

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD Dédoublage de la voie ferrée et rectification du tracé pour augmentation de la vitesse à 160 Km/h sur le tronçon du PK40 au PK60 de la nouvelle ligne Beni Mansour Béjaia avec conception de la gare d'El Maten en BIM

Présenté par :

ABTOUN Rabah Yanis

AZZAOUI Abderrahmane

Encadré par :

Mme KHOUAS zohra

Mme DERRICHE zohra

Mr KERMICHE Abdellatif

Promotion 2020/2021

Remerciement

Au premier lieu, nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce projet et en particulier nos promoteurs Mme Khouas, Mme Derriche ainsi que Mr Kermiche pour leurs disponibilités permanentes ainsi que leurs aides et orientations précieuses tout le long de ce projet.

Nous remercions également chaleureusement tous les enseignants le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics ainsi que la directrice Mme Mekideche sans qui nous n'aurions pas fait autant.

Nous tenons également à remercier les honorables membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont accordés en acceptant d'évaluer notre travail.

Nous remercions aussi le groupe de COSIDER pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période de stage, plus spécialement : Mr Arab, Mr Tekkouk et Mr hadji.

Je remercie également Mme la directrice de la bibliothèque qui nous a accompagné durant ces trois années et qui n'a pas ménagé ses efforts afin de nous fournir la meilleure qualité possible de documentation.

Que tous ceux ou celles qui nous ont apportés leur soutien et qui nous ont aidé, de près ou de loin, pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression de notre vive et sincère reconnaissance, en particulier nos parents, familles et amis.

Dédicace

Au nom d'ALLAH, le clément et Miséricordieux, Je remercie ALLAH le tout Puissant, de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail à :

Je dédie mon travail à ma très chère mère qui a tout donné et qui continue d'investir chaque fibre de son corps à mon bien être et ma réussite, tu as été, tu es et tu resteras la première femme de ma vie, ma raison d'être, puisse dieu m'emporter tout le reste mais me laisser ne serait-ce que la douceur de tes caresses

Tu es une source de bonté dans ce monde, je ne saurais te rendre ne serait-ce qu'une infime partie de ce que tu me donnes chaque jour, dussé-je y passer 1000ans, Puisse dieu te garder à moi en bonne santé

A mon très cher père, mon éternel modèle et source d'inspiration, tu as consacré la réussite d'une vie brillante et prestigieuse à mon bien être et avenir, puisse dieu me permettre de devenir la moitié de l'homme que tu es, je n'aurais jamais rien fait sans toi.

A mes deux défunt grand père que je chérie jusqu'à aujourd'hui, Rabah Abtroun qui m'a donné son Prenom et Mohand Tahar Chalah qui a embelli mes premières années.

A ma défunte grand-mère maternelle que je n'ai pu connaître et à Kaissa Abtroun, ma grand-mère paternelle qui m'a donné tout l'amour qu'elle avait.

A ma chère sœur, Liza Kaissa qui a partagé chaque étape de ma vie, qui continue de m'accompagner et j'espère le fera toujours.

A ma chère amie, Haddad Imene qui a été mon plus fidèle soutien et ma camarade durant ces dernières années

A mon frère et ami Azzaoui Abderrahmane

A mon ami Benomrane Takkiedine qui m'a aidé et guidé durant tout mon travail.

A toutes ma famille et tous mes amis sans exception.

Dédicace

Au nom d'ALLAH, le clément et Miséricordieux, Je remercie ALLAH le tout Puissant, de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère qui a toujours été là dans les moments difficile et qui a tout donné pour moi et qui a tout sacrifié pour que je devienne l'homme que je suis aujourd'hui, je ne saurais te rendre ce que tu m'as donné, dussé-je t'arracher chaque étoile et t'en faire un collier, tant tu es mon plus grand trésor.

Que dieu te garde à moi, et puisse-tu être récompensé dans l'au-delà.

A Mon très cher père, mon modèle éternel, que j'espère un jour égalé ne serait-ce qu'à moitié, qui a travaillé toute sa vie et y a laissé sa santé pour que je puisse vivre décemment, puisse dieu garder ta lumière sur mon chemin, puisse tu faire partie des habitant du paradis.

A mon oncle Abderrahmane que j'aime très fort et qui a toujours été là pour moi durant mes études

A mes frère et sœurs très chers à mon cœur Mohamed, Hafsa, Khadidja, Ahmed, Zineb, Chaima, Maroua, Nafissa et Amina.

A ma deuxième famille, Mon frère et ami Yanis, et ses parents, Abdenour et Djazira

A Mohamed Takkiedine Lokmane, qui m'a aidé et guidé tout au long de ce travail

A mon frère et ami, Ihab Abdelli, qui a été mon compagnon tout au long de ma scolarité

A Amine, Mosaab, Youcef, Reda, Abdeldjalil, Abdelhadi, Omar et a tous mes amis sans exception.

Azzaoui Abderrahmane

ملخص

هذه المذكرة عبارة عن دراسة مفصلة لمقطع سكة حديدية من مشروع تجديد الخط الرابط بين بني منصور و بجاية مع رفع السرعة الى 160 كلم/سا تحديدا من النقطة الكيلومترية 40 الى النقطة الكيلومترية 60, بالإضافة الى تصميم و تهيئة من خلال مسح ثلاثي الأبعاد للواقع.BIM محطة الماتن باستعمال التقنية الجديدة

صممت هذه الدراسة وفقا لمعايير الإتحاد الدولي للسكك الحديدية و بناءً على توصيات الشركة الوطنية للنقل
2020, Civil 3D ,Autocad 2020, Leica-Cyclone 3DR بالسكك الحديدية بمساعدة البرامج التالية: Géostudio, globale mapper 19, Infracworks.

كلمات مفتاحية : سكة حديدية ,محطة , طريق مزدوج, دراسة

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée APD de la modernisation-dédoublément de la ligne ferroviaire Beni Mansour-Béjaia (du Pk 40.00 jusqu'au Pk 60.00) avec conception de la gare El Maten, réalisée pour la première fois par la méthode BIM-capture de la réalité 3D.

Cette étude a été réalisé suivant les normes de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et les recommandations de la Société nationale de transport ferroviaire (SNTF) et avec l'aide des logiciels: Leica-Cyclone 3DR, Autocad 2020, Civil 3D 2020, Géostudio, globale mapper 19, Infracworks.

Mots clés : BIM, Civil 3D, Chemins de fer, dédoublement, Gare.

Abstract

This thesis concerns a detailed APD pre-project study of the modernization-duplication of the Beni Mansour-Béjaia railway line (from Pk 40.00 to Pk 60.00) with design of the El Maten station, carried out for the first time by the BIM method-capture of 3D reality.

This project was carried out according to the standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the National Railway Transport Company (SNTF) and with the help of software: Leica-Cyclone 3DR, Autocad 2020, Civil 3D 2020, Geostudio, global mapper 19, Infracworks.

Keywords: BIM, Civil 3D, Railways, duplication, Station.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1.Introduction

I.2.Principe

I.3.Capture de la réalité 3D

I.4. Les différentes technologies de captures de la réalité

I.4.1. Technologie de scanner statique

I.4.2. Technologie de scanner dynamique

I.5. Problème résolu par le BIM

I.6. Adoption du BIM

I.7. Valeur ajoutée de la capture de la réalité dans le processus BIM

I.7.1.Modélisation d'ouvrage complexe

I.7.2. Corrélation de pièce sans déplacement.

I.7.3.Expertises et suivi

I.8. Autre outils topographique

I.9.Application à un projet de voie ferrée (devra être illustré par la présentation du projet)

I.9.1.géométrie

I.9.2. Hydraulique

I.9.3. Aménagement des gare

I.10. L'avenir dans la capture de la réalité 3D

I.11. Avantage économique

I.12. Faiblesse de la méthode BIM

I.13. Conclusion

Chapitre II : Présentation du projet

II.1. Introduction

II.2. Description du Projet

II.3. Objectifs du Projet

II.4. Localisation du Projet

II.5. Présentation de la ville de BEJAIA

II.6.Exploitation du projet.

II.7. Conclusion

Chapitre III : Superstructure de la voie

III.1.Introduction

III.2.La voie

III.2.1. catégorie de voies

III.2.2. rôle de la voie

III.2.3. Caractéristique de la voie

III.2.4. Les composantes de la voie

III.2.4.1. Les rails

III.2.4.1.1- Le rôle du rail :

III.2.4.1.2- Différents types de rails

III.2.4.2. Les Traverses

III.2.4.3. Les Attaches :

III.3.Caractéristiques et type d'installation pour notre projet :

III.3.1. Voie courante

III.3.2. Voie de service en gare

III.4.Conclusion

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

IV. INTRODUCTION

IV.1. TRACE EN PLAN

IV.1. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN

IV.2. LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN

IV.3. CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRES GEOMETRIQUE

IV.4. PARAMÉTRÉS GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ

IV.5. LES DOUCINES

IV.6. LONGUEUR DE LA COURBE DE RACCORDEMENT

IV.7. LONGUEUR DES ELEMENTS DU TRACE

IV.8 : APPLICATION AU PROJET

IV.9. CALCUL DE L'AXE EN PLAN

IV.9.1. LA METHODOLOGIE DE CALCUL

CONCLUSION

IV.10.CONCLUSION GENERALE DU CHAPITRE

Chapitre V : Profil en long

V .INTRODUCTION :

V.1.REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG

V.2.ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG

V.3.PARAMETRES CINEMATIKES DU PROFIL EN LONG

V.4.COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN

V.5.EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG

V.6.CONCLUSION

Chapitre VI : Etude géologique et géotechnique

VI.1.Introduction

VI.2-étude géologique

VI.2.1.Situation du site

VI.2.2.Géologie régional

VI.2.3.Stratigraphie régional

VI.2.4.Tectonique et sismicité

VI.2.5.géomorphologie

VI.3. Etude géotechnique

VI.3.1. Travaux de reconnaissance et campagne d'essai

VI.3.1.1. Levé de surface

VI.3.1.2. Programme d'essai

VI.3.1.3. Sondage réalisé :

VI.3.1.4. Essai in situ

VI.3.1.5. résultats obtenus

VI.3.2. essai en laboratoire :

VI.3.2.1. Essais réalisés

VI.3.2.2. Résultats des essais obtenus en laboratoire

VI.3.7. talus

VI.3.7.1 Les différents talus en remblais et déblais présent sur le tronçon

VI.3.8.Conclusion

CHAPITRE VII : Dimensionnement de l'assise ferroviaire.

VII.1.Introduction

VII.2.Couche d'assise

VII.3.Le Ballast

VII.3.1.Le rôle du ballast

VII.3.2.Caractéristiques physiques

VII.3.3.Caractéristique mécanique

VII.3.3.1La résistance à l'attrition

VII.3.3.2 la résistance aux chocs

VII.3.3.3.La dureté

VII.3.3.4.Résistance à la compression simple

VII.4. Epaisseur du ballast

VII.5.La sous couche

VII.6.Sous ballast

VII.7.La couche de fondation

VII.8.Couche anti-contaminant

VII.9.La plateforme

VII .9.1.classification de la plate-forme

VII.9.1.1.Classe de qualité des sols pour la plateforme

VII.9.1.2.Classe de portance de la plateforme

VII.10.Dimensionnement des couches d'assise :

VII.11.Application à notre projet

VII.11.1.Calcul de trafic fictif

VII.11.2.Calcul de l'épaisseur du ballast

VII.11.3.Calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise

VII.11.4.Dimensionnement de la couche de forme

VII .12CONCLUSION

Chapitre VIII : Etude hydraulique

VIII.1.Introduction

VIII.2.Description du site de projet

VIII.3.Climatologie

VIII.4.Pluviométrie

VIII.4.1.Pluie annuelle

VIII.5.Bassin versant

VIII.5.1-Débit max du Bassin versant de Oued Soummam

VIII.6.Hydraulogie

VIII.6.1.Données pluviométrique

VIII.6.2. Calcul des précipitations maximales journalières de fréquence donnée PJ(%)

VIII.6.3. Calcul de la fréquence d'averse

VIII.6.4.Calcul de l'intensité horaire moyenne

VIII.6.5.Caractéristique des bassins versants

VIII.6.5.1.Caractéristique géométrique

VIII.6.5.2.Caractéristique Topographique

VIII.6.5.3.Calcul

VIII.7.Calcul hydraulique

VIII.7.1. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue)

VIII.7.2. Calcul des temps de concentration

VIII.7.3.Le coefficient de ruissellement

VIII.8.Application au projet

VIII.8.1.Première application

VIII.9. Etude d'Assainissement

VIII.9.1.Introduction

VIII.9.2.Les ouvrages transversaux

VIII.9.3.Critère de dimensionnement à respecter

VIII.9.4.Application au projet

VIII.10.Ouvrage longitudinaux

VIII.10.1.Dimensionnement des fossés

VIII.10.2.Application au projet

VIII.11.Calcul hydraulique des ponts

VIII.11.1.Application au projet

VIII.12.Conclusion :

Chapitre IX : Profil en travers

IX.1.Introduction

IX.1.1Profil en travers type

IX.1.2Profil en travers courant

IX.2.Constituant du profil en travers type

IX.3.Element du profil en travers

IX.4.Profil type de notre projet

Chapitre X : Terrassement et ouvrage d'art

X.1.Ouvrage d'art

X.1.1.Introduction

X.1.2.Les croisement avec la route

X.1.2.1.Passage inférieur

X.1.2.2.Passage supérieur

X.1.2.3. Franchissement d'écoulement d'eau

X.1.2.3.1.Pont hydraulique

X.1.2.4.Tunnel ferroviaire

X.3.Application au projet

X.3.1.Les ouvrages d'art de notre projet

X.4.Terrassement

X.4.1.Introduction

X.4.2. Déblais

X.4.3. Remblais

X.4.4 Vérification de la stabilité des déblais et remblais (Logiciel Géostudio 2018)

X.4.4.1.Application aux déblais-remblais de notre projet

X.5.Epaisseur de la terre végétal

X.6.Récapitulatifs des quantités de matériaux utilisées

X.7.Conclusion

Chapitre XI : Conception de la gare El Maten

XI.1.Introduction

XI.2.Type de gare

XI.2.1.Les gare voyageurs

XI.2.2.Les gares de triages

XI.2.4.Les gares marchandises

XI.3.1.Longueur utile d'une voie de stationnement

XI.3.2.Les heurtoirs

XI.3.3.Les quais

XI.3.3.1Hauteur du quai

XI.3.4.Les appareils de voies

XI.3.4.1.Implantation des appareils de voies

XI .3.5.Garage franc

XI.4.APPLICATION AU PROJET

XI.4.1.Longueur des quais

XI .4.2.La largeur des quais

XI .4.3.La hauteur des quais et leur distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741

XI .4.4. Entraxe entre les quais A et B

XI .4.5. Passerelle supérieure

XI .4.6.Longueur du garage franc

XI .4.6.1Exemple de calcul de garage franc situé en alignement

XI .4.6.2Exemple de calcul de garage franc situé en pleine courbe

XI .4.7.Entre-axes

XI .4.8.Tracé en plan

XI .4.9.Profil en Long

XI .4.10.Soudures

XI 4.11Appareils de Voie

XI.4.11.1 DONNEES D'IMPLANTATION DES APAREILS DE VOIES

XI 4.12.DONNEES D'IMPLANTATION DES GARAGE FRANCS

Chapitre XII : Signalisation

XII.1.Introduction

XII.2.Signalisations

XII.2.1.Rôle des installations de signalisation

XII.2.2. Type de signalisations

XII.2.3. Fonction des signaux

XII.2.4.Tableau indicateurs

XII.2.5.Implantations des signaux

XII.3.Le système de signalisation ERTMS

XII.3.1.L'interopérabilité

XII.4. Application à notre projet

XII.4.1.Signaux à respecter

XII.4.2. Système de Blocks

XII.4.3.Repère d'arrêt pour mouvement de pleine voie

XII.5.Télécommunication

XII.5.1.Présentations de l'étude de communication

XII.5.2.Relation entre le réseau existant et le nouveau

XII.6.Technologie proposée

XII.7.Système GSM-R

XII.7.1 Fibre optique

XII.7.2.La sonorisation et l'inter phonie de la ligne Beni Mansour-Béjaia

XII.7.3.Langue utilisées.

XII.7.4.Interphonie

XII.7.5.Détection des incendies

Chapitre XIII : Etude d'impact sur l'environnement

XIII.1. Introduction

XIII.2. Les éléments environnementaux pris en compte

XIII.2.1. Les ressources en eau

XIII.2.2. Patrimoine privé

XIII.2.3. Les zones agricoles

XIII.2.4. Le couvert forestier

XIII.2.5. Les zones urbanisées

XIII.3. Impact du projet sur l'environnement

XIII.3.1. Les terrassements

XIII.3.2. Déstructuration du parcellaire

XIII.3.3. Les effets sur les zones inondables

XIII.4. Mesure prise en compte

XIII.5. Conclusion

Chapitre XIV : Modélisation de la gare El Maten via la capture de la réalité 3D-BIM en utilisant les outils LEICA GEOSYSTEM

XIV.1. Introduction

XIV.2. Matériel et logiciel utilisés

XIV.3. Capture de la réalité

XIV.3.1. Fonctionnement du scanner 3D BLK 360

XIV.3.2. Utilisation sur la gare El Maten

XIV.3.3. Création du nuage de points

XIV.4. Modélisation

XIV.5. Conclusion

Chapitre XV : Devis estimatif quantitatif

Conclusion générale

Annexes

Introduction générale :

Le développement des pays se repose en très grande partie sur les infrastructures de transports, l'économie des pays est régit par la capacité de déplacement tant elle facilite le transfert d'idées, de matériels et de ressources et améliore la productivité de la population ce qui contribue grandement au PIB de la nation.

Dans cette optique, l'homme a toujours su faire preuve d'imagination et créativité, en commençant d'abord par le transport par animaux et pour cela de simple chaussée composé de pierre et de chaux suffisait.

Avec l'évolution des véhicules il a fallu créer des chaussées puissantes afin de pouvoir supporter les machines lourdes et rapides, mais l'invention qui révolutionna totalement le transport est la voie ferrée, principalement pour la marchandise, c'est l'invention qui a permis aux état unis de devenir la puissance qu'elle est, et jusqu'à aujourd'hui c'est le moyen le plus rentable.

L'Algérie étant munie d'une grande superficie elle a eu besoin de construire de vaste méga projet d'infrastructure de transport, son réseau routier est d'ailleurs le plus dense d'Afrique avec 108 302 km de route, le projet le plus célèbre étant l'auto route Est-Ouest qui relie Annaba à l'extrême Est

Parmi ces infrastructure on retrouve le chemin de fer qui représente un enjeu écologique économique et social tant ses avantages sont énormes, le réseau ferroviaire Algérien est d'ailleurs le plus développé d'Afrique, une grande partie de ces ouvrages ont néanmoins besoin de modernisation pour coller avec les défis économiques et sociaux des temps modernes.

schéma directeur des transports du pays a inscrit plusieurs projets dans le domaine des infrastructures de transport, notamment les infrastructures ferroviaires en général et en particulier le projet de modernisation de la ligne existante Beni Mansour-Béjaia qui s'inscrit dans le programme de développement économique et touristique de la Zone, principalement en augmentant la vitesse permettant l'échange d'une plus grande quantité de marchandise (6 trains par jour au lieux de 2 pour une quantité par voyage plus élevé) vers la zone ultra stratégique du port de béjaia (port économique), tout en réduisant la charge de trafic civil sur l'axe routier de la RN26.

Dans ce modeste travail nous allons procéder à une étude en APD du tronçon Sidi Aich-EL KSEUR (avec évitement de la ville de sidi aich) en vue de la modernisation de la ligne ferroviaire Beni Mansour-Béjaia sur une longueur de 20km. Cette étude nous a été proposée par Cosider Alger.

Chapitre I

Recherche bibliographique : Modélisation par capture de la réalité 3D BIM

I.1.Introduction :

La technologie, qu'importe le domaine, avance à pas de géant et les ingénieurs ne cessent de trouver le moyen d'améliorer, optimiser et mieux rentabiliser les différents projets.

Dans le domaine des travaux publics, le problème de l'organisation d'un projet, à n'importe quelle phase de ce dernier, a toujours présenté un problème de taille, la récolte des données est probablement la plus méticuleuse et celle qui représente le plus de problèmes, extrêmement chronophage, une grande partie du temps de projet lui est consacré et une partie des données se perd toujours.

C'est là qu'est venue la capture de la réalité 3D, les ingénieurs ont élaboré une technologie qui s'est démocratisée à partir de 2008, cela consiste à réaliser un nuage de points topographique retranscrivant la réalité à partir de plusieurs millions de points, étant infiniment plus rapide et plus précis que les méthodes topographiques traditionnelles.

Cette dernière méthode s'inscrit dans une pratique innovante nouvelle basée sur un travail collaboratif entre tous les acteurs d'un projet sur une plateforme collaborative en 3D, elle se nomme le BIM (Building information modeling)

I.2.Principe

La méthode BIM crée des écosystèmes connectés autonome en fournissant des solutions numériques améliorant la qualité et la productivité dans des applications de fabrication, d'infrastructure ou de mobilité, notamment en réduisant les erreurs et en permettant de ne perdre aucune donnée au cours des différentes phases d'un projet

I.3.Capture de la réalité 3D :

La modélisation de la réalité naturelle de l'environnement est sûrement la phase la plus cruciale d'un projet de construction, c'est là la genèse de toutes les œuvres d'ingénierie

Notre réalité peut être capturée par différentes technologies :

- Appareil photo simple
- Un balayage laser sous forme de technologie LIDAR
- Des images thermiques

Ce sont des machines qui rendent notre environnement lisible par des procédés qu'on appelle « machine learning » malheureusement il n'est pas tout à fait interactif ou intelligent et la retranscription reste très peu fidèle aux dimensions réelles.

La capture de la réalité via Scanner 3D est donc venue afin de créer de véritables clones numériques de la réalité afin de les exploiter lors d'un projet de construction, nous pouvons citer différents appareils pour cela :

- Les drones
- Les scanners 3D
- différents outils de cartographie mobile

Les différentes sociétés consommatrices des données capturées par ces technologies les exploitent afin de simuler virtuellement divers états et cycle de vie d'infrastructure en respectant les règles de la modélisation classique

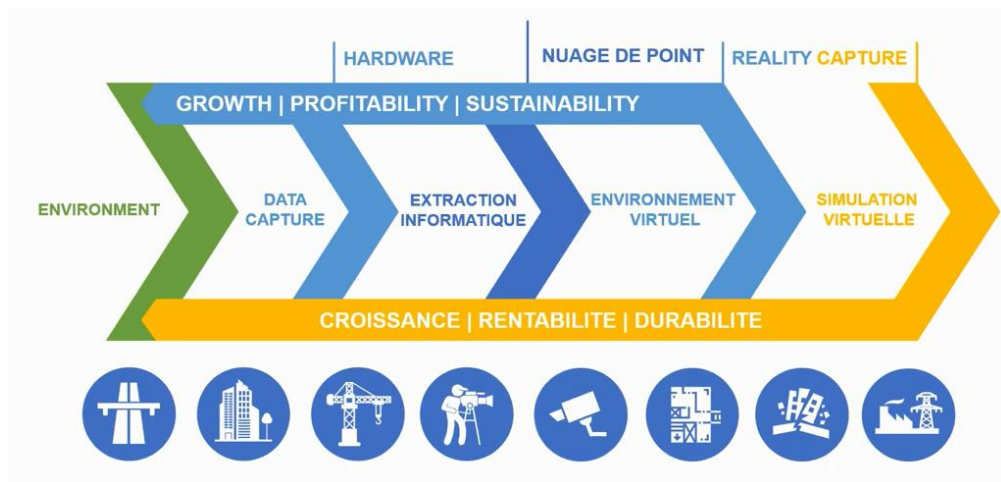


Figure I.1. Étapes d'une modélisation en BIM

Une véritable corrélation entre le clone numérique et le monde réelle se fera afin de créer un mode d'étude durable et efficace jusqu'à aller à l'étude du cycle de vie d'un ouvrage en utilisant la réalité augmenté (5 dimensions) ce qui nous permettra d'optimiser les 3 aspects majeur d'un ouvrages :

- 1-sa croissance
- 2-Sa rentabilité
- 3-Sa durabilité

I.4. Les différentes technologies de captures de la réalité

Il en existe énormément, globalement réparti en trois familles

I.4.1. Technologie de scanner statique :

Ce sont des scanner positionné sur des trépied et ils représentent la première génération de scanner 3D

Ils commencent par automatiquement se positionner au points nul (0,0,0) et capture la réalité avec toutes les caractéristiques qui la composent à partir de ce repère local, nous avons par exemple le P50



Figure I.2. Scanner 3D P50

Ou bien le scanner de dernière génération, le BLK 360 qui peut capturer plusieurs millions de points en 3minutes :



Figure I.3.Scanner BLK 360

I.4.2. Technologie de scanner dynamique:

Ce sont des scanner très sophistiqué utilisant la lasergrammétrie ou la photogrammétrie et qui sont capable de capturer la réalité en étant en mouvement, faisant un gain de temps et de logistique très important.

Le plus souvent utilisé sur des véhicules, le plus efficace reste le drones à cause de son rayon d'action contenant très peu de contrainte capable de scanner plusieurs dizaine de km d'une voie en quelques heures.



Figure 1.4.Scanner drone 3D aibot.

I.5. Problème résolu par le BIM

Comme cité précédemment, le plus grand problème lors d'un projet d'infrastructure est la perte d'information entre la phase design/étude et la phase de terrain, surtout au jours d'aujourd'hui pour des chantiers qui se veulent toujours plus grand et complexe.

Le BIM ne se limite pas au modèle, il se base sur une série de logiciels numérique pour chaque phase de ce dernier, de la capture de la réalité à travers un nuages de points (via recaps, cyclone 3dr...) au livrable (le projet fini réellement), la maquette n'est pourtant qu'une composante du process et cela permet au processus de réalisation d'être suivi en temps réelle et d'enregistrer les différentes erreurs sans aucune perte de réalité.

I.6. Adoption du BIM :

Le bim aujourd'hui fait face à différents enjeux économiques et politique, il fut introduit en Europe en fin de décennie des années 2000 ou il était assez peu utilisé tout en étant assez peu sophistiqué malgré l'innovation apportée.

Aujourd'hui, le BIM s'est mondialement démocratisé et est devenu la technologie incontournable du domaine de la construction

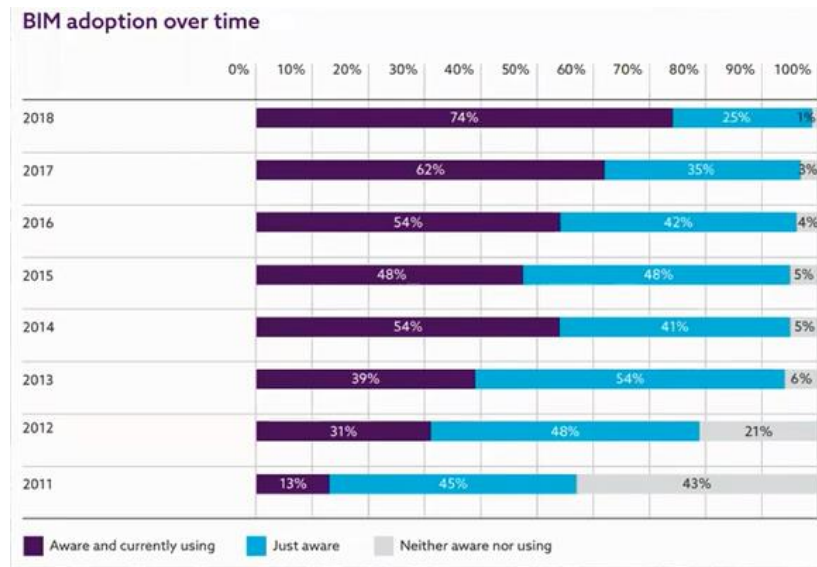


Figure 1.5.évolution de l'utilisation du BIM depuis 2011 jusqu'à 2018

L'adoption fut tel qu'un aspect légal s'est également développée autour du BIM (comme la loi MOP) et cela compte bien s'accélérer.

Son appréciation vient de la centralisation existante entre l'ensemble des acteurs de la construction autour d'une seule et même maquette, rendant le travail collaboratif extrêmement productif.

I.7. Valeur ajouté de la capture de la réalité dans le processus BIM

Autour d'une maquette 3D, la capture de la réalité via scanner apporte une valeur ajoutée autour de plusieurs axes :

- Modélisation la plus fidèle possible
- Analyse des déformation grâce à la précision du levée
- La détection de collision
- échange de données

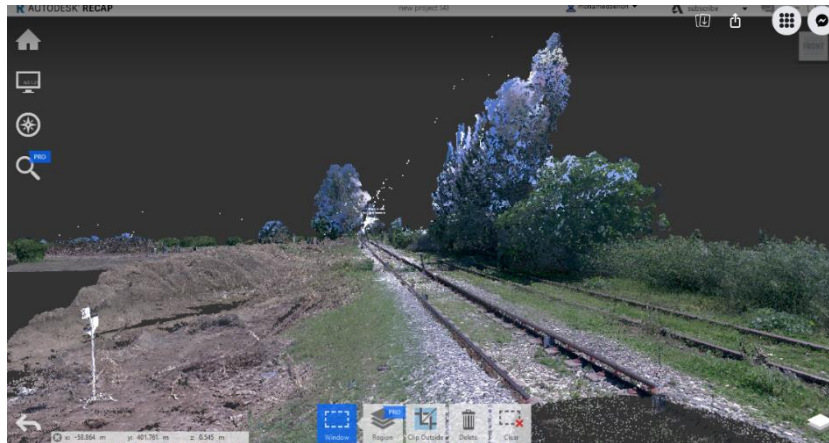


Figure I.8. Capture de la réalité de la gare de El Maten à Béjaï

La figure ci-dessus représente la capture de la réalité d'un rail de la voie d'El Maten, ce n'est pas une photo mais un ensemble de points, capturé grâce à un BLK 360 et retranscrit dans le logiciel RECAP, puis nous pourrions intégrer différents ouvrages sur cette réalité en prenant en compte chaque contrainte possible du terrain réel, les cubatures seront données automatiquement par les logiciels de fusion de la réalité avec l'ouvrage modélisés après le transfert des données dans les différents outils CAO/DAO (cyclone 3DR/civil 3D ou 3DS MAX) en créant une photo 360* en HDR (1920x1080)
Le niveau de détails de ce dernier est d'environ 5mm (le rapport des stations de la prise de la réalité 3D sera donné en annexe)

I.7.1. Modélisation d'ouvrage complexe :



Figure

I.9. Structure industrielle complexe

Un des plus gros problèmes pour un ingénieur modélisateur sont les structures complexes, comme les structures industrielles, les outils de capture cités précédemment permettent de prendre des angles complexes non accessibles par les outils traditionnels, il était quasiment impossible de réussir une modélisation de ce genre de structure du premier coup et le passage à la phase construction représentait énormément de problèmes, beaucoup trop d'angle mort et de zone cachée, ce n'est plus le cas.

I.7.2. Corrélation de pièce sans déplacement.

Lorsque l'on a une structure existante que l'on veut restaurer, moderniser ou faire une extension de cette dernière, les pièces correspondantes sont le plus souvent livrées, et il y a quasiment toujours des problèmes lors de la mise en place, menant généralement à des ajustements ou carrément un changement de pièce.

Nous pouvons, depuis 2010, scanner les deux parties du projet (la structure ainsi que la pièce) pour une structure en charpente métallique par exemple, les étapes suivantes permettra un gain de temps et d'argent considérable :

1-Scanner la pièce à ajouter

2-Scanner la structure

3-intégrer les données dans un outils tel que cyclone 3DR ou TEKLA

4-Les intégrer, le processus mécanique sera respecté dans les moindres détails réelles, nous permettant de procéder, numériquement, aux ajustement permettant à la pièce de mieux s'intégrer, Nous saurons si des éventuels problèmes auront lieux et nous les résoudre efficacement avant la livraisons.

I.7.3.Expertises et suivi :

Les biens fait de la capture de la réalité 3D ne s'arrête pas qu'à la modélisations, nous pouvons par exemple examiner les différents changement encouru par un ouvrage durant son utilisations lors d'une visite d'expertise.

Par exemple après un tremblement de terre, examiner les tassement/changement d'axe d'un pont est extrêmement simple et rapide, quelques heures suffisent à scanner l'intégralité de l'ouvrages, si les données de ce derniers ont été prise en BIM, comparer les deux modèles nous permettra de découvrir les variations et dégradations EXACT de l'ouvrage, que ce soit les fissures, le gauchissement ou bien le tassement des piles.

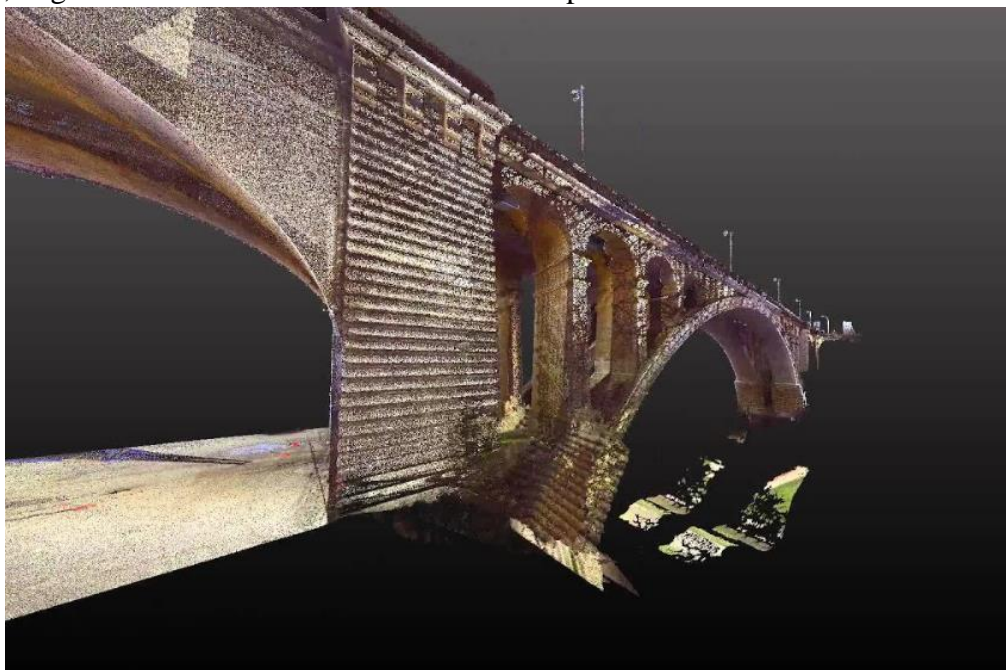


Figure 1.10. Capture de la réalité du pont Adolphe en Luxembourg via scanner 3D

Cela pour l'expertise, concernant le suivi d'une construction, le scan horizontal peut nous permettre de vérifier la planéité d'un terrassement, d'un radier ou d'un béton, la tolérance d'erreur habituel voit sa valeur baisser considérablement.

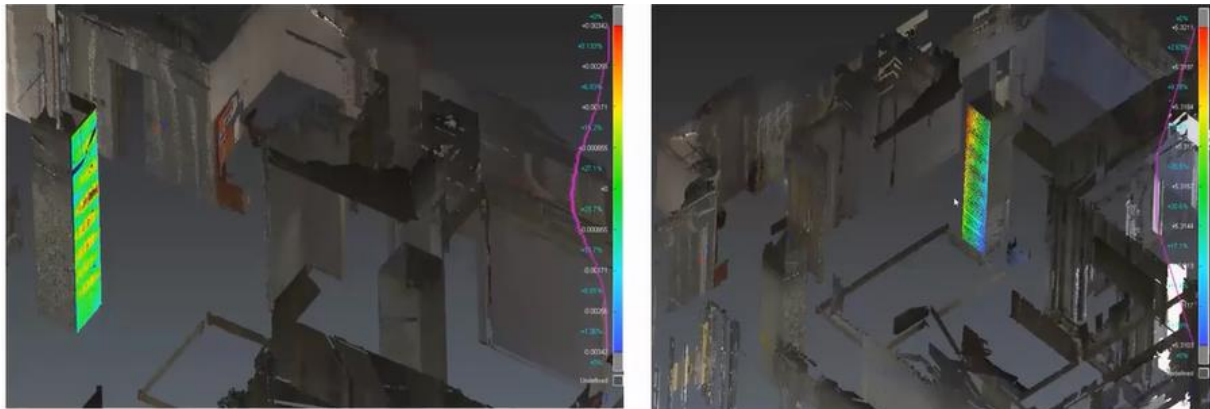


Figure I.11. Vérification de la planéité du béton d'un poteau en BIM.

I.8. Autre outils topographique

Le BIM, dans l'imaginaire collectif, est forcément corrélé à un scanner 3D, ce qui n'est pas forcément le cas.

Pour une route ou une voie ferrée, nous pouvons parfois avoir un aperçu d'une réalité de l'ouvrage créé via une capture de la réalité par satellite, via des logiciels comme google earth pro

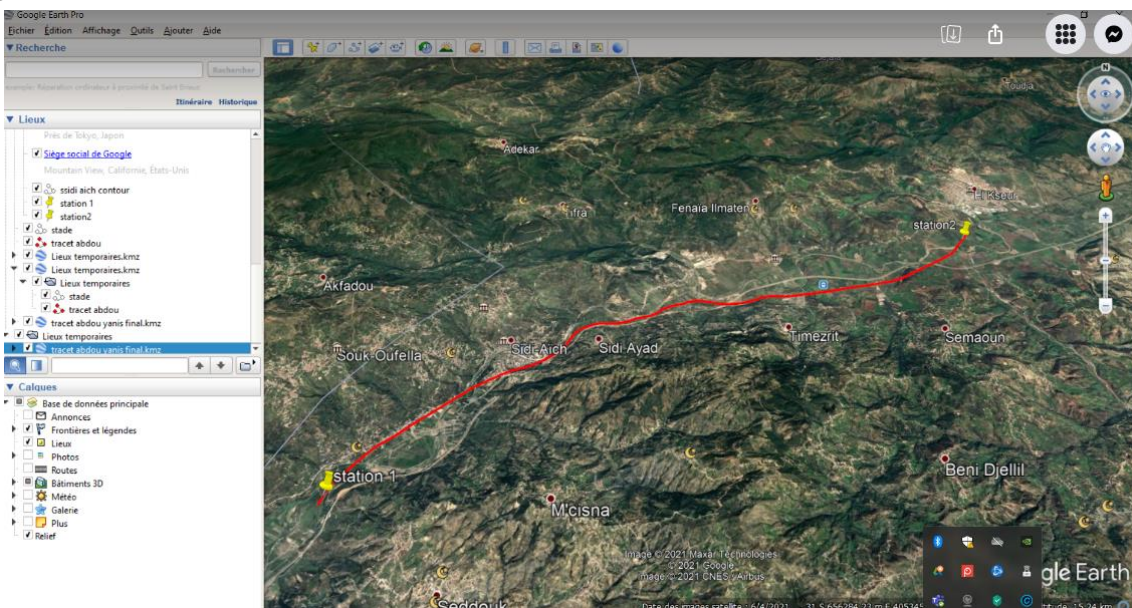


Figure I.12. carte capturant un nuage de points réelles de la voie ferrée Beni Mansour Béjaia sur 20km (PK40-60)

Nous avons remarqué une très forte corrélation entre le profil en long fourni par la capture GPS et celle créer par le nuage de points topographique levée sur chantier



Figure I.13 Profil en long généré par la carte topographique de google earth

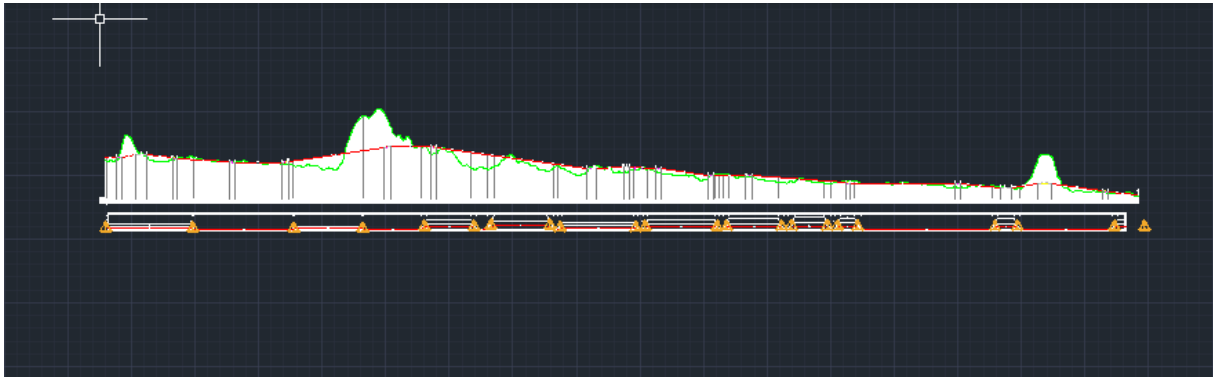


Figure 1.14 Profil en long généré par le levée topographique sur chantier.

I.9. Application à un projet de voie ferrée (devra être illustré par la présentation du projet)

En passant du cas général, au cas spécial nous pouvons nous concentrer sur la voie ferrée, il y a différentes phase d'étude, géométrique, géotechnique, hydraulique ... et le bim permettrait de faciliter toutes les étapes du projet

I.9.1.géométrique :

Comme vu précédemment, la capture d'un terrain est très aisée à l'aide d'un scanner 3D, nous pouvons ensuite aisément retranscrire le tracé par-dessus le nuage de points et le laisser vérifier automatiquement les différents rayons/clothoïde ...

Les cubatures seront calculées automatiquement au fur et à mesure que le tracé se créera ce qui permettra un gain de temps de plusieurs semaines



Figure 1.15.tracé de la ligne Beni Mansour –Béjaia au PK 55 fait en BIM implanté directement sur le terrain capturé respectant les contraintes du terrain.

1.9.2. Hydraulique

Une des parties la plus complexe d'un projet est probablement l'étude hydraulique, la définition des bassins versant et le calculs de ses caractéristiques peut se faire en un instant, les caractéristiques sortiront immédiatement d'une précision approchant le « mm », nous pouvons voir ci-dessous un bassin versant modélisé sur le nuage de points réels après l'avoir créer via civil 3d, il suffit ensuite de le transférer vers le logiciel infraworks

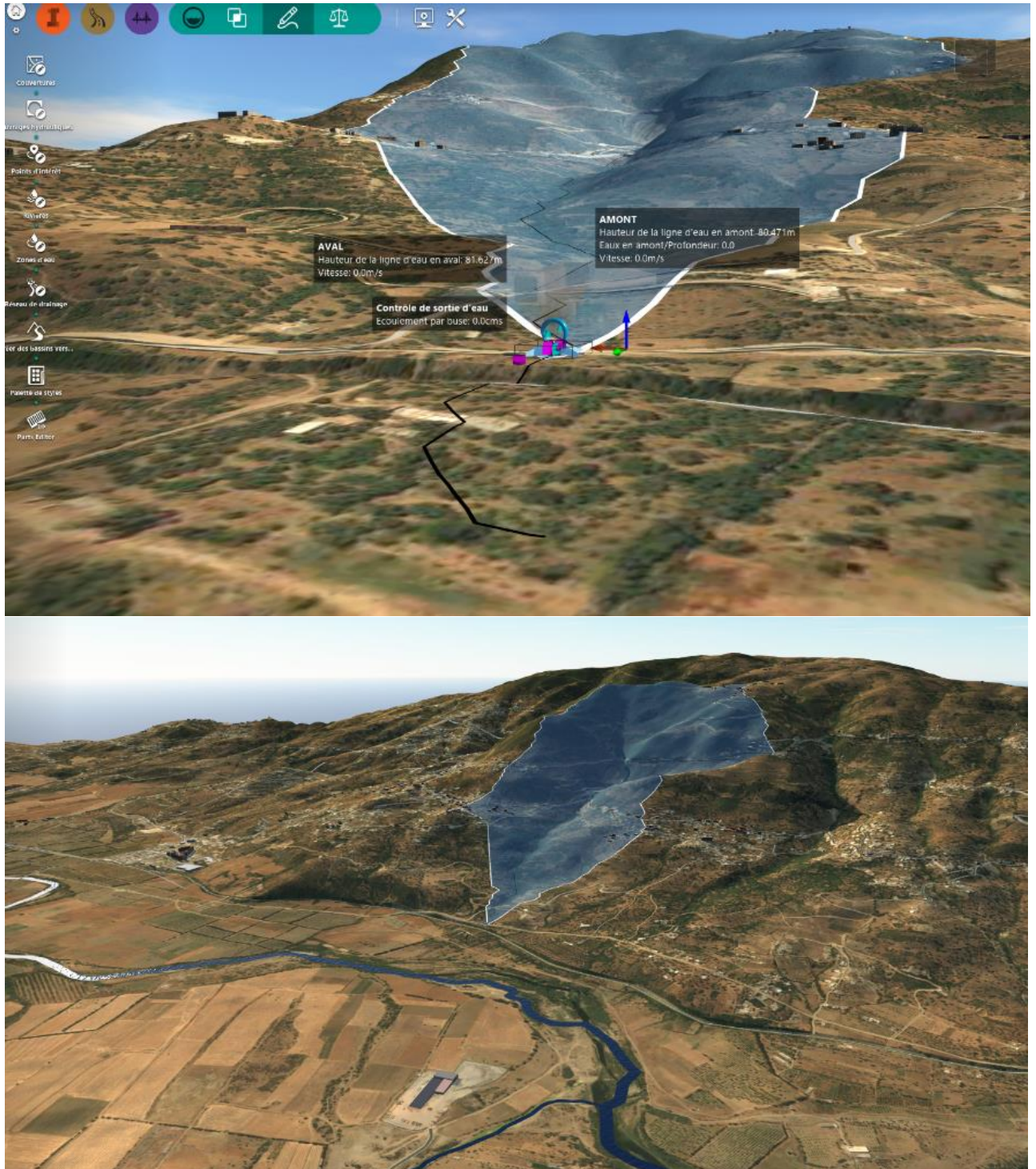


Figure 1.16. Bassin versant de la ligne Beni Mansour – Béjaia

1.9.3. Aménagement des gare

Afin d'aménager les gare, capturer la réalité permettra d'avoir les contrainte direct du terrain et poser les différents appareils sur la zone, le respect des largeurs et le dimensionnement des quais se vérifiera sur place, la réalité étant capturé nous saurons automatiquement si ça marche ou non, un exemple de la gare d'El Maten à la page suivante qui a été posé sur le nuage de points de la figure 1.8

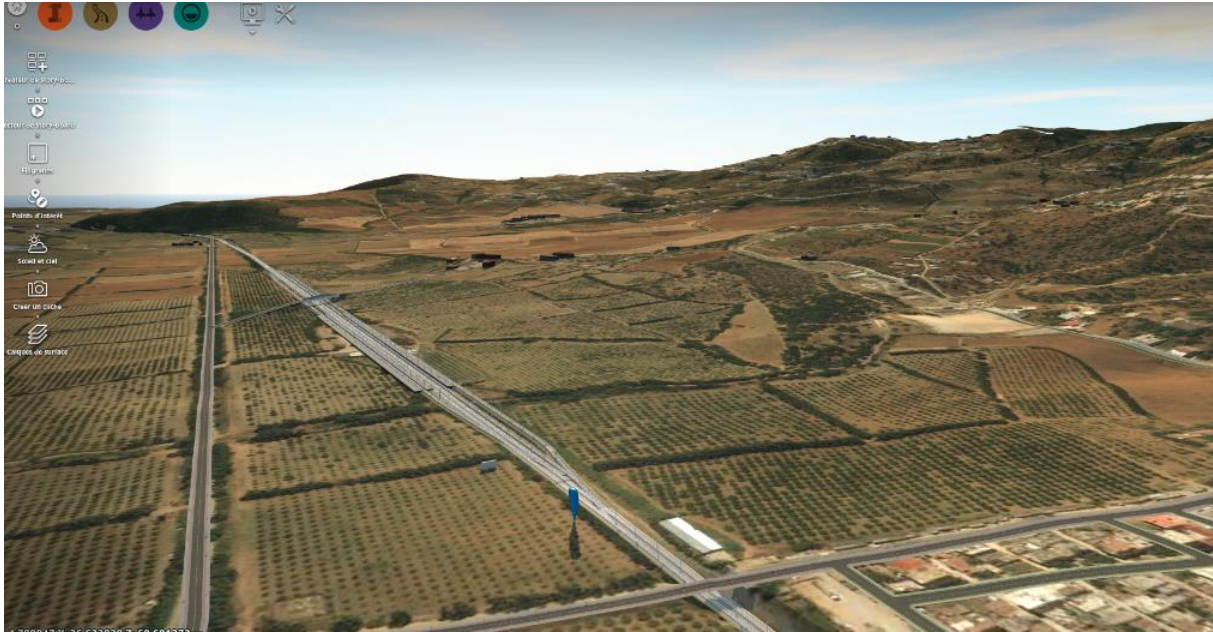


Figure 1.17. Gare El Maten modélisé en BIM sur un nuage de point

I.10. L'avenir dans la capture de la réalité 3D

La digitalisation est de plus en plus adoptée par le secteur de la construction, des recherches sont en cours afin d'innover dans le domaine de la technologie, Balfour Beatty prédit d'ailleurs que l'avenir de la construction inclura l'usage d'innovations technologiques comme les exosquelettes ainsi que l'augmentation de l'utilisation des robots et des processus automatisés.

