points reste fixe, quelles que soient les variations de température

Les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi " barres longues ", 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. Ces barres longues sont produites en atelier par la soudure de rails élémentaires. Cette soudure effectuée en atelier fixe ou semi-mobile est faite par étincelage et forgeage ou bien encore par induction et forgeage.

Ces barres longues, dont la souplesse autorise le transport sur des rames de wagons plats, sont ensuite posées et soudées entre elles sur place par soudure aluminothermique ou soudure électrique.

Les LRS présentent deux avantages, qui sont la conséquence de la suppression des joints :

- ✓ Réduction des coûts d'entretien de la voie.
- ✓ Meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.

V.2.3. Les Travers

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie ferre sous les rails.

D'après la SNTF la disposition des traverses sur le long de la voie est généralement entre 1666-1667 traverses/Km.

Les traverses doivent remplir les fonctions suivantes :

- ✓ Répartition des charges verticales transmises par le rail sur le ballast.
- ✓ Maintien l'écartement des rails.
- ✓ Renforcement et renouvellement aisé du ballast.

On distingue trois types de traverse :

- ❖ **Les traverses en bois :**

Fabriqués en bois exotique dure elles sont généralement en chêne, elles assurent la souplesse et l'isolement élastique, néanmoins leur inconvénient est celui de la sensibilité aux attaques atmosphériques.



Figure V.7 Travers en bois

- ❖ **Les traverses métalliques :**

Sont des produits industriels de fabrication simple, en aciers, elles ont une forme d'U renversé, leurs extrémités sont enfoncées dans le ballast pour empêcher tout déplacement, vue

leurs légèreté (environ 80 Kg) elles sont faciles à poser, cependant, elles sont bruyantes et conductrices d'électricité, donc nécessitent des dispositifs d'isolement couteux.



Figure V.8 Travers Métallique

❖ **Traverses en béton :**

Les travers en béton coutent moins cher ce qui a élevé leur utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast, par contre elles ont inconvénients notamment l'exigence d'un plus en ballast que d'autres types de traverses.

Il existe deux types de traverses en béton : traverse **bi-bloc**, elle est constituée de deux blochet en béton armé séparés par une barre métallique. **Monobloc** en béton précontraint.



Figure V.9 Travers en béton monobloc et bi-blocs

V.2.4. Les Attaches

Les attaches rail-traverse assurent la fixation du rail sur la traverse. Elles assurent à la fois une élasticité dans le sens vertical et horizontal.

Il existe plusieurs types d'attaches mais les plus utilisés et connues sont les suivantes :

- ✓ Les anciennes attaches pour les traverses en bois étaient des crampons puis 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.
- ✓ Pour les traverses métalliques, le système d'attache est constitué de boulons qui fixent les crapauds sur le patin.
- ✓ Le développement technologique a permis de concevoir et mettre en œuvre des attaches élastiques qui peuvent résister d'une manière élastique aux mouvements. On distingue deux types L'attache NABLA et L'attache de type E-clip.

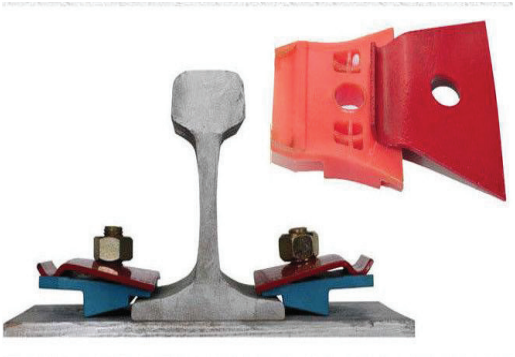


Figure V.10 Les Attache de type NABLA



Figure V.11 Les Attaches de type E-clip

V.2.5. Le Ballast

On appelle ballast le lit de pierre ou de gravier sur lequel repose une voie de chemin de fer.

La couche de ballaste est composé de pierres de granulométrie 25/50, de type plutonique (granite, diorite…. etc.). Pour le nivellement on utilise du gravillon de 10 mm à 35 mm extrait des carrières appelées ballastières. Le ballast subit deux types d'usure :

- ✓ Contamination pars des matériaux parasites (terre, herbes…).
- ✓ Tassement du ballaste sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la vois.



Figure V.12 Ballast sur la voie

Le ballast a pour rôle de :

- ✓ Répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses.
- ✓ Amortir une partie très importante de la vibration grâce à ses propriétés rhéologiques.
- ✓ Assurer, en raison de sa granulométrie, le drainage rapide de la voie.
- ✓ Permettre de rectifier rapidement le nivellement au moyen du bourrage-Dressage mécanisme.
- ✓ S'opposer par le frottement de ses éléments entre eux et contre les traverses à tout déplacement de la voie (Le choix de la grosseur du ballast dépend de la nature des traverses).

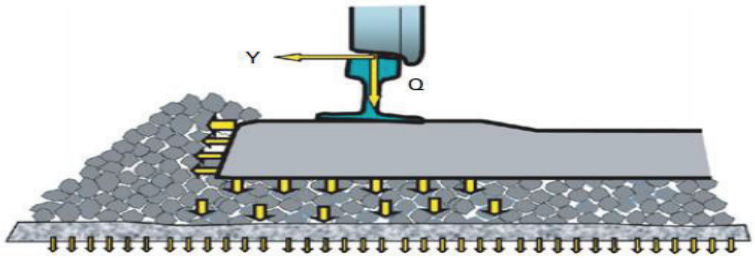


Figure V.13 Profil du ballast et répartition des charges [2]

V.2.6. Les appareils de voies

L'exploitation des voies ferre exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires que l'on désigne appareil de voie. C'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension.

V.2.6.1.Types d'appareil de voies

- **les Branchements**: permettent à l'itinéraire de ce ramifié en deux ou exceptionnellement en trois.

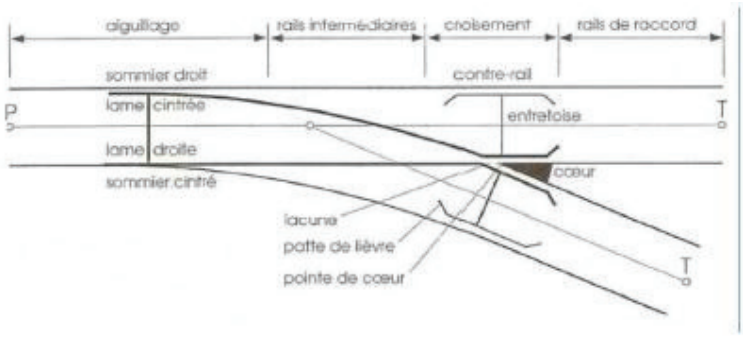


Figure V.14 Un branchement et ces éléments constitutifs [1]

- **les Traverses**: permettent l'intersection de deux itinéraires. On distingue :
  - ✓ les traversées jonction simples (TJS) permettant la jonction des voies uniquement dans un sens de circulation

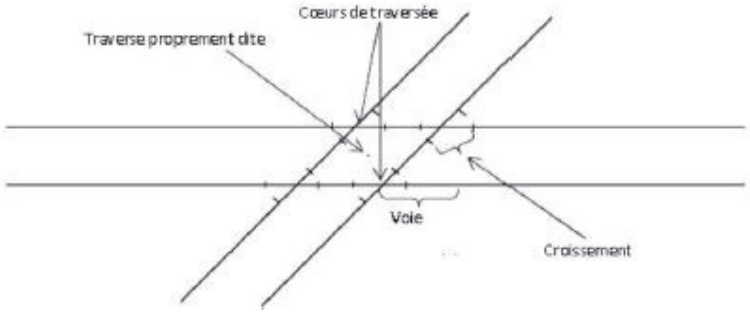


Figure V.15 Schéma d'une traversée jonction simple [1]

  - ✓ des traversées jonction doubles (TJD) permettant la jonction des voies dans les deux sens de circulation.

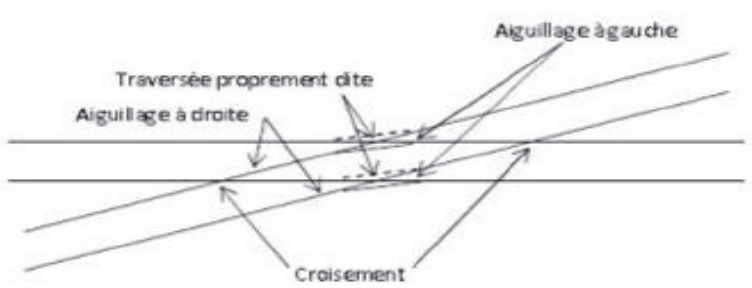


Figure V.16 Schéma de traversée jonction double [1]

V.3. CARACTERISTIQUE ET TYPE D'INSTALLATION POUR NOTRE PROJET

❖ **Pour la voie**

- ✓ Rail UIC60 E1.
- ✓ Traverses bi-bloc, type Vax U31.
- ✓ Traverses monobloc en béton précontraint pour les voies sur les ouvrages.
- ✓ Attache élastique type Nabla.

Pour plus de détails voir Annexe 4.

❖ **Pour les appareils de voies**

- ✓ Appareil simple 60 E1 -300-1/9.
- ✓ Appareil simple 60 E1- 500 -1/12.

Chapitre VI Terrassement et assise de voie

CHAPITRE VI TERRASSEMNT ET ASSISE DE VOIE

VI.1. INTRODUCTION

Le terrassement représente la tâche la plus importante car elle assure le nivellement du tracé et aussi la plus couteuse car elle nécessite une bonne maitrise des données et de la main d'œuvre.

Dans ce chapitre on va dans un premier temps définir les sections en remblais et en déblais avec ces pentes de talus et ces hauteurs et dans un dernier temps on donne des définitions sur la couche d'assise et ces constituants on et fait le calcul de l'épaisseur de cette couche.

VI.2. SECTION EN REMBLAI

Le profil en long de la section étudie montre que le terrain est difficile sauf du PK 40+550 au PK 41+050 ou le terrain est plat. Le tableau suivant représente les sections en remblai avec ses caractéristiques géotechniques et ses hauteurs maximales:

Tableau VI.1 Les sections en remblais.

PK Début	PK Fin	L (m)	H_{max} (m)	Nature du sol	Classification GTR	Pente Proposé	Largeur berme/Hauteur talus
31+000	31+725	725	8.78	Argile	A_3	2H/1V	berme 3m tous les 8m de hauteur
31+750	32+090	340	3.09				
35+341	35+818	477	14.13				
36+154	36+200	46	10.3	Argile	A_2		
36+381	36+931	55	15.39				
37+588	37+688	100	3.57	Argile des fragments rocheux	A_2		
37+836	38+376	54	10.98				
38+409	39+040	931	11.79				
39+715	39+814	99	3.88	Argile	A_3		
41+025	41+350	325	3.65	Argile	A_2		
42+157	43+107	95	18.53				
43+675	44+411	736	13.44	Sables et grave très silteux	B_5		
44+525	44+600	75	7.19				

Dans notre projet on trouve qu'il y a des remblais dont la hauteur est inférieure à 15 m et des remblais supérieurs à 15 m de hauteur, dans ce cas on traite les remblais inférieurs à 15 m comme des remblais ordinaires dont la pente est indiquée dans le tableau ci-dessus avec l'utilisation des matériaux de classe QS2.

La méthode d'analyse de la stabilité des talus permettent, à un stade donné de la construction, de déterminer le coefficient de sécurité d'un remblai vis-à-vis d'une rupture intéressant du remblai, connaissant :

- ✓ Les caractéristiques géométriques du remblai et des couches du sol de fondation.
- ✓ Les caractéristiques mécaniques du remblai et du sol de fondation.

- ✓ Le régime hydraulique (le plus souvent définition du niveau de la nappe).
- ✓ Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique (SNTF) sont les suivants :
  - Fs ≥ 1,5 pour la stabilité à long terme.
  - Fs ≥ 1,3 pour la stabilité à court terme.
  - Fs ≥ 1,0 pour l'analyse en conditions sismiques.

VI.3. SECTION EN DEBLAI

Pour les ouvrages en terre déblais, on a pratiquement 4 tronçons en déblais, le tableau ci-après présent leurs caractéristiques :

TableauVI.2 Les sections en Déblai.

PK Début	PK Fin	L (m)	H_{max} (m)	Niveau d'eau (m)	Nature du sol	Classification GTR	Pente Proposé	Largeur berme/Hauteur talus
32+090	35+341	3251	7.10	7	Argile	A_3ts	3H/2V	berme 3m tous les 6m de hauteur
36+200	36+381	181	5.05	12.35	Grés	R_4		
36+931	37+588	657	14.45	13				
37+688	37+836	148	5.48	10	Argile	A_3ts		
39+040	39+715	675	3.78	10				
39+814	40+425	611	11.02	13				
41+350	42+157	807	10.54	10				
43+107	43+675	568	5.13	9				
44+411	44+525	114	1.18	9				

Pour le cas des déblais ordinaires dont la hauteur est inférieur à 15 m (H_{max}<15m), les conditions de stabilité étant directement liées à la pente du terrain, le terrassement reste le moyen d'action le plus naturel.

VI.3.1. Réutilisation des matériaux en remblai

Les matériaux rencontrés en déblai le long du tracé sont classées selon GTR comme suit :

- ✓ Pour les Argile A_3ts
- ✓ Pour les Grés R_4

Les conditions de réutilisation de ces matériaux en remblai sont définies aussi dans le même guide :

- ✓ **A_3ts :** Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible et collants ou glissants à l'état humide d'où la difficulté de la mise en œuvre sur chantier. Ces sols ne sont pas utilisables en remblai. [14]
- ✓ **R_4 :** Ces matériaux sont assimilés à des conglomérats de grains de sable ou des galets liés entre eux par un ciment naturel de silice ou de calcite. Leur résistance est plus ou moins grande. [14]

D'après le GTR, ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR tel que préciser dans le référentiel technique.

Le tableau suivant les quantités de déblai et remblai dans notre projet :

Tableau VI.3 Les quantités de déblai et remblai

Remblai	**848226,85 m^3**
Déblai	**1566571,01 m^3**

VI.4. PLATE-FORME FERROVIAIRE

Constituée de sol rapporté en remblai ou en place en déblai, la partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme, a une pente transversale de 4%. Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM.Parfois la couche de forme est traitée aux liants hydrauliques, Par contre dans le cas de déblais elle est obtenue par compactage à 95% OPM sur une épaisseur minimal de30cm.[ ]

VI.4.1. Classification de la plate-forme

La classification selon la norme UIC 719 R, dont La qualité d'un sol dépend des deux paramètres suivants :

- ✓ La nature géotechnique du sol.
- ✓ 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 hydrologiques sont réputées mauvaises.

On distingue selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon les modalités de tableau, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

- ❖ **QS0:** Sols "impropres" à la réalisation d'une plate-forme correcte et nécessitant certaines mesures confortatives (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.). Pour cette raison, ces sols ne sont pas mentionnés ici lors du dimensionnement des couches d'assise et des couches de forme.

- **QS1 :** Sols "médiocres" acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié (traitement aux liants).
- **QS2 :** Sols moyens.
- **QS3 :** Bons sols.

Tableau VI.4 Classification de la qualité des sols (UIC 719R)

Classification des sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité de sol
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonnés, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (quick-Clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sels gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 06 Sols mixtes « minéraux organiques »	QS_0
1.1 sols comportant plus de 40% de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives par exemple : - craies de ρd<1.7 t t/m3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés 1.3 sols comportant de 15 à 40% de fines (sauf sols 0.2) 1.4 roches évolutives par exemple : -Craies de ρd<1.7 t/m 3 et de friabilité faible -Schistes non altérés 1.5 Roches tendres par exemple : Si micro Deval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles (LA) >40	QS_1
2.1 Sols comportant de 5 à 15% de fines 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniforme (Cu<6) 2 .3 Roches moyennement dures Par exemple: Si 25<MDE≤40 et 30<LA≤40	QS_2
3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures Par exemple : Si MDE≤25 et LA≤30	QS_3

VI.4.2. Classe de portance de la plate-forme

La portance d'une plateforme dépend de :

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

On peut distinguer les trois classes de portance de plateforme suivantes :

- ✓ P3 : bonne plate-forme.

- ✓ P2 : plate-forme moyenne.
- ✓ P1 : plate-forme mauvaise.

Tableau VI.5 La classe de portance de la plateforme (fiche 719R)

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS_1	P1 P2 P2 P3	QS_1 QS_2 QS_3 QS_3	- 0.50 0.35 0.50
QS_2	P2 P3	QS_2 QS_3	- 0.35
QS_3	P3	QS_3	-

VI.5. DIMMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE

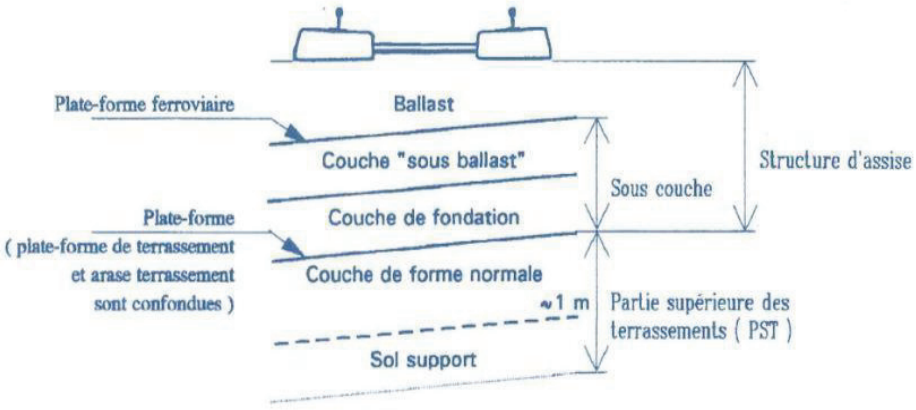
La couche d'assise est la partie qui se trouve en dessous des travers elle comprend la couche de Ballast et la sous couche. Elle assure l'amortissement qui résulte du contact Rail-Roue et aussi elle répartie les charges provenant des travers d'une manière uniforme sur la plate-forme.

La couche d'assise joue un rôle important dans la stabilité longitudinale et transversale de la voie, et dans l'évacuation des eaux par drainage.

VI.5.1. Types de structures d'assise

❖ **Structures d'assise avec une couche de forme intégrée**

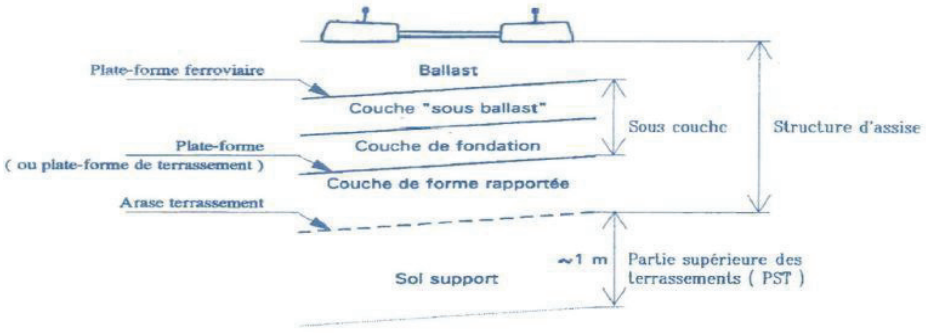
Lorsque la couche de forme constituera le sommet de la partie supérieur de terrassement (PST), elle est de même nature que l'ouvrage en terre et amélioré par compactage.



FigureVI.1 Structure d'assise avec couche de forme intégrée [19]

❖ **Structures d'assise avec couche de forme rapportée**

Lorsque la couche de forme constituée en matériau granulaire de meilleure qualité que ceux qui constituent l'ouvrage en terre.



FigureVI.2 Structure d'assise avec couche de forme rapportée [19]

VI.5.2. Les constituants de la couche d'assise

VI.5.2.1. Ballast

Les exigences de Ballast utilisé dans le chemin de fer sont décrient selon la norme NF EN 13450 (Août 2003) sous l'intitulé « **Granulats pour ballasts de voies ferrées »**

❖ **Classe Granulaire**

La classe du ballast de voie ferrée doit être désignée par deux dimensions de tamis en millimètre, **d** correspondant au plus petit tamis et **D** au plus grand, pour les ballasts de voies ferrées, D = 50 mm ou 63 mm et d = 31,5 mm.

❖ **Granularité**

La granularité du Ballast dans les réseaux ferroviaires est définie à partir de la norme EN 933-1, il doit être conforme aux catégories représentées dans le tableau suivant :

TableauVI.6 Catégories pour la granularité norme (Norme NF 13450).

