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 des diplômes d'Ingénieur d'État et de Master
Filière : Travaux Publics
Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire TIARET – SAIDA Du PK 56+500 au PK 84+800, Avec la conception de la gare Ain kermes

Présenté par :

- BELKACEM Omar
- BENOMRANE Mohamed

Encadré par :

- BENTCHIKOU Ahmed
- KHOUAS Zohra

Promotion 2019/2020

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

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

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce projet et en particulier notre promoteur Mr BENTCHIKOU et Mme KHOUAS pour ces disponibilités permanente, pour ces aides et ces orientations précieuses, tout le long de ce projet. Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

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

Nous remercions aussi le groupe de COSIDER pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage. Spécialement : ABD EL RAHMEN, HOUCEM, AHMED, SEDIK,

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

DEDICACE

Au nom d'ALLAH, le très Miséricordieux Je remercie **ALLAH** le tout Puissant, clément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail, ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

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

Je dédie ce modeste travail à ma très **chère mère**, qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils, donc je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant. Je prie ALLAH le Miséricordieux qu'il te portera récompense, car la mienne ne sera guère complète,

Et te protège et te garde en bonne santé.

A **mon père** qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui a toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie.

A Mes chers frères **YOUCEF** et **ABD EL KADER** et à Mes chères sœurs

A mon binôme et confrère : **BENOMRANE MOHAMED**

A mon ami (frère) : **LEHMIL Salim**

A tous mes Amis sans exception.

A tout qui connait OMAR de près ou de lions.

BELKACEM Omar

DEDICACE

Au nom d'ALLAH, le très Miséricordieux Je remercie ALLAH le tout Puissant, clément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail, ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

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

Je dédie ce travail à mes très chers parents, à qui je dois tout et qui ont fait de moi celle que je suis, ce travail est le fruit des sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation et ma formation. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous

.

A mon cher frère, LAKHDAR

A mes très chères sœurs,

A mon binôme et ami BELKACEM Omar,

A tous mes amis

A toute la famille BENOMRANE.

BENOMRANE Mohamed

ملخص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع لمقطع 28 كم من خط السكة الحديدية تيارت سعيدة من النقطة الكيلومترية 56+500 الى النقطة الكيلومترية رقم 84+800 مع انجاز محطة عين كرمس.

تم تنفيذ هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي (UIC)و توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) لسكك الحديدية

برامج النمذجة والحساب المستخدمة في المشروع هي: Civil 3D 2018, globale mappé 19, Géostudio .

كلمات مفتاحية: سكك حديدية، محطة

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée APD d'un tronçon de 28 km de la ligne ferroviaire TIARET – SAIDA (du Pk 56+500 jusqu'au Pk 84+800) avec conception t de la gare de Ain kermes. Ce projet a été réalisé suivant les normes de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et les recommandations de la Société nationale de transport ferroviaire (SNTF). Les logiciels de modélisation et de calcul utilisé dans le projet sont : Autocad 2018, Civil 3D 2018.Géostudio, globale mappé 19.

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

Abstract

This memory involve the study detailed design (A.P.D) of a section of 28 km of the railway line El TIARET and SAIDA beetween (Pk 56+500 and Pk 84+800) with the construction of Ain Kermes station.

This projet was realised according to International Railway Union standards (UIC) and the Algerian national railway company recommendations of the (SNTF).

Modeling sofwares used in this project are : Autocad 2018, Civil 3D 2018. Geostudio 2018, globale mappé 19.

Key words : Civil 3D,Railway , station.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE……..... 1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Introduction 3

I.1. Le rôle principal de la voie ferrée..... 3

I.2. LE MATERIEL ROULANT 5

I.2.1. Les véhicules moteurs :..... 6

I.2.2. Les véhicules remorqués 7

I.2.3. Les différents modes de traction..... 8

I.3. Origine des règles de calcul des conditions de circulation : 9

I.3.1. Classement des voies : 10

I.3.2. Classement des matériels roulants : 10

I.3.2.1 Choix de la charge verticale Q comme premier paramètre d'agressivité du matériel roulant : 11

I.3.2.2 Choix du coefficient d'agressivité comme deuxième paramètre d'agressivité du matériel roulant : 12

I.4. Démarche actuelle pour l'admission des matériels roulants 13

I.4.1. La courbure de la voie 13

I.4.2. Notions d'insuffisance de dévers.....13

I.5. Processus de détermination de la vitesse et de l'insuffisance de dévers maximal : 15

I.5.1. Type de matériel roulant étudié .....

I.6. Conclusion et perspectives :.....17

CHAPITRE II : CHEMINS DE FER EN ALGERIE

II.1. INTRODUCTION : 18

II.2. AVANTAGES DE CHEMIN DE FER : 18

II.3. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN :.....18

II.3.1. Étapes de développement :.....18

II.3.2. Réseau actuel en Algérie :……...….19

II.4. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRE..... 19

II.4.1. La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes :..... 20

II.4.2. La rocade ferroviaire des Hauts Plateaux :..... 20

II.4.3. Ligne Minière : 20

II.4.4. Pénétrante Ouest :..... 20
II.4.5. Pénétrante Centre :..... 20
II.4.6. Boucle Sud-Ouest :..... 20
II.5. CONCLUSION : 21

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

III.1. INTRODUCTION :..... 22
III.2. IMPACT DU PROJET :..... 23
III.3. Généralité Sur La Wilaya De Tiaret : 23
III.4. Caractéristiques De La Wilaya De Tiaret : 24
III.4.1. Délimitations géographiques :..... 24
III.4.2. Caractéristiques géographiques : 24
III.5. LES ACTEURS DE PROJET 25
III.5.1. Maître de l'ouvrage :..... 25
III.5.2. Maître de l'ouvrage délégué : 25
III.5.3. Maîtrise d'œuvre :..... 25
III.5.4. Entrepreneur : 25
III.6. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC 26
III.7. PRESENTATION DU PROJET..... 26
III.7.1. Les caractéristiques techniques..... 26
III.7.2. Description du tracé..... 27

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

IV.1. INTRODUCTION :..... 28
IV-2- LA VOIE..... 28
IV.3. LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE 28
IV.3.1. Le rail :..... 28
IV.3.1.1. Type des rails : 28
IV.3.1.2. Caractéristiques géométriques du rail UIC 60 : 30
IV.3.1.3. L'écartement des rails : 31
IV.3.1.4. Assemblage des rails : 32
IV.3.2. Les traverses :..... 33
IV.3.3. Les semelles :..... 34
IV.3.4. Les attaches : 35
IV.4. ASSEMBLAGE DES CONSTITUANTS :..... 36
IV.5.LES APPAREILS DE VOIE 36