Le suivi sera assuré par des véhicules aériens sans pilotes chargé de scanner en permanence les ouvrages stratégiques, connecté à un ordinateur de contrôle afin de détecter tout changement dans la structure et suivre en continue la phase d'exécution.

Les acteurs qui adopteront ces changements le plus vite auront un énorme avantage concurrentiel pour conclure de nouveaux business et pour livrer des projets selon les spécifications.

I.11. Avantage économique :

Comme démontré dans ce chapitre Master, le BIM permet à un ouvrage d'être construit, testé et analysé en temps réel avant même le premier coup de pioche

De part ce fait, l'extraction des quantités du modèle virtuel BIM permet de vérifier très tôt si un projet respectera les critères financiers ainsi que les délais de constructions.

Cette estimation du coût en temps réel permet de vérifier immédiatement les incidences budgétaires et les modifications de conception.

I.12. Faiblesse de la méthode BIM

Actuellement, cette façon de faire présente certaines faiblesses :

- Il est difficile de recruter du personnel, la compétence en la matière n'étant pas fournie, pour l'instant.
- Il existe un risque de perdre le processus de coordination.

- le processus demande un certain degré de synchronisation entre les différents acteurs.
- La maquette est exploitable si et seulement si elle possède une volumétrie 3D bien construite, les éléments graphiques ordonnées, et les mises à jours constantes de la maquette, autrement elle sera inutilisable.

I.13. Conclusion

L'innovation est le propre de l'ingénieur, qu'importe la filière, la dernière révolution en date dans la construction est le BIM, existante déjà dans d'autre domaine comme l'archéologie, appliqué aux travaux publics elle a provoqué une révolution numérique, augmentant la productivité sur le plan économique, chronologique et sécuritaire, améliorant la collaboration entre les différents acteurs du domaine, une synergie parfaite et optimisé se constitue à travers les projets d'infrastructure, citant pour exemple l'aéroport de Abu Dhabi, qui fut créer entièrement en BIM de la conception à la livraison.



Figure 1.15. Aéroport d'Abu Dhabi en sa phase final en BIM fait entièrement via cette méthode

Chapitre II

Présentation du projet.

II.1. Introduction

Le projet de modernisation de la voie ferrée reliant Beni Mansour à Béjaia et son électrification s'inscrit dans le programme de soulagement du trafic de RN26 mais également du développement économique local et national, le port de Béjaia étant stratégique, l'augmentation de la vitesse à 160 km/h ainsi que le gabarit du train permettra un échange de marchandise bien plus efficace.

L'état vétuste, sinueux et accidenté que présente cette ligne ont conduit la SNTF à entreprendre les travaux en vue de sa modernisation, le nouveau tracé sera donc redéfini permettant une augmentation de la vitesse des trains à 160km/h en voie principale et réduisant ainsi sensiblement le temps de parcours et en évitant des zones ne permettant pas le dédoublement de la voie (Comme la ville de sidi Aich).

-La ligne sera électrifiée en plus d'être dédoublé ce qui impliquera le renouvellement du matériel roulant, les trains marchandises seront tractés par des locomotives diesel dont la vitesse de pointe sera de 100km/h, bien que dans un premier temps la circulation sur cette nouvelle ligne sera prévu uniquement sur voie unique pendant la construction du déboulement; la plateforme et les ouvrages d'art seront réalisés pour double voies en tenant compte du pronostic futur de trafic, tout cela suivant la norme UIC.

II.2. Description du Projet

Notre projet a les caractéristiques suivantes :

- Longueur du projet : 20 km
- Trois gares
- Deux types de trains :
- Train marchandise
- Train voyageur
- Le trafic de la ligne actuelle devra être maintenu lors des travaux
- Charge à l'essieu pour les superstructures : 20tonnes
- Charge à l'essieu pour les ouvrages d'arts : 25 tonnes
- Mode de traction : électrique et diesel

II.3. Objectifs du Projet

Ce projet a des objectifs sociaux-économiques, d'un côté l'augmentation de la vitesse à 160 km/h et le dédoublement de la voie afin de valoriser le déplacement ferroviaire civil et soulager la RN26, de l'autre l'augmentation de la capacité marchande en montant de 2 train à 6 par jour, le port de béjaia étant un port commercial et représentant un poumon économique, les bénéfices financiers de ce projet seront assuré, cette augmentation de vitesse et le dédoublement pousseront à des correction de tracé due principalement aux rayons non suffisant ainsi que l'évitement de ville ne permettant pas l'existence d'un double rails.

II.4. Localisation du Projet

Le présent projet s’inscrit dans le réseau ferroviaire reliant la ville de Seddouk au PK40 non loin de la nouvelle gare de sidi aich (pk 46) jusqu’au PK 60 à l’entrée de la ville de de Al KSEUR Sur un itinéraire de 20 km. La figure ci-dessous montre le projet entier ainsi que la voie déjà existante :

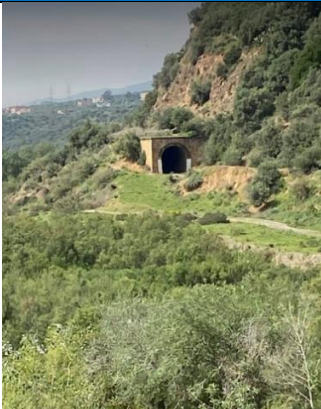





Figure II.1 Le projet entier de la modernisation de la voie Beni Mansour-Béjaia


II.4.1. Collecte des données

Lors des différentes visites chantiers, nous retranscrivons dans ce tableau les plus importantes observations faites sur le tracé existant.

Tableau II. 1 Couloir retenu pour le tracé de la nouvelle voie

Points kilométrique	Observation	Photo observation
Pk 40.275	Tunnel existant ne pouvant accueillir une double voie Et devra être abandonné	
Pk 40.525	Fin du tunnel et début du viaduc d’oued Soumman	/

<p>Pk 42.725</p>	<p>Nouvelle gare de TAKRIETZ, remplacement de celle du PK 40.275 par le tunnel de TAKRIETZ.</p>	
<p>PK43.925</p>	<p>Déviation complète de la voie existante en évitant la ville de sidi aich pour cause de dédoublement (la ville ne pouvant pas accueillir une telle envergure de voie)</p>	
<p>PK47.00</p>	<p>Début d'un chemin très sinueux, après la ville de sidi aich nous procédons à différentes correction du tracé existant sans pour autant s'éloigner drastiquement de ce dernier.</p>	
<p>Pk 55.100 au PK 56</p>	<p>Ancienne gare à démolir et construction d'une nouvelle gare au même endroit, la gare el maten</p>	

<p>PK57.350</p>	<p>Re-croisement des deux voies et passage par un tout nouveau tunnel au PK 57.900 descendant à 9m et s'étalant sur 1km de long.</p>	
-----------------	--	--

Concernant les différents ouvrages existants, ils seront joints à l'annexe

II.4.2.Topographie :

Notre terrain est extrêmement hétérogène topographiquement, il commence au pk 40 a l'ancienne gare de Takrietz

Le terrain est très accidenté tellement que certaines zones n'ont pas pu être relevé topographiquement au niveau du PK 44-46, un grand tunnel sera construit aux environ de Sidi Aich et la colline surplombant la ville sera contourné.

A partie du PK 47, bien que la topographie s'aplani, le terrain est d'origine accidenté mais a été travaillé à l'époque colonial pour accueillir la voie existante, des quantités de déblais/remblais afin de corriger le tracé seront donc nécessaire, la voie ne dévie pas énormément de la voie existante jusqu'au PK 58 ou le tracé redevient particulièrement accidenté avec une topographie très hétérogène qui nous obligera à construire un grand tunnel au niveau du Pk 57.350 exactement.

II.5. Présentation de la ville de BEJAIA

Béjaia est une commune algérienne située en bordure de la mer Méditerranée, à 220 km à l'est d'Alger. Elle est le chef-lieu de la wilaya de Béjaïa et de la daïra de Béjaïa, en Kabylie, elle représente un pôle économique important local et national, notamment à cause de son port et de son activité touristique

Tableau II.2 Information géographique sur la ville de béjaia

Information géographique de la ville de béjaia	
Population	1 012 274(2008)
Superficie	3 268 km ²
Altitude	Min 1m, max 600m
Climat	Climat continentale avec un hiver froid et assez humide et un été chaud et sec

II.6.Exploitation du projet.

Ce projet met à la disposition de plus de 4 millions de voyageurs par an un moyen de transport fiable, sécurisé et rapide permettant un soulagement du trafic de la RN 26

. Le service des voyageurs est assuré par deux catégories de trains :

-Les trains régionaux, qui circuleront par des automotrices électrique et dont la vitesse de pointe sera de 120 à 160 km/h

-Des trains marchandise qui seront tracté par une locomotive diesel, la vitesse de pointe sera de 100 km/h

Les trains marchandises augmenteront leurs effectifs de 3 à 6 trains à la journée, le port de Bejaïa étant un port économique, le gain national de ce projet se trouve être particulièrement conséquent.

II.7. Conclusion

Ce projet permettra un désengorgement de la RN26 ainsi qu'une vive augmentation de la productivité économique national et local, les 8 premier kilomètre de notre tronçon est très accidenté et demandera une grande quantité d'ouvrage de passage et de stabilisation ainsi qu'une grande quantité de déblais remblais, les 13 suivant sont plus stables mais voient en leurs seins d'importante correction de tracé due aux changement de rayon résultant de l'augmentation de la vitesse de pointe.

Chapitre III

Superstructure de la voie.

III.1.Introduction

L'infrastructure ferroviaire comprend toutes les installations fixes qui permettent d'assurer l'asservissement des véhicules à leur trajectoire c'est-à-dire permettant d'assurer la portance, le guidage et leur maintien dans un volume exempt de tout obstacle, avec les équipements de sécurité nécessaire pour garantir cette fonction.

Les éléments constitutifs de la superstructure de la voie sont : le ballast, les traverses, les rails ainsi que leurs accessoires.

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

III.2.La voie

Dans le domaine du transport ferroviaire, la voie désigne l'ensemble des constituants assurant la circulation des trains en supportant les efforts transversaux, longitudinaux et verticaux de l'interaction rails/essieu

La caractéristique essentielle du chemin de fer réside dans le guidage mécanique des véhicules avec un roulement acier sur acier offrant une faible résistance à l'avancement.

III.2.1. catégorie de voies

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

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

III.2.2. rôle de la voie

La voie a pour rôle deux fonctions principales :

- Supporter et guider le matériel ferroviaire
- Transmettre et guider les charges des essieux au sol naturel qui doit se faire sans déformation sensible de ce dernier.

III.2.3. Caractéristique de la voie

Pour construire une voie moderne qui répond aux normes internationales et grâce au développement technologique, on adopte (d'après la SNTF) les éléments constitutifs suivants:

- Les longs rails soudés (LRS)
- Les traverses en béton bi-bloc type SL
- Les attaches élastiques de type NABLA
- L'écartement de la voie est de 1,435m (écartement normal)

III.2.4. Les composantes de la voie

III.2.4.1. Les rails

Le rail est le premier élément entre le train et la voie, La caractéristique essentielle d'un rail est son poids au mètre linéaire. Constitue un chemin de roulement et de guidage ; ils sont également conducteurs électriques du retour traction et servent de support au courant de signalisation. La longueur des rails est de 18m et 36m.

III.2.4.1.1- Le rôle du rail :

Son importance est primordiale et direct, il assure :

- La transmission et la redistribution des charges verticales des roues aux traverses
- Le guidage latéral des roues, donc la reprise des forces transversales et leur transmission aux traverses
- Une surface de roulement lisse et la distribution des forces de freinage et d'accélération
- Le retour du courant de traction sur les lignes électrifiées, ainsi que la conduction du courant des circuits de voie pour les appareils de sécurité
- Le guidage des roues afin que les matériels roulants ne soient pas dérailés

III.2.4.1.2- Différents types de rails :

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

1-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 III. 1 Rails à gorges

2-Les rails à double champignons :

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.

3-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.

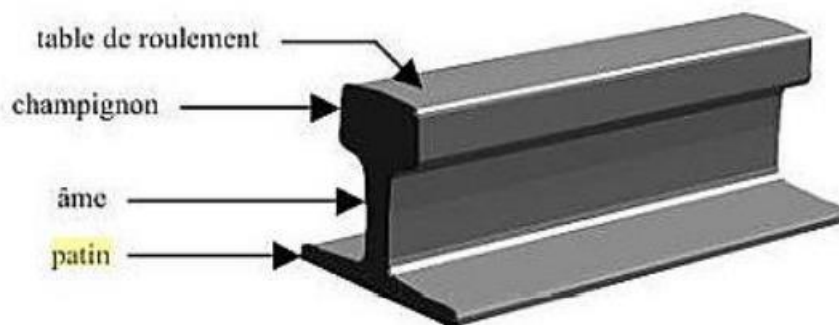


Figure II. 2 Rails vignole

III.2.4.2. Les Traverses

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails.

Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement entre 1666-1667 traverses/Km selon la SNTF, Dans le cas de notre projet les traverse sont espacé de 0.6m et sont des traverses bi-blocs B440

Les traverses ont un triple rôle :

- Transmission des charges au ballast
- Maintien de l'écartement de deux files de rails
- Maintien de l'inclinaison de 1/20 de rail Vignole

-Les différents types de traverses :

1-Traverse en bois :

Elles sont généralement en chêne, en bois exotique dur. Leurs durées de vie sont minimales par rapport aux autres (20 à 30 ans) mais elles sont faciles à mettre en œuvre.



Figure III.3.Travers en bois

2-Traverse en béton :

Vu leurs prix compétitifs, la longévité (de 40 à 50 ans), et le plus de choix de type d'attache, ce type de traverse est plus utilisé dans la voie ferrée. La traverses en béton armé a des inconvénients notamment l'exigence d'un plus en ballast que d'autres types de traverses. Il en existe deux types :

2-1-Mono bloc en béton précontraint.

Les premiers types de traverses en béton armé étaient des traverses monoblocs qui présentaient l'inconvénient d'une masse de l'ordre de 300 à 350kg.

2-2-Bi bloc en béton :

Deux blocs en béton arme reliées par une barre métallique Pour transmettre les efforts du rail au ballast, il n'est utile de disposer de matière que dans le volume compris entre la surface d'appui du rail sur la traverse et la surface d'appui de celle-ci sur le ballast. Il suffit donc de disposer, sous chaque file, d'un bloc protégé du contact direct du rail par une semelle en caoutchouc.



Figure III.4 Traverse en BA

3.Travers métallique :

La traverse métallique est un produit industriel de fabrication simple. Elle est constituée d'un laminé en forme de U renversé, embouti à ses extrémités, pour former des bêtes qui s'enfoncent dans le ballast et s'opposent au déplacement transversal de la voie.



Figure III.5 Traverse métallique

III.2.4.3. Les Attaches :

L'attache est un matériel de fixation, elle permet la fixation du rail au traverse, il existe plusieurs types d'attaches mais les plus utilisés et connus 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.



Figure III. 6 Attache type Nabla

III.3.Caractéristiques et type d'installation pour notre projet :

La superstructure a été dimensionné selon les normes UIC 719 R et UIC 714 R

III.3.1. Voie courante

- Rail UIC 54
- Traverse bibloc type B440 (ancienne Vax U31)
- Attache élastique pour la traverse B440

III.3.2. Voie de service en gare

- Rail UIC 54
- Traverses bi bloc B440, type Vax U31
 - Traverses en bois entre les appareils de voie et les tronçons de transition entre les appareils et voies avec les traverses en béton
- Attache élastique pour la traverse B440

III.4.Conclusion :

Le choix des éléments de la voie est probablement la partie la plus importante, c'est elle qui définira le choix de conception mariant sécurité et économie, l'optimisation économique de notre projet reposera donc principalement sur le choix des appareils constituant la voie.

CHAPITRE IV : tracé en plan

IV. INTRODUCTION

L'étude géométrique d'un tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de chercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement.

Et afin d'obtenir une vitesse régulière sur un tronçon de ligne, il est nécessaire d'établir un tracé dont les caractéristiques géométriques sont homogènes, Nous allons donc procéder à une correction du tracé existant en respectant les contraintes imposées par la nouvelle vitesse(160km/h) en terme de rayon et de Clothoïde

IV.1. TRACE EN PLAN

Le tracé en plan d'une voie ferrée est la projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe de la voie. Il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif, chaque ligne est caractérisée par deux vitesses:

V_{max} : vitesse des trains rapides (voyageurs)

V_{min} : vitesse des trains lents (marchandises)

IV.1. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN:

Les normes exigées et utilisées dans notre projet sont résumées dans la fiche UIC703R.

Dans ce qui suit, on va citer certaines exigences qui nous semblent pertinentes pour faire un bon tracé:

- Respecter les territoires traversés en s'adaptant au relief (topographie) existant.
- Éviter le maximum le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible afin d'éviter la réalisation d'ouvrages d'arts, dans le cas où le franchissement est inévitable il s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dans les endroits les plus étroits.
- Éviter le passage sur terrains agricoles, zones forestières et les propriétés privées.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes des terrassements.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement droit et respecter la longueur minimale.
- Evite le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Eviter les problèmes de talus qui sont comme suit:
 - Talus en déblai
 - Présence de nappe.
 - Terrains plastiques.
 - Présence des roches fissurées
 - Talus en remblai :
 - Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai).
 - Sol très compressible

IV.2. LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN

✓Alignement

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers.

✓L'arc de cercle

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au

raccordement circulaire ou le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépendra de la vitesse de base.

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

✓**La courbe de raccordement**

C'est un élément géométrique qui assure le raccordement entre l'alignement et l'arc de cercle, dont la courbure varie progressivement d'un rayon $R=\infty$ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle.

Il y a plusieurs types de courbe de raccordement mais la plus utilisée est le raccordement par clothoïde (parabole cubique) qui présente un aspect esthétique satisfaisant et une variation uniforme de la courbure, grâce à laquelle la stabilité et le confort sont assurés.

On utilise ce type de raccordement afin de:

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

IV. 3. CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRES GEOMETRIQUE:

Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé, certains ont été limités afin de respecter les exigences de sécurité et de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie.

•**Les valeurs limites suivantes ont été définies pour chaque paramètre géométrique:**

✓**Valeur limite normale** : valeur à ne pas dépasser pour les circulations roulant aux Vitesses maximales ou minimales admissibles.

✓**Valeur limite exceptionnelle** : c'est une valeur plus défavorable que la valeur limite Normale, qui peut être utilisée dans des circonstances exceptionnelles tel que Pour la détermination

des vitesses maximales sur les lignes existantes, il peut devenir nécessaire, en des zones particulières où, sinon, une limitation de vitesse serait indésirable du point de vue du trafic, d'utiliser des valeurs plus élevées que les valeurs maximales.

✓**Paramètres de raccordement de la voie**

Pour garantir la sécurité des voyageurs et le matériel roulant il faut respecter les valeurs exceptionnelles des paramètres suivant :

- Le rayon de la courbe minimal.
- La variation de la courbure.
- Le dévers.
- Le taux de variation de dévers.
- L'insuffisance de dévers.
- Variation de l'insuffisance de dévers.
- Excès de dévers.
- La longueur des éléments géométrique de tracé.

IV.4. PARAMÉTRÉS GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ:

➤ **Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin)**

La valeur du rayon minimum admissible dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants. Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, Le rayon minimum est calculé par la formule suivante:

$$R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{d_{max} + I_{max}}$$

- ✓ R_{min} : Rayon minimum de courbe (m).
- ✓ v_{max} : Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- ✓ d_{max} : Dévers maximal (mm).
- ✓ I_{max} : Insuffisance de dévers maximum (mm)

➤ **LE DEVERS:**

Le devers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. En courbe, les deux fils de rail sont posés en devers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur) est surhaussée par rapport à l'autre. Ce surhaussement permet de compenser une partie de la force centrifuge qui tend à déporter les trains vers l'extérieur de la courbe circulaire.

➤ **DEVERS THEORIQUE (dTH):**

Considérons un train circulant à une vitesse constante « V » dans une courbe circulaire de rayon « R ». Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train. Il est également appelé « dévers d'équilibre » noté « dth » et donné par la formule suivante:

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}$$

Avec : d_{th} en (mm), V : vitesse en (km/h), R : rayon en (m).

➤ **DEVERS PRATIQUE (REEL) dP:**

En pratique, la nature et la vitesse des trains sont variables (trafic mixte : trains voyageurs et marchandises). Il est donc impossible de rouler au devers théorique. Cela nous conduit à la notion du « dévers pratique » appelé également « dévers réel » noté « d ».

La mise en œuvre du dévers pratique permet de:

- ❖ Eviter la fatigue excessive de la voie : un devers trop faible pour les circulations rapides conduit à la fatigue de rail extérieur de la courbe. Un devers excessif pour les circulations lentes conduit à la fatigue de rail intérieur.
- ❖ Assurer la sécurité en évitant la sortie des trains de la voie à cause d'un devers insuffisant pour les vitesses élevées
- ❖ Assurer un confort satisfaisant aux voyageurs.

$$d_p = \frac{k}{R} = \frac{1000 \times C}{R}$$

Tel que:

- ✓ d_p : devers pratique
- ✓ R : Rayon de courbe (m)
- ✓ K : est le coefficient de la ligne. $K=1000 \times C$
- ✓ C : Coefficient de dévers.

➤ **COEFFICIENT DE DEVERS:**

Le choix de coefficient de proportionnalité appelé le coefficient de dévers constant sur une section de voie à trafic homogène donné, entre le dévers pratique (d_p) et la courbure ($1/R$), permet de respecter simultanément les valeurs limites normales ou exceptionnelles des paramètres suivantes:

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

Pour le calcul de Coefficient de dévers C on utilise la formule suivante proposé par la SNCF:

$$C = 0.006 \times V_{max}^2$$

Tableau IV.1: Valeurs limites du dévers

Valeur limite normale (mm)	160
Valeur limite exceptionnelle (mm)	180

➤ **VARIATION DE DEVERS :**

1. **Variation en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$:**

L'installation du dévers se fait progressivement entre l'alignement droit et la pleine courbe (courbe circulaire) sur une certaine longueur « L » appelé « rampe de dévers » qui correspond à la longueur du raccordement parabolique.

La variation du dévers « Δd » sur une longueur « ΔL » est constante sur toute la longueur de la rampe de dévers ($\frac{\Delta d}{\Delta L} = Cte$) et cela pour des raisons de facilité de pose, de contrôle et d'entretien.

$\frac{\Delta d}{\Delta L}$ Est exprimé en (mm/m).

Tableau IV.2: Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur

Valeurs Limite	Variation de dévers en (mm/m)
Normale	$180/V = 1.125$
Exceptionnelle	$216/V = 1.35$

2. **Variation en fonction du temps $\frac{\Delta d}{\Delta L}$:**

Pour une rampe de devers à pente constante, Une limite de la variation de dévers dans les courbes de transition est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules autour d'un axe longitudinal ne nuise pas à leur stabilité. Cette variation est donnée par la formule suivante:

$$\frac{dd}{dl} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L}$$

Où L est la longueur de la courbe de transition exprimé en (m).

Tableau IV.3: Taux de variation de dévers en fonction du temps.

Valeur	Normal	Exceptionnels
dd/dt(mm/s)	50	60

➤ **INSUFFISANCE DE DEVERS (I):**

Lorsque Vr^2 (la vitesse d'un train rapide empruntant une courbe) est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe.

- On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers normal (pratique). Elle est donnée par:

$$I = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} - d_p \leq I_{lim} [mm]$$

- Pour limiter ces effets, on adopte une valeur limite pour l'insuffisance de dévers (pour les trains les plus rapides).

Ces limites sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau IV.4 : Valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers.

Types de trains	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Train le plus rapide	150 mm	160 mm
Autorails et rames automotrices à centre de gravité bas	160 mm	200 mm

➤ **Variation de l'insuffisance de dévers:**

Lors du passage d'un train d'un alignement ($d=0, I=0$) à la pleine courbe ($d=Cte, I_{max}$) et si la vitesse du train est supérieure à la vitesse d'équilibre, le voyageur va subir peu à peu l'action de la force centrifuge non compensée dû à l'insuffisance de dévers. Le taux de variation d'insuffisance de dévers doit être limité pour permettre une adaptation progressive et si possible inconsciente du voyageur à ces effets. Cette variation d'insuffisance de dévers « ΔI » pendant un temps « Δt » s'exprime en (mm/s), elle s'écrit:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L}$$

- Où (L) est la longueur de la courbe de transition exprimé en m.

ΔI exprimé en (mm) ; Δt exprimé en (s) ; V_{max} exprimé en (km/h).

Tableau IV.5: Valeurs de variation de l'insuffisance de dévers.

Valeur	Normal	Exceptionnels
dI/dt(mm/s)	75	90

➤ **EXCES DE DEVERS:**

Lorsqu'un train de marchandise roule très lentement en courbe, il ressent le dévers

installé pour le train rapide comme un excès de dévers noté « E ». Ce type de train, pour lequel le dévers théorique est inférieur au dévers pratique ($d_{th} < d$), exercent sur la voie des efforts transversaux dirigés vers l'intérieur de la courbe.

$$E = d_p - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} \leq E_{lim} [mm]$$

Pour limiter ces efforts, on est conduit à fixer des valeurs limites pour l'excès de dévers. Ces valeurs limites dépendent de l'intensité du trafic quotidien des trains marchandises « Tj » exprimé en (tonne/jour).

Tableau IV.6: Valeurs limites de l'excès de dévers

Valeur maximale normale	110mm
Valeur maximale exceptionnelle	130mm

NB : ces valeurs limites sont fixées pour la vitesse normale des trains marchandises.

➤ **LONGUEUR DE RACCORDEMENT 'L' DE DEVERS:**

C'est la longueur qui permet un raccordement convenable du dévers et de la courbe. Ce raccordement est une spirale dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul.

Equation de la parabole cubique $y = \frac{x^3}{6RL}$

La longueur de ce raccordement est calculée comme suit:

Avec:

✓ L en (m).

✓ $\frac{dd}{dt}$ Variation de dévers en mm.

Afin d'amortir suffisamment le roulis de la caisse des véhicules, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments de tracé. Les doucines (arrondis du diagramme des flèches centré sur une origine ou une fin de raccordement progressif) ont des longueurs normales comprises entre 30 et 40 mètres, exceptionnellement 20 mètres.

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après (la vitesse V est exprimée en km/h)

Tableau IV.10 : Valeurs minimales des alignements et des pleines courbes

Valeur limite normale	V/2
Valeur limite exceptionnelle	V/3

➤ **Gauchissement et variation du dévers en fonction de longueur:**

Lors du passage des trains dans les courbes et en présence des dévers, les points de contact des roues des wagons avec le rail ne se trouvent pas sur le même niveau et sous des charges dynamiques à grandes vitesses qui sont réparties inégalement sur les roues, le problème deviendra très dangereux.

Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport d/L appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m). Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit:

Tableau IV.11: Paramètres du gauchissement.

Variation de dévers en (mm/m)	Source
Limite normale	180/V = 1.125

Limite exceptionnelle	216/V = 1.35
-----------------------	--------------

IV.5.LES DOUCINES:

Au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis.

Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

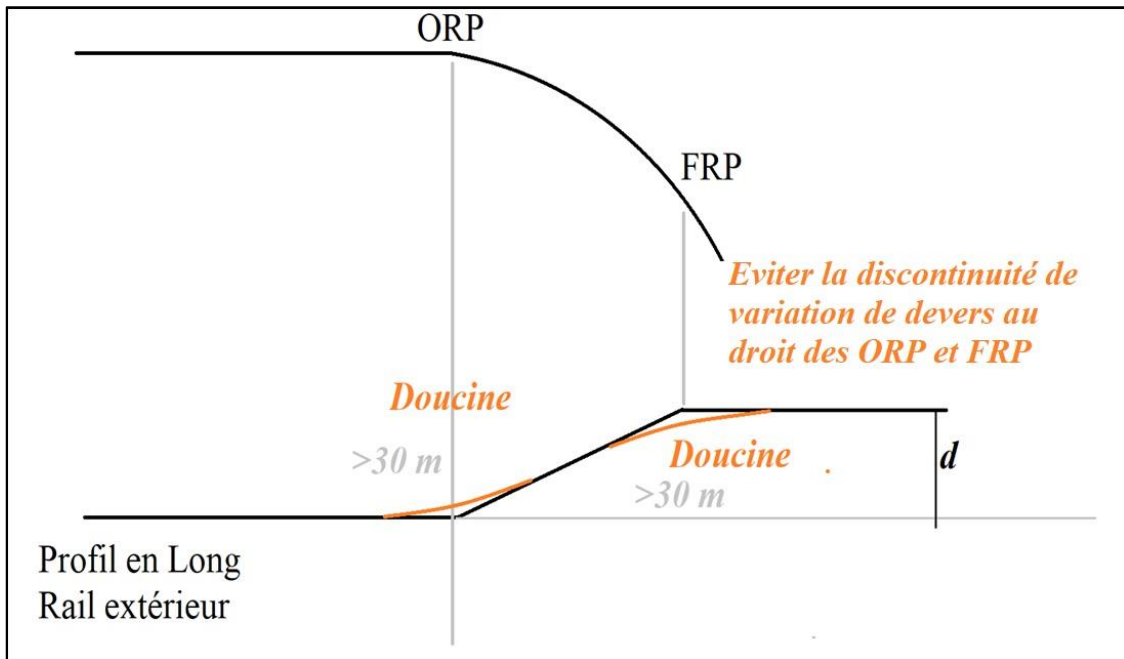


Figure IV.1.Doucine

IV.6.LONGUEUR DE LA COURBE DE RACCORDEMENT:

La longueur d'une courbe de transition ou d'un raccordement progressif est défini par les caractéristiques suivantes :

- Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.
- Taux de variation de dévers en fonction du temps.
- Taux de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

$$LDD = \frac{D \times V_{max}}{3.6 \times \frac{dd}{dt}}$$

$$LDI = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times \frac{dI}{dt}}$$

IV.7.LONGUEUR DES ELEMENTS DU TRACE

Les éléments qui constituent le tracé doivent respecter les valeurs ci-après:

Tableau IV.12: Longueur minimale des éléments en plan

Alignement, Courbe et RP	Limite normale	V/3 = 53.33 m
	Limite Exceptionnelle	V/5 = 32 m
	Minimum	30 m

IV.8 : APPLICATION AU PROJET :

D'après la fiche UIC 703 et les recommandations SNTF on a les données suivantes :

Tableau IV.13: représentation des valeurs limite de calcul

Vitesse des trains rapides (voyageurs).	$V_{max} = 160km/h$
Vitesse des trains lents (marchandise)	$V_{min} = 100km/h$
Excès de dévers (valeur limite normale)	$E = 70mm$
Insuffisance de dévers maximum	$I_{max} = 150mm$
Dévers max	$d_{max} = 160mm$
Variation de dévers en fonction du temps (valeur limite normale).	$\frac{dd}{dt} = 50mm/s$
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps (Valeur limite normale).	$\frac{dI}{dt} = 70mm/s$
Paramètres du gauchissement (valeur limite normale)	$1.125 mm/m$

➤ **Calcul du rayon minimal :**

Il est recommandé de calculer le rayon minimal on faisant référence à l'insuffisance de dévers.

$$R_{min} \geq \frac{11.8 \times V_{max}^2}{I_{max} + d_{max}}$$

AN:

$$R_{min} \geq \frac{11.8 \times 160^2}{150 + 160} = 974.45m$$

On prend $R_{min} = 980 m$

-On calcule le dévers associé au rayon minimum : $R_{min} = 980 m$

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

C : c'est le coefficient de devers $C = 0.006 \times V_{max}^2$

$$C = 0.006 \times 160^2 = 153.6$$

Le C doit être un multiple du nombre 15, donc on choisit

$C = 165$ Pour avoir un devers pratique compris entre

$$0.5d_{th} \leq d_p \leq 0.7d_{th}$$

Donc :

$$d_{R_{min}} = \frac{1000 \times 165}{980} = 168.37mm$$

-Cette valeur est supérieure à la valeur limite normale qui est égale à 160 mm.

Dans ce cas on doit calculer le rayon minimum associé à la valeur limite de devers :

$$R_{min} = \frac{1000 \times 165}{d_{R_{min}}}$$
$$R_{min} = \frac{1000 \times 165}{160} = 1031.25m$$

-On prend une valeur de Rmin qui concorde vec notre trace:

$$R_{min} = 1100m.$$

-On calcule le devers associé au nouveau rayon:

$$d_{R_{min}} = \frac{1000 \times 165}{1100} = 150mm < d_{max}$$

-Calcule de devers théorique des trains rapide :

$$d_{th(r)} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{1100}$$
$$d_{th(r)} = 274.618 \approx 275mm$$

-Devers théorique des trains lent :

$$d_{th(l)} = \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} = \frac{11.8 \times 100^2}{1100}$$
$$d_{th(l)} = 107.27 \approx 108mm$$

-L'insuffisance de devers :

$$I = d_{th(r)} - d_p = 275 - 150mm$$

$$I = 125 < I_{max}$$

-L'excès de devers :

$$E = d_p - d_{th(l)} = 150 - 108$$

$$E = 42mm < E_{lim}$$

-Calcul de la longueur minimal de raccordement progressif (clothoïde) :

$$L_{min} \geq \frac{d_p \times V_{max}}{3.6 \times \frac{dd}{dt}} = \frac{150 \times 160}{3.6 \times 50}$$

$$L_{min} \geq 133.33m$$

-On prend $L_{min} = 135m$

-Paramètre de la clothoïde :

$$A = \sqrt{R \times L_{adopté}} = \sqrt{1100 \times 135}$$

$$A = 385.357$$

-Variation de devers :

a. En fonction de temps :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{d_p \times V_{max}}{3.6 \times L_{adp}} = \frac{150 \times 160}{3.6 \times 135}$$

$$\frac{dd}{dt} = 49.38mm/s < 50mm/s$$

b. En fonction de longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{3.6 \times \frac{dd}{dt}}{V_{max}} = \frac{3.6 \times 49.38}{160}$$

$$\frac{dd}{dl} = 1.11mm/s < 1.125mm/s$$

-Variation de l'insuffisance de devers $\frac{dl}{dt}$:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L} = \frac{125 \times 160}{3.6 \times 135}$$

$$\frac{dl}{dt} = 41.15mm/s < 70mm/s$$

-Gauchissement et variation de devers:

$$\frac{d_p}{L} = \frac{150}{135}$$

$$\frac{d_p}{L} = 1.11mm/m < 1.125mm/m$$

➤ Nous reprenons la même méthode de calcul pour la totalité des autres rayons, les résultats sont retranscrits dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.14 Paramètres du tracé

R	$d_{th(r)}$	$d_{th(l)}$	d_p	I	E
1000	302.08	118	165	137.08	47

1200	251.73	98.33	140	114.23	93.17	
1300	232.37	90.77	130	105.45	36.15	
1380	218.89	85.51	120	99.32	34.06	
1400	215.77	84.29	120	97.92	33.56	
1500	201.4	78.67	110	91.4	31.33	
2200	137.31	53.64	75	62.31	21.36	
3000	100.69	39.33	55	45.69	15.67	
5000	60.42	23.6	35	27.42	9.4	
<i>R</i>	$\frac{dd}{dt}$	$\frac{dd}{dl}$	$\frac{dl}{dt}$	L_{dd}	L_{dl}	$L_{adopté}$
1000	48.89	1.1	40.6	149.65	148.6	150
1200	49.78	1.1	39.9	126.98	126.9	130
1300	48.15	1	39	120.37	120.1	120
1380	48.48	1	40.1	111.11	110.36	110
1400	48.48	1	39.6	111.11	108.8	110
1500	48.89	1.1	40.6	99.77	99.1	100
2200	47.62	1	39.6	69.44	69.2	70
3000	48.89	1.1	40.6	49.88	49.5	50
5000	44.44	0.99	34.8	35.35	34.81	35

REMARQUE : Les valeurs présentent dans ce tableau ont toutes vérifiées les conditions limites (valeurs limites)

IV.9. CALCUL DE L'AXE EN PLAN :

Le calcul consiste à déterminer tous les points du début de tronçons jusqu'à sa fin, en exprimant leur coordonnée ou directions dans un repère fixe, et à partir d'un point dont on connaît les coordonnées, il suivra les étapes les étapes suivantes :

- Calcul des gisements,
- Calcul de l'angle γ entre les alignements,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la corde polaire SL

- Calcul de l'angle polaire τ
- Vérification de non-chevauchement,
- Calcul de l'arc en cercle,
- Calcul des coordonnées de points particuliers,
- Calcul de kilométrage des points particuliers.

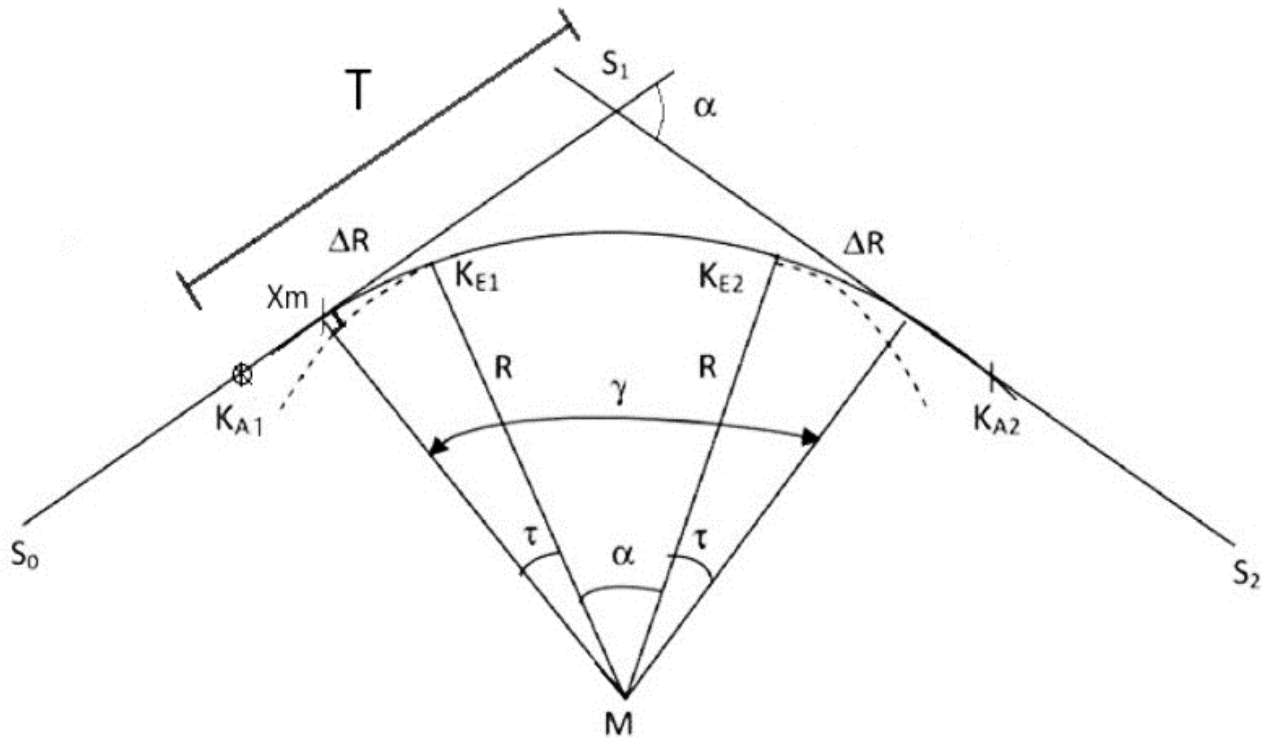


Figure IV. 2. : Élément de clothoïde

IV.9.1. LA METHODOLOGIE DE CALCUL :

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde, cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées. Le calcul se fait à partir d'un point dont on connaît ses coordonnées, il faut donc suivre les étapes suivantes pour calculer l'axe :

- L'équation de la clothoïde $A^2 = L \times R$
- Calcul de la longueur de clothoïde : $L = \frac{A^2}{R}$
- Calcul de l'angle de tangente : $\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi}$ (grade).
- Distance du centre de courbe parallèle à l'axe de l'alignement : $X_m = \frac{L}{2}$ (m).
- Le ripage qui est la variation du rayon entre le début et la fin de clothoïde :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} \text{ (m)}$$

- Le gisement entre les deux directions γ (grade).

Prenons une partie de l'axe, elle se compose d'un alignement droit, d'une première branche de clothoïde du début K_{A1} et de fin K_{E1} , d'un arc de cercle de K_{E1} à K_{E2} et d'une deuxième branche de clothoïde de K_{E2} à K_{A2} .

- $X_{KE} = L$ (m) ; la longueur de clothoïde.
- $Y_{KE} = \frac{L^2}{6 \times R}$ (m) ; la hauteur par rapport à l'axe.
- $\sigma = \text{arc tg} \left(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}} \right)$ (grade) ; l'angle entre K_E et l'axe.
- $T = X_M + (R \times \Delta R) \times \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)$ (m).
- $S_0S_1 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$.
- $S_1K_{A1} = S_1S_2 - T_M$
- $S_L = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2}$.
- $\alpha = \gamma - 2\tau$ (grade).
- $K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R \alpha}{200}$.

Tableau IV. 15. Les données de l'arc choisi pour l'exemple.

Point	X	Y	RAYON
S0	657830.5196	4055294.3884	1200
S1	658264.0111	4055548.9035	
S2	658764.3353	4055517.3997	

1. Calcul de la distance S0S1 :

$$\Delta X_{S0}^{S1} = X_{S1} - X_{S0} = 658264.0111 - 657830.5196 = 433,4915m$$

$$\Delta Y_{S0}^{S1} = Y_{S1} - Y_{S0} = 4055548.9035 - 4055294.3884 = 254,5151m$$

2.

3. $S_0S_1 = \sqrt{\Delta X_{S0}^{S1^2} + \Delta Y_{S0}^{S1^2}} = \sqrt{433,4915^2 + 254,5151^2} = 502,6856m$

4. Calcul du gisement S0S1 :

$$\Delta X_{S0}^{S1} > 0$$

$$\Delta Y_{S0}^{S1} > 0$$

Donc

$$G_{S0}^{S1} = \tan^{-1} \frac{\Delta X_{S0}^{S1}}{\Delta Y_{S0}^{S1}} = \frac{433,4915}{254,5151} = \tan^{-1} 1,703 = 66.20$$

3. Calcul de la distance S1S2 :

$$\Delta X_{S1}^{S2} = X_{S2} - X_{S1} = 658764.3353 - 658264.0111 = 500.323m$$

$$\Delta Y_{S1}^{S2} = Y_{S2} - Y_{S1} = 4055517.3997 - 4055548.9035 = -31.5038m$$

$$S_1S_2 = \sqrt{\Delta X_{S1}^{S2^2} + \Delta Y_{S1}^{S2^2}} = \sqrt{500.323^2 + (-31.5038)^2} = 501,315m$$

4. Calcul du gisement S1S2 :

$$\Delta X_{S1}^{S2} > 0$$

$$\Delta Y_{S1}^{S2} < 0$$

Donc

$$G_{S1}^{S2} = 200 - \tan^{-1} \frac{\Delta X_{S1}^{S2}}{\Delta Y_{S1}^{S2}} = 200 - \tan^{-1} \left(\frac{500.323}{31.5038} \right) = 200 - 95.99 = 104Gr$$

1. Calcul de l'angle γ :

$$\gamma = |G_{S_1}^{S_2} - G_{S_0}^{S_1}| = |104,603 - 66.20| = \mathbf{38.4 \text{ grade}}$$

2. Calcul de longueur de clothoïde L :

Le paramètre de clothoïde qui vaut $A = 394.968\text{m}$.

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{394.968^2}{1200} = \mathbf{129,999 \text{ m} \approx 130\text{m}}$$

3. Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi} = \frac{130}{2 \times 1200} \times \frac{200}{\pi} = \mathbf{3.45\text{grade}}$$

4. Calcul de tangent T

$$T = X_M + (R + \Delta R) \times \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$$X_M = \frac{L}{2} = \frac{130}{2} = \mathbf{65 \text{ m}}$$

X_M : Abscisse du centre de cercle.

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} = \frac{130^2}{24 \times 1200} = \mathbf{0.587 \text{ m}}$$

ΔR : le Ripage .

$$T = 65 + (1200 + 0.587) \times \tan\left(\frac{38.4}{2}\right) = \mathbf{432.3\text{m}}$$

5. Calcul de la distance S_0K_{A1}

$$S_0K_{A1} = S_0S_1 - T = 502,6856 - 432.3 = \mathbf{70.3856\text{m}}$$

6. Calcul de la corde SL :

$$S_L = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2}$$

Tel que :

$$X_{KE} = L = \mathbf{130 \text{ m}}$$

La longueur de clothoïde.

$$Y_{KE} = \frac{L^2}{6R} = \frac{130^2}{6 \times 1200} = \mathbf{2.347 \text{ m}}$$

La hauteur par rapport à l'axe.

$$S_L = \sqrt{130^2 + 2.347^2} = \mathbf{130.02}$$

7. Calcul de l'angle polaire σ

$$\sigma = \tan^{-1}\left(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2.347}{130}\right) = \mathbf{1.15 \text{ grade}}$$

8. Vérification de non chevauchement :

$$\tau = \mathbf{3.45 \text{ gr.}} \quad ; \quad \frac{\gamma}{2} = \frac{38.4}{2} = \mathbf{19.2 \text{ gr.}}$$

$$\tau = \mathbf{3.45\text{gr}} < \mathbf{19.2 \text{ gr.}}$$

La condition est vérifiée Donc il n'y a pas de chevauchement.

9. Calcul du α :

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 38.4 - 2 \times 3.45 = \mathbf{31.5 \text{ gr}}$$

10. Calcul de la longueur d'arc :

$$K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R \alpha}{200} = \frac{\pi \times 1200 \times 31.5}{200} = \mathbf{593.76 \text{ m}}$$

CONCLUSION :

Les valeurs calculés manuellement se sont retrouvé très proche de celles obtenus par logiciel, les très légères erreurs sont principalement dues aux erreurs numériques des logiciels et au différent arrondissement fait à la main.

