**République Algérienne Démocratique et Populaire**
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**
**المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة فرنسـيس جانســون**
**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

## Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique AIN EL BEIDA-KHANCHELA du PK 21+388 au PK 35+510 avec l'aménagement et la conception de la gare de M'TOUSSA.

**Présenté par :**

- MELIZI Abderraouf
- OURANADER Siradj Abderraouf

**Encadre par :**

Mr.GOUMETTRE Ahmed

**Promotion 2022 / 2023**

**© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba**

# REMERCIEMENT :

*Nous remercions avant tout le Dieu de nous avoir gardés en bonne*

*Santé de mener à bien ce modeste projet de fin d'étude.*

*Un grand Mercie s'adresse particulièrement à nos parents (qui sont la source inépuisable d'amour et d'affection) Qui nous ont soutenus pour réaliser nos études et Qui nous ont toujours encouragés pour Que nous les terminions.*

*Nous souhaitons exprimer nos remerciements à notre encadreur*

*M.GOUMATER Ahmed de nous avoir fait confiance et accepte de diriger ce mémoire, sans oublier M. MORSLI Rabah et M. OURANADER Yassin pour leurs précieux conseils et orientations.*

*Nous tenons à remercier tous les enseignants, et a tous ceux Qui ont*

*Contribué dans notre formation de près et de loin, depuis les premières*

*Lettres alphabétiques.*

*Nous associons, Enfin, à ces remerciements tous nos collègues.*

*Nous avons eu la chance de rencontrer des amis formidables Qui nous*

*Ont encouragés et soutenus au cours de ces Trois' ans.*

*Enfin, nous remercions les responsables de département DIB pour sa*

*Disponibilité, et son affabilité.*

***Abderraouf & Abderraouf***

## *DEDICACE*

*Au nom d'ALLAH, le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux Je remercie ALLAH Tout-Puissant de m'avoir aidé à faire ce travail humble, puis je remercie ma mère et mon père qui m'ont encouragé et m'ont aidé à atteindre cette mémoire.*

*Je dédie ce modeste mémoire à ceux qui ont beaucoup sacrifié de leur temps pour mon bonheur et ma réussite.*

*Aux êtres les plus chers et les plus proches au monde et qui symbolisent le courage et la tendresse, ma plus chère mère "Djamila" et mon père " Yassine ". A mon frère "Zied" et ma sœur " Maria ". A tout ma famille " OURANADER " et " MIHOUB " sans exception. A tous mes amis hors l'école de l'école. Et spécialement à mes professeures de baccalauréat*

*" SOBHI Abd Aziz " et " CHAFI Nawel". A l'ingénieur " GHNANOUA Rabah" et tout le personnel de ANESRIF AZZABA spécialement l'ingénieur " REBAI Daoud "*

## *DEDICACE*

*Je dédie ce modeste travail A mes très chers parents Lahcen et Dalila, Source inépuisable d'amour et d'affection ; aucune dédicace ne saurait exprimée ma reconnaissance pour votre grande patience, vos sacrifices et votre soutien*

*A mes frères Abderrahman et Ma chère sœurs Ibtissem, Linda, Nossaiba Pour leur appui et leur encouragement*

*A toute ma famille MELIZI*

*A tous mes meilleurs amis*

*A l'ingénieur « BOUHAMED Sidali »*

**Résumé**

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé **(A.P.D)** d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiées Ain El Beida-Khenchela (tronçon de 14 km).

Cette liaison stratégique déminue la charge sur le transport routier spécialement la **RN80** (sachant que notre pays souffre énormément des problèmes de trafic), et aussi permet d'offrir les meilleurs services pour le transport des personnes et des marchandises.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la **SNTF** et les autres systèmes ferroviaires plus développés (normes **UIC**), la modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel COVADIS.

**ملخص**

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع APD لجزء من خط السكة الحديدية الجديد المكهرب الرابط بين عين البيضاء -خنشلة (مقطع **14**كم) .

مع العلم أن بلدنا يعاني بشكل كبير من مشاكل **RN80** (يقلل هذا الرابط الاستراتيجي من الحمل على النقل البري، وخاصة. المرور )كما أنه يجعل من الممكن تقديم أفضل الخدمات لنقل الأشخاص والبضائع.

سيعتمد تحديد الخصائص التقنية الأكثر ملاءمة لخط السكة الحديد المتوقع على التوصيات بالإضافة إلى الممارسات التي وقد تم وضع النمذجة الهندسية للمشروع تم، (**UIC**معايير) وأنظمة السكك الحديدية الأخرى الأكثر تطو ًرا **SNTF** يتبعها، COVADISتنفيذه بموجب برنامج.

**Abstract**

This project essentially consists of the detailed preliminary study (APD) of a section of the new electrified uni-track railway line Ain El Beida-Khenchela (14 km section).

This strategic link reduces the load on road transport, especially the RN42 (knowing that our country suffers enormously from traffic problems), and also makes it possible to offer the best services for the transport of people and goods.

The identification of the most appropriate technical characteristics for the projected railway line will be based on the recommendations as well as the practices which are followed by the SNTF and the other more developed railway systems (UIC standards), the geometric modeling of the project has been carried out under COVADIS software.

# SOMMAIRE

**I Présentation de projet : ..... 3**

I.1 Introduction : ..... 3

I.2 Présentation du site : ..... 3

I.2.1 Climat : ..... 4

I.2.2 Sismicité : ..... 5

I.3 Présentation du projet : ..... 5

I.4 Transport (routes) : ..... 5

I.5 Caractéristiques de base : ..... 5

I.6 Caractéristiques techniques de la ligne : ..... 6

**II Tracé en plan ..... 7**

II.1 Introduction : ..... 7

II.2 CONDITIONS ET REGLES DE TRACE : ..... 7

II.3 Les éléments du tracé en plan : ..... 8

II.3.1 Alignements (R=∞) ..... 8

II.3.2 Les courbes circulaires ..... 8

II.3.3 La courbe de raccordement ..... 8

II.4 VITESSE DE REFERENCE : ..... 9

II.5 LES DEVERS : ..... 9

II.5.1 Dévers théorique : ..... 10

II.5.2 Le Dévers pratique : ..... 10

II.6 Devers maximum admissible $d_{max}$ : ..... 10

II.7 L'insuffisance de devers « I » : ..... 11

II.8 L'excès de devers « E » : ..... 12

II.9 Raccordement de devers : ..... 12

II.9.1 La variation de dévers par rapport aux longueurs « $\mathbf{\frac{dd}{dl}}$ » : ..... 13

II.9.2 La variation de dévers par rapport au temps « $\mathbf{\frac{dd}{dt}}$ » : ..... 13

II.9.3 La variation de l'insuffisance par rapport au temps « **dIdt** » : .....13
II.10 Limite da la variation de dévers : .....13
II.11 LIMITE DE LA VARIATION DE L'INSUFFISANCE DE DEVERS : .....14
II.12 Les doucines : .....15
II.13 Longueur minimale des éléments de trace : .....15
II.13.1 Courbes avec RP et doucines : .....15
II.13.2 Courbes avec RP sans doucines : .....15
II.13.3 Courbes sans RP : .....16
II.14 La longueur de la courbe de raccordement : .....16
II.15 Détermination de rayon minimale ($R_{min}$) : .....16
II.16 Application au projet : .....17
II.16.1 Calcule de Longueur minimal des alignements et courbes : .....17
II.16.2 Calcul de rayon minimal selon la méthode française SNTF : .....17
II.17 Conclusion : .....19
**III Profil en loNg : .....22**
III.1 Introduction : .....22
III.2 Éléments géométriques du profil en long : .....22
III.3 DECLIVITE : .....22
III.4 Longueur minimale des éléments du profil en long : .....23
III.5 Raccordements circulaires en profil en long. .....24
III.6 Coordination profil en long-trace en plan : .....25
III.7 Les contraintes de trace : .....25
III.8 Conclusion : .....25
**IV ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE : .....27**
IV.1 Introduction : .....27
IV.2 Étude hydrologique : .....27
IV.2.1 La zone climatique : .....27

IV.2.2 Les précipitations :.....28
IV.3 Les bassin versants :.....29
IV.4 Les caractéristiques climatiques :.....31
IV.4.1 Temps de concentration : .....31
IV.4.2 Coefficient de ruissellement Cr :.....31
IV.4.3 Calcul de l'intensité de pluie :.....33
IV.4.4 Evaluation des débits critiques maximums des crues à l'exutoire Qmax :.....33
IV.4.5 Evaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule de Crupédix : 34
IV.5 Calcul hydraulique : .....36
IV.5.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux :.....36
IV.6 Ouvrages d'assainissement longitudinaux.....39
IV.6.1 Débit à évacuer (Qa) :.....39
**V Étude géotechnique et géologique.....42**
V.1 Introduction :.....42
V.2 L'étude géologiques : .....42
V.2.1 Introductions :.....42
V.2.2 Contexte géologique régional :.....42
V.2.3 Climat du site.....43
V.2.4 Sismicité du site.....43
V.3 Étude géotechnique : .....43
V.3.1 Introduction : .....43
V.3.2 Programme d'investigation géotechnique :.....43
V.3.3 Essais in-situ :.....44
V.3.4 Essai de laboratoire :.....45
V.3.5 Les résultats des essais au laboratoire :.....45
Les puits de reconnaissance : .....46

V.3.6 Lithologie affecter dans le couloir : ..... 50
V.3.7 Contraintes géotechniques ..... 50
V.3.8 Utilisation des matériaux pour le remblai : ..... 53
V.3.9 Conclusion : ..... 54
**VI Assise ferroviaire ..... 56**
VI.1 Introduction : ..... 56
VI.2 Différentes couches d'assises : ..... 56
VI.2.1 La couche de ballast : ..... 56
➢ Caractéristiques de Ballast : ..... 56
VI.2.2 Sous couche : ..... 56
VI.2.3 La plate-forme : ..... 57
VI.3 Classification des sols pour la plateforme : ..... 57
VI.4 Classe de portance de la plate-forme : ..... 57
VI.4.1 Plate-forme proposée : ..... 58
VI.5 Couche de forme : ..... 58
VI.6 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise : ..... 58
VI.7 Application au notre projet (remblais-déblais) ..... 59
VI.8 Conclusion : ..... 59
**VII Profil en travers : ..... 61**
VII.1 Introduction : ..... 61
VII.1.1 Profil en travers type : ..... 61
VII.1.2 Profil en travers courant : ..... 61
VII.2 Les éléments du profil en travers : ..... 61
VII.3 Structure de la voie ferrée : ..... 61
VII.3.1 La Plate-forme : ..... 61
VII.3.2 Profil type de notre projet : ..... 61
**VIII Terrassement ..... 64**

VIII.1 Définition : ....64
VIII.2 Stabilité de talus : ....64
VIII.2.1 Stabilité des Remblais : ....65
VIII.2.2 Stabilité des déblais : ....65
VIII.3 Calcule des cubatures : ....69
VIII.4 Ouvrage d'art ....69
VIII.4.1 Introduction : ....69
VIII.4.2 Les croisements avec la route : ....70
VIII.4.3 Les ouvrages de notre projet : ....70
VIII.5 Conclusion : ....71
**IX La superstructure de la voie ....73**
IX.1 Introduction : ....73
IX.2 Catégories de la voie : ....73
IX.3 La superstructure de la voie : ....73
IX.3.1 Le Rail : ....73
IX.3.2 Les types des rails : ....73
IX.4 La superstructure Pour notre projet : ....74
IX.5 Écartement des rails : ....75
IX.6 Inclinaison du rail : ....75
IX.7 Contre-rail : ....76
IX.8 Assemblage des rails : ....76
IX.9 Les traverses : ....77
IX.10 Rôle des traverses : ....78
IX.11 Les attaches travers-rail : ....79
IX.11.1 Fixation rigide : ....79
IX.11.2 Fixation élastique : ....79
IX.12 Rôle d'attache : ....79

IX.13 Les appareils de voie :.....80
IX.13.1 Définition :.....80
IX.13.2 Types d'appareils de voie :.....80
**X Recherche bibliographique :.....83**
X.1 Introduction :.....83
X.2 Définition :.....83
X.3 Problématique de la pose en LRS :.....83
X.4 Dilatation contrariée :.....83
X.5 Zones de respiration et longueur des lrs :.....84
X.6 Principe de stabilité du LRS :.....85
X.7 Conclusion :.....85
**XI Conception de la gare m'toussa.....87**
XI.1 Introduction :.....87
XI.2 Types des gares :.....87
XI.3 Installations de base d'une gare :.....87
XI.4 Aménagement de la gare :.....88
XI.5 Marge de glissement a l'aval des signaux :.....89
XI.5.1 Définition de la marge de glissement :.....89
XI.5.2 Longueurs de la marge de glissement :.....89
XI.6 Garage franc :.....89
XI.7 Les heurtoirs :.....90
XI.8 Caractéristiques géométriques des gares.....90
XI.9 Application au projet :.....92
XI.10 Assainissement dans les gares :.....94
XI.11 Conclusion :.....96
**XII Signalisation ferroviaire.....98**
XII.1 Introduction :.....98

XII.2 Evolution des systèmes de signalisation : ....98
XII.3 Objectif de la signalisation : ....98
XII.4 Différentes fonctions des signaux : ....98
XII.4.1 Signaux d'arrêt : ....98
XII.4.2 Signaux à distance : ....99
XII.5 Implantation des signaux : ....99
XII.6 TYPES DE SIGNALISATION : ....99
XII.7 POUR NOTRE PROJET : ....99
XII.7.1 LA FONCTIONNEMENT DU SYSTEME GENERAL : ....100
XII.7.2 Transmission sol machine (les équipements au sol) : ....100
XII.7.3 Les équipements ERTMS a bord des locomotives : ....101
XII.8 CONCLUSION : ....102
**XIII Etude de l'impact sur l'environnement ....104**
XIII.1 Introduction ....104
XIII.2 Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement : ....104
XIII.3 Analyse de l'état initial : ....104
XIII.3.1 Milieu naturel : ....104
XIII.3.2 Milieu humain : ....105
XIII.3.3 Activité économique ....105
XIII.3.4 Impacts du projet sur l'environnement et mesures proposées....106
XIII.3.5 Identification et description des impacts : ....108
XIII.4 Conclusion : ....108
**XIV DEVIS CONTITATIF ET ESTIMATIF : ....110**
**XV Conclusion générale : ....112**

# LISTE DES FIGURES

**Figure IV.1 Délimitation des bassin versants.** ..... 30
**Figure V.1 Carte des structures géologiques de l'est de l'Algérie** ..... 42
**Figure V.2 Structure d'un remblai en zone inondable.** ..... 52
**Figure VIII.1Le talus le plus grand dans notre projet.** ..... 65
**Figure VIII.2répartition des tranches pour la méthode de « FELLENIUS »** ..... 66
**Figure VIII.3 les cercle de rupture de la méthode.** ..... 66
**Figure VIII.4 le 12-ème cas de calcule (cas plus défavorable).** ..... 67
**Figure IX.1 rails à double champignons** ..... 73
**Figure IX.2 rail type Broca a gorge.** ..... 74
**Figure IX.3 Rail type vignole** ..... 74
**Figure IX.4 L'écartement entre les rails** ..... 75
**Figure IX.5 Un contre-rail dans une partie de croisement** ..... 76
**Figure IX.6 Assemblage des rails par éclissage.** ..... 76
**Figure IX.7 Les dimensions de traverse** ..... 78
**Figure IX.8 L'attache de type NABLA.** ..... 79
**Figure IX.9 Appareil de vois -système de branchement simple.** ..... 80
**Figure IX.10 Schéma illustrative de l'appareil de voie** ..... 81
**Figure X.1 déformation de rail d'une voie mal libéré.** ..... 85
**Figure XI.1 la marge de glissement** ..... 89
**Figure XI.2 Schéma de garage de franc** ..... 90
**Figure XI.3 Les heurtoirs de sécurités** ..... 90
**Figure XI.4 La longueur utile d'une voie de stationnement** ..... 91
**Figure XI.5. La géométrie de la gare** ..... 92
**Figure XI.6 Schéma synoptique de la gare voyageur** ..... 93
**Figure XI.7 Schéma synoptique de la gare marchandise** ..... 94
**Figure XI.8Hauteur de remplissage du drain et buse** ..... 95
**Figure XII.1 le système de contrôle des trains ERTMS.** ..... 100
**Figure XII.2 Une balise installée sur la voie** ..... 101
**Figure XII.3 L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap. 10)** ... 102

# LISTE DES TABLEAUX

**Tableau I.1 Zone d'implantation du projet. Relief**.....4
**Tableau I.2 Etages bioclimatiques de la zone d'étude.**.....4
**Tableau II.1 Eléments géométriques de tracé en plan**.....8
**Tableau II.2 Les valeurs de la courbure** .....9
**Tableau II.3 Conditions d'obligation de l'ajout des Rp** .....9
**Tableau II.4 Conditions de recommandation de l'ajout des Rp** .....9
**Tableau II.5 les vitesses que le maitre d'ouvrage exige dans notre projet.**.....9
**Tableau II.6 Les Valeurs Limite de Devers maximale**.....11
**Tableau II.7 Les Valeurs Limite L'insuffisance de dévers.** .....11
**Tableau II.8 Les Valeurs Limite de l'excès.** .....12
**Tableau II.9 Raccordement de dévers selon la SNTF.**.....13
**Tableau II.10 Limite de la variation de devers**.....14
**Tableau II.11 Variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps.** .....15
**Tableau II.12 Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes entre milieu de doucines :** .....15
**Tableau II.13 Les longueurs minimales du RP, entre milieu de doucines :** .....15
**Tableau II.14 Les longueurs minimales des alignements et des pleines**.....15
**Tableau II.15 Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes :** .....16
**Tableau II.16 Les valeurs calculées pour notre projet respectent les valeurs limites exigées (selon SNTF)** .....17
**Figure III.1Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur.**.....23
**Tableau III.2Valeurs de la longueur minimale des éléments (Source SNTF)** .....24
**Tableau III.3Tab : les valeurs de rayon minimal Selon la SNTF** .....24
**Tableau IV.1 Pluies annuelles pour différentes fréquences (en mm).** .....28
**Tableau IV.2 Précipitations maximales journalières (en mm).** .....28
**Tableau IV.3 Caractéristiques morphologiques des bassins versants.** .....30
**Tableau IV.4 Coefficients de ruissellement pour une période de retour décennale (C10).** .....32
**Tableau IV.5 Paramètres a et b des Courbes IDF pour la région de l'étude.** .....33
**Tableau IV.6 Variable Gumbel (y) en fonction p.de retour.** .....34
**Tableau IV.7 Tableau représente les résultats des débits maximaux pour une période de retour 100 ans :**.....35

**Tableau IV.8 Calcul de Rayon hydraulique pour une section circulaire et rectangulaire** 36
**Tableau IV.9 Liste globale des ouvrages à projeter.** ..... 38
**Tableau IV.10 Calcul de Rayon hydraulique pour une section trapézoïdale** ..... 39
**Tableau IV.11 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.** ..... 40
**Tableau IV.12 Dimensionnement du fossé proposé.** ..... 40
**Tableau V.1 Programme d'investigation géotechnique.** ..... 44
**Tableau V.2 L'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de la voie :** ..... 44
**Tableau V.3 les déférentes essaies au laboratoire.** ..... 45
**Tableau V.4 Résultat des essaies physique et mécanique sur les puits de reconnaissance** 47
**Tableau V.5 Résultat des analyses chimique sur les puits de reconnaissance** ..... 48
**Tableau V.6 Résultat des essaies physique et mécanique et chimique sur les sondages carottés** ..... 49
**Tableau V.7 Résultat des essaies Analyses chimiques** ..... 50
**Tableau V.8 Les sites qui présentent des agressivités importantes.** ..... 51
**Tableau VI.1La classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)** ..... 58
**Figure VI.2 Schéma montre l'épaisseur (e).** ..... 59
**Tableau VIII.1 Le tableau de calcule itérative.** ..... 67
**Tableau VIII.2 Calcule dynamique de stabilité** ..... 68
**Tableau VIII.3 Récapitulatif des volumes de terrassement.** ..... 69
**Tableau VIII.4 Récapitulatif des volumes des couches d'assise.** ..... 69
**Tableau VIII.5 Liste des ouvrages d'art pour mon projet.** ..... 70
**Tableau IX.1 Caractéristiques géométriques et mécaniques de rail UIC 60 E1** ..... 75
**Tableau IX.2 Type de branchement en fonction de domaines d'emplois.** ..... 81
**Tableau IX.3 Les caractéristiques géométriques des appareils de voie.** ..... 81
**Tableau XI.1 Caractéristiques géométriques de quai.** ..... 92
**Tableau XIII.1Caractéristiques de l'industrie de M'toussa** ..... 105
**Tableau XIII.2 Répartition des effectifs par type d'élevage** ..... 106
**Tableau XIII.3 Répartition des effectifs par type d'élevage** ..... 106

# INTRODUCTION GENERALE :

## INTRODUCTION GENERALE :

Au **XVIIe** siècle, l'exploitation des carrières et des mines a conduit à l'invention d'un nouveau moyen de transport. Les mineurs à cette époque utilisèrent en effet des barres de guidage en bois pour faire glisser les chariots chargés de matériaux, avant d'adopter par la suite des rails métalliques, la traction était généralement assurée par les chevaux.

La modernisation de ce système a donné lieu à la naissance du réseau ferroviaire et l'apparition du premier moyen de traction qui est la **« locomotive à vapeur ».** Cette innovation a garanti la liberté de déplacement des personnes et des biens, ce qui assure le développement économique, et participe au raffermissement des liens d'amitié et de fraternité entre les peuples.

Le transport ferroviaire produit de multiples bénéfices. Indéniablement, les avantages économiques les plus évidents et les plus significatifs sont le gain de temps, la réduction des coûts de transport et l'extension de la portée du travail et des achats, le transport d'un grand nombre de passagers et de marchandises, le poids important dans une flotte de très longues distances, sa capacité de transport de masse (marchandises et passagers) suscite la réduction de la congestion dans les zones urbaines, en offrant des choix de grand développement pour les passagers suburbains, les passagers interurbains et le transport de produits de base.

Le système comprend l'infrastructure et la superstructure. L'infrastructure est la plateforme de la voie ferrée portant la voie, le matériel roulant, et les procédures de gestion et d'exploitation **« signalisation, postes d'aiguillage, caténaires…ect »,** tandis que la superstructure est constituée par la voie ferrée proprement dite les rails et les traverses.

Sur le plan environnemental, le transport ferroviaire est actuellement le mode de transport le moins polluant dans les émissions de **dioxyde de carbone** et la consommation d'énergie par rapport aux autres moyens de transport.

Ces grands projets qui auront inévitablement des répercussions positives sur le développement des pays, surtout sur le plan économique et social.

Au niveau national, il convient de rappeler que le programme de développement des transports ferroviaires en Algérie est un secteur vital, qui enregistrait des déficits dans le domaine des infrastructures de transport, expliquant l'insuffisance des besoins de mobilité de la population.

L'Algérie a un plan ambitieux avec un budget de plus de **1000 milliards** pour financer des projets dans le cadre des programmes spéciaux des Hauts plateaux et des régions du sud, qui vont changer la carte du réseau ferré national, À l'achèvement de l'ensemble du plan ferroviaire national, la longueur totale des voies atteindra **12500 km.**

Le programme ferroviaire national s'articule autour de plusieurs axes de développement :

**Axe 01 :** la rocade ferroviaire nord et ses dessertes.

**Axe 02 :** la rocade ferroviaire des hauts plateaux.

**Axe 03 :** ligne minière.

**Axe 04 :** pénétrante ouest.

**Axe 05 :** pénétrante EL GOURZI (au nord) – HASSI MESSAOUD (au sud).

**Axe 06 :** boucle sud-ouest.

Le projet vise à relier la ville de AIN BEIDA de la Wilaya de OUM BOUAGHI à la ville de KHENCHLA qui rentre dans le cadre de la modernisant la rocade ferroviaire des hauts plateaux (BOUGHEZOUL/ M'SILA/ AIN TOUTA / Ain M'LILA / TEBASSA) et leurs interconnexions (AIN BEIDA / KHENCHELA / BATNA /SETIF).

Ce thème a été proposé par **la Société Techniques de L'Ingénierie de Rail « SETI-RAIL »** qui présente le bureau d'étude chargé de l'étude de ce projet assez important.

Le maître d'ouvrage du projet est **l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF).**

# CHAPITRE I :

# PRESENTATION DE PROJET

# I PRESENTATION DE PROJET :

## I.1 INTRODUCTION :

Le transport ferroviaire est une partie fondamentale des besoins des gens, notre projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé **(APD)** des différentes variantes d'un tronçon de **14 km** de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique électrifiée prenons compte d'un futur dédoublement « **AIN EL BEIDA – KHENCHELA »,** dans le cadre de développement de l'axe de la rocade ferroviaire des hauts plateaux.

Cette liaison stratégique diminue la charge sur le transport routier spécialement la **RN80** (sachant que notre pays souffre énormément des problèmes de trafic), et aussi permet d'offrir les meilleurs services pour le transport des passagers et des marchandises.

La ligne **« AIN EL BEIDA – KHENCHELA »** est un linéaire de **51** kilomètres en voie unique pour un trafic mixte à une vitesse maximale de **160 km/h** pour les trains de voyageurs et de **100 km/h** pour les trains de marchandises.

## I.2 PRESENTATION DU SITE :

Le projet est réparti sur six (6) communes et deux (2) wilayas :

La wilaya d'OUM EL BOUAGHI (Communes de : AIN EL BEIDA, F'KRINA et OUED NINI).

La wilaya de KHENCHELA (Communes de : M'TOUSSA, BAGHAI et El HAMMA).

Ces wilayas à vocation agricole, se localisent à l'Est du pays et appartiennent au domaine des Hauts Plateaux Est. Leurs superficies totales sont respectivement de **6187 km$^2$** et **9715 km$^2$.**

La wilaya **d'OUM EL BOUAGHI** est composée de **12** Daïras et **29** communes et la wilaya de **KHENCHELA** de **08** Daïras et **21** communes.

La wilaya d'OUM EL BOUAGHI est limitée au :

- Nord par les wilayas de GUELMA et de CONSTANTINE.
- Sud par les wilayas de KHENCHELA et de BATNA.
- Ouest par la wilaya de MILA.
- Est par les wilayas de SOUK-AHRAS et de TEBASSA.

La wilaya de **KHENCHELA** quant à elle est limitée au :

- Nord par la wilaya d'OUM EL BOUAGHI.
- Sud par la wilaya d'El OUED.
- Ouest par les wilayas de BATNA et de BISKRA
- Est par la wilaya de TEBASSA.




**Tableau I.1 Zone d'implantation du projet. Relief**

La zone d'étude se situe dans région des hauts plateaux d'altitude, Le milieu récepteur du projet est essentiellement constitué de plaines bordées de zone montagneuse plus ou moins élevée. Ces plaines sont perchées à des altitudes allant de **800 m à 1000 m.**

### I.2.1 Climat :

La région d'étude, appartient au domaine bioclimatique semi-aride. Elle est caractérisée par des précipitations assez rares souvent insuffisantes même pour des cultures résistantes à la sécheresse, par conséquent le développement du couvert végétal est limité.

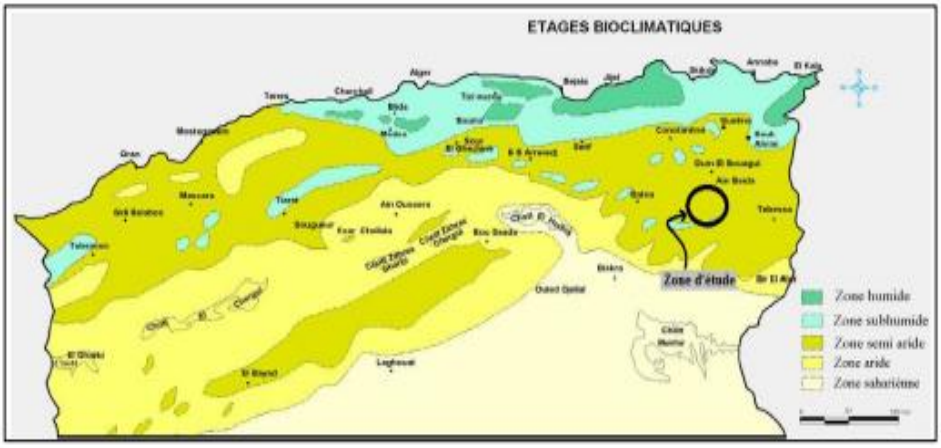



**Tableau I.2 Etages bioclimatiques de la zone d'étude.**

### I.2.2 Sismicité :

D'après le RPOA2008 / version 2008 du ministère des travaux publics les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, Le document technique réglementaire cité ci-avant divise le territoire algérien en **5 zones** de sismicité croissante. La wilaya de KHENCHELA et la wilaya de OUM EL BOUAGHI sont classées **zone « I »** ; c'est-à-dire **zone à sismicité faible.**

## I.3 PRESENTATION DU PROJET :

Nous vous présentons dans ce travail notre thème de **Projet de Fin Études**, une étude en Avant-Projet détaillé « **APD »,** d'un tracé ferroviaire reliant les villes **« AIN EL BEIDA – KHENCHELA »**, le tronçon étudié de ce projet commence à partir du **PK 21+388** jusqu'au **PK 35+510** sur un linéaire pour un transport mixte (voyageur, marchandise) d'environ **14 km** avec la conception de la gare mixte de M'TOUSSA du **PK 29+288** au **PK 30+713.**

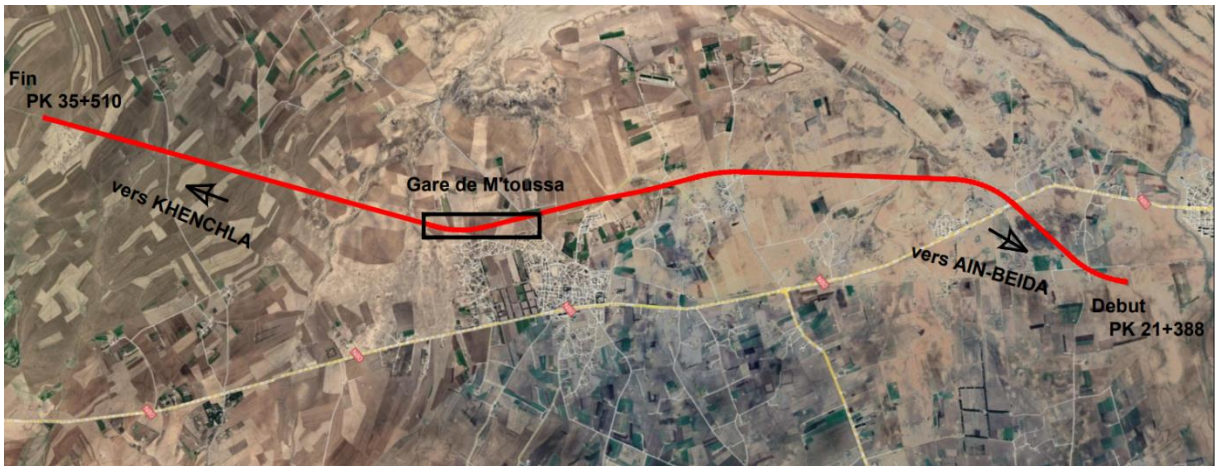



**Figure I.3. Présentation de l'axe de projet sur site.**

## I.4 TRANSPORT (ROUTES) :

Le réseau routier **« Ain BEIDA – KHANCHELA »** qui bénéficieront de la mise en œuvre de ce projet est composé essentiellement de :

- Route national **RN10** qui relie Constantine et Tébessa.
- Route national **RN80** qui relie KHENCHELA et GUELMA
- La route nationale **RN32** qui relie OUM EL BOUAGHI et KHANCHELA

## I.5 CARACTERISTIQUES DE BASE :

Cette ligne est conçue comme une ligne mixte avec des caractéristiques de base comme suit :

- Caractéristiques géométriques selon les normes **SNTF** et **UIC**.