IV.6. CONCLUSION 38

CHAPITRE V : TRACÉ EN PLAN

V.1. INTRODUCTION : 39
V.2. CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRES GEOMETRIQUES..... 39
V.3. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN 40
V.4. PARAMETRES DE CONCEPTION : 41
V.5. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN 41
V.5.1 Alignement : 41
V.5.2. L'arc de cercle : 41
V.5.3. La courbe de raccordement : 41
V.6. PARAMÉTRES GÉOMÉTRIQUES DU TRACÉ 42
V.6.1. Rayon minimum de l'alignement circulaire (R_{min}) 42
V .6.2. Le dévers : 42
V .6.2.1. Dévers théorique (d_{th}) : 43
V .6.2.2 Dévers pratique (réel) dp 43
V .6.2.3. Coefficient de dévers 43
V.6.2.4. Variation de dévers : 44
V.6.2.5. Insuffisance de dévers (I) : 45
V.6.2.6. Excès de dévers : 46
V.6.2.7. Longueur de raccordement 'L'de dévers : 46
V.7. CONDITIONS DE RACCORDEMENT 48
V.8. APPLICATION AU PROJET : 50
V.9. CALCUL DE L'AXE EN PLAN : 56
V.9.1. La méthodologie de calcul : 56
V.9.2. Application au projet : 57
V.10. les obstacles du projet……..……..60

CHAPITRTE VI : PROFIL EN LONG

VI.1. INTRODUCTION : 61
VI.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG : 61
VI.3. PARAMETRES DU TRACE A RESPECTER : 61
VI.3.1. La longueur minimale des déclivités : 62
VI.3.2. Rayon minimal en profil en long : 63
VI.4. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :.....64

VI.5. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN :.....64
VI.6. PARAMETRES CINEMATIQUES DU PROFIL EN LONG :.....64
VI.7. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG : 65

CHAPITRE VII : ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

VII.1. ETUDE GÉOLOGIQUE : 67
VII.1.1. INTRODUCTION : 67
VII.1.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DE LA RÉGION : 67
VII.1.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE NOTRE TRONCON : 68
VII.1.4. CONCLUSION :..... 69
VII.2. ETUDE GÉOTECHNIQUE : 70
VII.2.1. Programme d'investigation géotechnique : 70
VII.2.1.1 Consistance des 'investigation géotechniques 70
VII.2.2. CONCLUSION :..... 76
VII.3. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE : 77
VII.3.1. Essais in situ : 77
VII.3.2. Essais au laboratoire :..... 78
VII.3.3. CONCLUSION :..... 96
VII.4. Étude Comparative …… 97

CHAPITRE VIII : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSAINISEMENT

VIII.1. ETUDE HYDROLOGIQUE : 98
VIII.1.1. INTRODUCTION :..... 98
VIII.1.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE GÉNÉRAL : 98
VIII.1.2.1. Présentation générale : 98
VIII.1.3 Hydrologie : 99
VIII.1.3.1 Les bassin versants : 100
VIII.1.3.1.1. Caractéristiques des bassins versants : 100
VIII.1.4. CALCUL HYDRAULIQUE : 105
VIII.1.4.1. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) : 105
VIII.1.4.2. Temps de concentration : 106
VIII.1.5. APPLICATION AU PROJET : 107
VIII.2. ETUDE D'ASSAINISSEMENT : 109
VIII.2.1. INTRODUCTION :..... 109
VIII.2.2. LE DRAINAGE TRANSVERSAL :.....

VIII.2.2.1. Ouvrages transversaux : 109
VIII.2.2.2. Critères de dimensionnement à respecter : 110
VIII.2.2.3. Application au projet : 111
VIII.3. Ouvrages d'assainissement longitudinaux : 117
VIII.3.1. Applications au projet : 119
VIII.3.2. Fossés de crête : 120
VIII.3.3. Calcul hydraulique des ponts : 121
VIII.3.3.1. Application au projet : 121
VIII.4. CONCLUSION : 122

CHAPITRE IX : DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE

IX. Définition : 123
IX.1. Le ballast : 123
IX.1.1. Caractéristiques physiques 124
IX.1.2. Caractéristiques mécaniques 125
IX.2. Sous-couche : 125
IX.3. Sous –ballast : 126
IX.4. Couche de fondation : 126
IX.5. Couche anti-contaminante : 126
IX.6. La plate-forme : 126
IX.6.1. Classification de la plate-forme : 127
IX.6.1.1. Classe de qualité des sols pour la plate-forme : 127
IX.6.1.3. Dimensionnement des couches d'assise : 128
IX.7. Application à notre projet : 130
IX.7.1. Calcul de l'épaisseur du ballast : 130
IX.7.2. Détermination du paramètre E : 130

CHAPITRE X : PROFIL EN TRAVERS

X.1 Introduction…….….. 132
X.1.1 Profil en travers type : 132
X.1.2. Profil en travers courant : 132
X.2. Constituants du profil en travers type ……..133
X.3. Les éléments du profil en travers ……133
X.4. Les Profils types de notre projet……134

CHAPITRE XI : TERRASSEMENT ET OUVRAGES

XI. TERRASSEMENT :.....137
XI.1. INTRODUCTION :.....137
XI.1.1. Déblais :.....137
XI.1.2. Remblais :.....138
XI.2. VERIFICATION DE LA STABILITÉDES DÉBLAIS ET DES REMBLAIS :.....139
XI.2.1. Cas d'un Déblai :.....139
XI.2.2. Cas d'un Remblai :.....141
XI.2.2.1. Conclusion :.....142
XI.3. Réutilisation des matériaux de déblais (déblais mise en remblais) :.....142
XI.3.1 Conclusion :.....143
XI.4. Structure des remblais :.....143
XI.4.1. Remblai en zone courante (non inondable) :.....143
XI.4.2. Remblais en zone inondable :.....144
XI.5. EPAISSEURS DE LA TERRE VEGETALE :.....145
XI.5.1. CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :.....145
XI.6. OUVRAGES D'ART :.....147
XI.6.1. INTRODUCTION :.....147
XI.6.2. Les croisements avec la route :.....147
XI.6.2.1 Passage inférieur :.....147
XI.6.2.2. Passage supérieur :.....148
XI.6.3. Franchissement d'écoulement d'eau :.....148
XI.6.1. Pont hydraulique :.....148
XI.7. Application de projet.....149
XI.7.1. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET.....149

CHAPITRE XII : LA CONCEPTION DE LA GARE AIN KERMES

XII.1. INTRODUCTION :.....150
XII.2. TYPES DES GARES :.....150
XII.3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS :.....150
XII.4. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES :.....150
XII.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE :.....151
XII.5.1. La marge de glissement à l'aval des signaux :.....151
XII.5.2. Garage franc (GF) :.....151

XII.5.3. La longueur utile d'une voie de stationnement : 152
XII.5.4 Les évitements 153
XII.5.5. Heurtoir : 153
XII.5.6. QUAI : 153
XII.5.6.1. La hauteur du quai : 153
XII.5.6.2 Distance par rapport à l'axe de la voie : 154
XII.5.6.3. Entraxe entre les quais : 154
XII.5.7. Appareils de la voie : 154
XII.5.7.1. Implantation des appareils de voie : 155
XII.8. APPLICATION AU PROJET : 156
XII.8.1. Localisation de la gare : 156
XII.8. 2. Caractéristiques de la gare : 156
XII.8. 3. La passerelle : 159
XII.9. ASSAINISSEMENT DE LA GARE : 159
XII.10 profil en travers de la gare ; 161
XII.11. Gares de croisement 162
XII.11.1. Profils en travers des gares de croisement 163
XII.13. Modèle 3D de la gare Ain Kermes 163
XII.14. Conclusion 165