IV.10.conclusion général du chapitre

Le tracé du tronçon de notre projet est passé par différents obstacles, 3 tunnels en raison de montagne insurmontable et plusieurs viaduc afin de passer l'Oued Soummam qui accompagne tout notre tracé du début à la fin

Il y a également un tracé très sinueux s'étalant sur plusieurs km à partir du pk 46 qui aura demandé de grande correction de rayon en raison de l'augmentation de la vitesse.

Chapitre V

Profil en long

V.INTRODUCTION :

Le profil en long est un des trois éléments géométrique d'une route ou d'une voie ferrée, c'est d'ailleurs le plus important vu qu'il représente la coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical.

C'est de par son biais que l'évaluation du projet ferroviaire se fait, que ce soit sur le plan économique ou technique

Le profil représente en son sein les différents déblais-remblais, terrassement et ouvrages qui seront présent tout au long de notre voie, sa coordination avec le tracé en plan est primordial sur le plan technique, que ce soit la différence de déclivité ou l'emplacement des gares qui doivent se faire selon certains critères.

Il nous présentera chaque partie du projet avec les caractéristiques suivantes:

- L'altitude du terrain naturel.
- L'altitude de projet.
- La déclivité du projet ainsi que les distances partielles et cumulées.
- La géométrie verticale et horizontale.

V.1.REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :

Pour faire un bon tracé de projet plusieurs conditions doivent être prises en

- ✓ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- ✓ Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités) préconisées par les règlements.
- ✓ Assurer l'évacuation des eaux pluviales pour les points bas.
- ✓ Un profil en long en léger remblai est préférable qu'un profil en long en léger déblai qui complique l'évacuation des eaux.
- ✓ Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais.
- ✓ Eviter une hauteur excessive en remblai.
- ✓ Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

V.2.ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG :

- Pente : tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (Descente).
- Rampe : tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (Montée).
- Palier : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- Courbes de raccordement vertical : ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison Entre les éléments de la ligne rouge.

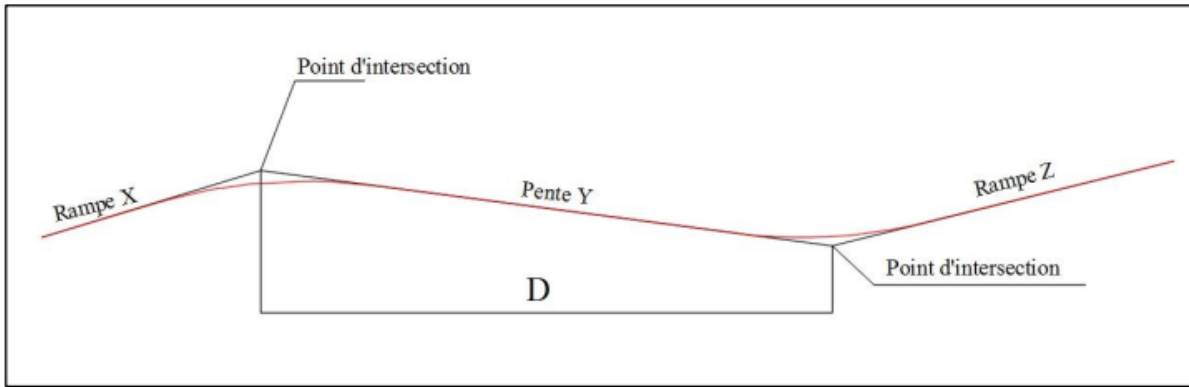


Figure V.1.Element de profil en long

Selon le référentiel SNTF géométrie de la voie chapitre (6)

- **La déclivité admise varie en fonction de sa longueur :**

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, sa valeur ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.

-En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.

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

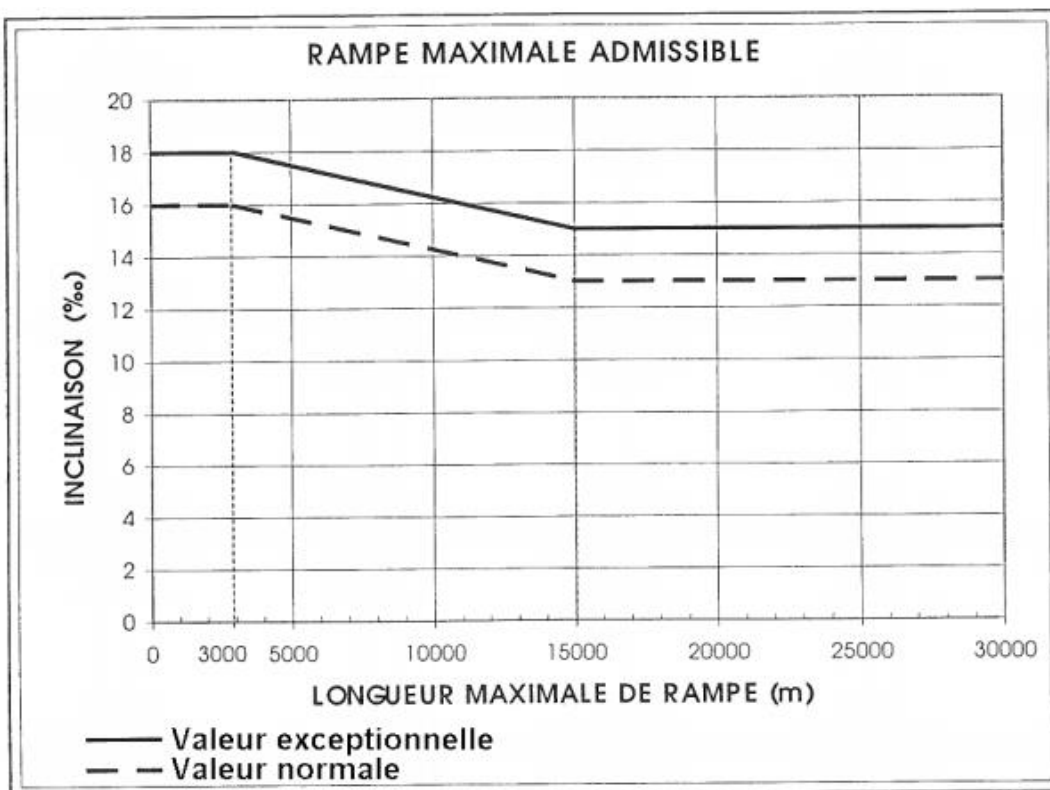


Figure V.2.Valeurs limites d'inclinaison en fonction des longueur de rampe

- **Rayon admissible en raccordement de profil en long :**

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

- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

-Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse (V) un raccordement de profil en long de rayon R_v, il est soumis à une accélération centrifuge:

$$a_v = \frac{V_{max}^2}{12.96 \times R_v} \leq a_{v.rec} [m/s^2]$$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers.

En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

Selon le référentiel technique de la SNTF les rayons minimums de projet sont dans le tableau suivant avec V=160 km /h :

Tableau V.1.: les rayons minimaux de profil en long.

	Valeur de rayon vertical
Limite normale (m)	0.35*V ² = 8960m
Limite Exceptionnelle (m)	0.25*V ² =6400m

LA LONGUEUR MINIMALE DES DECLIVITES:

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir.

Les valeurs de la longueur minimale des déclivités en profil sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités.

	Longueur min des éléments du profil en long
Limite normale (m)	V/2 = 80m
Limite exceptionnelle (m)	V/2.5 = 64m
Limite minimum	30 m

V.3.PARAMETRES CINEMATQUES DU PROFIL EN LONG:

Les valeurs standards des différents paramètres cinématiques valables pour les lignes mixtes parcourues à 160 km/h sont résumées dans le Tableau suivant:

Tableau V.3: Valeurs standards des paramètres cinématiques.

	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Vitesse (Km/h)	160	
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	8960	6400
Longueurs minimales des pentes/rampes	80	64
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie	14.9 ‰	
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement	0 ‰	

V.4.COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN:

Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit respecter les conditions:

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan.(Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe)).
- Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

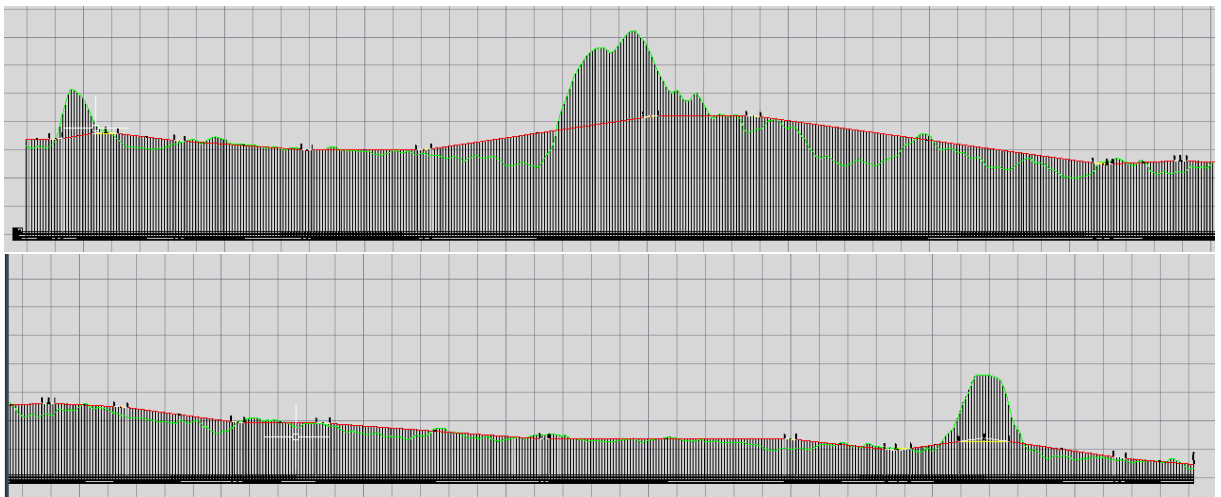


Figure V.3.Profil en long du tracé PK40-PK60

V.5.EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG :

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, l'équation d'un cercle est :

$$X^2 + (Y - R)^2 = R^2 \quad \text{ou encore de la forme : } X^2 + Y^2 - 2RY = 0.$$

Mais pour un grand rayon ($R \geq 4000\text{m}$) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X , surtout lorsqu'il s'agit d'un carré ($y^2 \rightarrow 0$) d'où on obtiendra une équation de parabole :

$$y = x^2/2R \text{ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.}$$

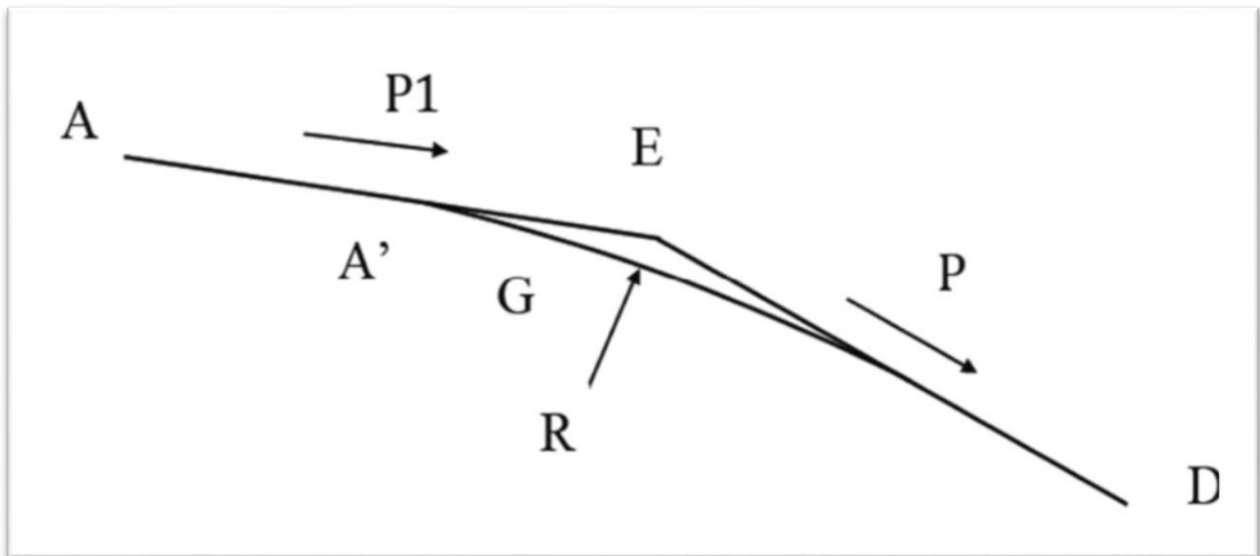


Figure VI.4 : les éléments d'un raccordement en long

- ✓ A' et B' : Extrémités du raccordement.
- ✓ T : Tangente de part et d'autre du sommet.
- ✓ G : Milieu de raccordement situé sur la variante.
- ✓ A et B : deux points connus sur P1 et P2.
- ✓ F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche).
- ✓ X : Distance entre le sommet et un point A sur P1.
- ✓ $(\alpha+\beta)$: angle de variation, ou de changement de direction.
- ✓ O : Centre du cercle de rayon R.
- ✓ E : Sommet ou point de changement de déclivité.
- ✓ L : Distance entre les deux points A et B.

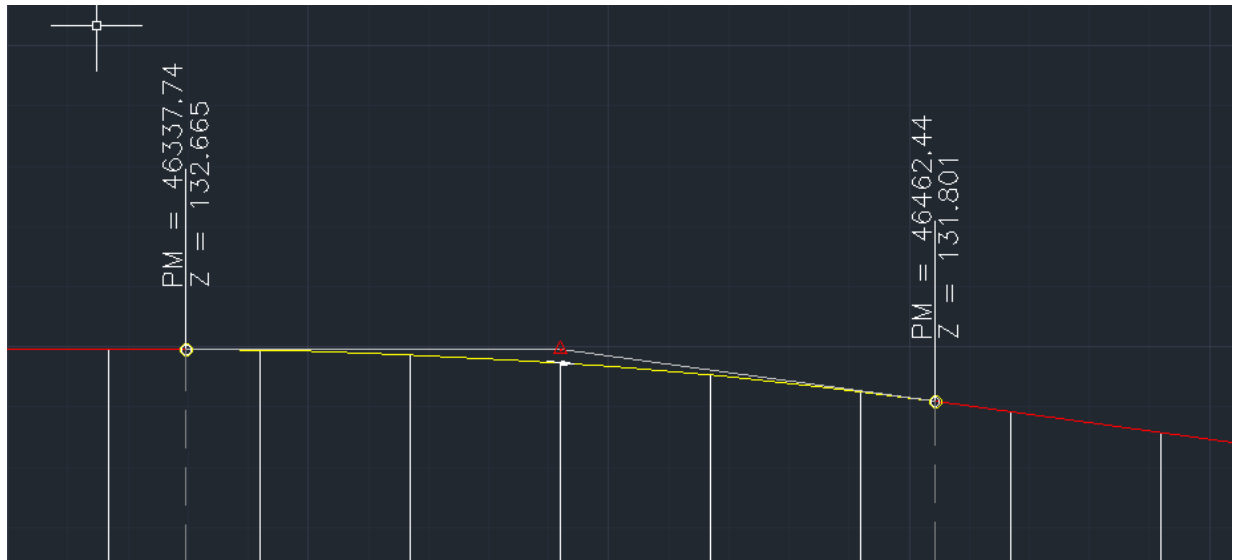


Figure.V.5.Exemple raccordement sur notre projet

Tableau V.4.Données du points de raccordement

Points	S(m)	Z(m)	Rayon(m)
A	46337.74	132.665	9000
E	46400.10	132.665	
B	46462.44	131.801	

- Calcul des pentes :

$$P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1} = \frac{132.665 - 132.665}{46400.10 - 46337.74} = \frac{0}{62.36} = 0 \text{ ‰}$$

$$P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = \frac{131.801 - 132.665}{46462.44 - 46400.10} = \frac{-0.864}{62.34} = -13.9 \text{ ‰}$$

- Calcul de la tangente T :

$$R=9000 \text{ m}$$

$$T = \frac{R}{2}(P_1 - P_2) = 62.55 \text{ m}$$

- Calcul de la flèche F :

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{62.55^2}{2 \cdot 9000} = 0.217 \text{ m}$$

- Calcul de la côte du point au milieu de raccordement parabolique :

$$Z_G = Z_E - F = 132.665 - 0.217 = 132.448 \text{ m}$$

- Calcul des Pk et des points du début et de la fin de raccordement parabolique :

$$\left[\begin{array}{l} PkA' = PkE - T = 46400.10 - 62.55 = 46337.55 \text{ m} \\ ZA' = ZE - P1.T = 132.665 - 0.00 \cdot 62.55 = 132.665 \end{array} \right.$$

$$PkE' = PkE + T = 46400.10 + 62.55 = 46462.65 \text{ m}$$

$$ZE' = ZE - P2.T = 132.665 - 0.0139 * 62.55 = 131.8 \text{ m}$$

V.6.Conclusion :

Notre profil a présenté un grand nombre de déclivité et a rencontré beaucoup d'obstacle, nous avons du passer par trois tunnels et 5 viaduc afin de parcourir les collines et L'oued Soummam, nous avons également des gazoducs aux pk 46+905 ;47+680 ; 48+342 ; 50+348 ; 50+725 ;52+868 ;56+667

Les résultats du calcul manuel sont conformés à ceux du calcul automatique du logiciel qui sont joints en annexe.

Chapitre VI

Etude géologique et géotechnique.

VI.1.Introduction

L'étude géotechnique et géologique est certainement l'étape la plus importantes, elle permet la reconnaissance du terrain et régira la totalité des choix de conception, elle nous donnera les caractéristique relevant du sol et sous-sol dont la prise en compte est nécessaire pour la stabilité de la construction.

Nous allons donc procéder à différents carottages et étude géotechnique que ce soit in situ ou en laboratoire afin de définir réellement les caractéristiques de notre terrain.

Nous commencerons bien évidemment par l'étude géologique qui se basera principalement sur l'étude historique du site.

VI.2-étude géologique

VI.2.1.Situation du site

Notre zone d'étude se situera entre Takritz et El Kseur sur un tronçon de 20km en passant par la ville de Sidi Aich qui devra être dévié, la ville ne pouvant accueillir un dédoublement de voie.

VI.2.2.Géologie régional

La présente aire d'étude définit un couloir de direction approximative Sud-ouest / Nord-est, avec une longueur de près de 90 kilomètres, entre les villes de Beni Mansour (au S-O) et de Bejaia (au N-E), située dans la région centre-orientale du Nord de l'Algérie, dans une zone de confluence de la chaîne de l'Atlas Tellien et du littoral méditerranéen, formée de terrains mésozoïques et cénozoïques, avec quelques zones de roches ignées très localisées. La figure 1 montre le secteur géologique où se situe la zone d'étude.

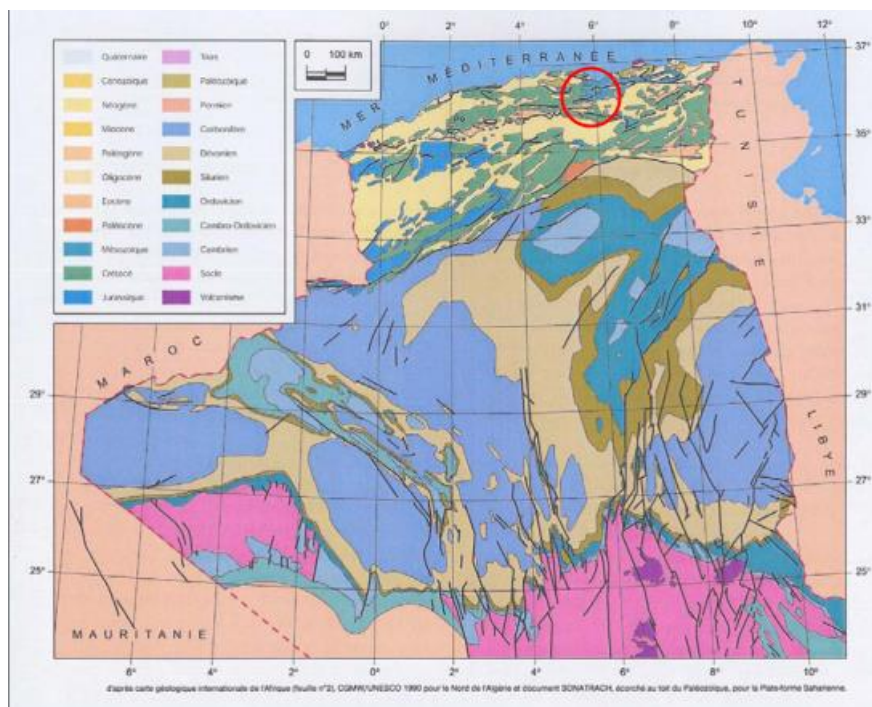


Figure VI. 1 Situation de la zone d'étude

VI.2.4. Tectonique et sismicité

L'évolution tectonique régionale est étroitement liée à la formation des chaînes alpines méditerranéennes, et concrètement le tronç algérien de cette chaîne, est attaché à la rotation de la plaque africaine par rapport à l'eurasiatique.

La conception et la réalisation de tout projet, doivent prendre en compte l'aléa sismique de la région, en se référant au règlement parasismique algérien réajusté après le séisme de 21 Mai 2003.

La côte méditerranéenne de l'Afrique, le Maghreb, est la partie du continent la plus active sismiquement. Elle a d'ailleurs souffert d'importants séismes tout au long de son histoire. Et cela dû au fait que la plaque africaine converge vers l'Européenne, le bord nord-africain pousse sur l'écorce océanique de la Méditerranée dans ce qu'on appelle zone de collision, là sont relativement fréquents les mouvements sismiques, lesquels peuvent être catastrophiques.

Avec des accélérations sismiques de base comprises entre une valeur minimale de 0.8 m/s² et un maximum de 2.4 m/s², étant la valeur moyenne de 1.6 m/s², comme il peut être apprécié dans la Figure 2, dans laquelle est situé le couloir de l'étude.

Notre zone est de risque moyen, Pour les calculs dynamiques des ouvrages, il y'a lieu de se référer au règlement parasismique Algérien.

Il est intéressant de noter qu'après investigation sur place, le séisme de mars dernier (2021) n'a causé aucun dégât aux différentes infrastructures de la voie existante et n'a même pas influencé les machines/travaux en cours

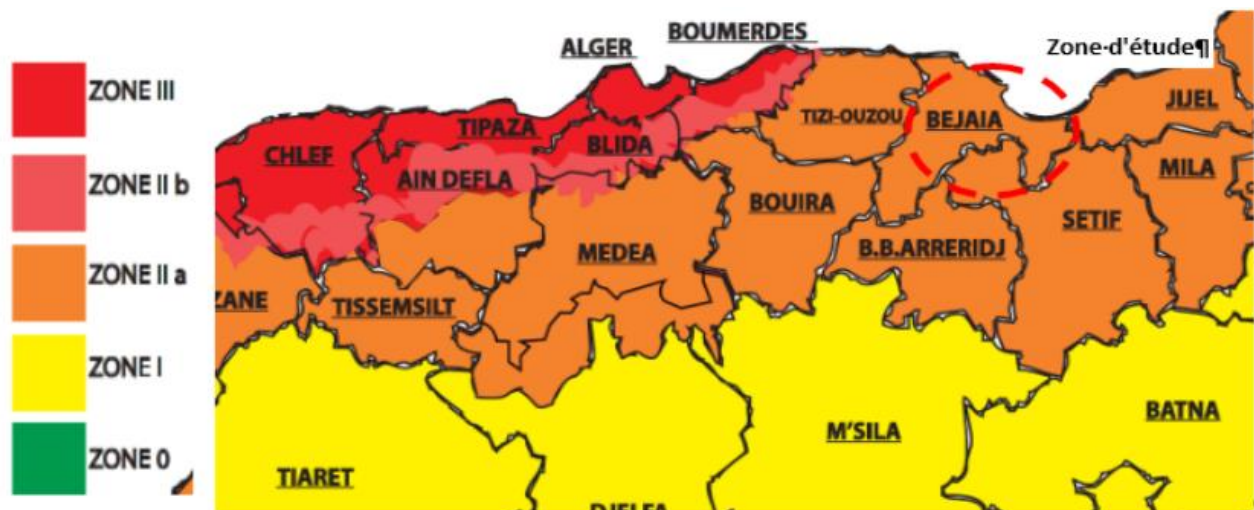


Figure VI. 2. Zone sismique en Algérie

VI.2.5. géomorphologie

Le tracé de l'étude traverse une partie de l'Atlas tellien au milieu de la vallée de l'Oued Soummam, avec une direction approximative NE – SW, qui sépare les massifs de la Grande Kabylie (à l'Ouest) et de la Petite Kabylie (à l'Est). Au long de ce couloir on peut différencier trois types de reliefs avec des caractéristiques distinctes

D'abord on peut définir des plaines fluviales formées par les terrasses et alluvions aux marges de l'Oued Soummam qui fait partie de notre tronçon et qui confèrent un relief plan, ou faiblement en escalier, avec une pente faible et uniforme, vers le lit de l'Oued et perdant de l'altitude, et faiblement, vers le littoral méditerranéen.

Sur cette plaine alluviale coule l'Oued Soummam avec un tracé méandrique, propre au cours bas près de l'embouchure, et récupérant les eaux provenant des thalwegs latéraux qui jouent un rôle de ravines saisonnières, très souvent violentes. Il est très fréquent l'apparition d'éventails alluviaux et de cônes de déjection, de dimensions variables, à la confluence de ces ravines avec la dépression principale. Aussi il est relativement fréquent la présence de méandres abandonnés qui sont proches de la vallée fertile alluviale.



Figure VI. 3. relief accidenté proche de oued Soummam

VI.3. Etude géotechnique :

Le but de cette mission est l'étude des conditions géotechniques pour la conception du tronçon de la ligne ferroviaire Beni Mansour-Béjaia, et utiliser les résultats pour classer les différents sols/matériaux puis en déduire les choix de conception adéquat à chaque zone géotechniquement distinguées et déterminer la nature en profondeur des déblais à excaver et trouver les bons matériaux à utiliser pour remblayer.

Afin de compléter les résultats obtenus lors de l'étude géotechnique d'avant-projet détaillé, nous avons procédé à une nouvelle campagne de reconnaissance lors de la phase d'exécution dans les zones sensible à ouvrages, à risques et toutes zones mal reconnu lors de l'APD.

VI.3.1. Travaux de reconnaissance et campagne d'essai : (prévu dans le DEX)

VI.3.1.1. Levé de surface

Dans l'investigation géotechnique, la visite du site est la première étape à suivre pour mettre des suppositions sur la nature du sol qu'on infirmera ou confirmera à l'aide des levés en

profondeur. L'observation à l'œil nu de formations locales et de leurs couleurs apparentes sur le sol permet d'identifier déjà la nature des couches géotechnique superficielles.

VI.3.1.2. Programme d'essai

07 sondages, carottés de profondeur de 20 m, avec prélèvements d'échantillons intacts et remaniés pour des essais au laboratoire.

Des essais au Standard Pénétration Test dans le trou de forage du sondage.

- 12 puits de reconnaissance de 2.50 m de profondeur à l'aide d'une pelle mécanique
- 13 essais de pénétration réalisés à l'aide du pénétromètre dynamique lourd type Borro poussées jusqu'au refus.

VI.3.1.3. Sondage réalisé :

- Sondage carotté

L'entreprise de réalisation a prévu la réalisation des sondages carottés montrés dans le tableau suivant et sur la figure d'après.

Tableau VI.1.Position des sondages

Sondages	coordonées	
	X	Y
108	647839	4048646
109	649304	4050362
110	651593	4052113
111	652200	405507
112	654429	4054052
113	659170	4055229
114	662440	4056114

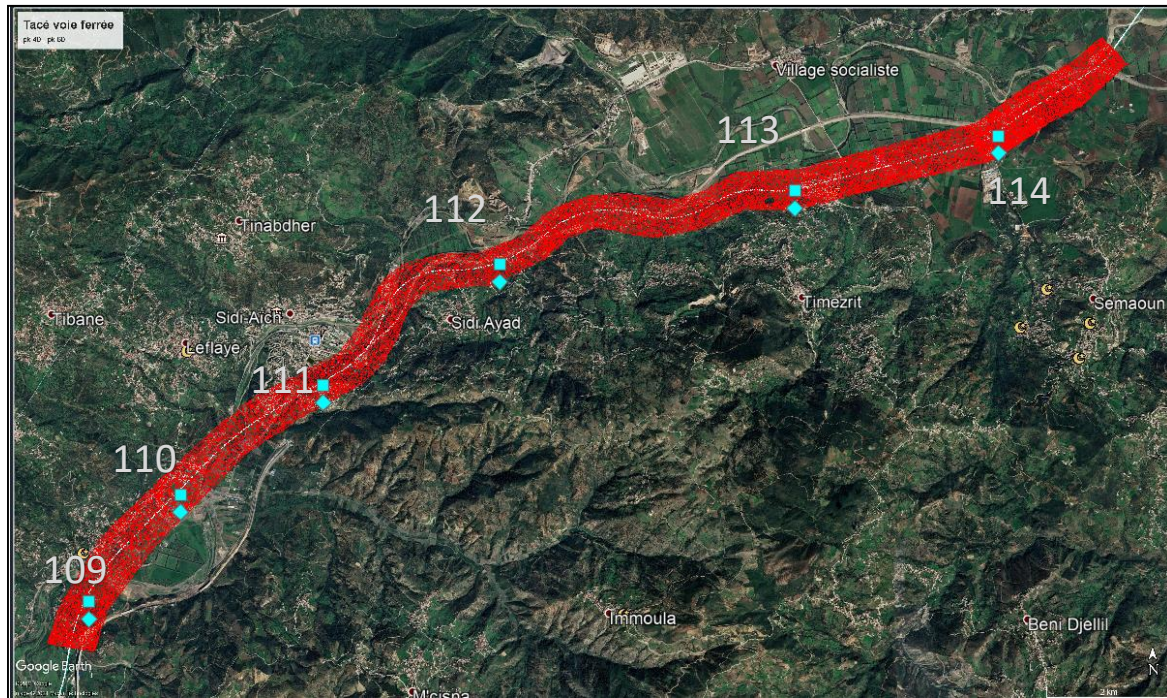


Figure VI.1. Position des sondages

- **Puits de reconnaissance** : Les puits sont réalisés à l'aide d'un Retro – chargeur tout au long du tracé (endroits accessibles) sur une profondeur de 2.5m à 3m

Tableau VI.2. Position des puits

Puits de reconnaissance	Coordonnées	
	X	Y
Puits 127	647945,403	4048835,68
Puits 128	648078,131	4049047,4
Puits 129	649094,273	4050148,17
Puits 130	649724,722	4050790,46
Puits 133	657981,581	4055045,24
Puits 134	658796,187	4055222,43
Puits 135	659437,112	4055316,72
Puits 136	660245,65	4055525,76

VI.3.1.4. Essai in situ

Il faut procéder à différents essais in situ notamment le SPT et l'essai de pénétration dynamique BORRO.

Les essais pénétrométriques exécutés tout au long du tracé, nous permettront d'apprécier la compacité de chaque formation traversée. Il consiste à battre dans le sol un pieu miniature que constitue un ensemble de tiges et à compter le nombre de coups nécessaire à un enfoncement donné.

Quant à l'essai de pénétration dynamique, il permet la mesure de la capacité portante du sol et on a réalisé 8 essais BORRO dans le linéaire de notre projet.

VI.3.1.5. résultats obtenus

• **Lithologie :**

Le carottes récupérées ont permis d'avoir les observations classés dans le tableau :

Tableau VI. 3 Profondeur et description lithologique

Pk du sondage	Profondeur du sondage(m)	Description
PK 42+900 (S109)	-0-20	-Sable moyen gris graveleux caillouteux avec présence de blocs par endroit (des alluvions moyen grossiers)
Pk 45+800(S110)	-0-12	-éboulis de pente formé par des marnes altéré et gros blocs de marne calcaire -Alluvions grossière(formé par des conglomérats et des galets décimétriques)
	-12-20	
Pk 46+525(S111)	-0-2.5	-Marne altérés schisteuse tendre -Marne grise indurée avec un passage de marne tendre entre 10.90 12.20m
	-2.5-15	
Pk 49+500(S112)	-0-5	-Alluvions fines à moyennes(sable gris moyennement graveleux et caoutchouteux) -Alluvions moyenne à grossière(grave, cailloux, blocs avec présence de sable)
	-5-20	
Pk 54+575(S113)	-0-0.3	-Terre végétal -Argile limoneuse parfois noire parfois brune compacté -Alluvions grossière (Sable graveleux caillouteux avec présence de blocs)
	-0.3-15	
	-15-20	
Pk 57+975(S114)	-0-0.70	-terre végétale -Argile limoneuse beige encroutée légèrement graveleuse -Conglomérat consolidé (dur) graveleux -marne altérés schisteuse
	-0.7-9.5	
	-9.7-17	
	-17-20	

Les puits à ciel ouvert ont permis de tracer le tableau ci-après :

Tableau VI. 4. Résultats et nature lithologique des puits de reconnaissance

Emplacement du puits	Profondeur du Puits(m)	Description
PR 127 Pk40+850	-0-0.4	-Terre végétal - Limon argileux Brunâtre légèrement graveleux -Limon graveleux caillouteux
	-0.4-2.2	
	-2.2-3	
PR 128 PK41+100	-0-0.3	-terre végétal -Argile limoneuse brunâtre graveleuse
	-0.3-2.5	
PR 129 PK42+600	-0-1.4	-Remblais -Alluvions fins
	-1.4-2.5	

PR 130 PK43+500	-0-0.5 -0.5-3	-terre végétal -Argile Limoneuse brunâtre graveleuse
PR 133 PK 53+350	-0-0.3 -0.3-3	-terre végétal - Argileux Limoneuses noire a brune Légèrement graveleux
PR 134 PK 54+200	-0-0.4 -0.4-3	-Terre végétal -Limon sableux parfois brun parfois noirs(fin)
PR 135 PK 54+850	-0-0.3 -0.3-3	-Terre végétal - Argile Limoneuses brunâtre compacte
PR 136 PK55+700	-0-0.3 -0.3-2 -2-3	-Terre végétal -Argile limoneuse brunâtre graveleuse -Limon argileux brunâtre légèrement graveleux
PR 137 PK 57+500	-0-0.5 -0.5-2 -2-3	-Remblais -Argile noire légèrement graveleuse -Argile graveleuse caillouteuse(des alluvions moyennes à matrice argileuse

- **Compacité :**

Les résultats de l'essai SPT sont retranscrits dans ce tableau :

Tableau VI. 5. compacité des sols selon l'essai SPT

Sondage carotte	Compacité
S 109	Sol très dense
S 112	Sol très dense
S 113	Sol normal-dense et très dense de à partir de 15m
S 114	Sol très dense

- **Capacité portante :**

Tableau VI. 6. Résultats du pénétromètre dynamique de BORRO

Numéro de l'essai	Interprétation
DPSH 126	Les résultats pénétrométriques ont enregistré des résistances de pointe de moyennes à élevées, (34 bars <Rp< 206.4bars) avec un refus superficiel de 0.20 et 5.40m de profondeur, causé probablement par la rencontre avec un horizon alluvionnaire (présence de graves et de cailloux).
DPSH 127	
DPSH 129	
DPSH 134	
DPSH 136	
DPSH 133	Détecte un horizon faible entre 1.20 à 1.60m avec des résistances de pointe comprises entre (23<Rp<30bar)
DPSH 135	Détecte un horizon faible entre 0.0 à 4.80m avec des résistances de pointe comprises entre (22<Rp<40bar)
DPSH 137	Détecte un horizon faible entre 2.60 à 3.40m avec des résistances de pointe comprises entre (29.60<Rp<40bars)
DPSH 138	Détecte un horizon faible à moyenne entre 0.00 à 5.20m avec des résistances de pointe comprises entre (13.80<Rp<40bars)

VI.3.2. essai en laboratoire :

Les échantillons intacts et remaniés, prélevés dans les puits de reconnaissance et les sondage carotté à différentes profondeurs, à partir de là nous pratiqueront différentes analyse en laboratoire, elles ont consisté à l'exécution des essais suivants : (selon les normes XP P.94 et NF P 94)

VI.3.2.1. Essais réalisés

- **Essai physique**

- Analyse granulométrique (NF P.94 - 056)
- teneur en eau et saturation (NF P.94.050)
- valeur au bleu de méthylène(VBS) (NF P 18 – 592)
- Densité

- **Essai mécanique**

- boite de casagrande (NF P 94.071-2)
- Détermination des caractéristiques mécaniques de compressibilité à l'oedomètre(XP P.94 – 090)
- Test proctor et CBR

- **Essai Chimique**

Dans une optique d'avoir une idée générale sur le degré d'agressivité du sol, il été procédé aux analyses chimiques sommaires réalisées suivant la norme NFP 18.011 comprenant les tests suivants :

- Analyse sommaire chimique du % de sulfates (SO4-2)
- % des carbonates, chlorure et de matière organique MO

VI.3.2.2. Résultats des essais obtenus en laboratoire

Tableau VI.7.Résultats des essais en laboratoire

Puits	PK	wn	Granulométrie				Limite d'atterberg			VB	VBS	Proctor modifié		Class GTR
			Dmax mm	>5 mm	<2 mm	<0.08 mm	Wl	Wp	IP			Wopm (%)	γ_{dop} m	
127	40+850	13.68	<50	95	90	63	33.01	15.82	17.18	1.43	1.36			A1
128	41+100	5.34	<50	99	99	66	25.7	12.21	13.48	2	1.98			A1
129	42+600	15.12	<50	80	69	34	22.28	11.97	10.31	1	0.8	7.1	2.055	B5th
130	43+500	4.7	<50	100	99	71	24.37	12.21	12.16	1.5	1.5			A5
133	53+350	11.6	<50	100	99	79	40.78	20.03	20.75	3	3			A2
134	54+200	18.27	<50	100	100	85	29.20	13.04	16.167	1.5	1.5	9.1	1.978	A1h
135	54+850	12.29	<50	100	100	95	48.57	21.95	26.61	4	4			A2

136	55+700	7.16	<50	81	81	44	38.96	18.98	19.97	1.23	0.98			A1
137	57+500	8.81	<50	67	40	21	36.5	27.85	8.65	1.16	0.78	5	2.179	B5th

- Granulométrie :

On remarque dans le tableau ci-avant que la granularité prépondérante se trouve en dessous de 50mm de diamètre.

On distingue en général deux type de sol selon les résultats obtenus :

- Des sols fins (argile, limon, sable) ayant les caractéristiques suivantes :

D_{max}<50mm et le taux de fins inférieur à 0.08mm est de l'ordre de 44 à 95%, en ajoutant à cela une limite de liquidité entre 24.37 et 48.8. Ils sont majoritairement classé dans la classe A, sous classe A1 A2 et A5

- Des sols comportant les fines et un certain pourcentage de gros éléments (sol limoneux sableux et graveleux) avec les caractéristique :

D_{max}<50mm, les mini fines inférieur à 0.08mm est entre 21 à 34%, limite de liquidité entre 22.28% et 36.5% et un indice de plasticité entre 8.65 à 10.31%

D'une manière générale ces sols sont classés B5th

- Essai Proctor :

Les essais Proctor ont été réalisés dans le but de déterminer les caractéristiques obtenues de compactage. La densité Proctor obtenus varie entre 1.97 et 2.179 avec des teneurs en eau *W_{opt}* entre 5 et 9.1 %.

- Analyse chimique du sol :

Les résultats de l'analyse chimique du sol au niveau des puits montrent qu'il n'y a aucune agressivité vis-à-vis du béton, comme on peut le voir ci-dessous :

Tableau VI.6. quantité d'éléments chimiques dans le sol.

Puits	Profondeur	% Insoluble	%carbonate Caco3	% chlorure Nacl	Gypse CASO3,2H2O	Teneur en Anion de sulfates SO4-2
P137	2 à 3m	77.81	19.11%	1.755%	0.00	0.00

- Classification du sol :

Nous pouvons désormais poser une classe à notre sol selon l'UIC

Tableau VI.7.Classification du sols selon UIC

Puit	PK	Prof(m)	GTR	UIC
------	----	---------	-----	-----

P127	40+850	2à3m	A1	QS1 Sols médiocre
P128	41+100	2à3m	A1	QS1 Sols médiocre
P129	42+600	2à3m	B5th	QS0 sols impropre
P130	43+500	2à3m	A5	QS1 Sols médiocre
P133	53+350	2à3m	A2	QS1 Sols médiocre
P134	54+200	2à3m	A1th	QS1 Sols médiocre
P135	54+850	2à3m	A2	QS0 sols impropre
P136	55+700	2à3m	A1	QS1 Sols médiocre
P137	57+500	2à3m	B5th	QS0 sols impropre

- Etude de résistance et compacité du sol :

Tableau VI.8. Tableau résistance au cisaillement/compressibilité du sols

N sondage	Prof (m)	Résistance au cisaillement		Compressibilité à l'œdomètre		
		Cu (bar)	∅	Pc (bar)	Cc	Cg
113	4-4.3	50	21	0.92	0.2	0.04
114	6.55-6.85	Essai inadapté		1.69	0.22	0.07

(gros manque de données)

Les observations nous ont mené à observer un sol très dense et moyennement humide qui est assez loin de la saturation, notre sol est moyennement compressible et d'une assez mauvaise qualité, selon le UIC 719 R notre sol est très majoritairement de qualité QS1

VI.3.7. talus :

Les conditions de stabilité ont été évaluées par l'analyse des surfaces de glissement dans un autre chapitre

Il est important de noter que la stabilité des remblais sous la charge de la superstructure de la voie ferrée et des trains, de 30km/m², nous considérerons cette charge uniquement dans les remblais ou son effet est renversant

VI.3.7.1 Les différents talus en remblais et déblais présent sur le tronçon

D'une façon générale les talus sont projetés en considérant un talus de 2H/1V en remblais et 2H/1V et 3H/2V en déblais

Tableau VI.9. tableau résumant la lithologie ainsi que les différents remblais

Pk initial	Pkfin	lithologie	Pk (hauteur de remblais le plus haut)	Remblais		
				H max(m)	Talus (H/V)	Observation
40+725	41+175	Qt	40+900	8	2H :1V	-
43+950	44+600	A	43+525	10	2H :1V	Viaduc sur oued soumam
45+685	46+775	CI	45+980	10	2H :1V	Zone de la gare de Sidi Aich
46+775	47+975	Qc	47+125	7	2H :1V	Viaduc Sidi Ayad
47+975	49+375	Qt	48+475	5.5	2H :1V	Zone sans levée TOPO
49+700	50+425	Qt	50+375	15	2H :1V	Autre viaduc sur oued soumam
50+480	51+800	Qt	51+250	13	2H :1V	-
52+210	53+500	Qt	52+700	10	2H :1V	-
55+975	57+050	Qt	56+625	8.2	2H :1V	Gare el MATEN
58+750	59+300	Qt	58+900	5.6	2H :1V	-

Tableau VI.10. tableau résumant les talus pour les différents déblais

PK in	PKfin	N/Sondage	PK ou le remblais est le plus haut	Déblais		
				Hmax	Talus (H/V)	Observation
41+400	42+075	S-18 (APD)	41+525	5.5	1.5H/1V	Mur en béton armée côté gauche du talus 41+625- 41+750
47+735	48+020	S-V- 48,8(APD)	47+975	19.5	1.5H/1V	-
48+080	48+325		48+125	11	1.5H/1V	-
50+460	50+675	S-PS 51.3(APD)	50+475	12.5	1.5H/1V	-

51+850	52+325			7	1.5H/1V	Mur en béton armée côté gauche du talus 51+925-52+250
53+450	53+850		53+600	8	2H/1V	-

Pour la partie supérieure des terrassements, contenant le couronnement, la couche de forme et la couche de fondation ainsi que le sous ballast, nous avons adopté une cohésion nulle, un angle de friction de 35° et une épaisseur de 0.7 m.

En déblais cette partie supérieure de terrassement n'est pas considérée afin de prendre le cas le plus défavorable.

VI.3.8. Conclusion

Nous avons procéder à différentes compagne d'investigations, différentes conclusions d'analyses se sont offerte à nous, globalement nous avons remarqué que lorsque la hauteur des talus était inférieur à 8m, il n'y avait pas de risberme à aménager, le talus est donc rectiligne, en revanche lorsqu'on est supérieur à 8m, nous sommes contraint d'avoir un risberme d'une largeur de 3m.

Notre sol est globalement de très mauvaise qualité (QS1) composé d'énormément d'argile et de limon.

Une fois les talus terrassé il est strictement interdit de les laisser à exposées aux conditions climatiques afin d'éviter toute dégradation des propriétés physique et mécanique du terrain projeté, il faudra donc utiliser des géotextile afin d'éviter la liquéfaction.

NB : il est important de préciser que la vérification de la stabilité au tassement ainsi qu'au poinçonnement n'a pas été fait faute de temps et doit être étudié.

Chapitre VII

Dimensionnement de l'assise ferroviaire

VII.1.Introduction

L'infrastructure de la voie ferrée ou la structure d'assise est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose.

Elle sert à répartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure.

De plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie et permet donc pour une large part d'assurer par leur nature et leur épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

Il faudra donc prendre en compte l'étude de trafic à travers le plan de transport et dimensionner en conséquence les différentes couches

Elles comprennent la couche de ballast et la sous-couche.

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

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel,)
- Des caractéristiques globales de la plate-forme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site ;
- Des conditions climatiques du site
- Du trafic (tonnages, charges, vitesses)
- De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses,).
- L'épaisseur de la couche de ballast doit être prise en compte lorsque l'on dimensionne la sous-couche.

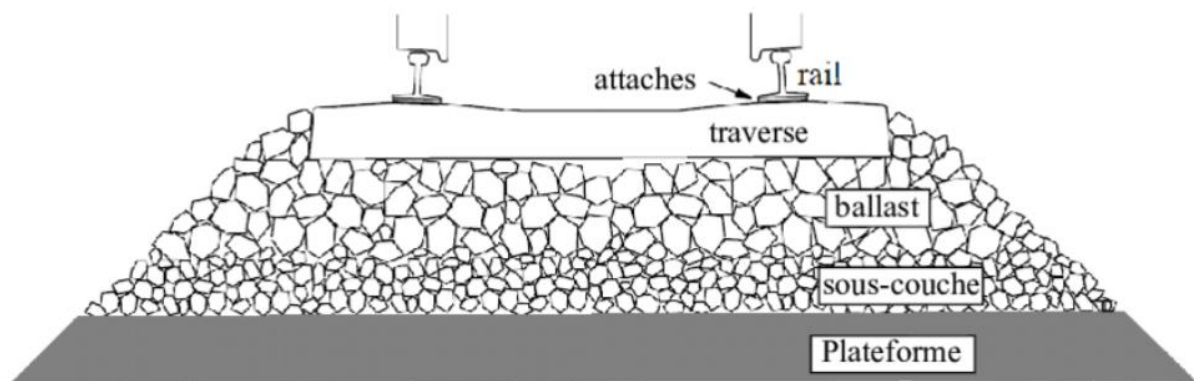


Figure VII.1.Element de la superstructure

VII.2.Couche d'assise

La couche d'assise est composée de couche de ballast, Couche Sous ballast, une couche de fondations et bien éventuellement une couche anti contaminant ainsi qu'une couche drainante

Le type et l'épaisseur du matériau choisi pour la couche d'assise dépend de plusieurs paramètres :

- les caractéristiques du sol de la plateforme (la portance, sensibilité à l'eau et au gel-dégel)
- Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques du site

- Les conditions climatiques

-Le trafic du site

-armement de la voie (rails, nature et espacement des traverses etc...)