- La longueur totale de projet est de **14173.827 mètres.**
- Vitesse de tracé : **Vv =160 km/h – Vm =100km/h.**
- Pont-Rail et Route sont prévu pour un futur dédoublement à droite (entre-axe 4.2m)
- La gare de M'toussa est mixte (trafic marchandise et voyageur).

## I.6 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LIGNE :

- Écartement standard (1 435 mm en alignement).
- Charge à l'essieu : Infrastructure : 22,5 T  Ouvrage d'art : 25,0 T
- Le rail utilisé sera du type 60 E1 (60,21 kg/m).
- Gabarit d'obstacle : selon UIC (y compris caténaire en 25 KV)
- Mode de traction : diesel / électrique
- Signalisation de type ERTMS
- Électrification en 25 KV / 50 Hz
- La ligne ne comprend aucun passage à niveau. (Vv =160 km/h)
- Les traverses utilisées sont des traverses bi-bloc type V.A.X. U31,
- La ligne contient des clôtures dans les zones qui sont proche de la ville

# CHAPITRE II :

# TRACE EN PLAN

# II TRACE EN PLAN

## II.1 INTRODUCTION :

Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal, 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.

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un roulement parfait et sécurisé des véhicules.

Dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques :

$\mathbf{V_v}$ : vitesse des trains rapides (voyageurs).

$\mathbf{V_m}$ : vitesse des trains lents (marchandises).

## II.2 CONDITIONS ET REGLES DE TRACE :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Comme c'est une étude APD on ne doit pas sortir du couloir choisi.
- Utiliser le maximum d'alignements droit (le plus petit AD dans notre projet est de 428.652 m).
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou à partir des endroits les plus étroits.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières (zone agricole éviter de notre projet environ les PK 22+000, PK 28+000, PK 29+000)
- Eviter le maximum les propriétés privées (privilège par les anciennes lignes de SNTF)
- Respecter les règlements recommandés par la SNTF et UIC.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes des terrassements.
- Eviter le passage sur les zones de grande importance (on a évité un cimetière rencontré du couloir au PK 26+340 par un rayon de 2000 m).
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques et géotechniques.

## II.3 LES ELEMENTS DU TRACE EN PLAN :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques :

Une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement

- Alignement : R=∞
- Arc de cercle : R = Constante
- Courbe de raccordement : R =variable

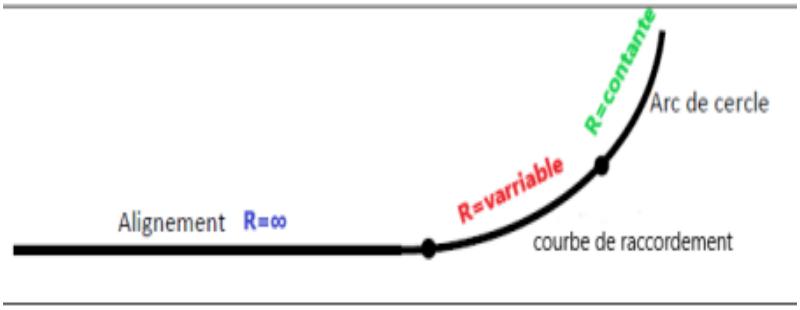



**Tableau II.1 Eléments géométriques de tracé en plan**

### II.3.1 Alignements (R=∞)

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 (la force centrifuge est nulle)

### II.3.2 Les courbes circulaires

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

### II.3.3 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=∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. Dans notre projet on a utilisé le raccordement entre les alignements et les cercle seulement.

- L'emploi des courbes de raccordement se justifie par le calcul de la courbure **Δc :**

**Tableau II.2 Les valeurs de la courbure**

| | |
|---|---|
| **Alignement-courbe** | $\Delta c = \frac{1000}{R}$ |
| **Deux Courbe de même sens avec R1≠R2** | $\Delta c = \frac{1000}{R1} - \frac{1000}{R2}$ |
| **Une courbe et contre courbe** | $\Delta c = \frac{1000}{R1} + \frac{1000}{R2}$ |

**Tableau II.3 Conditions d'obligation de l'ajout des Rp**

| | |
|---|---|
| **V≤ 100 km/h** | **Δc > 9000/Vmax2** |
| **100<V≤ 160 km/h** | **Δc > 7000/Vmax2** |
| **V >160km/h** | **Δc > 4000/Vmax2** |

**Tableau II.4 Conditions de recommandation de l'ajout des Rp**

| | |
|---|---|
| **Pour une vitesse** | **Δc > 2000/Vmax2** |

## II.4 VITESSE DE REFERENCE :

La voie sera conçue pour accueillir un trafic mixte voyageurs et fret circulant aux vitesses projetées apparaissant ci-dessous :

**Tableau II.5 les vitesses que le maitre d'ouvrage exige dans notre projet.**

| | |
|---|---|
| **Pour les trains rapide (voyageurs)** | **V=160 km/h** |
| **Pour les trains des marchandises** | **V=100 km/h** |

## II.5 LES DEVERS :

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

### II.5.1 Dévers théorique :

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer **la stabilité sur la voie** et **le confort des voyageurs** (éliminations complètes de la force centrifuge).

La Formule pratique suivante :

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

- $\mathbf{d_{th}}$ : dévers théorique en (mm).
- **V :** vitesse de train en (Km/h).
- **R :** rayon de courbe en (m).

### II.5.2 Le Dévers pratique :

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

Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique. Le dévers pratique se calcule par :

$$\mathbf{d_p = \frac{1000 * C}{R}}$$

- **dp :** dévers pratique en (mm)
- **R :** rayon en (m).
- **C :** coefficient de dévers.

Selon la norme **SNTF** pour les voies **< 220 Km/h**. On peut calculer le coefficient de dévers avec l'expression suivantes :

$C = 0.006 \times \boldsymbol{V}v^2$ et : $\mathbf{d_p = \frac{1000 * C}{R} < dp\ (max)}$

Ce dévers donné à la voie est en général compris entre : $\mathbf{0,5 d_{th} < dp < 0.7 d_{th}}$

- **C :** doit être un multiple de **15.**
- **Vv :** la vitesse du train le plus rapide (voyageurs) exprimé en (km/h).

## II.6 DEVERS MAXIMUM ADMISSIBLE $D_{MAX}$ :

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

**Tableau II.6 Les Valeurs Limite de Devers maximale**

| | Selon la norme SNTF | Selon la norme UIC |
|---|---|---|
| **Valeur normale** | 160 mm | 120 mm |
| **Valeur maximale** | / | 150 mm |
| **Valeur exceptionnelle** | 180 mm | 160 mm |

**Remarque** : Pour notre projet la valeur de dévers maximum est selon la norme **SNTF.**

## II.7 L'INSUFFISANCE DE DEVERS « I » :

C'est la différence entre le dévers théorique qui assure l'équilibre de train rapide et le dévers pratique, ce qui donne des efforts transversaux non compensés qui peuvent présenter un danger, c'est pourquoi la valeur de cette différence de dévers doit être limitée, on l'appelle l'insuffisance maximale.

Insuffisance de divers est exprimée par la formule :

$$\mathbf{I = d_{th(v)} - d_p}$$

$$\mathbf{I = \frac{11.8 * Vv^2}{R} - d_p \leq Imax}$$

- **I** : L'insuffisance de dévers (mm).
- $\mathbf{D_{th(v)}}$ : le dévers théorique des trains(voyageur) rapide (mm).
- **dp** : dévers pratique (mm).

**Tableau II.7 Les Valeurs Limite L'insuffisance de dévers.**

| | Selon la norme SNTF | Selon la norme UIC |
|---|---|---|
| **Valeur normale** | 150 mm | 100 mm |
| **Valeur maximale** | / | 120 mm |
| **Valeur exceptionnelle** | 160 mm | 150 mm |

**Remarque** : Pour notre projet la valeur de dévers maximum est selon la norme **SNTF.**

## II.8 L'EXCES DE DEVERS « E » :

Le dévers théorique des trains de marchandises est inférieur au dévers pratique (dth < dp), ce type de train exerce sur la voie des efforts transversaux dirigés vers l'intérieur de la courbe.

Excès de divers est exprimé par la formule :

$$E = d_p - d_{th(m)}$$

$$E = dp - \frac{11.8 * Vm^2}{R} < Emax$$

- **E :** L'excès de dévers en (mm).
- **$D_{th(m)}$ :** le dévers théorique des trains (marchandise) lent.
- **dp** : dévers pratique en (mm).

**Tableau II.8 Les Valeurs Limite de l'excès.**

| | Selon la norme SNTF | Selon la norme UIC |
|---|---|---|
| **Valeur normale** | 110 mm | 70 mm |
| **Valeur maximale** | / | 90 mm |
| **Valeur exceptionnelle** | 130 mm | 110 mm |

**Remarque** : Pour notre projet la valeur de dévers maximum est selon la norme **SNTF.**

## II.9 RACCORDEMENT DE DEVERS :

Le passage d'un dévers nul en alignement à un dévers prévu en pleine courbe doit se faire d'une façon progressive pour conserver le confort des passagers et éviter la fatigue du matériel.

Cette progression se fait sur une longueur appelée « rampe de dévers », cette variation est accompagnée aussi de la variation de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Son exécution se fait par la surélévation progressive du rail extérieur par rapport au rail intérieur.

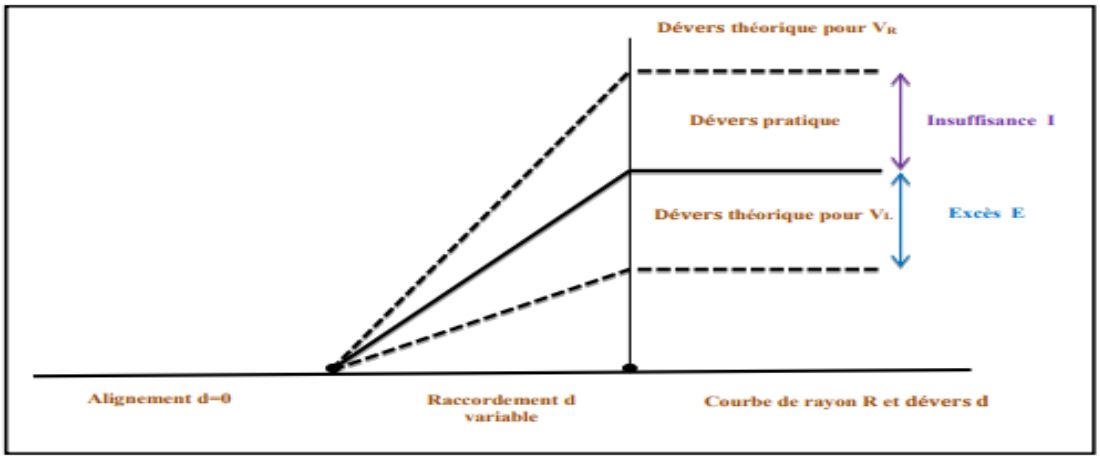



**Tableau II.9 Raccordement de dévers selon la SNTF.**

### II.9.1 La variation de dévers par rapport aux longueurs « $\frac{dd}{dl}$ » :

La variation du dévers sur la longueur est constante sur toute la longueur de la rampe de dévers, et cela pour des raisons de facilité de pose, de contrôle et d'entretien. Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{dp}{Lrp}$$

### II.9.2 La variation de dévers par rapport au temps « $\frac{dd}{dt}$ » :

La variation du divers dans le temps est aussi limitée par une valeur maximale. Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp * Vmax}{3.6 * Lrp}$$

### II.9.3 La variation de l'insuffisance par rapport au temps « $\frac{dI}{dt}$ » :

La variation du divers dans le temps est aussi limitée par une valeur maximale. Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I * Vmax}{3.6 * Lrp}$$

## II.10 LIMITE DA LA VARIATION DE DEVERS :

La variation de divers doits satisfaire les conditions suivantes :

**Tableau II.10 Limite de la variation de devers**

| | Limite de la variation de devers par rapport à la longueur « $\frac{dd}{dl}$ » | Limite de la variation de devers par rapport au temps « $\frac{dd}{dt}$ » |
|---|---|---|
| **Valeur maximal normal** | $\frac{180}{Vv}$ | 50 mm/s |
| **Valeur maximal exceptionnelle** | $\frac{216}{Vv}$ | 60 mm/s |

## II.11 LIMITE DE LA VARIATION DE L'INSUFFISANCE DE DEVERS :

Lors du passage d'un train d'un alignement à la pleine courbe 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.

La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule :

- $\frac{\mathbf{\Delta I}}{\mathbf{\Delta t}} = \frac{I \times V}{3.6 \times LRP}$ dans un RP entre alignement et courbe.
- $\frac{\mathbf{\Delta I}}{\mathbf{\Delta t}} = \frac{|I1 - I2| \times V}{3.6 \times LRP}$ dans un RP entre deux courbes de même sens.
- $\frac{\mathbf{\Delta I}}{\mathbf{\Delta t}} = \frac{|I1 + I2| \times V}{3.6 \times LRP}$ dans un RP entre deux courbes de sens contraire.

Avec : $\frac{\mathbf{\Delta I}}{\mathbf{\Delta t}}$ = variation d'insuffisance de dévers (en mm/s).

- **I** = Insuffisance dans la pleine courbe (en mm).
- $\mathbf{I_1}$ = Insuffisance dans la courbe amont (en mm).
- $\mathbf{I_2}$ = Insuffisance dans la courbe aval (en mm).
- **V** = Vitesse du mouvement (en km/h),
- $\mathbf{L_{RP}}$ = Longueur du RP (en m).

Pour le mouvement le plus rapide, les valeurs limites sont :

**Tableau II.11 Variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps.**

| | |
|---|---|
| **Valeur limite normale** | **75 mm/s** |
| **Valeur limite exceptionnelle** | **90 mm/s** |

## II.12 LES DOUCINES :

Lorsque la vitesse des trains de voyageurs est **supérieure** ou égale à **60 km/h** et la variation de devers significative supérieur à **60/v** il nécessaire d'insérer des doucines axées sur les extrémités des RP (raccordement progressive).

## II.13 LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DE TRACE :

Les éléments de tracé (alignement et courbe) doivent avoir une longueur géométrique supérieur aux longueurs minimales, cette dernière varie selon l'ajout des doucines et des rayon progressive.

### II.13.1 Courbes avec RP et doucines :

Les doucines ont des longueurs normales comprises entre **30 et 40 m.** La longueur minimale peut-être exceptionnellement abaissée à **20 m.**

**Tableau II.12 Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes entre milieu de doucines :**

| | |
|---|---|
| **Valeur limite normale** | $\frac{Vmax}{2}$ |
| **Valeur limite exceptionnelle** | $\frac{Vmax}{3}$ |

**Tableau II.13 Les longueurs minimales du RP, entre milieu de doucines :**

| | |
|---|---|
| **Valeur limite normale** | **60 m** |
| **Valeur limite exceptionnelle** | **50 m** |

### II.13.2 Courbes avec RP sans doucines :

**Tableau II.14 Les longueurs minimales des alignements et des pleines**

| | |
|---|---|
| **Valeur limite normale** | $\frac{Vmax}{3}$ |
| **Valeur limite exceptionnelle** | $\frac{Vmax}{5}$ |

- **La longueur minimale des RP est de 30 m pour le bourrage.**

### II.13.3 Courbes sans RP :

**Tableau II.15 Les longueurs minimales des alignements et pleines courbes :**

| | |
|---|---|
| **Valeur limite normale** | $\frac{Vmax}{2}$ |
| **Valeur limite exceptionnelle** | $\frac{Vmax}{2.5}$ |

## II.14 LA LONGUEUR DE LA COURBE DE RACCORDEMENT :

La longueur d'une courbe de raccordement progressif est définie par les caractéristiques limites suivantes à ne pas dépasser :

- 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**.**

## II.15 DETERMINATION DE RAYON MINIMALE ($R_{MIN}$) :

Le 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 trop importants.

Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

Le rayon minimum est calculé par les formule suivante :

$$\mathrm{d(Rmin)} = \frac{\mathrm{Emax} * \mathrm{Vmax}^2 + \mathrm{Imax} * \mathrm{Vmin}^2}{\mathrm{Vmax}^2 - \mathrm{Vmin}^2}$$

$$\mathrm{Rmin\ (m)} = \frac{11.8\ \mathrm{Vmax}^2}{\mathrm{d(Rmin)} + \mathrm{Imax}}$$

**Avec :**

- **R** : Rayon de courbe (m).
- **V :** Vitesse (km/h).
- **I :** Insuffisance de dévers (mm).

- **E :** Excès de dévers (mm).
- $\mathbf{d_{(Rmin)}}$ **:** Dévers associer au rayon minimal (mm).

## II.16 APPLICATION AU PROJET :

**Tableau II.16 Les valeurs calculées pour notre projet respectent les valeurs limites exigées (selon SNTF)**

| Paramètres | Valeur limite normale | Valeur-limite exceptionnelle |
|---|---|---|
| La variation de dévers par rapport aux longueurs $\frac{dd}{dl}$ | $\frac{180}{Vv} = 1.125\ mm/m$ | $\frac{216}{Vv} = 1.35\ mm/m$ |
| La variation de dévers par rapport au temps $\frac{dd}{dt}$ | 50 mm/s | 60 mm/s |
| La variation de l'insuffisance de dévers $\frac{dI}{dt}$ | 75 mm/s | 90 mm/s |

### II.16.1 Calcule de Longueur minimal des alignements et courbes :

Etant donné que le projet subira la création des doucines.

- La valeur de la longueur minimale est donnée par :

### II.16.2 Calcul de rayon minimal selon la méthode française SNTF :

- Le résultat n'est pas vérifié donc on utilise $\mathbf{d(Rmin)}$ **=160mm.**

| Formule de : $L_{min}$ | Application numérique | Résultat |
|---|---|---|
| $L_{min} = V_{max}/2$ (cas normale)<br>$L_{min} = V_{max}/3$ (cas exceptionnelle) | 160 / 2<br>160 / 3 | 80 m<br>53.3 m |

- La valeur du rayon minimal est donnée par :

| Formule de : **Rmin** | Application numérique | Résultat et arrondi |
|---|---|---|
| $\frac{\mathbf{11.8\ x\ Vmax^2}}{\mathbf{d(Rmin) + Imax}}$ | $\frac{11.8\ x\ 160^2}{160 + 150}$ | 974.45 m et on prend<br>$R_{min}$ = **1000 m** |

- Le coefficient de dévers est donné par :

| Formule de :C | Application numérique | Résultat et vérification |
|---|---|---|
| **$C = 0.006 \times Vv^2$** | $C = 0.006 \times 160^2 = 153.6$ | ''**C**'' est doit être multiple de **15** **C = 165** |

- Le dévers pratique est donné par :

| Formule de : dp | Application numérique | Résultat et vérification |
|---|---|---|
| $\frac{1000 * C}{R}$ | $\frac{1000 \times 165}{1000}$ | 165mm≤160mm |

- Le résultat n'est pas vérifié Donc on recalcule $R_{min}$ pour un $dp_{max}$=160mm :

$$Rmin = \frac{1000*165}{160} = 1031.25m$$

On prend **Rmin =1050 m**

**<u>Application au projet pour R = 1200 m</u>**

- **Vérification de l'emploi de RP :**

  **$\Delta c = \frac{1000}{R}$=0.83 > $\frac{7000}{Vmax2}$ =0.27.** ➔ Donc RP obligatoire.

- **Devers Pratique :**

$$dp = \frac{1000*165}{1200} = 137.5mm \leq 160mm$$ ➔ vérifier.

On prend **dp=140mm**

- **Devers théorique (T. Voyageur) :**

| Formule de : $d_{th\ v}$ | Application numérique | Résultat |
|---|---|---|
| $\frac{11.8 * Vv^2}{R}$ | $\frac{11.8 * 160^2}{1200}$ | 251.73mm |

- **Devers théorique (T. marchandise) :**

| Formule de : $d_{th\ m}$ | Application numérique | Résultat |
|---|---|---|
| $\frac{11.8 * Vm^2}{R}$ | $\frac{11.8 * 100^2}{1200}$ | 98.33mm |

- **L'insuffisance et l'excès :**

| Formule de : Insuffisance | Application numérique | Résultat et vérification |
|---|---|---|
| $\mathbf{I=d_{th(v)} - d_p}$ | 251.73 - 140 | 111.73mm ≤ 150mm |
| **Formule de : Excès** | **Application numérique** | **Résultat et vérification** |
| **E=dp- dth(m)** | 140 - 98.33 | 41.67mm ≤ 110mm |

- **Calcule de clothoïde :**

- Condition 01 :

| Formule de : $Lrp_{min}$ | Application numérique | Résultat et arrondi |
|---|---|---|
| $\mathbf{LRP_{min} \geq \frac{dp}{\frac{dd}{dl}}}$ | $LRP_{min} \geq \frac{140}{1.125}$ | $125m$ On prend **LRP=130m** |

- Condition 2 :

| Formule de : $\frac{dd}{dt}$ | Application numérique | Résultat et vérification |
|---|---|---|
| $\mathbf{\frac{dd}{dt} = \frac{dp * Vmax}{3.6 * Lrp}}$ | $\frac{140 * 160}{3.6 * 130}$ | $47.86mm/s \leq 50mm/s$ |

- Condition 3 : **(**Pour un alignement-courbe)

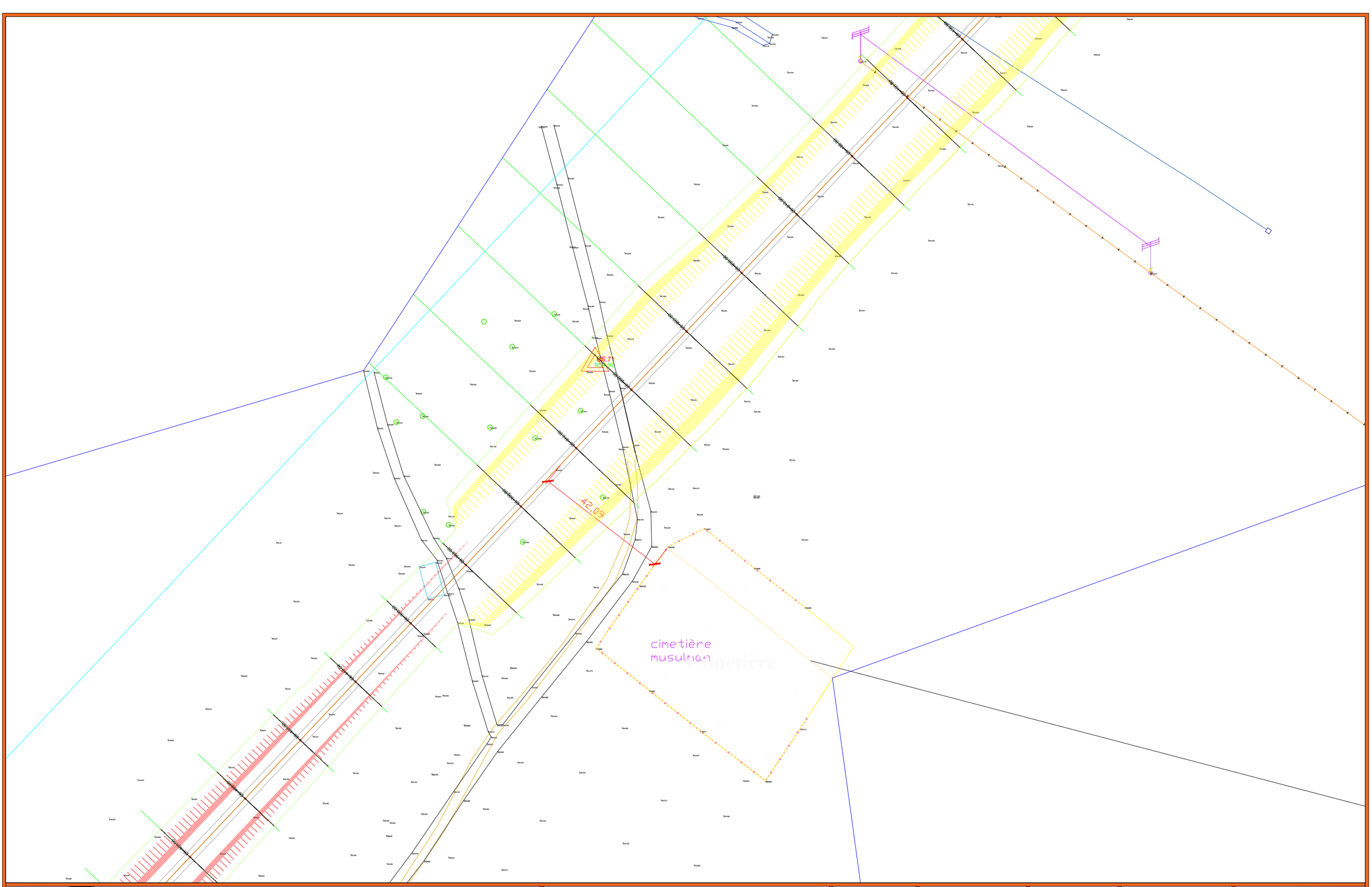
| Formule de : $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ | Application numérique | Résultat et vérification |
|---|---|---|
| $\mathbf{\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V}{3.6 \times LRP}}$ | $\frac{111.73 \times 160}{3.6 \times 130}$ | $38.19mm/s \leq 75mm/s$ |

## II.17 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons débuté l'étude géométrique du tracé de notre projet et on l'a réalisé sur le logiciel **AUTOCAD** at **COVADIS (présentation)**, voici les rayons importants dans le projet :

**Tableau II.20. Calcul des rayons de projet :**

| Rayon (m) | Obligation de RP | Dp (mm) | $Dth_v$ (mm) | $Dth_m$ (mm) | I (mm) | E (mm) | Lrp (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1) R=1200** | **Δc = 0.83 > 0.27**<br>**Rp Obligatoire** | 140 | 251 | 98 | 111 | 41 | 130 |
| **2) R= 1200** | **Δc = 0.83 > 0.27**<br>**Rp Obligatoire** | 140 | 251 | 98 | 111 | 41 | 130 |
| **3) R= 2000** | **Δc = 0.5 > 0.27**<br>**Rp Obligatoire** | 90 | 154 | 59 | 64.04 | 31 | 80 |
| **4) R = 5000** | **Δc = 0.2 < 0.27**<br>**Rp non Obligé** | / | / | / | / | / | / |
| **5) R= 5000** | **Δc = 0.2 < 0.27**<br>**Rp non Obligé** | / | / | / | / | / | / |
| **6) R = 1200** | **Δc = 0.83 > 0.27**<br>**Rp Obligatoire** | 140 | 251 | 98 | 111 | 41 | 130 |




ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

**Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger**
**Fax** : ( 023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
**Tel** : (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

| PROJET DE FIN D'ETUDES | Réalisé par | Encadré par | Echelle | N° Planche | Année universitaire |
|---|---|---|---|---|---|
| Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviére AIN BEIDA KHENCHLA du PK 21+388au PK 35+510 | Ouranader Melizi | M.GOUMETTRE Ahmed | 1/1000 | N01° | 2022/2023 |

# CHAPITRE II :

## PROFIL EN LONG

# III PROFIL EN LONG :

## III.1 INTRODUCTION :

La construction du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, surtout sur le plan économique là ou paraîtra l'importance des terrassements (quantité de déblai et de remblai), ouvrage d'art, tunnel…etc.

Pour chaque point du profil en long, on doit déterminer les éléments suivants :

- L'altitude du terrain naturel ;
- L'altitude du projet ;
- La déclivité du projet, distances partielles et cumulées…etc.

## III.2 ÉLEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG :

Le profil en long est l'ensemble d'alignements (paliers, pentes et rampes) et de courbes (convexes, concaves) qui représentent la ligne rouge.

Ces éléments constitutifs se définie comme suit :

- **Palier :** c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Rampe :** c'est la partie du tracé qui définit la montée.
- **Pente :** c'est la partie du tracé qui définit la descente.
- **Courbe de raccordement verticale :** c'est des arcs de cercle qui assurent la liaison entre deux éléments de la ligne rouge.

## III.3 DECLIVITE :

La déclivité est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal, elle est dénommée « une pente » pour les descentes et « une rampe » pour les montées.

Ces dernières doivent respectés les recommandations exigées par le référentiel du **SNTF/RFF IN 0272** en raison de sécurité et de confort dont :

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

La position des droites par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs tel que :

- Eviter les terrassements inutiles.
- Equilibrer les remblais-déblais.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à **NPHE + 0.5m.**
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en déclivité.
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long, afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur, comme le montre la figure au-dessous :

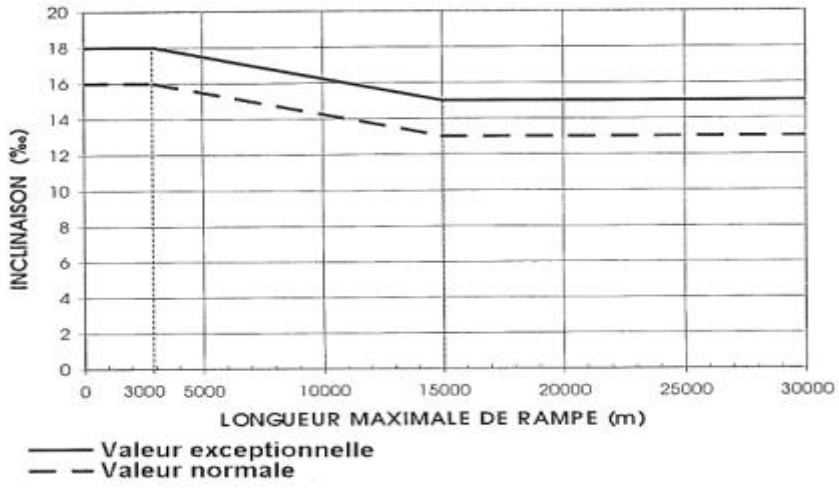



**Figure III.1Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur.**

## III.4 LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG :

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importantes aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails. Donc les éléments de profil en long doivent respecter les longueurs minimales suivantes :

**Tableau III.2Valeurs de la longueur minimale des éléments (Source SNTF)**

| | |
|---|---|
| **Valeur minimale normale (m)** | $\frac{\mathbf{Vmax}}{\mathbf{2}}$ |
| **Valeur minimale exceptionnelle (m)** | $\frac{\mathbf{Vmax}}{\mathbf{2.5}}$ |

- Pour notre projet, longueur minimale des déclivités est pour **V=160km/h.**

| | |
|---|---|
| **Valeur minimale normale (m)** | Lmin = 80m |
| **Valeur minimale exceptionnelle (m)** | Lmin = 64m |

- **Condition :** La longueur minimale des déclivités **Lmin≥30m.**

## III.5 RACCORDEMENTS CIRCULAIRES EN PROFIL EN LONG.

C'est un arc de cercle qui assure la liaison entre deux déclivités de la ligne rouge, il permet d'assurer le confort et la sécurité des voyageurs en réduisant les accélérations centrifuge.