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION

XIII.1. SIGNALISATION : 166
XIII.2. INTRODUCTION : 166
XIII.3. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION : 166
XIII.4. DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX : 166
XIII.5. GENRE ET ETALON DE SIGNALISATION : 166
XIII.6. IMPLANTATION DES SIGNAUX : 167
XIII.7. SIGNAUX LUMINEUX : 167
XIII.8. VISIBILITE DES SIGNAUX : 167
XIII.8.1. VISIBILITE DES SIGNAUX HAUTS : 167
XIII.8.2. VISIBILITE DES SIGNAUX BAS : 168
XIII.9. LES DIFFERENTES CIBLES UTILISÉES : 168
XIII.10. SYSTEME DE SIGNALISATION : 168
XIII.10.1. ERTMS NIVEAU 1 : 168
XIII.10.2. Transmission sol-machine (Les équipements au sol) : 169

XIII.10.3. Les équipements ERTMS à bord des locomotives : 170
XIII.11. CONCLUSION 170

CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV.1. INTRODUCTION : 171
XIV.2. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :.....171
XIV.3. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT :.....172
XIV.3.1. Environnement physique :.....172
XIV.3.2. Environnement biologique : 174
XIV.4. ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL :.....174
XIV.4.1 Population et Habitat :.....174
XIV.4.2 Agriculture :.....174
XIV.5. Evaluation des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet:....174
XIV.5.1. Impacts sonores :.....174
XIV.5.2. Réduction de l'impact visuel et remise en état des lieux :.....176
XIV.5.3. Impacts sur les biens de la population :.....176
XIV.5.4. Effet de coupure : 177
XIV.5.5. Risque d'accidents : 177
XIV.6. Impacts sur la qualité de l'air et de l'eau : 178
XIV.6.1. Impacts sur la qualité de l'air : 178
XIV.6.2. Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines : 179
XIV.7. Évaluations des impacts des Divers :.....179
XIV.8. Impacts sur le milieu naturel :.....179
XIV.8.1. Flore : 179
XIV.8.2. Faune :.....180
XIV.8.3. Impacts sur la faune et la flore : 184
XIV.9. Conclusion :.....185
CHAPITRE XV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF..... 186
CONCLUSION GENERALE.....189

Listes des figures

Figure I.1 – Composition de la voie ferrée 3
Figure I.2 – Fixation du rail à la traverse.....3
Figure I.3 : Section d'un rail 60E1.....4
Figure I.4 : Deux types de traverses béton.....5
Figure I.5 : Exemples de systèmes d'attache Nabla 5
Figure I.6 : le matériel roulant.....6
Figure I.7.Poutre sur fondation élastique.....11
Figure I.8.Lacet du véhicule 12
Figure I.9.Trajectoire du véhicule 12
Figure I.10.Jeu dans la voie 12
FigureI.11–Dévers théorique de la voie [7]. 14
Figure I.12.Démarche de calcul des conditions de circulation d'un matériel roulant 16
Figure II. 1 : Plan de développement des chemins de fer en Algérie. [1].....21
Figure III. 1 : Localisation géographique de ligne de projet.....22
Figure III. 2 : la wilaya de Tiaret 23
Figure III.3. Cadre géographique du Tronçon étudie 27
Figure IV. 1 : Le rail Vignole (UIC 60).....29
Figure IV. 2. Nomenclature d'un rail Vignole.....29
Figure IV. 3 : Rail à gorge 29
Figure IV. 4 : Rail à double champignon.....30
Figure IV. 5 : Section du rail Vignole 60E1 [5]. [15].....30
Figure IV. 6 : Écartement de la voie.....31
Figure IV. 7 : Long rail soudé (LRS). 32
Figure IV. 8 : Eclissage des rails. [5] 33
Figure IV. 9 : Traverse bi-bloc en béton armé. [15].....34
Figure IV. 10 : les dimensions de traverses V.A.X TYPE U31 NAT. [5].....34
Figure IV. 11 : Semelles en élastomère. 34
Figure IV. 12 : les types des attaches 35
Figure IV. 13 : Les Attaches NABLA Utilisées Dans Notre Projet 35
Figure IV. 14 : Assemblage des constituants 36
Figure IV. 15: les deux groupes d'appareils de voie. (Source : SNCF 2003, IN2915) 37
Figure IV. 16 : Un branchement et ses éléments constitutifs (Source : SNCF 2003, IN2915).....37
Figure IV. 17. Appareil de voie type traversée simple 38

Figure V.1 :Eléments géométriques du tracé en plan.....39
Figure V.2 : Définition du Dévers..... 42
Figure V.4 : La courbe de raccordement 47
Figure V.5 : Schémas illustratif pour les doucines.....49
Figure V.06 : Diagramme des devers « Civil 3d » 54
Figure V. 7. : Elément de clothoïde..... 56
Figure VI.1 : Eléments géométriques du profil en long..... 61
Figure VI.2 : les éléments d'un raccordement en long..... 65
Figure VII.1 : Cadre des unités géologique-structurelles du nord d'Algérie 67
Figure VII.2 : Carte géologique de la zone d'étude 69
Figure VII.3. Carrière de Ain kermes..... 75
Figure VII.4. : photos de sondage ST2270 (source : rapport géotechnique). [9] 79
Figure VII. 6 : photos puit de reconnaissance PU17-AT (source : rapport géotechnique). [9]..... 83
Figure VII. 7 : Résultat de l'essai pressiométre (source : rapport géotechnique) 85
Figure VII.7 : Résultat de l'essai pressiomètre (source : rapport géotechnique) 86
FigureVIII.1. : Détermination des bassins versant BV 3 – BV 27 « Global mapper V 20.0 » 98
Figure VIII.02 : Détermination des bassins versant « Global mapper V 20. » 102
Figure VIII.03 : Image STRM des bassins versants « Global mapper V 20.0 »..... 102
Figure VIII.4. : courbes de niveau des bassins versants « Global mapper V 20.0» 103
Figure VIII.5. : Schéma d'un dalot..... 111
Figure VIII.6. : Schéma d'une buse..... 113
Figure VIII.7. : Profil en travers d'une buse 115
Figure VIII.8: fosse trapézoïdale..... 117
Figure VIII.9. Le fossé adopté pour notre projet..... 120
Figure VIII.10. Le fossé adopté pour notre projet..... 120
Figure IX.1. : profil en travers de l'assise ferroviaire..... 123
Figure IX.2. : fuseau granulaire du ballast..... 124
Figure IX.3. : structure de la voie..... 131
Figure X.1. : Profil en travers type 132
Figure X.2. : Constituants du profil en travers..... 134
Figure X.3. : Profil type de notre projet cas remblai et déblai. 135
Figure X.4 : Profil type de notre projet cas des ouvrages d'arts. 135
Figure X.5. : Profil type de notre projet cas des gares..... 136
Figure XI.1. : Remblais dans une grande pente 138