VII.3.Le Ballast

Le Ballast est un élément support majeur de la voie ferrée ballastée. C'est un matériau granulaire ($d/D = 25/50$ mm) provenant du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granit, diorite, quartzite.....), de forme polyédrique à arêtes vives.

La couche de Ballast supporte les efforts transmis par les traverses et elle doit être compactée lors de la mise en place de la voie, afin d'améliorer sa stabilité.

Pour satisfaire ces fonctions, le ballast doit répondre à des critères de qualité géométrique et mécanique fixés par des normes internationales. Les critères portent sur la granulométrie, la forme des grains, les caractéristiques pétrographiques, la résistance mécanique et aux agents atmosphériques, ainsi que la dureté des grains.

VII.3.1.Le rôle du ballast

- Le ballast assure plusieurs fonctions primordiales :
- Transmission uniforme jusqu'à la plate-forme des charges induites par les véhicules Ferroviaires
- Participation à l'élasticité de la voie
- Stabilisation de la traverse, résistance aux forces longitudinales et transversales des trains
- Amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations
- Structure permettant la pose de la voie puis les corrections de la géométrie de la voie par Drainage efficace de la voie et limitation des problèmes du gel

VII.3.2.Caractéristiques physiques :

- Granulométrie : on utilise actuellement en Algérie la 25/50mm (documents SNTF)
- Formes des granulats : elle doit être poly hydrique avec des éléments d'arêtes vives, les granulats ne doivent être ni trop longs ni trop plats.
- Homogénéité des granulats : un ballast hétérogène (âge et dureté différents) s'altère très rapidement
- Propreté des granulats : le ballast doit être exempté des éléments fins et débris. pour obtenir un ballast propre la masse relative des éléments passant au tamis de 1.6mm doit être inférieur à 0.5%.

VII.3.3.Caractéristique mécanique

Le ballast présente deux caractéristiques principales avantageuses pour la structure d'assise :

VII.3.3.1 La résistance à l'attrition

Sous l'effet de charge concentré et de vibrations, les granulats du ballast s'usent en se frottant les uns aux autres, cette résistance est calculé par un essai au laboratoire en reproduisant le phénomène, l'essai se nomme « Deval »

- Deval à sec DS, avec $DS > 14$ pour les pierres durs (ballast)
- Deval Humide DH : $DH > 12$ pour les calcaires (pierres carbonatées)

VII.3.3.2 la résistance aux chocs

Sous l'effet des contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les broyeurs, donc pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats, on réalise l'essai LOS ANGELES pour un ballast acceptable le coefficient LA doit être inférieur à 25% ($LA < 25\%$).

VII.3.3.3.La dureté

Elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale, un ballast doit avoir pour notre cas une $DRG > 18$ (il varie selon la nature des traverses et du trafic) et est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs.

VII.3.3.4.Résistance à la compression simple

Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire, en Algérie ($R_c > 14$ KN/cm, document SNTF).

VII.4. Epaisseur du ballast :

Tableau VII.1.Epaisseur du ballast(géométrie SNTF P15)

Epaisseur normale	0.3m
Cas des viaducs et tunnel	0.35m

VII.5.La sous couche

C'est une couche d'adaptation qui s'interpose entre le ballast et la plateforme elle nous permet d'ailleurs :

- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- L'Anticontamination entre plate -forme et ballast (protéger le ballast d'une éventuelle remontée de fines, et protéger la plate-forme du poinçonnement causé par le ballast).
- La Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- La Protection contre l'érosion et le gel.
- L'évacuation des eaux (améliorer le drainage)

La sous-couche peut être mono ou multicouche elle peut comprendre une couche de sous ballast (qui doit être toujours présente) puis une couche de fondation, et enfin s'il y a lieu, une couche anti contaminant en sable complétée par une feuille géotextile.

Cette sous-couche présente une pente transversale de 3 % à 5 %.

VII.6.Sous ballast

Cette couche est présente qu'importe le cas, même les plateformes rocheuses ou elle sert de couche d'égalisation et contribue à réduire la raideur de l'assise.

Elle est en grave propre bien graduée 0/31.5 mm comportant au moins 30% du matériau concassé ayant une DRG ≥ 12 et compacté à 100% OPN. (Jean.ALIAS. 1984 page 272).

VII.7.La couche de fondation :

Elle est généralement en grave propre bien graduée et doit être compactée à 100% OPN.

Cette couche permet la circulation des engins de chantiers (la couche de sous ballast étant mise en œuvre en fin de chantier donc les engins doivent être supportée avant).

La couche de fondation n'est pas nécessaire sur les meilleurs sols. (Jean.ALIAS. 1984 page 272).

Les matériaux doivent être conformes aux spécifications particulières ci-après :

Le Sous-produit de carrière du ballast (0/31.5mm) propre bien gradué DRG>10.

S'il y a lieu une couche anti-contaminant en sable moyen propre d'une épaisseur minimale de 15 cm, elles sont complétées en outre par une feuille de feutre synthétique (Géotextile).

VII.8.Couche anti-contaminant

Elle est en sable propre, et on peut lui ajouter une feuille de feutre synthétique s'il le faut (appelé également géotextile), cette dernière est à prévoir uniquement sur une plateforme médiocre.

VII.9.La plateforme

C'est la partie constitué par du sol rapportée (remblais) ou en place (déblais), sa partie supérieure est aménagée en couche de forme.

Si l'on a un remblai, cette couche de forme sera automatiquement d'une qualité supérieur, le sol étant choisi, son compactage doit être de 95% OPM, cette dernière peut être traité au liants hydraulique afin d'augmenter considérablement ses caractéristiques.

Si l'on a un déblai, la couche de forme est obtenue par compactage du fond de fouilles à 95% OPM sur une épaisseur minimal de 30cm.

Qu'importe sa nature (déblais ou remblais) le sol de la plateforme doit remplir un certain nombre de critère :

- La réparation des charges reçues par la superstructure.
- L'évacuation des eaux de ruissellement et zénithales vers L'assainissement.
- La protection contre la pénétration du ballast par les limons et par les argiles provenant du sol
- L'amortissement des vibrations résultant de la circulation des véhicules.
- Rabattement des eaux souterraines

Il est très important de noter que toutes les parties de la couche d'assise doivent être posé selon une pente transversale afin de permettre l'évacuation des eaux à travers les assainissements, cela se fait comme suit :

-4% pente normal

-3% pente posé dans une zone désertique

-5% pente posé dans une zone littorale

VII.9.1.classification de la plate-forme

Pour classer la plate-forme, il convient :

-tout d'abord d'apprécier la classe de qualité de chaque sol composant la plateforme

-Apprécier la classe de portance de la plateforme complète : Couche de forme + sol support

VII.9.1.1.Classe de qualité des sols pour la plateforme

La qualité d'un sol dépend des deux paramètres suivants :

1-Sa nature géotechnique qui est régit par la granularité et son contenu organique pour les sols meuble, la dureté et l'altérabilité dans les cas des sols rocheux.

2- Les conditions hydrogéologiques, elles sont considérées comme bonnes si :

-La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle

- La plateforme n'est pas le siège de percolations 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

On distingue Alors les classes de qualité des sols suivants :

-Qs0 impropre

-Qs1 Mauvais

-Qs2 Moyen

-Qs3 Bon sols

X.9.1.2.Classe de portance de la plateforme

On peut distinguer trois classes de plateforme en fonction de leurs portances :

-P1 plateforme médiocre

-P2 plateforme moyenne

-P3 plateforme bonne

Les classes de plateforme sont représentées en fonction de classe de qualité du sol support

Tableau VII.2. les classes de portance de la plateforme (UIC719R)

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	Épaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

VII.10. Dimensionnement des couches d'assise :

La formule de calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise est donnée comme suit:
 $e = \text{épaisseur ballast} + \text{épaisseur sous couche (m)}$

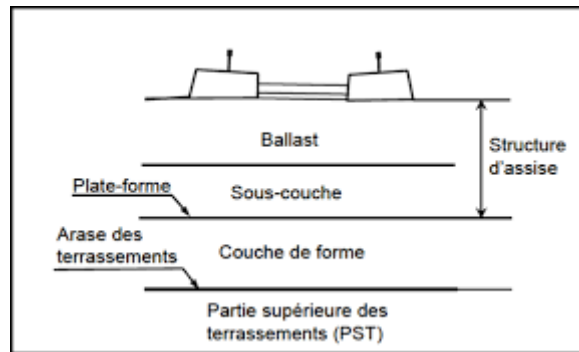


Figure VII.2. Élément de la superstructure

$$e = E + a + b + c + d + f + g \text{ (m)}$$

L'épaisseur de la couche d'assise (représente du ballast + épaisseur du sous couche dépend des facteurs suivants :

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3)
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714R)
- 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
- g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

Tableau VII.2. Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R)

Paramètres de dimensionnement	Epaisseur	Conditions
E	E=0.70m E=0.55m E=0.45m	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pour les plateformes de classe de portance P1. ➤ pour les plateformes de classe de portance P2. ➤ pour les plateformes de classe de portance P3.
a	a=0m a= -0.05m a= -0.10m	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne à V > 160 km/h quel que soit le groupe UIC). ➤ pour les groupes UIC 3 et 4. ➤ pour les groupes UIC 5 et 6
b	b=0 b = $\frac{2.5 - L}{2}$	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pour les traverses bois de longueur 2.60m. ➤ pour les traverses béton de longueur L
c	c=0 c= -0.10m	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pour un dimensionnement normal ➤ à titre exceptionnel pour des opérations difficiles pour les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec voyageurs.
d	d= 0 d= +0.05m d= +0.12m	<ul style="list-style-type: none"> ➤ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN. ➤ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN. ➤ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
f	f=0 f=0.05m f= 0.10m	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse. ➤ pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. ➤ pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse
g	= +ep =0	<ul style="list-style-type: none"> ➤ géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS 1 ou QS2. ➤ g=0 (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3

VII.11.Application à notre projet :

VII.11.1.Calcul de trafic fictif :

Selon la norme 714R (3eme édition) de classification des voies des lignes est établie sur la base d'un trafic fictif Tf calculé d'après la formule:

$$T_f = S_v \times (T_v + K_t \times T_{tv}) + S_m \times (K_m \times T_m + K_t \times T_{tm})$$

T_v : désigne le tonnage moyen journalier voyageur exprimé en tonnes brutes remorquées en ayant une valeur de: $T_v = 160 \text{ t/train} \times 61 \text{ trains/jour} = 9.760 \text{ t/jour}$

Note : le nombre de trains par jour est donne dans le Plan de transport.

T_m : désigne le tonnage moyen journalier marchandises exprimé en tonnes brutes remorquée en ayant une valeur de: $T_m = 1.500 \text{ t/train} \times 6 \text{ trains/jour} = 9.000 \text{ t/jour}$.

T_{tv} : désigne le tonnage moyen journalier des engins de traction utilisés pour le trafic voyageurs exprimé en tonnes : $T_{tv} = 240 \text{ t/train} \times 61 \text{ trains/jour} = 14.640 \text{ t/jour}$

Note : le nombre de trains par jour est donne dans le Plan de transport

T_{tm} : désigne le tonnage moyen journalier des engins de traction utilisés pour le trafic marchandises, exprimé en tonnes : $T_{tm} = 90 \text{ t/train} \times 6 \text{ trains/jour} = 540$

K_m : est un coefficient, tenant compte à la fois de l'influence de la charge et de l'agressivité des essieux marchandises qui vaut 1,45 du à que le pourcentage du trafic de la ligne sera >75%, avec des essieux chargés à 20 t ou plus.

K_t : Est un coefficient tenant compte de l'influence de l'agressivité des essieux des engins de traction et qui vaut 1,40.

S_v et S_m sont des coefficients qui prennent en compte de la vitesse de circulation des trains (S_v pour les trains voyageurs et S_m pour les trains marchandises). Donc $S_v = 1.35$ et $S_m = 1.15$

$$T_f = 1.35 \times (9760 + 1.4 \times 14640) + 1.15 \times (1.45 \times 9000 + 1.40 \times 540)$$

$$T_f = 56722.5 \text{ tonnes/jour}$$

De cette façon le groupe de trafic fictif selon la classification de la norme UIC 714 R (3 ème édition) sera le Groupe 3 ($40.000 \text{ t/jour} < T_f \leq 80.000 \text{ t/jour}$).

VII.11.2.Calcul de l'épaisseur du ballast:

Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R)

- 35 cm pour une vitesse > 200 km/h ;
- 30 cm pour une vitesse comprise entre 120 et 200 km/h.
- 25 cm pour une vitesse comprise entre 80 et 120 km/h.
- 20 cm pour une vitesse comprise entre 60 et 80 km/h.

On prend $e = 30 \text{ cm}$.

VII.11.3.Calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise :

- **E**, dépend de la capacité portant de la plate-forme selon les types P1, P2et P3.
 - La plateforme projetée pour notre ligne a une bonne capacité portante, en faisant partie du groupe P3, ainsi le coefficient E aura une valeur de $E = 0.45m$.
- **a**, dépend des groupes de classification du trafic selon la norme UIC 714 R.

-Le groupe de trafic c'est de groupe 3 donc la valeur de $a = -0.05m$

• **b**, dépend du type de traverse et de sa longueur.

-Le type de traverse sera bibloc et le model à utiliser sera le B440 (ancienne Vax U31), qui aura une longueur de 2,245 m. Ainsi la valeur **b** sera: $b = \frac{(2.50-L)}{2} = \frac{2.5-2.245}{2} = 0.1275m$

• **c**, dépend du cas de dimensionnement.

-Pour la valeur **c**, il a été considéré un cas de dimensions usuels, donc la valeur de **c** est nulle.

• **d**, dépend des charges à l'essieu pour la superstructure.

-Les charges de l'essieu de la superstructure sont fixées par le cahier de charges en 22.5t, donc la valeur **d** est nulle.

• **f** : facteur dépendant de la vitesse

-La vitesse étant de 160km/h et la plateforme envisagée étant de qualité P3, la valeur de **f** est donc nulle.

• **g**, dépend des besoins de géotextile de la couche de forme.

Il n'est pas nécessaire disposer un géotextile et par conséquent la valeur **f** est nulle.

Par conséquent, l'épaisseur de ballast et sous-ballast sont les suivants:

$$e = 0,45 - 0.05 + 0,1275 + 0 + 0 + 0 = 0,5275 m,$$

soit approximativement **0,55 m**. Une épaisseur de 0,30 m pour le ballast et 0,25 m pour la couche de sous-ballast est retenue.

VII.11.4.Dimensionnement de la couche de forme :

La capacité portante des plateformes dépend de la qualité du sol constituant le corps du remblai, du sol quand il s'agit d'un fond de déblai, ainsi que de la qualité et l'épaisseur de la couche de forme.

Par conséquent, l'épaisseur de la couche de forme dépendra du type de sol et de la catégorie de la plateforme:

- P1: plate-forme médiocre.

- P2: plate-forme moyenne.

- P3: plate-forme bonne.

Si on considère que la qualité du sol est QS1, d'après les caractéristiques géologiques et géotechniques et que la capacité portante requise pour la plateforme est P3 (bonnes conditions), il en résulte **0,5 m** d'épaisseur pour la couche de forme en utilisant la norme UIC 719 R.

Tableau VII.3. Les classes de portance de la plateforme (UIC719R)

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)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

VII .12.CONCLUSION :

Le dimensionnement de notre plateforme nous ont donné les résultats suivants :

-Couche de forme 50cm

-Sous couche 25cm

-Ballast 30cm

Concernant les ouvrages d'art ainsi que les tunnels, nous aurons une épaisseur de ballast de 35cm, nous ne mettons d'ailleurs pas de couche de forme et sous couches, nous le remplissons par une plateforme en béton armé

Chapitre VIII

Etude Hydraulique et assainissement

VIII.1.Introduction :

Lors de la réalisation d'une ligne ferroviaire à double voie électrifiée entre la gare de Beni Mansour et la gare de Béjaia il est impératif de décrire les éléments hydrologiques nécessaire au projet d'exécution ainsi que le dimensionnement et les caractéristiques des éléments de drainage et d'assainissement projetés par le groupement GETINSA / SETIRAIL / SAETI

L'objectif principal de la présente étude hydrologique est donc la détermination des débits de crues tout le long du tracé afin d'éviter les éventuelles inondations de celle-ci, et de prévoir ainsi l'aménagement hydraulique de protection le plus approprié.

VIII.2.Description du site de projet

Notre tronçon traverse un certain nombre de bassin versant à étudier, les précipitations, avec possibilité de fortes intensités, provoquent des inondations sur certains endroits de la voie ferrée ce qui pourrait être dramatique et faire subir de lourdes répercussions économique sur l'intégralité du pays.

L'oued Soummam est le principal collecteur d'eau superficielles de la région, il présente un écoulement permanent, notre projet rencontrera différents OUED qui tous afflueront vers Oued Soummam.

Afin de rendre notre étude la plus efficace possible il est nécessaire de faire l'inventaire des ouvrages hydrauliques existants afin de faciliter leurs réutilisations (en annexe sera donné un tableau recensant ancien et nouvel ouvrage hydrauliques)

En gros une très grande partie des ouvrages hydrauliques seront réutilisés et/ou amélioré

VIII.3.Climatologie :

Il est important d'établir des moyennes décrivant le climat :

La région de Béjaia est caractérisée par un climat méditerranéen, avec hiver humide et doux ainsi qu'un été très chaud.

Avec une moyenne annuelle de 19.48* la température est assez douce

L'évaporation est toutefois très importante en été il atteint son maximum au mois de juillet ou il peut atteindre jusqu'à 97mm et un minimum de 52.4mm en mars.

La zone est très humide avec une variation qui va de 72 à 78%

VIII.4.Pluviométrie :

Nous en venons à la caractéristique la plus importante : La pluviométrie

Etablir les caractéristique de pluie et de précipitation d'une zone est primordial avant tout projet de travaux publics, cela nous amène a évaluer les aléa et les risque probable, pour ensuite les prévenir avec différentes ouvrages de protection.

Ici les données nous ont été fournies par l'ANRH.

VIII.4.1. Pluie annuelle

Après l'analyse détaillée des observations (ajustement à une loi normale des pluies annuelles de la région)

Tableau VIII.1 Pluie annuelles

Période de retour	Pluie Annuelle (mm)					
	5	10	20	50	100	200
Fréquence	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.995
Sidi aich	615	673.7	722.2	776.8	813.2	845.5
Béjaia	1123.8	1213.5	1287.5	1370.8	1426.4	1477.2
Tazmalt	481.7	531.3	572.3	618.4	649.1	677.2
Ighil Ali	540.8	591.3	633	679.9	711.2	739.8

VIII.5. Bassin versant :

D'après l'ANRH, nous avons un grand bassin versant qui est Oued Soummam qui traverse notre tracé tout en trouvant sa source hors de notre tronçon

VIII.5.1- Débit max du Bassin versant de Oued Soummam :

Dans la région de notre tronçon il existe une station hydrométrique au niveau de SIDI Aich (code 150501) qui sera très représentative pour le passage de la voie ferrée par Oued Soummam



Figure VIII.1. Oued Soummam représenté par un des logiciels BIM

VIII.6. Hydraulique

L'étude hydrologique comprend la délimitation des différents bassins versants interceptés ainsi que toutes leurs caractéristiques physiques qui seront directement utilisées pour l'analyse des écoulements

Par ailleurs, cette dernière inclue également l'étude statistique des données pluviométrique disponible pour la zone d'étude.

VIII.6.1. Données pluviométrique

Dans la région traversée par le tracé et d'après les observations effectuées sur la station météorologiques, nous avons :

Tableau VIII.2. Donnée pluviométrique

Pjmoy(mm)	69.7			Pluie journalière moy
Cv	0.36			Coef de variation
B	0.44			Exposant climatique
U(10/50/100 ans)	1.28	2.057	2.327	Variable de Gauss

VIII.6.2. Calcul des précipitations maximales journalières de fréquence donnée PJ(%) :

Le calcul de la précipitation P_j (%) est obtenu par la formule suivante :

$$P_j(\%) = \frac{P_{jmoy}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} e^{u \cdot \sqrt{\ln(Cv^2 + 1)}}$$

La pluie à prendre en référence est celle correspondante à un temps « t » en minute ainsi qu'une période de retour de 10 50 et 100 ans

VIII.6.3. Calcul de la fréquence d'averse :

Pour obtenir une estimation de la quantité de pluie maximale en 24 heures il faut multiplier la valeur journalière par un coefficient de majoration

Si on ne dispose pas d'autres indications, on utilisera la valeur proposée par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) de 1,13

$$P(t) = 1.13 \cdot P_j\% \cdot \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

- P : Pluie journalière maximale annuelle.
- b : Exposant de climatique.
- T_c : Temps de concentration (heure)

VIII.6.4. Calcul de l'intensité horaire moyenne :

$$I(t) = \frac{P(t)}{T_c}$$

- I : Intensité de la pluie (mm/h).
- T_c : Temps de concentration (h).
- $P(t)$: Hauteur de la pluie de durée T_c , (mm).

VIII.6.5. Caractéristique des bassins versants :

Les bassins versants sont des ensembles hydrologiquement fermé c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre à partir de l'extérieur, il possède plusieurs caractéristiques qui consistent à calculer les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante

VIII.6.5.1. Caractéristique géométrique

1-Surface (A) : c'est l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, La délimitation de ses contours est effectuée sur la base des cartes topographiques

Les surfaces sont calculées en utilisant le logiciel Civil 3D

Dans notre projet, les surfaces des bassins versants oscillent entre 0,11 km² et 6.9km² environ.

2- périmètre P : est la longueur de la ligne de contour du bassin.

3-Longueur du talweg principal (L): c'est la longueur du cours d'eau principal du bassin versant.

VIII.6.5.2. Caractéristique Topographique

-L'altitude maximale (H_{max}) : elle est obtenue directement à partir des cartes topographiques, elle représente la hauteur du point le plus élevé du bassin versant.

-L'altitude de la section intéressée (H_{min}) : Elle est obtenue directement à partir des cartes topographiques, elle représente la hauteur du point d'intersection entre le talweg principal et notre tracé.

-Altitude moyenne du bassin : H_{moy} (m) : L'altitude moyenne est évaluée en faisant la moyenne entre la côte de pointe du flanc de coteaux et la côte minimale de la vallée.

H_{min} : altitude minimale. et $H_{moy} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$

H_{max} : altitude maximale.

-Pente moyenne du talweg principal (p) : C'est une caractéristique importante qui renseigne sur La topographie du bassin, elle donne une bonne indication sur le temps de parcours des écoulements d'eau (le temps de concentration)

Elle influence directement le débit de crue lors d'une averse elle peut être approximée avec le rapport $\frac{H_{max} - H_{min}}{L}$

Pour la délimitation des bassins versants et la détermination de leurs surfaces on a utilisé un SIG (système d'information géographique) qui est le Global mapper V 20.0.

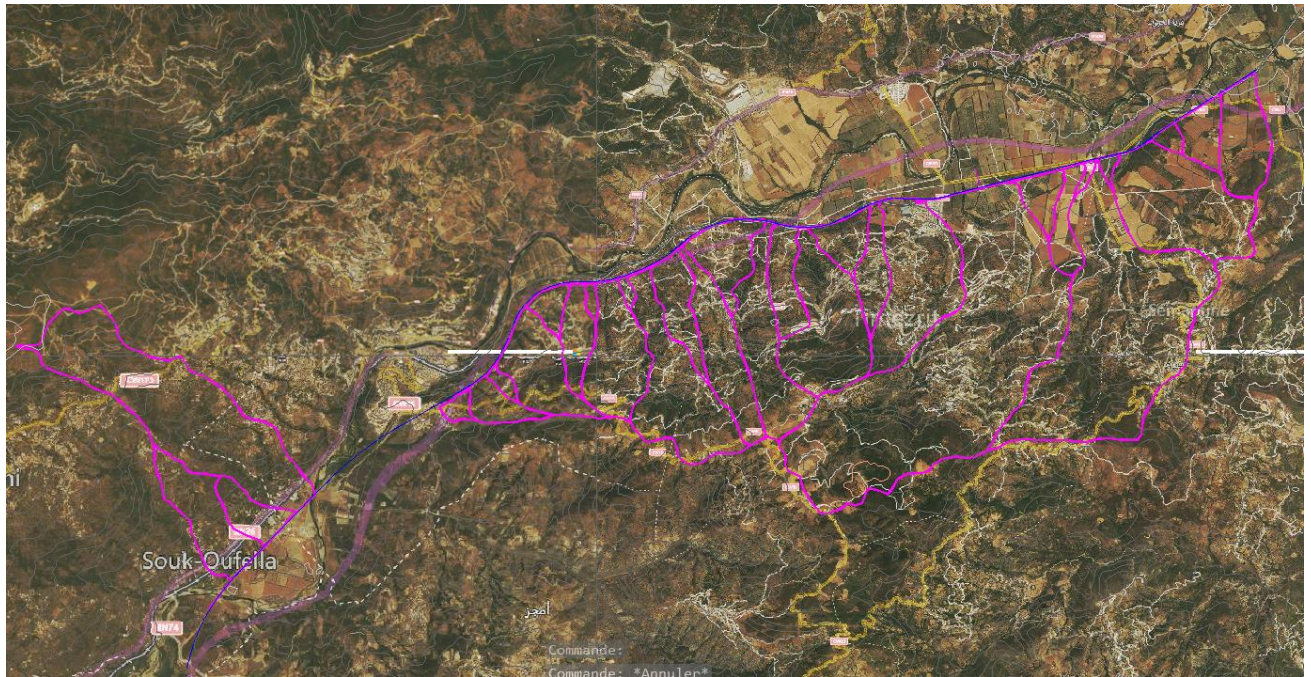


Figure VIII.2.carte représentant les bassins versant de notre Zone

VIII.6.5.3.Calcul :

Les caractéristiques cités doivent être calculés pour chaque Oued qui traverse la voie ferrée, les pk servent de points de repérage pour le passage d'un tronçon de la voie sur un oued.

La délimitation des bassins versants est faite à partir de leurs intersections

.Les caractéristiques des différents paramètres des bassins versants traversant la nouvelle voie Beni Mansour-Béjaia du PK40 au PK60 sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VIII.3.Caractéristique des bassins versants :

N du BV	PK	S(km ²)	L(m)	Hmax	Hmin	Hmoy	H(m)(dS)	I(m/m)
1	40+067	1,295	475	237	107	172	130	0,2737
2	43+257	0,183	5617	1113	100	607	1013	0,1803
3	43+480	0,115	788	242	100	171	142	0,1802
4	43+747	4,839	1029	270	99	185	171	0,1662
5	45+749	0,094	569	281	150	216	131	0,2302
6	45+980	0,249	548	300	134	217	166	0,3029
7	48+511	0,068	1938	575	89	332	486	0,2508
8	48+906	0,085	667	241	97	169	144	0,2159
9	49+012	0,629	352	170	89	130	81	0,2301
10	49+166	0,077	2276	679	81	380	598	0,2627
11	49+335	0,014	577	193	88	141	105	0,1820
12	49+482	1,540	3645	960	94	527	866	0,2376
13	50+388	0,077	3403	975	90	533	885	0,2601
14	50+520	2,326	277	118	90	104	28	0,1011
15	51+011	1,425	1490	380	81	231	299	0,2007
16	51+101	0,028	1233	170	81	126	89	0,0722
17	51+222	0,087	336	123	79	101	44	0,1310
18	51+559	1,739	304	126	70	98	56	0,1842
19	51+863	0,748	3598	1033	81	557	952	0,2646
20	52+299	2,283	1782	590	75	333	515	0,2890
21	52+386	0,143	2707	930	78	504	852	0,3147
22	53+016	0,014	920	322	69	196	253	0,2750

23	53+084	0,116	243	147	68	108	79	0,3251
24	53+326	0,648	574	230	67	149	163	0,2840
25	53+644	0,042	2127	720	72	396	648	0,3047
26	53+895	2,481	306	118	64	91	54	0,1765
27	54+154	10,026	3688	908	65	487	843	0,2286
28	55+150	0,438	7681	1100	63	582	1037	0,1350
29	56+534	0,527	1131	122	55	89	67	0,0592
30	56+656	0,066	2029	261	55	158	206	0,1015
31	56+924	6,923	614	75	57	66	18	0,0293
32	57+112	0,088	5404	900	59	480	841	0,1556

Avec :

S (km²) : Surface (km²) ; **L (km)** : Longueur du cours d'eau principal; **H_{max}(m)** : Altitude max
H_{min}(m) : Altitude min; **H_{moy}(m)** : Altitude moyenne; **I** = pente du lit (m/m) ;**H(m)** : dénivelée spécifique

VIII.7.Calcul hydraulique

VIII.7.1. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

Pour estimer les débits de crue des différents bassins versant obtenus par délimitation, on utilise plusieurs méthodes qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants afin d'évaluer le débit maximal des bassins versants, on a utilisé les formules suivantes :

- **Formule rationnelle** : (A <50 km²) :

$$Q_{max} = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Tel que :

Q_{MAX} : débit maximal de la crue de période de retour voulue (m³/s).

C : coefficient de ruissellement.

I : intensité de pluie (mm /h) pour le temps de concentration du BV et la récurrence souhaitée.

A : la surface du bassin versant (km²).

VIII.7.2. Calcul des temps de concentration

Il est très important de connaître le temps de concentration, c'est la période pendant laquelle le bassin versant se déversera le plus durant une crue, et son calcul est requis pour avoir le débit

Pour calculer les Tc des bassins versants nous avons utilisé les 3 formules réglementaires pour ensuite contrasté les résultats obtenus avec chacun d'eux

-Formule de Ventura : (A < 5 Km²)

$$T_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

- T_c = temps de concentration (heur), où $T_c \geq 5$ minutes, pour le drainage en travers.
- A = aire du bassin (km²).
- L = longueur du talweg (km).
- h = différence de cotes entre le point le plus éloigné du bassin et la section de référence (m).

-Formule de Passini : (5Km²<A<25Km²)

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{I}}$$

- T_c = temps de concentration (heures) ; - L = longueur du talweg (km).
- I = pente du lit (m/m) ; - A = aire du bassin (km²).

-Formule de Giandotti : (A > 25 Km²)

$$T_c = 1,25 \cdot \frac{(1.5L + 4 \cdot \sqrt{A})}{\sqrt{h}}$$

- T_c = temps de concentration (heures) ;
- A = aire du bassin (km²) ;
- L = longueur du talweg (km) ;
- h = différence de cotes entre le point le plus éloigné du bassin et la section de référence (m).

VIII.7.3.Le coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité totale des eaux courantes, il dépend de :

- La nature du sol.
- L'état de végétalisation sur la terre écoulee.
- La pente P de l'isohypse

Tableau VIII.4.Désignation des coef de ruissellement par zone

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

Nous avons majoritairement des argiles limoneuses ou des limons argileux sur la majorité des PK, des argiles seules apparaissent pourtant sur les PK (57+500, 42+600)

VIII.8.Application au projet :

VIII.8.1.Première application

Nous utiliserons ici la formule rationnelle, prenons en compte le bassin versant numéro 13

$S=1.5\text{km}^2 < 10\text{km}^2$ nous appliquons donc la formule rationnelle

Nous avons :

$S=1.5\text{km}^2$, $L=3645\text{m}$, et $I=0.2376$ (m/m)

-Calcul du temps de concentration T_c :

Nous avons un $S < 5\text{km}^2$ nous utilisons donc la formule de VENTURA

$$T_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{I}} = 0.1272 \sqrt{\frac{1.5}{0.2376}} = 0.32h.$$

-Calcul de l'intensité horaire moyenne (T_c 100ans)

$$P(t) = 1.13 \cdot P_j \% \cdot \left(\frac{t}{24}\right)^b = 1.13 \times 69.7 \times \left(\frac{0.32}{24}\right)^{0.44} = 11.783 \text{ (mm)}$$

$$I(t) = \frac{P(t)}{T_c} = \frac{11.783\text{mm}}{0.32h} = 36.824 \text{ mm/h.}$$

-Coef de ruissellement :

Nous avons les caractéristique suivante :

- (1) Couverture : pâturage
- (2) $0 < \text{pente} = 10 < 26.01 \% < 30 \rightarrow$ Montagne.
- (3) Argile Limon.

Nous avons donc un coef de ruissellement de 0.42

-Calcul du de débit maximal dans les bassins Q_{100}

Formule rationnelle :

$$Q_{100} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.42 \times 36.824 \times 1.5}{3.6} = 6.4442 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Tableau VIII .5. des débits de crue décennaux et centennaux

B V	PK	TC	C	Période de retour 10ans				Période de retour 100ans			
				Pjmax(m m)	Pt(m m)	I(mm/ h)	Qmax(m [^] 3/s)	Pjmax(m m)	Pt(m m)	I(mm/ h)	Qmax(m [^] 3/s)
1	40+0 67	0,27 5	0,4 2	102,5	16,18	59,12	8,94	147,8	23,32	85,21	12,88
2	43+2 57	0,12 8	0,6	102,5	13,47	74,68	2,29	147,8	19,41	107,63	3,29
3	43+4 80	0,10 1	0,4 2	102,5	13,46	74,71	1,00	147,8	19,40	107,68	1,44
4	43+7 47	0,68 3	0,4 2	102,5	12,99	78,18	44,17	147,8	18,72	112,67	63,66
5	45+7 49	0,08 1	0,4 2	102,5	15,00	65,13	0,71	147,8	21,61	93,87	1,03
6	45+9 80	0,11 5	0,4 2	102,5	16,92	55,86	1,63	147,8	24,39	80,50	2,34
7	48+6 11	0,06 6	0,4 2	102,5	15,57	62,09	0,50	147,8	22,44	89,48	0,72
8	48+9 06	0,07 9	0,4 2	102,5	14,58	67,52	0,67	147,8	21,01	97,31	0,97
9	49+0 12	0,20 9	0,4 2	102,5	14,99	65,15	4,79	147,8	21,61	93,90	6,90
10	49+1 66	0,06 9	0,4 2	102,5	15,89	60,49	0,55	147,8	22,91	87,18	0,79
11	49+3 35	0,03 5	0,4 2	102,5	13,52	74,30	0,12	147,8	19,49	107,09	0,17
12	49+4 82	0,32 2	0,4 2	102,5	15,20	64,00	11,51	147,8	21,91	92,23	16,58
13	50+3 88	0,06 9	0,4 2	102,5	15,82	60,84	0,55	147,8	22,80	87,68	0,79
14	50+6 20	0,60 7	0,4 2	102,5	10,44	103,27	28,05	147,8	15,05	148,84	40,42
15	51+0 11	0,33 7	0,4 2	102,5	14,12	70,34	11,70	147,8	20,34	101,38	16,87
16	51+1 01	0,07 9	0,3 6	102,5	9,00	124,71	0,35	147,8	12,97	179,73	0,51
17	51+2 22	0,10 3	0,4 2	102,5	11,70	89,34	0,91	147,8	16,86	128,75	1,30
18	51+6 59	0,38 9	0,4 2	102,5	13,59	73,80	14,99	147,8	19,59	106,36	21,60
19	51+8 63	0,21 3	0,4 2	102,5	15,94	60,25	5,26	147,8	22,98	86,84	7,59
20	52+2 99	0,35 5	0,4 2	102,5	16,57	57,35	15,28	147,8	23,89	82,65	22,03
21	52+3 86	0,08 5	0,4 2	102,5	17,21	54,67	0,91	147,8	24,80	78,79	1,32
22	53+0 16	0,02 9	0,4 2	102,5	16,22	58,96	0,10	147,8	23,37	84,98	0,14
23	53+0 84	0,07 6	0,4 2	102,5	17,45	53,69	0,73	147,8	25,16	77,38	1,05
24	53+3 26	0,19 1	0,4 2	102,5	16,45	57,91	4,38	147,8	23,70	83,47	6,31
25	53+6 44	0,04 7	0,4 2	102,5	16,96	55,68	0,27	147,8	24,45	80,24	0,39
26	53+8 95	0,47 4	0,4 2	102,5	13,34	75,59	21,89	147,8	19,23	108,95	31,55
27	54+1 54	0,75 3	0,4 2	102,5	14,95	65,40	76,56	147,8	21,54	94,25	110,34

28	55+1 50	0,22 8	0,6	102,5	11,86	87,82	6,41	147,8	17,09	126,57	9,24
29	56+5 34	0,37 7	0,3 6	102,5	8,25	139,30	7,34	147,8	11,89	200,76	10,58
30	56+6 56	0,10 2	0,4 2	102,5	10,46	103,02	0,80	147,8	15,07	148,48	1,15
31	56+9 24	1,02 2	0,3	102,5	6,06	206,55	119,25	147,8	8,73	297,69	171,87
32	57+1 12	0,09 5	0,6	102,5	12,62	81,11	1,19	147,8	18,19	116,89	1,71

VIII.9. Etude d'Assainissement :

VIII.9.1.Introduction :

Afin d'établir un système opérationnel d'évacuation des eaux assurant la stabilité de l'infrastructure, une étude doit être faite

Ce système doit assurer le captage des eaux zénithales ainsi que celles de nappes phréatiques, l'assainissement des plateformes ferroviaires comprendra :

- Les ouvrages de collecte longitudinale.
- Les ouvrages transversaux.
- Les ouvrages de raccordement.

VIII.9.2.Les ouvrages transversaux :

Ils permettent le transit, d'un côté à l'autre de la plateforme ferroviaire, des écoulements des Eaux venant des bassins versants.

Ils peuvent être constitués de :

Buses : ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé sur les points bas du terrain, d'un diamètre de 1000 à 2000 mm.

Dalots : ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifié par la largeur (B) et la hauteur (H).

Ponts et viaducs : Les ouvrages d'assainissement transversaux doivent véhiculer des débits de crue centennaux, donc les dimensions retenues pour ces ouvrages sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_{100} < Q_s$$

- Q_{100} : Débit de crue centennial (débit d'apport) en m^3/s .
- Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s .

On pourra utiliser Des buses et des dalots, disposés sous la voie, elles seront prévus principalement pour les oueds.

La taille des dalots a été sélectionnée en fonction du débit d'eau entrant, selon le dimensionnement hydraulique effectué avec la formule de Manning-Strickler :

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

- Q : Débit.
- A : Superficie de section du dalot.
- Ks : Coefficient de rugosité Strickler.
- Rh : Rayon hydraulique ; $R_h = S_m/P_m$ = Section mouillée /Périmètre mouillé
- I : Pente de pose de l'ouvrage (m/m).

Tableau VIII.6.Valeur de KS selon SETRA

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

VIII.9.3.Critère de dimensionnement à respecter :

Pour le dimensionnement des différents ouvrages les critères suivants ont été tenus en compte

-L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit de crue correspondant.

-Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluvial). $H > h$ critique tel que

$$h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q_a}{g \times b^2}}$$
 pour assurer un écoulement fluvial.

-La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale $I = 1\%$) pour éviter des vitesses trop élevées.

-La hauteur d'eau correspondante à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage).

-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) :

- 1ere condition : pour $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.1$ il faut $V_{écoulement} > 0.6$ m/s.
- 2ème condition : pour $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.01$ il faut $V_{écoulement} > 0.3$ m/s.

-Coefficient de rugosité Strickler **Ks = 70** (correspond au béton grossier avec coffrage bois).

-Forme de construction : Profil circulaire et rectangulaire.

Ce pré dimensionnement est vérifié par la suite en calculant Le débit de saturation (QS) des ouvrages transversaux par l'utilisation de la formule de « Manning Strickler » sur un écoulement à surface libre en régime uniforme :

$$Q_s = V S_m$$

- V = Vitesse d'écoulement d'eau (m/s).

- S_m = Section mouillée de l'ouvrage (m^2).

Pour les dalots, la section et le périmètre mouillés sont calculés pour une hauteur de remplissage égale à : $H_r = H - 0.5$.

Tableau VIII.7. Pré dimensionnement des ouvrages d'assainissement transversaux

Débit de crue Q_{100} (m^3/s)	Ouvrage type	Dimensions retenues (m)
$Q_{100} < 7$	Buse (circulaire)	Diamètre $1 \leq \phi \leq 2$
$7 \leq Q_{100} < 15$	Dalot Type 2 (rectangulaire)	$B / H = 2,5 / 2,5$
$15 \leq Q_{100} < 25$	Dalot Type 3 (rectangulaire)	$B / H = 3 / 3$
$25 \leq Q_{100} < 35$	Dalot Type 4 (rectangulaire)	$B / H = 4 / 3$
$35 \leq Q_{100} < 40$	Dalot Type 5 (rectangulaire)	$B / H = 5 / 3,5$
$40 \leq Q_{100}$	Pont et viaduc	

Nous exprimerons les différents ouvrages de notre tracée dans le tableau suivants :

Tableau VIII .8. Pré dimensionnement des ouvrages d'assainissement de notre tronçon

N BV	Q_{max}	Pré dimensionnement ouvrage
1	12,88	Dalot Type 2
2	3,29	Buse circulaire
3	1,44	Buse circulaire
4	63,66	Ouvrage d'art
5	1,03	Buse circulaire
6	2,34	Buse circulaire
7	0,72	Buse circulaire
8	0,97	Buse circulaire
9	6,90	Buse circulaire
10	0,79	Buse circulaire
11	0,17	Buse circulaire
12	16,58	Dalot type4
13	0,79	Buse circulaire
14	40,42	Ouvrage d'art
15	16,87	Dalot type4
16	0,51	Buse circulaire
17	1,30	Buse circulaire
18	21,60	Dalot type3
19	7,59	Dalot Type 2
20	22,03	Dalot type3
21	1,32	Buse circulaire
22	0,14	Buse circulaire
23	1,05	Buse circulaire
24	6,31	Buse circulaire
25	0,39	Buse circulaire
26	31,55	Dalot Type 5
27	110,34	Ouvrage d'art
28	9,24	Dalot Type 2
29	10,58	Dalot Type 2
30	1,15	Buse circulaire
31	171,87	Ouvrage d'art
32	1,71	Buse circulaire

VIII.9.4. Application au projet :

-Dimensionnement d'un dalot :

Ce sont des ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifiés par la largeur (B) et la hauteur (H)

Dans notre projet, les dalots sont en béton, le k_s est donc de 70

Nous avons les caractéristiques suivantes :

-La hauteur de remplissage $H_r = 0.75 H$

- $K_s = 70$ et $I=1\%$

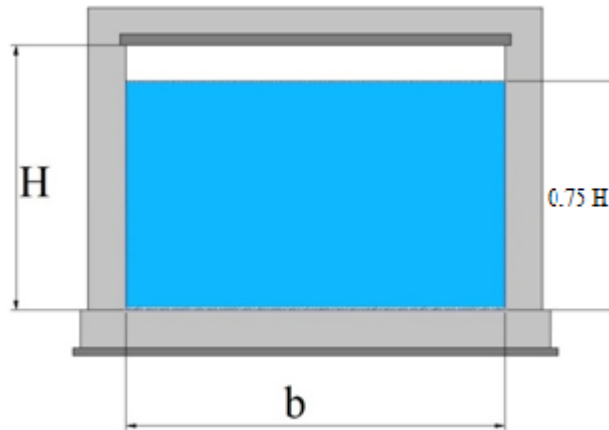


Figure VIII .2. Schéma d'un dalot

Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

B : largeur nette du cadre (m).

H : hauteur nette (m).

$0.75H$: hauteur de remplissage (m).

Et le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

On utilisant la formule de Manning –Strickler :

$$Q_s = K_s \cdot S_m \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \rightarrow Q_s = K_s \times (0.75 \times H \times b) \times \left(\frac{0.75 \times H \times b}{1.5H+b}\right)^{2/3} \times (I)^{1/2}$$

$$Q_s = K_s \times (0.75 \times H \times b)^{5/3} \times \frac{1}{(1.5 \times H + b)^{1/2}} \times (I)^{1/2} \rightarrow K_s (0.75 \times H \times b)^{5/3} \times (I)^{1/2} = Q_s \times (1.5 \times H + b)^{2/3}$$

$$(0.75 \times H \times b)^{5/3} = \frac{Q_s}{(1.5 \times H + b)^{2/3}} (1.5 \times H + b)^{2/3}$$

$$H = \frac{1}{0.75B} \left(\frac{Q_s}{K_s \times (I)^{1/2}} \right)^{3/5} (1.5 \times H + b)^{2/5} = H_0 \times \frac{(1.5 \times H + b)^{2/5}}{0.75b}$$

$$\text{Avec : } [H_0 = \left(\frac{Q_s}{K_s \times (I)^{1/2}} \right)^{3/5}]$$

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

-Application numérique :

Tenant compte le bassin versant N° 18 :

- PK 51+659 ;
- Surface = 1.739 km²,
- Débit Q=21.60 m³/s,
- Pente I = 1%,
- Coefficient de rugosité Strickler Ks =70.
- H₀ = 1.97.

Après le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (dalot) sont :

$$H=1.63 \text{ et } B=3$$

On fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long et on calcul la travée nécessaire en fixant la hauteur de remplissage à H=0.75h.

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

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{6.75}{10.5} = 0.643$$

$$Q_s = 6.75 \times 70 \times (0.643)^{2/3} \times (0.01)^{1/2} = 35.19 \left(\frac{m^3}{s}\right).$$

$$Q_{100}=21.6 < Q_s = 35.19 : \text{Vérfié.}$$

Nous devons ensuite vérifier certaines conditions

1-Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_s}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{35.19}{9.8 \times 3^2}} = 0.7361 \text{ m} < H = 1.2 \text{ m} \rightarrow \text{La condition est vérifiée.}$$

2-Vérification de la condition d'auto curage

1^{ère} condition :

Pour $Q_{100}/Q_{ps} = R_q = 0.1$ il faut que $V_{écoulement} > 0.6 \text{ m/s}$.

$$R_q = 0.1 \rightarrow R_v = 0.65 = V / V_{ps} \rightarrow V = 0.65 \times 7 = 4.55 \text{ m/s.}$$

$$V = 4.5 \text{ m/s} > 0.6 \text{ m/s} \rightarrow \text{la condition est vérifiée.}$$

2^{ème} condition :

Pour $Q_{100} / Q_{ps} = R_q = 0.01$ il faut $V_{écoulement} > 0.3 \text{ m/s}$

$$R_q = 0.01 \rightarrow R_v = 0.315 = V / V_{ps} \rightarrow V = 0.315 \times 7 = 2.21 \text{ m/s.}$$

$$V = 2.21 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s} \rightarrow \text{la condition est vérifiée.}$$

Nous devons vérifier hydrauliquement chaque ouvrage transversal :

Tableau VIII.8.Vérification hydraulique des ouvrages transversaux

NBV	PK	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Ouvrages prévus	∅ (m)	B (m)	H (m)	Pm (m)	Sm (m ²)	Rh (m)	Kst	I (m/m)	V (m/s)	Q _s (m ³ /s)	Q ₁₀₀ <Q _s
1	40+067	12,88	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6,25	4,69	0,750	70	0,01	3,87	5,78	Acceptable
2	43+257	3,29	Buse circulaire	1.5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	2,02	4,13	Vérifié
3	43+480	1,44	Buse circulaire	1.5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	1.65	5.87	Acceptable
4	43+747	63,66	Ouvrage d'art	-	-	-	0,00	0,00	-					Vérifié
5	45+749	1,03	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,51	3,15	Vérifié
6	45+980	2,34	Buse circulaire	1.5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	1,86	4,13	Vérifié
7	48+611	0,72	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,38	3,15	Vérifié
8	48+906	0,97	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,49	3,15	Vérifié
9	49+012	6,90	Buse circulaire	2	-	-	4,19	2,53	0,603	70	0,01	2,43	5,00	Acceptable
10	49+166	0,79	Buse circulaire	1,5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	1,41	4,13	Vérifié
11	49+335	0,17	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	0,97	3,15	Vérifié
12	49+482	16,58	Dalot type4		4	3	10,50	6,75	0,643	70	0,01	3,08	5,21	Acceptable
13	50+388	0,79	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,42	3,15	Vérifié
14	50+620	40,42	Ouvrage d'art	-	-	-			-					Vérifié
15	51+011	16,87	Dalot type4	1,5	4	3	10,50	6,75	0,643	70	0,01	3,83	5,21	Acceptable
16	51+101	0,51	Buse circulaire	1,5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	1,27	4,13	Vérifié
17	51+222	1,30	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,61	3,15	Vérifié
18	51+659	21,60	Dalot type3	-	3	3	10,50	6,75	0,643	70	0,01	4,42	5,21	Vérifié
19	51+863	7,59	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6,25	4,69	0,750	70	0,01	3,33	5,78	Vérifié
20	52+299	22,03	Dalot type3	-	3	3	10,50	6,75	0,643	70	0,01	3,67	5,21	Vérifié
21	52+386	1,32	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,61	3,15	Vérifié
22	53+016	0,14	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	0,92	3,15	Vérifié
23	53+084	1,05	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,52	3,15	Vérifié
24	53+326	6,31	Buse circulaire	1,5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	2,38	4,13	Vérifié
25	53+644	0,39	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,19	3,15	Vérifié
26	53+895	31,55	Dalot Type 5	-	5	3,5	13,13	10,25	0,781	70	0,01	3,51	5,94	Acceptable
27	54+154	110,34	Ouvrage d'art	-	-	-			-					Vérifié

28	55+150	9,24	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6,25	4,69	0,750	70	0,01	3,52	5,78	Acceptable
29	56+534	10,58	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6,25	4,69	0,750	70	0,01	3,68	5,78	Acceptable
30	56+656	1,15	Buse circulaire	1	-	-	2,09	0,63	0,302	70	0,01	1,56	3,15	Vérifié
31	56+924	171,87	Ouvrage d'art	-	-	-			-					Vérifié
32	57+112	1,71	Buse circulaire	1.5	-	-	3,14	1,42	0,453	70	0,01	1,72	4,13	Vérifié

VIII.10.Ouvrage longitudinal

Ils ont pour but de recevoir et de drainer les eaux de pluie qui s'écoulent sur la plate-forme ferroviaire et les talus ainsi que les eaux interne (eaux infiltrées dans les structures d'assise ou nappe phréatique) afin de garantir la pérennité de la voie.