Maille de tamis mm	Ballast de voie ferrée 31,5 mm / 50 mm			Ballast de voie ferrée 31,5 mm / 63 mm		
	Pourcentage en masse de passant					
	Catégorie de granularité					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97 à 100	95à100	97à99	95à99	93à99
50	70 à 99	70 à 99	70à99	65à99	55à99	45à70
40	30 à 65	30 à 70	25à75	30à65	25à75	15à40
31.5	1 à 25	1 à 25	1à25	1à25	1à25	0à7
22.4	0 à 3	0 à 3	0à3	0à3	0à3	0à7
31.5 à 50	≥ 50	≥ 50	-	-	-	-
31.5 à 63	-	-	-	-	-	-
NOTE 1 L'exigence pour le passant au tamis de 22,4 mm s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de production. NOTE 2 Dans certains cas, il est permis d'utiliser un tamis de 25 mm au lieu du tamis de 22,4 mm si une tolérance de 0 à 5 s'applique (0 à 7 pour la catégorie F).						

❖ **La forme**

La forme du Ballast de voie ferrée doit être définie par le coefficient d'aplatissement selon la norme EN 933-3, ce coefficient Il doit être exprimée par la catégorie correspondante spécifiée dans le tableau suivant :

TableauVI.7 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient d'aplatissement (Norme NF 13450)

Coefficient d'aplatissement	Catégorie FI
≤ 15 ≤ 20 ≤ 35 > 35	FI15 FI20 FI35 $FI_{Déclaré}$
Aucune exigence	FI_{NR}

❖ **La propreté**

La propreté du Ballast est déterminée par la teneur en fin conformément à la norme EN 933-1, les exigences sur la propreté sont données dans le tableau suivant :

TableauVI.8 Catégories pour la teneur en grains fins (Norme EN 13450)

Maille de tamis mm	Pourcentage maximal passant en masse				
	Catégorie de teneur en fines				
	A	B	C	Déclarée	D
0,063	0,5	1,0	1,5	> 1,5	Aucune exigence
NOTE L'exigence s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de production.					

VI.5.2.2. Sous couche

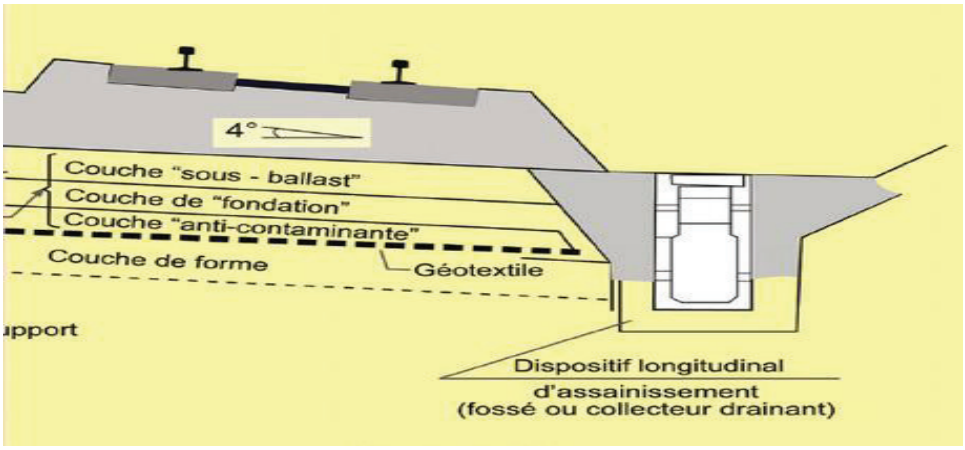
La sous couche est la partie intermédiaire entre la couche de Ballast et la plate-forme, elle peut être constitué d'une seul couche (monocouche) ou plusieurs couches (multicouche).

Elle comprend du haut vers le bas d'une couche de sous ballast en grave propre bien gradué (0/31.5), puis une couche de fondation si on a une mauvaise plate-forme et aussi s'il y a lieu de poser une couche anti-contaminatrice complété par des feuilles de géotextile ou géo-membrane.[3]

❖ **Le rôle du sous couche**

La sous-couche a pour fonction : [9]

- ✓ d'assurer, en complément du ballast, la répartition des charges transmises au niveau de la plate-forme.
- ✓ d'assurer la transition granulométrique entre le ballast et la plate-forme.
- ✓ de protéger la plate-forme du ruissellement des eaux de pluie qui s'infiltrent relativement vite à travers le ballast.
- ✓ de protéger la plate-forme du gel.



FigureVI.3 Les différentes couches d'assise. [9]

VI.5.3. Calcul de l'épaisseur de la couche d'assise

L'épaisseur de la couche d'assise « e » est la somme de l'épaisseur de Ballast et la sous couche, il est calculé par la formule suivant :

e = E + a + b + c + d + f + g (m) (UIC 719 R) avec :

E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC 714).
b : facteur dépendant de type de traverse.
c : facteur dépendant des conditions de travail.
d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules.
f : facteur dépendant de la vitesse.

Dans ce projet le sol est de type QS_1, et pour une vitesse de 160 km/h, le Maitre de l'ouvrage exige une plate-forme P3 dont il est nécessaire de maitre en place une couche de forme de classe QS_3.

Les donnes de base à prendre en considération pour la mise en forme d'une coupe transversale types sont :

- ✓ Système de la voie : rail UIC sur des traverses en béton.
- ✓ Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm.
- ✓ **E** = 0.45 m : pour une classe de portance P3.
- ✓ **a** = 0 m : pour les groupes UIC 1.
- ✓ **b** = (2.5-L)/2 : traverses en béton de longueur L=2.24 m (b et L en (m), b< 0 si L> 2.5m).
- ✓ b=0.13 m.
- ✓ **c** = 0 m : pour un dimensionnement normal.
- ✓ **d** = 0.05 : pour une charge maximale d'essieu égale à 22.5t.
- ✓ **f** = 0 m : pour la plateforme de portance P3, des lignes à grande vitesse.
- ✓ **g** (QS1)= 0.01 m : géotextile nécessaire.
- ✓ **e=0.45 + 0 + 0.13 + 0.05 + 0.01 = 0.64 m** ; on prend **e = 0.65 m.**

Une épaisseur $\mathbf{e_f = 0.50\ m}$ de la couche de forme de classe QS3.

Donc l'épaisseur totale est $\mathbf{e_{Total} = e + e_f = 0.65 + 0.5 = 1.15\ m = 115\ cm.}$

Les épaisseurs des différentes couches sont représentés dans le tableau suivant :

TableauVI.7 Tableau des épaisseurs de la couche d'assise

La couche :	Epaisseur (m) :
Ballast	0.3
sous-ballast	0.20
Couche de fondation	0.15
Couche de forme de type QS3	0.5

Chapitre VII Etude Hydrologique et assainissement

CHAPITRE VII ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISSEMENT

VII.1. INTRODUCTION

Le tracé de la voie ferrée traverse un certain nombre de bassins versants hydrologiques qu'on se propose d'étudier. Les précipitations avec de fortes intensités provoquent des inondations sur certains endroits de la voie ferrée qui présentent une topographie favorable à ces catastrophes.

La protection de la plateforme nécessite un bon drainage et une évacuation correcte des eaux pluviales de manière à empêcher la submersion et éviter toute stagnation des eaux de ruissellement dans les points bas après averses.

VII.2. PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE

VII.2.1 Présentation générale

La région d'étude se situe à l'extrême Est algérien, sur le territoire de la wilaya de Souk-Ahras, le tracé de la ligne minière tronçon Bouchegouf – Oued Kébarit traverse le bassin versant de l'oued Mellègue qui porte le numéro 12 selon la codification de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H).

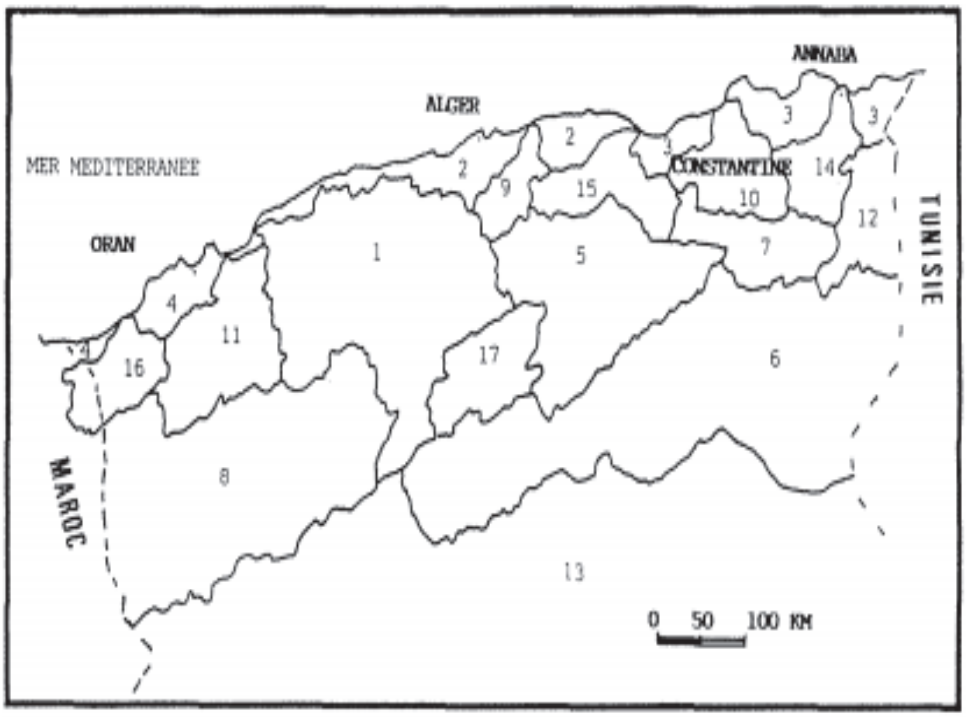


Figure VII.1 Les bassins versants de l'Algérie [11]

Tableau VII.1 Caractéristiques morpho métriques du bassin versant de l'oued Mellègue [11]

N°SBV	S(Km²)	P(Km)	Lw(m)	H.min(m)	H.max(m)	H.moy(m)
12	7811.57	609.24	4362.21	250	1600	925

Ce bassin versant est subdivisé en 05 sous bassins versants, seul le sous bassin versant n° 1201 (Oued Medjerdah) est traversé par le tracé de la Ligne Minière, Tronçon Taoura –Drea.

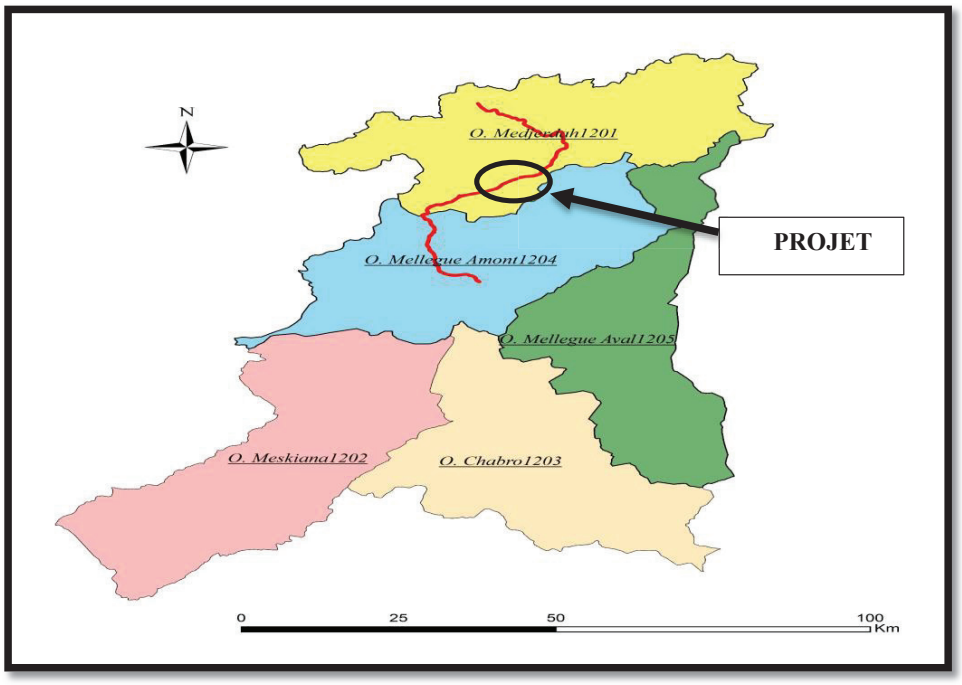


Figure VI1.2 Les sous bassins versants de l'oued Mellègue [11]

Tableau VII.2 Caractéristiques morpho métriques du sous bassin versant de l'oued Medjerdah [11]

N°SBV	Oued	S(Km²)	P(Km)	Lw(m)	Kc	H.min(m)	H.max(m)	H.moy(m)
1201	O. Medjerdh	1524.72	266.01	708.73	1.91	250	1400	825

VII.2.2. Le climat

❖ **Températures**

La région de l'étude est caractérisée par un climat méditerrané avec un été chaud et un hiver froid dont la température moyenne annuelle est de l'ordre de 14.6°C au niveau de la station de Souk-Ahras.

Tableau VII.3 Moyenne annuelles et mensuelles des températures à la station de Souk-Ahras [10]

STATION	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne Annuelle
Souk-Ahras 1965-2002	21	15.9	11.2	7.3	6.3	6.3	9.3	13	15.9	20.5	23.9	24	14.6

L'examen du tableau précédent révèle que la température la plus basse a été observée en Janvier avec 6.3°C tandis que le maximum apparaît en Aout avec 24°C. Pour la température moyenne, elle est estimée à 14.6°C.

❖ Humidité (les zones bioclimatiques)

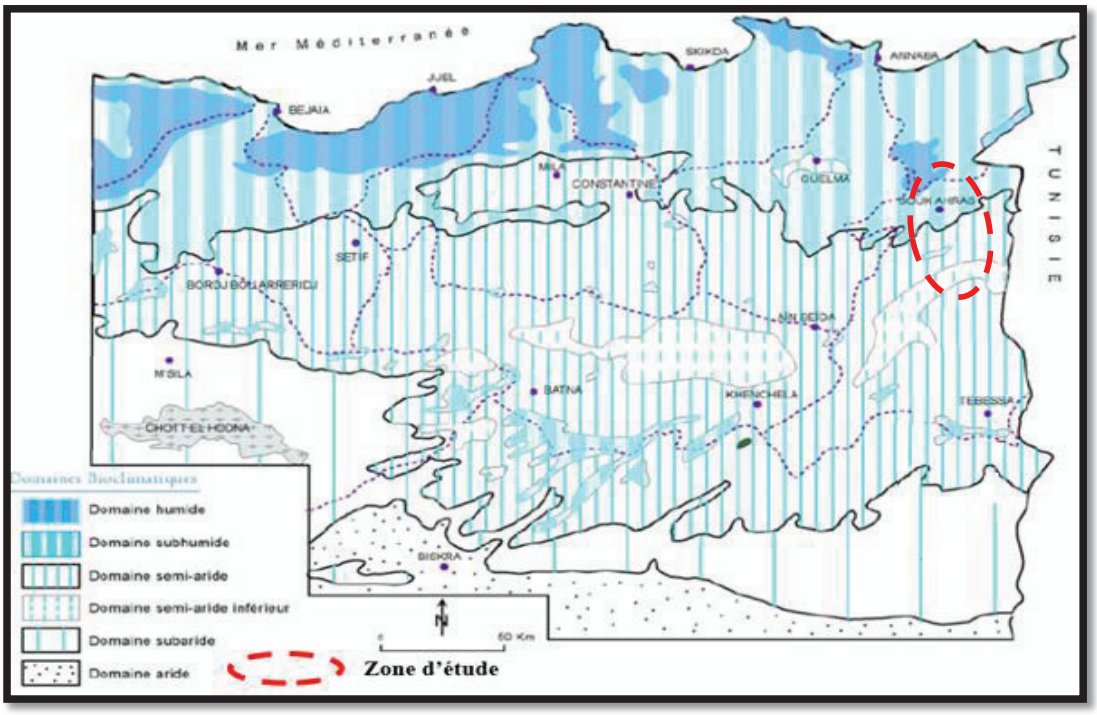


Figure VII.3 Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien [10]

- Humide (pluviométrie annuelle P supérieure à 900 mm).
- subhumide (P > 600 mm environ).
- Semi-aride (300-350 < P < 550-600 mm, net déficit hydrique).
- Subaride (P < 350 mm, nombre de mois secs > nombre mois humides).
- Aride (P < 150 mm, 12 mois biologiquement secs).

D'après cette carte la zone d'étude est caractérisée par un climat subhumide à semi-aride (entre Souk-Ahras et oued Kebarit).

VII.2.3. Précipitations

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie, averse) que sous forme solide (neige, grêle) et les précipitations déposées (rosée, givre).

Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.

❖ Pluies annuelles

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles pour différentes fréquences.

Tableau VII.4 Valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies [11]

T[ans]	100	50	20	10
Fréquence	0,99	0,98	0,95	0,9
Taoura	1101.4	1029.3	921.2	825.2

VII.2.4. Caractéristiques des bassins versants

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Les caractéristiques des bassins versants comportant la superficie et périmètre, la longueur du thalweg principal et sa pente longitudinale ont été déterminées à partir de ces cartes topographiques. Ce sont des paramètres physiques fixes qui régissent les conditions de formation des crues.

Après digitalisation des bassins versants sur les cartes topographiques, sous le logiciel Autocad, les paramètres suivants ont été déterminés :

Tableau VII.5 La délimitation des bassins versants

BV	PK	S (km²)	P (km)	$L_{éq}$ (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Δh(m)	pente talweg (m/m)
1	32+342	0.54	3.87	1.46	960	860	910	100	6.8
2	32+490	1.29	5.16	1.78	941	860	900.5	81	4.6
3	34+093	0.22	2.42	1.01	933	876	904.5	53	5.6
4	34+279	0.29	2.95	1.06	932	874	903	57	5.5
5	34+682	0.71	4.44	1.46	937	871	904	58	4.5
6	35+591	0.90	4.06	1.33	927	838	882.5	66	6.7
7	36+031	10.52	15.60	6.75	1067	823	945	89	3.6
8	36+682	1.59	6.11	0.84	856	817	836.5	244	4.6
9	38+732	20.65	24.86	5.68	1003	826	914.5	39	3.1
10	42+326	20.22	24.01	7.89	971	815	893	177	2.0
11	43+974	5.20	12.21	4.60	953	823	888	156	2.8

- PK : point kilométrique.
- S : Surface du bassin versant (Km²).
- P : Périmètre du bassin versant (Km).
- L : Longueur du plus long cours d'eau (Km).
- Hmax : Altitude maximale (m).
- H min : Altitude minimale (m).

VII.3. ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE

VII.3.1. Temps de concentration [7]

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.

La formule de de calcul a été choisie en fonction de la superficie du bassin versant :

❖ **Superficie inférieure à 5 km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de VENTURA :

$$Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}$$

- Tc : temps de concentration (heure).
- S : superficie du bassin versant (Km²).
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

❖ **Superficie comprise entre 5 et 25 Km²**

Le temps de concentration est calculé par la formule de PASSINI :

$$Tc = 0.11 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}$$

- Tc : temps de concentration (heure) ;
- S : superficie du bassin versant (Km²) ;
- L : longueur du cours d'eau principal (Km) ;
- I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

VII.3.2. Estimation de débits d'apport (Q) [7]

L'intérêt de la détermination du débit d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus de ces événements hydrologiques.

Pour évaluer les débits des bassins versants aux sites des franchissements du tracé par les écoulements superficiels, on utilise des formules empiriques qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants suivantes, il s'agit de la Formule Rationnelle

$$Q = K.C.I.A$$

K=0.278 : Coefficient qui permet de convertir les (mm/h) en (l/s).
Q : Débit des eaux pluviales (m3/s).
I : Intensité maximale des précipitations (mm /h).
A : Aire d'apport en (Km2).
C : Coefficient de ruissellement.