Figure XI.2 : les cercles de rupture pour les déblais au PK 78+275 condition statique. 140
Figure XI.3 : les cercles de rupture pour les Remblai au PK 64+800 condition statique 142
Figure XI. 3 : Structure d'un remblai courant. 143
Figure XI. 4 : Structure d'un remblai en zone inondable. 144
Figure XI. 5 : Passage inférieur. 147
Figure XI. 6 : Passage supérieur 148
Figure XI.7 : pont hydraulique. 148
Figure XII. 1 : Schéma de la marge de glissement 151
Figure XII. 2 : Garage franc 152
Figure XII. 3 : Longueur utile de stationnement et garage franc 152
Figure XII.4 schémas d'évitement 153
Figure XII. 5 : Un heurtoir 153
Figure XII. 6. : la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie 154
Figure XII. 7 : implantation d'un appareil de voie sans contraintes 155
Figure XII. 8 : implantation d'un appareil de voie avec contraintes 155
Figure XII.9. : Localisation de la gare de Ain kermes 156
Figure XII. 10 : Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12. [13] 158
Figure XII. 9. les dimensions du passage sous-terraine dans la gare [13] 159
Figure XII.10. Drain collecteur [14] 160
Figure XII.11 Un drain [14] 160
Figure XII. 12 : profil en travers de la gare de Ain Kermes 161
Figure XII. 13 : Schéma de la gare de croisement 162
Figure XII. 14 : profil en travers des gares de croisement 163
Figure XII. 15 : Vue en plane de la gare Ain kermes 163
Figure XII. 16 : le modèle 3D de la gare Ain kermes 164
Figure XII. 17 : le modèle 3D de la gare Ain kermes 164
Figure XIII. 1 : LE SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS (ERTMS) niveau 1 . 168
Figure XIII. 2 : Une balise installée sur la voie 169
Figure XIII. 3 : L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap. 10). [14] 170
Figure XIV.1. Situation géographique de la wilaya de Tiaret 172
Figure XIV.2. Pose d'une clôture pour les animaux 184
Figure XIV.3. Passages pour des riverains et les animaux. 185

Liste des tableaux

Tableau I.1. Rôle des composants de la voie..... 4
Tableau I.2. Les véhicules moteurs 6
Tableau I.3. Les véhicules remorqués.....7
Tableau I.4.Groupes Demaux..... 10
Tableau III.1 Catégories de trafic UIC (703 R) 26
Tableau III.2 :Fiche technique de la ligne 27
Tableau IV. 1. Caractéristiques du Rail 60 E1 31
Tableau IV. 2. Les composants pour notre projet..... 38
Tableau V.1 Valeur minimale de l'alignement recommandé par l'UIC (fiche 703 R) 41
Tableau V. 2 Valeurs limites du dévers 44
Tableau V. 3 Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur..... 44
Tableau V. 4. Taux de variation de dévers en fonction du temps..... 45
Tableau V. 5. Valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers..... 45
Tableau V. 6. Valeurs de variation de l'insuffisance de dévers. 46
Tableau V.7 : Valeurs limites de l'excès de dévers..... 46
Tableau V. 8. Paramètres du gauchissement 48
Tableau V. 9. Longueur minimale des éléments en plan 49
Tableau V. 10. Paramètres géométriques du tracé..... 50
Tableau V. 11 les paramètres significatifs de l'axe en plan entre pk56+500 et84+800. 55
Tableau V. 12. les données de l'arc choisi pour l'exemple. 57
Tableau V. 13. Vérification de non chevauchement..... 59
Tableau V. 14. Les contraintes rencontrées..... 60
Tableau VI. 1 Valeurs de la longueur minimale des déclivités. [6]..... 62
Tableau VI.2 les rayons minimaux de profil en long.....63
Tableau VI. 3 Valeurs standards des paramètres cinématiques..... 64
Tableau VI. 4 les coordonnées des points de profil en long (exemple). 66
Tableau VII.1. Consistance des 'investigation géotechniques 70
Tableau VII.2 Puits de reconnaissance 71
Tableau VII.3 Localisation des investigations pour les remblais importants..... 72
Tableau VII.4 Localisation des investigations pour les déblais importants 72
Tableau VII.5 Localisation investigation pour les' Ouvrages.....73

Tableau VII.06 les essais pour matériaux extrait d'emprunt et carrière. 75
Tableau VII.7 localisation de gite et carrière 75
Tableau VII.8. programme de reconnaissance géotechnique (essai in situ)..... 77
Tableau VII.9. Compagne de reconnaissance géotechnique (Essais au laboratoire)..... 78
Tableau VII- 10 les résultats de l'essai carottage. 80
Tableau VII- 11 compacité des sables..... 82
Tableau VII- 12 consistance de l'argile 82
Tableau VII- 13 compacité des sables..... 83
Tableau VII. 14 localisation des puits de reconnaissance et description lithographique 84
Tableau VII. 15 classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1)..... 90
Tableau VII.16 Résultats de l'essai physique au laboratoire (1). [9]..... 91
Tableau VII.17 Résultats de l'essai Granulométrie par tamisage (1). [9]..... 92
Tableau VII.18 Résultats des essais au laboratoire (2). [9]..... 92
Tableau VII.19 Résultats des essais au laboratoire (2). [9]..... 93
Tableau VII.20 : Résultats des essais au laboratoire (2). [9]..... 94
Tableau VII.21 Résultats des essais au laboratoire (1).[9].....94
Tableau VII.22 Résultats de classification des sols 95
Tableau VIII.1. caractéristiques des paramètres de bassins versant BV3 – BV27..... 99
Tableau VIII.2 Données Pluviométrique..... 99
Tableau VIII.3. Valeurs de variable du GAUSS 100
Tableau VIII.4. Caractéristiques des paramètres de bassins versant. 104
Tableau VIII. 5 Désignation des Coefficient de ruissellement par zones. 107
Tableau VIII.6. Calcul des débits de crue décennaux et centennaux..... 108
Tableau VIII .7 Valeurs de Ks selon SETRA..... 110
Tableau VIII.8. Prédimensionnement des ouvrages d'assainissement transversaux 111
TableauVIII.9 La vérification hydraulique des ouvrages d'assainissement transversaux . 112
Tableau VIII.10 Itération (dalot)..... 113
Tableau VIII.11. Les ouvrages hydrauliques..... 114
Tableau VIII.12 La vérification hydraulique des ouvrages d'assainissement transversaux ..115
Tableau VIII.13. Calcul des débits de saturation des fossés 118
Tableau VIII. 14 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai 119
Tableau VIII. 15 Calcul des débits à évacuer dans le cas de fossé de crête 120
Tableau VIII. 16 Calcul des débits à évacuer dans le cas de Pont..... 122