Des principes sont à respecter pour dimensionner ces ouvrages :

- Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme.
- L'écoulement des eaux du drainage longitudinal se fera toujours par gravité
- Dans les zones de déblai de grande hauteur, en vertu de l'inclinaison du terrain adjacent, des fossés de crête permettant d'éviter l'érosion des talus et l'accès des eaux de surface à la plate-forme.
- Lorsqu'un ouvrage d'assainissement déverse des débits dans un lieu où l'on constate le phénomène d'érosion du terrain par l'action des eaux, ce lieu devra être protégé au moyen d'un dissipateur d'énergie.

VIII.10.1.Dimensionnement des fossés

Les fossés sont des ouvrages linéaires qui véhiculent les eaux de surface drainées avec un écoulement à surface libre aussi bien de l'infrastructure que des bassins versants en interaction avec le projet afin de les acheminer vers un point de rejet (exutoire) hors de l'emprise de la voie ferrée afin de la protéger

Rappel de la formule de Manning Strickler :

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

Avec

La surface mouillée : $S_m = (b + z \cdot h) \cdot h$; z : pente du talus $z = 1/n$.

Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h\sqrt{1 + z^2}$

Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$; avec : z la pente des berges.

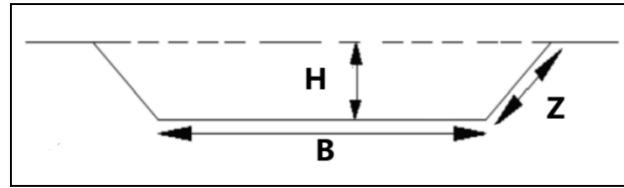


Figure .5 : fosse trapézoïdale.

Le débit de saturation de chaque type de fossée est rapporté dans le tableau suivant

Tableau VIII.9: Calcul des débits de saturation des fossés

B (m ²)	H (m)	Z	S _m (m ²)	P _m (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Q _s (m ³ /s)
0,5	0,6	0.667	0,93	2,92	0,32	50	0,02	3,07
0,7	0,7	0.667	1,82	4,09	0,45	50	0,02	7,53
0,8	0,9	0.667	1,18	2,87	0,41	50	0,02	4,62

Le choix du type de fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus :

Nous avons donc l'équation $Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t$

Le Calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante, chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$Q = 0.278. C. I. A$$

Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m³/s).

C : Coefficient de ruissellement

I : Intensité de pluie (mm/h).

A : Surface du bassin versant considéré : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²).

Tel que :

Le temps de concentration du bassin versant considéré est calculé à l'aide de la formule de **Ventura** :

$$T_c = 240 \left(\frac{A.L}{h} \right)^{0.5}$$

T_c = temps de concentration (heures)

A = aire du bassin (km²)

L = longueur du talweg (km)

I = pente du lit (m/m).

VIII.10.2.Application au projet :

En utilisant le document SETRA nous calculerons le fossé dans le cas le plus défavorable :

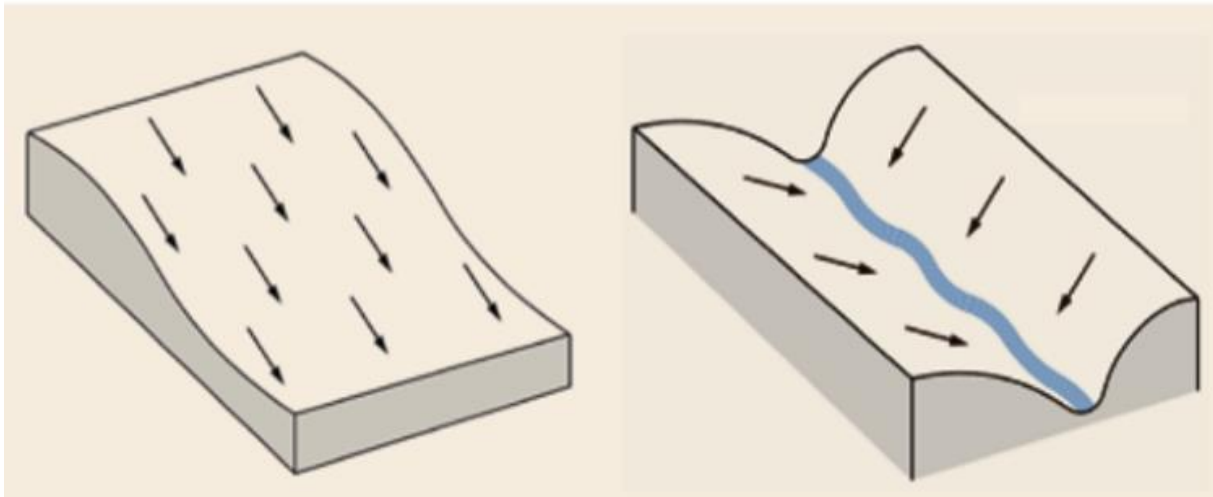


Figure VIII.6.Ecoulement concentré dans un fossée (document SETRA)

Nous utiliserons les formules suivantes :

$$V = 1.4 \cdot P^{\frac{1}{2}} \text{ avec } V \text{ en } \frac{m}{s} \text{ et } P \text{ en } \frac{m}{m}$$

La valeur du temps de concentration est approximative, elle dépend des précipitations et de la morphologie du bassin versant, et les vitesses qui vont être calculés seront faites à partir du Tc

Nous représentons dans le tableau suivant les TC ainsi que les débits calculés à partir des plus grand talus présent dans notre tronçon :

Tableau VIII.10.Tc et débits des deux plus grand talus :

PK	S m ²	P (m/m)	V	L (m)	Tc (h)	P(t) (mm)	I (mm/s)	Qmax (m ³ /s)	Qmax (l/s)
56+575-57+825	10365,8	0,66667	0,860639	146,54	0,04730	7,474	158,018	0,410	409,826
51+825-52+925	9754,93	0,6667	0,860686	147,54	0,04762	7,496	157,422	0,384	384,218

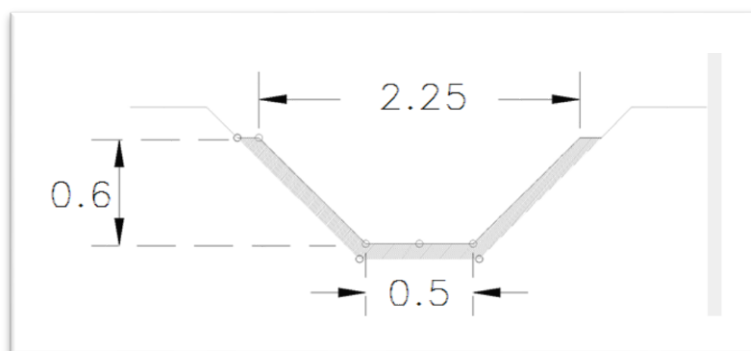


Figure VIII.3.Schéma du fossé adopté pour notre projet

C'est le modèle de fossé retenu pour notre projet, ses caractéristiques vérifiant les exigences de débits des talus

VIII.11.Calcul hydraulique des ponts

Dans cette partie, on va présenter un calcul approximatif de gabarit nécessaire (section mouillée minimale à respecter) pour faire passer le débit voulu sachant que le débit de vérification est de 1.5 fois le débit donné par l'étude hydrologique (guide SETRA 2006)

Notre projet ayant une topographie très accidenté, le gabarit des ouvrages est donc assez haut, l'application au projet du cas le plus défavorable sera donc fait :

Le calcul se fait par l'équation de Manning-Strickler :

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

VIII.11.1.Application au projet

Nous étudierons la section hydraulique du viaduc Oued Soummam au PK50+141.988 d'une longueur de 340m

L'ouvrage possède 9 travées de longueur de 40 m pour les travées intermédiaires

Nous calculons le débit de saturation jusqu'à la moitié du gabarit de l'ouvrage

Le ks des ouvrages d'art est généralement de 0.25

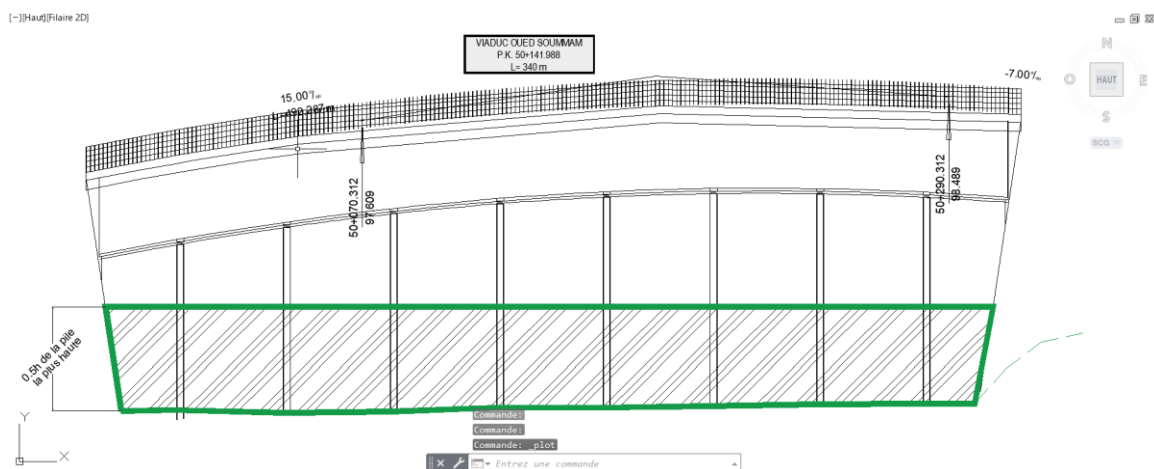


Figure VIII.3.Périmètre mouillé du viaduc étudié.

Ci-dessous, un tableau regroupant les caractéristiques hydrauliques de notre viaduc (calculé par AUTOCAD)

Tableau VIII.11.Caractéristique hydraulique de notre viaduc

Ouvrage	Surface mouillée S_m (m ²)	Périmètre P_m m	Rayon hydraulique R_h	K (coef de manning)	Pente (mpm)
Pont PK 50+141.989	1120.8	333.96	3.36	25	0.06

Le résultat nous donne, en utilisant l'équation Manning strickler :

$Q_s=15386 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit est beaucoup trop élevé, notre viaduc permettra très très largement à l'eau du bassin versant de passer.

VIII.12.Conclusion :

L'étude hydraulique est une étape capitale dans l'étude d'un projet ferroviaire, le tracé possédant une topographie particulièrement complexe, ajoutant à cela Oued Soumam qui longe complètement notre tracé, nous avons un nombre record de bassin versant, il aura fallu dimensionner plusieurs ouvrages hydrauliques afin de sécuriser la zone sur le plan assainissement.

Chapitre IX

Profil en travers

IX.1.Introduction

Le profil en travers Correspond à une coupe verticale perpendiculaire à l'axe en plan de la nouvelle voie, c'est le seul schéma nous montrant les dévers relié à la voie, il permet notamment de visualiser :

- Les différentes couches constituant l'assise ferroviaire
- les gabarits, entraxes et clôtures
- Les dispositifs hydrauliques et les équipements de signalisation et de télécommunications.

Il peut se schématiser sous deux formes :

IX.1.1Profil en travers type :

C'est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie comme ses dimensions précises, la structure exacte de la couche d'assise, ses composants et les différentes épaisseurs les concernant :

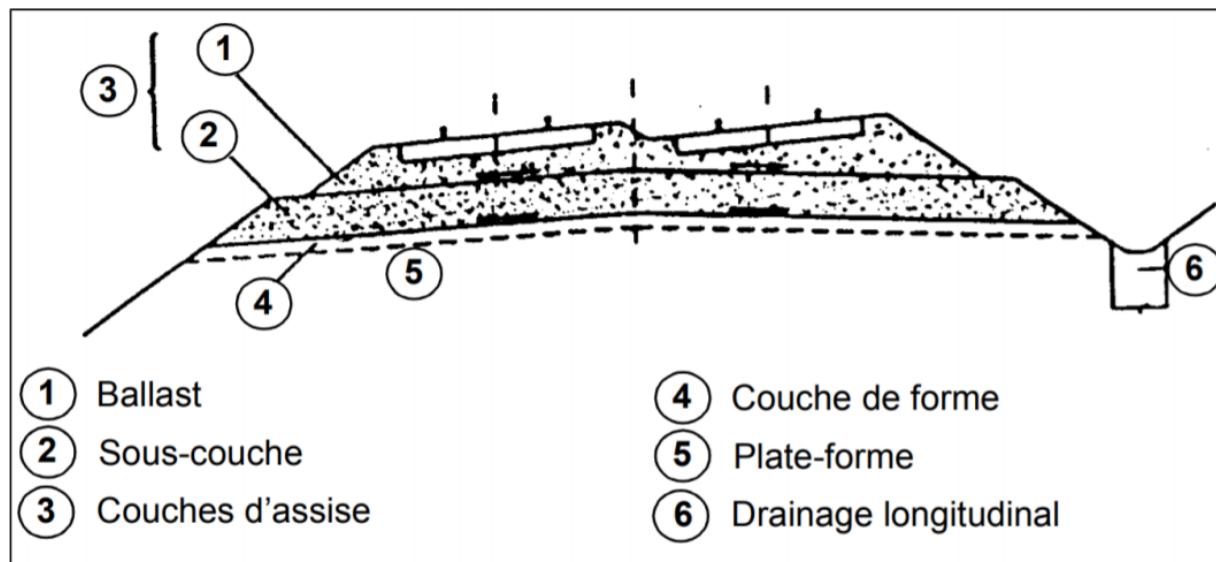


Figure IX .1 Profil en travers type

IX.1.2Profil en travers courant :

C'est un profil qui s'applique au PK indiqué uniquement, il reprend et mentionne la totalité des caractéristiques de la section transversal du PK en question comme :

- côte terrain naturel
- côte de projet
- devers de la plateforme

IX.2. Constituant du profil en travers type

Dans une voie ferrée, un profil en travers type doit schématiser tous les éléments ci-dessous :

Tableau IX.1. Constituant d'un profil en travers type

Elément de superstructure	<ul style="list-style-type: none"> -Le type de rails utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie. -Le type de traverses utilisé. -L'épaisseur de la couche de ballast -La longueur des butées du ballast. -La valeur du devers maximal en courbe -Poteaux caténares et caniveaux à câbles -La pente latérale de la couche de ballast.
Elément d'infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> -Les épaisseurs, les pentes et le nom de chaque couche -La pente latérale de la plateforme
Elément de talus	<ul style="list-style-type: none"> -La pente de chaque talus. -Les ouvrages de consolidation éventuels -Éléments d'assainissement

IX.3. Element du profil en travers

- Emprise : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- Assiette : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- Plate-forme : C'est la partie qui reçoit la voie et le ballast (face supérieure du sous ballast)
- La voie : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- La berme : Support des équipements de signalisations ferroviaires, Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement de ces équipements.
- Le fossé : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

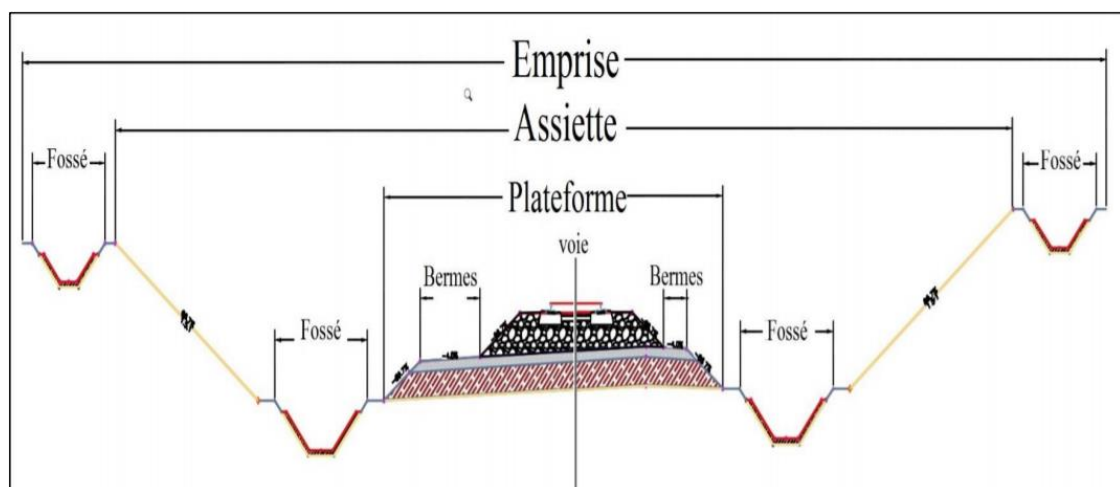


Figure IX.2. Constituant d'un profil en travers

IX.4.Profil type de notre projet :

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

- Type de ligne : double voie mixte électrifié
- Ecartement de la voie de 1435mm
- La double voie repose sur une plateforme de 14.35m de largeur
- La pente latérale de la plateforme est de 5%
- Les talus de déblais 3H/2V et de remblais 2H/1V en pente
- Epaisseur du ballast 30cm
- Epaisseur de la sous-couche 25cm
- l'épaisseur de la couche de forme est de 50cm

Nous présentons donc les profils en travers type sur terrain, Ouvrage d'art, Tunnel et sur gare :

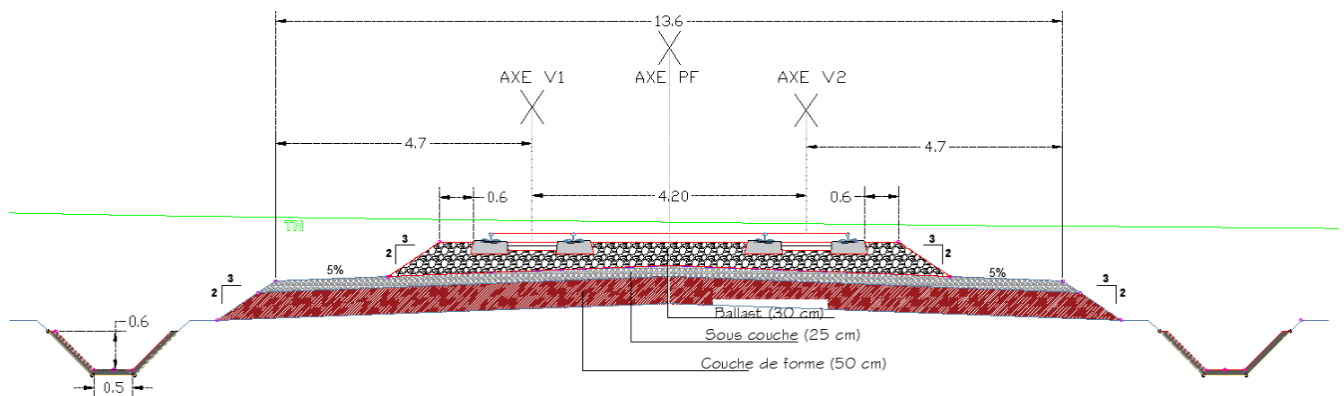


Figure IX .3.Profil en travers type cas remblais déblais

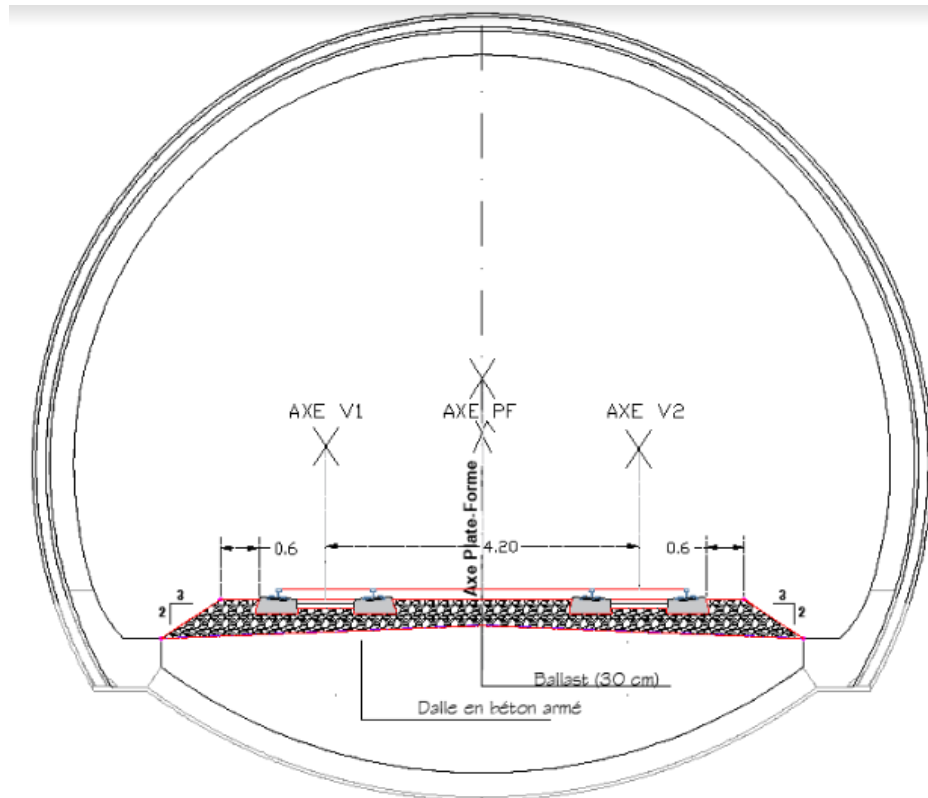
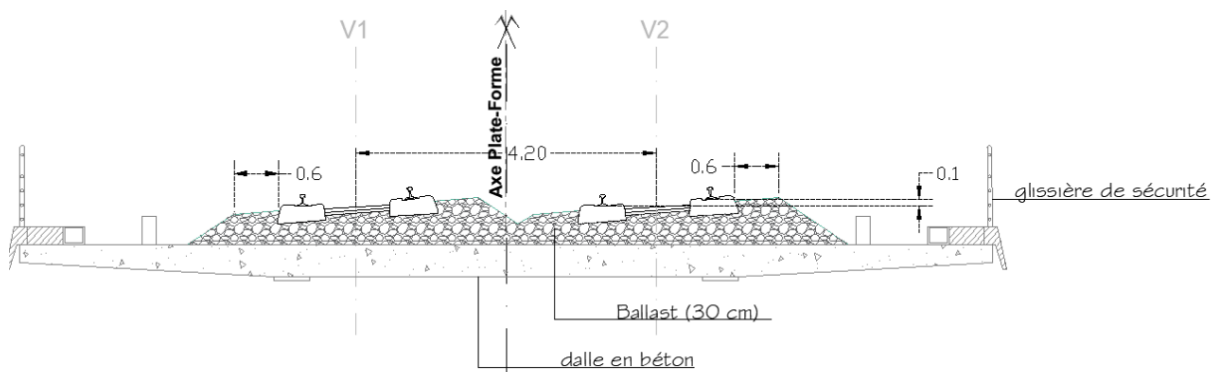
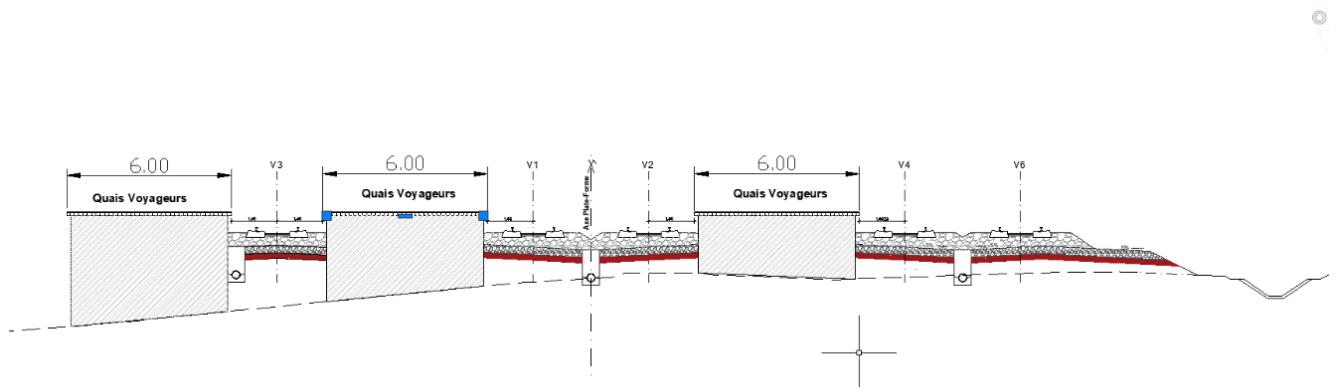


Figure IX.4.Profil en travers type tunnel



Profil IX.5.Profil en travers type Ouvrage d'art



Profil IX.6.Profil en travers type Gare

Chapitre X

Terrassement et ouvrages d'art

X.1.Ouvrage d'art

X.1.1.Introduction

La conception d'un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire ainsi que le franchissement des différents obstacles et infrastructures tout en répondant aux exigences techniques et économiques, il faut donc doter notre tracé d'une série d'ouvrage qui se composent de :

1-Pont rails :

-Pont sur Oued

-Passage inférieur

2-Ponts routiers :

-Passage supérieur

3-Les ouvrages hydrauliques

-Buses et dalots (ces derniers seront détaillés dans le chapitre hydraulique et assainissement)

X.1.2.Les croisement avec la route :

En général, les problèmes de croisements doivent prendre en considération la nature et le débit de la voie et analyser au cas par cas tout type de croisement selon la vitesse maximale, 3 solutions peuvent être envisagées :

X.1.2.1.Passage inférieur :

Cette solution est envisagée si la vitesse de notre train est supérieur à 100km/h et que la topographie et nature de la zone nous le permet



Figure .1.Passage inférieur

X.2.2. Passage supérieur

C'est très rarement envisagé, uniquement dans des cas topographique très spécifique



Figure.2. Passage supérieur

X.2.3. Franchissement d'écoulement d'eau :

X.2.3.1. Pont hydraulique

Ouvrage hydraulique pour franchir les Oued (Oued Soummam dans notre cas la plupart du temps) de grand débit

X.2.4. Tunnel ferroviaire :

Le tracé étant très accidenté et avec certaines zone montagneuse, 3 tunnels devront être construit, le tunnel de takrietz(200m), de Sidi Aich(600m) et celui de el kseur(900m) .

X.3. Application au projet

Le tracé rencontre un grand nombre d'obstacles et infrastructure, pour cela nous avons projeté les ouvrages suivants :

X.3.1. Les ouvrages d'art de notre projet :

Tableau X.1. Les ouvrages d'arts projetés du projet

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage projeté	Le gabarit de l'ouvrage
Colline	PK 40+250	Tunnel de takrietz	9m
Oued Soummam	PK 40+930-41+070	Viaduc ferroviaire	5.5m
infrastructure	PK 41+536	Passage supérieur	7m
Infrastructure	PK 42+518	Passage supérieur	8m
Oued Soummam	PK 44+140	Viaduc ferroviaire	24m
Montagne de sidi Aich	PK 44+690-45+600	Tunnel de Sidi aich	8m
terrain obstacle topo	PK 46+412	Pont ferroviaire	23m
Terrain obstacle topo	PK 47+286	Pont ferroviaire	7.5m

Oued Soummam	PK 50+141	Viaduc ferroviaire	7.8m
Infrastructure	PK 51+146	Passage inférieur	4m
infrastructure	PK 52+586	Passage supérieur	7m
Infrastructure	PK 54+901	Passage supérieur	9m
Infrastructure	PK 55+731	Passage supérieur	5.5m
Montagne d'El Maten	PK 58+169-58+683	Tunnel El Maten	9m

X.4.Terrassement :

X.4.1.Introduction :

Lorsqu'on crée un projet routier et ferroviaire, il est important d'adapter la topographie à nos dimensions, ceci implique une grande quantité de déblais/remblais afin de rendre le terrain adéquat à la construction, cela s'appelle les terrassements.

X.4.2. Déblais :

Tout au long d'un tracé, nous rencontrons forcément des contraintes topographiques et géotechniques d'implantation de la ligne ferroviaire principalement dans Les zones de relief nivelé induisant la nécessité d'exécution de terrassements de petite à moyenne magnitude.

Le tableau ci-dessous montre Les principales zones de déblais le long du tracé :

Tableau X.2.Les différents déblais de notre projet

PK Début	PK fin	PK ou les remblais est le plus haut	H max	Talus (H/V)
			41+400	42+075
47+735	48+020	47+975	19.5	1.5H/1V
48+080	48+325	48+125	11	1.5H/1V
50+460	50+675	50+475	12.5	1.5H/1V
53+450	53+850	53+600	8	2H/1V

La géométrie La géométrie des talus en déblais est basée sur la géométrie de la plateforme ferroviaire, le type de structure d'assise retenu et ainsi que le type de drainage. Tout en assurant la stabilité de l'ouvrage respectant

Les coefficients globaux de sécurité F :

- Fs ≥ 1.5 pour la stabilité à court terme.
- Fs ≥ 1.3 pour la stabilité à long terme.
- Fs ≥ 1 pour la stabilité sous la sollicitation sismique.

Les pentes de talus en déblai peuvent être : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1

Tableau X.3. Les sécurité dans les zones de déblais

Le cas	Solution proposé
Stabilisation de talus	.Disposer des fossés de crête de talus. .Disposer des tuyaux en descente en béton. La surface des talus sera traitée avec des plantations.
Cas des déblais effectué dans des terrains rocheux	On traite avec des boulons d'ancrage
Infiltration des eaux dans les zones de déblais	-béton projeté -Boulonnage local -Disposition de grillage anti chute
Instabilité locale avec détachement des blocs	Disposition de fossé revêtu dans les bernés

X.4.3. Remblais :

Les principaux remblais présents sur notre tracé présentent des hauteurs maximales entre 10 et 15 m, Nous avons les remblais suivants :

Tableau X.4. Les remblais

PK	Hauteur max des remblais	Talus (H/V)
40+900	8	2H/1V
43+575	10	2H/1V
45+980	10	2H/1V
47+125	7	2H/1V
48+475	5.5	2H/1V
50+375	15	2H/1V
51+250	13	2H/1V
52+700	10	2H/1V
56+625	8.2	2H/1V
58+900	5.6	2H/1V

Une importante partie des déblais pourra être utilisée pour les différents remblais, Pour cela il est toujours nécessaire de débarrasser le sol de tout ce qui pourrait nuire à la liaison du terrain en place avec les remblais tels que les racines, souche et débris de toute nature.

Il est important de noter qu'une carrière de lithologie Qt se trouve à proximité de notre projet

X.4.4. Vérification de la stabilité des déblais et remblais (Logiciel Géostudio 2018)

La vérification consiste à calculer le facteur de sécurité global pour les différentes positions des centres de cercles de rupture, en comparant la valeur obtenue avec le minimum normalisé :

Facteur de sécurité globale : $F_s = Tr/T_s$ dans laquelle :

Tr représente la résistance au cisaillement le long du cercle de rupture, T_s est la force totale de cisaillement agissante le long du cercle critique.

Quant à l'intensité de l'action sismique, elle a été déterminée en faisant références aux normes parasismiques algériennes (règle parasismique ouvrages d'art-RPOA)

X.4.4.1. Application aux déblais-remblais de notre projet :

Caractéristiques du déblais :

PK : 50+475 et 47+975

Hauteur totale : 12.5m et 19m

Pente proposée : 3H/2V avec une risberme de 3m

Sismicité Zone : Zone 2a (sismicité moyenne)

Tableau X.5. Caractéristique mécanique des déblais

PK début-fin	Profondeur (m)	Nature du terrain	Paramètre géotechnique		
			γ_h KN/m ³	C' (kn/m ³)	φ^o
PK 47+735-48+020	Argile graveleuse : 12m	Argileux-graveleux	19	35	29
	Alluvions 6m	Qt	19	30	24
Pk 50+460-50+675	Argile graveleuse 12.5m	Argileux-graveleux	20	61	35

Caractéristiques de nos remblais :

Tableau X.6. Caractéristique mécanique des remblais

Pk début-fin	Géométrie des talus				Paramètre géotechnique			
	Longueur	hauteur	pente	Berne/talus	γ_h KN/m ³	C' (kn/m ³)	φ^o	
50+480-51+800	1320m	13m	2H /1V	3m/13m	Remblais	20	10	30
					Qt	19	30	24
52+210-53+500	1280m	10m	2H/1V	3m/10m	Remblais	20	10	30
					Qt	19	30	24

Les résultats du logiciel sont présents dans la page suivante avec le coefficient de sécurité correspondant à commencer par les remblais

Nous représenterons la surcharge de la voie par une charge de 30kn sur 2.5m pour chaque voie (double voie)

Les remblais :

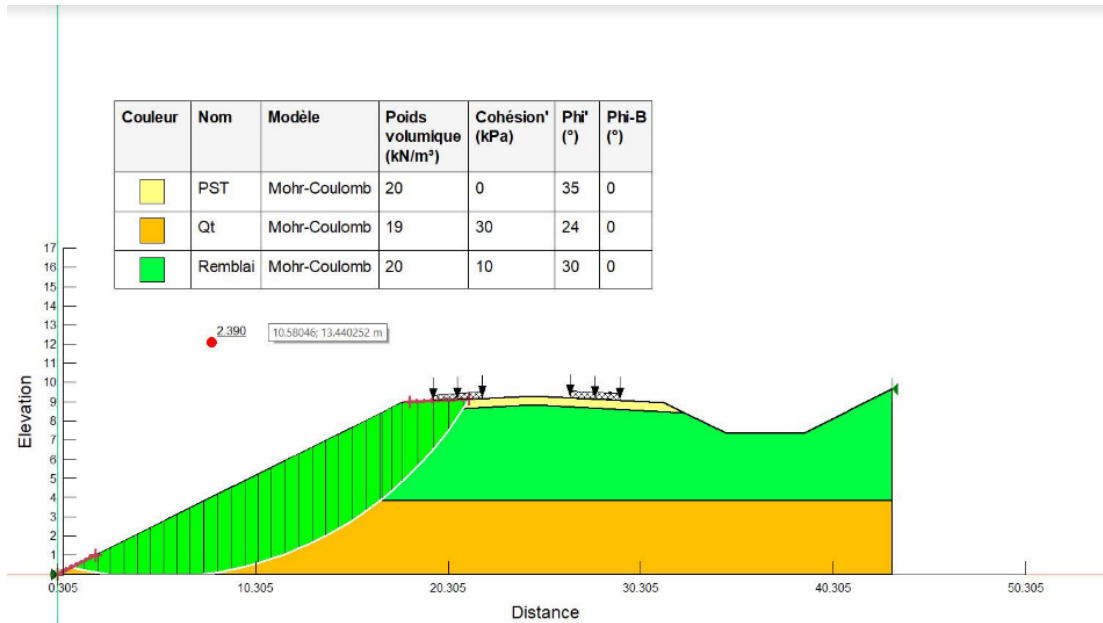


Figure X.3.Calcul de la stabilité statique du remblais pk 52+700 (2.390 vérifié)

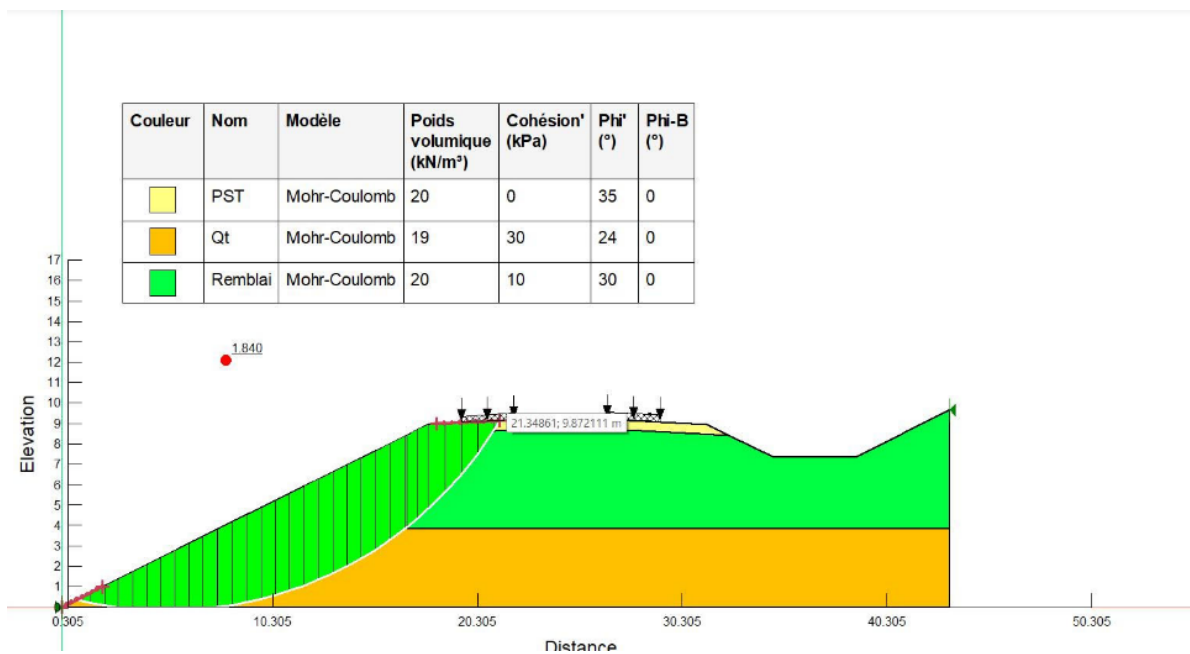


Figure X.4.Calcul de la stabilité sismique du remblais pk 52+700 (1.8 vérifié)

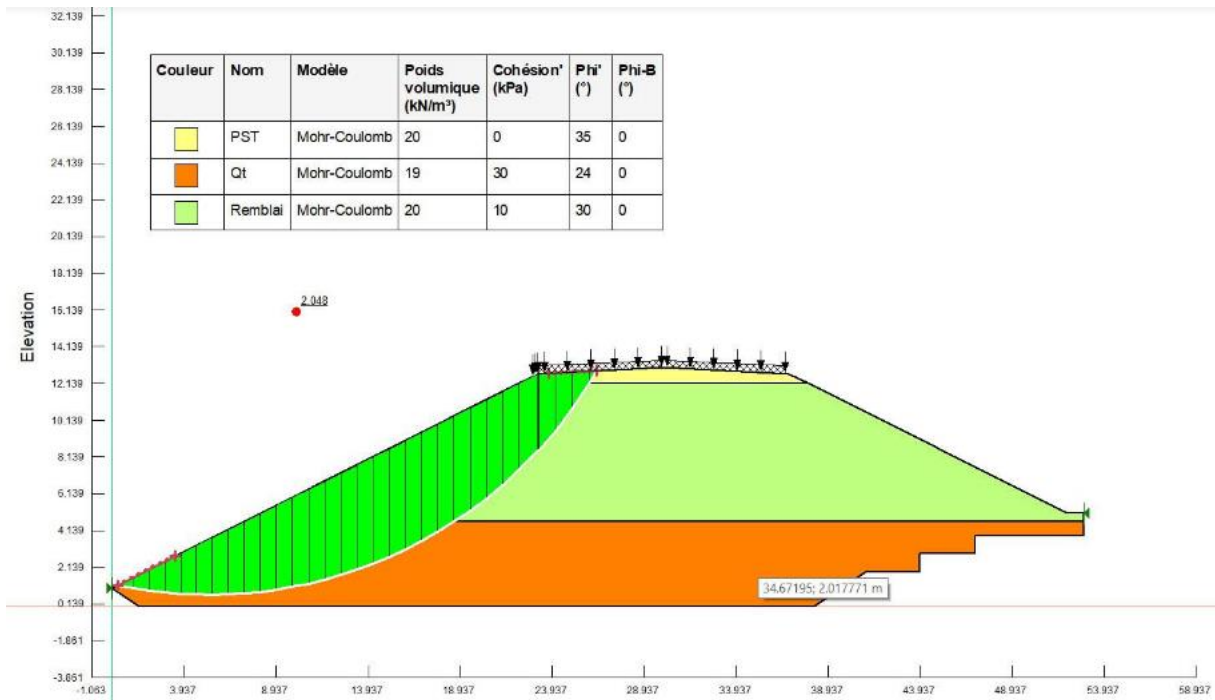


Figure X.5. Calcul de la stabilité statique du remblai pk 51+250 (2.048 vérifié)

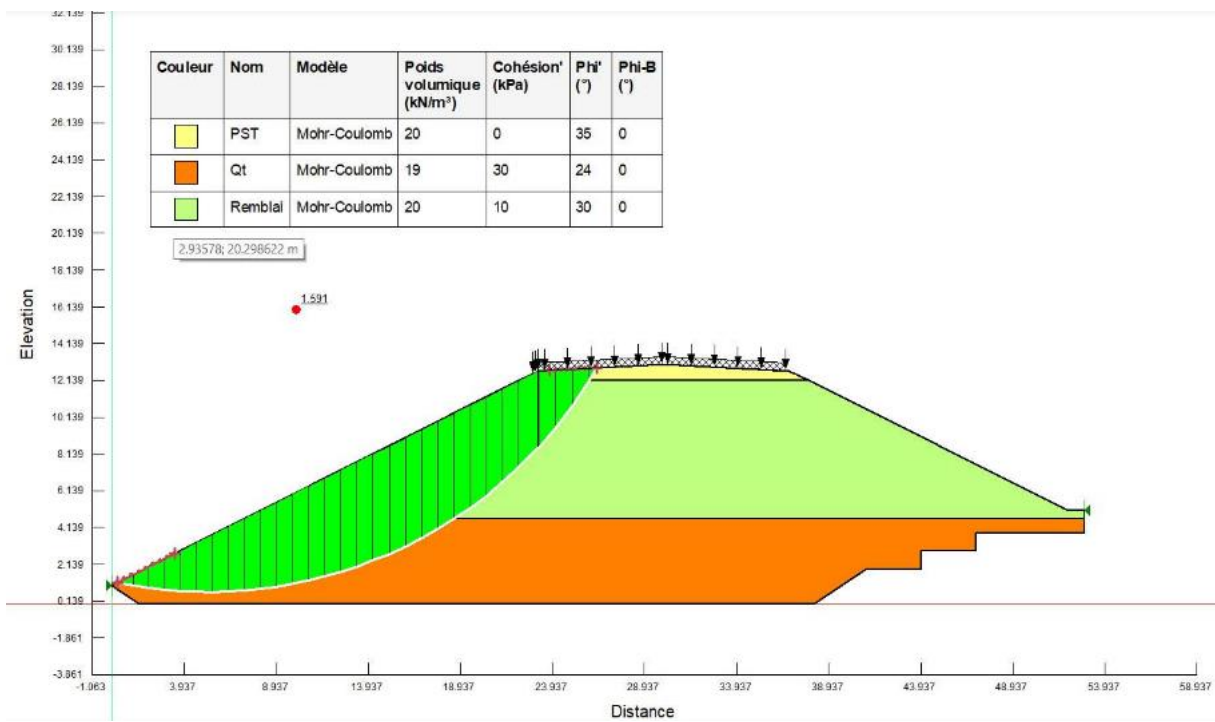


Figure X.6. Calcul de la stabilité sismique du remblais pk 51+250 (1.591 vérifié)

Les déblais :

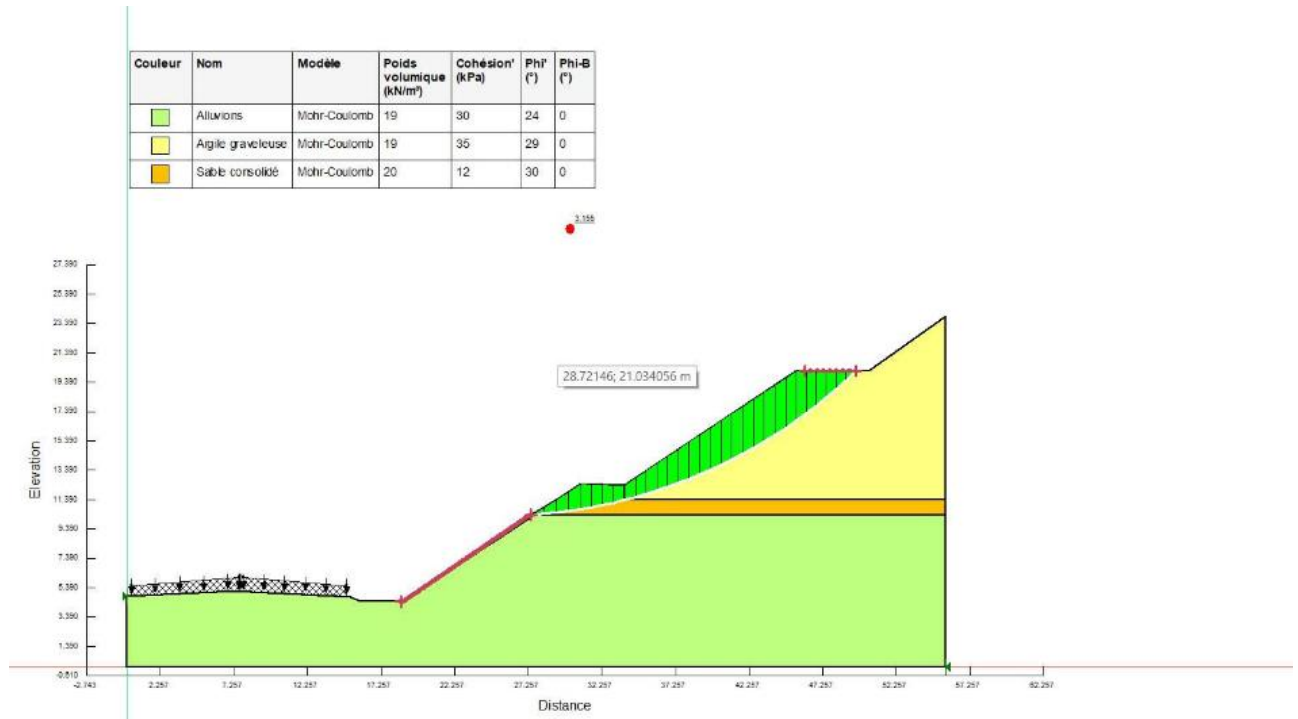


Figure X.7.Calcul de la stabilité statique du déblais pk 47+975 (2.355 vérifié)