VII.3.2.1 Détermination du coefficient de ruissèlement (Cr)

Le coefficient de ruissellement a Pour but de caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler

Le coefficient de ruissellement **Cr** est calculé selon la formule Kenessey :

$$Cr = C1 + C2 + C3$$

- ❖ C1 : dépend de la pente du cours d'eau principal
- ❖ C2 : dépend de la perméabilité du terrain, donné à partir de l'information concernant la nature du sol et de ses caractéristiques.
- ❖ C3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau VII.6 Les valeurs de C1

Pente	Intervalle	Valeurs prises
Pente ≤ 3.5	0.01 - 0.05	0.03
3.5 < Pente ≤ 11	0.06 - 0.1	0.08
11 < Pente ≤35	0.12 - 0.2	0.16
Pente >35	0.22 - 0.3	0.26

Tableau VII.7 Les valeurs de C2

Nature du terrain	Intervalle	Valeurs prises
terrains imperméables	0.22 – 0.3	0.26
terrains pas assez perméables	0.1 – 0.2	0.15
terrains perméables	0.06 – 0.1	0.08
terrains très perméables	0.03 – 0.05	0.04

Tableau VII.8 Les valeurs de C3

Etat de végétalisation	Intervalle	Valeurs prises
terrains rocheux	0.22 – 0.3	0.26
Gazon	0.17– 0.25	0.21
champs labour	0.07 – 0.15	0.11
forêts et les sols sableux	0.03 – 0.05	0.04

VII.3.2.2 Intensité de la pluie [7]

L'intensité de la pluie est déterminé comme ce suit :

$$I(t, T) = a(T)*t^{-b}$$

- I(t, T) : Intensité de pluie en mm/h.
- T : période de retour.
- t : temps en heures.
- a et b : paramètres de Montana.

Tableau VII.9 valeurs du paramètre « a » selon les fréquences [11]

T		2	5	10	20	50	100
a(T)	Souk Ahras	13,7	18,9	22,4	25,7	30	33,2

TableauVII.10 valeurs du paramètre « b » selon la station [11]

Station	B
Souk Ahras	0,62

VII.3.3 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques

Les ouvrages d'assainissement ont pour objet d'assurer la collecte, le transport et le traitement éventuel des eaux usées et pluviales

Les ouvrages projetés doivent pouvoir évacuer, dans les conditions satisfaisantes, les volumes d'eau des bassins qu'ils desserrent.

Les vitesses d'écoulement pour le débit de projet doivent être comprises entre 0.3 m/s à 5 m/s pour assurer la durabilité des ouvrages.

Le fil d'eau à l'amont en entrée de collecteur doit respecter :

Pour le dalot :

- Ht ≤ 2.5 m : Hu =80% la hauteur totale.
- Ht > 2.5 m : Hu = Ht-0.5.

Le dimensionnement de ces ouvrages correspond à une période de 100 ans pour les ouvrages hydrauliques transversaux (ponts, dalots et buses).

N.B Le débit final pour les ouvrages transversaux : $Q_f = Q_{fossé} + Q_{app}$

❖ **Débit de saturation** [7]

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art.

Ces ouvrages seront dimensionnés pour un évènement pluvieux d'occurrence centennale.

Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de Manning Strickler :

$$\mathbf{Qs=V.Su} \text{ et } \mathbf{V=Kst.I^{1/2}\,Rh^{2/3}}$$

- ✓ Kst : coefficient de rugosité.
- ✓ I : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- ✓ Rh : rayon hydraulique= section mouillée/périmètre mouillé.
- ✓ St : section totale de l'ouvrage (m²).
- ✓ Su : section utile de l'ouvrage (m^2).
- ✓ b : largeur de l'ouvrage (m).
- ✓ Hu : hauteur utile (m).

TableauVII.11 valeurs du coefficient de rugosité [11]

Nature de l'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriqué)
Kst	30	40	50	70	

Pour le cadre de ce projet, tous les ouvrages hydrauliques sont conçus en béton armé, dont leurs coefficient de rugosité de Manning-Strickler est égal à 70.

VII.3.3.1. Dimensionnement des buses [7]

Les buses sont des ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé, identifié par le diamètre (Ø), dans notre projet les buses sont en béton.

Selon SNTF le diamètre minimum des buses de traversée est de 1,50 m et l'écoulement ne dépasse pas une vitesse de 5m/s.

On calcule les dimensions de la buse par la formule de Manning Strickler.

On a: $$Qs = Ks.Rh^{2/3}.Sm.\ I^{1/2}$$

Avec:

$$Sm=\pi.D^2/4$$

$Rh = D/4$

A la saturation: $Qmax = Qs = Ks.Rh^{2/3}.Sm.\ I^{1/2}$

$Qa = Ks.I^{1/2}.(\pi/4).D^{8/3}.(1/4)^{2/3}$

$$\mathbf{D = \left(\frac{Q}{Ks.\sqrt{I}.(\pi/4).(1/4)\hat{}2/3}\right)^{3/8}}$$

Dans le cadre du notre projet

Au niveau de PK 35+591 pour un débit de crue Qa =4.2 m^3/s on a trouvé D =1.27 m.
On prend un diamètre de 1.5m donc une buse de **ϕ1500 mm** pour des raisons de sécurité.

❖ **Vérification conditions d'auto curage**

Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissages de 1% et 10% des débits, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :

V > 0.6 m/s pour : Q = 0.1 Qps.
V > 0.3 m/s pour : Q = 0.01 Qps.

Dans le cadre du notre projet

TableauVII.12 Vérification conditions d'auto curage

PK	V(0.1)>0.6 m/s	V(0.01)>0.3 m/s
35+591	2.049	1.056

VII.3.3.2. Dimensionnement des dalots [7]

Les dalots sont des ouvrages transversaux de section rectangulaire ou carrée et exécutés exclusivement en béton armé. Ils sont constitués d'un radier, de deux murs et d'une dalle. Ils ont une capacité d'évacuation des débits plus importants que ceux des buses, ils sont placés sous les remblais.

Selon SNTF Les dimensions minimales des dalots est celle de dalot (1.5 m x 2 m) et l'écoulement ne dépasse pas une vitesse de 5 m/s.

On calcule par itération les dimensions du dalot en utilisant la formule de Manning Strickler

$$\mathbf{Qs = Ks.Rh^{2/3}.Sm.\ I^{1/2}}$$

La surface mouillée : $Sm = hu.b$
Le périmètre mouillé : $Pm = b+2hu$.
Le rayon hydraulique : $Rh = hu.b/(b+2hu)$
A la saturation : $Qmax = Qs = Ks.Rh^{2/3}.Sm.\ I^{1/2}$

$$Qa = Ks.I^{1/2}.hu.b\ .\ (hu.b/(b+2hu))^{2/3}$$

$$\mathbf{hu_{i+1} = (Q/K.I^{1/2}.b)^{3/5}.((b+2.hu_i)/b)^{2/5}}$$

Dans le cadre du notre projet

On prend le cas où : Qa=21.67 m^3/s et I=0.5 % au PK 38+732.
Après les itérations (Pour L=4m) on a trouvé:
hu = 1.03 ⟶ ht = 1.29 < 2 m. Ce qui donne: L=4 m et H=2m.

Donc les conditions sont vérifiées.

Les différents ouvrages hydrauliques de notre projet sont présentés dans l'ANNEXE 5.

VII.3.3.4. Dimensionnement des fossés [7]

Les dispositifs de drainage longitudinaux ont pour fonction de recevoir ou de drainer les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme dans les structures d'assise, les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants et les eaux internes éventuelles.

Un fossé d'une section trapézoïdale (avec déclivité du talus 2:3), sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme.

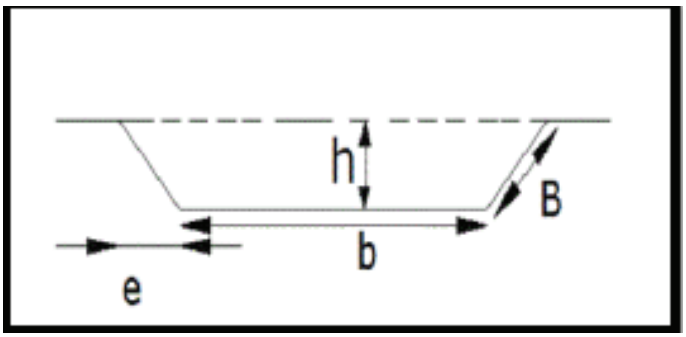


Figure VII.4 Fosse trapézoïdale

La pente ne doit pas être trop faible (<0,2%) : risque de débordement et de colmatage (boucher et fermer).
La pente ne doit pas être trop forte (>3%) : risque de ravinement (érosion et affouillement).
Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$Q_s = K_s . R_h^{2/3} . S_m . I^{1/2}$$

- **Q :** Débit décennal (en m^3/s).
- **Ks :** Coefficient de rugosité Strickler (Ks = 70 correspondant à des fossés consolidés revêtement en béton grossier).
- **Sm :** Superficie de la section du fossé Sm= $(b+z.h).h$
- Le périmètre mouillé $Pm = b+2h.(1+z^2)^{1/2}$
- **Rh :** Rayon hydraulique $Rh=Sm/P$, avec : z la pente des berges.
- **I :** Pente (La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie).

Le calcul des débits engendrés par les écoulements ruisselés sur les talus du terrain naturel et les plates-formes de la voie ferroviaire, a été effectué pour une période de retour de 10 ans.

Notre tracé passe au-dessous du niveau des oueds, alors on est obligé de calculer le débit équivalent de ces oueds on utilisant les lois suivantes sachant que ces bassins versants sont assemblés en série:

$$Aéq = \sum Ai \quad ; \quad Créq = \frac{\sum Cri * Ai}{\sum Ai} \quad ; \quad Tcéq = \sum Tci$$

TableauVII.13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai

		Remblai	Déblai
		Le cas le plus défavorable : Longueur = 1117 m Htalus = 11.8 m Bermes = 0.3m Largeur de plateforme =13.6m	Le cas le plus défavorable : Longueur = 1600 m. Htalus = 7.07 m. Bermes = 0.3 m. Largeur de plateforme =13.6 m.
Plateforme	Cr	0.27	0.27
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.01519	0.02176
	Tc(h)	0.078	0.094
	I (mm/h)	108.93	97
	Q (m^3/s)	0.124	0.158
Les bermes	Cr	0.45	0.45
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(Km^2)	0.000335	0.000498
	Tc(h)	0.012	0.0141
	I (mm/h)	347.66	314.58
	Q (m^3/s)	0.0145	0.0195
Les talus	Cr	0.52	0.52
	P (m/m)	0.5	0.66
	A(Km^2)	0.02947	0.0204
	Tc(h)	0.03	0.0223
	I (mm/h)	197	236.75
	Q (m^3/s)	0.839	0.698
Qa (m^3/s)		Qpf + Qb +Qt = 0.978 m^3/s	$1/(\frac{1}{Qt,éq + Qb + Qt} + \frac{1}{Qpf}) = 2.51 m^3/s$

Les types des fossés adoptés pour notre projet sont :

- **En remblai :** un fossé de dimensions : b=0.5m, h=0.4m avec une berge de 3/2.
- **En déblai :** un fossé de dimensions : b= 0.6m, h=0.5m avec une berge de 3/2.

Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : b=0.6m, h=0.5m avec une berge de 3/2.

Chapitre VIII Conception des ouvrages d’art

CHAPITRE VIII CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART

VIII.1. INTRODUCTION

La conception d'un pont résulte, le plus souvent, d'une démarche itérative dont l'objectif est l'optimisation technique et économique de l'ouvrage de franchissement projeté vis-à-vis de l'ensemble des contraintes naturelles et fonctionnelles imposées, tout en intégrant un certain nombre d'exigences de qualité architecturale ou paysagère. Et suite à ces recommandations et dans la phase de la conception de notre présent ouvrage nous proposons trois variantes qu'on va les comparer, afin d'en choisir une, qui sera jugée comme étant la variante la plus avantageuse.

VIII.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET

Nous avons rencontré plusieurs obstacles et infrastructures au niveau du tronçon étudié, pour cela nous avons projeté les ouvrages suivants :

Tableau VIII.1 Les différents ouvrages du notre projet

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage projeté
Route	34+356	Passage supérieure
Route	35+818 au PK36+154	Viaduc
Route	38+376 au PK 38+409	Passage inferieure
Route	40+450	Passage supérieure
Route	42+893	Passage supérieure
Route	44+394	Passage supérieure

VIII.3. PRESENTATION DES OUVRAGES FERROVIAIRE DU PROJET

Le tracé contient 2 ouvrages d'art ferroviaire, l'un pour franchir une route et un oued (viaduc) sur une longueur de 340 m au niveau du PK 35+818 au PK36+154 et l'autre pour franchir la RN 06 (passage inferieur) sur une longueur de 33 m au niveau du PK 38+376 au PK 38+409.

Ces ouvrages d'art ont été dimensionnés pour deux voies et pour l'emplacement des équipements d'électrification de la voie.

Tableau VIII.2 Les caractéristiques des ouvrages d'art

Caractéristiques		Viaduc	Passage inferieure
La portée (m).		340	33
La pente longitudinale de (%).		1.58	0.53
Le profil en travers	Largeur du tablier (m).	14	14
	Nombre de voies	2	2
	L'entrevoie (m)	4.2	4.2
	Largeur de trottoir (m)	1	1

VIII.4. CRITERES DE CHOIX DU TYPE DE L'OUVRAGE

Pour franchir un obstacle donné, on recherche normalement la solution la plus économique respectant les contraintes imposées dont la nature peut être très diverse. Pour aboutir au meilleur choix, il doit d'une part bien connaître la gamme des solutions possibles, avec leurs sujétions, leurs limites et leur coût, et d'autre part être en mesure de recenser et d'évaluer les contraintes avec la plus grande précision possible, afin de limiter au maximum les risques pendant l'exécution.

Dans le cas de notre franchissement, plusieurs variantes peuvent être envisagées, mais, tout d'abord, nous citons les différents critères de choix qui sont :

L'obstacle à franchir : Oued, route.

- ✓ La fonction mécanique : isostatique ou hyperstatique.
- ✓ La disposition en plan : courbe, droite.
- ✓ Leur durée de vie prévue : définitive.
- ✓ Les positions possibles des appuis.
- ✓ La nature du sol de fondation.
- ✓ Les gabarits à respecter.

Pour la conception du pont, il y'a une grande gamme de tabliers. Nous nous limiterons aux variantes suivantes :

Tableau VIII.3 Les variantes a choisi

Variante	viaduc	Schéma statique	Passage inferieure	Schéma statique
Pont à poutres précontraintes par post tension.	✓	Travée Indépendante	✓	Travée Indépendante
Pont mixte (poutre métallique +dalle en béton armé).	✓	hauteur variable	✓	Travée Indépendante
Pont voussoirs en béton précontrainte construit par encorbellement	✓	hauteur variable	X	X

VIII.5. VARIANTE 01 PONTS A POUTRES PRECONTRAINTES PAR POST-TENSION

Les poutres sont précontraintes par câbles (poste tension), Leur préfabrication à terre permet d'économiser l'utilisation souvent onéreuse d'un cintre, les ponts à poutres en B.P, sont utilisés pour le franchissement des portées intermédiaires de l'ordre de 25m à 50m. Leurs portées les plus économiques situent entre 25 et 35m.

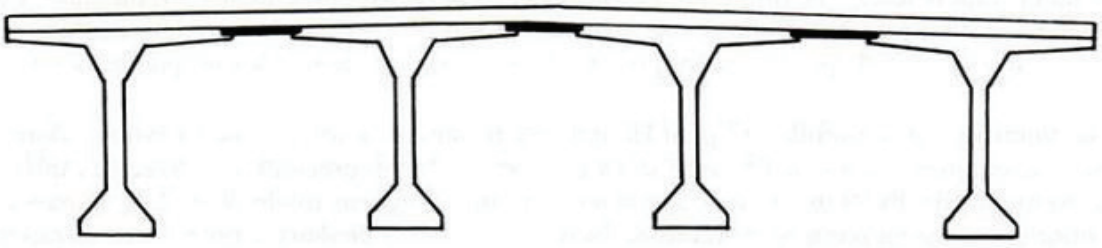


Figure VIII.1 Coupe transversale d'un pont a poutres précontraintes

❖ Avantage

- ✓ Une meilleure utilisation de la matière (toujours en compression).
- ✓ La possibilité d'assembler des éléments préfabriqués sans échafaudages.
- ✓ Offre des grandes portées.
- ✓ Economiser le béton.
- ✓ Légers par rapport aux ponts à poutres en béton armé.
- ✓ Simplicité et rapidité d'exécution, ce qui réduit les délais et le coût.

❖ Inconvénients

- ✓ Nécessite un savoir-faire (c'est-à-dire main d'œuvre qualifié).
- ✓ L'obligation d'attendre que la mise en tension soit faite pour pouvoir décintrer ou décoffrer.
- ✓ l'épaisseur relativement importante du tablier en comparaison avec d'autres structures précontraintes (ponts-dalles, ponts-caissons) peut poser des problèmes de gabarit et entraîner un surcoût des remblais d'accès à l'ouvrage.
- ✓ Les poutres sont plus sensibles que des structures massives aux chocs transversaux de véhicules hors gabarits.
- ✓ La hauteur importante des poutres et leur poids qui augment au fur et à mesure que leur portée augmente.

VIII.5.1. Pré dimensionnement de la variante 01

❖ Nombre des poutres

Le nombre des poutres est déterminé par le rapport entre la largeur et l'espacement entre les poutres :

On a $N = \frac{La}{d} + 1$

La: Entraxe entre les poutres d'extrémité, égale à : La =B - (b/2) x 2=12.8 m.
d : entraxe des poutres : 2,5 ≤d ≤3,5
On fixe l'espacement à: d =2.2 m.
N=(12.8/2.2)+1=7 poutres.
On prend le nombre des poutres **N=7 poutres.**

❖ **Elancement de la poutre**

Selon CALGARO l'élancement usuel et économique de la poutre se situe aux environs de 1/17 de la portée sachant que la longueur de la poutre

Tableau VIII.4 Hauteurs des poutres

	Viaduc	Passage inferieure
Longueur de la poutre L_P	34 (10 travées)	33 (1 travée)
Hauteur de la poutre $h=L/17$	2	1.9

❖ **Hourdis**

L'épaisseur de l'hourdis est directement liée à la portée transversale du hourdis et donc à l'espacement des poutres. Il varie de 16 à 25 cm donc on prend $\mathbf{e_h=20\ cm.}$

❖ **Epaisseur de l'âme en travée (Ea)**

Pour le cas de vibration externe l'épaisseur de l'âme est donnée par la formule suivante :

$\mathbf{Ea \geq 14 + \Phi}$, avec Φ = 0,08 m (diamètre de la gaine de précontrainte).

Donc **Ea=25 cm.**

Au droit de l'appui, l'épaisseur de l'âme est supérieure à **30 cm**.
L'épaisseur de l'about de poutre est souvent voisine de **0,50 m**.

❖ **Largeur de table de compression (b)**

$b \geq 0{,}6\ hp$

Tableau VIII.5 Largeur de table de compression

	Viaduc	Passage inferieure
Largeur (b)	1.2	1.2

❖ **Epaisseur de table de compression (e)**

$12 \leq e \leq 15$ cm
On fixe : **e = 15 cm.**

❖ **Largeur de talon (Lt)**

La largeur des talons dépend de l'élancement des poutres, mais elle est pratiquement insensible à leur portée. Pour des poutres élancées au l/17, elle varie de 60 à 90 cm lorsque la distance entre axes des poutres varie de 2,50 à 4 m. donc on prend **Lt =0.7 m.**

❖ **Epaisseur de talons**

La partie verticale du talon ou pied de talon est généralement comprise entre 0,10 m et 0,20m. Pour des largeurs de talons variant de 0,60 m à 0,90 m. donc on prend **Et = 15 cm.**

❖ **Les entretoises d'about**

Les entretoises étant coulées en place, leur épaisseur résulte de conditions de bonne mise en œuvre du béton, puisque, comme pour les âmes, on doit ménager des cheminées de

bétonnage entre le ferraillage passif. Dans la pratique, cela amène à une épaisseur de l'ordre de 25 à 30 cm.

Les entretoises ont une hauteur voisine de celle des poutres.
On prend une entretoise d'épaisseur de 25 cm.

- **Pré-goussets :** ils ont une pente compris entre 1/10 et 1/5, on prend i=1/10.
- **Goussets :** ils forment un angle d 45° à 60° avec l'horizontale, on prend Θ = 45°.