Tableau IX.1. les classes de portance de la plateforme (UIC719R) 128
Tableau IX.2. les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R). 129
Tableau IX.3. Paramètres de classification de couche d'assise 130
Tableau IX.4. structure de la voie 131
Tableau XI. 1 zones de déblais entre PK56+500 et PK 84+800. 137
Tableau XI. 2. La sécurité dans la zone de déblai : 137
Tableau XI. 3 Les caractéristiques mécaniques des déblais 139
Tableau XI.4. Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais 139
Tableau XI. 5 Les caractéristiques mécaniques des Remblai 141
Tableau XI.6. Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en remblais . 141
Tableau XI.7. les zones déblais rencontrés le long du tracé 142
Tableau XI.8. Les conditions de réutilisations des matériaux 143
Tableau XI.9. Le Volume de la terre végétale 145
Tableau XI. 10 Récapitulatif des volumes de terrassement 145
Tableau XI. 11 Récapitulatif des volumes des couches d'assise 145
Tableau XI. 12 Récapitulatif des volumes des terrassements 146
Tableau XI. 13 Les ouvrages d'arts projetés du projet. 149
Tableau XII. 1 Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1. [13] .. 154
Tableau XII. 2 caractéristiques des appareils de voie de la gare de Ain kermes..... 158
Tableau XII.3 critères de conception des collecteurs [4] 161
Tableau XIV.1. Environnement physique 173
Tableau XIV.2. évaluations des impacts prévisibles (Impacts dues aux bruits) 175
Tableau XIV.3. Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet 175
Tableau XIV.4. évaluations des impacts visuel et remise en état des lieux et les mesure à prendre.....176
Tableau XIV.5. évaluations des impacts prévisibles (Impacts sur les biens de la population) 176
Tableau XIV.6. évaluations des impacts prévisibles (Impacts sur les biens de la population) 177
Tableau XIV.7. évaluations des impacts prévisibles (Risque d'accidents).....177
Tableau XIV.8. Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la qualité de l'air) 178
Tableau XIV.9. Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines) 179

Tableau XIV.10. Évaluations des impacts prévisibles (Divers) 179

Tableau XIV.11. Le patrimoine forestier de la wilaya de Tiaret (Conservation des forêts de Tiaret, 2009) 180

Tableau XIV.12. Impacts sur la faune et la flore :.....184

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Les infrastructures de transport représentent la base sur laquelle repose le développement économique d'un pays. D'ailleurs la densification de ces infrastructures de transport est considérée comme le phénomène le plus observé dans l'analyse de la situation des pays développés. C'est bien un secteur qui améliore le transport des biens et des personnes et facilitent aussi les échanges entre agents économiques.

Parmi ces infrastructures on distingue le transport ferroviaire qui permet d'offrir aux voyageurs et aux chargeurs des services compétitifs avec les autres modes de transport, sur l'ensemble du territoire, pour répondre à des besoins très diversifiés. C'est un facteur clé de compétitivité et d'attractivité, à l'échelle nationale comme à celle des territoires il est même devenu un enjeu économique, social et écologique. Avec d'autant d'avantages par rapport au transport routier, Il constitue également le moyen de transport le mieux adapté pour le déplacement de gros volumes sur de longues distances.

Vu la superficie énorme de l'Algérie (2,5 millions de km²) donc le développement d'un réseau ferroviaire capable de satisfaire les besoins du pays était plus que nécessaire doc l'Algérie a bénéficié de plusieurs programmes de réalisation de lignes nouvelles, l'extension des lignes existantes pour l'amélioration des débits de lignes. Aujourd'hui, ce type de transport est diversifié Même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées

L'Algérie a réussi à développer son réseau des chemins de fer en agissant d'une manière optimiste suivant des programmes de développement bien étudiés. Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de plus de 4 000 km.

Parmi ses programmes nationaux de développent des chemins de fer et dans le cadre du Schéma Directeur National des Infrastructures Ferroviaires inscrit au plan quinquennal de l'année 2011, l'état prévoit la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire « TIARET - SAIDA » Dans un linéaire de 158 km. C'est ainsi que notre sujet de fin d'étude est inscrit il s'agit d'une étude en APD d'un tronçon de dix (28) km qui prend son origine avant la gare AIN KERMES au PK 56+500 et il se termine au PK 84+800. Aussi il est prévu la conception de la gare de Ain kermes. C'est L'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires ANESRIF « maitre d'ouvrage délégué » qui est chargée de la gestion de la réalisation de cette nouvelle ligne ferroviaire.

Le mémoire s'articule sur les aspects suivants :

- Recherche bibliographique (Les conditions de circulation des matériels roulants).
- Histoire des chemins de fer en Algérie.
- Présentation du projet et objectifs.
- Superstructure de la voie.
- Dimensionnement des ouvrages hydrauliques issus de l'étude hydrologique et Hydraulique.

- Étude géométrique : tracé en plan, profils en long et en travers.
- Étude géotechnique et leur application dans la stabilité des pentes, et dimensionnement de la structure d'assise.
- La conception de la gare de Ain kermes.
- Signalisation et l'étude de l'impact sur environnement.
- À la fin de notre travail, nous donnerons une estimation du coût global du notre tronçon.

CHAPITRE I :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Introduction

L'évolution de la structure des voies ferrées s'est faite au cours du XXème siècle sur des bases essentiellement empiriques. La plateforme ferroviaire des lignes dites classiques est un ensemble de couches résultant de l'histoire du chargement de la voie. L'apparition des lignes à grande vitesse a conduit à préciser cette structure, et à introduire des critères précis de conception en fixant les principes de construction dans des référentiels.

La composition de la voie lui confère donc un comportement très complexe dont la compréhension fait l'objet de recherche continue depuis les débuts d'exploitation du chemin de fer, notamment pour proposer des conditions de circulation qui respectent les normes de sécurité et qui s'adaptent à l'état de la voie.

Dans ce qui suit nous allons voir quelles sont Les conditions de circulation des matériels roulants, pour avoir une structure qui répondre aux exigences de circulations.

I.1. Le rôle principal de la voie ferrée

Le rôle principal de la voie ferrée est de guider le train en mouvement tout en supportant les efforts appliqués par ce dernier et de les distribuer jusqu'au sol support. En effet, le rail directement en contact avec la roue transmet les efforts aux traverses sur lesquelles il repose. Ces efforts sont par la suit répartis dans la couche de ballast puis dans les autres couches inférieures de la voie jusqu'au sol support.

Il existe deux types de voie à savoir la voie ballastée et la voie sur dalles (non ballastées). En ce qui concerne la voie ballastée, on distingue deux sous-systèmes **(Figure I.1)** :

- ✓ La superstructure de la voie qui englobe le rail, la traverse et le ballast ;
- ✓ La sous-structure qui comporte la sous-couche, la couche de forme et le sol support.

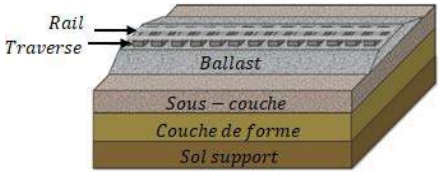


Figure I.1 – Composition de la voie ferrée.

Tableau I.1. Rôle des composants de la voie.