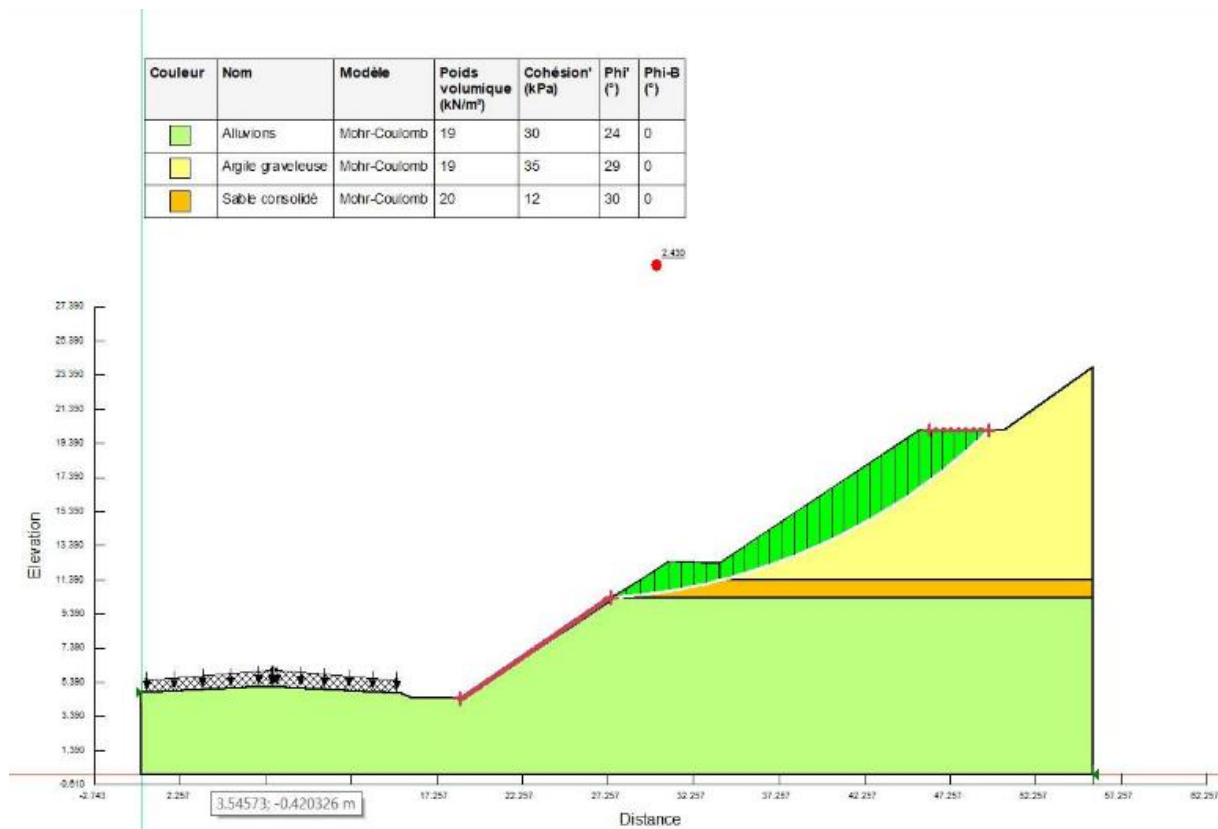


Figure X.8.Calcul de la stabilité Sismique du déblai pk 47+975 (2.430 vérifié)

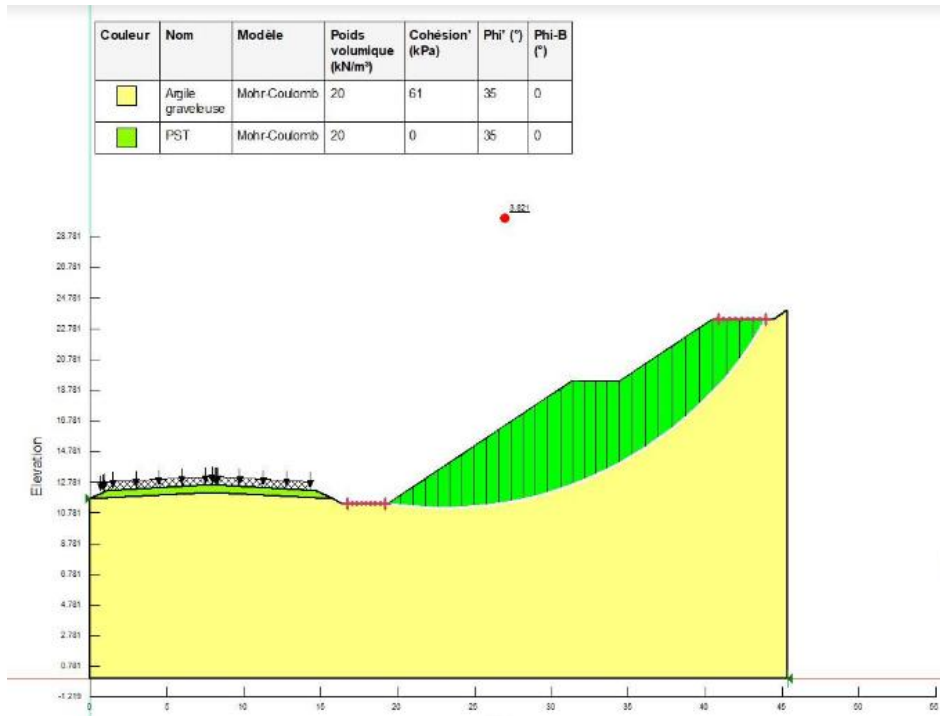


Figure X.9.Calcul de la stabilité statique du déblai pk 50+475 (3.52 vérifié)

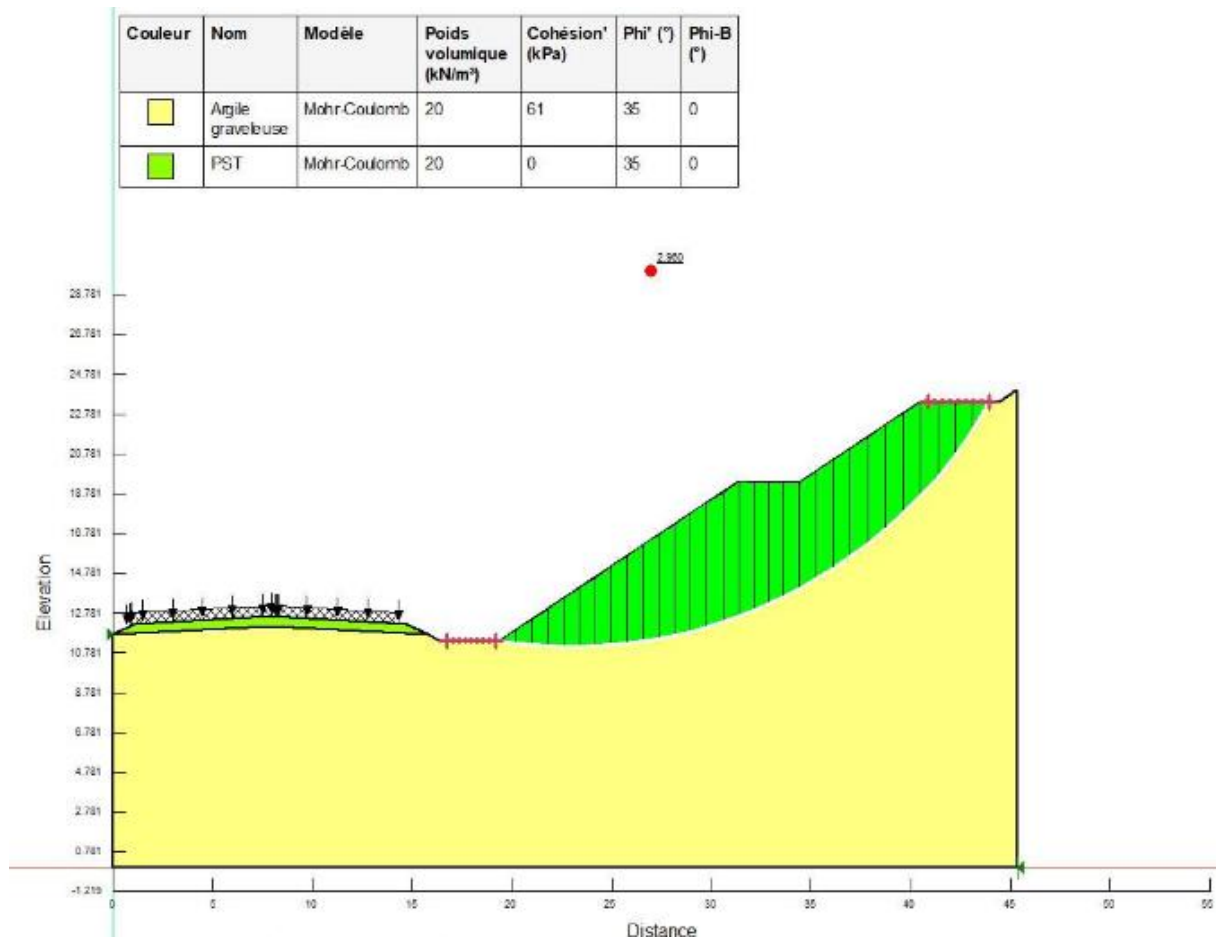


Figure X.9.Calcul de la stabilité sismique du déblai pk 50+475 (2.9 vérifié)

X.5.Épaisseur de la terre végétal :

Avant la réalisation d'un remblai il faut préparer le terrain, le décapage de la terre végétale est donc obligatoire et réalisé selon des épaisseurs variables déterminées par des études géotechniques, pour le tronçon étudié nos épaisseurs varient de 0.8m à 1m

X.6.Récapitulatifs des quantités de matériaux utilisées

Pour se faire, nous avons divisé notre tracé en deux grand corridor à l'aide de civil 3D dont l'abscisse curviligne s'arrête à :

1^{er} corridor :562+00.00

2^e corridor :611+81.71

Tableau.X.7.récapitulatif des quantités de déblais-remblais :

terrassment	Volume
Déblais 1 ^e section	1544006
Remblais 1 ^e section	2312173
Déblais 2 ^e section	2106956
remblais 2 ^e section	84322
Déblais complet	3650962
Remblais complet	2396495

Tableau.X.8.récapitulatif du volume des couches d'assises

Terrassement	Aire m ²	Volume	Volume cumulé
Ballast complet 1 ^e section	2.89	144.49	71569.3
Sous ballast complet 1 ^e section	0.72	36.08	32039.26
Couche de fondation complet 1 ^e section	1.08	54.12	90102.37
Ballast complet 2 ^e section	4.19	133	19035
Sous ballast complet 2 ^e section	-	34	9220
Couche de fondation complet 2 ^e section	6.07	193	26353
Ballast complet	7.08	277.49	90604.3
Sous ballast complet	0.72	70.08	41259.26
Couche de fondation complet	7.15	247.12	116.455.37

X.7.Conclusion

L'étude de la stabilité de nos talus a montré une certaine stabilité malgré les grandes hauteur, que ce soit pour le côté statique ou sismique.

Le tronçon montre en revanche une grande quantité de déblais/Remblais, ce calcul est fondamental afin d'établir un devis estimatif quantitatif précis.

CHAPITRE

XI

CONCEPTION ET

AMENAGEMENT

DE LA GARE EI

Maten

XI.1.Introduction

Le rôle principal d'une voie ferrée est le transport de personne ou marchandises, ce dernier est censé les amener d'un point A à un point B pour des raisons qui peuvent être touristiques ou commerciales.

Pour ce faire, une certaine logistique doit se faire, le paiement du voyage, organisations des places, organiser la chronologie des voyages et mener les concerné aux quais ou tout simplement la sortie.

C'est pourquoi un projet ferroviaire est TOUJOURS accompagné d'au moins deux gares, avec des haltes, ces derniers représentent les lieux d'arrêts des trains assurons la montée et la descente des voyageurs ainsi que le chargement de marchandises.

Ce chapitre présentera les composantes et l'organisation d'une gare et prendra pour exemple la gare El Maten situé au PK 54+900 de notre projet.

XI.2.Type de gare

Il existe différentes types de gares, cela dépend de leurs nécessités, il y a :

- Les gares voyageurs
- Les gares de marchandises ferroviaires
- Les gares mixtes (voyageurs marchandises)
- Les gares de triages
- Les gares de croisements

XI.2.1.Les gare voyageurs :

Ce genre de gare sont de tailles très variables, celle dont l'importance est réduite, qui constitue donc un simple point d'arrêt, souvent avec un personnel réduit, sont appelée « halte »

Les gares principales par contre se situent dans les grandes villes et ont une très grande importance stratégique pour la zone, elles sont un lieu d'échange entre le mode ferroviaire et les divers modes de transports urbains, d'où leurs noms « pôle d'échange »

Deux gares voyageurs peuvent exister :

1-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.

2-Les gares de passages :

Le bâtiment longe généralement les voies du côté orienté vers le centre de l'agglomération.

On accède aux quais par le biais d'une passerelle ou d'un souterrain, Il peut être placé au-dessus des quais.

Les installations d'accueil des voyageurs peuvent aussi se trouver sous les quais.

XI.2.3.Les gares de triages :

Les gares de triage assurent la recombinaison des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés

XI.2.4.Les gares marchandises

Les gares de marchandises assurent la totalité du traitement du trafic de marchandises.

Elles sont dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord dans lesquelles s'opèrent le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires).

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. On distingue (03) éléments qui 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

XI.3.Aménagement d'une gare

Une gare ferroviaire s'aménage différemment selon son type, on peut donc distinguer plusieurs installations :

- Le bâtiment de voyageurs.
- Les bâtiments à usages divers (B.U.D).
- Les Quais.
- Les Abris de quais (protection des voyageurs contre les intempéries).
- Hall de stockage.
- Des cours de débord pour embarquement et débarquement des marchandises.

XI.3.1.Longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire pour que le train stationne sur la voie de dépassement sans gêner la circulation de la voie principale ou des autres voies de dépassement voisines.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs.

Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme SNTF (aménagement et gare, tracé des voies).tel que :

-La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m.

-La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie principale et la voie de service.

XI.3.2.Les heurtoirs :

Les heurtoirs matérialisent la fin d'une voie de garage ou de sécurité.

Ils sont placés aux extrémités des voies en cul-de-sac pour éviter que les véhicules en mouvement n'en franchissent les extrémités.



Figure XI.1.Heurtoirs

En règle générale, les heurtoirs doivent être précédés par des patins de freinage à 10m de distance, qui après chaque déplacement doivent être remis en place

Nous pouvons trouver des heurtoirs fixe ou bien patinant, en modèle grand ou petit.

XI.3.3.Les quais

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

Les quais peuvent être bas ou hauts.

Le long des quais surélevés, lesquels se rencontrent le plus souvent sur les lignes électrifiées, sont établies tous les 25 mètres des marches d'accès afin de permettre au personnel se trouvant dans les voies de s'échapper sans difficulté à l'arrivée des trains.

Les quais doivent présenter une surface bien régulière et unie, non glissante et légèrement bombée, ils sont souvent recouverts d'un revêtement dur (dalles en béton, asphalte,), ou d'une couche de cendrées tamisées

XI.3.3.1Hauteur du quai

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à 550mm.

Concernant les quais concernés par le trafic voyageurs dans les grandes lignes et banlieue, sous certaines conditions, une hauteur différente peut être appliquée, par exemple 760 mm

La hauteur du quai dépend donc du type du de matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce dernier.

XI.3.4. Les appareils de voies :

Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné.

Si d'autres itinéraires en divergent où le traversent Il permet entre autres d'assurer les bifurcations et les croisements d'itinéraires.

Le type de l'appareil est désigné par la valeur de la tangente d'implantation exprimée sous la forme décimale, et ce dernier se compose de trois parties : l'aiguillage, la partie intermédiaire et la partie cœur (croisement)

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions.

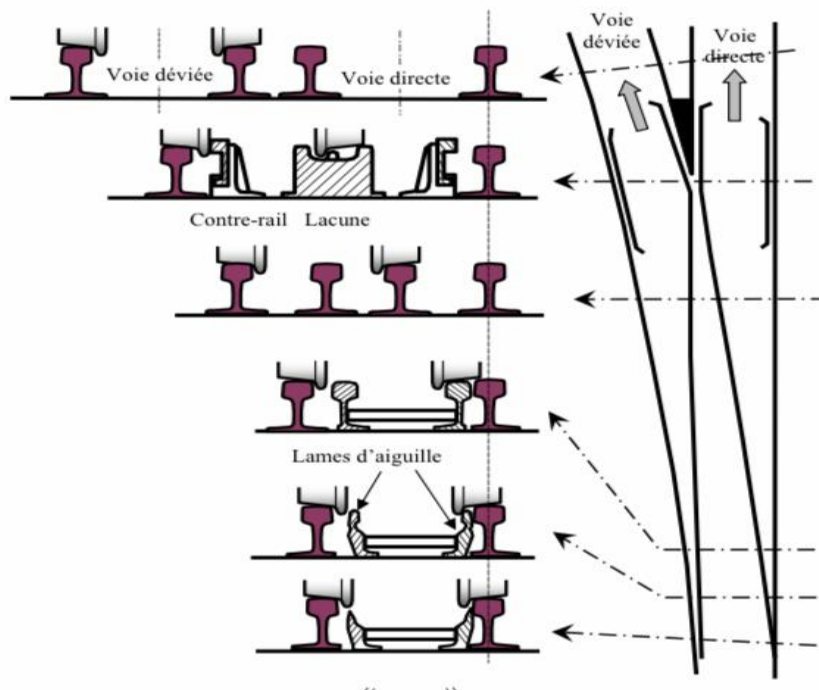


Figure Figure XI.2: schéma d'un ADV

XI.3.4.1. Implantation des appareils de voies

✓ Cas normal sans contraintes :

- Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m
- Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal

✓ Cas avec contraintes

- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil qui est ≥ 80 m
- Distance entre appareil de voie et courbe ≥ 6 m il est prévu des rampes de dévers droit sans doucine

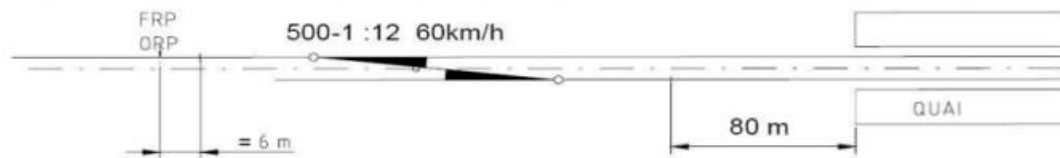


Figure XI. 3. Implantation d'un appareil de voie avec contraintes

XI .3.5. Garage franc

Le "garage franc" est un terme utilisé dans le ferroviaire et désigne:

Pour un aiguillage, on place au sol dans l'entrevoie situé entre les deux voies convergentes, une marque appelée "**limite de garage franc**".

Cette marque est constituée par une plaque rectangulaire en béton, peinte en blanc, Elle matérialise le point limite où un train peut s'arrêter sans engager le gabarit de la voie convergente, au-delà de cette limite il y a un risque de prise en écharpe par un autre train.



Figure XI.4..Prise en écharpe de deux trains

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

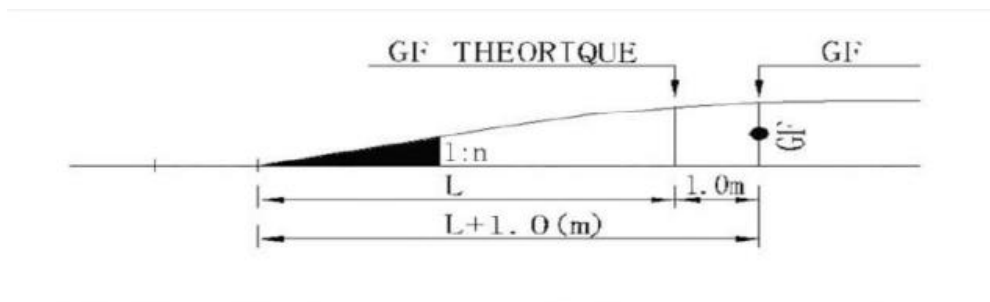


Figure : XI.5 schéma du garage franc

XI.4.APPLICATION AU PROJET :

XI.4.1.Longueur des quais :

Les quais des voyageurs A, B et C sont localisés en alignement droit et possèdent une longueur de 450m.

XI .4.2.La largeur des quais :

Selon la SNTF (aménagement et gare tracé des voies)

✓ Pour les quai A, B et C on prend une largeur de 6m

XI .4.3.La hauteur des quais et leur distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741

✓ Pour la hauteur nominale des quais on préconise une hauteur de 550m

✓ La distance par rapport à l'axe de la voie $L = 1650+S$.

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

Tel que

- R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit $R = \infty$)
 - I : écartement de la voie (dans notre projet $I = 1435 \text{ mm}$)
- Donc $S = 0 \rightarrow L = 1650 \text{ mm}$ dans notre projet

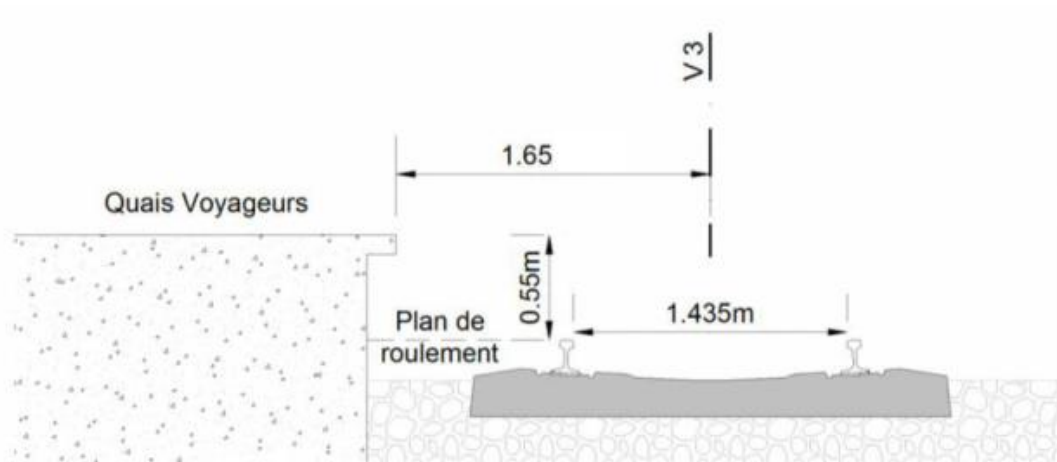


Figure XI. 6. la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie (source UIC741 OR)

XI .4.4. Entraxe entre les quais A et B

Selon la SNTF :

- Entraxe normal en ≥ 11.3
- Entraxe minimal en ≥ 9.3

Dans notre projet on a opté pour l'entraxe de 9.3 m entre les quais A, B et C.

XI .4.5. Passerelle supérieure

Selon la SNTF (aménagement et gare tracé des voies)

- ✓ La largeur est : $B \geq 2.4$ on prend une largeur $B = 2.5 \text{ m}$
- ✓ La hauteur est : $H > 6.2 \text{ m}$ on prend une hauteur 6.5 m pour mieux placer les caténaires

XI .4.6. Longueur du garage franc

En utilisant la formule suivante qui permet de calculer la longueur du garage franc
Ou

N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie

$$G_f = 3.57 \times N + 1$$

Pour notre projet on a recours à deux appareils de voies :

- UIC 54 500 1/12
- UIC 54 300 1 /9

XI .4.6.1Exemple de calcul de garage franc situé en alignement :

$$\tan \alpha = \frac{3.57}{G_{th}} \Rightarrow G_{th} = \frac{3.57}{\tan \alpha}$$

$$G_f = G_{th} + 1$$

- Pour UIC 54 500 1/12

$$G_f = 3.57 \times 12 + 1 = 43.84 \text{ m}$$

- Pour UIC 54 300 1/9

$$G_f = 3.57 \times 9 + 1 = 33.13 \text{ m}$$

XI .4.6.2Exemple de calcul de garage franc situé en pleine courbe :

$$y = \frac{x^2}{2R} \dots 1$$

$$y = a - 3.57 \dots \dots 2$$

$$1 = 2 \Rightarrow x = \sqrt{2 \times R \times (a - 3.57)}$$

- Pour UIC 54 500 1/12

$$x = \sqrt{2 \times 500 \times (4.2 - 3.57)} = 25.1 \text{ m}$$

- Pour UIC 54 300 1/9

$$x = \sqrt{2 \times 300 \times (4.2 - 3.57)} = 19.44 \text{ m}$$

$$G_f = x - 1$$

La gare d'El Maten se trouve, entre le Pk 54+800 et le Pk 56+616.99 dans une extension de 1816.99 mètres.

En termes généraux la gare possède un total de 7 lignes:

- 2 lignes - V1 et V2 (lignes principales) – pour les trains à ligne direct qui ne font pas halte à la gare(ne s'arrête pas)
- 2 lignes - V3 et V4 – pour le stationnement des trains (chargement et déchargement des voyageurs)
- 1 ligne – V6 – pour la ligne de service
- 2 lignes – V8 et V10 – cul de sac de sécurité pour la ligne V6.

Tableau XI.1. Longueur utile de chaque voie de la gare El Maten

Ligne	Du	Au	Longueur utile (m)
V3	GF 07	GF 16	1210
V1	GF 07	GF 16	1210
V2	GF 05	GF 14	1210
V4	GF 09	GF 12	1135.74
V6	GF 10	GF 11	1024.57
V8-Cul de Sac 1	GF 10	HV8	53.85
V10-Cul de Sac 2	GF 11	HV10	53.85

XI .4.7.Entre-axes

dans la présente gare d'El Maten a été considéré les entre-axes suivants:

Tableau XI. .2 - Entre-axes

Ligne	Entre-axes (m)
V1-V2	4.20
V1-V3	9.30
V2-V4	9.30
V4-V6	4.20

XI .4.8.Tracé en plan

En termes généraux le tracé des lignes principales se développe en ligne droite, ainsi que les autres lignes qui sont parallèles à celle-ci.

Pour permettre la liaison entre les différentes lignes, il a été nécessaire de placer 16 appareils de voie, ainsi que 8 courbes sur plan, sans dévers et sans courbes de transition.

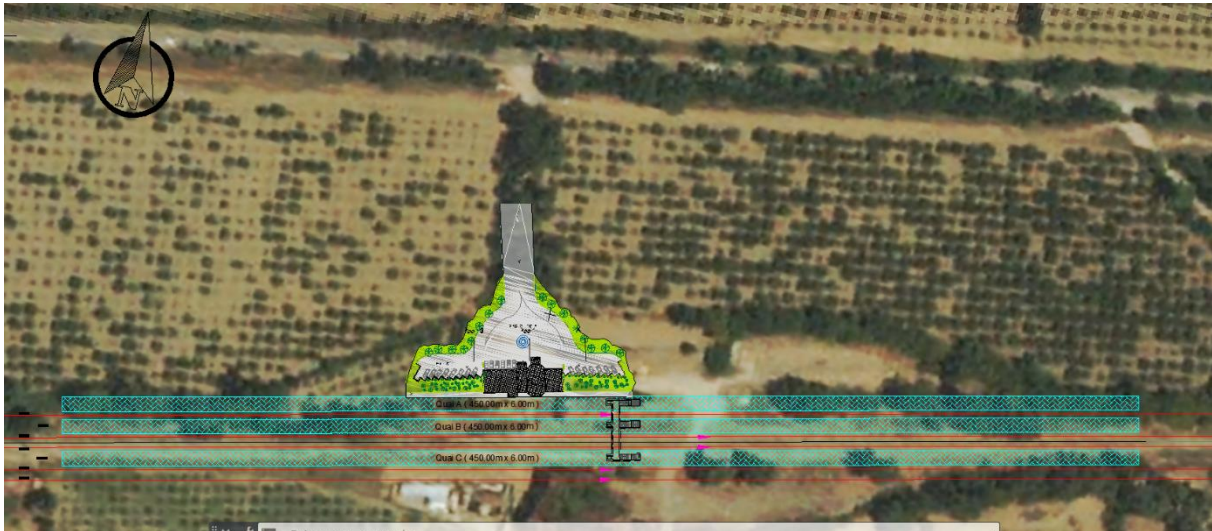


Figure XI.7. Plan de la gare El Maten

XI .4.9. Profil en Long

Toute la gare se développe en palier ($i=0\%$) et à cote (FSR) 61.882m au-dessus du niveau de la mer.

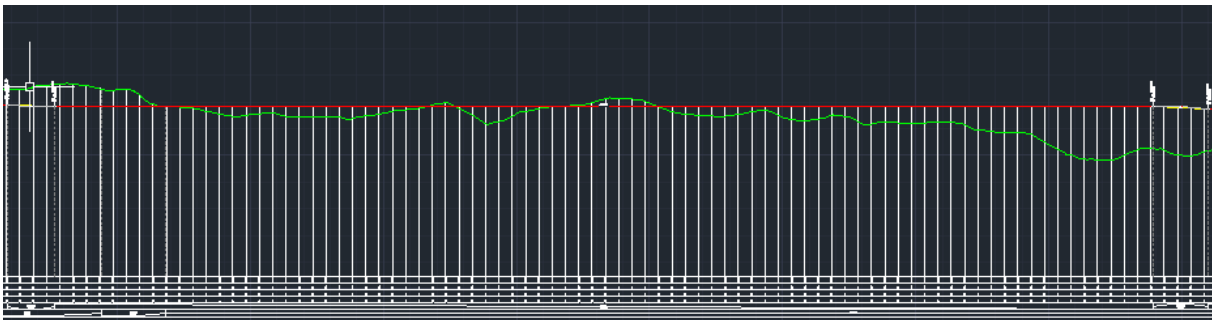


Figure XI.8. Profil en long de la gare

XI .4.10. Soudures

Le rail UIC54 sera fourni en barres élémentaires de 18 m qui seront soudées électriquement en atelier, ainsi qu'en barre continue avec 288 m de longueur.

Ensuite, les barres de 288 m seront mises en place et soudées avec des soudures aluminothermiques en voie.

XI 4.11 Appareils de Voie

Tous les appareils de voie de la gare El Maten sont de géométrie UIC, tangente 1/12 – rayon 500m et tangente 1/9 - rayon 300m

La gare possède deux communications à l'entrée et à la sortie, pour permettre de changer de voie quel que soit le sens de circulation des trains.

Les appareils de changements de voies seront représentés dans le tableau suivant :

Tableau XI. .3.Caractéristiques des appareils de voies

N.°	Ligne	Tangent	Rayon (m)	Géométrie	Direction	Vitesse d'embranchement (km/h)	Rail
1	V1	1/12	500	UIC	Droite	65	UIC54
2	V2				Droite		
3	V2				Gauche		
4	V1				Gauche		
5	V1				Gauche		
6	V2				Droite		
7	V4	1/9	300		Droite	50	
8	V6				Gauche		
9	V6				Droite		
10	V4				Gauche		
11	V2	1/12	500		Gauche	65	
12	V1				Droite		
13	V1				Droite		
14	V2				Droite		
15	V2				Gauche		
16	V1				Gauche		

XI.4.11.1. DONNEES D'IMPLANTATION DES APAREILS DE VOIES

Tableau XI.4.Coordonnées d'implantation des appareils de voies

N ADV	Point	X	Y
01	M1	659304.7021	4055572.9161
	M2	659345.0520	4055583.0154
	M3	659304.7021	4055572.9161
02	M1	659394.9636	4055591.1784
	M2	659354.6137	4055581.0791
	M3	659354.2640	4055582.7720
03	M1	659402.7295	4055593.1222
	M2	659443.0793	4055603.2215
	M3	659442.5903	4055604.8795
04	M1	659490.9514	4055619.5331
	M2	659450.6015	4055609.4338
	M3	659451.0911	4055607.7760
05	M1	659498.7172	4055621.4768
	M2	659539.0671	4055631.5762
	M3	659538.5103	4055633.2111
06	M1	659499.7370	4055617.4025
	M2	659540.0869	4055627.5019
	M3	659540.4365	4055625.8090
07	M1	659548.3860	4055627.1091
	M2	659581.1814	4055632.4728
	M3	659581.3772	4055630.6455
08	M1	659706.5520	4055655.2506

	M2	659674.3154	4055647.1820
	M3	659674.8595	4055645.4267
	M1	660602.0134	4055879.3789
09	M2	660634.2501	4055887.4476
	M3	660634.5970	4055885.6429
	M1	660754.3916	4055928.8779
10	M2	660722.9363	4055918.1600
	M3	660723.6243	4055916.4560
	M1	660802.8367	4055943.5602
11	M2	660762.4868	4055933.4609
	M3	660762.9759	4055931.8029
	M1	660801.8169	4055947.6345
12	M2	660761.4670	4055937.5352
	M3	660761.1174	4055939.2281
	M1	660832.5716	4055955.3322
13	M2	660872.9208	4055965.4314
	M3	660873.2705	4055963.7385
	M1	660922.8324	4055973.5943
14	M2	660882.4825	4055963.4950
	M3	660882.1328	4055965.1879
	M1	660954.8501	4055981.6082
15	M2	660995.2000	4055991.7075
	M3	660994.7110	4055993.3655
	M1	661043.0720	4056008.0191
16	M2	661002.7222	4055997.9198
	M3	661003.2112	4055996.2618

XI .4.12.DONNEES D'IMPLANTATION DES GARAGE FRANCS

Tableau XI..5. Coordonnées d'implantations des garages francs

GARAGE FRANC	X	Y
01	659328.5792	4055576.3652
02	659371.0824	4055587.7282
03	659425.4176	4055601.3280
04	659468.2648	4055611.3277
05	659562.9456	4055639.3552
06	659564.8144	4055631.8886
07	659601.8905	4055633.9876
08	659657.7526	4055641.2352
09	660651.6608	4055890.0041
10	660703.6676	4055909.6413
11	660738.6083	4055925.6818
12	660736.7378	4055933.1480
13	660856.4480	4055958.7812
14	660898.9553	4055970.1452
15	660977.5367	4055989.8136
16	661020.3855	4055999.8137

Chapitre XII

Signalisation et télécommunication ferroviaire

XII.1.Introduction

En télécommunication, la signalisation désigne L'échange d'information permettant l'établissement et le contrôle d'un circuit de télécommunication et la gestion du réseau, en opposition avec le transfert de données utilisateurs.

La signalisation et les systèmes de télécommunications peuvent être classés selon leurs propriétés principales

Dans une voie ferrée, les signalisations ont un rôle primordial, le tracé étant généralement complexe, il est important d'avoir des repère sur les zones d'arrêt/ de ralentissement, surtout sur les virages complexe.

XII.2.Signalisations :

XII.2.1.Rôle de l'installation de signalisation

Les installations de signalisation permettent de résoudre les cinq grands problèmes suivants

- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...)
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez)
- Les risques de déraillement par excès de vitesse
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau)

XII.2.2. Type de signalisations :

Afin d'avertir le conducteur, un signal peut être numérique ou mécanique



Figure XII.1.à gauche un signal numérique, à droite mécanique (panneau)

-Signal mécanique :

Il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur

- Signalisation lumineuse :

Il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire.

Qu'elle soit mécanique ou lumineuse, la signalisation peut comporter en outre :

- Des tableaux lumineux
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables,
- Des tableaux ou pancartes rélectorisés,
- Des guidons d'arrêt

XII.2.3. Fonction des signaux

Les signalisations remplissent différents rôles :

- Signalisation d'arrêt
- Signalisation de limitation de vitesse
- Signalisation de direction

Ces fonctions, afin de maximiser les chances de réactions, ont généralement un signal d'annonce et un autre de rappel peu avant d'arriver au contexte.

XII.2.4. Tableau indicateurs

Les tableaux indicateurs donnent des informations ou des ordres ne concernant pas la protection des circulations.

Ils concernent les limitations de vitesse, les indications de direction, les indications propres aux marches de manœuvre, et beaucoup d'autres indications spécifiques.

Les tableaux peuvent être : fixes (toujours visibles), ou effaçables (pouvant être masqués). Et dans ce cas : mécaniques ou lumineux.

XII.2.5. Implantations des signaux :

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (au point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales, c'est le rôle des signaux d'annonce à distance

Nous devons donc connaître les distances d'arrêt et de ralentissements, et ces dernières se calculent en prenant en compte différents paramètres régissant la réaction du conducteur :

- profil moyen de la partie de la voie intéressée (déclivité moyenne).
- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- Des caractéristiques de freinage des circulations.

XII.3. Le système de signalisation ERTMS

L'ERTMS (Européen Railways Traffic Management System) est un système de contrôle/commande assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable, ses caractéristiques seront développées dans ce qui suit

XII.3.1. L'interopérabilité :

Capacité de plusieurs systèmes, ou bien organisme, dont les structures, les procédures et les relations respectives autorisent une aide mutuelle qui les rend aptes à opérer de conserve.

L'interopérabilité ferroviaire vise à créer un système ferroviaire européen capable de permettre la circulation sûre et sans rupture de charge des trains en accomplissant les performances requises pour les lignes.

Cela permet d'augmenter la capacité des lignes assurant une plus grande rentabilité pour les opérateurs et est composé de deux composantes fondamentales :

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

XII.4. Application à notre projet

Les schémas de signalisation sont élaborés jusqu'à la fin du tunnel d'El Maten, du Pk40 au Pk 60

Les deux voies V1 et V2 sont subdivisée en plusieurs secteurs avec postes d'aiguillage électriques.

Dans tout le projet les voies sont banalisées, La circulation en tous sens est possible.

Le plan d'implantation des signaux sera établi en fonction des spécifications contenues dans les règles SNTF. L'implantation des signaux commandés tiendra compte également des points dangereux à protéger.

La détermination du cantonnement en pleine voie veillera à maintenir une distance maximale de 1500 m.

Le cantonnement proposé devra être validé par une simulation de la capacité de la ligne et par les analyses de sécurité et de risque par l'entreprise en charge de la mise en œuvre du système de signalisation.

XII.4.1. Signaux à respecter :

La totalité des signaux de manœuvre et d'espacements sont de types lumineux de la SNCF

Ces derniers sont conformes à leurs schémas de situation et présentent les aspects prévus au Règlement Général de Sécurité et l'avis Général de Sécurité de la SNTF.

Les cibles utilisées sont les suivantes :

- Cible type 1 où type C pour les signaux principaux.
- Cibles type 3 où type H pour les signaux principaux.
- Cible type 4 où type R pour les signaux d'avertissement.
- Cible type K pour les carrés « violet » de type bas positionné sur voies principales et à l'origine d'itinéraires de refoulement.

Le feu des signaux ont un contrôle d'intensité de courant, la technologie utilisée est celle des diodes électroluminescentes (LED), elle présente de gros avantages technique mais son coût est 10x plus élevé.

Quant aux indications et les séquences de signalisations elles suivront la réglementation de la SNTF

XII.4.2. Système de Blocks

Les tronçons de ligne avec repères d'arrêt sont équipés du system block automatique. Les critères qui déterminent la longueur des sections peuvent varier suivant l'équipement au sol dont la ligne est pourvue

XII.4.3.Repère d'arrêt pour mouvement de pleine voie

Le repère d'arrêt matérialise l'emplacement où un arrêt peut être imposé.

Il est implanté à l'origine de chaque section de block et de chaque itinéraire.

Il est placé à gauche ou à droite de la voie suivant qu'il s'adresse respectivement aux mouvements qui circulent à voie normale ou à contre-voie.

Le repère d'arrêt est pourvu d'un panneau repère dont la face avant est recouverte de matière réfléchissant la lumière.

Il présente, sur fond bleu, un triangle jaune bordé de blanc dont la pointe est dirigée vers la voie à laquelle il s'adresse.



Figure XII.2. repère d'arrêt

XII.5.Télécommunication

XII.5.1.Présentations de l'étude de communication

Les installations de la ligne Beni Mansour-Béjaia font partie intégrante d'un réseau de communication global de région Algéroise comprenant un centre de contrôle à Béjaia

L'homogénéité des télécommunications de la Rocade Nord devra faire partie de la réflexion globale sur la modernisation des installations de télécommunication prévue lors de l'électrification de cette partie du réseau.

XII.5.2.Relation entre le réseau existant et le nouveau

Une réflexion plus générale que la simple étude des sites d'électrification en Banlieue a donc été abordée pour éviter de proposer des solutions trop réductrices à cause des installations résidentes obsolète

Les équipements de télécommunications récentes seront intégrés dans le nouveau dispositif mais le support réseau doit impérativement suivre les nouvelles tendances générales à savoir un transport fibre optique sur deux câbles indépendants de 72 fibres minimum.

XII.6. Technologie proposée :

- Un double support fibre optique (2 Câbles) pour la connexion réseau
- Un maximum de liaison interne Caroubier en fibre pour limiter les interférences électriques et les risques de disparition de câble cuivre par malversation
- Une interconnexion GSM-R avec le réseau
- Des téléphones de sécurité nouvelle génération
- Un réseau téléphone de gestion sous IP (également utilisable pour certaines applications signalisation)
- De l'information passagère, ou personnel SNTF, multilingue sur écran plat haute fiabilité et durée de vie étendue

XII.7. Système GSM-R

L'objectif de ce système est la construction d'un réseau de communication radio mobile privé pour une utilisation ferroviaire, répondant aux besoins opérationnels de la SNTF et conforme aux directives de l'union européenne (UE) sur les réseaux intereuropéens.

Ce réseau sera conforme à la norme GSM-R, telle que choisie par l'Union International du Chemin de Fer (UIC). La norme GSM-R est basée sur la technologie GSM éprouvée et mature et propose, simultanément, des possibilités opérationnelles renforcées couvrant les exigences imposées par l'utilisation du système ferroviaire.

Conformément à la norme mentionnée ci-dessus, le réseau sera constitué des points suivants

Tableau XII.1 Composant du GSM-R

Le system	Fonction
BSS	Le BSS est responsable de la gestion de la couverture radio et il est constitué des unités de contrôle de station de base
NSS	gère l'acheminement et le contrôle des appels
OMC	la gestion et du contrôle des différents éléments du réseau

XII.7.1 Fibre optique

Les câbles fibres optiques seront utilisés comme moyen de transmission pour ce réseau de télécommunication et les fibres organisés pour réaliser des boucles sécurisées.

Les câbles seront fournis pour la totalité du réseau et devront permettre d'interconnecter toutes les gares, dépôts, triage, et bâtiments administratifs SNTF

Deux câbles totalement indépendants devront être installés, l'un étant la redondance de l'autre.

XII.7.2. La sonorisation et l'inter phonie de la ligne Beni Mansour-Béjaia

Il s'agit de fournir une aide à l'exploitation du réseau ferré en diffusant des informations sonores destinées au public et aux agents opérationnels.

De plus, complémentaiement aux opérations classiques journalières de diffusion de messages programmés, de messages instantanés, ou de musique de fond, le dispositif de sonorisation devra véhiculer les messages d'urgence destinés à assurer la sécurité, l'évacuation et le calme en cas de problème sérieux dans les gares.

XII.7.3.Langue utilisées.

Pour tout message, vocal ou non, une traduction en langue local Amazigh devra être faite en plus de l'arabe/Français, les messages vocaux devront ajouter une partie en anglais, la zones étant un des berceau du tourisme en Algérie.

XII.7.4.Interphonie

Une interphonie entre les quais et les centres de contrôle seront mis à disposition du public ou du personnel pour signaler tout incident.

Les guichets pour les renseignements et la distribution des billets auront également un système de communication par interphone moderne pour permettre un service sans contact physique direct

L'interphonie de sécurité sera assurée par l'intermédiaire des téléphones en ligne directe de puis tous les postes sécuritaires du réseau

XII.7.5.Détection des incendies :

L'objectif de ce système est de détecter au moyen de senseurs tout dégagement de fumée, de flamme ou de vapeurs nocives dans les locaux.

Le but de l'installation est de fournir immédiatement les informations nécessaires aux services de lutte incendie et de secours par le câblage local et le réseau pour les alertes vers les PC extérieurs, les quais et les gares étant des endroits particulièrement sensible à ce genre d'incidents.

Chapitre XIII

Impact sur l'environnement

XIII.1. Introduction

La construction d'un projet ferroviaire, ici une modernisation, affecte directement l'environnement, que ce soit le remodelage du paysage par les différents ouvrages ou les éventuels déchets et perturbation hydraulique qui peuvent y avoir, c'est pourquoi il est impératif de faire une étude d'impact sur l'environnement d'un projet quelconque afin d'assurer un développement durable en prenant en réalisant un projet pérenne dans le temps.

L'objet de cette étude est de tenter de faire le point sur les différents effets, positif comme négatif dans un contexte technico économique.

3 parties doivent être abordées :

-Première partie : Recherche de la zone la plus touchée par les effets engendrés par l'infrastructure

-Deuxième partie : Bilan des effets positifs négatifs de l'infrastructure sur l'environnement

-troisième partie : Trouver des éventuelles solutions afin de réduire les effets

XIII.2. Les éléments environnementaux pris en compte

La recherche des différents éléments pris en compte pour l'évaluation des effets est la genèse d'une EIE, ces éléments pour le cas de notre projet sont représentés dans les points suivants :

XIII.2.1. Les ressource en eaux :

Qui dit infrastructures de transports dit étanchéifiassions de l'emprise et donc diminution des apports pluviométrique, une modification des régimes d'écoulement des sols et des oueds ce qui peut provoquer des érosions et une pollution chronique du milieu naturel du fait des risques de pollutions accidentelle avec déversement de produit toxique

Quant à la proximité de captage d'eau souterraine (puit, forage) ou de retenue collinaire, ceci est considéré comme particulièrement sensible, il faut donc éviter au maximum leurs perturbations.



Figure XIII.1.Oued Soummam en parallèle de notre voie

Notre tracé longe l'Oued Soummam, afin de ne pas le perturber il nous faudra soit y aller en parallèle ou bien l'éviter à l'aide de viaduc, les moulins de Soummam eux seront conservé et la voie existante les concernant ne sera pas touchée.

XIII.2.2. Patrimoine privé :

Les projets routiers passent très souvent par des zones privé, que ce soit des habitations, entreprise ou des terres, la démolition de ces dernières implique un re stockage de ces derniers.

Notre projets, longeant Oued Soummam et étant sur une zone très très fortement agricole, en corrigeant le tracé existant depuis l'air colonial devra obligatoirement passé par différentes zones privés dont énormément de terre agricoles et de fermes ce qui causera de très conséquents dégât naturels.

Deux gares devront également être détruites (El maten ainsi que Takrietz) afin de les reconstruire.



Figure XIII.2.représentation de la gare détruite de Tkrietz à gauche et celle de El Maten à détruire en face d'une habitation

XIII.2.3.Les zones agricoles

De par leurs poids économiques très importants, les zones agricoles en Algérie à promouvoir représentent un atout important.

La zone de Sidi Aich étant fortement fréquenté par les bergers, énormément de zones se retrouveront sur le chemin de la voie et cela peut provoquer des coupures et des modifications de cheminements pour les agriculteurs ainsi qu'une réduction des potentialité sous l'effets de l'érosion et des modification de structures lithologique des zones en questions en plus de la substitution du terrain au profit de la route, ce qui causera une discontinuité dans certaines terre.