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

Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter :

**Tableau III.3Tab : les valeurs de rayon minimal Selon la SNTF**

| | |
|---|---|
| **Valeur normale (m)** | **0.35Vmax2** |
| **Valeur exceptionnelle (m)** | **0.25Vmax2** |
| **Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (m)** | **0.15Vmax2** |

- Pour notre projet le rayon minimal se calculera comme suit :

| | |
|---|---|
| **Valeur normale (m)** | **Rv=8960 m** |
| **Valeur exceptionnelle (m)** | **Rv=6400 m** |

## III.6 COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN :

Pour assurer une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, on doit vérifier certaine condition :

- Un raccordement de profil en long ne doit pas être sur la clothoïde du tracé en plan.
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

Le respect de ces conditions a pour but de :

- Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant
- Offrir du confort aux voyageurs.
- Reduction de l'interactions des accélérations verticales et horizontale

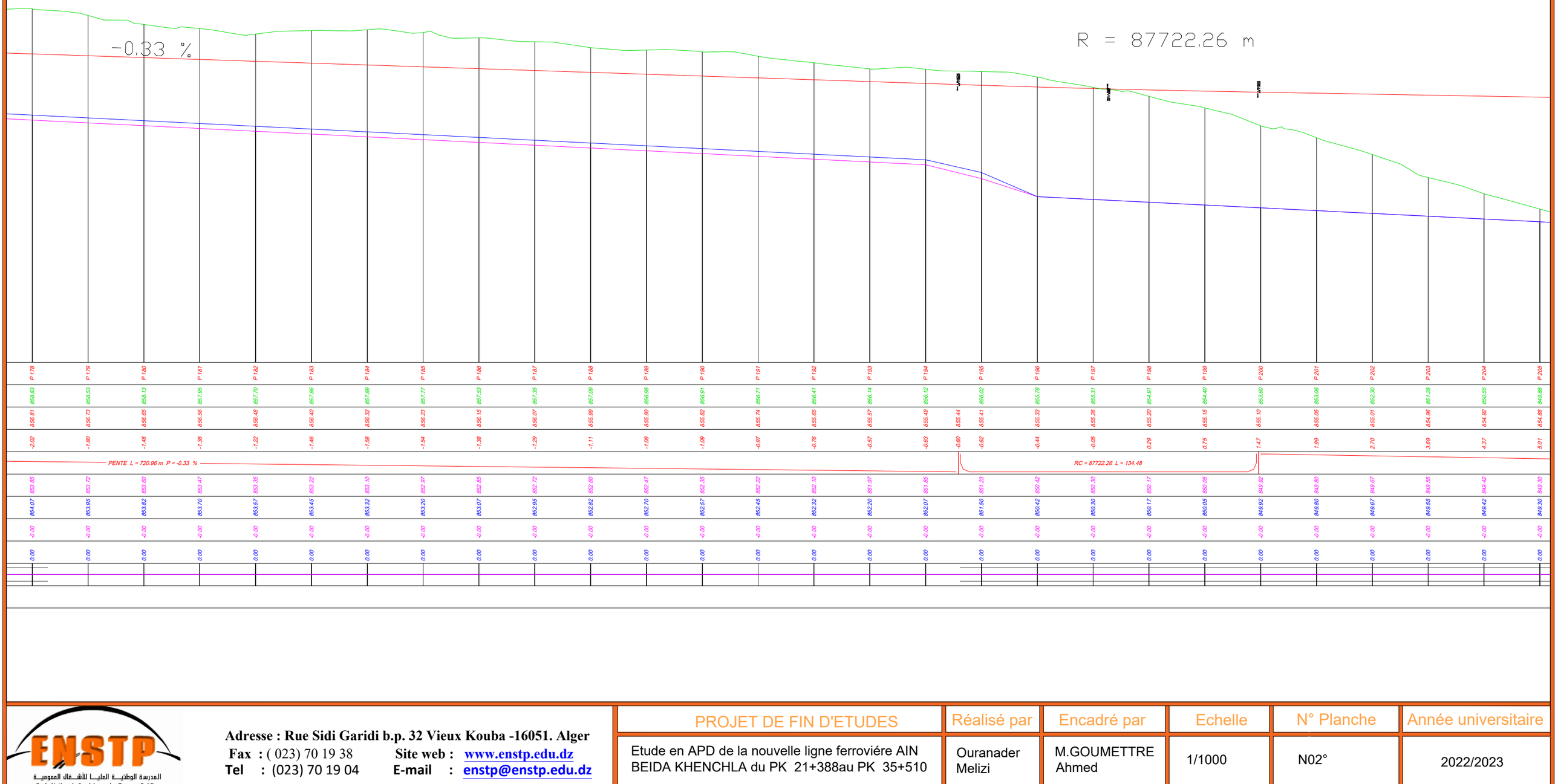
**Remarque :** Au point de changement de pente lorsque la déférence algébrique des déclivités est inférieure à **2‰** (peut être portée à **4 ‰**) on ne fait pas le raccordement circulaire.

## III.7 LES CONTRAINTES DE TRACE :

- **Lignes d'électricités de tension au** PK 22+013 et PK 22+688 et PK 23+463 et PK 25+163 et PK 26+163 et PK 27+688 et PK 29+363 et PK 30+988 et PK 31+588 et PK 31+963 et PK 33+963 et PK 34+388 et PK 34+938.
- **Rétablissements piste passage supérieur** et PK 26+742 et PK 29+356 et PK 33+927.
- **Intersection avec RN80** au PK 23+113 (passage supérieur).
- **Conduites en eaux potables AEP** au PK 22+840 et PK 24+039 et PK 25+988 et PK 26+132 et PK 26+560 et PK 30+455

## III.8 CONCLUSION :

Le profil en long est la tâche la plus considérable, par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique où paraitra l'importance des terrassements, soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre tracé en plan et profil en long et l'emplacement des gares. **(Présentation)**




| P178 | P179 | P180 | P181 | P182 | P183 | P184 | P185 | P186 | P187 | P188 | P189 | P190 | P191 | P192 | P193 | P194 | P195 | P196 | P197 | P198 | P199 | P200 | P201 | P202 | P203 | P204 | P205 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 858.83 | 858.53 | 858.13 | 857.95 | 857.70 | 857.66 | 857.89 | 857.77 | 857.53 | 857.35 | 857.09 | 856.88 | 856.81 | 856.71 | 856.41 | 856.14 | 856.12 | 856.02 | 855.78 | 855.31 | 854.91 | 854.40 | 853.60 | 853.06 | 852.30 | 851.28 | 850.55 | 849.86 |
| 856.81 | 856.73 | 856.65 | 856.56 | 856.48 | 856.40 | 856.32 | 856.23 | 856.15 | 856.07 | 855.99 | 855.90 | 855.82 | 855.74 | 855.65 | 855.57 | 855.49 | 855.41 | 855.33 | 855.26 | 855.20 | 855.15 | 855.10 | 855.05 | 855.01 | 854.96 | 854.92 | 854.88 |
| -2.02 | -1.80 | -1.48 | -1.38 | -1.22 | -1.46 | -1.58 | -1.54 | -1.38 | -1.29 | -1.11 | -1.08 | -1.09 | -0.97 | -0.76 | -0.57 | -0.63 | -0.62 | -0.44 | -0.05 | 0.29 | 0.75 | 1.47 | 1.99 | 2.70 | 3.69 | 4.37 | 5.01 |
| 853.85 | 853.72 | 853.60 | 853.47 | 853.35 | 853.22 | 853.10 | 852.97 | 852.85 | 852.72 | 852.60 | 852.47 | 852.35 | 852.22 | 852.10 | 851.97 | 851.85 | 851.23 | 850.42 | 850.30 | 850.17 | 850.05 | 849.92 | 849.80 | 849.67 | 849.55 | 849.42 | 849.30 |
| 854.07 | 853.95 | 853.82 | 853.70 | 853.57 | 853.45 | 853.32 | 853.20 | 853.07 | 852.95 | 852.82 | 852.70 | 852.57 | 852.45 | 852.32 | 852.20 | 852.07 | 851.50 | 850.42 | 850.30 | 850.17 | 850.05 | 849.92 | 849.80 | 849.67 | 849.55 | 849.42 | 849.30 |
| -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 | -0.00 |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

**Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger**
**Fax** : ( 023) 70 19 38 **Site web** : www.enstp.edu.dz
**Tel** : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz


| PROJET DE FIN D'ETUDES | Réalisé par | Encadré par | Echelle | N° Planche | Année universitaire |
|---|---|---|---|---|---|
| Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviére AIN BEIDA KHENCHLA du PK 21+388au PK 35+510 | Ouranader Melizi | M.GOUMETTRE Ahmed | 1/1000 | N02° | 2022/2023 |

# CHAPITRE IV :

## HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

# IV ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE :

## IV.1 INTRODUCTION :

La voie ferrée est un ouvrage qui se développe linéairement sur le terrain, à travers ses déblais et remblais de la digue qui perturbent le débit d'eau naturel préexistant.

Ce chapitre constitue une étude hydrologique et hydraulique sur les dimensions structurales hydrauliques (ouvrages d'assainissement et de drainage) des sections divisées le long de la voie reliant les villes **d'AIN EL BEIDA** et de **KHENCHELA** entre **PK21+388 et PK35+510** pour assurer la continuité de la voie ferrée, écoulement et protection des quais ferroviaires.

Par conséquent, l'objectif principal de cette étude hydrologique est de déterminer le débit de crue d'une nouvelle trajectoire pour cette ligne ferroviaire afin d'éviter toute inondation sur cette ligne. Ce dimensionnement est basé sur les critères suivantes :

- Ne pas modifier la géométrie naturelle des cours d'eau, dans la mesure du possible.
- Protéger la voie ferrée des crues centennales.
- Maintenir une vitesse minimale dans les ouvrages pour réduire les risques de sédimentation.
- Limiter les vitesses maximales afin de réduire les risques d'érosion à l'intérieur des ouvrages.
- Bien gérer les eaux de ruissellement afin de limiter les problèmes d'érosion dans les talus.
- Prévoir des pentes minimales pour les ouvrages afin d'en faciliter le curage.

## IV.2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE :

La conception adéquate d'une étude hydrologique doit nécessairement s'appuyer sur une bonne compréhension des principes hydrologique de façon à pouvoir bien évaluer les différents paramètres afin de fournir les données de base permettant de dimensionner le réseau de drainage (transversal et longitudinal).

### IV.2.1 La zone climatique :

L'hétérogénéité du relief implique une extrême diversité des aspects climatiques. En général, le climat est de type presque saharien au Sud. Les Hivers, sont très rigoureux et les étés chauds et secs.

La région est caractérisée par un climat chaud en été et humide en hiver. Juillet et août sont les mois les plus chauds.

### IV.2.2 Les précipitations :

Elles sont exprimées généralement en hauteur de précipitation (mm). Et si on rapporte cette hauteur à l'unité de temps, il s'agit d'une intensité de précipitation (mm/h).

**Tel que 1 mm = 1 L / m².**

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H) et de l'Office National de la Météorologie (O N M).

- **Précipitation moyenne annuelles :**

**Tableau IV.1 Pluies annuelles pour différentes fréquences (en mm).**

| Période de retour | Fréquence | AIN BEIDA | KHENCHLA |
|---|---|---|---|
| 10ans | 0.9 | 477 | 682 |
| 20ans | 0.95 | 519 | 749 |
| 50ans | 0.98 | 568 | 830 |
| 100ans | 0.99 | 602 | 887 |

- **Précipitation moyenne mensuelle :**

Les **précipitations moyennes mensuelles** varient respectivement de **8.6** à **49,5 mm de d'AIN EL BEIDA** et de **15,7** à **62,2 mm de KHENCHELA.**

- **Précipitations maximales journalières :**

**Tableau IV.2 Précipitations maximales journalières (en mm).**

| Période de retour | Pluie maximale en 24 heures (mm) | |
|---|---|---|
| | AIN BEIDA | KHENCHLA |
| 10ans | Pjmax = 62.3 | Pjmax = 61.7 |
| 20ans | Pjmax = 73.6 | Pjmax = 71.6 |
| 50ans | Pjmax = 88.1 | Pjmax = 84.5 |
| 100ans | Pjmax = 99.1 | Pjmax = 94.1 |

## IV.3 LES BASSIN VERSANTS :

Le bassin versant est un système hydrologiquement fermé c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'écoulent par une seule section à l'exutoire, il représente l'unité sur laquelle se base l'étude hydrologique.

Les caractéristiques principales des bassins versants dans notre projet sont :

- **La surface (A) :**

La délimitation des contours des bassins versants est effectuée sur la base des cartes topographiques et les surfaces sont calculées en utilisant le logiciel **AUTOCAD.**

- **Longueur du talweg principal (L) :**

C'est la longueur du cours d'eau principal du bassin versant.

Pour notre cas Les longueurs des thalwegs sont mesurées à l'aide du logiciel **AUTOCAD.**

- **L'altitude maximale (Hmax) :**

Elle est obtenue directement à partir des cartes topographiques, elle représente la hauteur du point le plus élevé du bassin versant.

- **L'altitude maximale (Hmin) :**

Elle est obtenue directement à partir des cartes topographiques, elle représente la hauteur du point d'intersection entre le talweg principal et le tracé.

- **Pente moyenne du talweg principal (I%) :**

Elle est approximée avec le rapport **I%= (Hmax-Hmin) /L.**

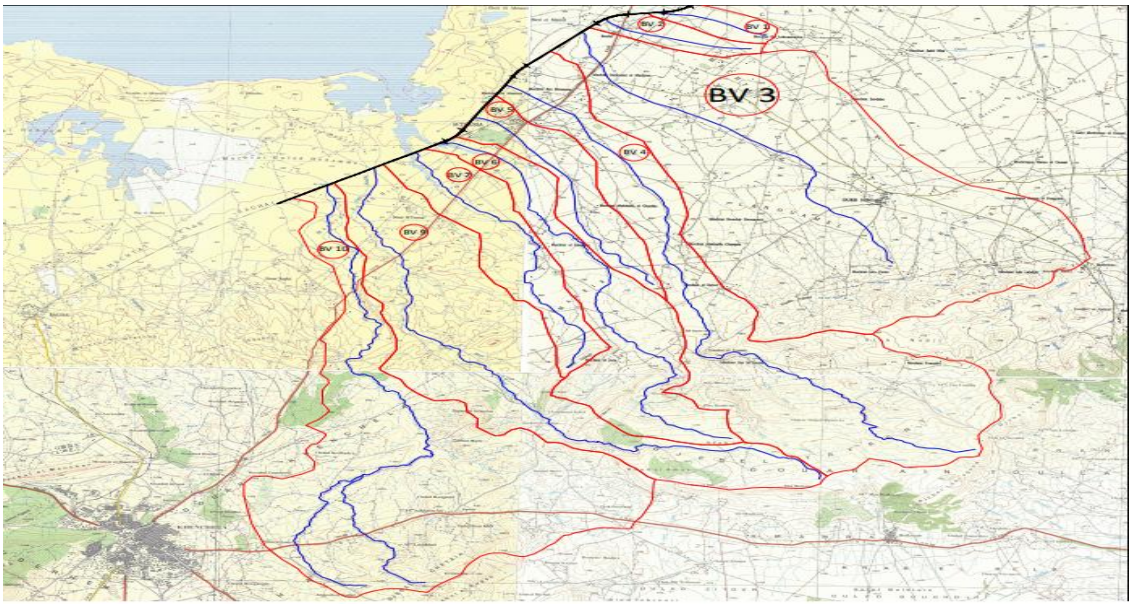



**Figure IV.1 Délimitation des bassin versants.**

Le tableau suivant représente principales caractéristiques des sous-bassins au droit de la zone étude de notre tracé de voie ferrée :

**Tableau IV.3 Caractéristiques morphologiques des bassins versants.**

| Bassin Versant | PK approx | S (Km²) | P (Km) | L (Km) | Hmax (m) | Hmin (m) | Hmoy (m) | Kc (adim) | I (m/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BV1 | PK 22+338 | 1,20 | 6,28 | 1,902 | 865,0 | 858,2 | 862 | 1,61 | 0,004 |
| BV2 | Pk 23+719 | 5,30 | 12,3 | 4,375 | 872,0 | 854,1 | 863 | 1,49 | 0,004 |
| BV3 | Pk 24+534 | 68,7 | 46,7 | 19,39 | 1210,0 | 853,9 | 1032 | 1,58 | 0,018 |
| BV4 | Pk 27+587 | 80,3 | 58,7 | 25,9 | 1402,0 | 860,0 | 1131 | 1,83 | 0,021 |
| BV5 | Pk 29+258 | 2,01 | 5,65 | 1,44 | 950,0 | 858,6 | 904 | 1,11 | 0,063 |
| BV6 | Pk 30+704 | 28,9 | 38,7 | 18,5 | 1284,0 | 859,7 | 1072 | 2,01 | 0,023 |
| BV7 | Pk 31+470 | 20,9 | 29,2 | 14,0 | 1167,0 | 857,6 | 1012 | 1,79 | 0,022 |
| BV8 | Pk 32+643 | 41,5 | 47,7 | 23,2 | 1409 | 860,0 | 1135 | 2,07 | 0,024 |
| BV9 | Pk 34+034 | 73,4 | 57 | 23,9 | 894,9 | 863,3 | 879 | 1,8 | 0,001 |

- **S=** Surface (km²)
- **P=** Périmètre (km)
- **L=** Longueur du cours d'eau principal (km).
- $\mathbf{H_{min}}$ = Altitude minimale (m).
- $\mathbf{H_{max}}$ =Altitude maximale (m).

## IV.4 LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES :

### IV.4.1 Temps de concentration :

- **Lorsque la Superficie de basins versant (S) < 5 Km²** :

  Il est calculé à l'aide de la formule de **Ventura :**

$$tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{I}}$$

- **Lorsque la Superficie de basins versant 5 ≤ (S) < 25 Km² :**

  Il est calculé à l'aide de la formule de **PASSINI :**

$$tc = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{I}}$$

- **Lorsque la Superficie de basins versant 25 Km² ≤ (S) < 200 Km² :**

  Il est calculé à l'aide de la formule de **GIANDOTTI :**

$$tc = \frac{1.5L + \sqrt[4]{A}}{0.8\sqrt{H}}$$

Avec :

- **H=Hmoy(m)- Hmin(m).**
- **Tc** : Temps de concentration (heure).
- **A** : Superficie du bassin versant (km²).
- **L** : Longueur du Talweg (cours d'eau) principal en Km.
- **I** : Pente moyenne du bassin versant (m/m).
- **H** : La différence entre l'altitude moyenne et altitude minimale en (m).
- **Hmoy** : altitude moyenne (en m) **Hmoy= (Hmax+Hmin) /2**
- **Hmin** : altitude minimale (en m).

### IV.4.2 Coefficient de ruissellement Cr :

Le coefficient de ruissellement est estimé à partir de la méthode décrite dans le guide technique de l'assainissement routier (Setra, 2006, page 9). Le tableau ci-dessous présente les valeurs du coefficient de ruissellement d'un sol naturel en fonction des pentes, de la nature des sols et du couvert végétal dans un bassin versant.

**Tableau IV.4 Coefficients de ruissellement pour une période de retour décennale (C10).**

| Couverture végétale | Morphologie | Pente % | Terrain sable grossier | Terrain limoneux | Terrain argileux |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bios** | Presque plat | P < 5 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| | Ondulé | 5 ≤ P < 10 | 0,25 | 0,35 | 0,50 |
| | Montagneux | 10 ≤ P < 30 | 0,32 | 0,50 | 0,60 |
| **Pâturage** | Presque plat | P < 5 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| | Ondulé | 5 ≤ P < 10 | 0,15 | 0,36 | 0,55 |
| | Montagneux | 10 ≤ P < 30 | 0,22 | 0,42 | 0,60 |
| **Culture** | **Presque plat** | P < 5 | 0,30 | **0,50** | 0,60 |
| | Ondulé | 5 ≤ P < 10 | 0,40 | 0,60 | 0,70 |
| | Montagneux | 10 ≤ p < 30 | 0,52 | 0,72 | 0,82 |

Les bassins versants sont en majeure partie occupés par des terrains **arables,** moyennement **perméables** avec des **pentes** des bassins versants variant entre **0,1 et 6.3%.**

Les coefficients de ruissellement pour une période de retour décennale ($C_{10}$) sont **C=0.5**

Le passage à des coefficients de période de retour centennale s'effectue en fonction d'unseuil de rétention initiale (Po, en mm) selon la relation ;

Dans notre cas pour $C_{10}$ est inférieur à **0,80** :

$$Po = \left(1 - \frac{C_{10}}{0,8}\right) p_{jmax\ 10}$$

Où Pjmax 10 est la hauteur de la pluie journalière maximale décennale en mm.

Le coefficient de ruissèlement de période de retour centennale (C100) se calcule alors selon l'expression suivante :

$$C_{100} = 0,8\left(1 - \frac{P_0}{P_{jmax\ 100}}\right)$$

Et où, Pjmax 100 est la pluie maximale journalière de période de retour centennale.

### IV.4.3 Calcul de l'intensité de pluie :

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est la suivante :

$$I=a.Tc^{-b}$$

- **I :** Intensité de la pluie **(mm/h).**
- **Tc** : Temps de concentration.
- **a et b** : Paramètres climatiques.

**Tableau IV.5 Paramètres a et b des Courbes IDF pour la région de l'étude.**

| Période de retour | AIN BEIDA | | KHENCHLA | |
|---|---|---|---|---|
| | a | b | a | b |
| 10ans | 26.0 | 30.2 | 0.75 | 0.76 |
| 20ans | 29.5 | 33.1 | 0.75 | 0.76 |
| 50ans | 34.1 | 36.9 | 0.75 | 0.76 |
| 100ans | 37.5 | 39.8 | 0.75 | 0.76 |

### IV.4.4 Evaluation des débits critiques maximums des crues à l'exutoire Qmax :

➢ **La formule rationnelle (A≤10 km²) :**

$$Q=0.278*C*I*A$$

- **Qmax :** débit de crue de bassin versant avec une période de retour voulue **T (en $m3$ /s).**
- **I :** intensité de pluie **(en mm)** pour le temps de concentration du B.V et la récurrence souhaitée.
- **C :** Coefficient de ruissellement Cr.
- **A :** Surface du bassin versant **(km²).**

➢ **La formule de transition (10≤ A ≤ 50 km²) :**

$$QT = \alpha * Q(RT) + \beta * Q(CT)$$

- **QT :** débit de projet de période de retour T.
- **Q(RT) :** débit fourni par la formule rationnelle, période de retour T.
- **Q(CT)** : débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T.

**α, β :** coefficients de pondération

**α** varie linéairement de **1** à **0** lorsque la superficie (S) croît de **1** à **10 km² :**

$$\alpha = (10-S)/9 \quad \text{et} \quad \beta = 1 - \alpha$$

**α** varie linéairement de **1** à **0** lorsque la superficie(S) croît de **10** à **50 km² :**

$$\alpha = (50-S)/40 \quad \text{et} \quad \beta = 1 - \alpha$$

- **La formule Crupédix (A≥ 50 km²) :**

$$Q_{10}(c)=R \times (Pjmax\ (10)\ /80)^2 \times S^{0.8}$$

- **$Q_{10}(c)$** : débit décennal en **m3 /s**
- **$P_{10}$ :** pluie journalière de période de retour décennale, **en mm**
- **C :** coefficient de ruissellement du bassin.
- **S :** superficie du **BV** en **km²**
- **R :** Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement que l'on prendra ici **égal à 1**.

### IV.4.5 Evaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule de Crupédix :

On obtient le débit centennal à partir de la relation de **Crupedix (C) :**

$$Q_{100}(c)=Q_{10}(c)+\Delta Q*(\frac{y}{2.3}-1)$$

**ΔQ=** $Q_{100}(R)$ - $Q_{10}(R)$ résulte de la différence entre les débits décennal et centennal calculés par la formule rationnelle (R) pour le même bassin :

Et y, étant la variable réduite de Gumbel souvent tabulée en fonction de la période de retour (ci-dessous) ou calculée selon l'équation **y = (-ln (-ln (1 – 1 /T))),**

**Tableau IV.6 Variable Gumbel (y) en fonction p.de retour.**

| P. de retour (T) | Fréquence (F=1-1/T) | Variable Gumbel (y) |
|---|---|---|
| **10ans** | 0.9 | 2.25 |
| **20ans** | 0.95 | 2.97 |
| **50ans** | 0.98 | 3.902 |
| **100ans** | 0.99 | 4.6 |

**Tableau IV.7 Tableau représente les résultats des débits maximaux pour une période de retour 100 ans :**

| BV | PK | S ($km^2$) | Cr | L (km) | Pente (m/m) | Tc (h) Ventura | Tc (h) PASSINI | Tc (h) Versant | Tc (h) Retenu | $I_{100}$ (mm/h) | Rationnelle $Q_{max}$ ($m^3/s$) | | Transition $Q_{max}$ (m3/s) | | | Crupedix $Q_{max}$ (m3/s) | | | Valeur Retenu (m3/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | $Q_{10}$ | $Q_{100}$ | α | B | $Q_{100}$ | $Q_{10}$ | $\Delta Q_R$ | $Q_{100}$ | $Q_{max}$ |
| 1 | 22+338 | 1.2 | 0.61 | 1.902 | 0.004 | 2.33 | 2.42 | 4.9 | 2.33 | 19.9 | 2.3 | 4.1 | / | / | / | | | | 4.1 |
| 2 | 23+719 | 5.3 | 0.61 | 4.375 | 0.004 | 4.57 | 4.9 | 6.59 | 4.9 | 11.4 | 5.8 | 10.2 | / | / | / | | | | 10.2 |
| 3 | 24+534 | 68.7 | 0.61 | 19.39 | 0.018 | 7.77 | 8.93 | 5.83 | 5.83 | 10.4 | 75.3 | 121.3 | / | / | / | 17.8 | 46 | 63.8 | 63.8 |
| 4 | 27+587 | 80.3 | 0.61 | 25.9 | 0.021 | 7.87 | 9.71 | 5.67 | 5.67 | 10.6 | 90 | 144.8 | / | / | / | 20.2 | 54.8 | 75 | 75 |
| 5 | 29+258 | 2.01 | 0.67 | 1.44 | 0.063 | 0.72 | 0.62 | 1.45 | 0.72 | 51.3 | 13.1 | 19.3 | / | / | / | | | | 19.3 |
| 6 | 30+704 | 28.9 | 0.61 | 18.5 | 0.023 | 4.51 | 5.91 | 4.23 | 4.23 | 13.3 | 40.5 | 65.1 | 0.53 | 0.47 | 50.2 | 8.91 | 24.6 | 33.5 | 50.2 |
| 7 | 31+470 | 20.9 | 0.61 | 14 | 0.022 | 3.89 | 4.89 | 3.94 | 4.89 | 11.9 | 26.2 | 42 | 0.73 | 0.27 | 36.8 | 6.85 | 15.9 | 22.7 | 36.8 |
| 8 | 32+643 | 41.5 | 0.61 | 23.2 | 0.024 | 5.32 | 7.05 | 4.57 | 4.57 | 12.6 | 55 | 88.3 | 0.21 | 0.79 | 54.3 | 11.9 | 33.3 | 45.2 | 54.3 |
| 9 | 34+034 | 73.4 | 0.61 | 23.9 | 0.025 | 29.9 | 36.4 | 22.0 | 22.0 | 3.8 | 29.5 | 47.3 | / | / | / | 18.73 | 17.8 | 36.5 | 36.5 |

## IV.5 CALCUL HYDRAULIQUE :

### IV.5.1 Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les dimensions retenues pour ces ouvrages sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_{100} \leq Q_S$$

$Q_{100}$ : Débit de crue centennal (débit d'apport) en m³/s.

$Q_S$ : Débit de saturation de l'ouvrage en m³/s

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

$$Q_S = V.\ Sm \qquad V = Kst.\ Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

- **V :** Vitesse d'écoulement d'eau (m/s)
- **Sm :** Section mouillée de l'ouvrage (m²)
- **Kst :** Coefficient rugosité dépend de la nature des parois internes de l'ouvrage (**Kst=70** correspond au **béton** grossier avec coffrage bois)
- **i :** Pente de pose de l'ouvrage (m/m) (en prendre pour dalot-buse.
- **Rh :** Rayon hydraulique (m).

Rh = Sm/Pm = Section mouillée /Périmètre mouillé

- **Pour les dalots** :
  - **Ht ≤ 2.5 m :** Hr =80% la hauteur totale ;
  - **Ht > 2.5 m :** Hr = Ht-0.5.

Hr : la hauteur de remplissage., m.

- **Pour les buses** :la section et le périmètre mouillés sont calculés avec l'OH rempli d'eau.

**Tableau IV.8 Calcul de Rayon hydraulique pour une section circulaire et rectangulaire**

| | Section circulaire | Section rectangulaire |
|---|---|---|
| Section mouillée : Sm ($m^2$) | $\frac{\pi \emptyset^2}{4}$ | Hr*b |
| Périmètre mouillé : Pm (m) | $\pi \emptyset$ | B+2Hr |

- **Pré dimensionnement de la buse :**

On prend l'écoulement au **Pk 22+338** qui corresponde à **BV 01**, dont le débit $\mathbf{Q_{100}}$ = 4.1m3 /s.

Soit une buse de Ø = 1200 mm.

D'où $Sm = \frac{\pi\emptyset^2}{4} = \frac{3.14*1.2^2}{4} = 1.1304 m^2$ et $Pm = \pi\emptyset = 3.14*1.2 = 3.768m$

Avec :

- Une pente de I = 0.5 %.
- Buse en béton : Kst = 70

**Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :**

$$Q_{ps} = K \times I^{1/2} \times \frac{\left[\frac{\pi\emptyset^2}{4}\right]^{5/3}}{[\pi\emptyset]^{2/3}} \quad AN: \quad Q_{ps} = 70 \times 0.005^{1/2} \times \frac{[1.1304]^{5/3}}{[3.768]^{2/3}} = 2.505$$

Pour 2 Buse 1200mm $Q_{ps}$ =5.01> $Q_{100}$=4.1 m3 /s

**Vérification des condition auto curage :**

Vps= Qps/ Sm => Vps= 5.01/1.1304=4.43 m/s

**a)** Pour Rq=Qa/Qps= 0.01 ➔ il faut ➔ $\mathbf{V}_{écoulement}$ > 0.3 m/s.

Rq=Qa/Qps = 0.01 ➔ Rv = V/Vps = 0.32 => V= 0.32×4.43=1.41> 0.3m/s

**b)** Pour Qa/Qps =0.1➔ il faut $\mathbf{V}_{écoulement}$ > 0.6 m/s.

Rq= Qa/Qps= 0.1➔ Rv = V/Vps = 0.64 => V= 0.64×4.43=2.83> 0.6m/s.

(Rq , Rv ,Voire ANNEXE C).

-Les conditions auto curage sont vérifiées.

-Et Qs > Q100

- **Pré dimensionnement de dalot :**

On prend l'écoulement au **Pk 23+719** qui corresponde à **BV02**, dont le débit $Q_{100}$ = 10.2$m^3$ /s.

Soit un **dalot** de **(3*2).**

Hr : la hauteur de remplissage., Hr=0.8Ht =1.6m.

Sm=Hr*b=1.6*3=4.8$m^2$ et Pm=b+2Hr=3+2*1.6=6.2m.

- Une pente de I = 2.4%.
- Dalot en béton : Kst = 70.

**Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :**

$Q_{ps}$ =K× $I^{1/2}$ × $\frac{[Hr*b]^{5/3}}{[b+2Hr]^{2/3}}$ AN : $Q_{ps}$ =70× $0.025^{1/2}$ × $\frac{[4.8]^{5/3}}{[6.2]^{2/3}}$=10.39 > $Q_{100}$=10.2 $m^3$ /s

**Vérification des condition auto curage :**

Vps= Qps/ Sm ➔ Vps= 10.39/4.8=2.16 m/s

**c)** Pour Rq=Qa/Qps= 0.01 ➔ il faut $\mathbf{V}_{écoulement}$ > 0.3 m/s.

Rq=Qa/Qps = 0.01 ➔ Rv = V/Vps = 0.32 => V= 0.32×2.16=0.69> 0.3m/s

**d)** Pour Qa/Qps =0.1 ➔ il faut $\mathbf{V}_{écoulement}$ > 0.6 m/s.

Rq= Qa/Qps= 0.1 ➔ Rv = V/Vps = 0.64 => V= 0.64×2.16=1.38> 0.6m/s.

(Rq , Rv ,Voire ANNEXE C).

-Les conditions auto curage sont vérifiées.

-Et Qs > $Q_{10}$.