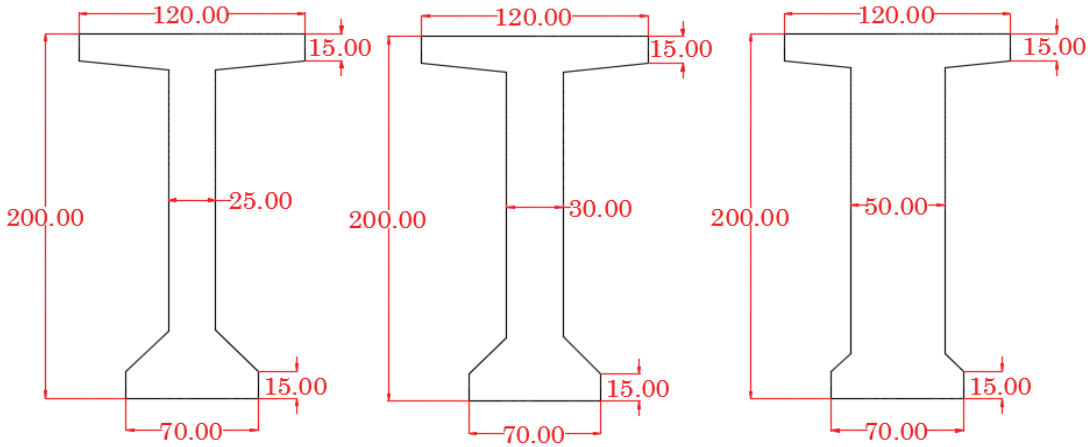


Figure VIII.2 Coupe transversale de la poutre pour le viaduc

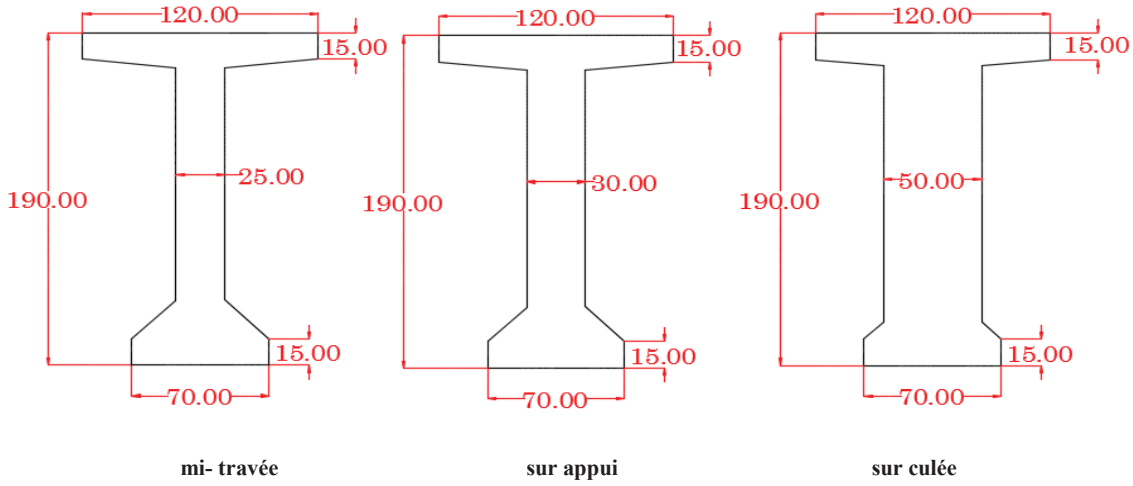


Figure VIII.3 Coupe transversale de la poutre pour le passage inferieure

VIII.6. VARIANTE 02 PONT MIXTE (POUTRE METALLIQUE +DALLE EN BETON ARME).

Le tablier bipoutre constitue est le tablier métallique le plus simple. Avec un platelage en béton armé connecté à la poutraison, le bipoutre mixte est actuellement le type de tablier le plus économique.

Structurellement, le bipoutre convient aussi bien aux ponts rails qu'aux ponts routes, quelle que soit la largeur de la chaussée, en jouant sur le mode d'entretoisement.

Le tablier multi poutre comprend plusieurs poutres espacées de 3 à 5 m. Cette formule, qui a très longtemps dominé le marché avant l'introduction du bipoutre dans les années soixante, est désormais réservée aux tabliers très larges ou très élancés.

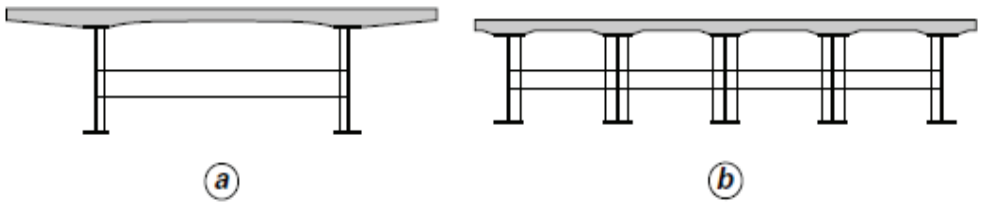


Figure VIII. 4 Tabliers bipoutre et multi poutres

❖ **Les avantages**

- ✓ Légèreté par rapport aux tabliers des autres types de ponts qui va rendre le transport aisé, on raison du poids peu élevé qui permet de transporter loin en particulier à l'exécution.
- ✓ La précision dimensionnelle des structures.
- ✓ Simplicité d'usinage des poutres à âmes pleines.
- ✓ Les ponts métalliques présents une rigidité à la torsion élevée permettent l'utilisation de poutres dans des ponts et des échangeurs horizontalement courbent.
- ✓ La possibilité de franchir des grandes portées.
- ✓ La rapidité d'exécution globale.

❖ **Les inconvénients**

- ✓ Le problème majeur des ponts métallique et mixte c'est l'entretient contre la corrosion et le phénomène de fatigue dans les assemblages.
- ✓ Le risque de flambement des pièces comprimées, et le risque du renversement ou le voilement lors du montage ainsi qu'en service.
- ✓ Les sollicitations climatiques la différence de température entre le béton et l'acier surtout lorsque les poutres ne sont pas encore protégées par le tablier en béton.
- ✓ Une surveillance avec visite périodique.
- ✓ La main d'œuvre doit être qualifiée surtout (les soudeurs).
- ✓ Le coût est très élevé.

VIII.6.1. Pré dimensionnement de la variante 02

❖ **Calcul de l'entraxe « d »**

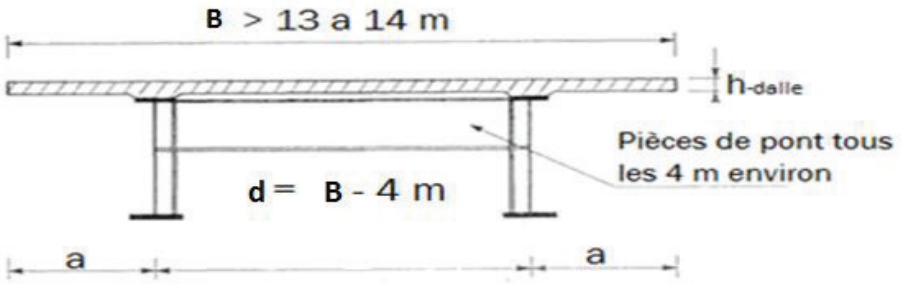


Figure VIII.5 Coupe transversale d'un pont métallique bipoutre

d = 14 – 4 = **10 m.**

❖ Nombre des poutres

Le nombre de poutres est déterminé par le rapport entre la largeur de tablier et l'espacement entre les poutres :

$$N = \frac{B}{d} = \frac{14}{10} = 2 \quad \textbf{(2 Poutres).}$$

Avec :
B: largeur totale du tablier égale à 14m.
d : l'espacement entraxes des poutres égale à 10m.

❖ Elancement de la poutre

Tableau VIII.6 Hauteurs des poutres

Ouvrage	L(m)	Intervalle de la hauteur		Valeur pris de la hauteur(m)
Passage inferieure	33 (1 travée)	22 ≤ L/ hw ≤ 25		1.5
viaduc	64 (6 travées)	Sur pile	H = L/25	3
		Sur culée	L/60 ≤ H'' ≤ L/50	1.2
		A la clé des travées	L/50 ≤ H' ≤ L/40	1.5

❖ L'épaisseur de la dalle

Selon **SETRA**, pour le cas d'un ouvrage à entretoise l'épaisseur de la dalle varie entre **23cm** et **30cm.** Pour notre cas on prend une épaisseur de **30cm.**

❖ Epaisseur de l'âme

L'épaisseur de l'âme de la poutre maîtresse doit respecter les quatre conditions suivantes :

- ✓ Résistance à la corrosion.
- ✓ Résistance au cisaillement.
- ✓ Flambage vertical de la semelle dans l'âme.
- ✓ Fatigue.

En considérant ces quatre critères nous allons dimensionner l'âme des poutres sachant que :
tw (mm)=10+LB/100
Avec :
L : portée déterminante.
B : largeur du tablier.

❖ Largeur et épaisseur des semelles

Les semelles sont presque exclusivement confectionnées en acier E 355 R, pour éviter tout risque de voilement lorsqu'elles sont comprimées, le rapport de leur largeur 'b' à leur épaisseur 't' doit respecter la condition suivante pour une portée va de 30 à 100 m.

$$\frac{b}{t} \leq 0.9\sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Où E : est le module d'élasticité de l'acier égal à 2.105 MPa.
fy : limite d'élasticité de l'acier égale à 355 MPa.

Tableau VIII.7 Les dimensions des poutres

dimensions	Notation	Intervalle des valeurs (mm)	Valeur adoptée pour le viaduc (mm)	Valeur adoptée pour le P I (mm)
Epaisseur de la semelle supérieure	$t_{f,sup}$	19 à 38	35	25
Epaisseur de la semelle inférieure	$t_{f,inf}$	24 à 57	40	30
Epaisseur de l'âme	t_w	10 à 25	25	20
La largeur de la semelle supérieure	$b_{f,sup}$	400 à 800	700	500
La largeur de la semelle inferieure	$b_{f,inf}$	500 à 1200	800	600

❖ Entretoise

Selon CALGARO si le tablier est assez large (12 m à 14 m) une solution consiste à appuyer la dalle longitudinalement sur les deux poutres et transversalement sur des pièces de pont espacés tous les 4 m environ.

Âme : épaisseur : **10 à 12 mm.**
Hauteur : de l'ordre de **1/10ème** à **1/15ème** de la largeur **L_t.**
Semelles : largeur : **220 à 300 mm.**
Épaisseur : environ **20 mm**.

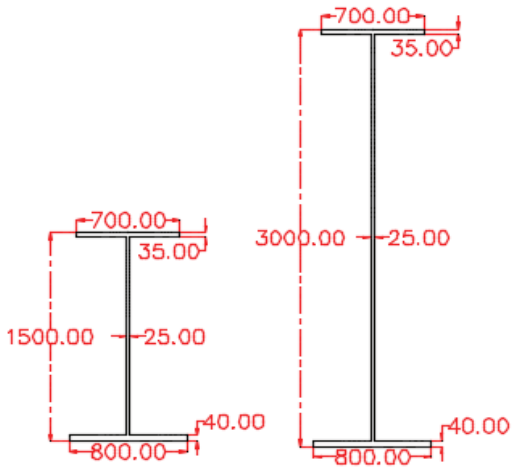


Figure VIII.6 Coupe transversale de la poutre pour le Viaduc

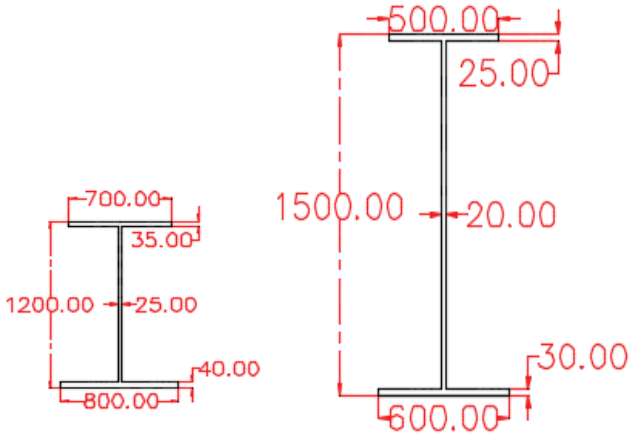


Figure VIII.7 Coupe transversale de la poutre pour le passage inferieure

VIII.7. VARIANTE 03 PONT VOUSSOIRS EN BETON PRECONTRAINTE CONSTRUIT PAR ENCORBELLEMENT (POUR LE VIADUC)

La construction par encorbellements successifs permet de réaliser des ouvrages en béton précontraint très variés. En effet :

• la gamme des portées envisageables est très large (entre 40 et 200 m).
• la voie portée peut avoir n'importe quelle géométrie tant en plan qu'en long.

La méthode peut être mise en œuvre quelles que soient les caractéristiques naturelles de la brèche (profondeur importante, versants abruptes, sols de très mauvaise qualité, site maritime...)

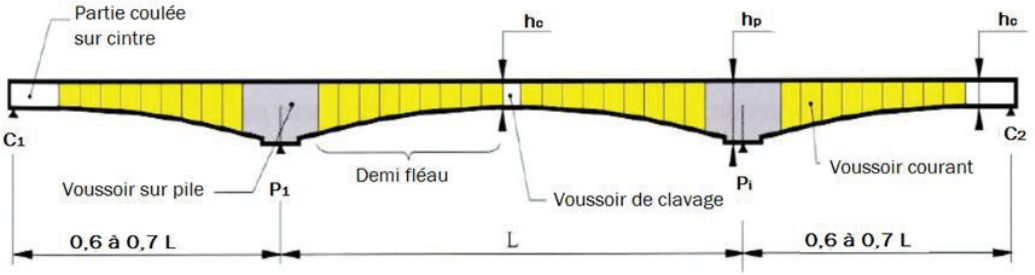


Figure VIII.8 Pont voussoirs par encorbellement

❖ Avantages

- ✓ s'affranchit de tout appui au sol.
- ✓ permet une gamme de portées très vaste (de 50 m environ jusqu'à 200 m).
- ✓ accepte des géométries très variées (hauteur, axe en plan, profil en long).
- ✓ voussoirs courts d'où bon amortissement du matériel (équipages mobiles).

❖ Inconvénients

- ✓ conduit à des ouvrages lourds (plus lourds que les ouvrages mixtes).
- ✓ la répartition du poids propre entraîne des ouvrages épais sur appui.

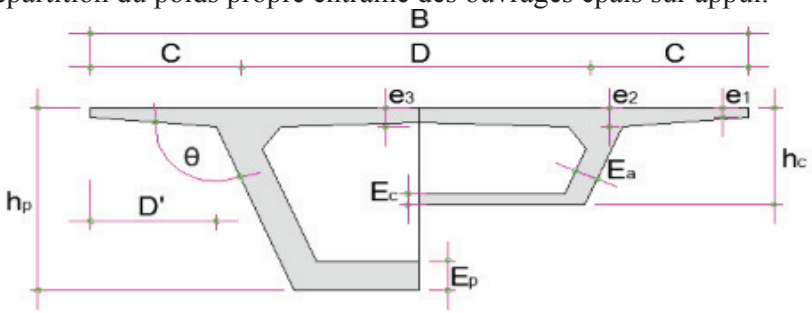


Figure VIII.9 Dimensionnement d'un voussoir

B : largeur totale du tablier ;
H_p : hauteur du voussoir sur pile ;
H_c : hauteur du voussoir de clef ;
E_a : épaisseur de l'âme sur pile ;
E_p : épaisseur du hourdi inférieur sur pile ;
E_c : épaisseur du hourdi inférieur en clef ;
e_1, e_2, e_3 : épaisseurs du hourdi supérieur aux sections considérées (voir schéma) ;
θ : inclinaison de l'âme.

VIII.7.1. Pré dimensionnement de la variante 03

❖ **Hauteur variable paraboliquement**

Au-delà de 65 m/70 m, les efforts dans les fléaux deviennent très importants et nécessitent une hauteur sur pile qui se révèle surabondante en travée. Il devient donc économiquement intéressant de réaliser un tablier de hauteur variable.

Pour L=100m (4 travées).

$$\text{Sur Pile} : \frac{L}{h_p} = 14 + \frac{L}{45}$$ **hp= 6.2 m.**

$$\text{A la Clef} : \frac{L}{h_c} = 19 + \frac{L}{7}$$ **hc=3m.**

❖ **Voussoirs courants**

La longueur des voussoirs courants est constante et varie de 2,50 à 4 m, voire 5 m, suivant les ouvrages.

On prend la longueur de voussoir **: 4.5m.**

❖ **Voussoirs sur piles**

Pour les ouvrages coulés en place, le voussoir sur pile (VSP) mesure en général au moins **8m.**

❖ **Largeur du tablier B**

La largeur totale du tablier est fixée par le profil en travers de la voie portée. **B=14m**.

❖ **Largeur D/C**

Les distances D et C dépendent de la largeur totale du tablier, les âmes sont souvent implantées au quart de la largeur du caisson (C = B / 4).

C=3.5m. Et **D= 7m**.

❖ **Epaisseur des âmes E_a**

Les âmes du caisson sont inclinées avec un angle de 10%, cette disposition facilite le décoffrage et réduit la largeur des têtes de pile.

$$E_a = 26 + \frac{L(m)}{5}$$ Donc **Ea= 50 cm.**

❖ **L'épaisseur de l'hourdis inferieur**

$$E_c \geq \max\{18\ ; 3 \times \Phi ; E_a/3\}\ cm$$ Donc **Ec= 20cm.**

Au voisinage des piles, l'épaisseur est prise égale à 2,5 fois l'épaisseur minimale E_c pour les tabliers de hauteur variable **Ecp= 50 cm.**

❖ L'épaisseur de l'hourdis supérieur

Le hourdis supérieur est essentiellement dimensionné par sa résistance à la flexion transversale et aux charges concentrées.

$$D' = C - E_a/2$$

Tableau VIII.8 Les différentes épaisseurs de l'hourdis supérieur

Epaisseur	Intervalle	Valeur pris
e_1 (cm)	[20 ; 25]	25
e_2 (cm)	[D'/5 ; D'/7]	50
e_3 (cm)	≥ D/25	30

❖ Goussets

Il faut noter que le contour intérieur des goussets est toujours rectiligne et présente un angle a compris entre 30 et 45° pour faciliter le bétonnage.

Leur rôle mécanique de transition entre les âmes et le hourdis inférieur, les goussets inférieurs doivent loger les câbles de continuité intérieure.

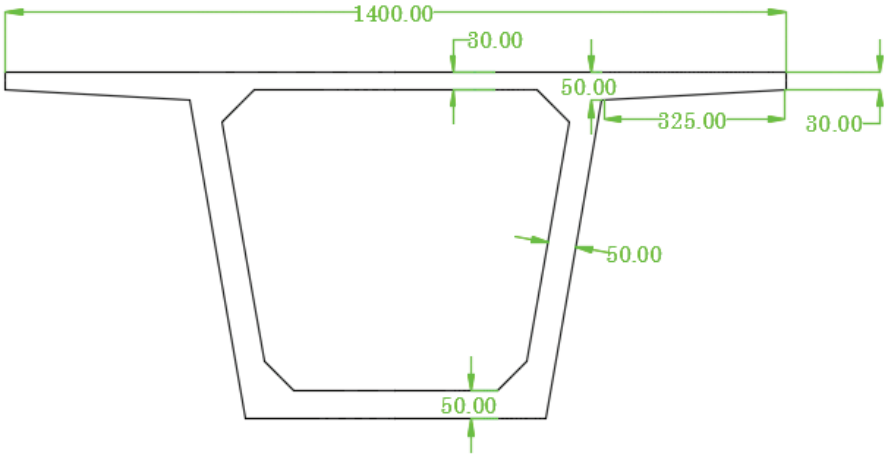


Figure VIII.10 Coupe transversale d'un voussoir sur pile

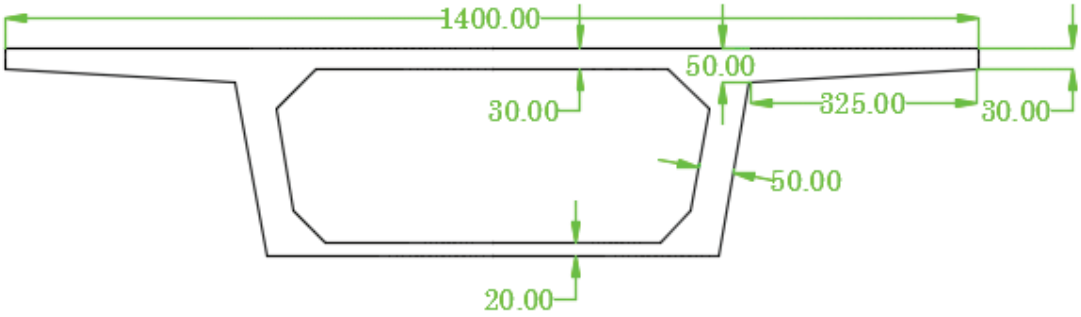


Figure VIII.11 Coupe transversale d'un voussoir sur à la clef

VIII.8. Analyse des variantes

Les tableaux suivant résument les critères de l'analyse multicritère des deux (02) variantes proposés

Tableau VIII.9 : Critères d'analyse des variantes.