Composant	Rôle
Le rail	-offre une surface de roulement lisse au véhicule -guide le véhicule -supporte et distribue les efforts de contact -permet la conduction électrique
La semelle	-est placée entre le rail et la traverse -isole électriquement -contribue à la rigidité globale de la voie
La traverse	-Supporte le rail -préserve l'alignement et l'écartement des rails -Isole électrique entre les deux rails -transmet les efforts verticaux, latéraux et longitudinaux du rail au ballast
Le ballast	-assure la stabilité latérale et verticale du système {rail, traverse} pour respecter le nivellement et l'alignement de la voie
La sous-couche	-est une zone de transition entre la couche de ballast de bonne qualité à cause de ses larges particules et le sol à plus fines particules -évite l'interpénétration du ballaste et des couches inférieures de la sous-structure
La couche de forme	-sépare la sous-couche du sol - renforce l'infrastructure de la voie
Le sol support	-est important pour assurer la résistance mécanique de la voie aux efforts de contact -offre une souplesse et un amortissement de la voie qui atténue les phénomènes de résonance

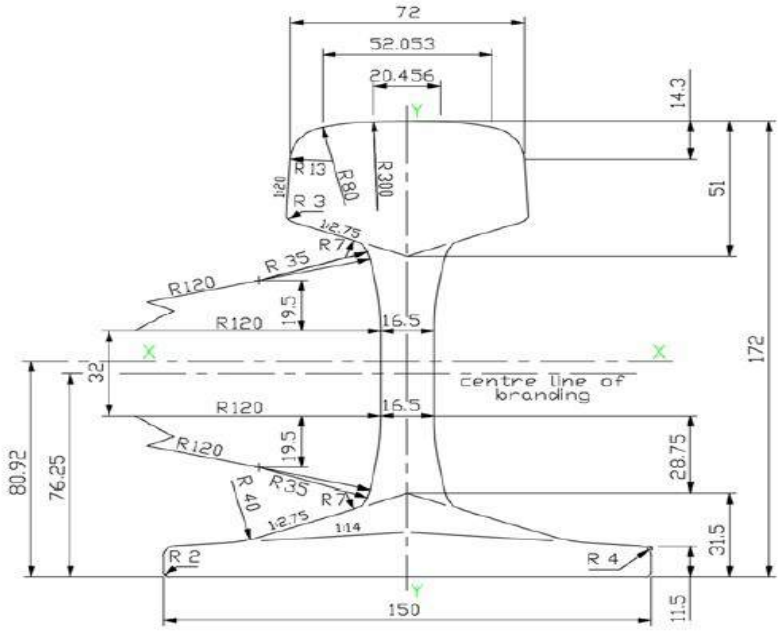
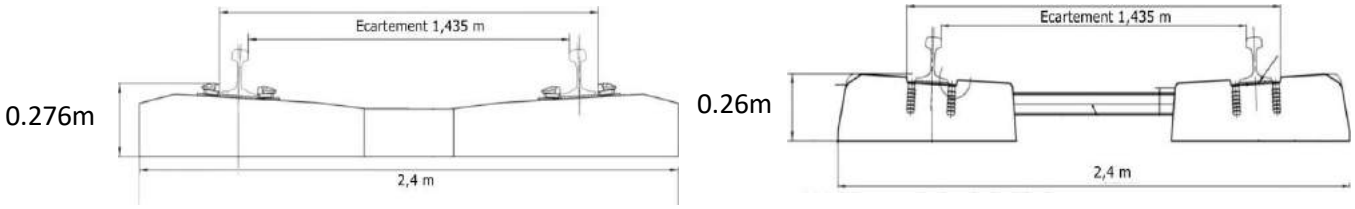


Figure I.2 : Section d'un rail 60E1



(a) Monobloc M 450 (b) Bibloc B 450

FIGURE I.3 : Deux types de traverses béton

.

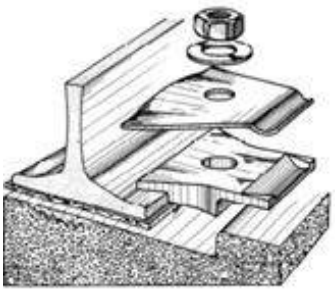


FIGURE I.4 : Exemples de systèmes d'attache Nabla.

I.2. LE MATERIEL ROULANT

Le matériel ferroviaire est l'élément clé du système ferroviaire. Dans le langage commun, le matériel roulant ferroviaire est généralement désigné par le terme de « train », qui correspond à un (des) « engin(s) moteur(s) remorquant ou non un ou plusieurs véhicules ». Cette définition renvoie à un assemblage (ou non) de véhicules, ou convoi ferroviaire, conçus pour se déplacer sur une infrastructure spécifique ; : la voie ferrée. ? Ce matériel est donc guidé sur l'intégralité de son parcours, ce guidage pouvant s'effectuer au moyen d'un monorail ou de deux rails.

Dans le vocabulaire employé par les professionnels, l'unité de base du matériel ferroviaire est la caisse. Une caisse peut faire partie du matériel moteur et du matériel remorqué.

On distingue deux groupes qui constituent le matériel roulant :

- **le matériel roulant motorisé** ; locomotives, automotrices, autorails et ensembles indéformables
- **le matériel roulant tracté** : les voitures à voyageurs et les wagons de marchandises et de services.

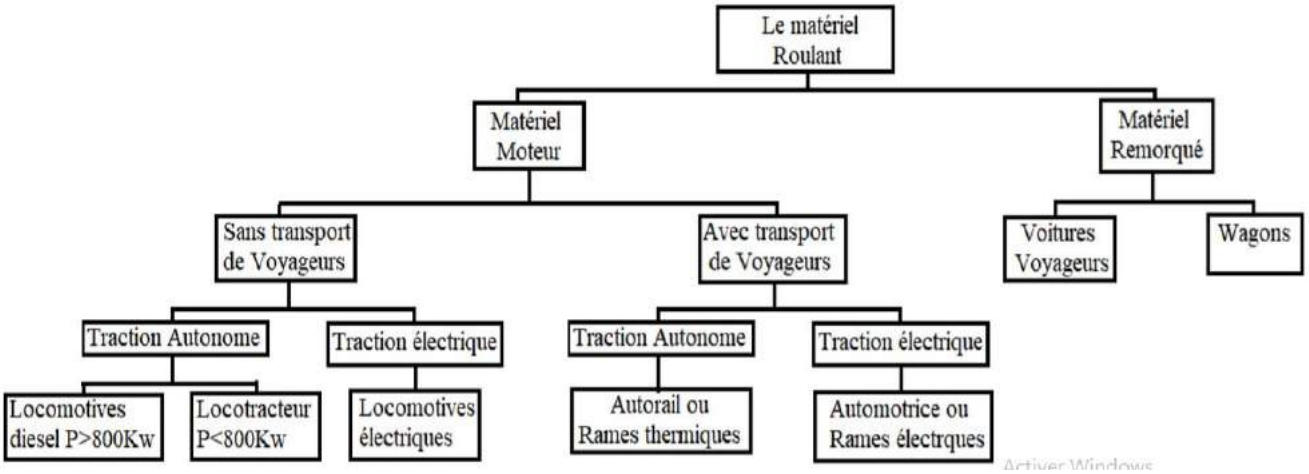


Figure I.5 : le matériel roulant.