**Tableau IV.9 Liste globale des ouvrages à projeter.**

| BV | PK | $Q_{100}$ $m^3/s$ | Type lOH | Ø (mm) | b (m) | Ht (m) | Hr (m) | Pm (m) | Sm ($m^2$) | Rh (m) | I m/m | Vps m/s | Qs $m^3/s$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 22+338 | 4.1 | 2.B | 1.2 | / | / | / | 3.77 | 1.1304 | 0.3 | 0.005 | 4.43 | 5.01 |
| 2 | 23+719 | 10.2 | D | / | 3 | 2 | 1.6 | 6.2 | 4.8 | 0.81 | 0.024 | 2.16 | 10.39 |
| 3 | 24+534 | 63.8 | Pont rail 3*20 | | | | | | | | | | |
| 4 | 27+587 | 75 | 4.D | / | 4 | 2.5 | 2 | 8 | 8 | 1 | 0.008 | 9.78 | 78.31 |
| 5 | 29+258 | 19.3 | 2.D | / | 3 | 3 | 2.5 | 8 | 7.5 | 0.9375 | 0.004 | 2.59 | 19.45 |
| 6 | 30+704 | 50.2 | Pont rail 3*20 | | | | | | | | | | |
| 7 | 31+470 | 36.8 | Pont rail 3*20 | | | | | | | | | | |
| 8 | 32+643 | 54.3 | 4.D | / | 4 | 3 | 2.5 | 9 | 10 | 1.111 | 0.003 | 6.31 | 63.112 |
| 9 | 34+034 | 63.5 | 4.D | / | 3 | 2.5 | 2 | 7 | 6 | 0.857 | 0.026 | 6.29 | 66.34 |

## IV.6 OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT LONGITUDINAUX

- **Dimensionnement des fossés :**

Les dimensions retenues pour ces ouvrages sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_{10} \leq Q_S$$

- $Q_{10}$ : Débit décennal (en m3 /s)
- $Q_S$ : Débit de saturation de l'ouvrage en m³/s.

**Remarque :** période de retour pour le calcul fosse est 10 ans

La capacité hydraulique (débit de saturation) de ces fossés est calculée en utilisant selon la formule de « Manning Strickler » sur un écoulement à surface libre :

$$Q_S = Kst.\ Rh^{2/3}.i^{1/2}.Sm$$

- **Kst :** Coefficient de rugosité Strickler **Ks = 70** (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- **i :** Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m), égale à **0.002** au minimum
- **Rh :** Rayon hydraulique (m)
- **Rh** = Sm/Pm = Section mouillée /Périmètre mouillé

**Tableau IV.10 Calcul de Rayon hydraulique pour une section trapézoïdale**

| | | |
|---|---|---|
| **Section mouillée (Sm)** | **(b+z .h)h** | **z : la pente Des berges** |
| **Périmètre mouillé (Pm)** | **$(b+2.h.\sqrt{(1+Z^2)})$** | |

### IV.6.1 Débit à évacuer (Qa) :

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

$$Qa = QPF + Qb + Qt$$

- QPF : débit rapporté par la plate-forme
- Qb : débit rapporté par les bermes
- Qt : débit rapporté par les talus

Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a le déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante au PK 28+388, le débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

**Q=0.278*C*I*A**

Le temps de concentration est calculé à l'aide de la formule de « **VENTURA ».**

**Tableau IV.11 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.**

| Caractéristique de déblai | | Plateforme | Talus | Bermes |
|---|---|---|---|---|
| **Le cas plus défavorable :** | **Cr** | 0.7 | 0.4 | 0.4 |
| **Longueur=892.34 m** | **P(m/m)** | 0.04 | 1/2 | 0.04 |
| **$H_{talus}$= 9.6 m** | **A($Km^2$)** | 0.0061 | 0.0091 | 0.0027 |
| | **Tc(h)** | 0.049 | 0.017 | 0.032 |
| **Berme = 3m** | **$I_{10}$ (mm/h)** | 298.85 | 668.14 | 413.16 |
| **Largeur de la plate-forme (longue coté) = 6.8m** | **Q**(pf.t.b) ($m^3/s$) | 0.354 | 0.676 | 0.124 |
| **Totale** | **$Q_a$ ($m^3/s$)** | **$Q_{pf} + Q_B + Q_T$= 1.154** | | |

Le choix de type du fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus : **Qa= Qpf + Qb + Qt.**

**Tableau IV.12 Dimensionnement du fossé proposé.**

| B | H | Z | Sm($m^2$) | Pm(m) | Rh(m) | Ks | I(m/m) | Qs($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.5** | **0.6** | **3/2** | **0.84** | **2.66** | **0.32** | **70** | **0.005** | **1.94** |

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :

$Qa \leq Qs$ ➔ $1.154 \leq 1.94$ $m^3/s$ est vérifier.

**En conclusion**, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (b=0.5m, h=0.6 m, pente=3 /2 H/V).

# CHAPITRE V :

## GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

# V ÉTUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

## V.1 INTRODUCTION :

Une étude géotechnique est une étude des sols qui vise la détermination des caractéristiques mécaniques des terrains qui vont supporter notre infrastructure, ainsi que l'évaluation des risques naturels recensées dans l'environnement autour du terrain et les impacts que cela pourrait avoir sur la future ligne ferroviaire.

Ce chapitre illustre les caractéristiques géologiques et géotechniques des matériaux sur lesquels sera réalisée la nouvelle ligne ferroviaire **AIN BEIDA – KHENCHELA,** le long de tronçon entre Le **PK 21+388** et **PK 35+510.**

## V.2 L'ETUDE GEOLOGIQUES :

### V.2.1 Introductions :

Lors de la réalisation de voies ferrées, les études géologiques permettent de mieux comprendre les caractéristiques géologiques du sous-sol et d'évaluer les risques géologiques potentiels tels que les glissements de terrain, les affaissements de sol et les instabilités de la pente. Les données géologiques peuvent également être utilisées pour sélectionner les meilleurs sites pour les excavations et les tunnels, ainsi que pour la conception des fondations de la voie ferrée.

### V.2.2 Contexte géologique régional :

Le projet se situe dans la région entre le vaste quadrilatère montagneux des AURES et les vastes plains de F´KIRINA et d´OUM EL BOUAGHI. Les monts des Aurès prolongent l´Atlas saharien vers le Nord-Est. La région de KHENCHLA contient une suite voûtes et synclinales des roches crétacées. Les dépressions sont ouillées avec des sédiments tertiaires et quaternaires.

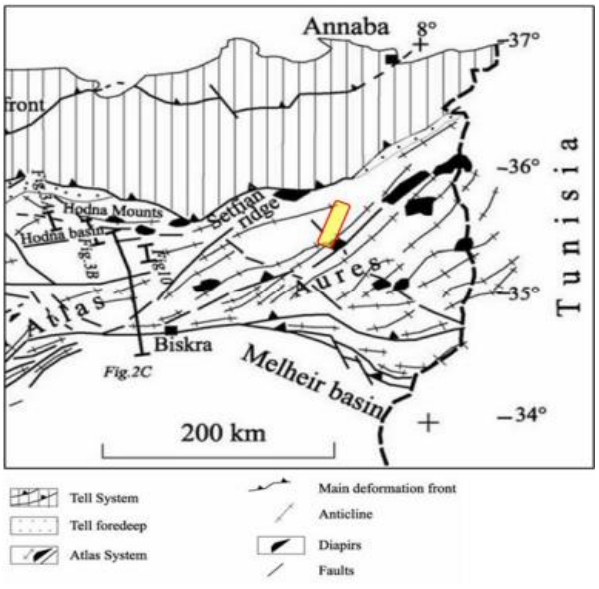



**Figure V.1 Carte des structures géologiques de l'est de l'Algérie**

### V.2.3 Climat du site

Les températures dans la région varient entre 11 à 15°C en hiver et 30 à 35°C l'été. La région présente une pluviométrie entre 200 et 400 mm/an. Les vents fort (V > 16m/s) sont rares dans la région.

Le climat de la Wilaya d'OUM EL BOUAGHI est semi-aride caractérisé par des hivers très froids moyennement pluvieux et des étés très chauds et secs. Pour la région de KHENCHLA, le climat est de type continental sec avec des chutes de neige en hiver.

### V.2.4 Sismicité du site

D'après le RPOA2008 / version 2008 du ministère des travaux publics les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, la wilaya de KHENCHELA et la wilaya de OUM EL BOUAGHI sont classées zone « I » ; c'est-à-dire zone à sismicité faible.

Si en considère que le projet fait partie du groupe 1, le coefficient d'accélération de zone « A » à prendre en considération pour le dimensionnement sera de : **A = 0.15**.

## V.3 ÉTUDE GEOTECHNIQUE :

### V.3.1 Introduction :

Les études géotechniques dans les voies ferrées peuvent inclure des investigations géotechniques telles que des forages, des essais de pénétration, des essais de laboratoire et des mesures in situ. Ces études permettent d'obtenir des données sur les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, telles que la densité, la résistance, la perméabilité et la compressibilité, qui sont importantes pour la conception de la structure de la voie ferrée.

### V.3.2 Programme d'investigation géotechnique :

Après l'observation du tracé projeté de la voie ferrée, nous proposons le plan d'investigation géotechnique de projet et l'objectif de ce programme sont :

- **Lot Tracé :** Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction la plate-forme et assise ferroviaire.
- **Lot Ouvrage :** Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction d'ouvrage et notamment la définition de la fondation.

**Tableau V.1 Programme d'investigation géotechnique.**

| Programme d'investigation géotechnique : | Type d'ouvrage en terre | Essais géotechniques | |
|---|---|---|---|
| | | **Essais in situ** | **Essais au laboratoire** |
| **Lot Tracé : (Dimensionnement de la plate-forme ferroviaire)** | Remblais/ Déblais | - Puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche | - Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..).<br>- Essais mécaniques.<br>- Analyse chimiques. |
| **Lot ouvrage d'art : (Dimensionnement de fondations des ouvrages)** | Remblais/ Déblais | - Sondages Pressiométriques.<br>- Sondages carottés.<br>- Essais pénétration standard. **SPT** | - Essais d'identification physique (G, γ, W, Ip..).<br>- Essais mécaniques.<br>- Analyse chimiques. |

### V.3.3 Essais in-situ :

Le tableau ci-dessous, présente l'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de la voie :

**Tableau V.2 L'ensemble des essais in-situ prévus pour le lot de la voie :**

| Désignation | Objectifs |
|---|---|
| **Sondage carotté** | Distinction des types de formation.<br>Prélèvement des échantillons. |
| **Essais pénétration standard SPT** | Détermination de la succession des différentes couches de sol.<br>Capacité portante du sol. |
| **Les puits de reconnaissance** | Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés. |

### V.3.4 Essai de laboratoire :

Pour les échantillons prélevés on prévoit la réalisation des essais suivants :

**Tableau V.3 les déférentes essaies au laboratoire.**

| Essais physiques | Essais mécaniques | Analyses chimiques |
|---|---|---|
| **Analyse granulométrique** | Cisaillement rectiligne | Teneur en carbonates |
| **La teneur en eau naturelle** | L'essai œdométriques | Teneur en matière organique |
| **Limites d'Atterberg** | Proctor modifié | Teneur en sulfate |
| **Essai de bleu de méthylène** | Essai CBR | |
| **Densité apparente** | Résistance à la compression simple | |

### V.3.5 Les résultats des essais au laboratoire :

Définitions des essais au laboratoire :

- **Densité (poids volumique) :** C'est le rapport entre le poids et le volume **(**ɤh poid volumique humide, et ɤd poids sec sure le volume humide)
- **Le degré de saturation du sol :** C'est une mesure qui indique le pourcentage d'eau présent dans les vides ou les pores d'un sol par rapport à sa capacité maximale à retenir de l'eau. Il est souvent exprimé en pourcentage.
- **L'essai de cisaillement de sol :** L'essai a pour objet de mesurer les caractéristiques de rupture d'un échantillon de sol fin saturé soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse constante. On a utilisé les 02 type, drainer (CD) et non-drainer (CU).
- **L'essai d'œdomètre :** Le but est de mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l'application de différentes charges verticales constantes.
- **L'essai de granulométrie :** Consiste à déterminer les diamètres de chaque fraction granulaire
- **L'essai de valeur de bleu de méthylène (VBS) :** Evaluer la quantité et qualité de la fraction argileuse, à partir de la surface spécifique.
- **La teneur en eau (Wn) : Il** a le but de savoir la quantité de l'eau dans le sol naturel (échantillon).

- **Les limites d'Atterberg :** Cet essai est la détermination expérimentale de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP).
- **L'essai Proctor :** Il s'agit d'identifier la teneur en eau optimale et la densité sèche maximal.
- **L'essai CBR (California Bearing Ratio) :** C'est un essaie de laboratoire pour déterminer la portance de sol dans les conditions optimale

**Les puits de reconnaissance :** Un puits de reconnaissance géotechnique est un forage superficiel effectué dans le sol pour recueillir des informations géotechniques. Plusieurs importants essais sont effectués sur ces puit pour caractériser le sol, ce sont comme suit :

Les résultats des essais au laboratoire ont permis de classer le sol selon GTR et l'UIC :

**Tableau V.4 Résultat des essaies physique et mécanique sur les puits de reconnaissance**

| N°Puits | PK | Prof (m) | Granulometrie (mm) | | | VBS | Wn | Limites d'atterberg | | | | Proctor Modifié | | Indice CBR à 95% | Classification GTR/UIC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Dmax | %<2 | %<0.08 | | | WL % | WP % | IP | IC | ρ OPM t/m$^3$ | W OPM % | | Selon la nature | Selon l'etat hydrique | UIC |
| PU 01 | 22+349 | 1-3 | 0.2 | 100 | 78 | 4.2 | 16.5 | 49 | 25 | 24 | 1.35 | 1.71 | 13.37 | 2.46 | A2 | A2h | QS1 |
| PU 02 | 23+701 | 1-3 | 0.2 | 99 | 79 | 4.15 | 21.5 | 42 | 21 | 21 | 0.97 | 1.75 | 13.65 | 2.68 | A2 | A2th | QS1 |
| PU 03 | 24+022 | 0.2-3 | 0.4 | 97 | 69 | 4.57 | 17.5 | 46 | 23 | 23 | 1.24 | 1.75 | 15.73 | 3.53 | A2 | A2h | QS1 |
| PU 04 | 24+617 | 1-3 | 0.1 | 100 | 95 | 6.42 | 25.8 | 59 | 30 | 29 | 1.14 | 1.64 | 19.06 | 4.26 | A3 | A3h | QS1 |
| PU 05 | 25+300 | 0.2-3 | 0.3 | 100 | 78 | 4.84 | 15.5 | 45 | 23 | 22 | 1.34 | 1.74 | 15.53 | 2.16 | A2 | A2m | QS1 |
| PU 06 | 26+400 | 0.2-3 | 0.3 | 99 | 75 | 4.85 | 12.9 | 47 | 23 | 24 | 1.42 | 1.73 | 16.31 | 3.41 | A2 | A2s | QS1 |
| PU 07 | 28+207 | 0.2-3 | 0.5 | 100 | 49 | 2.05 | 9.1 | 33 | 17 | 16 | 1.49 | 1.85 | 11.91 | 11.46 | A1 | A1s | QS1 |
| PU 08 | 29+330 | 1.2-3 | 0.1 | 100 | 91 | 3.09 | 12.4 | 39 | 20 | 19 | 1.4 | 1.85 | 11.25 | 1.96 | A2 | A2m | QS1 |
| PU 09 | 30+743 | 2-3 | 0.3 | 99 | 81 | 2.23 | 23.3 | 47 | 24 | 23 | 1.03 | 1.7 | 13.32 | 6.09 | A1 | A1th | QS1 |
| PU 10 | 32+631 | 1-3 | 0.4 | 98 | 81 | 4.85 | 14.3 | 42 | 22 | 20 | 1.38 | 1.79 | 14.27 | 2.48 | A2 | A2m | QS1 |
| PU 11 | 33+855 | 2-3 | 0.08 | 100 | 95 | 4.13 | 18.5 | 52 | 26 | 26 | 1.28 | 1.69 | 15.69 | 2.47 | A2 | A2h | QS1 |
| PU 12 | 34+018 | 2-3 | 0.09 | 100 | 94 | 3.54 | 15.9 | 53 | 27 | 26 | 1.42 | 1.71 | 13.55 | 4.22 | A2 | A2h | QS1 |
| PU 13 | 35+388 | 0.2-3 | <0.08 | 100 | 100 | 5.34 | 17.1 | 56 | 28 | 28 | 1.39 | 1.67 | 13.67 | 2.25 | A2 | A2h | QS1 |

- **Observations sur les résultats :**

- Les **IP** varient entre **15 et 28** se qui atteste un sol peu plastique à plastique dans l'ensemble.
- La **Wn** varie entre **9.39 et 25.8%** le sol est donc légèrement humide à humide.
- Les valeurs de **VBS** sont comprises entre **2.00 et 4.00** caractérisant ainsi des sols sensibles à l'eau.

- **Analyses chimiques :**

Les résultats des analyses chimiques sommaires du sol effectué sur les échantillons prélevés des puits sont donnés par le tableau suivant (%) :

**Tableau V.5 Résultat des analyses chimique sur les puits de reconnaissance**

| N°Puits | PK | Profondeur (m) | Teneur exprimé en % par rapport au matériau sec | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Insoluble % | Carbonates % | Sulfates % |
| PU 02 | 23+701 | 1-3 | 64.7 | 33.8 | Trace |
| PU 03 | 24+022 | 0.2-3 | 51.8 | 28.9 | 10.5 |
| PU 04 | 24+617 | 1-3 | 44.9 | 33.8 | 11.1 |
| PU 05 | 25+300 | 0.2-3 | 57.6 | 29.7 | 6.5 |
| PU 06 | 26+400 | 0.2-3 | 62.3 | 28.1 | 4.85 |
| PU 07 | 28+207 | 0.2-3 | 61.3 | 37.1 | Trace |
| PU 08 | 29+330 | 1.2-3 | 58.6 | 30.8 | Trace |
| PU 09 | 30+743 | 2-3 | 22.9 | 8.94 | 37.3 |
| PU 10 | 32+631 | 1-3 | 55.9 | 33.3 | Trace |
| PU 11 | 33+855 | 2-3 | 50.7 | 32.5 | 3.1 |
| PU 12 | 34+018 | 2-3 | 56.3 | 32.5 | 4.03 |
| PU 13 | 35+388 | 0.2-3 | 44.7 | 34.9 | 10 |

**Les Sondages Carottés :** Les sondages carottés géotechniques sont une technique courante utilisée dans l'industrie de la construction pour étudier les caractéristiques du sol et de la roche sous la surface pour la conception et la réalisation.

Les résultats des essais au laboratoire effectués sur les échantillons prélevés des sondages carottés sont récapitulés dans les tableaux suivants :

**Tableau V.6 Résultat des essaies physique et mécanique et chimique sur les sondages carottés**

| N° | Prof (m) | Teneur eau | Densité (t/m$^3$) | | Saturation | Limites d'Atterberg % | | | Granulo | Cisaillement | | | OEdométre | | | Classification | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages | | W% | ɤd (t/m$^3$) | ɤh (t/m$^3$) | SR | WL | Wp | Ip | <0.08 mm | Type | C(bars) | Φ (°) | Pc | Cc | Cg | GTR | UIC |
| SC 03 PK27+514 | 1.5-2 | 19.87 | 1.74 | 2.09 | 100 | 52 | 26 | 26 | 97 | CU | 0.41 | 11 | 1.39 | 17.65 | 5.73 | A3 | QS1 |
| | 4.8-5 | 18.95 | 1.74 | 2.07 | 96.02 | 56 | 29 | 27 | 86 | CD | / | / | / | / | / | A3 | QS1 |
| | 8-8.5 | 20.43 | 1.74 | 2.1 | 103.49 | 53 | 26 | 27 | 90 | CU | 0.32 | 16 | / | / | / | A3 | QS1 |
| SC 04 PK29+351 | 1.5-2 | 19.2 | 1.71 | 2.04 | 94 | 53 | 27 | 26 | 91 | CD | 0.39 | 10 | / | / | / | A3 | QS1 |
| | 5.45-6 | 19.64 | 1.71 | 2.05 | 94.68 | 45 | 23 | 22 | 79 | CU | 0.35 | 19 | 1.42 | 24.65 | 2.8 | A2 | QS1 |
| | 8-8.6 | 19.33 | 1.65 | 1.97 | 84.52 | 45 | 22 | 23 | 70 | CD | / | / | 1.42 | 27.98 | 3.19 | A1 | QS1 |
| SC 05 PK29+400 | 1.7-2 | 20.85 | 1.6 | 1.94 | 84.19 | 37 | 19 | 18 | 75 | CD | 0.35 | 9 | / | / | / | A2 | QS1 |
| | 5.6-6 | 16.88 | 1.75 | 2.02 | 80.95 | 45 | 22 | 23 | 84 | CU | 0.28 | 17 | 1.96 | 9.99 | 4.43 | A2 | QS1 |
| | 8-8.4 | 18.44 | 1.71 | 2.03 | 88.87 | 58 | 29 | 29 | 88 | CD | / | / | 1.69 | 21.98 | 5.34 | A3 | QS1 |
| SC 06 PK30+719 | 2.7-3 | 22.22 | 1.64 | 2 | 95.61 | 51 | 26 | 25 | 86 | CU | 0.39 | 6 | / | / | / | A2 | QS1 |
| | 6.6-7 | 18.22 | 1.62 | 1.91 | 75.94 | 51 | 25 | 26 | 80 | CD | 0.28 | 15 | 1.21 | 18.65 | 8.33 | A3 | QS1 |
| | 13-13.4 | 18.36 | 1.74 | 2.07 | 93.01 | 42 | 21 | 21 | 85 | CU | / | / | 1.71 | 21.65 | 8.92 | A1 | QS1 |
| SC 07 PK31+428 | 3-3.5 | 29.02 | 1.46 | 1.89 | 94.35 | 59 | 29 | 30 | 94 | CD | 0.26 | 16 | / | / | / | A3 | QS1 |
| | 7.5-7.8 | 15.71 | 1.75 | 2.02 | 80.95 | 46 | 24 | 22 | 77 | CU | 0.24 | 5 | / | / | / | A2 | QS1 |
| | 11.7-12 | 26.86 | 1.47 | 1.87 | 88.67 | 46 | 23 | 23 | 89 | CD | / | / | 1.82 | 29.65 | 10.55 | A2 | QS1 |
| SC 08 PK34+018 | 2.45-2.8 | 18.89 | 1.77 | 2.1 | 100 | 56 | 29 | 27 | 86 | CU | 0.32 | 11 | / | / | / | A3 | QS1 |
| | 7.3-7.5 | 33.57 | 1.35 | 1.81 | 92.38 | 47 | 23 | 24 | 86 | CD | 0.32 | 16 | / | / | / | A3 | QS1 |
| | 9.8-12 | 28.27 | 1.52 | 1.95 | 100 | 52 | 26 | 26 | 89 | CU | / | / | 1.65 | 19.65 | 6.84 | A3 | QS1 |

- **Analyses chimiques :**

Les résultats des analyses chimiques sommaires du sol effectué sur les échantillons prélevés des puits sont donnés par le tableau suivant (%) :

**Tableau V.7 Résultat des essaies Analyses chimiques**

| N° Forages | Prof (m) | Analyse Chimique | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Sulfate | Calcium | Chloride | Gypse |
| SC 03 PK27+514 | 1.5-2 | / | / | / | / |
| | 4.8-5 | 0.27 | 44.8 | 0.31 | 4.83 |
| | 8-8.5 | / | / | / | / |
| SC 04 PK29+351 | 1.5-2 | / | / | / | / |
| | 5.45-6 | 0.19 | 37.6 | 0.24 | 3.4 |
| | 8-8.6 | / | / | / | / |
| SC 04 PK29+351 | 1.7-2 | 0.17 | 35.2 | 0.35 | - |
| | 5.6-6 | / | / | / | / |
| | 8-8.4 | / | / | / | / |
| SC 06 PK30+719 | 2.7-3 | 0.15 | 28.8 | 0.24 | 2.65 |
| | 6.6-7 | / | / | / | / |
| | 13-13.4 | 0.1 | 40.8 | 0.28 | - |
| SC 07 PK31+428 | 3-3.5 | 0.2 | 46 | 0.28 | - |
| | 7.5-7.8 | / | / | / | / |
| | 11.7-12 | 0.12 | 39.6 | 0.28 | - |
| SC 08 PK34+018 | 2.45-2.8 | 0.46 | 62.8 | 0.31 | 8.19 |
| | 7.3-7.5 | / | / | / | / |
| | 9.8-12 | / | / | / | / |

### V.3.6 Lithologie affecter dans le couloir :

**Argile marneuse plus au moins limoneuse :**

Il s'agit des Argiles marneuse plus au moins limoneuse quaternaires, cette formation est rencontrée tout le long du tracé, avec une profondeur plus au moins importante qui peut aller jusqu'à **15m**, elle est constituée essentiellement d'argile marneuse d'une consistance compacte, relevées du **PK 21+388** au **PK 35+510**, cette formation peut être gypseuse par endroit du **PK 21+388** au **PK 26+756**.

### V.3.7 Contraintes géotechniques

- **Risque de dissolution de Gypes :**

Lorsque le gypse entre en contact avec l'eau, il se dissout et s'effrite.

**Table V.1.Les zones gypseuse**

| N° Forages | Pourcentage de gypes |
|---|---|
| **SC 03 PK27+514** | 4.83 |
| **SC 04 PK29+351** | 3.4 |
| **SC 06 PK30+719** | 2.65 |
| **SC 08 PK34+018** | 8.19 |

Donc on doit ajouter le **géogrille** pour améliorer la résistance aux cisaillements sous la base de remblai dans les endroits gypseux pour prévenir les déformations importantes.

- **Sol sensible à l'eau :**

Tant que le pourcentage de VBS est élevé dans des endroit de projet donc il risque de se gonfle en présence de l'eau.

Donc de traitement à la chaux doivent être effectué aux sols dans ces endroit pour diminuer la sensibilité à l'eau.

- **Agressivité de sol :**

Le niveau d´agressivité du sol ou des eaux, c´est-à-dire les classes d´expositions Ai (attaques chimiques aux béton). (Voir ANEXXE D)

**Tableau V.8 Les sites qui présentent des agressivités importantes.**

| N° Puit | PK | Prof (m) | Géologie | Sulfates % | Agressivité |
|---|---|---|---|---|---|
| **PU 03** | 24+022 | 0.2-3 | Argile limoneuse gypseuse vaseuse jaunatre et noiratre | 10.53 | A4 |
| **PU 04** | 24+617 | 1-3 | Argile peu limoneuse hypseuse noiratre | 11.14 | A4 |
| **PU 05** | 25+300 | 0.2-3 | Sable argileux brunâtre. | 6.5 | A4 |
| **PU 06** | 26+400 | 0.2-3 | Sable argileux brunâtre. | 4.85 | A4 |
| **PU 11** | 33+855 | 2-3 | Argile sablo-limoneuse jaunâtre. | 3.1 | A4 |
| **PU 12** | 34+018 | 2-3 | Argile sablo-limoneuse jaunâtre. | 4.03 | A4 |
| **PU 13** | 35+388 | 0.2-3 | Argile limoneuse brunâtre peu gypseuse. | 10.01 | A4 |

Donc, on doit protéger les ouvrages d'art avec l'utilisation de **CRS (ciment résistant aux sulfates)**.

- **Zone inondable :**

Certains des itinéraires sont à risque d'inondations et d'embouteillages. Des observations de terrain et des analyses cartographiques ont permis d'identifier et de garantir des zones à risque d'inondation. Le tronçon identifié comme le tableau suivant :

| Section Zone inondable | Niveau NPHE/TN |
|---|---|
| Du PK 21+388 au PK 24+625 | **1.10 m** |
| Du PK 29+200 au PK 35+510 | **0.5 m** |

Les bases de remblai de Zone inondable sont réalisées jusqu'à la cote **NPHE+0,50m** (NPHE Les niveaux des plus hautes eaux).

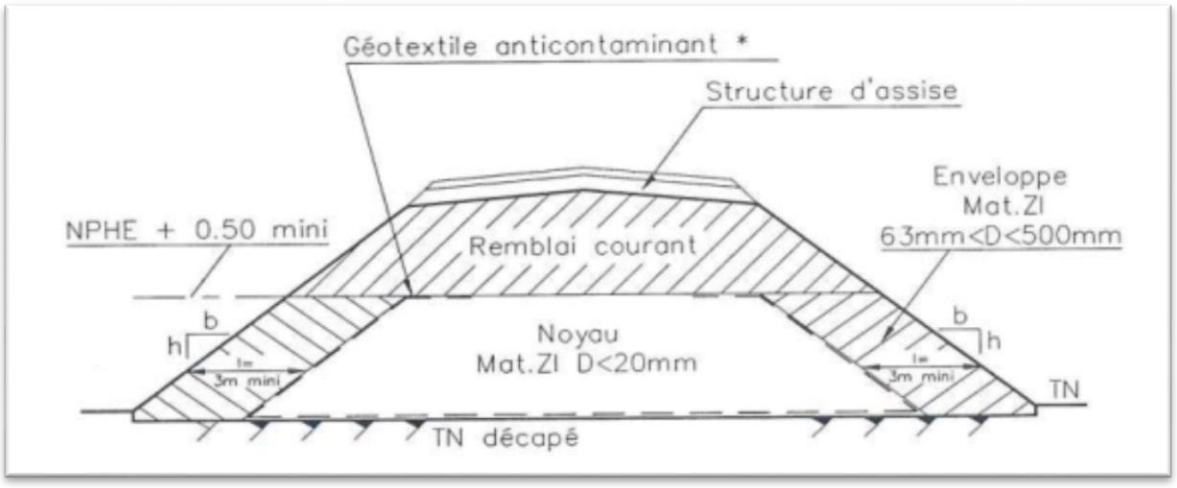



**Figure V.2 Structure d'un remblai en zone inondable.**

- **Type de matériaux**

Conformément à la fiche n°7 de la norme ST590 :

Le matériau utilisé pour construire le talus (l'enrochement) immergé dans l'eau du remblai au niveau de la zone inondable doit être en matériau granulaire concassé ayant les propriétés (voir ANEXXE E).

Le matériau utilisé pour le noyau doit être constitué de matériaux granulaires ayant les propriétés (voir ANEXXE E).

Dans le contact du matériau drainant avec les matériaux de remblai on devra mettre un géotextile de séparation.

### V.3.8 Utilisation des matériaux pour le remblai :

- **Utilisation de matériaux de déblai en remblai :**

Dans l'ensemble de notre projet on a 2 sites de déblai (du PK 24+963 au PK 26+338 et du PK 27+938 au PK 28+763)

Par la classification GTR on a déterminer que les le type de matériaux des 2 déblais sont successivement comme suit : **A2m** et **A1s .**et qui sont les deux valable pour l'utilisation en remblais mais par des conditions :

- Condition d'utilisation de matériaux **A1s** selon le guide **GTR :**

Ces sols sont difficiles à compacter. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et pour des remblais de grande hauteur un changement de leur état hydrique est nécessaire

- Condition d'utilisation de matériaux **A2m** selon le guide **GTR :**

Ces sols ne posent pas de problème de réutilisation en remblai sauf par pluie forte ou moyenne

- **Utilisation de matériaux de gite en remblai :**

Les gites les plus proche de notre tronçon de projet sont : **Gîte 1 PK 33 Gîte 2 PK 21**

Qui fournis successivement les matériaux suivants : **A1m et A2s**

- Condition d'utilisation de matériaux **A1m** selon le guide **GTR :**

Ces sols s'emploient facilement mais sont très sensibles aux conditions météorologiques qui peuvent très rapidement interrompre le chantier à cause d'un excès de teneur en eau ou au contraire conduire à un matériau sec difficile à compacter

- Condition d'utilisation de matériaux **A2s** selon le guide **GTR :**

La teneur en eau faible de ces sols oblige à un compactage intense. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et pour des remblais de grande hauteur un changement de leur état hydrique est nécessaire L'humidification dans la masse exige un malaxage soigné avec apport d'importantes quantités d'eau

### V.3.9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons identifié avec des essais en laboratoire deux classifications de sol :

- Selon le classement **GTR** :

Généralement, le sol est un Argile marneuse plus au moins limoneuse **(A1, A2, A3)**

- Selon le classement **UIC719R** :

La classe de qualité de sol support la plus souvent rencontrée le long du tracé est généralement **QS1 (sol médiocre).**

**Tout le matériau de déblais** est valable pour utiliser en remblai.

Pour les contraintes géotechniques on utilise des **matériaux spéciaux** dans les zones inondable pour le remblai tel que R2, R4, R6, CiB3, D3, R21, R22, R41 et R42 de la classification **GTR**.