	Variante 01	Variante 02	Variante 03
Pour l'économie	-Les coffrages peuvent être utilisés plusieurs fois. -La possibilité d'assemblage des éléments sans échafaudage.	-Il pose le problème de la préfabrication et le transport des éléments. -Le cout est plus élevé.	-La procédure de réalisation est nettement couteuse (préfabrication, transport, mise en place..). -Consommation importante des matériaux (béton, acier.....etc.).
Pour l'entretien	-L'absence totale d'une pathologie grave.	-La nécessité d'entretien périodique face aux phénomènes de corrosion (l'humidité à cause de barrage) et fatigue dans assemblages. -Les poutres en I sont sensibles au diversement ce qui demande le remplacement immédiat des pièces endommagées.	/
Pour l'exécution	-Le mécanisme de préfabrication permet une économie de temps. -Les délais de réalisation sont généralement moins importants que dans les autres variantes.	-Demande une main d'œuvre très qualifiée. -Vérification de la stabilité est mise en jeu à tous les stades d'exécution.	-Demande d'une main d'œuvre très qualifiée et des moyens importants. -Le délai est très long par rapport aux autres variantes.

Les différentes variantes sont présentées dans l'ANNEXE 6.

Après la comparaison des trois variantes, On a pris la première variante pont à poutre en béton précontraint par post tension pour les deux ouvrages, il est plus adapté que les deux autres sur le site vu les avantages cités précédemment.

.

Chapitre IX Conception de la gare de voyageur de Taoura

CHAPITRE IX CONCEPTION DE LA GARE DE TAOURA

IX.1. INTRODUCTION

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction : permettre la montée ou la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises et pour certaines d'entre elles, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

IX.2. TYPES DE GARES

❖ Gares voyageurs

Les gares souvent perçues principalement comme des bâtiments, sont en fait des ensembles fonctionnels plus larges, conçus pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage. Pour certaines gares, le passage de nombreux voyageurs justifie l'installation de fonctions annexes au déplacement proprement dit, tels que des commerces variés.

❖ Gare marchandise

Les gares de marchandises assuraient la totalité du traitement du trafic de marchandises. Elles étaient dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opérait le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires).

❖ Gare de triage

Une gare de triage est une gare ferroviaire spécialisée ou les wagons de marchandises isolés de leur rame initiale sont triés pour être incorporés dans de nouveaux trains de marchandises (fret).

IX.3. ETUDE DU PLAN DE MASSE D'UNE GARE

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

- ❖ **Catégories de la voie :** elle permet de déterminer le rôle et les constituants de la gare.
- ❖ **Le trafic :** c'est un élément très important pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de l'aménager d'une manière convenable.
- ❖ **L'emplacement de la gare :** généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

IX.4. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES

Les gares doivent répondre à un certain nombre de condition :

- ✓ L'étude du bâtiment de voyageurs (B.V) doit respecter le plan d'urbanisme.
- ✓ Il faut séparer entre les flux de voyageurs entrant et sortants.
- ✓ Aménager aux abords des gares des parcs de stationnement de voitures.

- ✓ Analyser avec précision tous les mouvements et manœuvres qui comporte aussi l'exploitation de la gare aux heures de pointe.

IX.5. CONCEPTION GENERALE D'UNE GARE

IX.5.1. Installations d'une gare à voyageurs

❖ **Le bâtiment voyageur (BV)**

C'est l'élément central de gares voyageuses. On distinguera deux types de gares de voyageurs :

- ✓ Les gares terminus : Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé symétriquement : un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivées.
- ✓ Les gares de passage : Le bâtiment est généralement le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un souterrain. Il arrive qu'il soit placé au-dessus des quais.

❖ **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)**

C'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.

❖ **Quais et voies**

Plateformes d'accès aux trains doivent présenter un état de surface plan et continu sur toute la longueur de la rame la plus longue appelée à y stationner.

Un quai de gare est un aménagement parallèle à la voie ferrée et permettant l'accès aux trains.

❖ **Abris de quais**

C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.

❖ **Les passages sous terrain et les passerelles**

Sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

IX.5.2. Installations de la base d'une gare de marchandises

- ✓ Un BS (bâtiment de service) pour accomplir les formalités de l'acte commercial.
- ✓ Des cours de débord pour embarquement et débarquement des marchandises.
- ✓ Quais de débord.
- ✓ Halle de stockage.
- ✓ Parking pour stationnement des véhicules.
- ✓ L'emplacement de chacun de ces éléments doit tenir compte de l'autre pour permettre un fonctionnement souple et ordonné.

IX.5.3. Réseau de voie

❖ **Garage franc**

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares.

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance de 3.57m.

Il assure qu'il n'y aura pas de collision entre le train dévié et le train dans la voie principale.

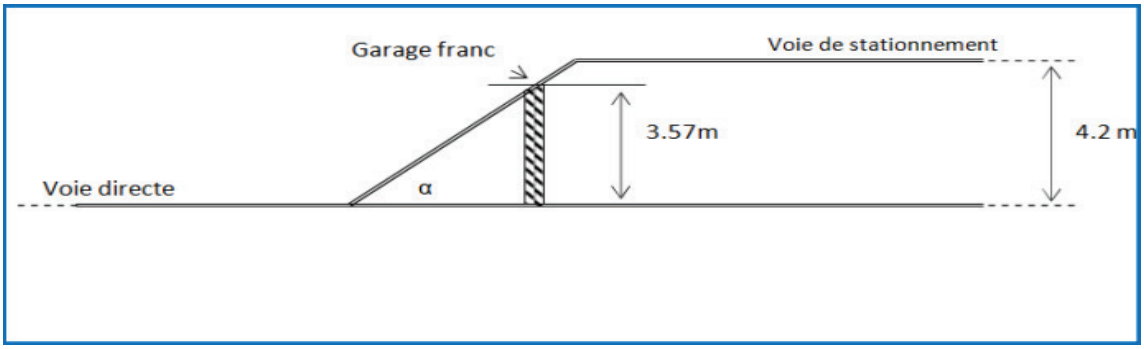


Figure IX.1 Garage franc [5]

❖ **La longueur utile d'une voie de stationnement [5]**

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs, elle est donnée par la formule suivante :

Des recommandations SNTF (aménagement et gare-tracé des voies)

- ✓ Pour les voies de gare voyageurs : une longueur minimale de 1200 m.
- ✓ Pour les voies de gare marchandises : une longueur minimale de 870 m.

❖ **Un heurtoir**

Un heurtoir, ou parfois butoir, est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée en cul-de-sac, pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie. Conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire de tampons situés à la même hauteur que l'attelage des trains.

❖ **Les caténaires [3]**

C'est des lignes électrique aériennes assurant l'alimentation des engins de traction en marche les particularités de gabarit obligé conditionnent notamment la maintenance infrastructure :

- ✓ fil de contact de 150 mm^2 avec porteur.
- ✓ hauteur constante de 5.08 m.

IX.5.4. Caractéristiques géométriques des gares

❖ **La déclivité dans les gares**

En gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues selon les valeurs reprises dans le tableau suivant :

Tableau IX.1 Les déclivités dans les gares [20]

Activité en gare	Déclivité maximale
Service voyageur seul	< 10‰
Service voyageur et modification de composition des rames	<5‰
Service voyageur et stationnement prolongé des rames	<1‰

❖ **Quais**

Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement des voyageurs.

✓ **longueur des quais**

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m (normes SNTF).
- Banlieue 225 m.

✓ **largeur des quais**

Cependant, la **SNTF** recommande pour une telle gare :
- Quai intermédiaire **B ≥ 8 m.**
- Quai extérieur **B ≥ 6m.**

✓ **dimensionnement de la hauteur d'un quai**

On utilise les fiche UIC (741)

La hauteur nominal des bordures des quais au-dessus du plan de roulement sont fixée à 550 mm pour des quais concernés par du trafic voyageurs grandes lignes et banlieue dans certaines conditions, une hauteur différente peut être appliquée par exemple 760 mm.

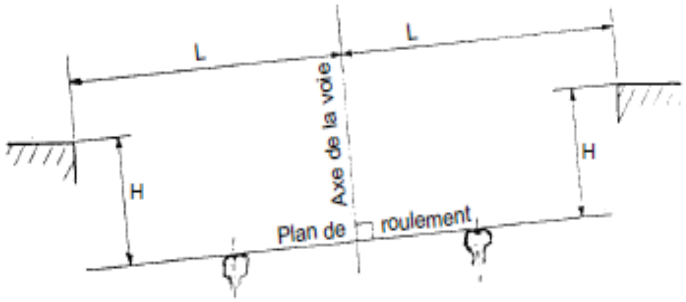


Figure IX.2 Bordures de quais [20]

H : la hauteur au-dessus du plan de roulement.
L : la distance par rapport à l'axe de la voie parallèle au plan de roulement.

✓ **détermination de la distance à l'axe de la voie**

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominal 550 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à L (mm) =1650+Sm.

La valeur de S est donnée par la formule : Sm = 3750 / R + (I-1435) / 2
I : l'écartement de la voie en mm.
R : rayon de la voie en m.

✓ **largeur des toitures des quais**

- Pour un quai intermédiaire de 8 m de largeur on prend la largeur de la toiture de 7 m.
- Pour un quai intermédiaire de 6 m on prend la largeur de la toiture de 5 m.
- Pour un quai extérieur de 6 m de largeurs on prend la largeur de la toiture de 5.5 m.
- hauteur libre : H = 3.1 m.

✓ **entraxe des quais**

e normal > 11.3 m.
e minimal > 9.3 m (norme SNTF).

IX.5.5 LA GARE DE NOTRE PROJET

- La déclivité de notre gare est de 0.5‰.

- **Langueur de garage franc**

GF= 3.57*N +1 Ou **N** : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

- ✓ Pour UIC 300 1/9 : GF= 3.57*9+1= **33.13 m.**
- ✓ Pour UIC 500 1/12 : GF=3.57*12+1= **43.84 m.**

- **La longueur du quai**

Pour notre gare on prend 250 m comme longueur des quais.

- **Largeur des quais**

On prend B= 8m.

- **Hauteur des quais**

On prend pour notre cas h= 55 cm.

- **La distance entre le quai et l'axe de la voie**

L (mm) =1650 mm.

- **Entre –axe des quais**

On prend: e=15.5 (entre quai A et B).

- **La longueur utile de stationnement**

Selon la SNTF la longueur utile est de 1200m.

IX.6. DESCRIPTION DU PLAN DES VOIES ET DES INSTALLATIONS

La gare de Taoura est une nouvelle gare situé entre PK31+000 et PK 32+200, considérée comme une gare de passage type conçue pour le trafic des voyageurs, le plan de voie contiendra deux voies principales, deux voies de service, deux quais et un bâtiment voyageur.

Le plan des voies et des installations de la gare de TAOURA est décrit ci-dessous :

- ✓ 2 quais intermédiaires (Quai A : 250,0 x 8,0 m / Quai B : 250,0 x 8,0 m).
- ✓ Passerelle piétons destinée à la commodité et la sécurité des voyageurs.
- ✓ 2 voies principales + 2 voies de service.
- ✓ L'entraxe est fixé à 4.2m au niveau de la gare.
- ✓ Appareil de voie : UIC60 E1 1/12 500 (10 unités) et UIC60 E1 1/9 300 (2 unités).

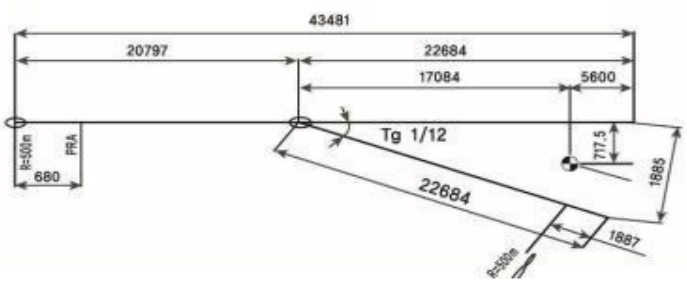


Figure IX.3 Appareil de voie tg 1/12 500 60E1[1]

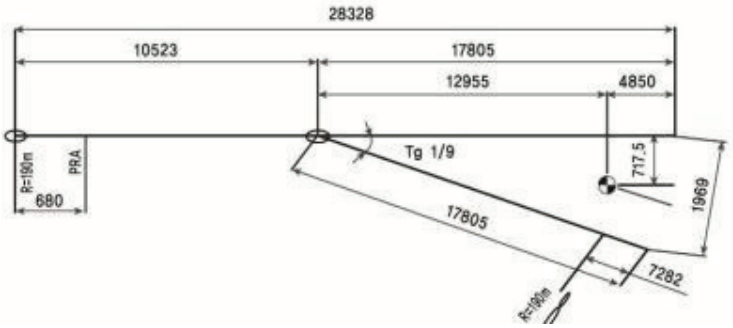


Figure IX.4 Appareil de voie tg 1/9 190 60E1 [1]

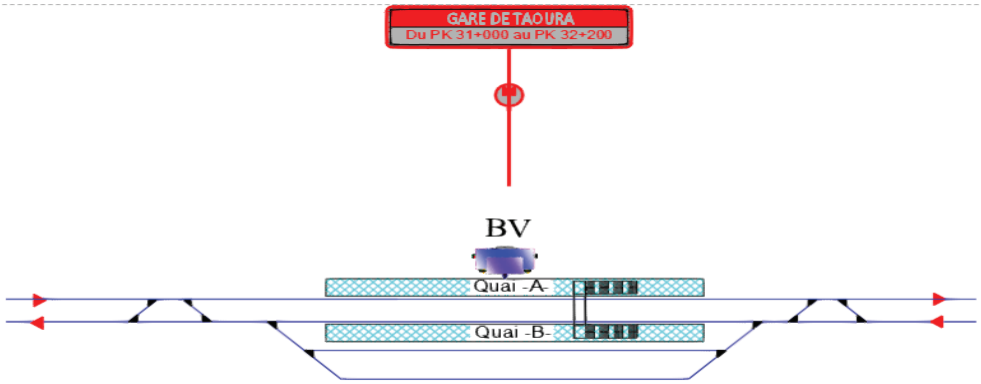


Figure IX.5 Chemin Principale de la gare de Taoura

IX.7. ASSAINISSEMENT DE LA GARE

IX.7.1. Assainissement transversale

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont dirigées grâce aux pentes transversales des plateformes.

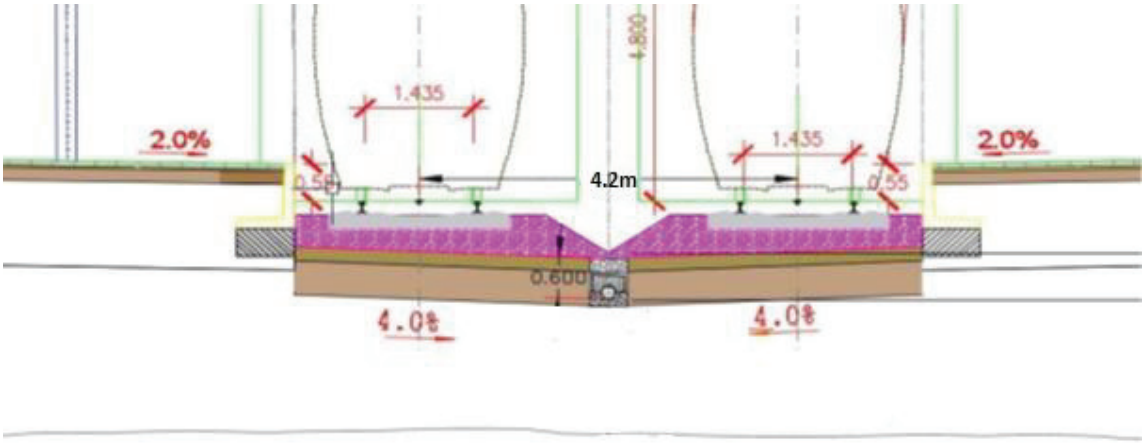


Figure IX.6 Assinaissement transversal de la gare [5]

X.7.2. Assainissement longitudinale

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4°/00, permettent de collecter les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

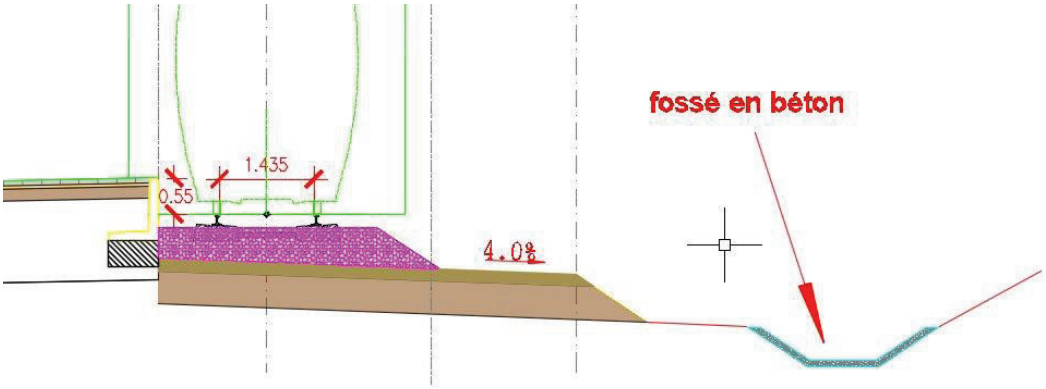


Figure IX.7 Assainissement longitudinale de la gare [5]

Chapitre X Devis quantitatif et estimatif

Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Lot N°01 : Installation de chantier et étude d'exécution				
Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	5 000 000.00	5 000 000.00
Repli du matériel et des installations du chantier	F	1.00	2 000 000.00	2 000 000.00
Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	3 181 237.50	3 181 237.50
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER				**10 181 237.50**
Lot N°02 : Terrassement				
Décapage de terre végétale 0.40 m	m^3	220 820.456	400.00	88 328 182.40
Déblai	m^3	1 566 571.01	600.00	939 942 606.00
Remblai	m^3	848 226.85	3 800.00	3 223 262 030.00
Sous ballast	m^3	27 536.48	3 800.00	104 638 624.00
Couche de fondation	m^3	28 029.23	2 900.00	81 284 767.00
Couche de forme	m^3	101 472.81	3 800.00	385 596 678.00
TOTAL TERRASSEMENT				**4 823 052 887.40**
Lot N°03 : Travaux de la voie				
Rail UIC 60	T	3 758.102	121 000.00	454 730 342.00
Ballastage	m^3	70 220.20	4 200.00	294 924 840.00
Traverses bi-bloc	U	48 648	7 600.00	369 724 800,000
Pose d'une appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	10	620 000.00	6 200 000.00
Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	10	14 200 000.00	142 000 000.00
Pose d'une appareil de voie UIC 60 1/9 300	U	2	267 317.44	534 634.88
Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60 1/9 300	U	2	12 626 324.23	25 252 648.46
Pose de la voie UIC 60	Ml	60 341.054	6 300.00	380 148 640.20
Attache NABLA	U	97 296	434.72	42 296 517.12

La caténaire	Km	14.60	42 605 840.00	622 045 264.00
TOTAL TRAVEAUX DE LA VOIE				**2 337 857 686,660**
Lot N°04 : Assainissement généraux				
Fossés trapézoïdaux en béton armé	Ml	14 600.00	8 700.00	127 020 000.00
Buses en béton armé diamètre 1500mm	Ml	67.00	49 616.00	3 324 272.00
Dalot en béton armé (3x2)	m^3	132.48	35 000.00	4 636 800.00
Dalot en béton armé (4x2)	m^3	184.44	35 000.00	6 455 400.00
TOTAL ASSINISSEMENT GENERAUX				**141 436 472.00**
Lot N°05 : Gare et ouvrages d'arts				
Bâtiment voyageur	U	1	20 000 000.00	20 000 000.00
Quai	m^2	4 000.00	40 000.00	160 000 000.00
Ouvrage d'art	m^2	5 222.00	220 000.00	1 148 840 000.00
Abris de quais	m^2	2 236.80	92 000.00	205 785 600.00
TOTAL GARE ET OUVRAGES D'ARTS				**1 534 625 600.00**

Récapitulation

N° Lot	**Désignations des lots**	**Montants (DA)**
Lot N°01	Installation de chantier et étude d'exécution	10 181 237.50
Lot N°02	Terrassement	4 823 052 887.40
Lot N°03	Travaux de la voie	2 337 857 686,660
Lot N°04	Assainissement généraux	141 436 472.00
Lot N°05	Gare et ouvrages d'arts	1 534 625 600.00
Montant total hors taxe		**8 847 153 883,56**
Montant total avec la taxe (19%)		**10 528 113 121,44**

DIX MILLIARD CINQ-CENT VINGT-HUITE MILLION CENT TREIZE MILLE CENT VINGT- ET UN, 44 DA.