I.2.1. Les véhicules moteurs :

Tableau I.2. Les véhicules moteurs

Locomotive électrique	Locomotive recevant son énergie de l'extérieur sous forme de courant électrique.
Locomotive thermique	Locomotive dont la source d'énergie est interne (diesel).
Locotracteur	Véhicule utilisé principalement pour la manœuvre des wagons et la formation des convois.
Élément automoteur électrique	Ensemble (plusieurs caisses) réversible recevant son énergie de l'extérieur sous forme de courant électrique aménagé pour le transport de voyageurs.
Élément automoteur thermique	Ensemble (plusieurs caisses) réversible dont la source d'énergie est interne (diesel) aménagé pour le transport de voyageurs.
Élément automoteur bimode	Ensemble (plusieurs caisses) réversible pouvant utiliser, soit une énergie extérieure sous forme de courant électrique, soit une source d'énergie interne (diesel) aménagé pour le transport de voyageurs.

I.2.2. Les véhicules remorqués

Tableau I.3. Les véhicules remorqués

La caisse	La caisse est un ensemble structurel comprenant les composants qui supportent les charges et efforts relatifs à ceux de l'exploitation commerciale.
L'essieu	L'essieu désigne l'ensemble solidaire constitué de l'axe et des roues.
Le bogie	Le bogie, situé sous un véhicule ferroviaire, est un élément structurel sur lequel sont fixés les essieux (ou directement les roues pour certains véhicules). Il est mobile par rapport au châssis du véhicule afin de faciliter l'inscription du véhicule dans les courbes
Le système se freinage	Le système de freinage doit permettre de moduler la vitesse du train en service normal (ralentissements, arrêts, etc.) ainsi qu'en cas d'urgence. Il doit également permettre d'immobiliser le véhicule en stationnement.
Le système de captage	Le système de captage est principalement constitué par le pantographe situé en toiture afin d'alimenter le véhicule en énergie électrique depuis la caténaire.
La chaine de traction	La chaîne de traction est le dispositif qui permet d'alimenter l'ensemble des systèmes d'un véhicule qui nécessitent de l'énergie électrique (moteur, climatisation, freins, ordinateur de bord, etc.) à partir d'une source d'énergie externe (caténaire) ou interne (génératrice diesel).
Les portes	Les portes sont un système d'accès, muni d'un dispositif de fermeture automatique, permettant la montée et la descente des voyageurs
La signalisation embraquée	C'est un système de signalisation installé à bord d'un véhicule moteur qui permet de donner les informations au conducteur directement en cabine pour les lignes parcourues à une vitesse supérieure à 220 km/h.

I.2.3. Les différents modes de traction

Deux modes de traction se répartissent les engins moteurs suivant le type d'énergie utilisé :

- Si elle est embarquée à bord sous forme de combustible, c'est la traction Autonome

I.2.3.1. La traction autonome :

- Transmission mécanique
- Transmission hydraulique
- Transmission électrique

I.2.3.2. Transmission des efforts : la structure

L'engin moteur comme le matériel remorqué sont intégrés dans une rame : il participe à la transmission des efforts de traction et de freinage. D'autre part le contenant que représente la caisse doit être capable de supporter les charges de tous les organes. La structure supporte ces deux catégories d'effort.

Il prend en compte quatre types de contraintes :

1. Efforts **statiques** résultant :
   - De la charge portante – efforts verticaux dus aux organes ou / et passagers –
   - De la charge remorquée - effort longitudinaux appliqués au niveau des extrémités.
   - Des opérations de levage, relevage.
2. Efforts **dynamiques** résultant des accélérations normales ou accidentelles, verticales ou longitudinales.
3. Efforts répétés engendrant une fatigue dus :
   - Au roulement sur voie
   - Au cycle de chargement et déchargement dans le cas de matériel transportant des passagers
   - Au passage en tunnel et aux croisements entre deux trains
4. Efforts résultant de chocs accidentels : résistance au « crash » Les critères de dimensionnement se situent par rapport à :
   a. La limite élastique du matériau : le facteur de sécurité S1 est tel que :

$$\frac{Limite\ élastique}{Contrainte\ calculée} > S1 = 1.15 \qquad \textbf{(1)}$$

   b. La limite de **rupture** : il est nécessaire de prévoir une marge de sécurité entre la charge maximale de conception et la charge de rupture. C'est le critère S2 tel que :

$$\frac{Limite\ \text{rupture}}{Contrainte\ calculée} > S2 = 1.5 \qquad \textbf{(2)}$$

L'ensemble de la structure prend en compte les interfaces de liaison où se situent ces contraintes, en termes de :

- Liaison caisse – bogie
- Fixation des équipements lourds
- Zones avant et arrière.

I.3. Origine des règles de calcul des conditions de circulation :

Le choix des paramètres pertinents dans la définition des différentes classes de voies et des matériels roulants s'est basé sur une démarche simple en ne considérant que les principales caractéristiques de la voie et du véhicule.

I.3.1. Classement des voies :

Le paramètre retenu pour le classement des voies est défini à partir du calcul RDM (Résistance des matériaux) d'une poutre élastique disposée sur deux appuis simples et soumise à une flexion sous l'effet d'un effort ponctuel Q.

Le modèle utilisé représente un rail en appui sur deux traverses et soumis à une charge de la roue du matériel roulant. Il en découle le ratio ci-dessous :

$$\frac{I_x}{V \times l} \qquad \textbf{(3)}$$

Où :

- ✓ I_x (mm^4) est le moment quadratique du rail par rapport à l'axe neutre horizontal compte tenu de son usure ;
- ✓ V(mm) est la distance verticale qui sépare la fibre neutre à la fibre la plus éloignée ;
- ✓ L (mm) est l'espacement entre les axes des traverses consécutives.

En supposant que l'effort s'exerce au milieu de la poutre on obtient une contrainte normale maximale dans la section la plus sollicitée :

$$\sigma_{max} = \frac{Q}{4\frac{Ix}{vl}} \qquad \textbf{(4)}$$

Classiquement la contrainte σ_{max} diminue quand le ratio $\frac{Ix}{vl}$ augmente. Ainsi les voies appartenant aux groupes Demaux les plus hauts supportent des contraintes maximales en flexion plus élevées. Bien que Simple, ce ratio ne prend pas en considération la fatigue des éléments de la voie, l'influence des courbes et même l'état d'entretien de la voie.

De par cette démarche, 5 groupes de voies ont été dégagés, ils sont rappelés dans la **Tableau I.4**

pour UIC 60 (Ix/v*l) = 555.98 mm²

Tableau I.4.Groupes Demaux

Armement de voie	Très léger	Léger	Moyen	Fort	Très Fort
$\frac{Ix}{vl}$ **(mm²)**	[100 ;140]	[141 ;179]	[180 ;235]	[236 ;350]	>350

I.3.2. Classement des matériels roulants :

Concernant l'agressivité des matériels roulants sur la voie, la commission Demaux a dégagé deux paramètres principaux **[3]** :

- ✓ La charge verticale maximale à la roue Q ;
- ✓ Un facteur de nocivité $\frac{CP_m L^2 V^2}{e}$ qui traduit l'effet des efforts latéraux exercés par le matériel roulant.