Ajouter **le géogrille** pour améliorer la résistance aux cisaillements sous la base de remblai dans les endroits gypseux

**Un traitement à la chaux** doit être effectué aux sols sensibles à l'eau.

Une protection pour les ouvrages d'art avec l'utilisation de **CRS (ciment résistant aux sulfates)** dans les endroits qui présente un pourcentage élevé de sulfate.

# CHAPITRE VI :

## ASSISE FERROVIAIRE

# VI ASSISE FERROVIAIRE

## VI.1 INTRODUCTION :

La structure d'assisse 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.

## VI.2 DIFFERENTES COUCHES D'ASSISES :

### VI.2.1 La couche de ballast :

Le ballast est un granulat de **31.5/50 mm** de granulométrie dans la construction de voies ferrées et provient de concassage de roches dures (granite, quartzite, grès, gneiss, etc. …) dont **100 %** de la Surface des grains est entièrement concassée.

La couche de ballast a une épaisseur de **30 cm**

- **Caractéristiques de Ballast :**

- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12Kn
- Résistance à la compression : ≥ 12Kn /cm² Maille : 22,4/63 mm
- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %
- La granularité du ballast se situe à proximité dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée)

- **Le rôle de Ballast :**

Le ballast joue un rôle très important dans la superstructure de la voie. Il a diverses fonctions :

- Répartir les charges concentrées reçues des traverses de plate-forme. Atténue certaines des vibrations mécaniques causées par la circulation.
- Sa granulation assure un drainage rapide de la voie.
- Faciliter les travaux d'entretien et de pose des voies.
- S'opposer par le frottement de ses éléments entre eux et contre les traverses à tout déplacement de la voie (Le choix de la grosseur du ballast dépend de la nature des traverses).

### VI.2.2 Sous couche :

La sous couche est une couche d'adaptation interposée entre ballast et la plate-forme la sous-couche peut être mono ou multicouche. Elle comprend, du haut vers le bas :

**Une couche sous-ballast** (en grave graduée **0/31 ,5 mm**)

**Une couche de fondation** (en grave compactée a **100%** d'Optimum Proctor modifié**)**
La sous-couche est pentée transversalement (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de plateforme (remblais).

La pente transversale minimale est de **4 %.**

### VI.2.3 La plate-forme :

La plate-forme est la partie supérieure du terrassement qui supporte la couche inférieure. Sols porteurs qui sont compactés au sommet pour former la couche supérieure. Pente transversale de **4 %**. La plate-forme est constituée d'un remblai ou d'un remblai dans le cas d'un sol existant.

## VI.3 CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATEFORME :

D'après les règlements de l'union internationale des chemins de fer **(fiche UIC 719R)** :

On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon les Modalités de tableau (Voir ANNEXE F)

## VI.4 CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME :

La portance d'une plateforme dépend de :

- La classe de qualité du sol support.
- La classe de qualité et l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

En fonction de ces paramètres, on distingue les trois classes de portance de plates-forme suivantes :

- **P1 : Plateforme médiocre.**
- **P2 : Plateforme moyenne.**
- **P3 : Plateforme bonne.**

**Tableau VI.1La classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)**

| Classe de qualité du sol | Classe de portance de la plateforme | Couche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance | |
|---|---|---|---|
| | | Qualité | Épaisseurs min ef(m) |
| QS1 | P1 | QS1 | / |
| | P2 | QS2 | 0.50 |
| | **P2** | **QS3** | **0.35** |
| | P3 | QS3 | 0.5 |
| QS2 | P2 | QS2 | / |
| | P3 | QS3 | 0.35 |
| QS3 | P3 | QS3 | / |

La qualité du sol dépendant du type du sol, une classification **GTR** est imposée, celle-ci se fait avec le guide des terrassements routiers et dépend des résultats des essais laboratoires d'identification retrouvées précédemment.

La classification UIC étant faite on utilisera la classification **GTR** utilisant le tableau sur le code **UIC 719R** (voir ANNEXE G)

On a déduit que la classe de qualité du sol de la plateforme, correspond totalement au QS1

### VI.4.1 Plate-forme proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le long du tracé est **QS1**, ainsi qu'une plateforme de **type P2** (Plateforme moyenne)
Donc, on a besoin d'une couche de forme.

## VI.5 COUCHE DE FORME :

Sur les matériaux **QS1**, une couche de forme dont la qualité de sol est **QS3** et cela sur une épaisseur de **35 cm.**

## VI.6 CALCUL DES EPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE :

La formule de calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise est donnée comme suit :

**e = épaisseur ballast + épaisseur sous couche = E + a + b + c + d + f + g** (voir ANNEXE)

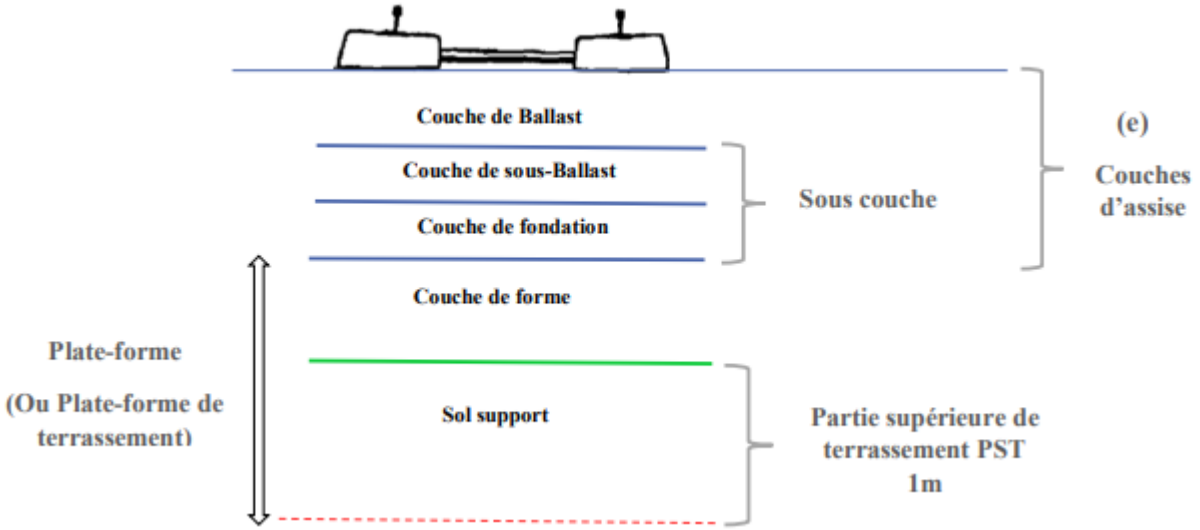



**Figure VI.2 Schéma montre l'épaisseur (e).**

## VI.7 APPLICATION AU NOTRE PROJET (REMBLAIS-DEBLAIS)

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

- **E = 0,55 m** pour la plateforme P2
- **a = - 0,05 m** pour ligne UIC 3 et 4
- **b =0.13 m** pour les traverses en béton de longueur L = 2,24 m
- **c = 0,00 m** pour un dimensionnement normal
- **d = 0,05 m** pour charge pour essieux 225 KN
- **f = 0,00** pour vitesse V≤ 160 KN/h
- **g = +0.00** (pas géotextile), couche de forme sol **Qs3**
- **e** =0.55-0.05+0.13+0+0.05+0=**0.68m** On prend **e= 0.70m**

On aura donc une assise de **0.7m** d'épaisseur avec une couche de ballast de **0.3m** et une sous couche de **0.40m.**

## VI.8 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons calculer l'épaisseur de la couche d'assise (30 cm Ballast, 20 cm Sou Couche, 20 cm Couche de fondation) et dimensionner la couche de forme (35 cm CDF de qualité QS3) pour l'ensemble des plateformes du projet.

# CHAPITRE VII :

## PROFIL EN TRAVERS

# VII PROFIL EN TRAVERS :

## VII.1 INTRODUCTION :

Le profil en travers Correspond à une coupe verticale perpendiculaire à l'axe en plan de la voie, il met en exergue les dévers reliés à la voie.

### VII.1.1 Profil en travers type :

Est un profil unique pour chaque zone contenante et détaillant d'une manière précise toutes les dimensions et tous les détails constructifs.

### VII.1.2 Profil 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 transversale du PK

## VII.2 LES ELEMENTS 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 l'élément sur laquelle repose la voie
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains
- **La berme :** Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.).
- **Le fossé**

## VII.3 STRUCTURE DE LA VOIE FERREE :

### VII.3.1 La Plate-forme :

La plate-forme représente l'emprise au sol. Les spécifications applicables dans notre projet sont les suivantes :

- La largeur de la plate-forme est fixée à **8 m** (voie simple)
- Une bande **70 cm** sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunications et électrification ; l'axe des poteaux caténaires devra se situer à un minimum de **3.25 m** de l'axe de la voie.
- Un cheminement de **70 cm** sera aussi implanté pour la circulation piétonnière

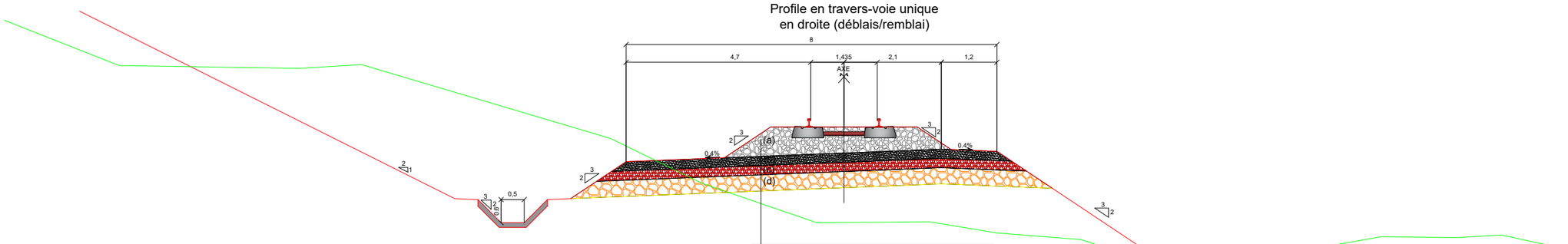
### VII.3.2 Profil type de notre projet :

Pour notre projet, on a opté pour les sections types exigées par la **SNTF (présentation)** :

## PROFIL EN TRAVERS

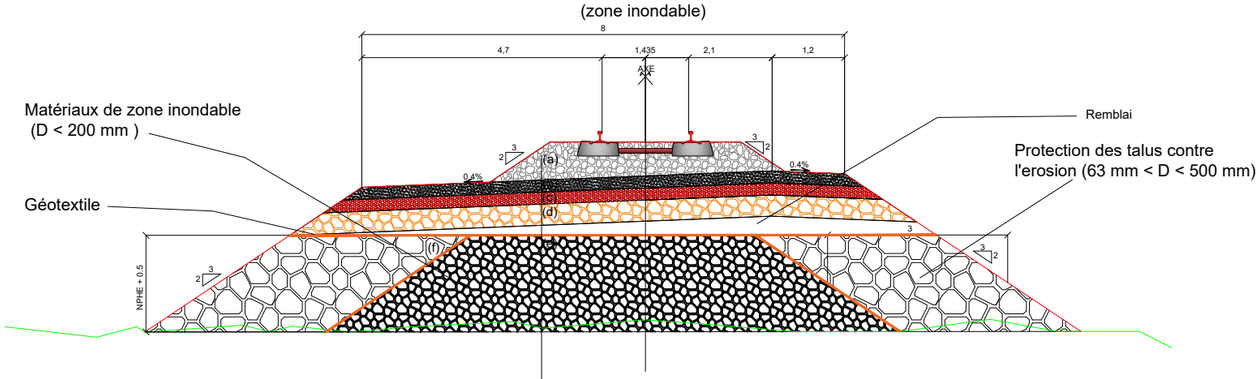
- Largeurs de la plate-forme :8 m (voie unique).
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 20cm.
- L'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.
- Pente talus (déblai : 2H/1V et remblai : 3H/2V).

Profile en travers-voie unique
en droite (déblais/remblai)




(a) BALLAST 30 cm
(b) SOUS BALLAST 20 cm
(c) COUCHE DE FONDATION 20 cm
(d) COUCHE DE FORM 35 cm

Profile en travers-voie unique
(zone inondable)




(a) BALLAST 30 cm
(b) SOUS BALLAST 20 cm
(c) COUCHE DE FONDATION 20 cm
(d) COUCHE DE FORM 20 cm
(e) MATERIAUX ZI (NOYAU) NPHE+0.5 cm
(f) MATERIAUX ZI (ENROCHEMENT) NPHE+0.5 cm


ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

**Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger**
**Fax** : ( 023) 70 19 38 **Site web** : www.enstp.edu.dz
**Tel** : (023) 70 19 04 **E-mail** : enstp@enstp.edu.dz


| PROJET DE FIN D'ETUDES | Réalisé par | Encadré par | Echelle | N° Planche | Année universitaire |
|---|---|---|---|---|---|
| Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviére AIN BEIDA KHENCHLA du PK 21+388au PK 35+510 | Ouranader Melizi | M.GOUMETTRE Ahmed | 1/100 | N03° | 2022/2023 |

# CHAPITRE VIII :

## TERRASSEMENT

# VIII TERRASSEMENT

## VIII.1 DEFINITION :

Le terrassement est le processus d'excavation, de déplacement, de nivellement et de compactage du sol dans le cadre de la préparation d'un terrain pour la construction.

Le processus de terrassement peut comprendre les étapes suivantes :

**Décapage :** Cette étape consiste à enlever la végétation, les débris et les couches de sol non désirées à la surface du terrain.

**Déblais :** Il s'agit de creuser le sol pour créer des tranchées, des fosses ou des excavations nécessaires à la réalisation du projet.

**Remblais :** des matériaux tels que du sable, du gravier ou du sol compacté sera ajoutés pour remplir les espaces vides et créer une surface de travail plane et stable.

**Nivellement :** Cette étape implique l'utilisation d'engins de terrassement pour répartir et lisser le sol afin d'obtenir la pente et l'inclinaison appropriées conformément aux plans du projet.

**Compactage :** Une fois que le sol a été nivelé, il est compacté à l'aide de rouleaux compresseurs ou d'autres équipements de compactage pour augmenter sa densité et sa stabilité.

## VIII.2 STABILITE DE TALUS :

La stabilité d'un talus fait référence à sa capacité à résister à l'effondrement ou au glissement.

Le calcul de stabilité concerne les grands ouvrages (remblais-déblais) avec des hauteurs importantes ($h \geq 6$ m).

Plusieurs **facteurs** peuvent influencer la stabilité d'un talus, notamment :

- Angle de pente.

Les pentes de talus principalement utilisées selon le référentiel technique de **SNTF** chapitre 07.2.2 « OUVRAGES EN TERRE », et exprimées en fraction base (V) sur hauteur (H), sont :

En déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, **2/1**, 2,5/1, 3/1.

En remblai : **3/2**, 2/1.

- Cohésion du matériau.

- Friction interne (angle de Frottement).
- Le poids volumique de sol.

### VIII.2.1 Stabilité des Remblais :

Dans l'ensemble de notre projet, on a que tous les remblais sont de hauteur inférieure au 6m. Ils ne nécessitent pas de vérification de stabilité, surtout que la majorité des remblais existent dans les zones inondables, donc ils sont basés sur un matériau spécial qui est plus stable que les matériaux ordinaires. Donc on adopte une pente de **2/3** pour tous les remblais.

### VIII.2.2 Stabilité des déblais :

Dans notre projet on a qu'un seul déblai dépasse la 6 mettre, il est de **9.6 m** de hauteur avec une nature géologique **marneuse** qu'elle a un comportement évolutif (elle peut changer de forme en contact avec l'aire), donc on pose pour une pente de **1/2.**

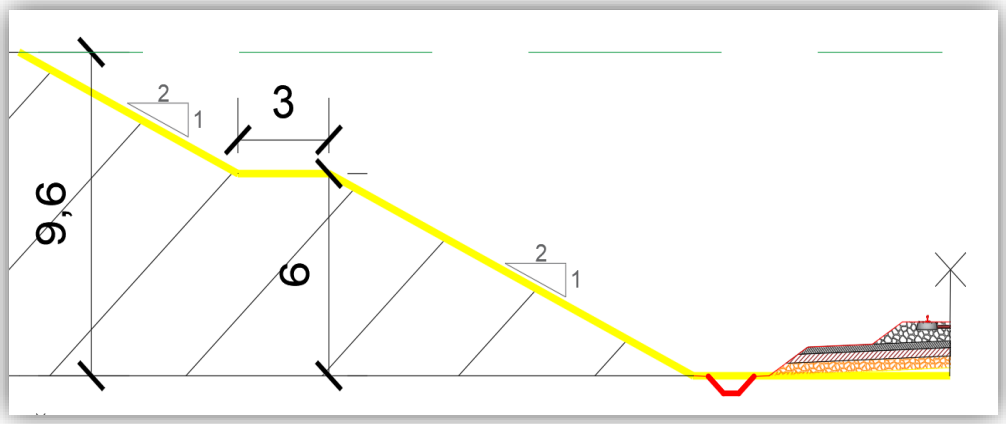



**Figure VIII.1Le talus le plus grand dans notre projet.**

Donc une étude de stabilisation doit être effectuer pour ce talus. On adopte pour la méthode de fellenius (méthode des tranches) pour l'équilibre statique, et la méthode des moments pour l'équilibre dynamique.

On fait le calcul avec **la méthode de fellenius (méthode des tranches)** :

- Faisons des tranches de 4 mètres (une tranche de 3 mettre au niveau de la berme
- On commence par choisir un centre qui passe par la verticale du sommet du talus et un rayon de 40m, comme suit :

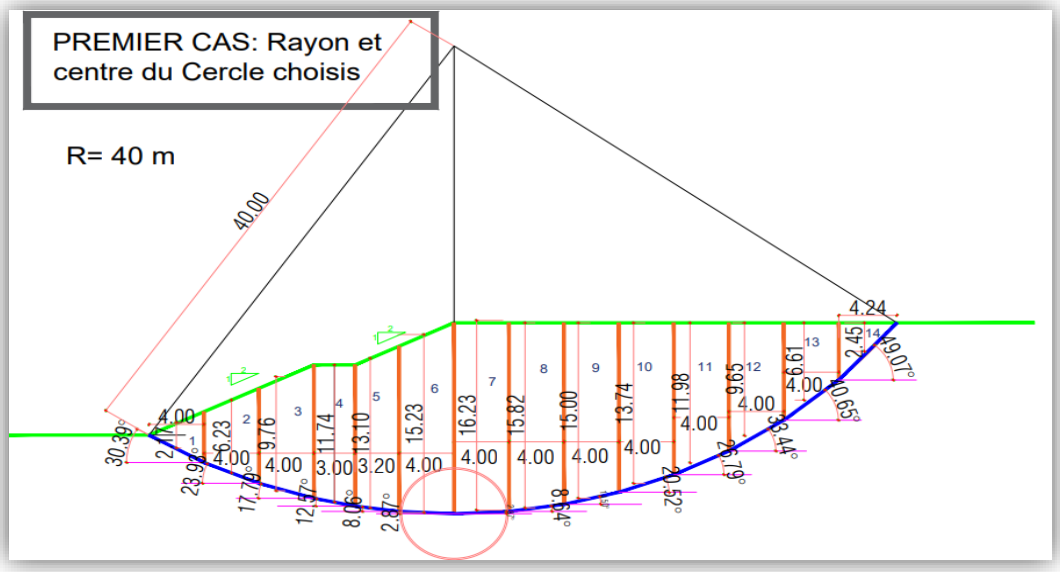



**Figure VIII.2répartition des tranches pour la méthode de « FELLENIUS »**

**Application numérique au projet :**

Données géotechniques : γ= 20 kn/m³ Φ=16° C= 32 kpa

Force motrice : **Fm= W*Sin α** Force résistante : **Fr=W*Cos α *Tan φ + C*L/Cos α**

Coefficient de sécurité : **Fs** = ∑ Fr / ∑ Fm

- Tant que on trouve le cercle de rupture dans le premier cas stable, on essaie de changer le centre de ce cercle jusqu'à trouver le coefficient de sécurité le plus faible et le vérifier.
- Dans notre talus, on a effectué **13 cas** pour trouver l'arc le plus faible comme suit :

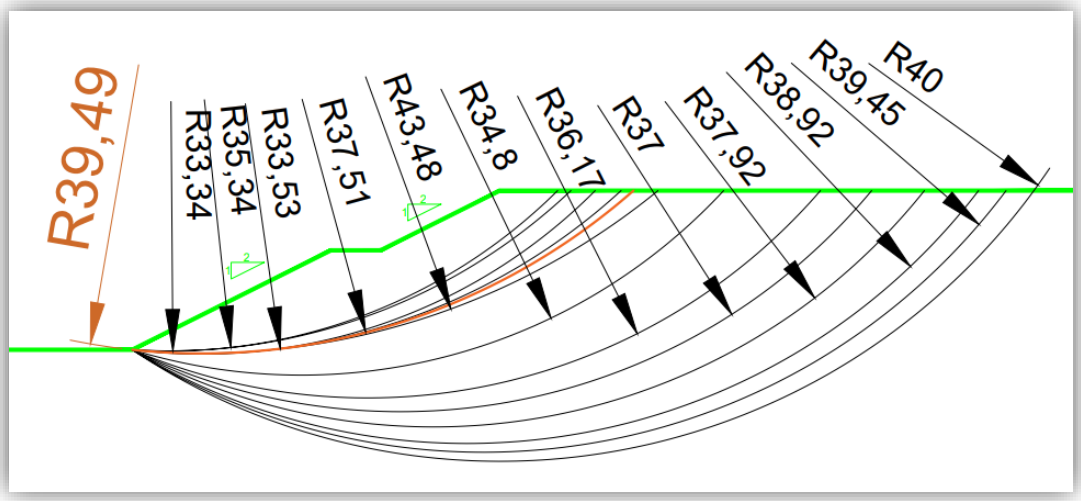



**Figure VIII.3 les cercle de rupture de la méthode.**

**Tableau VIII.1 Le tableau de calcule itérative.**

| N° Cas | Décalage de centre du cercle | Rayon | Coefficient de sécurité |
|---|---|---|---|
| 1 | X= 0.00 Y= 0.00 | R= 40 m | Fs = 3.52 |
| 2 | X= -1.00 Y= 0.00 | R= 39.45 m | Fs = 3.39 |
| 3 | X= -2.00 Y= 0.00 | R= 38.92 m | Fs = 3.31 |
| 4 | X= -4.00 Y= 0.00 | R= 37.92 | Fs =3.08 |
| 5 | X= -6.00 Y= 0.00 | R= 37 m | Fs = 2.80 |
| 6 | X= -8.00 Y= 0.00 | R= 36.17 | Fs = 2.69 |
| 7 | X= -10.00 Y= 0.00 | R= 34.79 | Fs = 2.46 |
| 8 | X= -18.00 Y= 0.00 | R= 33.54 | Fs = 2.45 |
| 9 | X= -20.00 Y= 0.00 | R= 33.35 | Fs = 2.59 |
| 10 | X= -20.00 Y= 2.00 | R= 35.34 | Fs =2.59 |
| 11 | X= -18.00 Y= 4.00 | R= 37.51 | Fs =2.47 |
| **12** | **X= -18.00 Y= 6.00** | **R= 39.5** | **Fs = 2.37** |
| 13 | X= -18.00 Y= 10.00 | R= 43.48 | Fs = 2.54 |

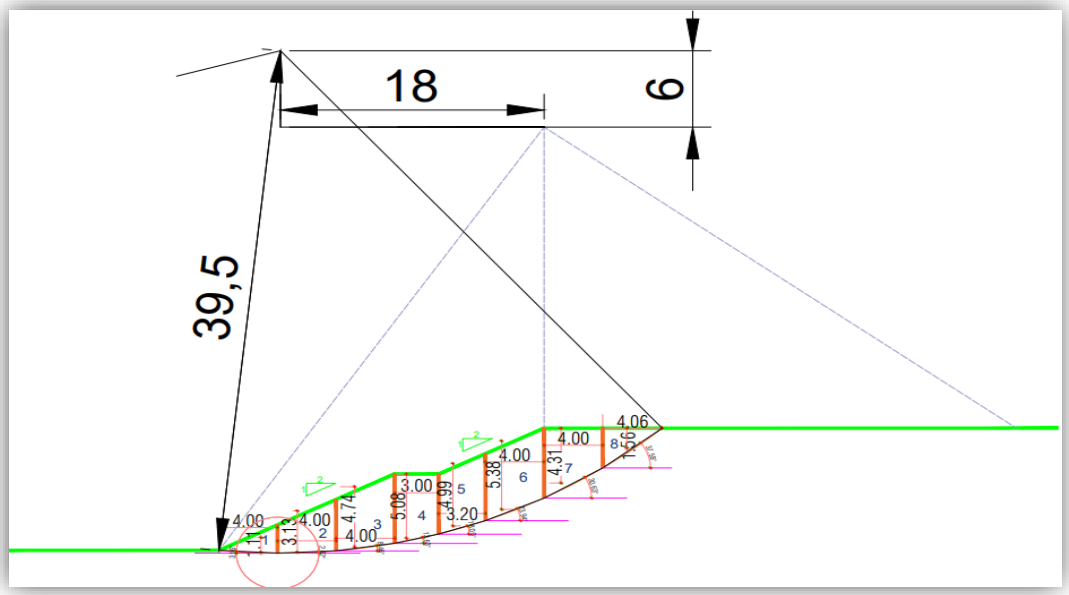



**Figure VIII.4 le 12-ème cas de calcule (cas plus défavorable).**

$$Fs = \frac{Fr = W * Cos\,\alpha * Tan\,\varphi + C * L / Cos\,\alpha}{Fm = W * Sin\,\alpha} = 2.37 > 1.5.$$

➔ **Donc le talus est stable dans les conditions statiques.**

On fait le calcul avec la méthode de stabilité des moments sur l'arc le plus défavorable comme suit :

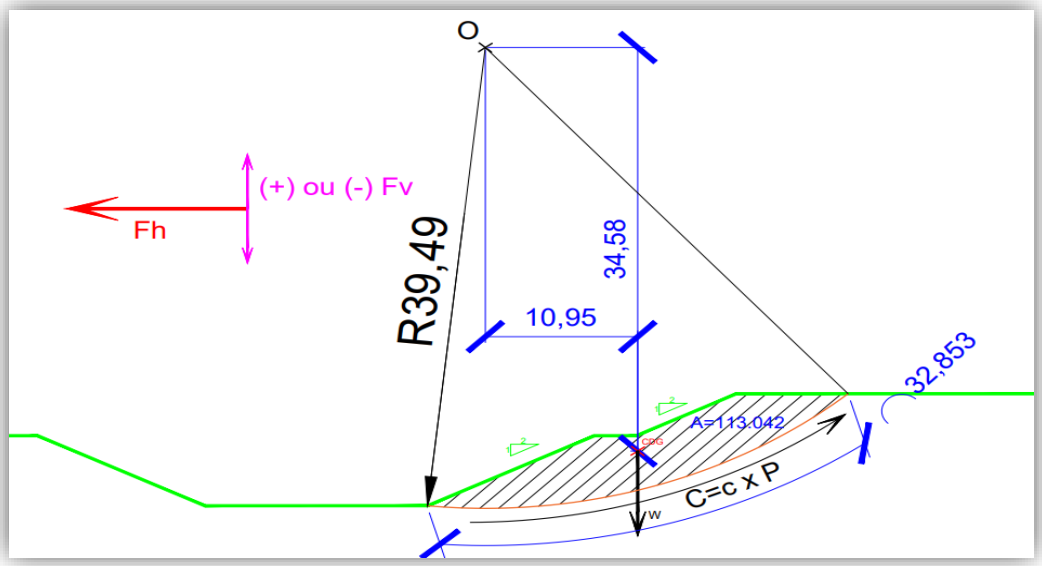



**Tableau VIII.2 Calcule dynamique de stabilité**

Le principe consiste à ignorer la nature dynamique de la secousse sismique, et à remplacer les forces sismiques par des forces massiques équivalentes Fh et Fv :

- Fv = **δ**v W
- Fh = **δ**h W

Le RPA adopte **δ**h = 0.5 A et **δ**v = (+) ou (-) 0.3 **δ**h, A étant le coefficient d'accélération fonction de la zone sismique et du groupe d'usage ou bien déterminé par une étude d'aléa sismique (A= 0.15 pour cette zone) :

**Application numérique au projet :**

γ= 20 kn/m³ Φ=16° C= 32 kpa

- W = γ (Air) = 20 x 113.042 = 2260.84 KN
- C = c x P = 32 x 32.853 = 1051.296 KN
- Fh = 0.5 x A x W = 0.5 x 0.15 x 2260.84 = 135.6504 KN
- Fv = (+) ou (-) 0.3 **δ**h x W = (+) ou (-) 0.3 x 0.5 x 0.15 x 2260.84 = 50.8689 KN

$$\Rightarrow \quad Fs = \frac{\sum Ms}{\sum Mr} = \frac{M\,(C)}{M\,(W)+M\,(Fh)+M(Fv)}$$

$$\Rightarrow \quad = \frac{1051.296 \times 39.49}{(2260.84 \times 10.95)+(135.6504 \times 34.58)+(50.8689 \times 10.95)} = \mathbf{1.38 > 1.}$$

➔ **Donc le talus est stable dans les conditions dynamiques.**

## VIII.3 CALCULE DES CUBATURES :

Les cubatures dans un projet ferroviaire font référence à la mesure et au calcul des volumes de terre déplacés lors de la réalisation. Ces calculs sont importants pour déterminer la quantité de matériau nécessaire pour la plateforme et les remblais et les déblais, ainsi que pour estimer les coûts et la planification des travaux.

Voici le tableau des résultats de terrassement de notre projet calculer par logiciel **COVADIS16** :

**Tableau VIII.3 Récapitulatif des volumes de terrassement.**

| Terrassement | Volume ($m^3$) |
|---|---|
| Décapage ($m^3$) | 165043.0 |
| Déblais | 234148.5 |
| Remblais | 290456.5 |
| Remblais extrait des gites | 56308 |
| Noyau du matériaux ZI | 111370.3 |
| Enrochement de matériaux ZI | 70475.2 |
| Géotextile | 270660 $m^2$ |

**Tableau VIII.4 Récapitulatif des volumes des couches d'assise.**

| Couche | Volume ($m^3$) |
|---|---|
| Ballast ($m^3$) | 32081.4 |
| Sous-Ballast ($m^3$) | 23801.2 |
| Couche de fondation ($m^3$) | 25577.7 |
| Couche de forme ($m^3$) | 49032.1 |

## VIII.4 OUVRAGE D'ART

### VIII.4.1 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 :

e) **Pont rails :** (Pont sur Oued -Passage inférieur)

Prenons la conception de Seti Rail pour les ponts a poutre isostatique :

- Dalle = 25 cm
- Hauteur de poutre = 1 m
- Langueur de travée = 20 m
- Nombre des travées = 3

f) **Ponts routiers :** (Passage supérieur)

g) **Les ouvrages hydrauliques :** Buses et dalots (ces derniers seront détaillés dans le chapitre hydraulique et assainissement).