Montant /Km avec la taxe	**721 103 638,69**

SEPT-CENT VINGT-ET-UN MILLION CENT TROIS MILLE SIX-CENT TRENTE HUITE, 69DA.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'une part, d'approfondir les connaissances et le savoir-faire acquis durant les années de notre formation à l'ENSTP et d'utiliser le bagage théorique pour concevoir les différentes parties de l'étude commençant par l'étude géométrique jusqu'au l'étude hydraulique en passant par l'étude géotechnique, et d'autre part, de préparer notre intégration à la vie professionnelle.

L'étude d'avant-projet détaillé de ce projet nous a permis de combiner entre les conditions dans les normes (UIC, SNTF) et les conditions exigées par la situation réelle, ce qui nous oblige dans certains cas d'aller à la valeur maximal selon les normes précédentes.

L'étude aussi, nous a fait connaitre l'aménagement de la gare de Taoura (Souk-Ahras) et la conception des ouvrages d'art.

Enfin, ce travail nous a permis de se familiariser et de développer notre côté informatique, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD 2015, CIVIL 3D 2018, CIVIL 3D 2019, GLOBAL MAPER.

LA BIBLIOGRAPHIE

[1] ALLIAS.J, La voie ferre, 2éme Edition, 61 boulevard Saint-Germain, 1984.

[2] André-Gilles Dumont, Micaël Tille, Voies de circulation, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, volume 25, 09/03/2017.

[3] BEN ABOUD Sofiane, GHARBOUDJE Imad Eddine, ETUDE APD de nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA et EL BAYADH Avec aménagement de la gare mixte de Bougtob, mémoire pour obtenir un diplôme d'ingénieur d'état sous l'encadrement de Mrs Cadi Maher et Hamadi Kamel, ENSTP, 2017.

[4] CALGARO. Jean-Armand, Conception des Ponts, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1994.

[5] CHENOUI Zakarya, Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Double Voie Électrifiée (KHEMIS MILIANA- EL AFROUN) (Du pk 116+000 au pk 123+000) Avec L'aménagement de la gare de KHEMIS MILIANA, mémoire pour obtenir un diplôme d'ingénieur d'état sous l'encadrement de Mr BENINAL Abd ElAziz, ENSTP, 2014.

[6] IKHLEF Rabab, KADI Samira, Rénovation de la gare ferroviaire de Tlemcen, mémoire pour obtenir un diplôme d'architecte d'état sous l'encadrement de Mr Baba Ahmed.H, Université de Tlemcen, 2014.

[7] LEFKIR.A, RAHMANI.D, cours d'Hydraulique Applique, ENSTP, 2018.

[8] MM.GREGOIRE, IMBERT, Cours de chemin de fer, 2éme partie matériel fixe de la voie, Ecole spéciale des travaux publics du bâtiment et de l'industrie.

[9] NEHAOUA.A, caractéristique géométrique des voies, dimensionnement de la couche d'assise, cours de chemin de fer, 2013.

[10] SETIRAIL, « Etude préliminaire de de La Ligne Minière ».

[11] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique », géotechnique de la ligne minière EST. Lot central (pk 26 au pk 51). », 21/11/18.

[12] SETIRAIL, « Rapport de synthèse géotechnique de la ligne minière EST. Lot central (pk 26 au pk 51). », 21/11/18.

[13] Sétra, Guide de conception durable : Ponts mixtes acier-béton, Septembre 2010.

[14] SETRA, Guide technique**,** Réalisation des remblais et des couches de forme, Fascicule 2, Juillet 2000.

[15] SNCF, Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h. (IN0272), version 01, 12/09/2006.

[16] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.

[17] SNTF, Référentiel technique, version 02, Chapitre 7.2.3 Hydraulique drainage, 22/12/2005.

[18] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 9 Constituants de la voie, 22/12/2005.

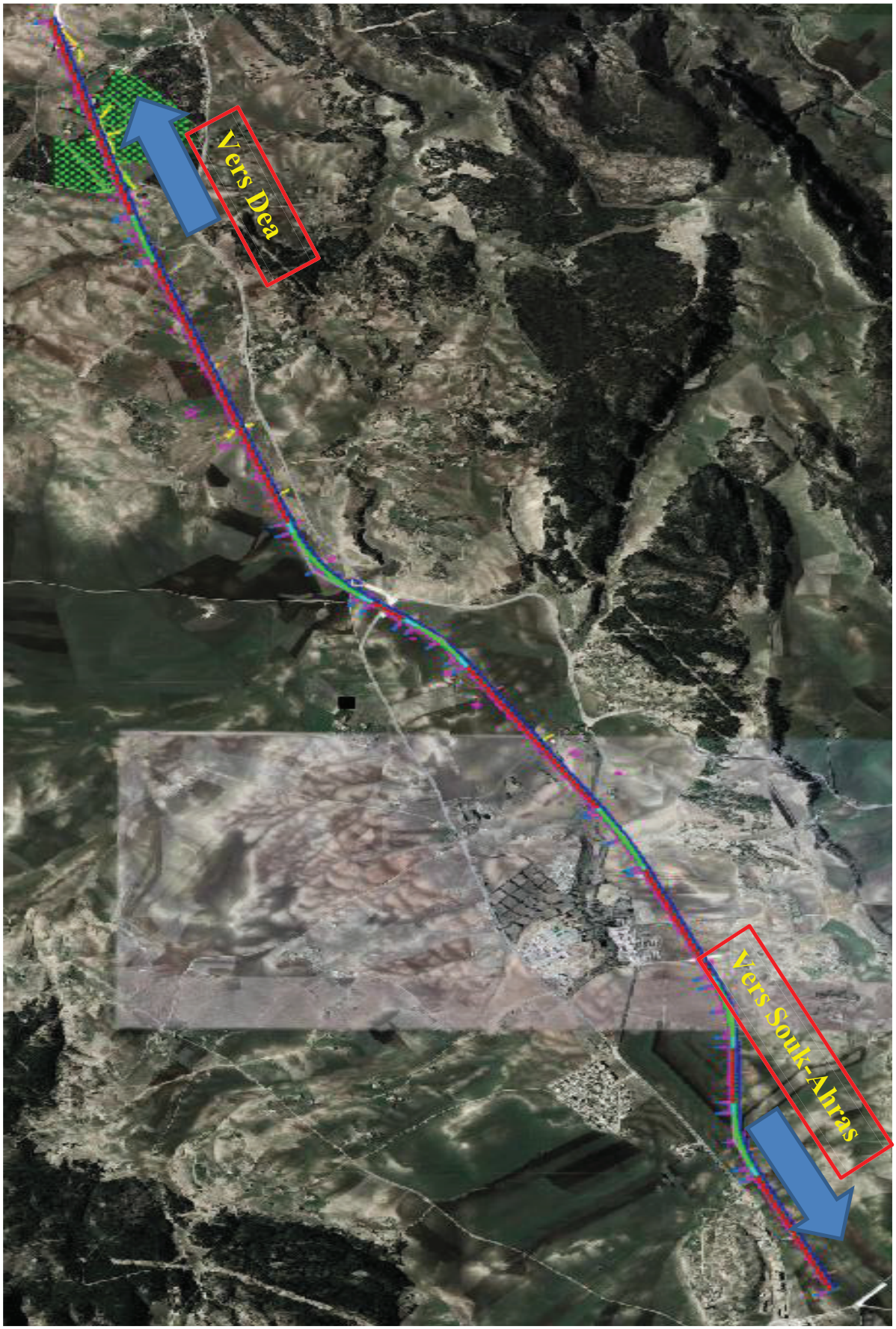
[19] UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.

[20] UIC741 OR, Quais des gares à voyageurs, 3eme Edition, 01/01/1993.

[21] UIC703 R, Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides, 2eme Edition, 01/01/1989.

ANNEXES

ANNEXE 1



Your Company Name

123 Main Street

Suite #321

City, State 01234

Alignment Curve Report
Nom du projet: F:\Trace 1\tracé final 11.dwg
Date du rapport: 16/06/2019 01:56:02

Client: Client Company
Description du projet:
Préparé par: Preparer

Alignment: Axe01

Description:

Tangent Data			
Length:	1210.673	Course:	S 65° 13' 29.4940" W

Spiral Curve Data: clothoid			
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 65° 51' 41.3036" W

Circular Curve Data			
Delta:	20° 22' 00.7136"	Type:	RIGHT
Radius:	1500.000		
Length:	533.203	Tangent:	269.445
Mid-Ord:	23.630	External:	24.008
Chord:	530.400	Course:	S 77° 19' 05.3443" W

Spiral Curve Data: clothoid			
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 88° 46' 29.3850" W

Tangent Data			
Length:	531.924	Course:	S 89° 24' 41.1947" W

Spiral Curve Data: clothoid			
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 88° 46' 29.3850" W

Circular Curve Data			
Delta:	19° 41' 25.9574"	Type:	LEFT
Radius:	1500.000		
Length:	515.497	Tangent:	260.316
Mid-Ord:	22.090	External:	22.421
Chord:	512.964	Course:	S 77° 39' 22.7224" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 66° 32' 16.0598" W

Tangent Data

Length:	1110.408	Course:	S 65° 54' 04.2501" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	40.000	L Tan:	26.667
Radius:	4000.000	S Tan:	13.333
Theta:	00° 17' 11.3240"	P:	0.017
X:	40.000	K:	20.000
Y:	0.067	A:	400.000
Chord:	40.000	Course:	S 65° 48' 20.4755" W

Circular Curve Data

Delta:	08° 36' 07.9782"	Type:	LEFT
Radius:	4000.000		
Length:	600.548	Tangent:	300.839
Mid-Ord:	11.265	External:	11.297
Chord:	599.984	Course:	S 61° 18' 48.9370" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	40.000	L Tan:	26.667
Radius:	4000.000	S Tan:	13.333
Theta:	00° 17' 11.3240"	P:	0.017
X:	40.000	K:	20.000
Y:	0.067	A:	400.000
Chord:	40.000	Course:	S 56° 49' 17.3985" W

Tangent Data

Length:	1630.473	Course:	S 56° 43' 33.6239" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 56° 05' 21.8143" W

Circular Curve Data

Delta:	16° 31' 51.2613"	Type:	LEFT
Radius:	1500.000		
Length:	432.778	Tangent:	217.903
Mid-Ord:	15.581	External:	15.745
Chord:	431.279	Course:	S 46° 33' 02.4997" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 37° 00' 43.1851" W

Tangent Data

Length:	272.841	Course:	S 36° 22' 31.3755" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 37° 00' 43.1851" W

Circular Curve Data

Delta:	29° 38' 42.9613"	Type:	RIGHT
Radius:	1500.000		
Length:	776.111	Tangent:	396.951
Mid-Ord:	49.916	External:	51.635
Chord:	767.483	Course:	S 53° 06' 28.3496" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 69° 12' 13.5142" W

Tangent Data

Length:	2683.369	Course:	S 69° 50' 25.3238" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	20.000	L Tan:	13.333
Radius:	7000.000	S Tan:	6.667
Theta:	00° 04' 54.6640"	P:	0.002
X:	20.000	K:	10.000
Y:	0.010	A:	374.166
Chord:	20.000	Course:	S 69° 52' 03.5452" W

Circular Curve Data

Delta:	03° 28' 36.0787"	Type:	RIGHT
Radius:	7000.000		
Length:	424.758	Tangent:	212.444
Mid-Ord:	3.222	External:	3.223
Chord:	424.692	Course:	S 71° 39' 38.0272" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	20.000	L Tan:	13.333
Radius:	7000.000	S Tan:	6.667
Theta:	00° 04' 54.6640"	P:	0.002
X:	20.000	K:	10.000
Y:	0.010	A:	374.166
Chord:	20.000	Course:	S 73° 27' 12.5092" W

Tangent Data

Length:	1957.416	Course:	S 73° 28' 50.7305" W

Your Company Name

123 Main Street

Suite #321

City, State 01234

Alignment Station and Curve Report
Nom du projet: F:\Trace 1\tracé final 11.dwg
Date du rapport: 16/06/2019 02:40:30

Client: Client Company
Description du projet:
Préparé par: Preparer

Alignment: Axe01

Description:

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	310+00.000	4002974.000	412604.500
End:	322+10.673	4002466.658	411505.258

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	1210.673	Course:	S 65° 13' 29.4940" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	322+10.673	4002466.658	411505.258
SPI:		4002438.719	411444.724
SC:	323+10.673	4002425.765	411414.007

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 65° 51' 41.3036" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	323+10.673	4002425.765	411414.007
RP:		4003807.897	410831.158
CS:	328+43.876	4002309.323	410896.546

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	20° 22' 00.7136"	Type:	RIGHT
Radius:	1500.000		
Length:	533.203	Tangent:	269.445
Mid-Ord:	23.630	External:	24.008
Chord:	530.400	Course:	S 77° 19' 05.3443" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	328+43.876	4002309.323	410896.546
SPI:		4002307.869	410863.241
ST:	329+43.876	4002307.184	410796.573

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337

Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 88° 46' 29.3850" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	329+43.876	4002307.184	410796.573
End:	334+75.801	4002301.721	410264.677

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	531.924	Course:	S 89° 24' 41.1947" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	334+75.801	4002301.721	410264.677
SPI:		4002301.036	410198.010
SC:	335+75.801	4002299.582	410164.705

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 88° 46' 29.3850" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	335+75.801	4002299.582	410164.705
RP:		4000801.008	410230.093
CS:	340+91.298	4002189.923	409663.599

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	19° 41' 25.9574"	Type:	LEFT
Radius:	1500.000		
Length:	515.497	Tangent:	260.316
Mid-Ord:	22.090	External:	22.421
Chord:	512.964	Course:	S 77° 39' 22.7224" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	340+91.298	4002189.923	409663.599
SPI:		4002177.333	409632.731
ST:	341+91.298	4002150.111	409571.872

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 66° 32' 16.0598" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	341+91.298	4002150.111	409571.872
End:	353+01.705	4001696.719	408558.244

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	1110.408	Course:	S 65° 54' 04.2501" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting

TS:	353+01.705	4001696.719	408558.244
SPI:		4001685.830	408533.902
SC:	353+41.705	4001680.325	408521.758

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	40.000	L Tan:	26.667
Radius:	4000.000	S Tan:	13.333
Theta:	00° 17' 11.3240"	P:	0.017
X:	40.000	K:	20.000
Y:	0.067	A:	400.000
Chord:	40.000	Course:	S 65° 48' 20.4755" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	353+41.705	4001680.325	408521.758
RP:		3998037.167	410173.241
CS:	359+42.253	4001392.324	407995.416

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	08° 36' 07.9782"	Type:	LEFT
Radius:	4000.000		
Length:	600.548	Tangent:	300.839
Mid-Ord:	11.265	External:	11.297
Chord:	599.984	Course:	S 61° 18' 48.9370" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	359+42.253	4001392.324	407995.416
SPI:		4001385.064	407984.232
ST:	359+82.253	4001370.434	407961.937

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	40.000	L Tan:	26.667
Radius:	4000.000	S Tan:	13.333
Theta:	00° 17' 11.3240"	P:	0.017
X:	40.000	K:	20.000
Y:	0.067	A:	400.000
Chord:	40.000	Course:	S 56° 49' 17.3985" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	359+82.253	4001370.434	407961.937
End:	376+12.727	4000475.885	406598.769

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	1630.473	Course:	S 56° 43' 33.6239" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	376+12.727	4000475.885	406598.769
SPI:		4000439.307	406543.029
SC:	377+12.727	4000420.098	406515.782

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 56° 05' 21.8143" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	377+12.727	4000420.098	406515.782

RP:		3999194.137	407380.085
CS:	381+45.505	4000123.503	406202.681

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	16° 31' 51.2613"	Type:	LEFT
Radius:	1500.000		
Length:	432.778	Tangent:	217.903
Mid-Ord:	15.581	External:	15.745
Chord:	431.279	Course:	S 46° 33' 02.4997" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	381+45.505	4000123.503	406202.681
SPI:		4000097.335	406182.027
ST:	382+45.505	4000043.656	406142.486

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 37° 00' 43.1851" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	382+45.505	4000043.656	406142.486
End:	385+18.346	3999823.978	405980.672

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	272.841	Course:	S 36° 22' 31.3755" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	385+18.346	3999823.978	405980.672
SPI:		3999770.298	405941.131
SC:	386+18.346	3999744.131	405920.476

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 37° 00' 43.1851" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	386+18.346	3999744.131	405920.476
RP:		4000673.496	404743.072
CS:	393+94.457	3999283.403	405306.669

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	29° 38' 42.9613"	Type:	RIGHT
Radius:	1500.000		
Length:	776.111	Tangent:	396.951
Mid-Ord:	49.916	External:	51.635
Chord:	767.483	Course:	S 53° 06' 28.3496" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	393+94.457	3999283.403	405306.669
SPI:		3999270.877	405275.774
ST:	394+94.457	3999247.900	405213.188

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	100.000	L Tan:	66.671
Radius:	1500.000	S Tan:	33.337
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.278
X:	99.989	K:	49.998
Y:	1.111	A:	387.298
Chord:	99.995	Course:	S 69° 12' 13.5142" W

Tangent Data

Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	394+94.457	3999247.900	405213.188
End:	421+77.826	3998323.112	402694.213

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	2683.369	Course:	S 69° 50' 25.3238" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
TS:	421+77.826	3998323.112	402694.213
SPI:		3998318.517	402681.696
SC:	421+97.826	3998316.228	402675.435

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	20.000	L Tan:	13.333
Radius:	7000.000	S Tan:	6.667
Theta:	00° 04' 54.6640"	P:	0.002
X:	20.000	K:	10.000
Y:	0.010	A:	374.166
Chord:	20.000	Course:	S 69° 52' 03.5452" W

Curve Point Data

Description	Station	Northing	Easting
SC:	421+97.826	3998316.228	402675.435
RP:		4004890.820	400272.366
CS:	426+22.584	3998182.601	402272.313

Circular Curve Data

Parameter	Value	Parameter	Value
Delta:	03° 28' 36.0787"	Type:	RIGHT
Radius:	7000.000		
Length:	424.758	Tangent:	212.444
Mid-Ord:	3.222	External:	3.223
Chord:	424.692	Course:	S 71° 39' 38.0272" W

Spiral Point Data

Description	Station	Northing	Easting
CS:	426+22.584	3998182.601	402272.313
SPI:		3998180.696	402265.924
ST:	426+42.584	3998176.905	402253.141

Spiral Curve Data: clothoid

Parameter	Value	Parameter	Value
Length:	20.000	L Tan:	13.333
Radius:	7000.000	S Tan:	6.667
Theta:	00° 04' 54.6640"	P:	0.002
X:	20.000	K:	10.000
Y:	0.010	A:	374.166
Chord:	20.000	Course:	S 73° 27' 12.5092" W