Figure XIII.3 .Berger au niveau du PK 51

XIII.2.4. Le couvert forestier :

La pineraie et la zone steppique représentent une grande richesse tant sur le plan économique que naturel. Les coupures provoquées par le passage de l'infrastructure peuvent accentuer la dégradation constatée du patrimoine forestier en plus de la substitution du forêt au Profit de la voie, nous devons pratiquer énormément de décapage

XIII.2.5. Les zones urbanisées.

Les secteurs urbanisées constituent une véritables contraintes, que ce soit la ville de Sidi Aich, de takrietz ou celle d'El Maten, il y a de nombreuses zones affectées par le passage de la voies, de lourdes conséquences seront présentes, que ce soit la pollution sonore pour les maisons restante, la coupure de l'espace urbain et le danger pour les personnes plus jeunes ainsi que le déplacement de plusieurs familles et même de cités entière.



Figure XIII.4. Zone aval de sortie du tunnel au PK 40+525

XIII.3. Impact du projet sur l'environnement

L'implantation d'une telle infrastructure consomme une quantité incroyable d'espace.

En moyenne, une ligne à double voie consomme 10 hectare par km, cela en prenant en compte l'emprise ferroviaire, emprise des rétablissement de voierie, Emprise de rétablissement hydraulique et l'aménagement paysager.

Les problèmes des anciennes rails se posent également, n'étant pas conformes à la vitesse de la nouvelle voie, elles ne pourront être réutilisées.



Figure XIII.5. Dépot de rails de l'ancienne voie au niveau de la gare de Takrietz au PK 40+100

Tout cela impliquera la totalité des conséquences listées dans la partie 2 du chapitre XIII

XIII.3.1. Les terrassements

La construction d'un ouvrage, qu'importe sa nature, demande un terrassement relatif à l'emprise de ce dernier, et c'est d'autant plus vrai pour une route ou une voie ferrée car le terrassement s'étend sur plusieurs dizaines de km afin d'aménager la plateforme qui supportera les rails.

La question se pose particulièrement sur les remblais de grande hauteur, étant très présents sur notre tracé notamment aux environs du PK 44-46 où la gare de Sidi Aich se trouvera tout de suite après un tunnel, cela peut modifier significativement et de manière durable la perception du site en question

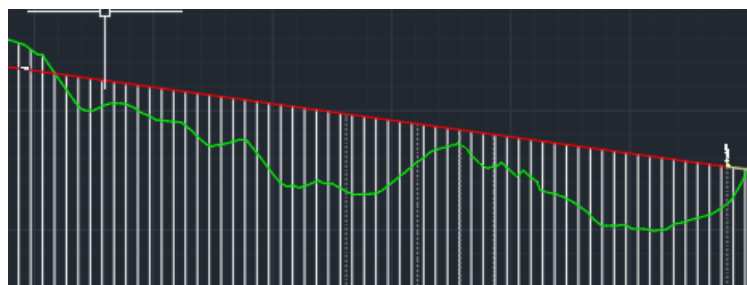


Figure XIII.6. Zone de grands remblais au niveau du PK 48-49

Les talus eux, sont beaucoup moins perceptible et se fondent aisément dans le paysage, sauf dans le cas de topographie particulière comme lors de talus de plus de 8 m qui demande un risberme (PK 47+735)

XIII.3.2. Déstructuration du parcellaire

Lors de l'implantation d'une ligne ferroviaire, des parcelles peuvent être morcelées (création de petites parcelles) ou peu accessibles, des délaissés peuvent être créés, ces terrains peuvent alors être incultivables ou peu rentables du fait de leurs tailles trop réduites.

XIII.3.3. Les effets sur les zones inondables :

L'aménagement d'une voie ferrée peut changer l'aléa d'une zone en ce qui concerne les inondations, en effet les remblais importants que présente notre tracé augmentent l'aléa d'inondations en perturbant l'évacuation de ces eaux en cas de saturation du système de drainage.

XIII.4. Mesure prise en compte :

Afin de minimiser les différents impacts de notre projet sur l'environnement, différentes mesures s'offrent à nous, elles se présentent sous les formes suivantes :

-Concernant les passages sur les systèmes d'irrigations il est important de prévoir des dalots, des ponceaux ou un passage supérieur du tracé, selon les cas

- Pour la pollution sonore dans les zones urbanisé, et si les décibels dépassent le seuil minimum, il faut prévoir des digues, des éléments de construction formant un écran ou des merlons et cela subventionné entièrement.

-Prévoir des passages inférieurs dans les zones agricoles dans la mesure du possible afin de limiter le maximum les dégâts, ces zones étant particulièrement sensible.

-Concernant les zones forestières, même si le gain immédiat économique n'est pas présent, il est important de prévoir une campagne de reboisement des zones détruites.

- Pour assurer la sécurité des animaux dans les forêts, il faut prévoir une clôture totale de la rocade

- Pour ne pas perturber les écoulements d'eau naturelle (oueds), il faut essayer de diminuer les risques lors de la coupure des cours d'eau.

-recycler les déchets des habitations détruites, que ce soit la ferrailles ou le béton ainsi que le bois enlevé et les rails de l'ancienne voies, les transmettre vers des entreprises de recyclage publics.

XIII.5. Conclusion :

Notre projets, particulièrement gourmand en terme de terrain habité et agricoles, présente une sensible étendue d'impact sur la zones, requiert un véritable plan de gestion de l'environnement qui représentera un programme de suivi des mesures d'atténuation et de compensations des dégâts inévitable (délogements de tiers)

Chapitre XIV :

Modélisation de la
gare El Maten via la
capture de la réalité
3D-BIM en utilisant
les outils LEICA
GEOSYSTEM

XIV.1.introduction

Les travaux publics ont toujours été un domaine primordial dans le monde, la construction représente la société, c'est pourquoi on développe des technologies de plus en plus sophistiquées afin d'optimiser nos créations en terme de coût et de temps, la numérisation étant la dernière en date.

Nous avons choisi la gare El Maten afin de donner un exemple de la modélisation BIM en Algérie pour la première fois, La capture de la réalité de cette dernière va nous permettre de visualiser les différents atouts que cette méthode peut nous apporter dans le domaine de la construction en général.

XIV.2. Matériel et logiciel utilisés

Afin de modéliser cette gare en prenant en compte toutes les contraintes de la zone, nous nous sommes munis d'appareils tels que :

- Scanner 3D Leica-BLK 360
- Trépieds
- plusieurs cibles et ardoise
- Un ordinateur puissant
- Logiciel Leica-Cyclone 3dr, Leica-Jet stream viewer, Infracore.

XIV.3.Capture de la réalité :

Avant de modéliser notre gare, nous devons prendre en compte les contraintes du terrain, pour ce faire il a fallu aller sur chantier et définir les limites de notre gare qui s'étend du PK 55+350 jusqu'à 55+925

XIV.3.1.Fonctionnement du scanner 3D BLK 360



Figure XIV.1.Scanner 3D BLK 360 dans la gare El Maten

Notre scanner se contrôle à distance, via un Ipad qui règlera la qualité de la capture de points, il ne possède qu'un seul bouton et se fixe via un trépieds.

Il scan la zone en exactement 3minute, prenant plusieurs centaines de milliers de points à la minute, capturant les 3 coordonnées (X,Y,Z) de l'environnement.

Il se déclenchera en 3 phases :

1-La phase d'analyse de l'environnement : Le scanner fait un tour à 360 degré afin d'enregistrer les caractéristiques de l'environnement et créer son repère local, lui étant l'origine (0,0,0)

2-Prise de photo et température : Le scanner tourne une deux eme fois pendant 1 minute, il prend des photo de la zone ainsi que la température et les enregistre dans un plan 3D.

3-Nuages de points : Le scanner refait un tour, mettant des millions de points sur les photo prise en reconnaissant les coordonnées de ces derniers en fonction du repère local, il arrive à mettre des coordonnées à 60m à la ronde.

XIV.3.2.Utilisation sur la gare El Maten :

Nous avons utilisé 2 Scanner qu'on posera à 30m l'un de l'autre, nous avancerons ensuite de 30m jusqu'à ratisser tout le fuseau de la gare.



Figure XIV.2.Scan de la gare.

Le problème qui se pose, c'est que les scanner, comme expliqué précédemment, définisse la réalité selon leurs propre repère local, l'origine étant le point de pose du scan, afin de pouvoir créer un nuage entier composé de toutes les captures, il est important que les scanner aie des points de référence, afin de relier deux stations successive, c'est pourquoi nous utiliserons des cibles entre chacune et une avant/une après, afin que les deux capture reconnaisse la continuité du nuage.



Figure XIV .3 et 4 Les scanner positionné entre différentes cibles marquées par des chiffres distinctes

XIV.3.3.Création du nuage de points

Une fois la réalité capturé sur terrain, nous devons remettre les données capturé sur le logiciel Jet stream viewer afin de fusionner les stations (les détails des données capturé seront présent en annexe)

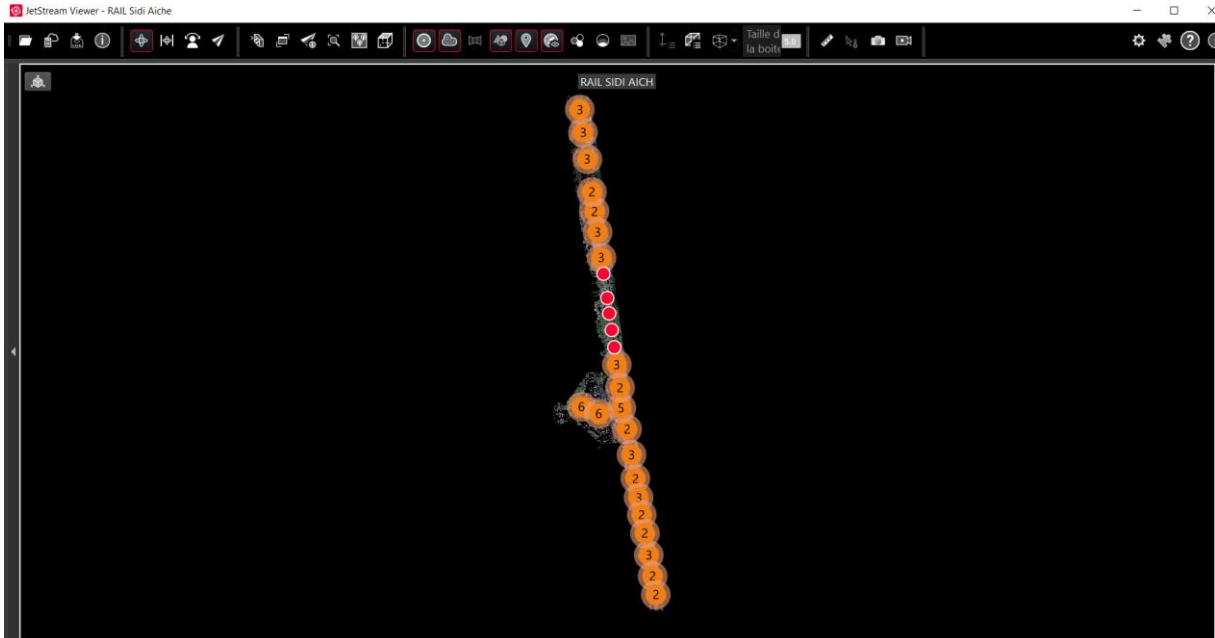


Figure XIV.5. Fusion des différentes prise via jet stream viewer

Une fois le nuage de points homogénéisé, nous pouvons lire le résultat entier



Figure XIV.6.Réalité capturé par Le scanner 3D

A comparer avec une photo réelle :



Figure XIV.7.Photo réelle de la gare El Maten.

Le nuage de points est ensuite uniformisé et devient une plateforme où nous pouvons modéliser tout en étant face aux véritables contraintes de la zone sur cyclone 3DR

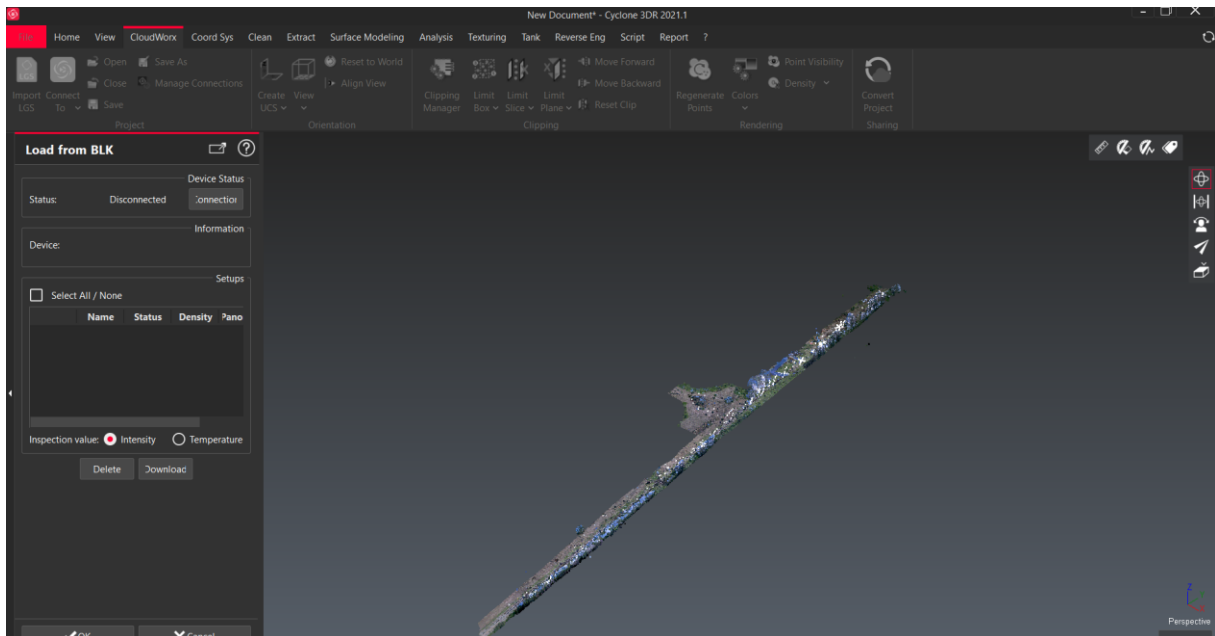


Figure XIV.8.Nuage de points entier du terrain naturel de la gare El Maten.

XIV.4. Modélisation

Afin de modéliser la gare, il est important de nettoyer notre terrain naturel, cyclone 3DR détectera automatiquement les cubatures, ensuite nous devons poser notre terrain sur le tracé aux pk correspondant via Infracore (Photo page suivante)

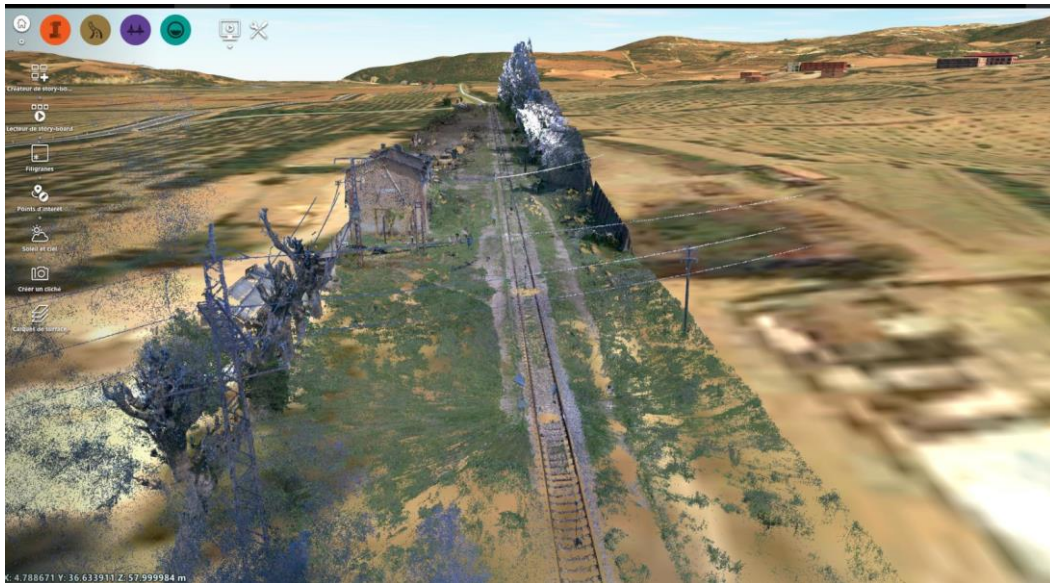


Figure XIV.9. Terrain naturel mis sur le tracé directement.

Nous pouvons très aisément modéliser les composantes de la gare en vérifiant automatiquement les dimensions par rapports aux contraintes du terrain, s'il y a un surdimensionnement quelconque du plan de la gare, nous le détecterons immédiatement



Figure XIV.10. Plan de la gare El Maten

Sur infraworks nous pouvons maintenant travailler directement sur notre terrain naturel exact, respectant les dimensions tout en corrigeant la conception si on la voit non compatible avec la largeur du terrain, le résultat est représenté ci-dessous :



Figure XIV.12. Entrée du parking de la gare El Maten et sa liaison avec la voie routière



Figure XIV.13. Modélisation de la gare El Maten en respectant le plan (quais, bâtiment, parking, Passage supérieur et caténaire)

XIV.5. Conclusion

La numérisation via capture de la réalité nous a permis de vérifier la concordance des dimensionnement avec la réalité sans aucun travaux, nous avons pu modéliser directement sur le terrain naturel et détecter les anomalies et corrections éventuels à faire en terme de terrassement par exemple, offrant un gain de temps et d'argent très considérable.

Chapitre XV

Devis quantitatif estimatif

XV.1.Introduction

Pour chaque projet de construction, l'aspect économique est primordial est complète totalement la partie technique, c'est pourquoi qu'il faut toujours présenter un devis estimatif quantitatif de notre ouvrage, ici nous présenterons les différentes quantités et prix correspondant à notre infrastructure de 20km

N	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT (DA)	Montant HT
1-Installation de chantier et études d'exécution					
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	100 000 000.00	100 000 000.00
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	30 000 000.00	30 000 000.00
1.3	Etude d'exécution	F	1.00	150 000 000.00	150 000 000.00
Total					280 000 000.00
2-Terrassement généraux					
2.1	Décapage des terres végétal d'une ep de 0.8m	M3	677 590.00	300.00	203277000.00
2.2	Déblai mis en remblais	M3	3650962	350.00	1277836700.00
2.3	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	M3	2396495	900.00	2156845500.00
2.4	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0.5m d'ep	M3	116455.37	1200.00	139746444.00
2.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous-ballast de 0.2m	M3	41259.26	3200.00	132029632.00
Total 2					3909735276.00
3-Ouvrage hydraulique					
3.1	Buse circulaire 1000	ML	180	35 000.00	63 00 000.00
3.2	Buse circulaire 1500	ML	112	50 000.00	65 000 00.00
3.3	Dalot type 2	M3	375	35 000.00	131 25 000.00
3.4	Dalot type 3	M3	270	35 000.00	9450 000.00
3.5	Dalot type 4	M3	360	35 000.00	126 00 000.00
3.6	Dalot type 5	M3	262.5	35 000.00	91 875 00.00

3.7	Fossé trapézoïdaux en béton armé	ML	5400	6500.00	35 100 000.00
Total 3					91362500.00
4-Travaux de voie					
4.1	Fourniture et pose de ballast ép 0.3m	M3	89507	7000.00	626 549 000.00
4.2	Pose de voie UIC 54	ML	43863.2	6500.00	285 110 800.00
4.3	Soudage aluminothermique	U	305	9500.00	2 897 500.00
4.4	Soudage électrique	U	4569	9500.00	43 405 500.00
Total 4					957 962 800.00
5-Fourniture de matériel et matériaux de voie					
5.1	Fourniture des rails neuf UIC 54(54.43kg/m)	T	4775	125 000.00	22 800 532.00
5.2	Fourniture des traverse en béton armé B440	U	73105	5 700.00	416 698 500.00
5.3	Attache nabla	U	146210	850.00	124 278 500.00
5.4.1	Pose d'un appareil de voie UIC 54-500-1/12	U	12	550 000.00	6 600 000.00
5.4.2	Pose d'un appareil de voie UIC 54-300-1/9	U	4	500 000.00	2 000 000.00
5.5.1	Appareil de voie UIC 54-500-1/12	U	12	11 200 000.00	134 400 000.00
5.5.2	Appareil de voie UIC 54-300-1/9	U	4	9 800 000.00	39 200 000.00
Total 5					745 977 532.00
6-batiment, voierie quais et parking					
6.1	Voieries parking	M ²	9450	5000.00	47 250 000.00
6.2	Bâtiment de voyageur	M ²	30 000	30 000.00	900 000 000.00
6.3	Quais y compris aménagement annexe	M ²	13457	5000.00	67 285 000.00
Total 6					967 285 000.00
7-Signalisation					
7.1	Signalisation ferroviaire				4 328 650.00
Total complet					6956651758.00
Total complet avec TVA (+19%)					8278415592.00

Conclusion générale

Le transport ferroviaire, depuis la révolution technologique, est considéré comme le poumon de l'économie des pays développés, il a permis notamment à l'Amérique de trôner mondialement et à la Chine de se relever.

L'Algérie étant un pays en voie de développement, le chemin ferroviaire est l'infrastructure idéale afin de rapprocher les idées, réduire les distances et les temps de voyages ainsi qu'améliorer la rentabilité économique du pays, le train étant rapide, n'a aucune contrainte de trafic (circulation) et peut transporter de très grandes charges, c'est pourquoi notre projet, s'inscrivant dans une optique de développement national, s'est vu accordé un montant de 8278415592.00 DA

Notre projet, relié au port de Béjaïa, représente un enjeu économique important, le train étant mixte (voyageur-marchandise), la modernisation consistera à augmenter la vitesse afin d'améliorer sa rentabilité, Nous avons dû nous adapter à un environnement complexe d'une topographie particulièrement accidentée possédant un parc d'ouvrage très fourni.

La mise en double voie La mise à double voie de la ligne ferroviaire Beni Mansour-Béjaïa, est très spécifique vu le nombre d'avantages qu'elle offre, fluidifier le transport ferroviaire, réduire le temps de parcours ainsi que soulager le trafic routier.

Nous avons tenté, dans notre démarche, de faire face à grand nombre de contraintes et résoudre chacun des problèmes rencontrés en respectant les recommandations en vigueur (UIC, SNC, SNTF)

Ce fut l'occasion de prendre en main un grand nombre de logiciels (Autocad, civil 3d, cyclone 3dr, recap, infraworks, geo studio...) et de palier nos connaissances théoriques à la réalité du terrain, découvrant que nous avons eu une formation complète et efficace.

La numérisation a également été abordée en partenariat avec LEICA GEOSYSTEM en découvrant le principe de la capture 3D de la réalité via des appareils technologiques ultra modernes (scanner 3D BLK 360)

Et grâce à tout cela, nous avons complété notre formation au sein de l'Ecole nationale supérieure des travaux publics d'Alger et acquis une certaine expérience de chantier.

La bibliographie

- [1] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : <https://www.sntf.dz/>, consulté en ligne le 02 Avril 2017.
- [2] RPOA 2008.
- [3] les normes UIC (703 R). Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.2ème édition.
- [4] les normes UIC (703 R). Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.2ème édition.
- [5] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.
- [6] ASTALDI, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [7] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [8] ASTALDI, « Rapport de synthèse géotechnique »
- [9] UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.
- [10] L'Association Française de Normalisation (AFNOR), Sol : reconnaissances et essais- Description, identification et dénomination des sols-Terminologie et éléments de classification, référence : XP P 94-0110, Aout 1999.
- [11] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires, 22/12/2005
- [12] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
- [13] norme SNTF chapitre. 10
- [14] Jean Alias « la voie ferrée » 2° édition 1984

Courbe	Abscisse curviligne de départ	Abscisse curviligne de fin	Longueur	Chevauchement
Courbe.1				
Zone de transition entrante	39927.24m	39977.24m	50.000m	NON
Fin des rails de niveau	39927.24m			
Début du dévers de rail complet	39977.24m			
Début de la courbe	39977.24m			
Zone de transition sortante	41644.27m	41694.27m	50.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	41644.27m			
Fin de la courbe	41644.27m			
Début des rails de niveau	41694.27m			
Courbe.2				
Zone de transition entrante	43631.98m	43671.98m	40.000m	NON
Fin des rails de niveau	43631.98m			
Début du dévers de rail complet	43671.98m			
Début de la courbe	43671.98m			
Zone de transition sortante	44988.03m	45028.03m	40.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	44988.03m			
Fin de la courbe	44988.03m			
Début des rails de niveau	45028.03m			
Courbe.7				
Zone de transition entrante	46167.76m	46267.76m	100.000m	NON
Fin des rails de niveau	46167.76m			
Début du dévers de rail complet	46267.76m			
Début de la courbe	46267.76m			
Zone de transition sortante	47143.93m	47243.93m	100.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	47143.93m			
Fin de la courbe	47143.93m			
Début des rails de niveau	47243.93m			
Courbe.8				
Zone de transition entrante	47453.65m	47603.65m	150.000m	NON
Fin des rails de niveau	47453.65m			

Début du dévers de rail complet	47603.65m			
Début de la courbe	47603.65m			
Zone de transition sortante	48612.50m	48762.50m	150.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	48612.50m			
Fin de la courbe	48612.50m			
Début des rails de niveau	48762.50m			
Courbe.9				
Zone de transition entrante	48852.02m	48922.02m	70.000m	NON
Fin des rails de niveau	48852.02m			
Début du dévers de rail complet	48922.02m			
Début de la courbe	48922.02m			
Zone de transition sortante	50342.04m	50412.04m	70.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	50342.04m			
Fin de la courbe	50342.04m			
Début des rails de niveau	50412.04m			
Courbe.10				
Zone de transition entrante	50511.23m	50611.23m	100.000m	NON
Fin des rails de niveau	50511.23m			
Début du dévers de rail complet	50611.23m			
Début de la courbe	50611.23m			
Zone de transition sortante	51926.80m	52026.80m	100.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	51926.80m			
Fin de la courbe	51926.80m			
Début des rails de niveau	52026.80m			
Courbe.11				
Zone de transition entrante	52107.32m	52217.32m	110.000m	NON
Fin des rails de niveau	52107.32m			
Début du dévers de rail complet	52217.32m			
Début de la courbe	52217.32m			
Zone de transition sortante	53186.37m	53296.37m	110.000m	NON

Fin du dévers de rail complet	53186.37m			
Fin de la courbe	53186.37m			
Début des rails de niveau	53296.37m			
Courbe.6				
Zone de transition entrante	53366.76m	53496.76m	130.000m	NON
Fin des rails de niveau	53366.76m			
Début du dévers de rail complet	53496.76m			
Début de la courbe	53496.76m			
Zone de transition sortante	54079.30m	54209.30m	130.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	54079.30m			
Fin de la courbe	54079.30m			
Début des rails de niveau	54209.30m			
Courbe.3				
Zone de transition entrante	54278.32m	54398.32m	120.000m	NON
Fin des rails de niveau	54278.32m			
Début du dévers de rail complet	54398.32m			
Début de la courbe	54398.32m			
Zone de transition sortante	54678.90m	54798.90m	120.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	54678.90m			
Fin de la courbe	54678.90m			
Début des rails de niveau	54798.90m			
Courbe.4				
Zone de transition entrante	57383.37m	57493.37m	110.000m	NON
Fin des rails de niveau	57383.37m			
Début du dévers de rail complet	57493.37m			
Début de la courbe	57493.37m			
Zone de transition sortante	57818.16m	57928.16m	110.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	57818.16m			
Fin de la courbe	57818.16m			
Début des rails de niveau	57928.16m			
Courbe.5				

Annexe

Zone de transition entrante	59737.17m	59837.17m	100.000m	NON
Fin des rails de niveau	59737.17m			
Début du dévers de rail complet	59837.17m			
Début de la courbe	59837.17m			
Zone de transition sortante	60327.95m	60427.95m	100.000m	NON
Fin du dévers de rail complet	60327.95m			
Fin de la courbe	60327.95m			
Début des rails de niveau	60427.95m			

	Dévers Pratique	Dévers Théorique	Insuffisance de dévers
Courbe.1			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	55.000mm	100.693mm	45.693mm
Début de la courbe		100.693mm	
Zone de transition sortante			

Fin du dévers de rail complet	55.000mm	100.693mm	45.693mm
Fin de la courbe		100.693mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.2			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	35.000mm	60.416mm	25.416mm
Début de la courbe		60.416mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	35.000mm	60.416mm	25.416mm
Fin de la courbe		60.416mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.7			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	110.000mm	201.387mm	91.387mm
Début de la courbe		201.387mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	110.000mm	201.387mm	91.387mm
Fin de la courbe		201.387mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.8			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	165.000mm	302.080mm	137.080mm
Début de la courbe		302.080mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	165.000mm	302.080mm	137.080mm
Fin de la courbe		302.080mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.9			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	75.000mm	137.309mm	62.309mm
Début de la courbe		137.309mm	

Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	75.000mm	137.309mm	62.309mm
Fin de la courbe		137.309mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.10			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	110.000mm	201.387mm	91.387mm
Début de la courbe		201.387mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	110.000mm	201.387mm	91.387mm
Fin de la courbe		201.387mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.11			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	120.000mm	218.899mm	98.899mm
Début de la courbe		218.899mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	120.000mm	218.899mm	98.899mm
Fin de la courbe		218.899mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.6			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	140.000mm	251.733mm	111.733mm
Début de la courbe		251.733mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	140.000mm	251.733mm	111.733mm
Fin de la courbe		251.733mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.3			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	130.000mm	232.369mm	102.369mm

Début de la courbe		232.369mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	130.000mm	232.369mm	102.369mm
Fin de la courbe		232.369mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.4			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	120.000mm	215.771mm	95.771mm
Début de la courbe		215.771mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	120.000mm	215.771mm	95.771mm
Fin de la courbe		215.771mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Courbe.5			
Zone de transition entrante			
Fin des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm
Début du dévers de rail complet	110.000mm	201.387mm	91.387mm
Début de la courbe		201.387mm	
Zone de transition sortante			
Fin du dévers de rail complet	110.000mm	201.387mm	91.387mm
Fin de la courbe		201.387mm	
Début des rails de niveau	0.000mm	0.000mm	0.000mm

Profil en long : LROUGE

Description:

LONGUEUR DE L'AXE : 20315.890m

Élément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			40156.50	112.511
ARC0	S= 40214.94 Z=112.628			
	R= -10000.000	116.873		
			40273.38	113.428
D1	PENTE= 1.37%	261.362		
			40534.74	117.006
ARC1	S= 40649.93 Z=118.582			
	R= -9000.000	230.390		
			40765.13	117.210
D2	PENTE= -1.19%	498.414		
			41263.54	111.273
ARC2	S= 41311.27 Z=110.704			
	R= -20000.000	95.464		
			41359.01	110.364
D3	PENTE= -0.71%	1035.368		
			42394.38	102.973
ARC3	S= 42440.77 Z=102.641			
	R= -13000.000	92.799		
			42487.17	102.641
D4	PENTE= 0.00%	922.687		
			43409.86	102.641
ARC4	S= 43476.97 Z=102.641			
	R= -9000.000	134.213		
			43544.07	103.642
D5	PENTE= 1.49%	1878.915		
			45422.99	131.665
ARC5	S= 45490.09 Z=132.665			
	R= -9000.000	134.213		
			45557.20	132.665
D6	PENTE= 0.00%	780.540		
			46337.74	132.665

Annexe

ARC6	S= 46400.10 Z=132.665			
	R= -9000.000	124.702		
			46462.44	131.801
D7	PENTE= -1.39%	2950.105		
			49412.55	90.921
ARC7	S= 49499.95 Z=89.710			
	R= -9000.000	174.801		
			49587.35	90.197
D8	PENTE= 0.56%	545.909		
			50133.26	93.236
ARC8	S= 50188.43 Z=93.543			
	R= -10000.000	110.347		
			50243.61	93.241
D9	PENTE= -0.55%	520.805		
			50764.41	90.393
ARC9	S= 50822.48 Z=90.076			
	R= -15000.000	116.139		
			50880.55	89.309
D10	PENTE= -1.32%	912.525		
			51793.08	77.252
ARC10	S= 51850.00 Z=76.500			
	R= -9000.000	113.854		
			51906.93	76.468
D11	PENTE= -0.06%	632.428		
			52539.36	76.114
ARC11	S= 52600.00 Z=76.080			
	R= -18000.000	121.283		
			52660.64	75.638
D12	PENTE= -0.73%	1841.013		
			54501.65	62.201
ARC12	S= 54545.44 Z=61.882			
	R= -12000.000	87.578		
			54589.23	61.882
D13	PENTE= -0.00%	2064.551		
			56653.78	61.882
ARC13	S= 56706.16 Z=61.882			
	R= -10000.000	104.759		
			56758.54	61.333

Annexe

D14	PENTE= -1.05%	777.860		
			57536.40	53.184
ARC14	S= 57650.59 Z=51.987			
	R= -9000.000	228.368		
			57764.77	53.689
D15	PENTE= 1.49%	508.488		
			58273.26	61.265
ARC15	S= 58407.28 Z=63.262			
	R= -9000.000	268.044		
			58541.30	61.267
D16	PENTE= -1.49%	1005.346		
			59546.65	46.301
ARC16	S= 59600.00 Z=45.507			
	R= -20000.000	106.710		
			59653.36	44.998
D17	PENTE= -0.95%	596.643		
			60250.00	39.300

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client:

Client

Client Company

Address 1

Date: 18/06/2021 19:32:53

Prepared by:

Preparer

Your Company Name

123 Main Street

Profil en long : LROUGE

Description:

Plage d'abscisse : Début: 39934.11, Fin: 60250.00

LONGUEUR DE L'AXE : 20315.890m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abcisse	Z
			40156.50	112.511
ARC0	S= 40214.94 Z=112.628			
	R= -10000.000	116.873		
			40273.38	113.428
D1	PENTE= 1.37%	261.362		
			40534.74	117.006
ARC1	S= 40649.93 Z=118.582			
	R= -9000.000	230.390		
			40765.13	117.210
D2	PENTE= -1.19%	498.414		
			41263.54	111.273
ARC2	S= 41311.27 Z=110.704			
	R= -20000.000	95.464		
			41359.01	110.364
D3	PENTE= -0.71%	1035.368		
			42394.38	102.973
ARC3	S= 42440.77 Z=102.641			
	R= -13000.000	92.799		
			42487.17	102.641
D4	PENTE= 0.00%	922.687		
			43409.86	102.641
ARC4	S= 43476.97 Z=102.641			
	R= -9000.000	134.213		
			43544.07	103.642
D5	PENTE= 1.49%	1878.915		
			45422.99	131.665
ARC5	S= 45490.09 Z=132.665			
	R= -9000.000	134.213		
			45557.20	132.665
D6	PENTE= 0.00%	780.540		

			46337.74	132.665
ARC6	S= 46400.10 Z=132.665			
	R= -9000.000	124.702		
			46462.44	131.801
D7	PENTE= -1.39%	2950.105		
			49412.55	90.921
ARC7	S= 49499.95 Z=89.710			
	R= -9000.000	174.801		
			49587.35	90.197
D8	PENTE= 0.56%	545.909		
			50133.26	93.236
ARC8	S= 50188.43 Z=93.543			
	R= -10000.000	110.347		
			50243.61	93.241
D9	PENTE= -0.55%	520.805		
			50764.41	90.393
ARC9	S= 50822.48 Z=90.076			
	R= -15000.000	116.139		
			50880.55	89.309
D10	PENTE= -1.32%	912.525		
			51793.08	77.252
ARC10	S= 51850.00 Z=76.500			
	R= -9000.000	113.854		
			51906.93	76.468
D11	PENTE= -0.06%	632.428		
			52539.36	76.114
ARC11	S= 52600.00 Z=76.080			
	R= -18000.000	121.283		
			52660.64	75.638
D12	PENTE= -0.73%	1841.013		
			54501.65	62.201
ARC12	S= 54545.44 Z=61.882			
	R= -12000.000	87.578		
			54589.23	61.882
D13	PENTE= -0.00%	2064.551		
			56653.78	61.882
ARC13	S= 56706.16 Z=61.882			
	R= -10000.000	104.759		
			56758.54	61.333
D14	PENTE= -1.05%	777.860		
			57536.40	53.184
ARC14	S= 57650.59 Z=51.987			
	R= -9000.000	228.368		

			57764.77	53.689
D15	PENTE= 1.49%	508.488		
			58273.26	61.265
ARC15	S= 58407.28 Z=63.262			
	R= -9000.000	268.044		
			58541.30	61.267
D16	PENTE= -1.49%	1005.346		
			59546.65	46.301
ARC16	S= 59600.00 Z=45.507			
	R= -20000.000	106.710		
			59653.36	44.998
D17	PENTE= -0.95%	596.643		
			60250.00	39.300

Profilé : Tabulations

Client:

Client

Client Company

Address 1

Date: 18/06/2021 19:36:32

Prepared by:

Preparer

Your Company Name

123 Main Street

Axe en plan: Alignment 01

Description:

Plage d'abscisse : Début 39200.00 - Fin 61181.71

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
Alignment 01 - 392+00.00	39200.00			647393.0059	4047517.9560	vertical	vertical
Alignment 01 - 392+50.00	39250.00			647403.1234	4047566.9216	vertical	vertical
Alignment 01 - 393+00.00	39300.00			647413.2410	4047615.8873	vertical	vertical
Alignment 01 - 393+50.00	39350.00			647423.3585	4047664.8530	vertical	vertical
Alignment 01 - 394+00.00	39400.00			647433.4760	4047713.8186	vertical	vertical
Alignment 01 - 394+50.00	39450.00			647443.5935	4047762.7843	vertical	vertical
Alignment 01 - 395+00.00	39500.00			647453.7110	4047811.7499	vertical	vertical
Alignment 01 - 395+50.00	39550.00			647463.8285	4047860.7156	vertical	vertical
Alignment 01 - 396+00.00	39600.00			647473.9461	4047909.6813	vertical	vertical
Alignment 01 - 396+50.00	39650.00			647484.0636	4047958.6469	vertical	vertical
Alignment 01 - 397+00.00	39700.00			647494.1811	4048007.6126	vertical	vertical
Alignment 01 - 397+50.00	39750.00			647504.2986	4048056.5782	vertical	vertical
Alignment 01 - 398+00.00	39800.00			647514.4161	4048105.5439	vertical	vertical
Alignment 01 - 398+50.00	39850.00			647524.5337	4048154.5095	vertical	vertical
Alignment 01 - 399+00.00	39900.00			647534.6512	4048203.4752	vertical	vertical
Alignment 01 - 399+27.24	39927.24			647540.1631	4048230.1514	vertical	vertical
Alignment 01 - 399+50.00	39950.00	106.039	112.098	647544.7815	4048252.4382	vertical	vertical
Alignment 01 - 399+77.24	39977.24	104.752	112.153	647550.4166	4048279.0886	vertical	vertical
Alignment 01 - 400+00.00	40000.00	104.254	112.198	647555.2921	4048301.3205	vertical	vertical
Alignment 01 - 400+50.00	40050.00	105.892	112.298	647566.5940	4048350.0259	vertical	vertical
Alignment 01 - 401+00.00	40100.00	104.982	112.398	647578.7060	4048398.5361	vertical	vertical
Alignment 01 - 401+50.00	40150.00	105.740	112.498	647591.6248	4048446.8377	vertical	vertical
Alignment 01 - 402+00.00	40200.00	109.514	112.693	647605.3468	4048494.9173	vertical	vertical
Alignment 01 - 402+50.00	40250.00	123.887	113.135	647619.8682	4048542.7616	vertical	vertical
Alignment 01 - 403+00.00	40300.00	144.758	113.792	647635.1850	4048590.3571	vertical	vertical
Alignment 01 - 403+50.00	40350.00	156.564	114.477	647651.2928	4048637.6908	vertical	vertical
Alignment 01 - 404+00.00	40400.00	153.970	115.161	647668.1873	4048684.7495	vertical	vertical
Alignment 01 - 404+50.00	40450.00	149.299	115.846	647685.8636	4048731.5201	vertical	vertical
Alignment 01 - 405+00.00	40500.00	140.080	116.530	647704.3171	4048777.9896	vertical	vertical
Alignment 01 - 405+50.00	40550.00	128.482	117.202	647723.5424	4048824.1451	vertical	vertical
Alignment 01 - 406+00.00	40600.00	121.485	117.662	647743.5342	4048869.9738	vertical	vertical

Alignment 01 - 406+50.00	40650.00	120.442	117.845	647764.2871	4048915.4629	vertical	vertical
Alignment 01 - 407+00.00	40700.00	117.360	117.750	647785.7951	4048960.5999	vertical	vertical
Alignment 01 - 407+50.00	40750.00	113.204	117.378	647808.0525	4049005.3721	vertical	vertical
Alignment 01 - 408+00.00	40800.00	108.887	116.795	647831.0529	4049049.7672	vertical	vertical
Alignment 01 - 408+10.75	40810.75	108.006	116.667	647836.0957	4049059.2641	vertical	vertical
Alignment 01 - 408+50.00	40850.00	105.669	116.199	647854.7900	4049093.7728	vertical	vertical
Alignment 01 - 409+00.00	40900.00	105.496	115.604	647879.2572	4049137.3766	vertical	vertical
Alignment 01 - 409+50.00	40950.00	104.438	115.008	647904.4478	4049180.5667	vertical	vertical
Alignment 01 - 410+00.00	41000.00	104.640	114.412	647930.3546	4049223.3309	vertical	vertical
Alignment 01 - 410+50.00	41050.00	103.580	113.817	647956.9705	4049265.6574	vertical	vertical
Alignment 01 - 411+00.00	41100.00	103.927	113.221	647984.2881	4049307.5345	vertical	vertical
Alignment 01 - 411+50.00	41150.00	104.400	112.625	648012.2999	4049348.9505	vertical	vertical
Alignment 01 - 412+00.00	41200.00	105.622	112.030	648040.9980	4049389.8939	vertical	vertical
Alignment 01 - 412+50.00	41250.00	107.809	111.434	648070.3744	4049430.3533	vertical	vertical
Alignment 01 - 413+00.00	41300.00	108.303	110.872	648100.4211	4049470.3175	vertical	vertical
Alignment 01 - 413+50.00	41350.00	110.445	110.430	648131.1297	4049509.7754	vertical	vertical
Alignment 01 - 414+00.00	41400.00	111.694	110.071	648162.4916	4049548.7161	vertical	vertical
Alignment 01 - 414+50.00	41450.00	111.625	109.714	648194.4981	4049587.1287	vertical	vertical
Alignment 01 - 415+00.00	41500.00	108.494	109.357	648227.1403	4049625.0025	vertical	vertical
Alignment 01 - 415+50.00	41550.00	111.034	109.000	648260.4092	4049662.3270	vertical	vertical
Alignment 01 - 416+00.00	41600.00	113.713	108.643	648294.2956	4049699.0919	vertical	vertical
Alignment 01 - 416+44.27	41644.27	114.256	108.327	648324.8034	4049731.1652	vertical	vertical
Alignment 01 - 416+50.00	41650.00	114.051	108.286	648328.7898	4049735.2871	vertical	vertical
Alignment 01 - 416+94.27	41694.27	112.133	107.970	648359.7291	4049766.9448	vertical	vertical
Alignment 01 - 417+00.00	41700.00	111.929	107.929	648363.7459	4049771.0370	vertical	vertical
Alignment 01 - 417+50.00	41750.00	109.087	107.572	648398.7710	4049806.7196	vertical	vertical
Alignment 01 - 418+00.00	41800.00	108.227	107.216	648433.7960	4049842.4022	vertical	vertical
Alignment 01 - 418+50.00	41850.00	108.178	106.859	648468.8211	4049878.0848	vertical	vertical
Alignment 01 - 419+00.00	41900.00	107.491	106.502	648503.8461	4049913.7673	vertical	vertical
Alignment 01 - 419+50.00	41950.00	107.240	106.145	648538.8712	4049949.4499	vertical	vertical
Alignment 01 - 420+00.00	42000.00	106.407	105.788	648573.8963	4049985.1325	vertical	vertical
Alignment 01 - 420+50.00	42050.00	105.066	105.431	648608.9213	4050020.8150	vertical	vertical
Alignment 01 - 421+00.00	42100.00	104.859	105.074	648643.9464	4050056.4976	vertical	vertical
Alignment 01 - 421+50.00	42150.00	105.722	104.717	648678.9714	4050092.1802	vertical	vertical
Alignment 01 - 422+00.00	42200.00	104.423	104.360	648713.9965	4050127.8627	vertical	vertical
Alignment 01 - 422+50.00	42250.00	103.153	104.003	648749.0215	4050163.5453	vertical	vertical
Alignment 01 - 423+00.00	42300.00	104.314	103.646	648784.0466	4050199.2279	vertical	vertical
Alignment 01 - 423+50.00	42350.00	104.979	103.289	648819.0716	4050234.9104	vertical	vertical
Alignment 01 - 424+00.00	42400.00	102.698	102.934	648854.0967	4050270.5930	vertical	vertical
Alignment 01 - 424+50.00	42450.00	102.937	102.694	648889.1217	4050306.2756	vertical	vertical
Alignment 01 - 425+00.00	42500.00	102.962	102.641	648924.1468	4050341.9581	vertical	vertical
Alignment 01 - 425+50.00	42550.00	102.751	102.641	648959.1718	4050377.6407	vertical	vertical
Alignment 01 - 426+00.00	42600.00	103.336	102.641	648994.1969	4050413.3233	vertical	vertical