### VIII.4.2 Les croisements 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 :

- **Passage à niveau :** pour les routes de faibles débits (faible trafic).
- **Passage supérieur :** Cette solution est envisagée si la vitesse de notre train est supérieure à 100km/h et que la topographie et nature de la zone nous le permet.
- **Passage inférieur :** C'est très rarement envisagé, uniquement dans des cas topographiques très spécifique.

### VIII.4.3 Les ouvrages de notre projet :

**Tableau VIII.5 Liste des ouvrages d'art pour mon projet.**

| Ouvrage d'art | Localisation |
|---|---|
| **Pont routier (passage supérieur)** | PK 23+113 et PK 26+680 et PK 29+356 et PK 33+927 |
| **Pont rail (Oued MEMRI OA-iso – 3x20)** | PK 24+615 |
| **Pont rail (OH-multi-cellulaire)** | PK 27+690 et PK 32+660 et PK 34+045 |
| **Pont rail (OA-iso 3x20)** | PK 30+770 et PK 31+530 |

## VIII.5 CONCLUSION :

Le couloir de tracé présente un terrain très peu accidenté, les **remblais** ont des **H< 6 m** donc sont considérés tous comme stables, avec des pentes **de 3H/2V**

Avec un seul **déblai** qui **dépasse 6 m** de hauteur, mais après le calcule stabilité on a vérifié qu'il est stable avec une pente de **2H/1V**.

L'utilisation de matériaux de **remblai** est de **80.6%** des matériaux de déblais et **19.4%** des gites (zone de stockages pk 21 et PK 33).

# CHAPITRE IX :

## LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

# IX LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

## IX.1 INTRODUCTION :

La superstructure de la voie est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristique physiques et mécaniques différentes qui permettant la transmission à la plat forme (Infrastructure), les charges statiques et dynamiques des roues.

## IX.2 Catégories de la voie :

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune réservé pour un objectif bien précis, on distingue ainsi :

- **Les voies principales :** affectées à la circulation des trains.
- **Les voies de service :** affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes voies principales déclassées.
- **Les voies d'évitement (croisement) :** qui permettent à deux trains qui circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- **Les voies de garage :** affectées au stationnement du matériel roulant.

## IX.3 LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE :

### IX.3.1 Le Rail :

Les rails sont des longues barres d'acier profilées. Deux files parallèles de rails mis bout à bout forment la voie sur laquelle circule les véhicules ferroviaires, en particulier les trains et les tramways. Ils reposent sur des traverses (métalliques, en bois ou en béton), afin de conserver un écartement constant.

### IX.3.2 Les types des rails :

a) **Les rails à double champignons :** L'idée de ses prometteurs était de pouvoir le réutilisé par retournement après usure du champignon supérieur.

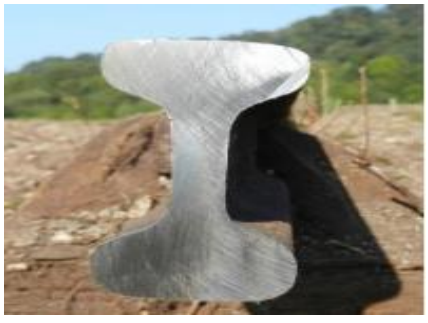


**Figure IX.1 rails à double champignons**

b) **Rails type gorge « Broca » :** Ce type de rails est conçu pour les tramways et les métros légers.

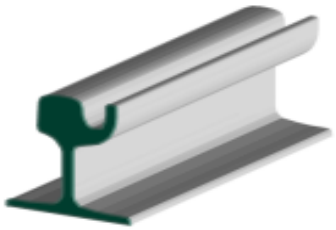


**Figure IX.2 rail type Broca a gorge.**

c) **Rail Vignole (à patin) :** Est le plus couramment utilisé. Il est composé du patin qui repose sur la traverse et le champignon où prennent appui les roues des trains, et l'âme filet vertical qui relie le champignon au patin.

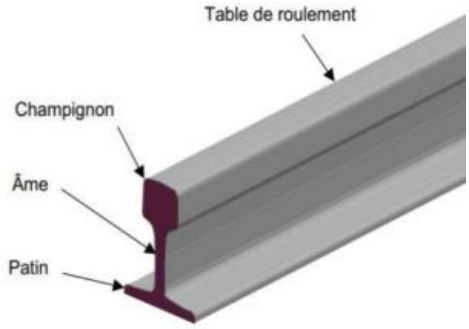



**Figure IX.3 Rail type vignole**

## IX.4 LA SUPERSTRUCTURE POUR NOTRE PROJET :

**Type du rail utilisé :** Vue son emploi universellement répondu, en a adopté pour notre ligne étudiée le rail Vignole **UIC 60 (60 kg/ml de rail).**

Les poses de rails neufs sont faites, en longs rails soudés **(LRS)**

**Tableau IX.1 Caractéristiques géométriques et mécaniques de rail UIC 60 E1**

| Caractéristique | Valeur |
|---|---|
| **Masse** | 60.34 kg/ml |
| **Surface de la section** | 76.7 cm2 |
| **Hauteur du rail** | 172 mm |
| **Largeur du champignon** | 72 mm |
| **Épaisseur âme** | 16.5 mm |
| **Largeur du patin** | 150 mm |
| **Moment d'inertie (axe x-x)** | 3038.3 cm4 |
| **Moment d'inertie (axe y-y)** | 512.3 cm4 |
| **Résistance à la traction** | R ≥ 880 N/mm2 |
| **Allongement** | R ≥ 10% |
| **Dressage** | Classe A. |
| **Nuance** | 260 (carbone-manganèse) |

## IX.5 ÉCARTEMENT DES RAILS :

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. Mesurée entre les bords intérieurs des champignons des rails et à **14 mm** sous le plan de roulement. L'écartement dans notre projet est de **1435 mm (**+/- 2 mm**).**

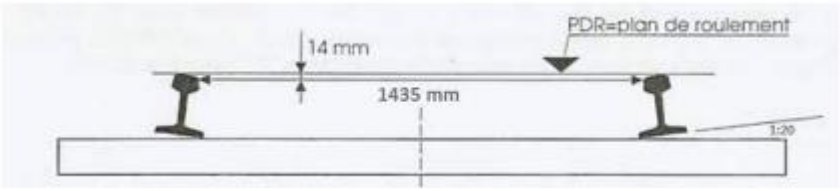



**Figure IX.4 L'écartement entre les rails**

## IX.6 INCLINAISON DU RAIL :

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de **1/20** en voie normale et métrique excepté pour les réseaux de tramways touristiques. Cette pente est obtenue par entaillage incliné des traverses bois. **(Voir la Figure IX.4)**

## IX.7 CONTRE-RAIL :

Un contre-rail est placé dans la partie croisement d'un appareil de voie, qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails. Ils permettent de guider les essieux d'un train et de protéger la pointe du cœur et afin d'éviter de faire un bi voie qui provoquerait un déraillement.




**Figure IX.5 Un contre-rail dans une partie de croisement**

## IX.8 ASSEMBLAGE DES RAILS :

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

- **L'éclissage :**

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses. Le rôle l'éclissage est :

- Travaillé comme un joint de dilatation
- Faciliter la maintenance de rail surtout dans les appareils de voie

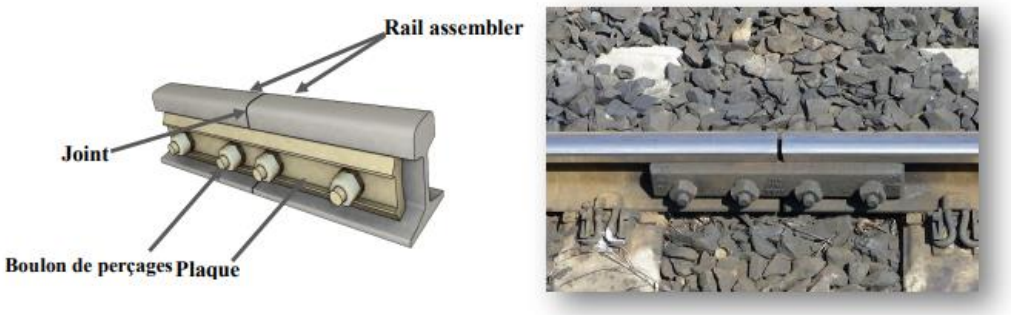



**Figure IX.6 Assemblage des rails par éclissage.**

➢ **La soudure :**

Il y a deux types de soudures à savoir :

- **La soudure électrique** utilisée en atelier ou bien sur place aux niveaux de chantier qui permet de réaliser des longues barres soudées.
- **La soudure aluminothermique** réalisé en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport. Les rails de notre projet sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement en atelier pour permettre l'obtention d'une barre continue de longueur de 288 m (dites « LRS »).

Les barres avec 288 m seront transportées et seront liées entre elles par des soudures aluminothermiques en voie.

## IX.9 LES TRAVERSES :

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

On distingue trois types de traverse principale :

- **Travers en bois :** leur problème est qu'ils sont de faible résistance aux l'atmosphère
- **Travers métalliques :** les travers métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisés à cause des problèmes d'exploitation et de maintenance.
- **Travers en béton armé :** Les traverses en béton ont une durée de vie considérable (50 ans), leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast. Il en existe deux types :
  - **Traverse bi-bloc :** Formées de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.
  - **Traverse monobloc :** Formée en un seul bloc En béton précontraint, amincie dans sa partie centrale, armée de fils à haute résistance.

**POUR NOUTRE PROJET :** Les traverses utilisées sont des traverses **bi-blocs V.A.X type U31 NAT** formées de deux blocs de béton, (blochets) en béton armé reliés par une entretoise métallique.

➢ **Caractéristiques des traverses** :

- Le poids minimum : 185 kg

- Charge supportée : < 45 000 t/jours
- Durée d'utilisation espérée : 50 ans

Les dimensions :

- Longueur totale : 2244 mm
- Longueur de blochets : 680 mm
- Epaisseur sous rail : 220 mm
- Largeur à la base des blochets : 290 mm

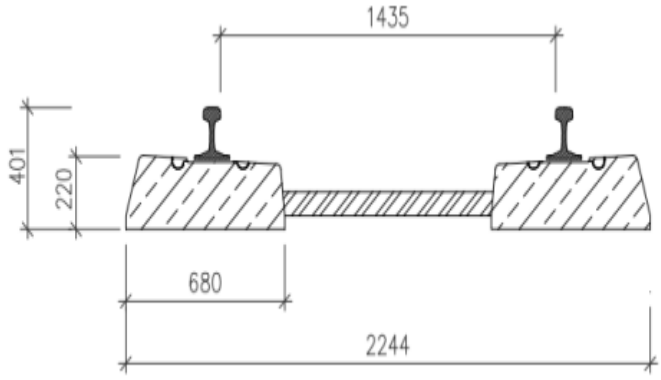



**Figure IX.7 Les dimensions de traverse**

Le travelage (c'est-à-dire le nombre de traverses au kilomètre) en Algérie est généralement maintenu à **1666 traverses / km** avec entraxe entre les traverses de **0,60 m** et une tolérance de **+/- 2 cm.**

Notre projet procède une longueur de tracé de 14 Km, donc le nombre de traverses nécessaire est environ : 23 334 traverses.

## IX.10 ROLE DES TRAVERSES :

Les traverses se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails, elles doivent assurer les fonctions suivantes :

- Réalisation et maintien de l'écartement normal (1435 mm) des rails.
- Renforcement et renouvellement aisé du ballast.
- Répartition et transmission des efforts sur la couche de ballast.
- Permettent l'inclinaison de 1/20 aux rails.
- Amortissement des vibrations des rails.

## IX.11 LES ATTACHES TRAVERS-RAIL :

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

### IX.11.1 Fixation rigide :

Sont utiliser pour les systèmes d'attaches sur les travers en bois et les travers métalliques

### IX.11.2 Fixation élastique :

L'attache dite « élastique » continue à assurer le maintien du rail lorsque celui-ci s'affaiblit sous la charge des circulations. Elle s'oppose donc à son cheminement longitudinal et peut être utilisée pour la pose de LRS.

**Pour notre projet**, l'attache utilisée est :

- **L'attache de type NABLA :**

Le système d'origine Nabla a fourni une fixation sûre et fiable sur les voies. La forme particulière de la lame Nabla génère un effort d'application dynamique stable sur le rail une fois l'écrou serrée. Le rail repose généralement sur une semelle cannelée en caoutchouc qui joue le rôle d'un amortisseur.



**Figure IX.8 L'attache de type NABLA.**

- **Remarque :** Il y a un très grand nombre des attaches de rail dans le monde selon plusieurs fonctions.

## IX.12 ROLE D'ATTACHE :

- Assurer le serrage du rail sur la traverse avec un effort
- La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier à un éventuel relâchement du dispositif de fixation.

- Les caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages.
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.

## IX.13 LES APPAREILS DE VOIE :

### IX.13.1 Définition :

Les appareils de voie sont des dispositifs permettant au matériel roulant, soit de passer d'une voie sur une autre, soit de traverser une voie.

### IX.13.2 Types d'appareils de voie :

On distingue deux catégories d'appareils de voies :

- **Les branchements** :
  - **Branchement simple :**

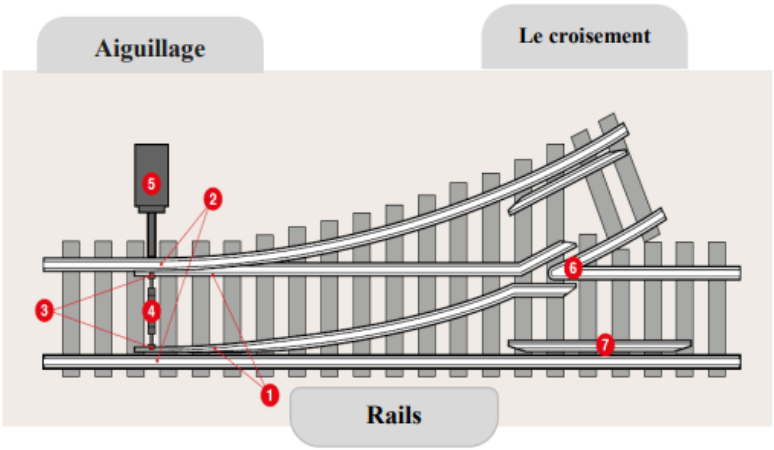



**Figure IX.9 Appareil de vois -système de branchement simple.**

- **Branchement symétrique :** Sont des branchements comportant deux voies déviées divergentes de même rayon
- **Branchement double :** Ils sont utilisés uniquement lorsque la place disponible est limitée.

  Le choix de type d'appareil de voie utilisées dans notre projet dépend de son domaine d'emploi et la vitesse de franchissement de cet appareil comme indique le tableau suivant :

**Tableau IX.2 Type de branchement en fonction de domaines d'emplois.**

| Type de branchement | Vitesse de branchement | Cas d'application |
|---|---|---|
| **190-1 :9 (tg=0,111)** | 40km/h | Economie, voie en cul de sac |
| **300-1 :9 (tg=0,111)** | 50km/h | Circulation dans la gare |
| **500-1 :12 (tg=0,083)** | 70km/h | Entrée et de sortie des voies de quai par les trains |

**Tableau IX.3 Les caractéristiques géométriques des appareils de voie.**

| ADV (1/n) | R (m) | a (m) | b(m) | C(m) | V (km/h) |
|---|---|---|---|---|---|
| **1/12** | 500 | 20.797 | **20.797** | 20.797 | 70 |
| **1/9** | 300 | 16.616 | 16.616 | 16.616 | 50 |
| **1/9** | 190 | 10.523 | 16.616 | 16.616 | 40 |

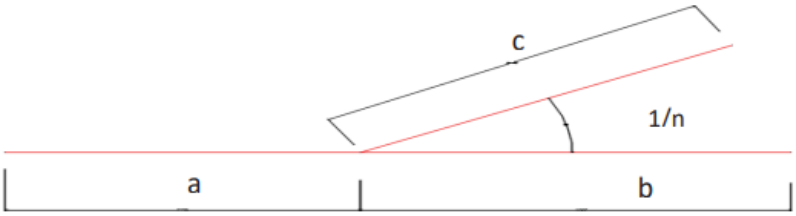



**Figure IX.10 Schéma illustrative de l'appareil de voie**

# CHAPITRE X :

## RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE :

## Libération de la voie

# X RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE :

# LIBERATION DES CONTRAINTE DE LRS

## X.1 INTRODUCTION :

Lorsque des rails sont soudés ensemble pour former une longue section continue, des contraintes se forment en raison des variations de température, qui nécessite une opération technique pour faire l'équivalence dans ces contraintes.

## X.2 DEFINITION :

La libération des contrainte est l'ensemble des opérations qui permet de déterminer la température de référence et la longueur de rail à couper (la lacune) pour laquelle le LRS (Longs rails soudés) ne présente aucune contrainte dans sa partie centrale.

La libération d'un tronçon de LRS s'effectue normalement sur les 2 files de rails simultanément.

Cet ensemble d'opérations doit être obligatoirement effectué lorsque la stabilisation de la voie est acquise.

## X.3 PROBLEMATIQUE DE LA POSE EN LRS :

Lorsqu'une barre est posée sur rouleaux, aucune contrainte ne s'oppose à son mouvement lorsque la température varie. La barre est dite en dilatation libre ; ses variations de longueurs sont données par la formule :

$\varepsilon = \alpha \Delta t$ et $\varepsilon = \Delta L/L$ ➔ $\Delta L = L \alpha \Delta t$ Où :

- **L** : est la longueur de la barre à la température initiale (m),
- **ΔL** : est la variation de cette longueur (m),
- ***α*** **:** est le coefficient de dilatation linéaire de l'acier à rail **$11.5 \times 10^{-6}$ (1/C°),**
- **Δt** : la variation de température par rapport à la température initiale,

## X.4 DILATATION CONTRARIEE :

Si l'on exerce une force F agissant dans le sens de la longueur de la barre, et qui s'oppose à l'allongement ou au raccourcissement de la barre sous l'effet de la variation de température, sa variation de longueur est alors :

$\Delta L = L \alpha \Delta t - F L / ES$

On peut réduire ce mouvement et même l'annuler complètement lorsque F atteint la valeur :

**F= E S** a **Δt** Où :

**S** : est la section de la barre en mm²

**E** : le module d'élasticité de l'acier : **210 kN / mm².**

On dit alors que la barre est en dilatation complètement contrariée.

Elle est le siège d'une contrainte **F/S = E *α* Δt** qui s'exprime en kN / mm².

## X.5 ZONES DE RESPIRATION ET LONGUEUR DES LRS :

Dans un LRS, le frottement et la butée des traverses sur le ballast dans le sens longitudinal exercent une force qui s'oppose aux variations de longueur dues aux variations de température. Cette force est répartie à raison de r newton par mètre de voie.

La force cumulée croît depuis les extrémités libres de la barre, avec une approximation suffisante, proportionnellement à la distance de ces extrémités.

A une distance z des extrémités, la résistance atteindra **rz** (N), et au-delà de la distance Z telle que **rz = 2.F = 2. E S *α* Δt** la dilatation sera totalement contrariée,

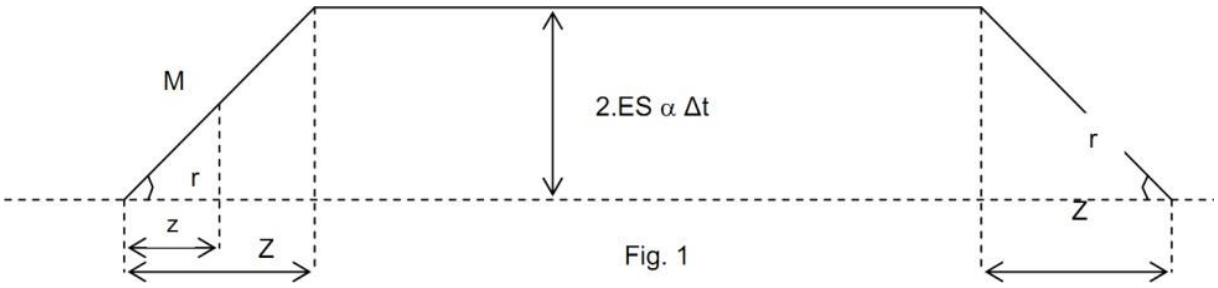


Fig. 1

La longueur des parties extrêmes, en mouvement **partiellement contrarié**, est proportionnelle à la variation de température.

Ces longueurs, sont appelées **zones de respiration.**

Les longueurs des zones de respiration sont donc égales à : **Z = 2. *E S* a *Δt* / r**

Elles dépendent :

- De l'amplitude de la variation de température et du profil de rail qui déterminent l'effort de compression (ou de traction)

- De la résistance au déplacement longitudinal des traverses dans le ballast « r » qui est fonction :
  - De l'armement de la voie : Type de traverse, Travelage, Profil de ballastage,
    De l'état de stabilisation du ballast : Voie stabilisée, Voie non stabilisée

A une certaine distance de l'extrémité du LRS et même pour les variations maximales de température, il n'y a plus aucun mouvement du rail et l'effort F dû à la dilatation contrariée est maximal et égal à **EsαΔt** dans une fille seule de rail.

Cette zone où la dilatation est totalement contrariée est appelée **zone centrale.**

Un **LRS**, doit avoir une longueur suffisante pour qu'il subsiste aux températures extrêmes

## X.6 PRINCIPE DE STABILITE DU LRS :

Le risque majeur de la voie en LRS est le flambement transversal appelé couramment « déformation de voie ». Cela se traduit par une altération du tracé pouvant entraîner le déraillement des circulations en cas de défaut dépassant les limites de sécurité.



**Figure X.1 déformation de rail d'une voie mal libéré.**

Par température élevée, les efforts de compression entraînent une diminution du poids apparent de la voie au sommet des bosses qui se traduit par une réduction de la résistance transversale.

## X.7 CONCLUSION :

Dans ce chapitre on a vu que la plus importante tache dans la réalisation des voies ferrées est la stabilité de LRS (une voie non-stable est une voie non-exploitable), expliquant quelques définitions et méthodes de calcul.

# CHAPITRE XI :

# CONCEPTION DE LA GARE M'TOUSSA

# XI CONCEPTION DE LA GARE M'TOUSSA

## XI.1 INTRODUCTION :

Une gare, ou gare ferroviaire, est un endroit où les trains s'arrêtent pour faire embarquer, descendre des passagers, ou charger et décharger des marchandises. Construites avec le développement du chemin de fer. Il existe différents types de gares : certaines sont spécialisées pour le transport de personnes, d'autres pour le transport de marchandises.

## XI.2 TYPES DES GARES :

On distingue plusieurs types des gares :

- **Gare de voyageur :** Regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage.
- **Gare marchandise :** Les gares de marchandise sont implantées dans les lieux industriels, agricoles et commerciaux importants, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands laboratoires
- **Gare de croisement :** C'est l'une des plus petites gares, Ces gares sont implantées généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer le travail de réception des trains des deux côtés de la gare en toute sécurité après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).
- **Gare de triage :** Un cas particulier est celui des gares de triage, dont la fonction est d'assurer la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

## XI.3 INSTALLATIONS DE BASE D'UNE GARE :

Selon le type de la gare et sa catégorie, on peut y trouver :

- Bâtiment de voyageurs.
- Quais d'embarquement et de débarquement.
- Hangar destiné à recevoir et stocker les marchandises.
- Hangar de maintenance des voies.
- Atelier d'entretien des véhicules.
- Chantier de permutation.
- Réseau de voie.

- Autre éléments (passerelles, signalisation, sécurité, etc.).

## XI.4 AMENAGEMENT DE LA GARE :

### 4.1. Installations d'une gare a voyageur :

Dans une gare ferroviaire, on peut trouver plusieurs installations et constructions selon le type, la conception et la catégorie de la gare.

- **Les bâtiments à voyageurs (B.V) :** Ces bâtiments permettent notamment aux voyageurs de passer de la voie publique vers les quais à voyageurs.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer.
- **Quais :** C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.
- **Auvents et abris :** C'est une installation sur le quai qui a pour le but de protéger les voyageurs des intempéries.
- **Abords** : sont le premier élément fonctionnel de la Gare. Ils facilitent le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode. On y trouve donc :
  - Des parcs de stationnements.
  - Des gares routières.
  - Des stations de taxis.
  - Des stations de tramway ou de métro dans des villes de taille importante.
  - Des parkings à vélos...
- **Passages sous terrain et les passerelles :** ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité
- **Heurtoir (ou parfois butoir) :** est un dispositif place à l'extrémité d'une voie ferrée en cul de sac, pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie.

### 5.2. Installations de la gare marchandise :

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

- **Un BS (bâtiment de service) :** pour accomplir les formalités de l'acte commercial.
- **Des cours de débord :** pour embarquement et débarquement des marchandises.
- **Quais de débord.**
- **Halle de stockage.**

- **Parking pour stationnement des véhicules**

## XI.5 MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNAUX :

### XI.5.1 Définition de la marge de glissement :

C'est le tronçon de voie situe au prolongement d'un parcours du train a l'aval d'un signal ferme, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge pour minimiser les accidents.

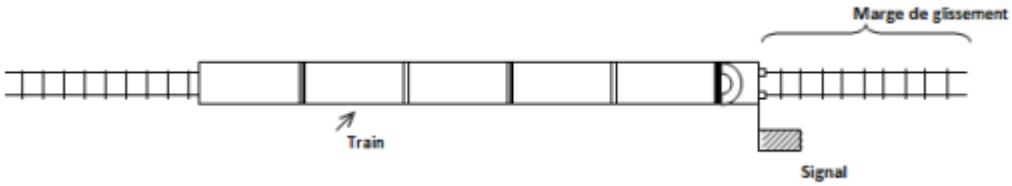



**Figure XI.1 la marge de glissement**

### XI.5.2 Longueurs de la marge de glissement :

Selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge a l'aval des Signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

**LG = 200 m pour V ≥ 60 km/h** (cas de notre projet)

**LG = 100 m pour 40 km/h ≤ V ≤ 60 km**

**LG = 50 m pour V < 40 km/h**

## XI.6 GARAGE FRANC :

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

Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément GF :

En raison de sécurité, le garage franc sera installé à 1.0 m de distance di garage franc théorique, il est donné par :

$$GF = (3.57 \times N) + 1$$

**N=1/ tan(α) :** varie selon l'ouverture de l'appareil de voie

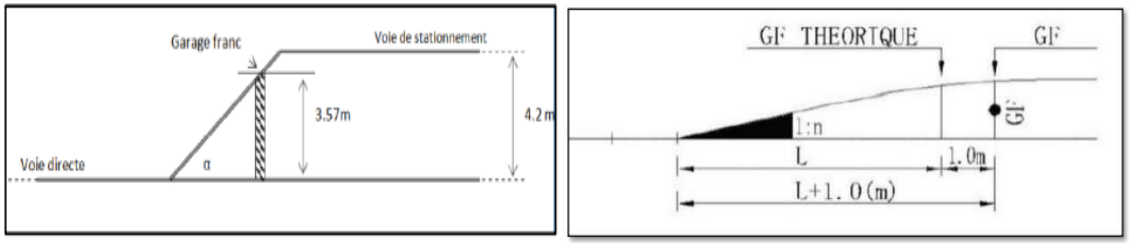



**Figure XI.2 Schéma de garage de franc**

## XI.7 LES HEURTOIRS :

Il s'agit de dispositifs placés à l'extrémité d'une voie ferrée pour arrêter les trains qui ne s'arrêtent pas à temps, ou en cas de dérive, pour les empêcher de quitter la voie.



**Figure XI.3 Les heurtoirs de sécurités**

## XI.8 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES

➢ **La longueur utile d'une voie de stationnement :**

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

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme **SNTF** (choisissant ''Lignes Intérieurs'') :

- 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.

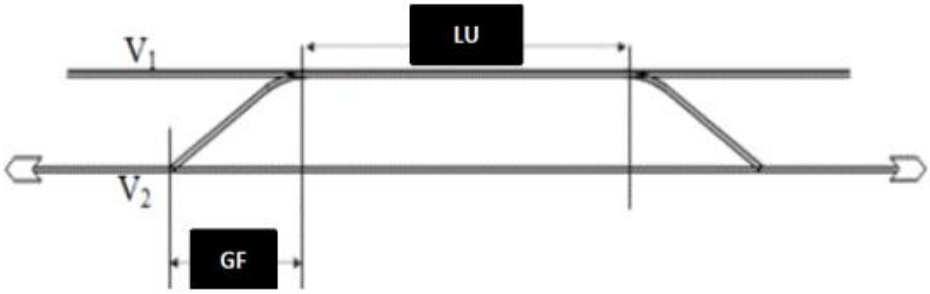



**Figure XI.4 La longueur utile d'une voie de stationnement**

- **Déclivité dans les gares :** en gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet, la déclivité est de **0‰** afin d'éviter tous déplacement possible des trains.
- **Types des appareils de voie** :

  03 Types d'appareils de voies sont utilisés dans notre projet pour la conception de la gare mixte de M'TOUSSA.

- **UIC 60-500- 1/12 :** nous l'avons utilisé dans les 02 coté pour enter la gare, afin d'assurer une bonne vitesse aux trains qui passent (70 km/h)
- **UIC 60-300- 1/9 :** utilisé dans les têtes des Faisceaux pour assurons une moyenne vitesse d'un côté et d'autre coté pour l'économie.
- **UIC 60-190- 1/9 :** nous l'avant utilisé dans les voies qui comprend un garage pour les trains.

- **Les Caténaires :**

Ceux sont des lignes électriques aériennes assurant l'alimentation des engins de traction En marche. Vu que la largueuse de la gare est importante (**25 m**) on adopte pour des portiques.

Le système d'électrification adopté pour la ligne AIN EL BEIDA - KHACHELA c'est le système à courant alternatif **25kV/50Hz** avec mode d'alimentation caténaire.

- **Dimensionnement de quai :**

**Tableau XI.1 Caractéristiques géométriques de quai.**

| Caractéristiques | Description |
|---|---|
| **Longueur** | Grande ligne : 450m<br>Service régional : 350m<br>Banlieue : 225m |
| **Largeur** | Quai intermédiaire B > 8 m.<br>Quai extérieur B ≥ 6m |
| **Hauteur** | Quai bas : 350 mm<br>Quai mi- haut : 550 mm<br>Quai haut : 760 ≤ h ≤ 1000 mm |
| **La distance à L'axe de la voie** | Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mmet de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :<br>**L (mm)=1650+S**<br>**S (mm) = (3750/R) + ((I -1435) /2)**<br>**R : le rayon de la voie**<br>**I :** l'écartement de la voie (mm). |
| **Entre axe** | **E** normal > 11.3m et **E** minimal > 9.3m |

## XI.9 APPLICATION AU PROJET :

La gare de m'toussa est une gare mixte (voyageurs et marchandises) située entre le PK 29+293 et PK 30+698 du côté ouest de la ville.