Tangent Data

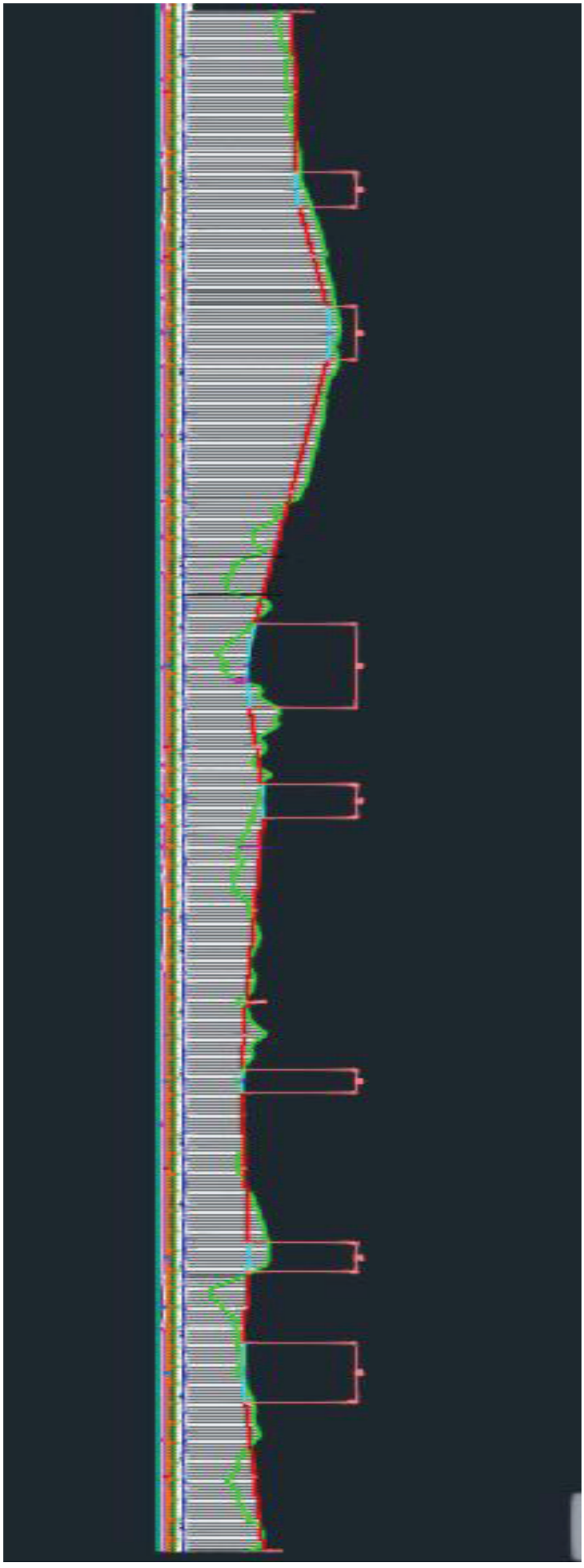
Description	PT Station	Northing	Easting
Start:	426+42.584	3998176.905	402253.141
End:	446+00.000	3997620.338	400376.519

Tangent Data

Parameter	Value	Parameter	Value

Length:	1957.416	Course:	S 73° 28' 50.7305" W

ANNEXE 2



Rapport sur la courbe verticale de la ligne de profil en long

Client :
Client
Client Company
Address 1

Préparé par :
Preparer
Your Company Name
123 Main Street

Date : 16/06/2019 02:33:48

Axe vertical : Présentation (1)
Description :
Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 31+000.00, Extrémité : 44+600.00

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	32+421.28	Altitude :	855.624m
Abscisse curviligne du PIV :	32+575.00	Altitude :	855.700m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	32+728.72	Altitude :	858.138m
Point bas :	32+421.28	Altitude :	855.624m
Pente d'entrée:	0.05%	Pente de sortie:	1.59%
Modifier	1.54%	K :	200.000m
Longueur de la courbe :	307.437m	Rayon de la courbe	20,000.000m
Distance des phares :			

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	33+605.44	Altitude :	872.046m
Abscisse curviligne du PIV :	33+842.55	Altitude :	875.807m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	34+079.65	Altitude :	872.073m
Point élevé :	33+843.39	Altitude :	873.933m
Pente d'entrée:	1.59%	Pente de sortie:	-1.58%
Modifier	3.16%	K :	150.000m
Longueur de la courbe :	474.213m	Rayon de la courbe	15,000.000m
Distance de dépassement :	726.242m	Distance d'arrêt :	446.512m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	36+409.99	Altitude :	835.367m
Abscisse curviligne du PIV :	36+782.50	Altitude :	829.500m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	37+155.01	Altitude :	832.884m
Point bas :	36+882.52	Altitude :	831.646m
Pente d'entrée:	-1.58%	Pente de sortie:	0.91%
Modifier	2.48%	K :	300.000m
Longueur de la courbe :	745.030m	Rayon de la courbe	30,000.000m
Distance des phares :	1,524.699m		

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	37+833.49	Altitude :	839.046m
Abscisse curviligne du PIV :	37+977.00	Altitude :	840.350m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	38+120.51	Altitude :	839.594m
Point élevé :	38+015.16	Altitude :	839.872m
Pente d'entrée:	0.91%	Pente de sortie:	-0.53%
Modifier	1.44%	K :	200.000m
Longueur de la courbe :	287.018m	Rayon de la courbe	20,000.000m
Distance de dépassement :	1,221.046m	Distance d'arrêt :	606.598m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	40+354.32	Altitude :	828.642m
Abscisse curviligne du PIV :	40+454.50	Altitude :	828.250m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	40+554.68	Altitude :	828.527m
Point bas :	40+471.75	Altitude :	828.412m
Pente d'entrée:	-0.39%	Pente de sortie:	0.28%

Modifier	0.67%	K :	300.000m
Longueur de la courbe :	200.369m	Rayon de la courbe	30,000.000m
Distance des phares :			

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	41+881.84	Altitude :	832.196m
Abscisse curviligne du PIV :	42+010.00	Altitude :	832.550m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	42+138.16	Altitude :	832.083m
Point élevé :	41+992.42	Altitude :	832.349m
Pente d'entrée:	0.28%	Pente de sortie:	-0.36%
Modifier	0.64%	K :	400.000m
Longueur de la courbe :	256.316m	Rayon de la courbe	40,000.000m
Distance de dépassement :	2,541.367m	Distance d'arrêt :	1,165.275m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	42+764.25	Altitude :	829.802m
Abscisse curviligne du PIV :	43+025.50	Altitude :	828.850m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	43+286.75	Altitude :	830.628m
Point bas :	42+946.43	Altitude :	829.470m
Pente d'entrée:	-0.36%	Pente de sortie:	0.68%
Modifier	1.04%	K :	500.000m
Longueur de la courbe :	522.498m	Rayon de la courbe	50,000.000m
Distance des phares :			

Your Company Name

123 Main Street

Suite #321

City, State 01234

PVI Stations Report
Nom du projet: F:\Trace 1\tracé final 11.dwg
Date du rapport: 16/06/2019 02:24:07

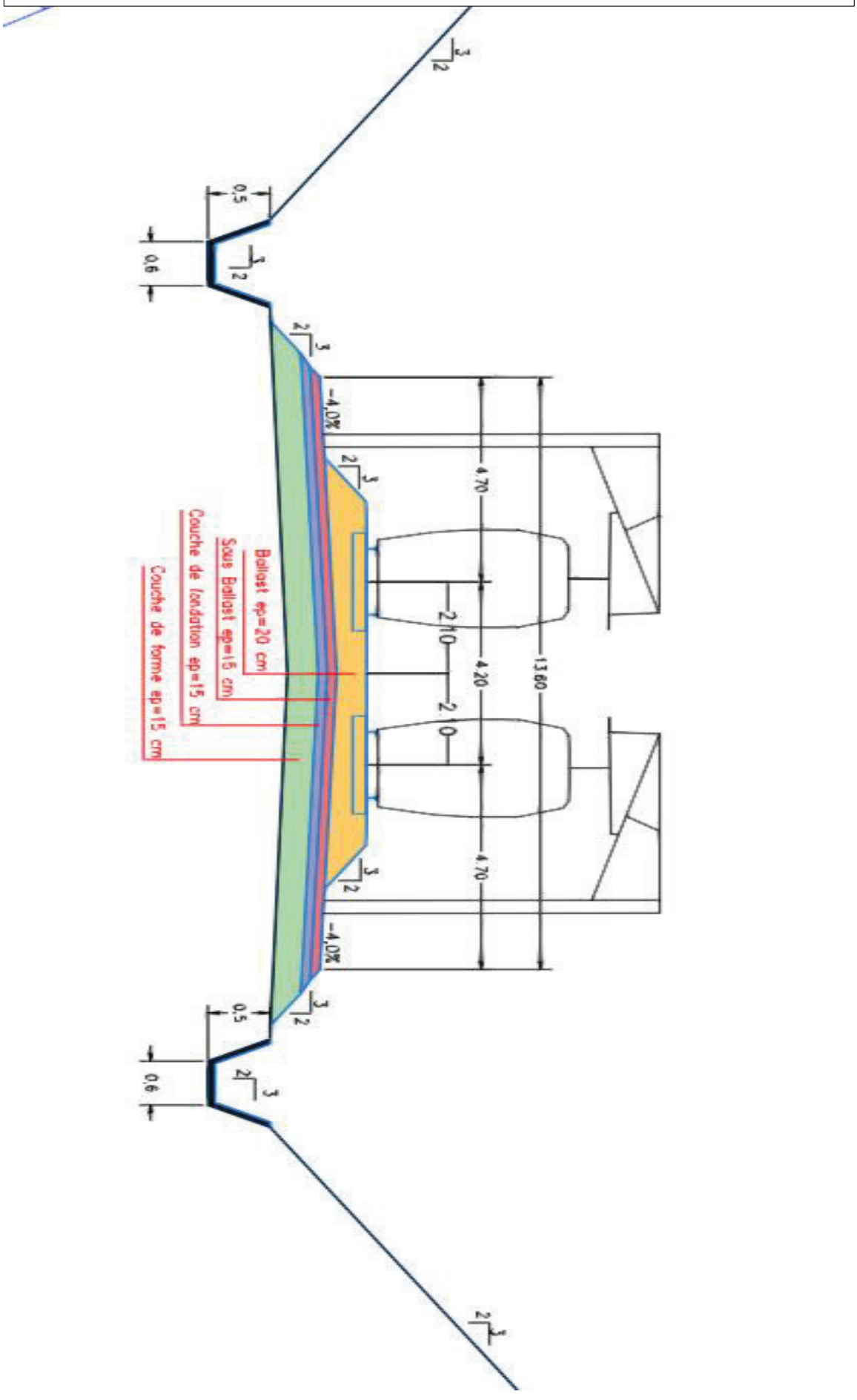
Client: Client Company
Description du projet:
Préparé par: Preparer

Horizontal Alignment Information
Name: Axe01
Station Range: 310+00.000 to 446+00.000

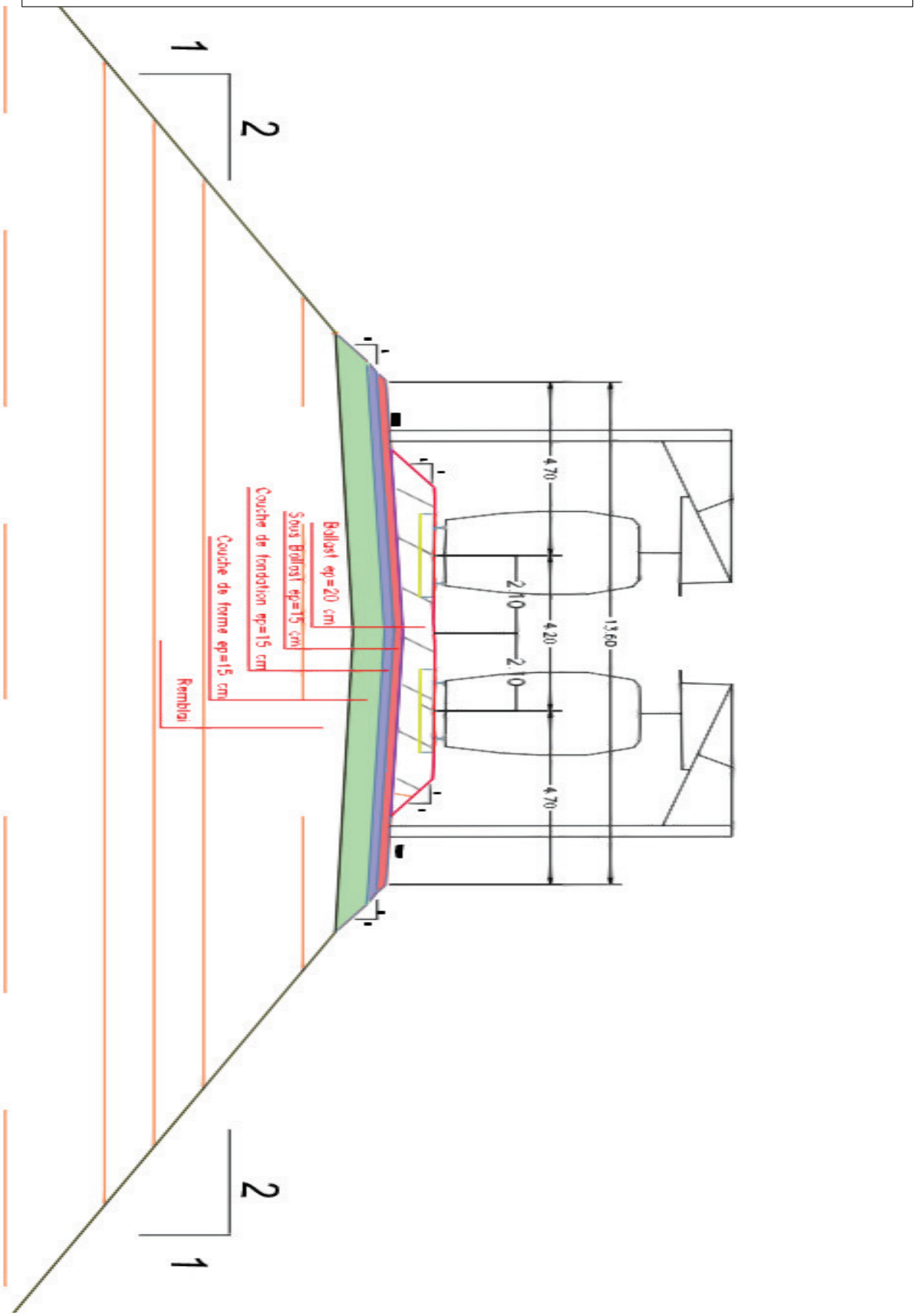
Vertical Alignment: Présentation (1)

PVI	Station	Elevation (m)	Grade Out (%)	Curve Length (m)
1	310+00.000	854.926	0.049 %	0.000
2	325+75.000	855.700	1.586 %	307.437
3	338+42.546	875.807	-1.575 %	474.213
4	367+82.500	829.500	0.908 %	745.030
5	379+77.000	840.350	-0.527 %	287.018
6	397+52.000	831.000	-0.391 %	0.000
7	404+54.500	828.250	0.276 %	200.369
8	420+10.000	832.550	-0.364 %	256.316
9	430+25.500	828.850	0.681 %	522.498
10	446+00.000	839.567		

ANNEXE 3


3/2
0,5
0,6
3/2
2/3
-4,0%
2/3
4,70
2,10
4,20
2,10
13,60
4,70
3/2
-4,0%
3/2
0,5
2/3
0,6
2/3
Ballast ep=20 cm
Sous Ballast ep=15 cm
Couche de fondation ep=15 cm
Couche de forme ep=15 cm

ANNEXE 3


1
2
2
1
Ballast ep=20 cm
Sous Ballast ep=15 cm
Couche de fondation ep=15 cm
Couche de forme ep=15 cm
Remblai
4.70
2.10
4.20
2.10
13.60
4.70

ANNEXE 4 : Les caractéristiques de la voie pour notre projet

Tableau 1 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristique	Valeur
Masse par mètre	60.21 kg/m
Surface de la section	76.7 cm2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (Axe-x-x)	3038.3 cm4
Moment d'inertie (Axe-y-y)	512.3 cm4
Résistance à la traction	R ≥ 880 N/mm2
Allongement	A ≥ 10%
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW

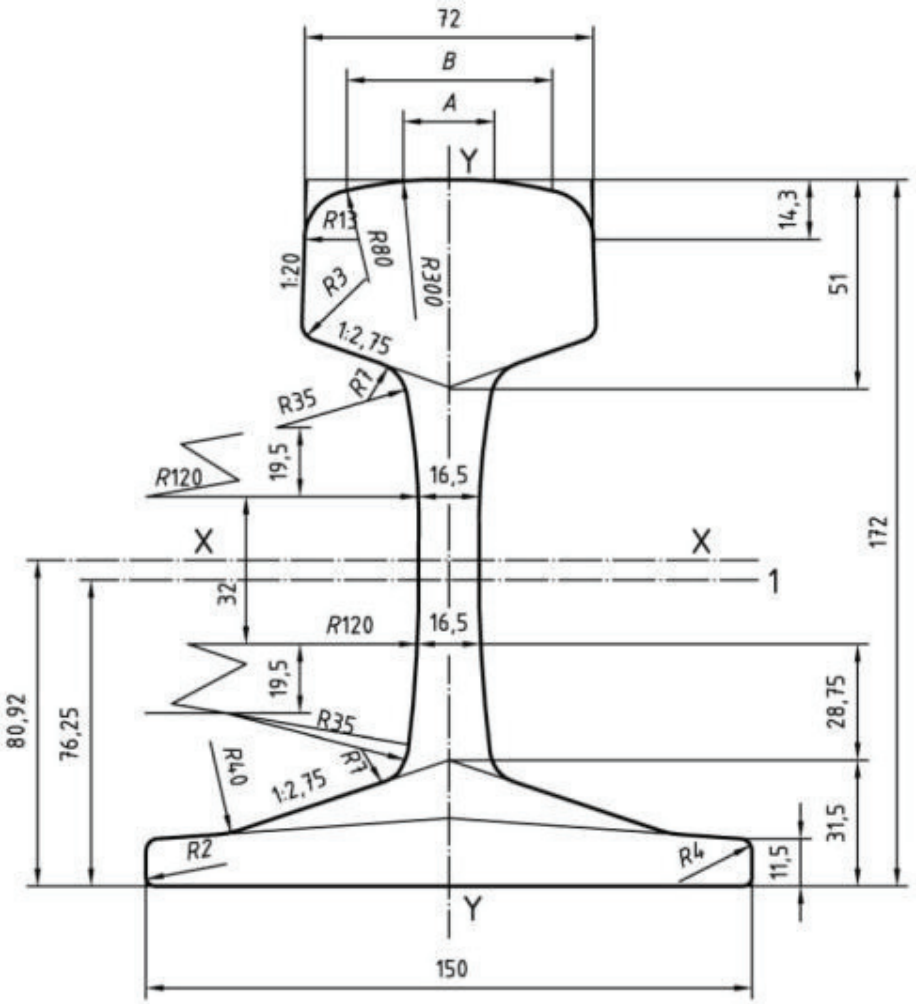


Figure 1 Profil rail du type UIC60 E1

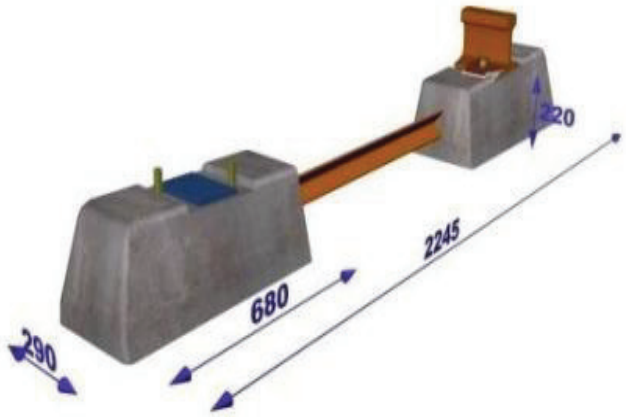
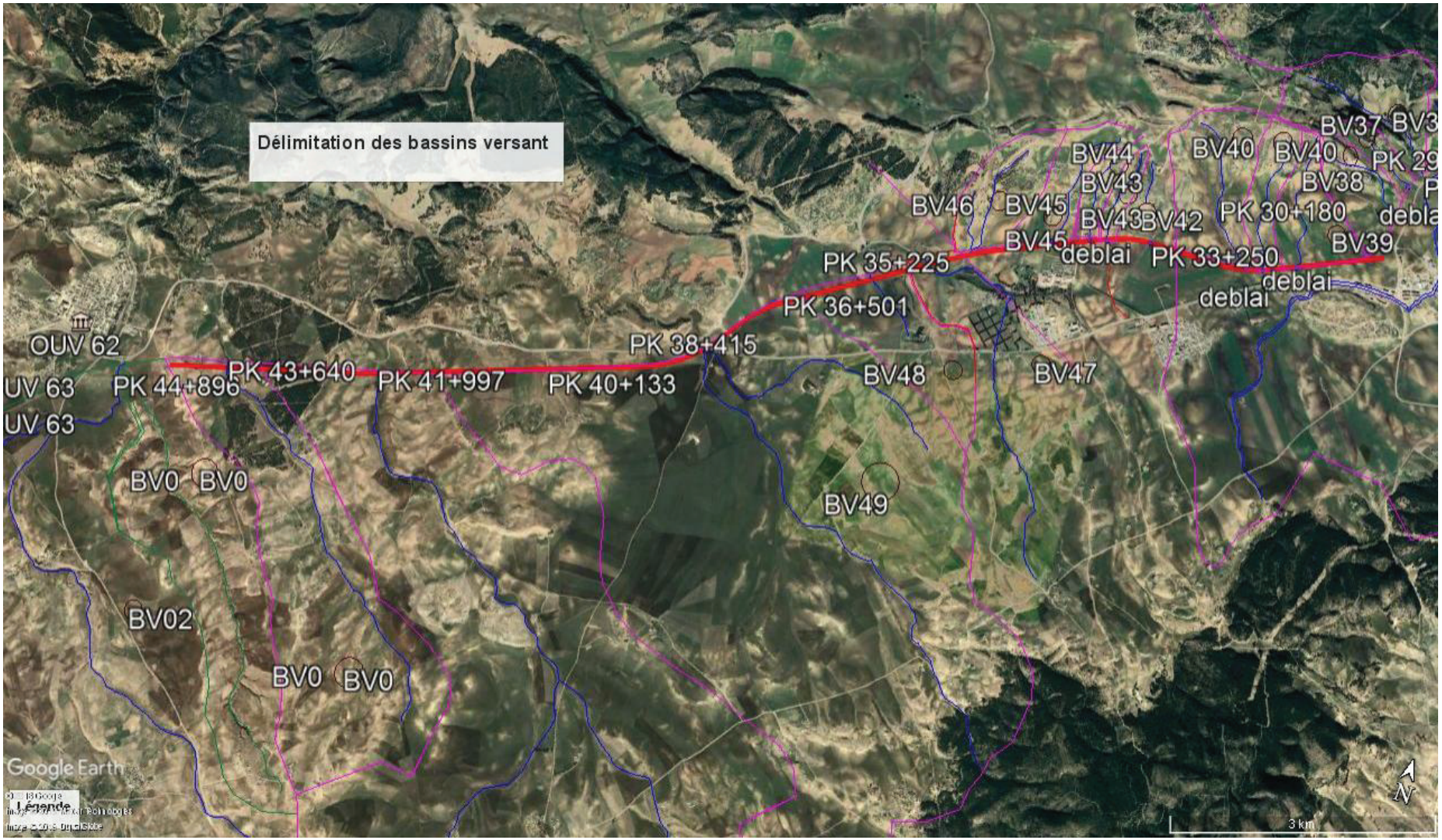