Alignment 01 - 426+50.00	42650.00	105.636	102.641	649029.2220	4050449.0058	vertical	vertical
Alignment 01 - 427+00.00	42700.00	104.556	102.641	649064.2470	4050484.6884	vertical	vertical
Alignment 01 - 427+50.00	42750.00	102.775	102.641	649099.2721	4050520.3710	vertical	vertical
Alignment 01 - 428+00.00	42800.00	102.418	102.641	649134.2971	4050556.0535	vertical	vertical
Alignment 01 - 428+50.00	42850.00	102.030	102.641	649169.3222	4050591.7361	vertical	vertical
Alignment 01 - 429+00.00	42900.00	101.118	102.641	649204.3472	4050627.4187	vertical	vertical
Alignment 01 - 429+50.00	42950.00	101.426	102.641	649239.3723	4050663.1012	vertical	vertical
Alignment 01 - 430+00.00	43000.00	101.071	102.641	649274.3973	4050698.7838	vertical	vertical
Alignment 01 - 430+50.00	43050.00	99.076	102.641	649309.4224	4050734.4664	vertical	vertical
Alignment 01 - 431+00.00	43100.00	98.450	102.641	649344.4474	4050770.1489	vertical	vertical
Alignment 01 - 431+50.00	43150.00	99.467	102.641	649379.4725	4050805.8315	vertical	vertical
Alignment 01 - 432+00.00	43200.00	102.593	102.641	649414.4975	4050841.5141	vertical	vertical
Alignment 01 - 432+50.00	43250.00	101.685	102.641	649449.5226	4050877.1966	vertical	vertical
Alignment 01 - 433+00.00	43300.00	100.476	102.641	649484.5477	4050912.8792	vertical	vertical
Alignment 01 - 433+50.00	43350.00	101.322	102.641	649519.5727	4050948.5618	vertical	vertical
Alignment 01 - 434+00.00	43400.00	99.014	102.641	649554.5978	4050984.2443	vertical	vertical
Alignment 01 - 434+50.00	43450.00	99.229	102.731	649589.6228	4051019.9269	vertical	vertical
Alignment 01 - 435+00.00	43500.00	99.295	103.093	649624.6479	4051055.6095	vertical	vertical
Alignment 01 - 435+50.00	43550.00	97.850	103.730	649659.6729	4051091.2920	vertical	vertical
Alignment 01 - 436+00.00	43600.00	97.671	104.476	649694.6980	4051126.9746	vertical	vertical
Alignment 01 - 436+31.98	43631.98	96.696	104.953	649717.1014	4051149.7986	vertical	vertical
Alignment 01 - 436+50.00	43650.00	96.462	105.222	649729.7265	4051162.6538	vertical	vertical
Alignment 01 - 436+71.98	43671.98	95.308	105.550	649745.1595	4051178.3072	vertical	vertical
Alignment 01 - 437+00.00	43700.00	95.214	105.968	649764.9216	4051198.1684	vertical	vertical
Alignment 01 - 437+50.00	43750.00	96.675	106.713	649800.4639	4051233.3355	vertical	vertical
Alignment 01 - 438+00.00	43800.00	95.201	107.459	649836.3560	4051268.1455	vertical	vertical
Alignment 01 - 438+50.00	43850.00	93.549	108.205	649872.5944	4051302.5948	vertical	vertical
Alignment 01 - 439+00.00	43900.00	96.657	108.950	649909.1755	4051336.6800	vertical	vertical
Alignment 01 - 439+50.00	43950.00	97.608	109.696	649946.0957	4051370.3977	vertical	vertical
Alignment 01 - 440+00.00	44000.00	95.417	110.442	649983.3511	4051403.7445	vertical	vertical
Alignment 01 - 440+50.00	44050.00	96.189	111.188	650020.9382	4051436.7171	vertical	vertical
Alignment 01 - 441+00.00	44100.00	96.949	111.933	650058.8531	4051469.3122	vertical	vertical
Alignment 01 - 441+50.00	44150.00	93.758	112.679	650097.0920	4051501.5265	vertical	vertical
Alignment 01 - 442+00.00	44200.00	89.540	113.425	650135.6512	4051533.3568	vertical	vertical
Alignment 01 - 442+50.00	44250.00	89.011	114.170	650174.5267	4051564.8000	vertical	vertical
Alignment 01 - 443+00.00	44300.00	89.701	114.916	650213.7147	4051595.8528	vertical	vertical
Alignment 01 - 443+30.01	44330.01	91.064	115.364	650237.3814	4051614.3001	vertical	vertical
Alignment 01 - 443+50.00	44350.00	91.947	115.662	650253.2113	4051626.5122	vertical	vertical
Alignment 01 - 444+00.00	44400.00	89.847	116.408	650293.0125	4051656.7751	vertical	vertical
Alignment 01 - 444+50.00	44450.00	88.472	117.153	650333.1144	4051686.6385	vertical	vertical
Alignment 01 - 445+00.00	44500.00	88.287	117.899	650373.5128	4051716.0994	vertical	vertical
Alignment 01 - 445+50.00	44550.00	95.788	118.645	650414.2039	4051745.1548	vertical	vertical
Alignment 01 - 446+00.00	44600.00	102.419	119.390	650455.1834	4051773.8019	vertical	vertical

Alignment 01 - 446+50.00	44650.00	118.186	120.136	650496.4474	4051802.0378	vertical	vertical
Alignment 01 - 447+00.00	44700.00	138.758	120.882	650537.9917	4051829.8596	vertical	vertical
Alignment 01 - 447+50.00	44750.00	150.637	121.628	650579.8121	4051857.2646	vertical	vertical
Alignment 01 - 448+00.00	44800.00	164.980	122.373	650621.9044	4051884.2500	vertical	vertical
Alignment 01 - 448+50.00	44850.00	175.060	123.119	650664.2645	4051910.8132	vertical	vertical
Alignment 01 - 449+00.00	44900.00	182.810	123.865	650706.8881	4051936.9514	vertical	vertical
Alignment 01 - 449+50.00	44950.00	188.832	124.610	650749.7710	4051962.6621	vertical	vertical
Alignment 01 - 449+88.03	44988.03	191.350	125.178	650782.5603	4051981.9308	vertical	vertical
Alignment 01 - 450+00.00	45000.00	192.283	125.356	650792.9081	4051987.9439	vertical	vertical
Alignment 01 - 450+28.03	45028.03	193.156	125.774	650817.1768	4052001.9731	vertical	vertical
Alignment 01 - 450+50.00	45050.00	193.522	126.102	650836.2030	4052012.9550	vertical	vertical
Alignment 01 - 451+00.00	45100.00	191.774	126.847	650879.5070	4052037.9501	vertical	vertical
Alignment 01 - 451+50.00	45150.00	189.342	127.593	650922.8111	4052062.9453	vertical	vertical
Alignment 01 - 452+00.00	45200.00	195.179	128.339	650966.1151	4052087.9404	vertical	vertical
Alignment 01 - 452+50.00	45250.00	201.556	129.085	651009.4192	4052112.9356	vertical	vertical
Alignment 01 - 453+00.00	45300.00	207.060	129.830	651052.7233	4052137.9307	vertical	vertical
Alignment 01 - 453+50.00	45350.00	208.090	130.576	651096.0273	4052162.9259	vertical	vertical
Alignment 01 - 454+00.00	45400.00	202.232	131.322	651139.3314	4052187.9211	vertical	vertical
Alignment 01 - 454+50.00	45450.00	196.003	132.027	651182.6355	4052212.9162	vertical	vertical
Alignment 01 - 455+00.00	45500.00	185.146	132.484	651225.9395	4052237.9114	vertical	vertical
Alignment 01 - 455+50.00	45550.00	173.113	132.663	651269.2436	4052262.9065	vertical	vertical
Alignment 01 - 456+00.00	45600.00	163.301	132.665	651312.5477	4052287.9017	vertical	vertical
Alignment 01 - 456+50.00	45650.00	155.689	132.665	651355.8517	4052312.8969	vertical	vertical
Alignment 01 - 457+00.00	45700.00	154.726	132.665	651399.1558	4052337.8920	vertical	vertical
Alignment 01 - 457+50.00	45750.00	152.517	132.665	651442.4599	4052362.8872	vertical	vertical
Alignment 01 - 458+00.00	45800.00	145.974	132.665	651485.7639	4052387.8823	vertical	vertical
Alignment 01 - 458+50.00	45850.00	148.195	132.665	651529.0680	4052412.8775	vertical	vertical
Alignment 01 - 459+00.00	45900.00	152.650	132.665	651572.3721	4052437.8726	vertical	vertical
Alignment 01 - 459+50.00	45950.00	144.930	132.665	651615.6761	4052462.8678	vertical	vertical
Alignment 01 - 460+00.00	46000.00	135.983	132.665	651658.9802	4052487.8630	vertical	vertical
Alignment 01 - 460+50.00	46050.00	130.976	132.665	651702.2843	4052512.8581	vertical	vertical
Alignment 01 - 461+00.00	46100.00	134.385	132.665	651745.5883	4052537.8533	vertical	vertical
Alignment 01 - 461+50.00	46150.00	133.305	132.665	651788.8924	4052562.8484	vertical	vertical
Alignment 01 - 461+67.76	46167.76	132.747	132.665	651804.2742	4052571.7268	vertical	vertical
Alignment 01 - 462+00.00	46200.00	132.803	132.665	651832.1778	4052587.8758	vertical	vertical
Alignment 01 - 462+50.00	46250.00	133.617	132.665	651875.1880	4052613.3719	vertical	vertical
Alignment 01 - 462+67.76	46267.76	132.019	132.665	651890.3173	4052622.6738	vertical	vertical
Alignment 01 - 463+00.00	46300.00	125.722	132.665	651917.5017	4052640.0050	vertical	vertical
Alignment 01 - 463+50.00	46350.00	118.118	132.657	651958.9078	4052668.0283	vertical	vertical
Alignment 01 - 464+00.00	46400.00	119.577	132.450	651999.3569	4052697.4160	vertical	vertical
Alignment 01 - 464+50.00	46450.00	121.267	131.965	652038.8042	4052728.1355	vertical	vertical
Alignment 01 - 465+00.00	46500.00	124.880	131.281	652077.2057	4052760.1525	vertical	vertical
Alignment 01 - 465+50.00	46550.00	129.182	130.588	652114.5189	4052793.4315	vertical	vertical

Alignment 01 - 466+00.00	46600.00	130.286	129.895	652150.7022	4052827.9356	vertical	vertical
Alignment 01 - 466+50.00	46650.00	125.972	129.202	652185.7156	4052863.6265	vertical	vertical
Alignment 01 - 467+00.00	46700.00	122.233	128.510	652219.5200	4052900.4644	vertical	vertical
Alignment 01 - 467+05.84	46705.84	121.766	128.429	652223.3898	4052904.8424	vertical	vertical
Alignment 01 - 467+50.00	46750.00	123.004	127.817	652252.0779	4052938.4084	vertical	vertical
Alignment 01 - 468+00.00	46800.00	118.780	127.124	652283.3531	4052977.4164	vertical	vertical
Alignment 01 - 468+50.00	46850.00	112.627	126.431	652313.3110	4053017.4451	vertical	vertical
Alignment 01 - 469+00.00	46900.00	103.596	125.738	652341.9182	4053058.4500	vertical	vertical
Alignment 01 - 469+50.00	46950.00	97.635	125.045	652369.1429	4053100.3854	vertical	vertical
Alignment 01 - 470+00.00	47000.00	95.904	124.352	652394.9549	4053143.2049	vertical	vertical
Alignment 01 - 470+50.00	47050.00	97.625	123.660	652419.3255	4053186.8609	vertical	vertical
Alignment 01 - 471+00.00	47100.00	93.906	122.967	652442.2277	4053231.3048	vertical	vertical
Alignment 01 - 471+43.93	47143.93	91.420	122.358	652461.1158	4053270.9608	vertical	vertical
Alignment 01 - 471+50.00	47150.00	91.117	122.274	652463.6361	4053276.4871	vertical	vertical
Alignment 01 - 472+00.00	47200.00	88.624	121.581	652483.7065	4053322.2809	vertical	vertical
Alignment 01 - 472+43.93	47243.93	89.448	120.972	652500.7585	4053362.7620	vertical	vertical
Alignment 01 - 472+50.00	47250.00	89.749	120.888	652503.1044	4053368.3647	vertical	vertical
Alignment 01 - 473+00.00	47300.00	92.745	120.195	652522.4155	4053414.4850	vertical	vertical
Alignment 01 - 473+50.00	47350.00	93.879	119.502	652541.7266	4053460.6053	vertical	vertical
Alignment 01 - 474+00.00	47400.00	91.146	118.810	652561.0377	4053506.7256	vertical	vertical
Alignment 01 - 474+50.00	47450.00	90.069	118.117	652580.3488	4053552.8458	vertical	vertical
Alignment 01 - 474+53.65	47453.65	89.897	118.066	652581.7592	4053556.2144	vertical	vertical
Alignment 01 - 475+00.00	47500.00	89.202	117.424	652599.7618	4053598.9232	vertical	vertical
Alignment 01 - 475+50.00	47550.00	93.015	116.731	652619.8840	4053644.6941	vertical	vertical
Alignment 01 - 476+00.00	47600.00	94.884	116.038	652641.4646	4053689.7933	vertical	vertical
Alignment 01 - 476+03.65	47603.65	95.018	115.988	652643.1176	4053693.0498	vertical	vertical
Alignment 01 - 476+50.00	47650.00	96.679	115.345	652665.1204	4053733.8374	vertical	vertical
Alignment 01 - 477+00.00	47700.00	100.679	114.652	652690.9479	4053776.6442	vertical	vertical
Alignment 01 - 477+50.00	47750.00	107.356	113.960	652718.8826	4053818.1066	vertical	vertical
Alignment 01 - 478+00.00	47800.00	109.334	113.267	652748.8547	4053858.1210	vertical	vertical
Alignment 01 - 478+50.00	47850.00	114.156	112.574	652780.7891	4053896.5875	vertical	vertical
Alignment 01 - 479+00.00	47900.00	117.423	111.881	652814.6062	4053933.4098	vertical	vertical
Alignment 01 - 479+50.00	47950.00	115.534	111.188	652850.2214	4053968.4960	vertical	vertical
Alignment 01 - 480+00.00	48000.00	110.619	110.495	652887.5456	4054001.7583	vertical	vertical
Alignment 01 - 480+50.00	48050.00	103.665	109.802	652926.4856	4054033.1136	vertical	vertical
Alignment 01 - 481+00.00	48100.00	103.588	109.110	652966.9441	4054062.4835	vertical	vertical
Alignment 01 - 481+08.08	48108.08	103.932	108.998	652973.6151	4054067.0364	vertical	vertical
Alignment 01 - 481+50.00	48150.00	104.031	108.417	653008.8199	4054089.7947	vertical	vertical
Alignment 01 - 482+00.00	48200.00	101.488	107.724	653052.0083	4054114.9788	vertical	vertical
Alignment 01 - 482+50.00	48250.00	100.418	107.031	653096.4014	4054137.9729	vertical	vertical
Alignment 01 - 483+00.00	48300.00	97.302	106.338	653141.8883	4054158.7195	vertical	vertical
Alignment 01 - 483+50.00	48350.00	95.604	105.645	653188.3553	4054177.1668	vertical	vertical
Alignment 01 - 484+00.00	48400.00	96.582	104.952	653235.6861	4054193.2686	vertical	vertical

Alignment 01 - 484+50.00	48450.00	90.558	104.260	653283.7626	4054206.9848	vertical	vertical
Alignment 01 - 485+00.00	48500.00	87.011	103.567	653332.4644	4054218.2811	vertical	vertical
Alignment 01 - 485+50.00	48550.00	87.902	102.874	653381.6701	4054227.1291	vertical	vertical
Alignment 01 - 486+00.00	48600.00	86.462	102.181	653431.2564	4054233.5068	vertical	vertical
Alignment 01 - 486+12.50	48612.50	85.782	102.008	653443.6992	4054234.7134	vertical	vertical
Alignment 01 - 486+50.00	48650.00	85.196	101.488	653481.0958	4054237.4567	vertical	vertical
Alignment 01 - 487+00.00	48700.00	86.968	100.795	653531.0507	4054239.5376	vertical	vertical
Alignment 01 - 487+50.00	48750.00	90.985	100.102	653581.0395	4054240.5774	vertical	vertical
Alignment 01 - 487+62.50	48762.50	91.994	99.929	653593.5392	4054240.7722	vertical	vertical
Alignment 01 - 488+00.00	48800.00	94.446	99.410	653631.0335	4054241.3503	vertical	vertical
Alignment 01 - 488+50.00	48850.00	95.628	98.717	653681.0276	4054242.1210	vertical	vertical
Alignment 01 - 488+52.02	48852.02	95.524	98.689	653683.0467	4054242.1521	vertical	vertical
Alignment 01 - 489+00.00	48900.00	91.139	98.024	653731.0195	4054243.0112	vertical	vertical
Alignment 01 - 489+22.02	48922.02	91.065	97.719	653753.0309	4054243.6022	vertical	vertical
Alignment 01 - 489+50.00	48950.00	90.791	97.331	653780.9915	4054244.6564	vertical	vertical
Alignment 01 - 490+00.00	49000.00	88.784	96.638	653830.9137	4054247.4252	vertical	vertical
Alignment 01 - 490+50.00	49050.00	85.223	95.945	653880.7601	4054251.3278	vertical	vertical
Alignment 01 - 491+00.00	49100.00	82.785	95.253	653930.5049	4054256.3622	vertical	vertical
Alignment 01 - 491+50.00	49150.00	78.615	94.560	653980.1225	4054262.5257	vertical	vertical
Alignment 01 - 492+00.00	49200.00	78.627	93.867	654029.5872	4054269.8153	vertical	vertical
Alignment 01 - 492+50.00	49250.00	77.742	93.174	654078.8734	4054278.2270	vertical	vertical
Alignment 01 - 493+00.00	49300.00	78.870	92.481	654127.9558	4054287.7566	vertical	vertical
Alignment 01 - 493+50.00	49350.00	80.184	91.788	654176.8089	4054298.3992	vertical	vertical
Alignment 01 - 494+00.00	49400.00	82.255	91.095	654225.4076	4054310.1492	vertical	vertical
Alignment 01 - 494+50.00	49450.00	89.207	90.480	654273.7266	4054323.0006	vertical	vertical
Alignment 01 - 495+00.00	49500.00	92.465	90.135	654321.7412	4054336.9468	vertical	vertical
Alignment 01 - 495+50.00	49550.00	92.673	90.067	654369.4264	4054351.9805	vertical	vertical
Alignment 01 - 496+00.00	49600.00	94.637	90.267	654416.7577	4054368.0940	vertical	vertical
Alignment 01 - 496+32.03	49632.03	95.346	90.446	654446.8818	4054378.9803	vertical	vertical
Alignment 01 - 496+50.00	49650.00	94.709	90.546	654463.7105	4054385.2789	vertical	vertical
Alignment 01 - 497+00.00	49700.00	92.284	90.824	654510.2607	4054403.5264	vertical	vertical
Alignment 01 - 497+50.00	49750.00	89.409	91.102	654556.3842	4054422.8271	vertical	vertical
Alignment 01 - 498+00.00	49800.00	90.806	91.381	654602.0572	4054443.1710	vertical	vertical
Alignment 01 - 498+50.00	49850.00	93.726	91.659	654647.2560	4054464.5475	vertical	vertical
Alignment 01 - 499+00.00	49900.00	89.068	91.937	654691.9574	4054486.9457	vertical	vertical
Alignment 01 - 499+50.00	49950.00	82.498	92.216	654736.1382	4054510.3539	vertical	vertical
Alignment 01 - 500+00.00	50000.00	81.795	92.494	654779.7757	4054534.7602	vertical	vertical
Alignment 01 - 500+50.00	50050.00	84.044	92.772	654822.8473	4054560.1518	vertical	vertical
Alignment 01 - 501+00.00	50100.00	81.428	93.051	654865.3307	4054586.5156	vertical	vertical
Alignment 01 - 501+50.00	50150.00	83.692	93.315	654907.2040	4054613.8381	vertical	vertical
Alignment 01 - 502+00.00	50200.00	83.260	93.385	654948.4456	4054642.1051	vertical	vertical
Alignment 01 - 502+50.00	50250.00	85.512	93.206	654989.0341	4054671.3021	vertical	vertical
Alignment 01 - 503+00.00	50300.00	87.788	92.933	655028.9487	4054701.4139	vertical	vertical

Alignment 01 - 503+42.04	50342.04	87.146	92.703	655061.9744	4054727.4303	vertical	vertical
Alignment 01 - 503+50.00	50350.00	87.331	92.659	655068.1690	4054732.4245	vertical	vertical
Alignment 01 - 504+00.00	50400.00	86.930	92.386	655106.8084	4054764.1573	vertical	vertical
Alignment 01 - 504+12.04	50412.04	86.665	92.320	655116.0769	4054771.8466	vertical	vertical
Alignment 01 - 504+50.00	50450.00	89.342	92.113	655145.2858	4054796.0866	vertical	vertical
Alignment 01 - 505+00.00	50500.00	92.875	91.839	655183.7621	4054828.0174	vertical	vertical
Alignment 01 - 505+11.23	50511.23	93.277	91.778	655192.4041	4054835.1892	vertical	vertical
Alignment 01 - 505+50.00	50550.00	90.181	91.566	655222.2797	4054859.8983	vertical	vertical
Alignment 01 - 506+00.00	50600.00	88.958	91.292	655261.2063	4054891.2770	vertical	vertical
Alignment 01 - 506+11.23	50611.23	89.305	91.231	655270.0576	4054898.1888	vertical	vertical
Alignment 01 - 506+50.00	50650.00	89.322	91.019	655301.0040	4054921.5411	vertical	vertical
Alignment 01 - 507+00.00	50700.00	87.966	90.746	655341.7873	4054950.4632	vertical	vertical
Alignment 01 - 507+50.00	50750.00	85.104	90.472	655383.5118	4054978.0101	vertical	vertical
Alignment 01 - 508+00.00	50800.00	83.896	90.157	655426.1313	4055004.1512	vertical	vertical
Alignment 01 - 508+50.00	50850.00	81.971	89.681	655469.5982	4055028.8573	vertical	vertical
Alignment 01 - 509+00.00	50900.00	80.507	89.052	655513.8644	4055052.1011	vertical	vertical
Alignment 01 - 509+50.00	50950.00	80.318	88.391	655558.8806	4055073.8567	vertical	vertical
Alignment 01 - 510+00.00	51000.00	80.219	87.730	655604.5969	4055094.1000	vertical	vertical
Alignment 01 - 510+50.00	51050.00	79.105	87.070	655650.9625	4055112.8084	vertical	vertical
Alignment 01 - 511+00.00	51100.00	78.179	86.409	655697.9258	4055129.9612	vertical	vertical
Alignment 01 - 511+50.00	51150.00	77.201	85.749	655745.4346	4055145.5393	vertical	vertical
Alignment 01 - 512+00.00	51200.00	76.921	85.088	655793.4362	4055159.5254	vertical	vertical
Alignment 01 - 512+50.00	51250.00	76.204	84.427	655841.8773	4055171.9040	vertical	vertical
Alignment 01 - 512+69.02	51269.02	76.402	84.176	655860.4044	4055176.1869	vertical	vertical
Alignment 01 - 513+00.00	51300.00	75.836	83.767	655890.7040	4055182.6613	vertical	vertical
Alignment 01 - 513+50.00	51350.00	78.429	83.106	655939.8622	4055191.7854	vertical	vertical
Alignment 01 - 514+00.00	51400.00	76.636	82.446	655989.2970	4055199.2661	vertical	vertical
Alignment 01 - 514+50.00	51450.00	76.451	81.785	656038.9538	4055205.0951	vertical	vertical
Alignment 01 - 515+00.00	51500.00	78.187	81.125	656088.7772	4055209.2660	vertical	vertical
Alignment 01 - 515+50.00	51550.00	73.186	80.464	656138.7119	4055211.7741	vertical	vertical
Alignment 01 - 516+00.00	51600.00	70.787	79.803	656188.7025	4055212.6166	vertical	vertical
Alignment 01 - 516+50.00	51650.00	67.016	79.143	656238.6934	4055211.7926	vertical	vertical
Alignment 01 - 517+00.00	51700.00	68.034	78.482	656288.6291	4055209.3030	vertical	vertical
Alignment 01 - 517+50.00	51750.00	68.697	77.822	656338.4540	4055205.1506	vertical	vertical
Alignment 01 - 518+00.00	51800.00	71.307	77.164	656388.1129	4055199.3400	vertical	vertical
Alignment 01 - 518+50.00	51850.00	76.500	76.680	656437.5505	4055191.8775	vertical	vertical
Alignment 01 - 519+00.00	51900.00	77.784	76.475	656486.7120	4055182.7717	vertical	vertical
Alignment 01 - 519+26.80	51926.80	78.900	76.457	656512.9312	4055177.2175	vertical	vertical
Alignment 01 - 519+50.00	51950.00	80.538	76.444	656535.5459	4055172.0459	vertical	vertical
Alignment 01 - 520+00.00	52000.00	80.780	76.416	656584.0958	4055160.0941	vertical	vertical
Alignment 01 - 520+26.80	52026.80	79.984	76.401	656610.0625	4055153.4577	vertical	vertical
Alignment 01 - 520+50.00	52050.00	78.847	76.388	656632.5341	4055147.6954	vertical	vertical
Alignment 01 - 521+00.00	52100.00	78.116	76.360	656680.9671	4055135.2760	vertical	vertical

Alignment 01 - 521+07.32	52107.32	78.564	76.356	656688.0593	4055133.4574	vertical	vertical
Alignment 01 - 521+50.00	52150.00	78.364	76.332	656729.4212	4055122.9393	vertical	vertical
Alignment 01 - 522+00.00	52200.00	78.038	76.304	656778.0431	4055111.2856	vertical	vertical
Alignment 01 - 522+17.32	52217.32	76.836	76.295	656794.9580	4055107.5545	vertical	vertical
Alignment 01 - 522+50.00	52250.00	76.667	76.276	656826.9886	4055101.0842	vertical	vertical
Alignment 01 - 523+00.00	52300.00	75.221	76.248	656876.2705	4055092.6569	vertical	vertical
Alignment 01 - 523+50.00	52350.00	72.680	76.220	656925.8253	4055086.0202	vertical	vertical
Alignment 01 - 524+00.00	52400.00	72.710	76.192	656975.5881	4055081.1830	vertical	vertical
Alignment 01 - 524+50.00	52450.00	75.492	76.164	657025.4933	4055078.1516	vertical	vertical
Alignment 01 - 525+00.00	52500.00	75.210	76.136	657075.4757	4055076.9299	vertical	vertical
Alignment 01 - 525+50.00	52550.00	75.859	76.105	657125.4695	4055077.5196	vertical	vertical
Alignment 01 - 526+00.00	52600.00	75.080	75.978	657175.4091	4055079.9199	vertical	vertical
Alignment 01 - 526+50.00	52650.00	73.198	75.712	657225.2290	4055084.1276	vertical	vertical
Alignment 01 - 527+00.00	52700.00	72.930	75.350	657274.8638	4055090.1372	vertical	vertical
Alignment 01 - 527+01.84	52701.84	72.924	75.337	657276.6903	4055090.3932	vertical	vertical
Alignment 01 - 527+50.00	52750.00	70.959	74.985	657324.2483	4055097.9408	vertical	vertical
Alignment 01 - 528+00.00	52800.00	68.221	74.620	657373.3177	4055107.5283	vertical	vertical
Alignment 01 - 528+50.00	52850.00	68.693	74.256	657422.0076	4055118.8869	vertical	vertical
Alignment 01 - 529+00.00	52900.00	68.196	73.891	657470.2541	4055132.0018	vertical	vertical
Alignment 01 - 529+50.00	52950.00	66.750	73.526	657517.9939	4055146.8558	vertical	vertical
Alignment 01 - 530+00.00	53000.00	66.460	73.161	657565.1643	4055163.4293	vertical	vertical
Alignment 01 - 530+50.00	53050.00	66.240	72.796	657611.7033	4055181.7007	vertical	vertical
Alignment 01 - 531+00.00	53100.00	66.197	72.431	657657.5500	4055201.6459	vertical	vertical
Alignment 01 - 531+50.00	53150.00	63.956	72.066	657702.6440	4055223.2388	vertical	vertical
Alignment 01 - 531+86.37	53186.37	64.306	71.801	657734.9362	4055239.9631	vertical	vertical
Alignment 01 - 532+00.00	53200.00	64.129	71.701	657746.9276	4055246.4485	vertical	vertical
Alignment 01 - 532+50.00	53250.00	63.755	71.336	657790.4797	4055271.0067	vertical	vertical
Alignment 01 - 532+96.37	53296.37	62.697	70.998	657830.5196	4055294.3884	vertical	vertical
Alignment 01 - 533+00.00	53300.00	62.600	70.971	657833.6524	4055296.2278	vertical	vertical
Alignment 01 - 533+50.00	53350.00	61.367	70.606	657876.7700	4055321.5433	vertical	vertical
Alignment 01 - 533+66.76	53366.76	62.260	70.484	657891.2213	4055330.0281	vertical	vertical
Alignment 01 - 534+00.00	53400.00	64.288	70.241	657919.9074	4055346.8250	vertical	vertical
Alignment 01 - 534+50.00	53450.00	65.012	69.877	657963.3136	4055371.6409	vertical	vertical
Alignment 01 - 534+96.76	53496.76	64.479	69.535	658004.4822	4055393.8054	vertical	vertical
Alignment 01 - 535+00.00	53500.00	64.487	69.512	658007.3647	4055395.2892	vertical	vertical
Alignment 01 - 535+50.00	53550.00	68.117	69.147	658052.3140	4055417.1799	vertical	vertical
Alignment 01 - 536+00.00	53600.00	71.389	68.782	658098.1361	4055437.1791	vertical	vertical
Alignment 01 - 536+50.00	53650.00	70.944	68.417	658144.7515	4055455.2524	vertical	vertical
Alignment 01 - 537+00.00	53700.00	68.821	68.052	658192.0793	4055471.3682	vertical	vertical
Alignment 01 - 537+50.00	53750.00	67.452	67.687	658240.0373	4055485.4986	vertical	vertical
Alignment 01 - 537+88.03	53788.03	67.498	67.409	658276.8840	4055494.9013	vertical	vertical
Alignment 01 - 538+00.00	53800.00	67.024	67.322	658288.5423	4055497.6190	vertical	vertical
Alignment 01 - 538+50.00	53850.00	63.911	66.957	658337.5101	4055507.7085	vertical	vertical

Alignment 01 - 539+00.00	53900.00	63.123	66.592	658386.8556	4055515.7495	vertical	vertical
Alignment 01 - 539+50.00	53950.00	63.028	66.227	658436.4932	4055521.7280	vertical	vertical
Alignment 01 - 540+00.00	54000.00	62.911	65.862	658486.3368	4055525.6337	vertical	vertical
Alignment 01 - 540+50.00	54050.00	63.679	65.497	658536.2998	4055527.4598	vertical	vertical
Alignment 01 - 540+79.30	54079.30	62.001	65.284	658565.5990	4055527.5621	vertical	vertical
Alignment 01 - 541+00.00	54100.00	60.933	65.133	658586.2958	4055527.2126	vertical	vertical
Alignment 01 - 541+50.00	54150.00	60.230	64.768	658636.2554	4055525.2413	vertical	vertical
Alignment 01 - 542+00.00	54200.00	61.065	64.403	658686.1697	4055522.3207	vertical	vertical
Alignment 01 - 542+09.30	54209.30	61.128	64.335	658695.4515	4055521.7371	vertical	vertical
Alignment 01 - 542+50.00	54250.00	62.168	64.038	658736.0710	4055519.1794	vertical	vertical
Alignment 01 - 542+78.32	54278.32	62.835	63.831	658764.3353	4055517.3997	vertical	vertical
Alignment 01 - 543+00.00	54300.00	63.381	63.673	658785.9728	4055516.0482	vertical	vertical
Alignment 01 - 543+50.00	54350.00	62.659	63.308	658835.8961	4055513.2880	vertical	vertical
Alignment 01 - 543+98.32	54398.32	63.261	62.955	658884.1886	4055511.7024	vertical	vertical
Alignment 01 - 544+00.00	54400.00	63.356	62.943	658885.8681	4055511.6754	vertical	vertical
Alignment 01 - 544+50.00	54450.00	65.143	62.578	658935.8646	4055511.8651	vertical	vertical
Alignment 01 - 545+00.00	54500.00	65.080	62.213	658985.8169	4055513.9770	vertical	vertical
Alignment 01 - 545+38.61	54538.61	65.144	61.988	659024.3137	4055516.9214	vertical	vertical
Alignment 01 - 545+50.00	54550.00	65.518	61.946	659035.6511	4055518.0082	vertical	vertical
Alignment 01 - 546+00.00	54600.00	66.139	61.882	659085.2933	4055523.9526	vertical	vertical
Alignment 01 - 546+50.00	54650.00	65.762	61.882	659134.6703	4055531.8015	vertical	vertical
Alignment 01 - 546+78.90	54678.90	65.205	61.882	659163.0615	4055537.2024	vertical	vertical
Alignment 01 - 547+00.00	54700.00	64.919	61.882	659183.7111	4055541.5334	vertical	vertical
Alignment 01 - 547+50.00	54750.00	63.900	61.882	659232.4263	4055552.7899	vertical	vertical
Alignment 01 - 547+98.90	54798.90	61.865	61.882	659279.8939	4055564.5420	vertical	vertical
Alignment 01 - 548+00.00	54800.00	61.869	61.882	659280.9601	4055564.8088	vertical	vertical
Alignment 01 - 548+50.00	54850.00	61.483	61.882	659329.4639	4055576.9490	vertical	vertical
Alignment 01 - 549+00.00	54900.00	60.471	61.882	659377.9677	4055589.0892	vertical	vertical
Alignment 01 - 549+50.00	54950.00	60.228	61.882	659426.4714	4055601.2294	vertical	vertical
Alignment 01 - 550+00.00	55000.00	60.763	61.882	659474.9752	4055613.3696	vertical	vertical
Alignment 01 - 550+50.00	55050.00	60.000	61.882	659523.4790	4055625.5098	vertical	vertical
Alignment 01 - 551+00.00	55100.00	59.977	61.882	659571.9828	4055637.6500	vertical	vertical
Alignment 01 - 551+50.00	55150.00	59.647	61.882	659620.4865	4055649.7902	vertical	vertical
Alignment 01 - 552+00.00	55200.00	60.538	61.882	659668.9903	4055661.9303	vertical	1.4%
Alignment 01 - 552+50.00	55250.00	61.321	61.882	659717.4941	4055674.0705	vertical	1.4%
Alignment 01 - 553+00.00	55300.00	62.083	61.882	659765.9978	4055686.2107	vertical	1.4%
Alignment 01 - 553+50.00	55350.00	61.529	61.882	659814.5016	4055698.3509	vertical	1.4%
Alignment 01 - 554+00.00	55400.00	58.678	61.882	659863.0054	4055710.4911	vertical	1.4%
Alignment 01 - 554+50.00	55450.00	60.087	61.882	659911.5092	4055722.6313	vertical	1.4%
Alignment 01 - 555+00.00	55500.00	61.476	61.882	659960.0129	4055734.7715	vertical	1.4%
Alignment 01 - 555+50.00	55550.00	61.976	61.882	660008.5167	4055746.9117	vertical	1.4%
Alignment 01 - 556+00.00	55600.00	62.605	61.882	660057.0205	4055759.0519	vertical	1.4%
Alignment 01 - 556+50.00	55650.00	63.401	61.882	660105.5242	4055771.1920	vertical	1.4%

Alignment 01 - 557+00.00	55700.00	62.768	61.882	660154.0280	4055783.3322	vertical	1.4%
Alignment 01 - 557+50.00	55750.00	60.846	61.882	660202.5318	4055795.4724	vertical	1.4%
Alignment 01 - 558+00.00	55800.00	60.148	61.882	660251.0356	4055807.6126	vertical	1.4%
Alignment 01 - 558+50.00	55850.00	59.998	61.882	660299.5393	4055819.7528	vertical	1.4%
Alignment 01 - 559+00.00	55900.00	60.995	61.882	660348.0431	4055831.8930	vertical	1.4%
Alignment 01 - 559+50.00	55950.00	60.120	61.882	660396.5469	4055844.0332	vertical	1.4%
Alignment 01 - 560+00.00	56000.00	59.262	61.882	660445.0506	4055856.1734	vertical	1.4%
Alignment 01 - 560+50.00	56050.00	60.218	61.882	660493.5544	4055868.3136	vertical	1.4%
Alignment 01 - 561+00.00	56100.00	58.885	61.882	660542.0582	4055880.4537	vertical	1.4%
Alignment 01 - 561+50.00	56150.00	58.962	61.882	660590.5620	4055892.5939	vertical	1.4%
Alignment 01 - 562+00.00	56200.00	58.716	61.882	660639.0657	4055904.7341	vertical	1.4%
Alignment 01 - 562+50.00	56250.00	58.915	61.882	660687.5695	4055916.8743	vertical	1.4%
Alignment 01 - 563+00.00	56300.00	58.334	61.882	660736.0733	4055929.0145	vertical	1.4%
Alignment 01 - 563+50.00	56350.00	57.180	61.882	660784.5770	4055941.1547	vertical	1.4%
Alignment 01 - 564+00.00	56400.00	56.927	61.882	660833.0808	4055953.2949	vertical	1.4%
Alignment 01 - 564+50.00	56450.00	55.197	61.882	660881.5846	4055965.4351	vertical	1.4%
Alignment 01 - 565+00.00	56500.00	52.725	61.882	660930.0884	4055977.5752	vertical	1.4%
Alignment 01 - 565+50.00	56550.00	51.780	61.882	660978.5921	4055989.7154	vertical	1.4%
Alignment 01 - 566+00.00	56600.00	52.734	61.882	661027.0959	4056001.8556	vertical	1.4%
Alignment 01 - 566+50.00	56650.00	53.965	61.882	661075.5997	4056013.9958	vertical	1.4%
Alignment 01 - 567+00.00	56700.00	52.831	61.775	661124.1034	4056026.1360	vertical	1.4%
Alignment 01 - 567+50.00	56750.00	53.326	61.419	661172.6072	4056038.2762	vertical	1.4%
Alignment 01 - 568+00.00	56800.00	53.920	60.898	661221.1110	4056050.4164	vertical	1.4%
Alignment 01 - 568+50.00	56850.00	52.691	60.375	661269.6148	4056062.5566	vertical	1.4%
Alignment 01 - 569+00.00	56900.00	53.771	59.851	661318.1185	4056074.6968	vertical	1.4%
Alignment 01 - 569+50.00	56950.00	55.940	59.327	661366.6223	4056086.8369	vertical	1.4%
Alignment 01 - 570+00.00	57000.00	57.332	58.803	661415.1261	4056098.9771	vertical	1.4%
Alignment 01 - 570+50.00	57050.00	57.057	58.279	661463.6298	4056111.1173	vertical	1.4%
Alignment 01 - 571+00.00	57100.00	56.693	57.756	661512.1336	4056123.2575	vertical	1.4%
Alignment 01 - 571+50.00	57150.00	58.694	57.232	661560.6374	4056135.3977	vertical	1.4%
Alignment 01 - 572+00.00	57200.00	57.373	56.708	661609.1412	4056147.5379	vertical	1.4%
Alignment 01 - 572+50.00	57250.00	55.279	56.184	661657.6449	4056159.6781	vertical	1.4%
Alignment 01 - 573+00.00	57300.00	55.141	55.660	661706.1487	4056171.8183	vertical	1.4%
Alignment 01 - 573+50.00	57350.00	55.827	55.136	661754.6525	4056183.9585	vertical	1.4%
Alignment 01 - 573+83.37	57383.37	58.212	54.787	661787.0253	4056192.0612	vertical	1.4%
Alignment 01 - 574+00.00	57400.00	57.813	54.613	661803.1550	4056196.1035	vertical	1.4%
Alignment 01 - 574+50.00	57450.00	55.765	54.089	661851.5809	4056208.5490	vertical	1.4%
Alignment 01 - 574+93.37	57493.37	54.886	53.634	661893.3675	4056220.1627	vertical	1.4%
Alignment 01 - 575+00.00	57500.00	54.762	53.565	661899.7250	4056222.0385	vertical	1.4%
Alignment 01 - 575+50.00	57550.00	54.115	53.051	661947.3827	4056237.1540	vertical	1.4%
Alignment 01 - 576+00.00	57600.00	54.030	52.742	661994.4703	4056253.9616	vertical	1.4%
Alignment 01 - 576+50.00	57650.00	53.572	52.710	662040.9277	4056272.4398	vertical	1.4%
Alignment 01 - 576+55.77	57655.77	53.392	52.725	662046.2419	4056274.6771	vertical	1.4%

Alignment 01 - 577+00.00	57700.00	53.280	52.957	662086.6956	4056292.5651	vertical	1.4%
Alignment 01 - 577+50.00	57750.00	53.024	53.481	662131.7158	4056314.3117	vertical	1.4%
Alignment 01 - 578+00.00	57800.00	51.571	54.214	662175.9308	4056337.6520	vertical	1.4%
Alignment 01 - 578+18.16	57818.16	51.016	54.484	662191.7798	4056346.5183	vertical	1.4%
Alignment 01 - 578+50.00	57850.00	50.665	54.959	662219.3019	4056362.5261	vertical	1.4%
Alignment 01 - 579+00.00	57900.00	53.941	55.704	662262.0327	4056388.4880	vertical	1.4%
Alignment 01 - 579+28.16	57928.16	53.719	56.123	662285.9669	4056403.3261	vertical	1.4%
Alignment 01 - 579+50.00	57950.00	51.451	56.449	662304.5188	4056414.8495	vertical	1.4%
Alignment 01 - 580+00.00	58000.00	54.219	57.194	662346.9923	4056441.2314	vertical	1.4%
Alignment 01 - 580+50.00	58050.00	60.740	57.939	662389.4657	4056467.6133	vertical	1.4%
Alignment 01 - 581+00.00	58100.00	67.271	58.684	662431.9391	4056493.9953	vertical	1.4%
Alignment 01 - 581+50.00	58150.00	73.436	59.429	662474.4126	4056520.3772	vertical	1.4%
Alignment 01 - 582+00.00	58200.00	86.633	60.174	662516.8860	4056546.7592	vertical	1.4%
Alignment 01 - 582+50.00	58250.00	98.440	60.919	662559.3595	4056573.1411	vertical	1.4%
Alignment 01 - 583+00.00	58300.00	111.000	61.624	662601.8329	4056599.5231	vertical	1.4%
Alignment 01 - 583+50.00	58350.00	118.319	62.081	662644.3063	4056625.9050	vertical	1.4%
Alignment 01 - 584+00.00	58400.00	117.846	62.261	662686.7798	4056652.2870	vertical	1.4%
Alignment 01 - 584+50.00	58450.00	117.749	62.163	662729.2532	4056678.6689	vertical	1.4%
Alignment 01 - 585+00.00	58500.00	116.625	61.787	662771.7266	4056705.0509	vertical	1.4%
Alignment 01 - 585+50.00	58550.00	113.786	61.137	662814.2001	4056731.4328	vertical	1.4%
Alignment 01 - 586+00.00	58600.00	102.389	60.393	662856.6735	4056757.8147	vertical	1.4%
Alignment 01 - 586+50.00	58650.00	81.358	59.649	662899.1470	4056784.1967	vertical	1.4%
Alignment 01 - 587+00.00	58700.00	70.814	58.905	662941.6204	4056810.5786	vertical	1.4%
Alignment 01 - 587+50.00	58750.00	59.835	58.160	662984.0938	4056836.9606	vertical	1.4%
Alignment 01 - 588+00.00	58800.00	51.940	57.416	663026.5673	4056863.3425	vertical	1.4%
Alignment 01 - 588+50.00	58850.00	52.560	56.672	663069.0407	4056889.7245	vertical	1.4%
Alignment 01 - 589+00.00	58900.00	49.251	55.927	663111.5142	4056916.1064	vertical	1.4%
Alignment 01 - 589+50.00	58950.00	45.108	55.183	663153.9876	4056942.4884	vertical	1.4%
Alignment 01 - 590+00.00	59000.00	45.756	54.439	663196.4610	4056968.8703	vertical	1.4%
Alignment 01 - 590+50.00	59050.00	46.573	53.695	663238.9345	4056995.2523	vertical	1.4%
Alignment 01 - 591+00.00	59100.00	46.612	52.950	663281.4079	4057021.6342	vertical	1.4%
Alignment 01 - 591+50.00	59150.00	46.009	52.206	663323.8813	4057048.0161	vertical	1.4%
Alignment 01 - 592+00.00	59200.00	43.468	51.462	663366.3548	4057074.3981	vertical	1.4%
Alignment 01 - 592+50.00	59250.00	43.807	50.717	663408.8282	4057100.7800	vertical	1.4%
Alignment 01 - 593+00.00	59300.00	45.000	49.973	663451.3017	4057127.1620	vertical	1.4%
Alignment 01 - 593+50.00	59350.00	45.511	49.229	663493.7751	4057153.5439	vertical	1.4%
Alignment 01 - 594+00.00	59400.00	45.790	48.484	663536.2485	4057179.9259	vertical	1.4%
Alignment 01 - 594+50.00	59450.00	45.891	47.740	663578.7220	4057206.3078	vertical	1.4%
Alignment 01 - 595+00.00	59500.00	44.567	46.996	663621.1954	4057232.6898	vertical	1.4%
Alignment 01 - 595+50.00	59550.00	43.321	46.252	663663.6688	4057259.0717	vertical	1.4%
Alignment 01 - 596+00.00	59600.00	43.466	45.578	663706.1423	4057285.4537	vertical	1.4%
Alignment 01 - 596+50.00	59650.00	42.516	45.030	663748.6157	4057311.8356	vertical	1.4%
Alignment 01 - 597+00.00	59700.00	41.391	44.552	663791.0892	4057338.2175	vertical	1.4%

Alignment 01 - 597+37.17	59737.17	41.645	44.197	663822.6640	4057357.8300	vertical	1.4%
Alignment 01 - 597+50.00	59750.00	41.933	44.075	663833.5614	4057364.6015	vertical	1.4%
Alignment 01 - 598+00.00	59800.00	41.856	43.597	663875.8897	4057391.2150	vertical	1.4%
Alignment 01 - 598+37.17	59837.17	42.550	43.242	663907.0153	4057411.5318	vertical	1.4%
Alignment 01 - 598+50.00	59850.00	42.842	43.120	663917.6515	4057418.7063	vertical	1.4%
Alignment 01 - 599+00.00	59900.00	42.899	42.642	663958.5064	4057447.5272	vertical	1.4%
Alignment 01 - 599+50.00	59950.00	41.756	42.165	663998.3781	4057477.6937	vertical	1.4%
Alignment 01 - 600+00.00	60000.00	41.694	41.688	664037.2223	4057509.1723	vertical	1.4%
Alignment 01 - 600+50.00	60050.00	44.398	41.210	664074.9958	4057541.9279	vertical	1.4%
Alignment 01 - 600+82.56	60082.56	44.382	40.899	664098.9972	4057563.9268	vertical	1.4%
Alignment 01 - 601+00.00	60100.00	43.254	40.733	664111.6566	4057575.9242	vertical	1.4%
Alignment 01 - 601+50.00	60150.00	40.405	40.255	664147.1641	4057611.1235	vertical	1.4%
Alignment 01 - 602+00.00	60200.00	36.025	39.778	664181.4788	4057647.4865	vertical	1.4%
Alignment 01 - 602+50.00	60250.00	36.196	39.300	664214.5625	4057684.9730	vertical	1.4%
Alignment 01 - 603+00.00	60300.00	38.516		664246.3786	4057723.5412	vertical	1.4%
Alignment 01 - 603+27.95	60327.95	40.406		664263.5963	4057745.5539	vertical	1.4%
Alignment 01 - 603+50.00	60350.00	40.654		664276.9011	4057763.1412	vertical	1.4%
Alignment 01 - 604+00.00	60400.00			664306.4050	4057803.5077	vertical	1.4%
Alignment 01 - 604+27.95	60427.95			664322.6885	4057826.2207	vertical	1.4%
Alignment 01 - 604+50.00	60450.00			664335.5223	4057844.1547	vertical	1.4%
Alignment 01 - 605+00.00	60500.00			664364.6199	4057884.8159	vertical	1.4%
Alignment 01 - 605+50.00	60550.00			664393.7175	4057925.4771	vertical	1.4%
Alignment 01 - 606+00.00	60600.00			664422.8151	4057966.1382	vertical	1.4%
Alignment 01 - 606+50.00	60650.00			664451.9126	4058006.7994	vertical	1.4%
Alignment 01 - 607+00.00	60700.00			664481.0102	4058047.4606	vertical	1.4%
Alignment 01 - 607+50.00	60750.00			664510.1078	4058088.1218	vertical	1.4%
Alignment 01 - 608+00.00	60800.00			664539.2054	4058128.7829	vertical	1.4%
Alignment 01 - 608+50.00	60850.00			664568.3029	4058169.4441	vertical	1.4%
Alignment 01 - 609+00.00	60900.00			664597.4005	4058210.1053	vertical	1.4%
Alignment 01 - 609+50.00	60950.00			664626.4981	4058250.7664	vertical	1.4%
Alignment 01 - 610+00.00	61000.00			664655.5957	4058291.4276	vertical	1.4%
Alignment 01 - 610+50.00	61050.00			664684.6933	4058332.0888	vertical	1.4%
Alignment 01 - 611+00.00	61100.00			664713.7908	4058372.7500	vertical	1.4%
Alignment 01 - 611+50.00	61150.00			664742.8884	4058413.4111	vertical	1.4%
Alignment 01 - 611+81.71	61181.71			664761.3396	4058439.1949	vertical	1.4%