**Figure XI.5. La géométrie de la gare**

| | Description | Gare voyageur | Gare marchandise |
|---|---|---|---|
| **Longueurs de la marge de glissement** | Comme V ≥ 60 km/h | LG = 200m | LG = 200m |
| **La longueur du quai** | / | 225 m | 350 m |
| **Largeur des quais** | Quais intermédiaire | 8 m | 6.5 m |
| | Quais de service | 4 m | / |
| **Hauteur des quais** | / | 0.55 m | 1.15 m |
| **Entre–axe des quais** | / | 13.8 m | 14 m |
| **Entre–axe des voies** | Vérifiant la condition<br>L > 0.1 V > 6 m | 4.2 (coté adv 1/12)<br>4.5 (coté adv 1/9 300) | 4.2 (coté adv 1/9 190 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **La distance (quais/ l'axe de la voie)** | / | 1.65 m | (En rayon de 500 m)<br>1.6575 m |
| **La longueur utile des voies** | V1(voie principale)<br>V3(voie croisement)<br>V7(voie de garage) | Lu = 1275 m<br>Lu = 553 m<br>Lu =442 m | V8= 891 m |
| **Longueur de garage de franc** | Type ADV 1/9<br>Type ADV 1/12 | GF = 34 m<br>GF = 44 m | GF = 34 m<br>/ |
| **Passage souterrain (PS)** | Hauteur<br>Longueur<br>Largeur<br>(Voiles, radier, dalle) | 3 m<br>3.5 m<br>16.7 m<br>(0.4, 0.5, 0.4) m | / |

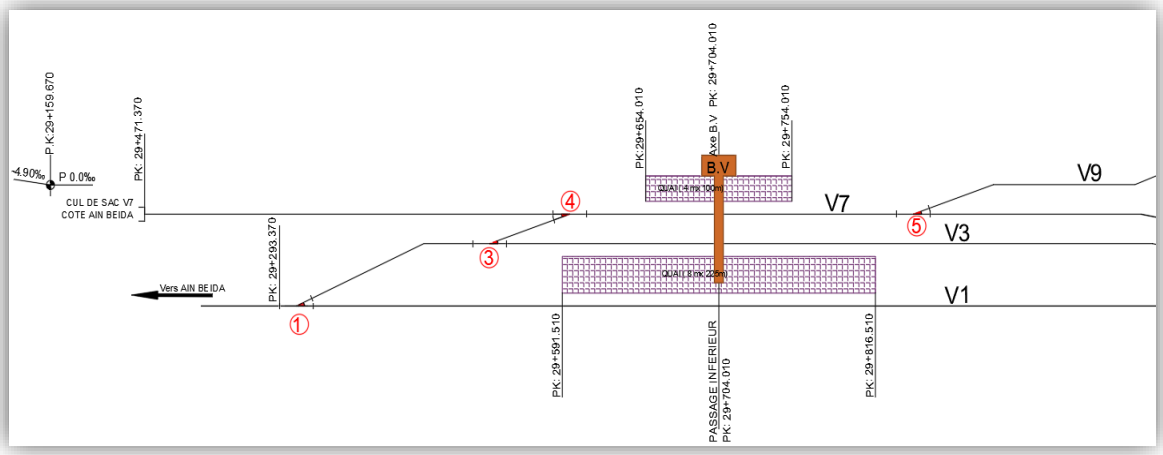



**Figure XI.6 Schéma synoptique de la gare voyageur**

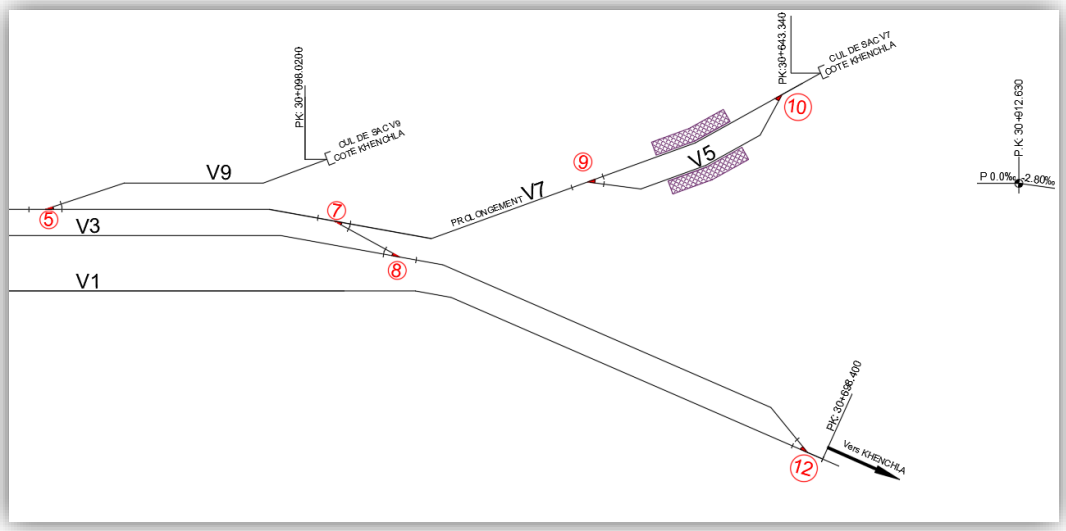


**Figure XI.7 Schéma synoptique de la gare marchandise**

## XI.10 ASSAINISSEMENT DANS LES GARES :

**XI.10.1. Assainissement transversale :** Pour assurer un bon drainage des eaux pluviales dans la gare, les quais doivent avoir une pente de **2%** en toit, avec inclinaison transversale des plates-formes de **4%.**

**XI.10.2. Assainissement longitudinal :** Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de **4‰** permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via des buses traversé de pente 1%.

### XI.10.3. Calcul d'assainissement longitudinale :

On a comme donné :

- Pour un écoulement lisse on prend coefficient de rugosité Kst=1/ $\eta$ =80
- Le coefficient qui permet de convertir les mm/h en l/s est K=0.278
- Coefficient de ruissellement des gares est C = 0.7
- Paramétré climatique pour KHENCHELA b=0.76
- Pjmax = 61.7 mm (période de retour)
- Le drain choisi est de type PVC (40% du section supérieur est perforé) avec Ø = 200 mm et H= 0.6* D
- La buse choisie est de pente 1% en béton armé avec Ø = 300mm
- Les plus grandes surfaces pour calculer le diamètre de drain et buses sont successivement : **A1** = 0.0019 km² et **A2** = 0.00188941 + 0.00135578= 0.0032 km²

- **Débit d'apport :**

**Table XI.1.Calcule de débit d'apport des ouvrages proposés**

| Paramètre | Formule | AN pour le drain | AN pour la buse |
|---|---|---|---|
| L'angle α (en radian) | $\alpha = \pi + 2 * arcsin\left(\frac{H-r}{r}\right)$ | 7.167 rd | 4.277 rd |
| La surface mouillée | $S = \frac{r^2}{2}(\alpha - \sin\alpha)$ | 0.031 m² | 0.379 m² |
| Le périmètre mouillé | $U = r * \alpha$ | 0.717 m | 0.642 m |
| Le rayon hydraulique | $R = \frac{S}{U}$ | 0.043 m | 0.590 m |
| La vitesse d'écoulement | $V = \frac{1}{\eta} * R^{2/3} * I^{1/2}$ | 0.597 m/s | 4.90 m/s |
| Le débit d'apport | Q = V*S | **0.018 $m^3$/s** | **1.857 $m^3$/s** |

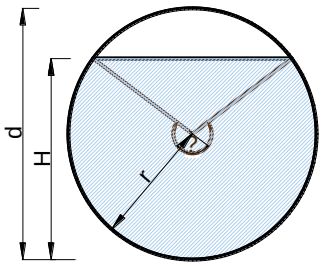



**Figure XI.8Hauteur de remplissage du drain et buse**

- **Débit de saturation :**

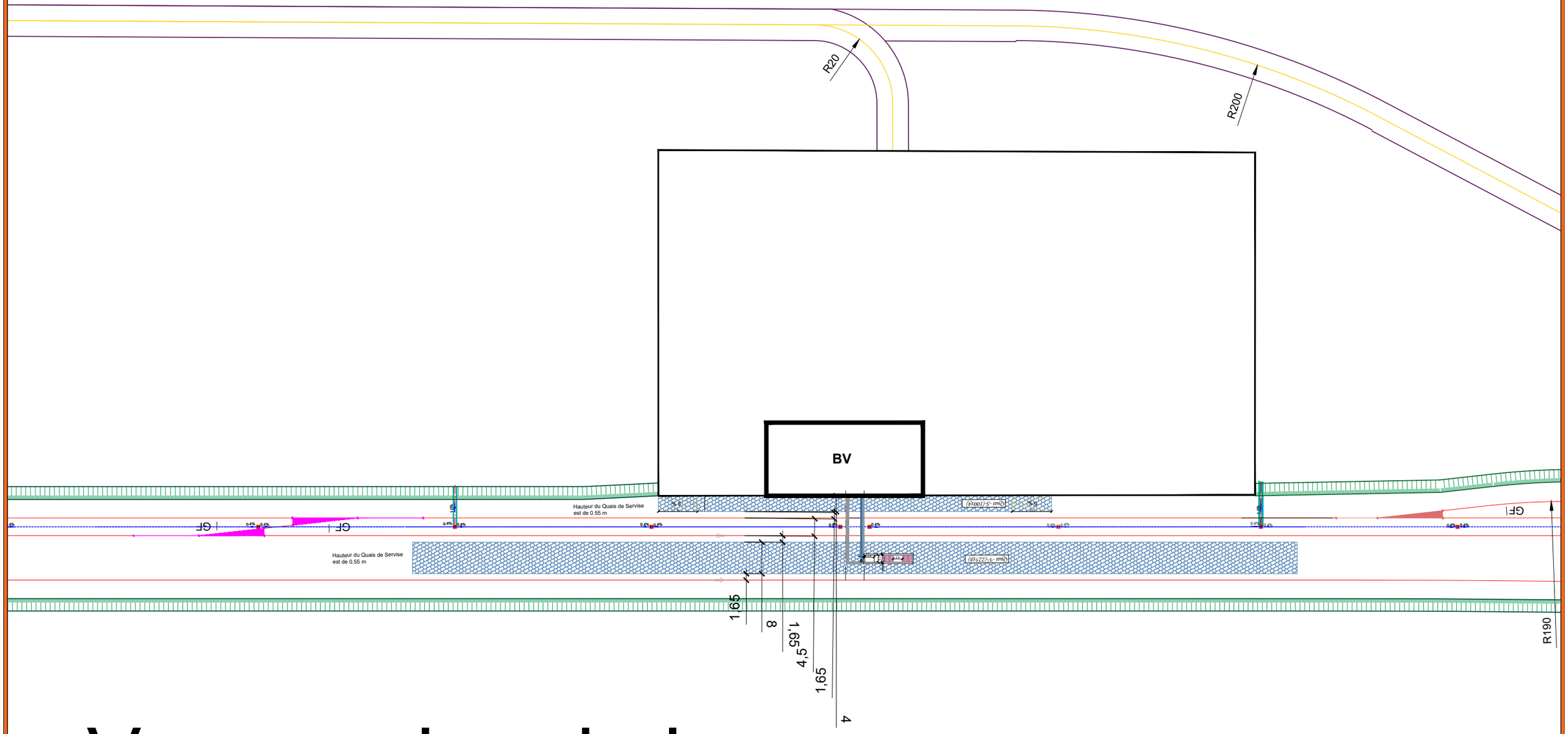
**Table XI.2.Calcule de débit de saturation des ouvrages proposés**

| Paramètre | Formule | AN pour le drain | AN pour la buse |
|---|---|---|---|
| Temps de concentration | $tc = 0.127 * \sqrt{A}/i$ | 0.0276 h | 0.0359 h |
| Précipitations | $P_t = P_{J\,max} * \left(\frac{tc}{24}\right)^b$ | 0.36 mm | 0.44 mm |
| Intensité de pluie | $I_t = P_t / t_c$ | 13.04 mm/h | 12.25 mm/h |
| Débit de saturation | Q= K x C x I x A | **0.005$m^3$/s** | **0.008$m^3$/s** |

Tant que les débits de saturation sont inférieurs aux débits d'apport des ouvrage proposés Conclurons que l'ajout des drains de 200 mm et des buse traversé de 300 mm est **vérifiée**

## XI.11 CONCLUSION :

Dans ce chapitre on a défini conception de la gare de M'TOUSSA. En peut résumer les principaux éléments d'une gare dans le plan de l'image (présentation)



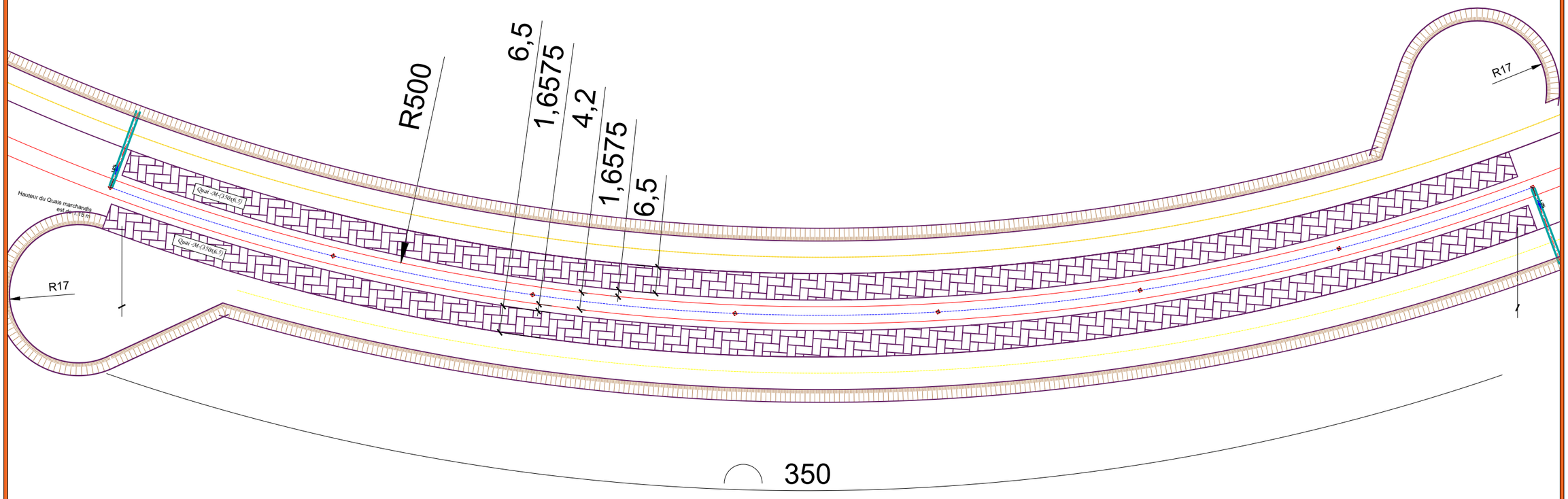

# Vue en plan de la gar voyageur

ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

**Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger**
**Fax :** ( 023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
**Tel :** (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

| PROJET DE FIN D'ETUDES | Réalisé par | Encadré par | Echelle | N°Planche | Année universitaire |
|---|---|---|---|---|---|
| Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviére AIN BEIDA KHANCHELA du PK 21+388 au PK 35+510 | OURANADER MELIZI | A . GOUMETTRE | 1/1000 | N°06 | 2022/2023 |

# Vue en plan de la gar marchandise





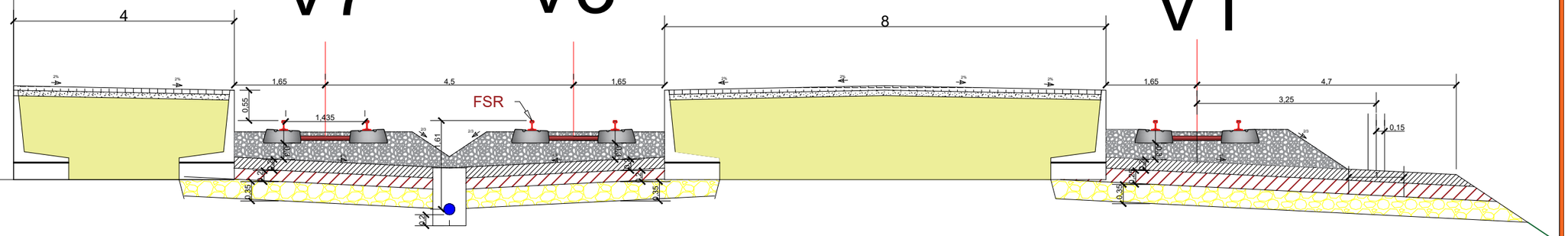
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

**Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger**
**Fax :** ( 023) 70 19 38 **Site web :** www.enstp.edu.dz
**Tel :** (023) 70 19 04 **E-mail :** enstp@enstp.edu.dz

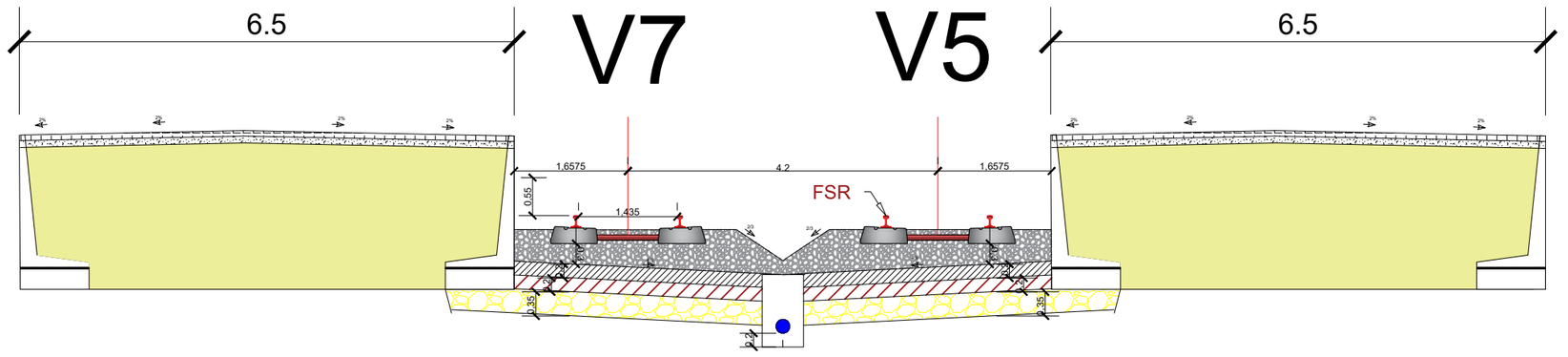

| PROJET DE FIN D'ETUDES | Réalisé par | Encadré par | Echelle | N°Planche | Année universitaire |
|---|---|---|---|---|---|
| Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviére AIN BEIDA KHANCHELA du PK 21+388 au PK 35+510 | OURANADER MELIZI | A . GOUMETTRE | 1/1000 | N°06 | 2022/2023 |

BV

# Profil en travers de la gare voyageur




# Profil en travers de la gare marchandise





ENSTP
المدرسة الوطنيـــة العليـــا للأشـــغال العموميـــة
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : ( 023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz


| PROJET DE FIN D'ETUDES | Réalisé par | Encadré par | Echelle | N°Planche | Année universitaire |
|---|---|---|---|---|---|
| Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviére AIN BEIDA KHANCHELA du PK 21+388 au PK 35+510 | OURANADER MELIZI | A . GOUMETTRE | 1/100 | N°07 | 2022/2023 |

# CHAPITRE XII :

# SIGNALISATION FERROVIAIRE

# XII SIGNALISATION FERROVIAIRE

## XII.1 INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire est un système d'information destiné à informer les conducteurs du trafic ferroviaire, sous forme de codes, disposés le long de la voie ou à l'intérieur des véhicules, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi pour rouler en toute sécurité.

Les informations ainsi données peuvent être liées à des limitations de vitesse à respecter, à des arrêts de marche non planifiés à effectuer, à des informations sur la direction géographique du convoi, à des réglementations sur la traction électrique, etc.

La signalisation est un des éléments essentiels de **la sécurité ferroviaire.**

## XII.2 EVOLUTION DES SYSTEMES DE SIGNALISATION :

- Systèmes de signalisation à **blocs** (1850-1930).
- Les systèmes **ATP** (**A**utomatic **T**rain **P**rotection) (1980).
- Systèmes **ETRMS** (**E**uropéen **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem).

## XII.3 OBJECTIF DE LA SIGNALISATION :

Les installations de signalisation permettent de résoudre les cinq grands problèmes suivants :

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block).
- 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.4 DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX :

Les signaux sont appelés à remplir les rôles et les fonctions suivantes :

### XII.4.1 Signaux d'arrêt :

La catégorie des signaux d'arrêt peut être différenciée en trois parties :

- Signal de protection : protège l'accès à une aiguille, une zone de manœuvres, un passage à niveau... ;

- Signal de block : protège l'accès à une ligne séparant deux établissements.
- Signal de cantonnement (signal d'espacement) : protège l'accès à une section de ligne.

### XII.4.2 Signaux à distance :

- Signal annonceur : précède un signal d'arrêt.
- Signal d'arrêt différé : l'équivalent du signal annonceur, utilisé en block manuel.

## XII.5 IMPLANTATION DES SIGNAUX :

Pour que le mécanicien s'arrête (au point à protéger) avant le signal d'arrêt ou pour respecter la limite de vitesse dans la zone réglementée, il doit être alerté à une distance suffisante pour appliquer les freins. C'est le rôle du signal d'annonce à distance

Ces distances sont appelées respectivement :

- Distance d'arrêt
- Distance de ralentissement

La distance d'implantation d'un signal à distance est en fonction :

- Du 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.6 TYPES DE SIGNALISATION :

- **Signalisation 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.
- **Signaux à main/mobiles** (lampes, drapeaux) ;
- **Signaux acoustiques** (pétards, coups de klaxon).

## XII.7 POUR NOTRE PROJET :

Les systèmes de signalisation classique ont été installé il y a 80 ans, il était révolutionnaire et adapte aux besoins de l'époque. Mais aujourd'hui nous avons besoin de faire circuler beaucoup plus de train qu'avant, et avec l'augmentation du trafic et de la demande la **SNTF**

doit installer L'**ERTMS** pour améliorer les performances et augmenter les capacités de circulation du réseau existant.

### XII.7.1 LA FONCTIONNEMENT DU SYSTEME GENERAL :

Le type de système de signalisation choisi par le client pour le nouvel itinéraire **AIN BIDA -KHENCHLA**, est ERTMS Niveau 1(**E**uropéen **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem) pour le contrôle et la surveillance de la sécurité des trains trafic.

**ERTMS niveau 1 :**

Le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol, cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres.

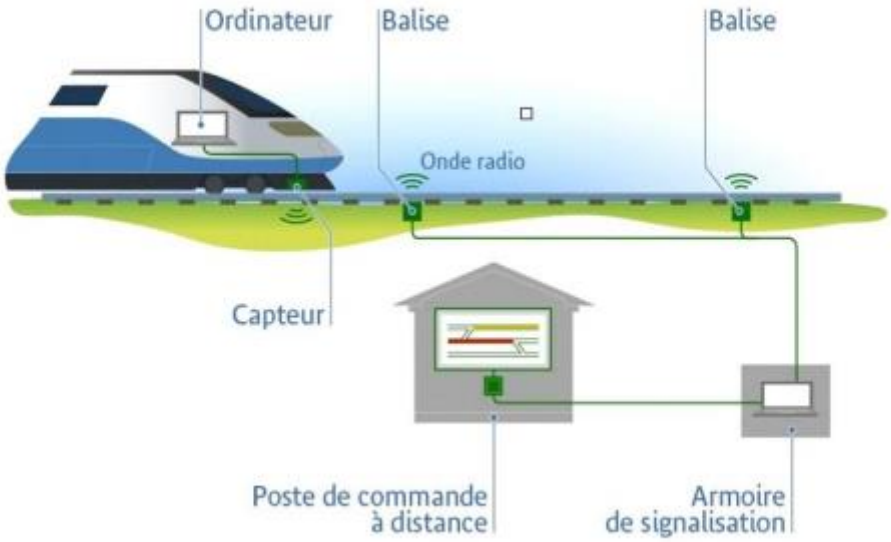



**Figure XII.1 le système de contrôle des trains ERTMS.**

### XII.7.2 Transmission sol machine (les équipements au sol) :

Ce niveau utilise une transmission ponctuelle à l'aide de balises placées au pied des signaux et en amont. Ces balises (euro balises) communiquent les données de signalisation au train. Le système de transmission ponctuel est constitué de la façon suivante :

- **Un codeur appelé LINE – SIDE ELECTRONIC UNIT (LEU) :**

Le LEU permet de coder les informations de signalisation au format ERTMS. Il est en interface entre les installations de signalisation latérale et la balise. Il dispose d'une interface unifiée au niveau européen, celle avec la balise, l'interface avec la signalisation étant définie au niveau national.

- **Les balises (L'euro balise) :**

Une Euro balise est un équipement ferroviaire placé entre les deux files de rail servant à transmettre des informations aux convois (assure la transmission des messages en liaison montante et entre les systèmes au sol et au train).



**Figure XII.2 Une balise installée sur la voie**

Il existe deux principaux types d'Euro balises : les euros balise fixes et les euros balise commutables

- **L'Euro balise fixe :** Il contient des messages indépendants de signalisation et dispose d'une interface uniforme au niveau européen pour :

- Les échanges sol-bord.

- **L'Euro balise commutable :** Il reçoit les messages dépendant de la signalisation et dispose de deux interfaces harmonisées :

au niveau européen :

- Les échanges sol-bord,

- Les échanges entre la balise et le LEU,

### XII.7.3 Les équipements ERTMS a bord des locomotives :

L'interface ERTMS dont dispose le conducteur doit pouvoir effectuer toutes les actions nécessaires au bon fonctionnement du train. Il s'agit d'informations sur les mouvements des trains, la vitesse, les courbes de freinage, des informations auxiliaires de REFERENCE, des informations sur l'itinéraire parcouru et la possibilité d'effectuer une saisie de données. La figure ci-dessous montre un exemple de configuration de l'interface homme-machine ERTMS.

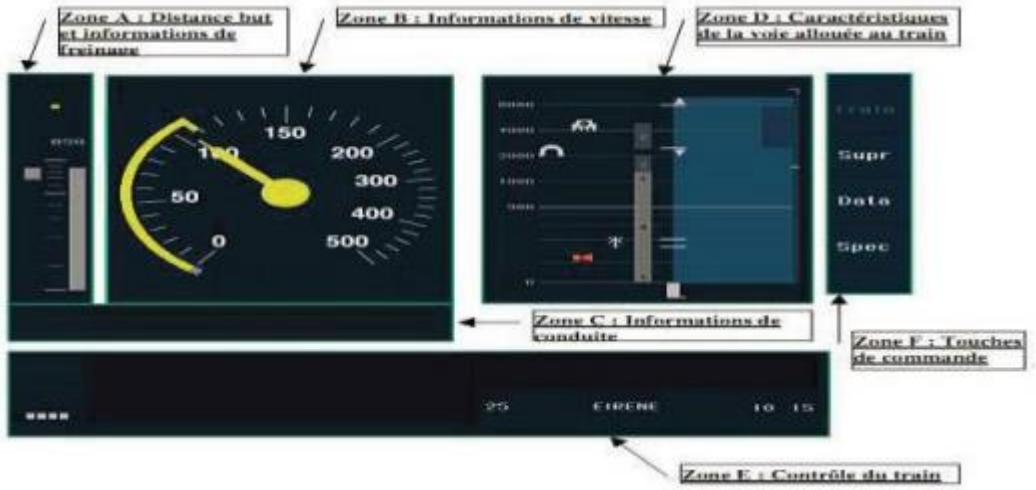



**Figure XII.3 L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap. 10)**

## XII.8 CONCLUSION :

Avec l'apparition des outils informatique de plus en plus performante, le domaine de la signalisation ferroviaire s'est beaucoup développé ces dernières années, contribuant ainsi avec une grande part dans la diminution des accidentes et la facilité de circulation du matériel roulant**.**

# CHAPITRE XIII :

# L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

# XIII ETUDE DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

## XIII.1 INTRODUCTION

L'environnement est devenu une préoccupation globale, en effet à cause du délaissement des êtres humains et de la non prise au sérieux des enjeux écologiques, la dégradation de notre planète terre en est arrivé à un point de non-retour ou les atteintes à nos écosystèmes sont devenues irréversibles.

## XIII.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

L'étude d'impact sur l'environnement a pour objet :

- D'évaluer de manière méthodique et préalable, les répercussions éventuelles, les effets directs et indirects temporaires et permanents du projet sur l'environnement.
- De poser des mesures contre les répercussions négatives du projet.
- De mettre en valeur et d'améliorer les impacts positifs du projet sur l'environnement.
- D'informer la population concernée sur les impacts négatifs du projet.

## XIII.3 ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :

### XIII.3.1 Milieu naturel :

- **Environnement physique :**

Dans cette section, on décrit les caractéristiques principales de la zone d'étude

- **Le relief :** La ville de M'toussa se trouve dans la limite nord de la zone des hauts-plateaux, à une altitude moyenne de 850 mètres. La topographie de la ville est globalement plate.
- **Hydrologie :** : Réseau hydrographique intermittent et endoréique, composé d'un oued principal (Oued Mouilha) et d'une multitude de petits ruisseaux alimentés durant la saison des pluies. Les cours d'eau se jettent dans la zone humide de Garaet Et Tarf qui est un chott salé (33 460 ha). Il s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le ¼ est constituée eau. Les eaux du chott sont évacuées uniquement par évaporation.
- **Climatologie :** Domaine du semi-aride à fortes amplitudes thermiques avec des hivers froids et peu humides, et des étés chauds et secs.
- **Géologie et sismicité :** Croûte calcaire massive du Villafranchien et limon ancien du Quaternaire. Faible sismicité.

- **Terrains traversés / occupation du sol :** Terrains agricoles.
- **Risques naturels** : Risques de crues, d'inondations, et de marécage.

➢ **Environnements biologiques :**

- **Faune :** Pas obtenu de recensement au niveau du secteur traversé. Les données présentes concernent la faune de la zone humide et de la région des Aurès. La zone humide compte essentiellement des espèces aviaires aquatiques. Les Aurès dénombrent une forte population d'espèces aviaires mais également des mammifères (lièvres, chacals, renards, rats), des amphibiens, des invertébrées et des reptiles.
- **Flore :** La végétation retrouvée sur le site est présente au niveau des cours d'eau et du chott de la zone humide. Elle est composée d'espèces steppiques pour les cours d'eau et d'espèces floristiques halophiles telles que la Salicornia arabica, Artemisia herba Alba, Suaeda fructicosa et Atriplex halimus pour le chott.

### XIII.3.2 Milieu humain :

➢ **Population :** Selon, les résultats du recensement général de la population et de l'habitat de 2023 l'ensemble des communes de la wilaya de M'tossa a enregistré une population totale de **5996** habitants.

### XIII.3.3 Activité économique

➢ **Agriculture :** La commune à vocation agricole dispose d'une surface agricole utile totale de l'ordre de 9700 hectares.