Figure 2 Traverse bi-bloc en béton précontraint

ANNEXE 5


Délimitation des bassins versant
OUV 62
UV 63
UV 63
PK 44+896
PK 43+640
PK 41+997
PK 40+133
PK 38+415
PK 36+501
PK 35+225
BV0
BV0
BV02
BV0
BV0
BV48
BV47
BV49
BV46
BV45
BV44
BV43
BV43
BV42
BV45
deblai
PK 33+250
deblai
deblai
BV40
BV40
BV38
PK 30+180
BV39
BV37
Google Earth
3 km
N

BV	PK	S (km2)	P (km)	Tc (h)	I(100)(mm/h)	Q (m3/s)	Buse (mm)	Dalot (m)	i(m/m)	Vps(m/s)	Qps(m3/s)	0.1*Q (m3/s)	RQ	RV	0.01*Q(m3/s)	RQ	RV	V(m/s)< 5 m/s	V(0.1)>0.6 m/s	V(0.01)>0.3 m/s
1	32+342	0.540	3.870	0.357	62.920	3.300	déverser dans l'assainissement longitudinal													
2	32+490	1.290	5.160	0.676	42.320	5.300	déverser dans l'assainissement longitudinal													
3	34+093	0.220	2.420	0.251	78.180	1.600	déverser dans l'assainissement longitudinal													
4	34+279	0.290	2.950	0.294	70.870	2.000	déverser dans l'assainissement longitudinal													
5	34+682	0.710	4.440	0.503	50.820	3.300	déverser dans l'assainissement longitudinal													
6	35+591	0.900	4.060	0.466	53.320	6.710	1500	/	0.015	4.458	7.874	0.671	0.085	0.563	0.067	0.009	0.290	4.458	2.510	1.293
7	36+031	10.520	15.600	2.396	19.310	14.900	Viaduc													
8	36+682	1.590	6.110	0.743	39.910	15.310	/	3*2	0.015	3.586	11.262	1.531	0.136	0.584	0.153	0.014	0.290	3.586	2.094	1.040
9	38+732	20.650	24.860	3.049	16.630	22.110	/	4*2	0.005	3.852	16.100	2.211	0.137	0.584	0.221	0.014	0.290	3.852	2.249	1.117
10	42+326	20.220	24.010	4.243	13.550	25.610	/	4*2	0.005	4.030	18.717	2.561	0.137	0.612	0.256	0.014	0.302	4.030	2.466	1.217
11	43+974	5.200	12.210	1.885	22.410	12.400	/	3*2	0.005	3.369	9.072	1.240	0.137	0.548	0.124	0.014	0.278	3.369	1.846	0.937

ANNEXE 6

Tableau 1 – Ponts en béton

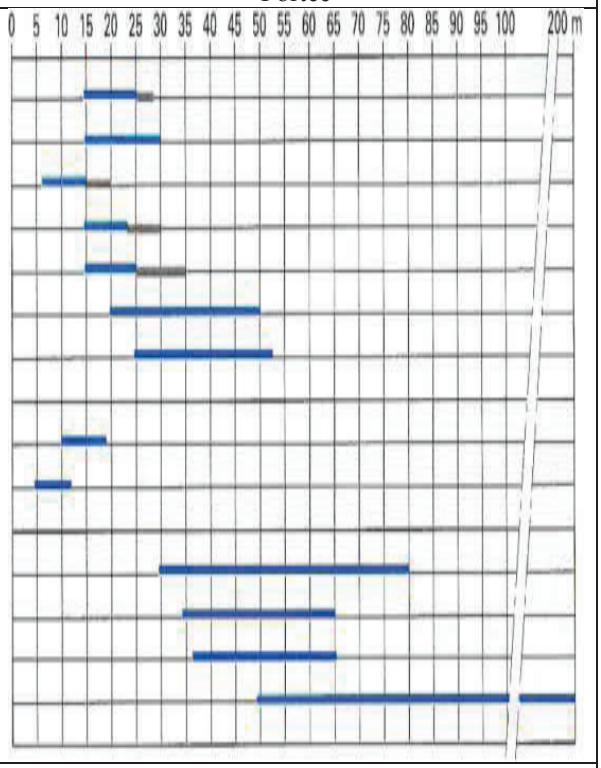
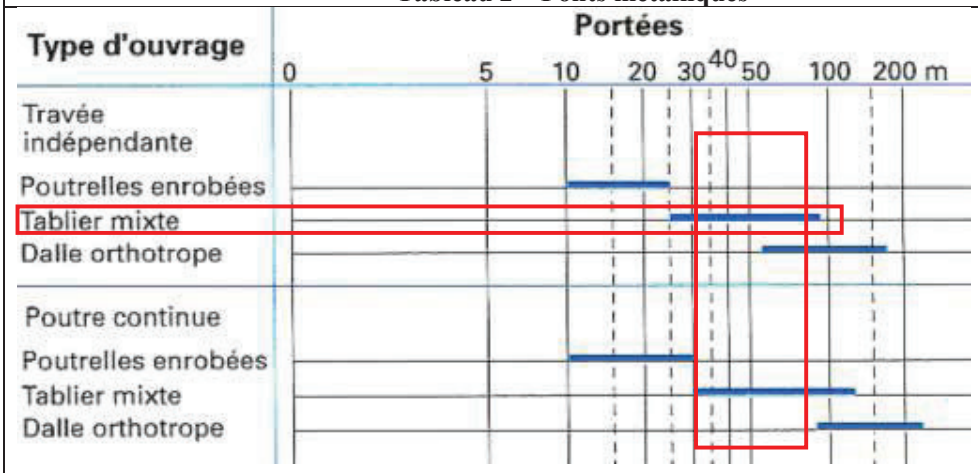
Type d'ouvrage	Portée
PSI-BA : Passage supérieur ou inférieur à poutres en béton armé (1) PRAD : Pont à poutrelles précontraintes par fil adhérent PSI-DA : Passage supérieur ou inférieur en dalle armée (2) PSI-DP : Passage supérieur ou inférieur en dalle précontrainte (2) PSI-DE : Passage supérieur ou inférieur en dalle élégie (3) PSI-DN : Passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée VIPP : Viaduc à poutres précontraintes par post-tension	
PIPO : Passage inférieur en portique ouvert PICF : Passage inférieur en cadre fermé	
Cintre auto-lanceur Pont poussé (unilatéralement) Pont poussé (bilatéralement) Pont construit en encorbellement	

Tableau 2 – Ponts métalliques



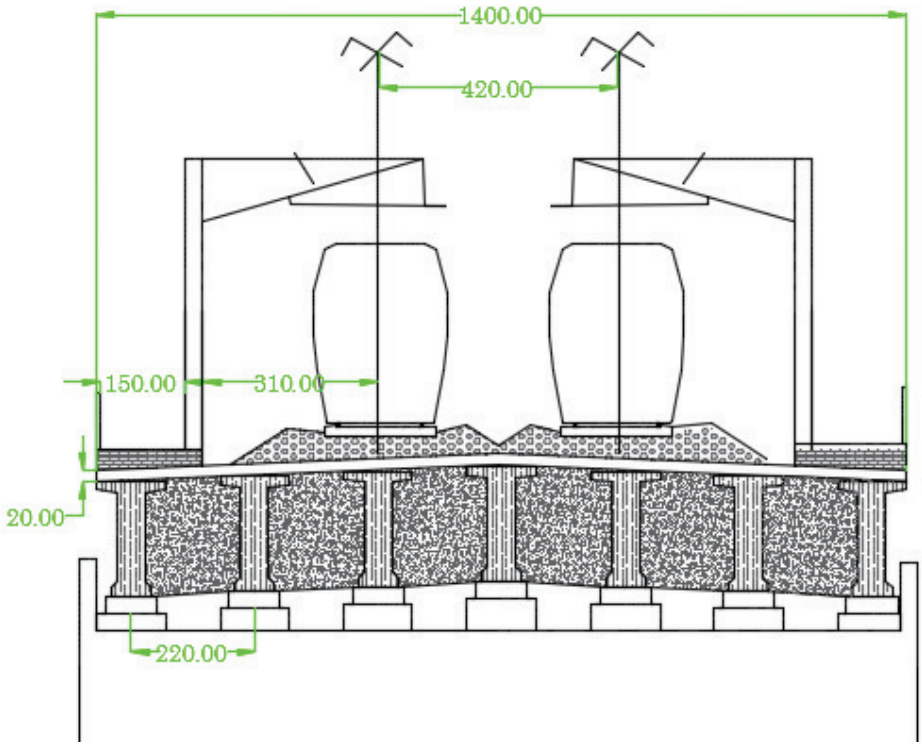


Figure 1 Coupe transversale de la 1er Variante

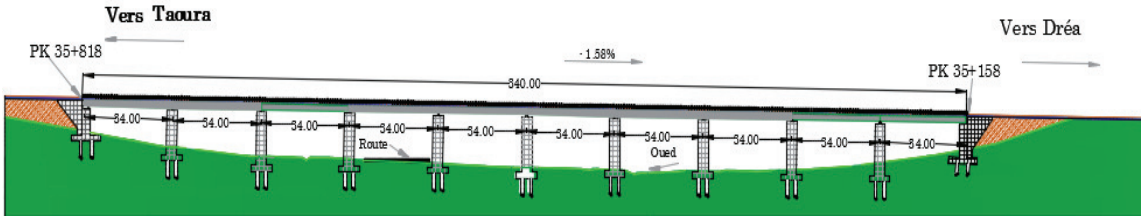


Figure 2 Coupe longitudinale de la 1er Variante (VIADUC)

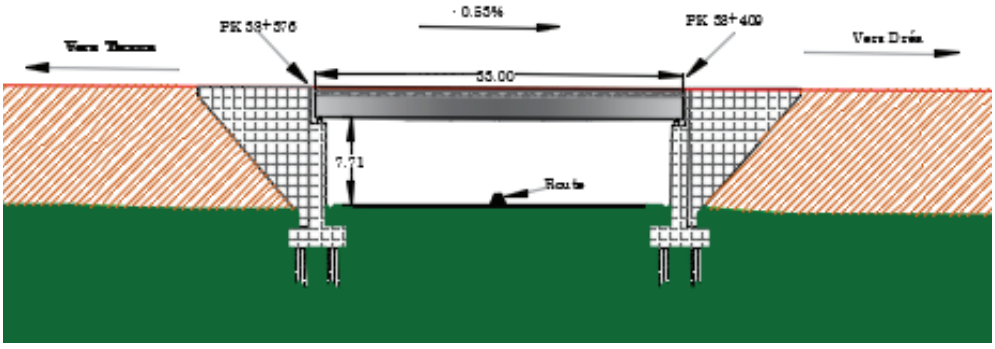


Figure 3 Coupe longitudinale de la 1er Variante (P.I)

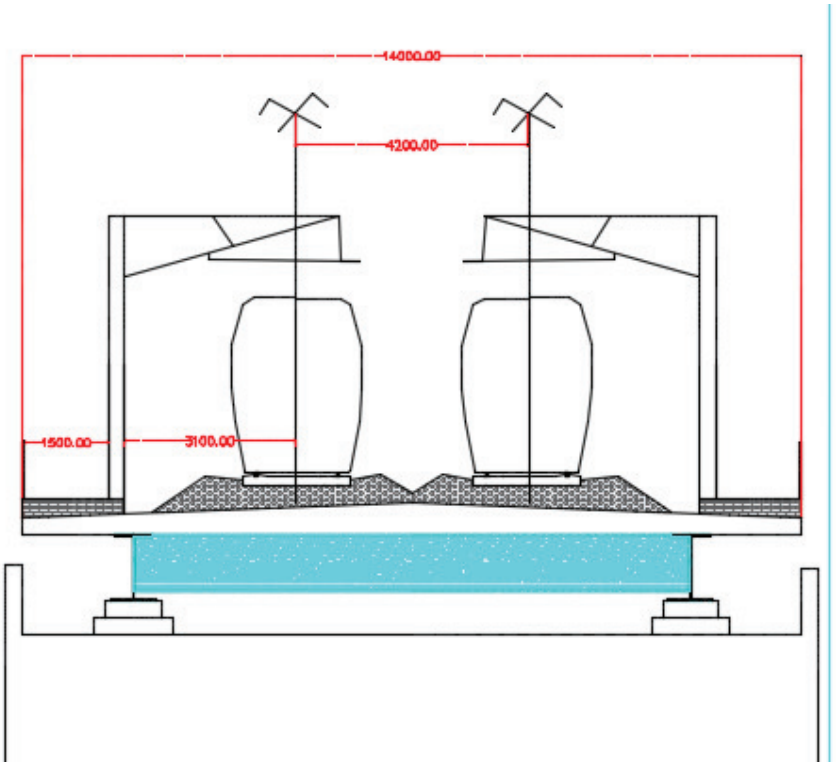


Figure 4 Coupe transversale de la 2éme Variante

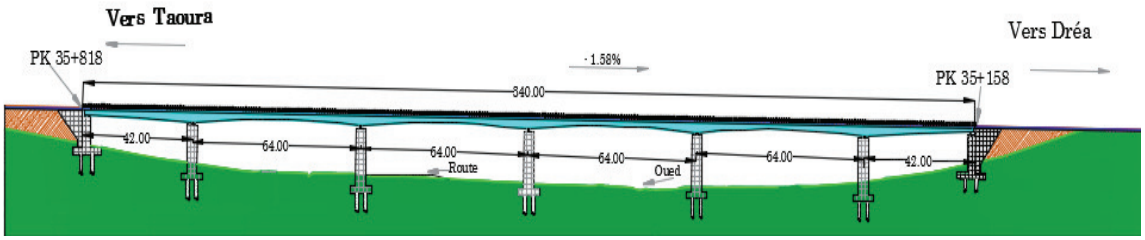


Figure 5 Coupe longitudinale de la 2éme Variante (VIADUC)

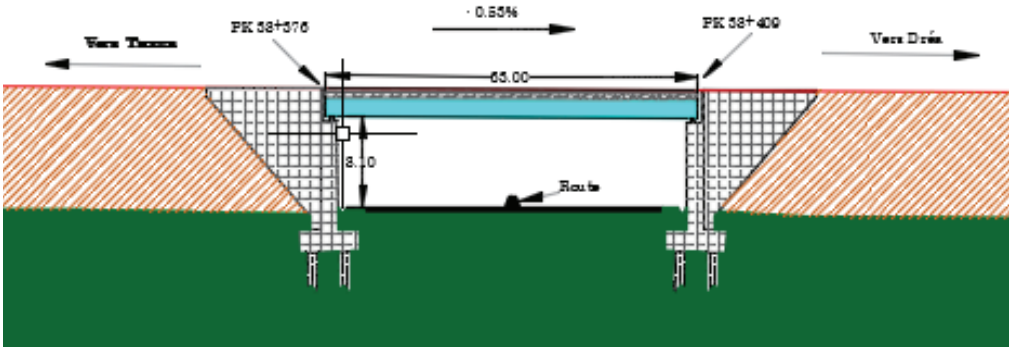


Figure 6 Coupe longitudinale de la 2éme Variante (P.I)

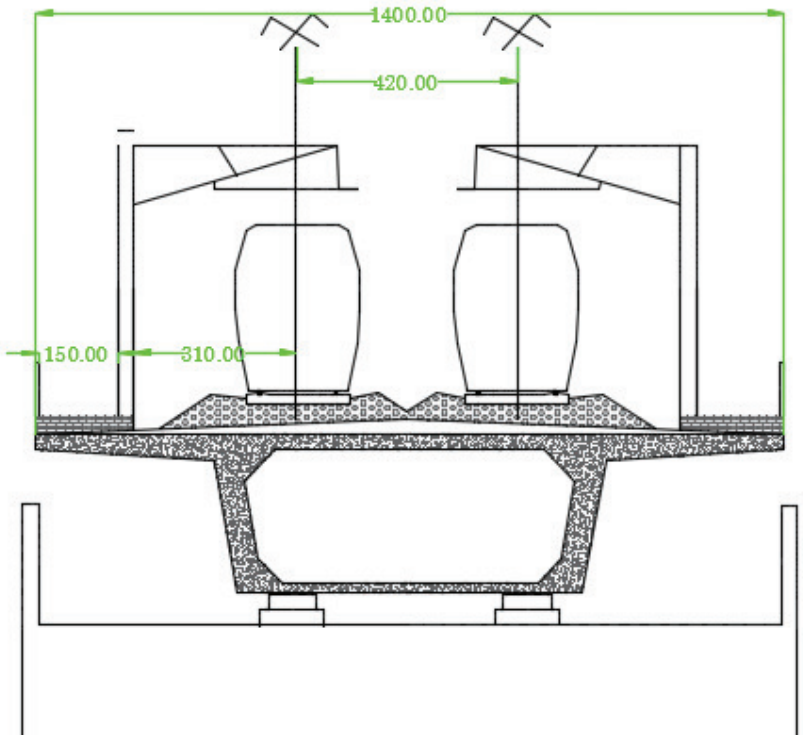


Figure 7 Coupe transversale de la 3éme Variante

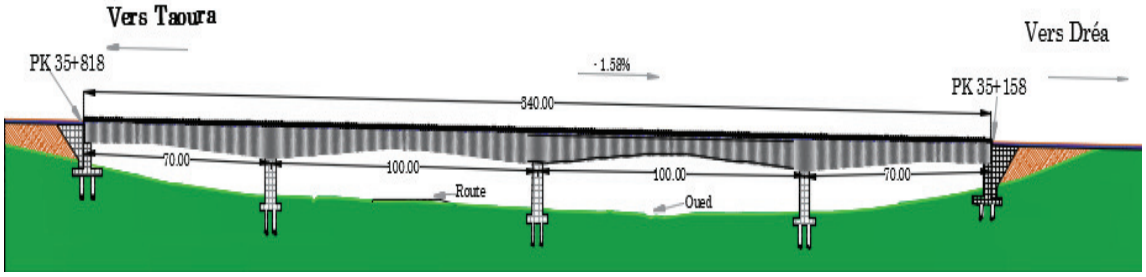


Figure 8 Coupe longitudinale de la 3éme Variante (VIADUC)