➢ **L'industrie :** : Pour rappel, les emplois du secteur industriel ont chuté depuis 1998. Le Plan d'Aménagement de la Wilaya de Khanchela ne recense qu'une entreprise privée dont les caractéristiques sont données comme suit :

**Tableau XIII.1Caractéristiques de l'industrie de M'toussa**

| Nom | Branche d'activité | Emploi | Principaux produits fabriqués | Production moy. annuelle |
|---|---|---|---|---|
| Epmc el baraka | Matériaux de construction | 15 | hourdis bordures | 35 000 tonnes/an |

Notons qu'un certain nombre de projet ont été retenus par le CALPIREF (comité d'assistance à la localisation et à la promotion des investissements et de la régulation du foncier) (arrêté de Juin 2014),

- **Production animale :** Le cheptel de la commune est donné dans les tableaux suivants

**Tableau XIII.2 Répartition des effectifs par type d'élevage**

| | Bovin | | Ovin | | Caprin | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Effectifs | % | Effectifs | % | Effectifs | % |
| M'Toussa | 306 | 2,0 | 5070 | 1,834 | 330 | 0,6 |
| Total | 15204 | 100,0 | 276516 | 100,000 | 52900 | 100,0 |

**Tableau XIII.3 Répartition des effectifs par type d'élevage**

| | Poulet de chaire | | Poulet de pondeuse | | Apiculture | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Effectifs | % | Effectifs | % | Ruches | % |
| M'Toussa | 0 | 0,0 | 0 | 0 | 400 | 3,0 |
| Total | 172000 | 100,0 | 48000 | 100 | 13488 | 100,0 |

### XIII.3.4 Impacts du projet sur l'environnement et mesures proposées

| Item | Localisation | Impact potentiel | Mesure d'atténuation |
|---|---|---|---|
| **Risques sur les Ressources naturelle** | -Le long de la ligne, en particulier aux voisinages de gare. | -Augmentation brusque de l'utilisation des ressources en eau<br>-Augmentation des besoins en ressources naturelles du fait du développement socioéconomiques des régions. | -Rationnaliser l'utilisation de l'eau en particulier dans les zones touchées par la sécheresse |
| **Risques naturels** | -Le long de la ligne. | -Anticiper les besoins pour éviter les pénuries. | -Mise en place de passages animaliers là où les ouvrages hydrauliques n'ont pas été prévus. |
| **Risques sur la flore** | Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones boisées et de la zone humide. | -Destruction de la flore.<br>-Génération de déchets. | -Eviter autant que possible la destruction et revégétaliser autant que possible. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Risques sur l'atmosphère** | Le long de la ligne. | -Bruits.<br>-Poussières<br>-Pollution de l'air | -Mise en place de murs anti-bruit dans les zones habitées. |
| **Sols / Eaux de surface / souterraines / Point de captage / forage / puits** | Le long de la ligne. | Contamination des sites via les activités liées à la construction et par les produits de désherbage | -Traitement des eaux usées et gestion des déchets. |
| **Zones protégées** | Zone humide Garaet Al Tarf. | Perturbation de la faune.<br>-Risque de perturber le charriage des nutriments vers la zone humide. | Eviter la période hivernale pour ne pas perturber les oiseaux migrateurs. |
| **Milieux humain** | Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones urbaines. | Perturbation de la vie économique et la circulation routière, nuisances sonores. Expropriation | Eviter les points à fortes densité économiques, mettre en place un plan de gestion de la circulation avec les autorités locales |
| **Milieux agricoles** | Le long de la ligne, en particulier à proximité des zones urbaines. | Perturbation des activités agricole.<br>-Isolement et morcellement des terres. | Tenir informés les agriculteurs sur les perturbations afin qu'ils prennent leurs dispositions. |
| **Réseaux : eaux-électricité - Pipelines** | Le long de la ligne. | Destruction des réseaux de conduite. | Tenir informés les agriculteurs sur les perturbations afin qu'ils prennent leurs dispositions. |

### XIII.3.5 Identification et description des impacts :

- **Les impacts positifs du projet :**

La réalisation de notre tracé de projet engendra un développement sur le plan sécuritaire, économique, et touristique à Les Willaya de Oum Bouaghi et Khanchela, les conséquences de celle-ci sont les suivantes :

- Le développement du réseau ferroviaire des Willayas.
- Une réponse aux besoins des habitants.
- Une contribution au développement touristique de la wilaya.
- Le développement et la croissance économiques des régions traversées par le projet.
- Création d'emplois.

## XIII.4 CONCLUSION :

L'étude d'impact sur l'environnement a montré que n'importe quel projet linéaire touche d'une manière ou d'une autre l'environnement, même si on est au milieu de désert.
La ligne ferroviaire certes influe et abimes-en quelque sorte l'environnement, mais elle donne d'autre part des avantages présentés essentiellement dans le gain du temps énorme qu'un individu gagne tout en diminuant la pollution des carburants de la voiture et l'insécurité routière.

# CHAPITRE XIV :

## DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

## XIV DEVIS CONTITATIF ET ESTIMATIF :

| N | DESIGNATIONS DES TRAVAUX | U | QUANTITÉ | Prix Unitaire (DZD) | Montant Total (DZD) |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1-INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER** | | | | |
| **1,01** | Amenée du matériel et installation général du chantier | F | 1,00 | 171276729,4 | 171 276729,40 |
| **1,02** | Repli du matériel et des installations du chantier | F | 1,00 | 6810178,643 | 6 810 178,64 |
| **1,03** | Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier | F | 1,00 | 10 588 783,62 | 10 588 783,62 |
| | **TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER** | | | | **188675691,66** |
| | **2- Étude d'exécution pose de voie de la ligne** | | | | |
| **2.01** | Étude d'exécution des terrassement | F | 1,00 | 24 728 896,24 | 24 728 896,24 |
| **2.02** | Étude d'exécution de drainage et assainissement | F | 1,00 | 2791193,25 | 2 791 193,25 |
| | **TOTAL Étude d'exécution pose de voie de la ligne** | | | | **27 520 089,49** |
| | **4 - TERRASSEMENTS GENERAUX** | | | | |
| **4.01** | Décapage de terre végétale | M3 | 152 768,00 | 450,00 | 68 745 600,00 |
| **4.02** | Déblais en terrain meuble mis en remblai | M3 | 290 456,50 | 850,00 | 246 888 025,00 |
| **4.04** | Fourniture et mise en œuvre de Matériau de remblais zone inondable | | 111 370,30 | 4 200,00 | 467 755 260,00 |
| **4.05** | Fourniture et pose géotextile | | 270 660,00 | 1 700,00 | 460 122 000,00 |
| **4.06** | Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme | M3 | 49032,1 | 1 500,00 | 38 989 325,54 |
| **4.07** | Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation | M3 | 25577,7 | 4 500,00 | 48 597 630,00 |
| **4.08** | Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast | M3 | 23801,2 | 1 900.00 | 107 105 400,00 |
| | **TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX** | | | | **1 438 203 240,54** |
| | **5 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS** | | | | |
| **5.01** | Fourniture et mise en œuvre de caniveau trapézoïdal en béton armé élément préfabriqué. | ML | 9 048,00 | 18 000,00 | 162 864 000,00 |
| **5,02** | Dalot en béton armé | M3 | 1 836,35 | 38 000,00 | 69 781 132,80 |
| **5,04** | Fourniture et mise en œuvre de tranchée drainant avec buse perforée Ø 200 mm | ML | 1 945,07 | 700,00 | 1 361 549,00 |
| **5.05** | Buses de tuyaux en béton armé Ø 1200 mm | ML | 57,90 | 152 877,77 | 8 851 622,88 |
| **5.06** | Buses de tuyaux en béton armé Ø 1500 mm | ML | 285,50 | 75 000,00 | 21 412 500,00 |
| | **TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS - TRACE** | | | | **264 270 806,68** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **6- TRAVAUX DE LA VOIE** | | | | | |
| **6,01** | Ballastage voie nouvelle | M3 | 32 081,40 | 4 500,00 | 144 366 300,00 |
| **6,02** | Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m) | Tonne | 2 229,38 | 121 250,00 | 270 312 810,00 |
| **6,03** | Fourniture des traverses bi-bloc | U | 61 928,00 | 8 245,00 | 510 596 360,00 |
| **6,04** | Fourniture des attachés pour rails UIC 60 | U | 247 712,00 | 523,80 | 129 751 545,60 |
| **6,05** | Pose de la voie | ML | 37 156,40 | 5 626,00 | 209 041 906,40 |
| **6,06** | Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12 | U | 2,00 | 15 899 976,16 | 31 799 952,32 |
| **6,07** | Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-300-1/9 | U | 4,00 | 12 626 324,23 | 50 505 296,92 |
| **6,08** | Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-190-1/9 | U | 3,00 | 10 200 324,23 | 30 600 972,69 |
| **6,09** | Pose des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12 | U | 2,00 | 614 526,52 | 1 229 053,04 |
| **6,1** | Pose des appareils de voie simples UIC 60-300-1/9 | U | 4,00 | 543 302,82 | 2 173 211,28 |
| **6,11** | Pose des appareils de voie simples UIC 60-190-1/9 | U | 3,00 | 412 302,82 | 1 236 908,46 |
| **6,12** | Soudage électrique | U | 1 936,00 | 17 980,00 | 34 809 280,00 |
| **6,13** | Soudage aluminothermique | U | 128,00 | 19 200,00 | 2 457 600,00 |
| **6,14** | Traverses de Garage Franc | | 8,00 | 40 891,56 | 327 132,48 |
| **6,15** | Heurtoir | U | 2,00 | 936 686,56 | 1 873 373,12 |
| **TOTAL TRAVAUX DE LA VOIE** | | | | | **1 421 081 702,31** |
| **Montant du projet HT** | | | | | 3 339 751 530,69 |
| **Montant du projet TVA (19%)** | | | | | 634 552 790,83 |
| **Montant du projet TTC** | | | | | **3 974 304 321,52** |

**Montant total en DA TTC :**

Trois milliards neuf cent soixante-quatorze millions trois cent quatre mille trois cent vingt et un dinars et cinquante-deux centimes.

## XV CONCLUSION GENERALE :

Le développement des infrastructures de transports est la pierre angulaire de toute politique d'aménagement du territoire. En effet, ce dernier qui est par définition, la meilleure répartition dans un cadre géographique des activités économiques en fonction des ressources naturelles et humaines, ne peut atteindre son objectif sans un développement harmonieux des infrastructures.

On désigne précisément le transport ferroviaire qui est la future solution de plusieurs problèmes que les autres modes (surtout le transport routier) n'ont pas trouvé à ces problèmes des solutions adéquates tel que les problèmes de circulation, le taux de croissance très élevé ; ce qui signifie un gaspillage des carburants qui influe sur la santé des citoyens, le problème du temps de parcours, etc.

L'état donc a cherché d'investir dans le domaine de chemin de fer par le lancement des programmes de modernisation des lignes ferroviaires le long de territoire national.

L'étude d'avant-projet détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire Ain El Beida-Khenchela (du PK 21+388 au PK 35+510) concernant le tracé en plan, profil en long, profil en travers, le dimensionnement des couches d'assise, l'assainissement …

Elle nous a permis d'utiliser toutes nos Reconnaissances qu'on a pris durant toutes les 05 années, elle nous a permis aussi de combiner entre les conditions dans les normes (UIC, SNCF, SNTF, …) et les conditions exigées par la situation réelle, ce qui nous oblige dans certains cas (contraignantes) d'utiliser les cas exceptionnels selon les normes précédentes.

De plus, ce travail nous a permis de développer notre côté informatique, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, COVADIS, EXCEL …

# Bibliographie

[1] : SNCF, "Conception du tracé de la voie courante V<220km/h IN 0272.

[2] : SNTF, "Constituants de la voie," Référentiel technique. Chapitre 9 : SNTF, ed.,2005.

[3] : SNTF, "GEOMETRIIE DE LA VOIE," REFERENTIEL TECHNIQUE, 2005.

[4] : UIC, "Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides UIC 703R," Union Internationale des Chemins de fer, DE-Consult, ed., 01.01.89.

[5] : UIC, "ouvrage en terre et couche assise ferroviaire " 719 R, DE-Consult, ed., 1995

[6] : ANESRIF. "agence nationale et de suivi de la réalisation des investissement ferroviaires,"

[7] Cour voie ferrée de Mr.Morsli "enseignent à ENSTP "

[8] : Site web Chat GPT " chat.openai.com "

[9] : M. Meguellati Abderrahim, 2019, ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A DOUBLE VOIES ELECTRIFIEES AFFROUN-TIPAZA DU PK 30+000 au PK 38+000.

[10] : M. Djalil Abdelkhaled et M. Meguellati Ramzi ÉTUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A DOUBLE VOIES ÉLECTRIFIEES AFFROUN-TIPAZA DU PK 20+000 AU PK 30+000

[11] : M. Hammadi Imam, 2022, Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique BOUGHEZOUL-DJELFA du PK 122+750 au PK 139+600 avec l'aménagement et la conception de la gare d'AIN OUASSARA

[12] : M. Khelifi Ayyob Etude de faisabilité et D'APD de la nouvelle ligne ferroviaire TISSEMSILT –BOUGHEZOUL Du PK 86+000 au PK 108+500, Avec la conception de la gare CHAHBOUNIA

# ANNEXE A : LISTING DE LA GEOMETRIE DE L'AXE EN PLAN.

Client : ENSTP — Préparé par : MELIZI/OURANADER
LOGICIEL : COVADIS — Date : 09/06/2023 à 09:19:29

**Axe en plan :** la ligne ferroviaire Ain El beida-khenchela
**Description :** étude APD de la ligne de chemin de fer Ain El beida-khenchela
**Plage d'abscisse :** Début :PK 21+388, Fin :PK 35+510

| Elts Caractéristiques | | | | Points de Contacts | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nom | Paramètres | | Longueur | Abscisse | X | Y |
| Droite 1 | Gisement | 256.73gr | 27.180 | 21+388.000 | 345610.479 | 3945837.435 |
| Clothoïde 1 | Paramètre | -394.968 | 130.000 | 21+415.180 | 345589.340 | 3945820.350 |
| Arc 1 | Rayon | -1200.000 m | 558.225 | 21+545.180 | 345486.788 | 3945740.483 |
| | Centre X | 344784.124 m | | | | |
| | Centre Y | 3946713.244 m | | | | |
| Clothoïde 2 | Paramètre | 394.968 | 130.000 | 22+103.405 | 344975.750 | 3945528.643 |
| Droite 2 | Gisement | 293.24gr | 822.820 | 22+233.405 | 344846.769 | 3945512.532 |
| Clothoïde 3 | Paramètre | 394.968 | 130.000 | 23+056.225 | 344028.586 | 3945425.306 |
| Arc 2 | Rayon | 1200.000 m | 719.120 | 23+186.225 | 343899.605 | 3945409.196 |
| | Centre X | 344091.231 m | | | | |
| | Centre Y | 3944224.595 m | | | | |
| Clothoïde 4 | Paramètre | -394.968 | 130.000 | 23+905.345 | 343264.837 | 3945094.694 |
| Droite 3 | Gisement | 248.19gr | 2503.486 | 24+035.345 | 343173.882 | 3945001.836 |
| Clothoïde 5 | Paramètre | 400.000 | 80.000 | 26+538.831 | 341454.649 | 3943182.033 |
| Arc 3 | Rayon | 2000.000 m | 505.266 | 26+618.831 | 341400.100 | 3943123.516 |
| | Centre X | 342881.092 m | | | | |
| | Centre Y | 3941779.395 m | | | | |
| Clothoïde 6 | Paramètre | -400.000 | 80.000 | 27+124.097 | 341111.142 | 3942710.671 |
| Droite 4 | Gisement | 229.56gr | 468.695 | 27+204.097 | 341074.838 | 3942639.384 |
| Arc 4 | Rayon | -5000.000 m | 344.476 | 27+672.792 | 340864.935 | 3942220.319 |
| | Centre X | 336394.383 m | | | | |
| | Centre Y | 3944459.551 m | | | | |
| Droite 5 | Gisement | 233.95gr | 428.652 | 28+017.268 | 340700.179 | 3941917.875 |
| Arc 5 | Rayon | 5000.000 m | 267.016 | 28+445.920 | 340482.280 | 3941548.737 |
| | Centre X | 344788.076 m | | | | |
| | Centre Y | 3939007.061 m | | | | |
| Droite 6 | Gisement | 230.55gr | 1103.569 | 28+712.936 | 340352.749 | 3941315.279 |
| Clothoïde 7 | Paramètre | -394.968 | 130.000 | 29+816.505 | 339843.293 | 3940336.341 |
| Arc 6 | Rayon | -1200.000 m | 483.197 | 29+946.505 | 339781.216 | 3940222.140 |
| | Centre X | 338748.290 m | | | | |
| | Centre Y | 3940832.931 m | | | | |
| Clothoïde 8 | Paramètre | 394.968 | 130.000 | 30+429.703 | 339459.251 | 3939866.217 |
| Droite 7 | Gisement | 263.08gr | 1159.536 | 30+559.703 | 339351.825 | 3939793.037 |
| Arc 7 | Rayon | 750000.000 m | 274.181 | 31+719.239 | 338381.885 | 3939157.631 |
| | Centre X | 749369.252 m | | | | |
| | Centre Y | 3311790.606 m | | | | |
| Droite 8 | Gisement | 263.06gr | 1217.779 | 31+993.421 | 338152.563 | 3939007.342 |
| Arc 8 | Rayon | -80000.000 m | 383.114 | 33+211.200 | 337134.148 | 3938339.648 |
| | Centre X | 293271.034 m | | | | |
| | Centre Y | 4005242.766 m | | | | |
| Droite 9 | Gisement | 263.36gr | 451.167 | 33+594.313 | 336813.252 | 3938130.359 |
| Arc 9 | Rayon | 80000.000 m | 203.224 | 34+045.480 | 336434.767 | 3937884.799 |
| | Centre X | 379976.985 m | | | | |
| | Centre Y | 3870772.391 m | | | | |
| Droite 10 | Gisement | 263.20gr | 1313.123 | 34+248.704 | 336264.422 | 3937773.972 |
| | | | | 35+561.827 | 335164.655 | 3937056.472 |
| Longueur totale de l'axe 14173.827 mètre(s) | | | | | | |

## ANNEXE A : LISTING DE LA GEOMETRIE DE PROFIL EN LOGN.

Client : ENSTP — Préparé par : MELIZI/OURANADER
LOGICIEL : COVADIS — Date : 09/06/2023 à 09:19:29

**Axe en plan :** la ligne ferroviaire Ain El beida-khenchela
**Description :** étude APD de la ligne de chemin de fer Ain El beida-khenchela
**Plage d'abscisse :** Début :PK 21+388, Fin :PK 35+510

| Elts Caractéristiques | | | | Points de Contacts | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nom | Pente / Rayon | | Longueur | Abscisse | Altitude |
| Pente 1 | Pente | 0.01 % | 554.103 | 21+388.000 | 857.197 |
| Cercle 1 | Rayon | -24051.024 m | 107.201 | 21+942.103 | 857.280 |
| | Sommet Absc. | 21+945.695 m | | | |
| | Sommet Alt. | 857.280 m | | | |
| Pente 2 | Pente | -0.43 % | 1410.113 | 22+049.304 | 857.057 |
| Cercle 2 | Rayon | 26865.346 m | 151.176 | 23+459.417 | 850.982 |
| | Sommet Absc. | 23+575.149 m | | | |
| | Sommet Alt. | 850.733 m | | | |
| Pente 3 | Pente | 0.13 % | 722.422 | 23+610.593 | 850.756 |
| Cercle 3 | Rayon | 23539.930 m | 103.531 | 24+333.015 | 851.709 |
| | Sommet Absc. | 24+301.959 m | | | |
| | Sommet Alt. | 851.689 m | | | |
| Pente 4 | Pente | 0.57 % | 988.899 | 24+436.546 | 852.073 |
| Cercle 4 | Rayon | -9000.000 m | 81.221 | 25+425.445 | 857.728 |
| | Sommet Absc. | 25+476.901 m | | | |
| | Sommet Alt. | 857.875 m | | | |
| Pente 5 | Pente | -0.33 % | 720.957 | 25+506.666 | 857.825 |
| Cercle 5 | Rayon | 87722.263 m | 134.475 | 26+227.623 | 855.441 |
| | Sommet Absc. | 26+517.735 m | | | |
| | Sommet Alt. | 854.961 m | | | |
| Pente 6 | Pente | -0.18 % | 471.423 | 26+362.098 | 855.099 |
| Cercle 6 | Rayon | 81695.521 m | 101.411 | 26+833.521 | 854.263 |
| | Sommet Absc. | 26+978.465 m | | | |
| | Sommet Alt. | 854.134 m | | | |
| Pente 7 | Pente | -0.05 % | 969.103 | 26+934.932 | 854.146 |
| Cercle 7 | Rayon | 9000.000 m | 139.088 | 27+904.036 | 853.630 |
| | Sommet Absc. | 27+908.831 m | | | |
| | Sommet Alt. | 853.628 m | | | |
| Pente 8 | Pente | 1.49 % | 267.269 | 28+043.123 | 854.630 |
| Cercle 8 | Rayon | -9000.000 m | 178.681 | 28+310.392 | 858.619 |
| | Sommet Absc. | 28+444.684 m | | | |
| | Sommet Alt. | 859.621 m | | | |
| Pente 9 | Pente | -0.49 % | 596.614 | 28+489.072 | 859.511 |
| Cercle 9 | Rayon | 30000.000 m | 147.963 | 29+085.686 | 856.569 |
| | Sommet Absc. | 29+233.649 m | | | |
| | Sommet Alt. | 856.204 m | | | |
| Pente 10 | Pente | 0.00 % | 1615.697 | 29+233.649 | 856.204 |
| Cercle 10 | Rayon | -50000.000 m | 126.572 | 30+849.346 | 856.204 |
| | Sommet Absc. | 30+849.346 m | | | |
| | Sommet Alt. | 856.204 m | | | |
| Pente 11 | Pente | -0.25 % | 312.667 | 30+975.918 | 856.044 |
| Cercle 11 | Rayon | 34127.170 m | 177.965 | 31+288.585 | 855.252 |
| | Sommet Absc. | 31+374.975 | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | m | | | |
| | Sommet Alt. | 855.143 m | | | |
| Pente 12 | Pente | 0.27 % | 1204.723 | 31+466.549 | 855.266 |
| Cercle 12 | Rayon | -174661.349 m | 242.973 | 32+671.273 | 858.498 |
| | Sommet Absc. | 33+139.945 m | | | |
| | Sommet Alt. | 859.127 m | | | |
| Pente 13 | Pente | 0.13 % | 1546.804 | 32+914.246 | 858.981 |
| | | | | | |

| Elts Caractéristiques | | | | Points de Contacts | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nom | Pente / Rayon | | Longueur | Abscisse | Altitude |
| Cercle 13 | Rayon | 90441.316 m | 214.203 | 34+461.050 | 860.980 |
| | Sommet Absc. | 34+344.182 m | | | |
| | Sommet Alt. | 860.904 m | | | |
| Pente 14 | Pente | 0.37 % | 260.177 | 34+675.253 | 861.510 |
| Pente 15 | Pente | 0.18 % | 626.397 | 34+935.430 | 862.463 |
| | | | | 35+561.827 | 863.618 |
| Longueur totale de l'axe 14173.827 mètre(s) | | | | | |
| Longueur développée totale de l'axe 14173.923 mètre(s) | | | | | |

**ANNEXE C : Canalisation circulaires partiellement remplie**

| Q / Q p s | V / V p s | h /D | Q / Q p s | V / V p s | h /D |
|---|---|---|---|---|---|
| 0, 0 0 1 | 0,1 4 | 0,0 2 | 0, 5 3 4 | 1, 0 2 | 0, 5 2 |
| 0, 0 0 3 | 0,2 2 | 0,0 4 | 0, 5 6 8 | 1, 0 3 | 0, 5 4 |
| 0, 0 0 7 | 0, 2 9 | 0,0 6 | 0, 6 0 3 | 1, 0 5 | 0, 5 6 |
| 0, 0 1 3 | 0, 3 5 | 0,0 8 | 0, 6 3 7 | 1, 0 6 | 0, 5 8 |
| 0, 0 2 1 | 0, 4 0 | 0,1 0 | 0, 6 7 2 | 1, 0 7 | 0, 6 0 |
| 0, 0 3 1 | 0, 4 5 | 0,1 2 | 0, 7 0 6 | 1, 0 8 | 0, 6 2 |
| 0, 0 4 2 | 0, 5 0 | 0,1 4 | 0, 7 4 0 | 1, 0 9 | 0, 6 4 |
| 0, 0 5 6 | 0, 5 4 | 0,1 6 | 0, 7 7 3 | 1, 1 0 | 0, 6 6 |
| 0, 0 7 1 | 0, 5 8 | 0,1 8 | 0, 8 0 6 | 1, 1 1 | 0, 6 8 |
| 0, 0 8 8 | 0, 6 2 | 0,2 0 | 0, 8 3 7 | 1, 1 2 | 0, 7 0 |
| 0, 1 0 6 | 0, 6 5 | 0,2 2 | 0, 8 6 8 | 1, 1 3 | 0, 7 2 |
| 0, 1 2 6 | 0, 6 8 | 0,2 4 | 0, 8 9 8 | 1, 1 3 | 0, 7 4 |
| 0, 1 4 8 | 0, 7 2 | 0,2 6 | 0, 9 2 6 | 1, 1 4 | 0, 7 6 |
| 0, 1 7 1 | 0, 7 5 | 0,2 8 | 0, 9 5 3 | 1, 1 4 | 0, 7 8 |
| 0, 1 9 6 | 0, 7 8 | 0,3 0 | 0, 9 7 7 | 1, 1 4 | 0, 8 0 |
| 0, 2 2 2 | 0, 8 0 | 0,3 2 | 1, 0 0 0 | 1, 1 4 | 0, 8 2 |
| 0, 2 4 9 | 0, 8 3 | 0,3 4 | 1, 0 2 1 | 1, 1 4 | 0, 8 4 |
| 0, 2 7 7 | 0, 8 6 | 0,3 6 | 1, 0 3 9 | 1, 1 4 | 0, 8 6 |
| 0, 3 0 7 | 0, 8 8 | 0,3 8 | 1, 0 5 4 | 1, 1 3 | 0, 8 8 |
| 0, 3 3 7 | 0, 9 0 | 0,4 0 | 1, 0 6 6 | 1, 1 2 | 0, 9 0 |
| 0, 3 6 8 | 0, 9 2 | 0,4 2 | 1, 0 7 3 | 1, 1 2 | 0, 9 2 |
| 0, 4 0 0 | 0, 9 4 | 0,4 4 | 1, 0 7 6 | 1, 1 0 | 0, 9 4 |
| 0, 4 3 3 | 0, 9 6 | 0,4 6 | 1, 0 7 1 | 1, 0 9 | 0, 9 6 |
| 0, 4 6 6 | 0, 9 8 | 0,4 8 | 1, 0 5 7 | 1, 0 6 | 0, 9 8 |
| 0, 5 0 0 | 1, 0 0 | 0,5 0 | 1, 0 0 0 | 1, 0 0 | 1, 0 0 |

**ANNEXE D : classification de l'agressivité selon la norme :**

| Classe d'agressivité | Spécifications [%] | environnement - niveau de protection |
|---|---|---|
| A0 | 0,0 - 0,24 | non agressif |
| A1 | 0,24 - 0,60 | faiblement agressif |
| A2 | 0,60 - 1,20 | moyennement agressif |
| A3 | 1,20 - 2,40 | fortement agressif |
| A4 | > 2,40 | très fortement agressif |

**Tableau 10** : Classification des environnements agressifs (NF P 18-011, 1992)

**ANNEXE E : matériaux zone inondable.**



## Fiche n° 18 : Enrochements

*Type de matériau : R2 , R4 , R6*

| désignation | | enrochements | Observations |
|---|---|---|---|
| **Caractéristiques intrinsèques** | | | |
| résistance | LA+MDA | <= 50 | [ 1 ] |
| **Caractéristiques de fabrication** | | | |
| dimensions nominales | | voir catégories § 7.2.2 | |
| granularité | | voir § 7.2.2 | |
| angularité | | entièrement concassés | |
| forme | 1+g/2e | 1 à 3 | |
| | l/e | <= **3** | |
| **Caractéristiques complémentaires** | | | |
| indice de continuité | IC | >= 0,75 | [ 4 ] |
| porosité | n | <= 5 % | [ 2 ] |
| sensibilité au gel | | non gélif | [ 3 ] |
| dégradabilité | Dg | non mesurable | |
| résistance à la compression simple | Rc | >= 60 MPa | |
| granulats artificiels | | | |

[ 1 ] pour la sélection de la carrière

[ 2 ] si 2 < n <= 5, il faut vérifier que le granulat est insensible au gel

[ 3 ] vérification si 2 < n <= 5

[ 4 ] Pour les roches d'origine éruptive

## Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

*Type de matériau : CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, R62, F31, F71*

| désignation | | Grave 0/D | Observations |
|---|---|---|---|
| **Caractéristiques intrinsèques** | | | |
| résistance | LA + MDA | <= 80 | |
| **Caractéristiques de fabrication** | | | |
| dimensions nominales | d | 0 | |
| | D | 63 à 500 | |
| granularité | P[Dmax] | >= 99% | |
| ( fuseau de spécification) | P[D] | [ 1 ] | |
| | P[D/20] | | |
| | P[0,08] | <= 5% | [ 2 ] |
| angularité | | | |
| forme | | | |
| propreté | | | |
| **Caractéristiques complémentaires** | | | |
| sensibilité au gel | | non gélif | |
| dégradabilité | | non mesurable | |
| granulats artificiels | | [ 3 ] | |

[ 1 ] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % ( Dmax = 1,25 D )
si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax )
[ 2 ] mesuré sur la fraction 0/50
[ 3 ] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

**ANNEXE F : classification des sols selon UIC 719R.**

| Classe de qualités des sols | Classification des sols (identification géotechnique) |
|---|---|
| QS0 : Sols impropres | 0.1 sols organiques.<br>0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables.<br>0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)<br>0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple).<br>0.6 sols mixtes « minéraux organique ». |
| QS1 : Sols médiocres | 1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2).<br>1.2 Roches très évolutives par exemple :<br>- Craies de ρd <1.7t/$m^3$ et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés.<br>1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2).<br>1.4 Roches évolutives par exemple :<br>- Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés.<br>1.5 Roches tendres par exemple :<br>Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40. |
| QS2 : Sols moyens | 2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines.<br>2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6).<br>2.3 Roches moyennement dures par exemple :<br>Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40. |
| QS3 : Bons sols | 3.1 Sols comportant moins de 5% de fines<br>3.2 Roches dures par exemples :<br>Si MDE≤25 et LA≤30 |

# ANNEXE G : Classification UIC selon classification GTR

| Classification de la norme NF P 11 300 | | | Classe de qualité des sols (voir tableau 3 - page 15) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Classe** | **Désignation** | **Sous-classe** | **QS 0** | **QS 1** | **QS 2** | **QS 3** |
| **A** | *Sols fins* | **A1** | A1h | A1m & A1s | A1s B.C. Hydro. saison sèche | |
| | | **A2** | A2h | A2m & A2s | A2s B.C. Hydro. saison sèche | |
| | | **A3** | A3h | A3m & A3s | | |
| | | **A4** | A4h | A4m & A4s[a] | | |
| **B** | *Sols sableux et graveleux avec fines* | **B1** | | | | |
| | | **B2** | B2h | B2m | B2s B.C. Hydro. | |
| | | **B3** | | | | Propre et bien gradué Dureté élevée |
| | | **B4** | B4h | B4m | B4s | Propre et bien gradué Dureté élevée |
| | | **B5** | B5h | B5m | B5s | |
| | | **B6** | B6h | B6m | B6s B.C. Hydro. | |
| **C** | *Sols comportant des fines et de gros éléments* | **C1** | La classe de qualité est celle de la fraction 0/50 | | | |
| | | **C2** | fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w \geq 1{,}25$ wopn | fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w < 1{,}25$ wopn | fraction 0/50 de classe de qualité QS1 | Propre et bien gradué Dureté élevée |
| **D** | *Sols insensibles à l'eau* | **D1** | | | Assurer la traficabilité Planche d'essai | |
| | | **D2** | | Dureté faible | Dureté moyenne | Propre et bien gradué Dureté élevée |
| | | **D3** | | Dureté faible | Dureté moyenne | Propre et bien gradué Dureté élevée |

**ANNEXE H : Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g**

| | | |
|---|---|---|
| E | = 0.70 m<br>= 0.55 m<br>= 0.45 m | Pour les plates-formes de classe de portance P1<br>Pour les plates-formes de classe de portance P2<br>Pour les plates-formes de classe de portance P3 |
| a | = 0<br>= -0.05 m<br>= -0.10 m<br>= -0.15 m | - Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h quel que soit le - groupeUIC)<br>-Pour les groupes UIC 3 et 4<br>-Pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs<br>-Pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur |
| b | = 0<br>= (2,50 – L) /2 | -pour les traverses bois de longueur 2,60 m<br>- avec L est la longueur des traverses (b en m. L en m, b peut être négatif siL > 2,50 m) |
| c | = 0<br>= -0.10 m<br>= -0.05 m | -pour un dimensionne ment normal<br>- à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes degroupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur"<br>-à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de Groupe UIC autre que"7, 8, 9 sans voyageur" |
| d | = 0<br>= +0.05 m<br>= +0.12 m | - Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas200 KN<br>- Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN<br>-Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN |
| f | = 0<br>= +0.05 m<br>= +0.10 m | - Pour toutes les lignes à V ≤ 1 60 km/h et pour les plates-formes de portancePF3 des lignes à grande vitesse.<br>-Pour les plates-formes de classe de portance PF2 des lignes à grande vitesse.<br>-Pour les plates-formes de classe de portance PF1 des lignes à grande vitesse |
| g | = +<br>= 0 | - géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2<br>- (Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3 |