Le facteur de nocivité $\frac{CP_m L^2 V^2}{e}$ prend en compte :

- ✓ Le poids total de la machine P_m ;
- ✓ La vitesse V du véhicule ;
- ✓ La longueur L du véhicule ;
- ✓ L'empattement total e qui désigne la distance entre les axes d'essieux extrêmes ;
- ✓ Le coefficient empirique C qui traduit l'avantage apporté par des véhicules munis de bissels ou de bogies par rapport aux véhicules à empattement rigide. En effet, un bogie ou un bissel adoucit la mise en courbe du véhicule car des degrés de libertés deviennent possibles entre la caisse et les essieux. La commission demaux **[3]** a affecté à ce coefficient la valeur de 0.5 pour un bogie, 0.6 pour un bissel et 1 en cas d'un véhicule entièrement rigide.

I.3.2.1 Choix de la charge verticale Q comme premier paramètre d'agressivité du matériel roulant :

Le choix de la charge à la roue comme paramètre d'agressivité du matériel roulant **[3]** découle de l'équation de flexion d'un rail (poutre infinie) sur une fondation élastique continue de module d'élasticité k qui modélise l'ensemble {semelle, traverse, ballast jusqu'au sol support}. Ce modèle, représenté en **Figure I.7**, a été introduit par Winkler en1867 **[4]**. Le rail de module de Young E et de moment quadratique Ix, subit une charge ponctuelle Q en x = 0 assimilée à l'action de la roue sur le rail.

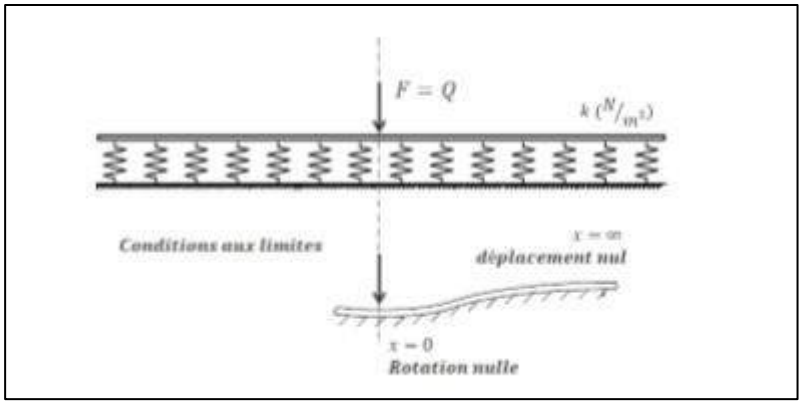


Figure I.6.Poutre sur fondation élastique

Classiquement, le déplacement vertical u_z vérifie l'équation différentielle suivante pour une poutre de Bernoulli :

$$\boldsymbol{EI_x \frac{\partial^4 u_z}{\partial x^4} + K u_z = Q\delta(x)} \qquad \textbf{(5)}$$

Elle a pour solution :

$$\begin{cases} \boldsymbol{u_z = \frac{Q\beta}{2K} e^{-\beta x}(\cos \beta x + \sin \beta x)} \text{ pour x=0} \\ \boldsymbol{\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI_x}}} \end{cases} \qquad \textbf{(6)}$$

On détermine aussi l'expression de la contrainte maximale en flexion qui fait donc intervenir la charge maximale à la roue (équation (7)).

$$\sigma_{max} = \frac{Q}{4\beta \frac{I_x}{v}} \qquad \textbf{(7)}$$

I.3.2.2 Choix du coefficient d'agressivité comme deuxième paramètre d'agressivité du matériel roulant :

Le coefficient d'agressivité traduit les effets d'oscillation de lacet du véhicule générant des efforts latéraux **Y** qui sollicitent la voie **(Figure I.7).**

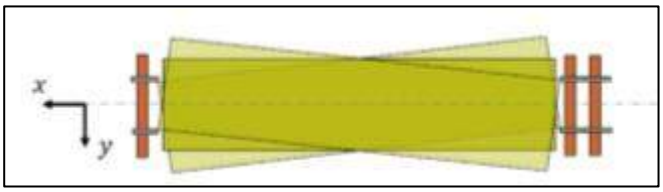


Figure I.7.Lacet du véhicule.

I.4. Démarche actuelle pour l'admission des matériels roulants

Les conditions de circulation actuellement elles ont cependant intégré le retour d'expérience et l'avis des experts pour faire face à l'évolution des matériels roulants ainsi que les voies du réseau. Elles se ramènent concrètement à déterminer la vitesse maximale du véhicule $\mathbf{V_{max}}$ et l'insuffisance de dévers maximale $\mathbf{I_{max}}$ à appliquer à la voie lorsqu'elle est en courbe**.**

I.4.1. La courbure de la voie [UIC (1998-06) ; GAUTIER (1999)] :

L'analyse qui suit du franchissement des courbes est de caractère qualifié de quasi-statique de fait qu'elle repose sur les hypothèses suivantes :

- La voie est inscrite dans une courbe circulaire parfaite,
- Le véhicule est parfait.

I.4.2. Notions d'insuffisance de dévers

Un véhicule qui franchit une courbe est soumis à l'accélération de gravité g et à l' accélération

latérale centrifuge $\gamma = \frac{V^2}{R}$

L'accélération totale Γ exercée sur ce véhicule est alors donnée par l'expression (10)

$$\Gamma = \gamma + g \qquad \textbf{(8)}$$

Pour compenser la force centrifuge, les voies sont inclinées en relevant la file de rail extérieur par rapport à la file de rail intérieur. Cette différence de niveau en mm entre les deux files de rail est appelée dévers.

Le dévers théorique (**Figure I.8**) est le dévers qui permet d'obtenir une accélération totale Γ perpendiculaire au plan de la voie inclinée ainsi que des efforts normaux (perpendiculaires au plan de la voie inclinée) identiques sur les deux rails et des efforts latéraux nuls (parallèles au plan de la voie inclinée) **[7].** En supposant que l'angle d'inclinaison α est faible, il est possible d 'exprimer le dévers théorique $\mathbf{d_{th}}$ en fonction de la vitesse V, du rayon de la courbe R et de l'écartement de la voie B (équation (9)) :

$$d = \frac{BV^2}{Rg} \qquad \begin{matrix} \text{B =1500 mm} \\ \text{g = 9.81 m/s}^2 \end{matrix} \qquad (9)$$

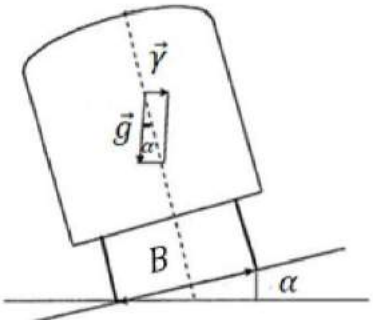
En réalité le dévers théorique ne peut pas être appliqué sur les voies du réseau à cause du risque de basculement du véhicule. On applique plutôt un dévers réel d et on définit ainsi :

- L'insuffisance de dévers I comptée positive et qui correspond au cas où le dévers réel est inférieur au dévers théorique.
- L'excès de dévers compté négatif et qui correspond au cas où le dévers réel est supérieur au dévers théorique.

L'insuffisance de dévers est beaucoup plus fréquente dans les voies du réseau que l'excès de dévers. Elle s'exprime alors en fonction du dévers théorique et du dévers réel à travers la relation (10)

Soit :

$$\begin{cases} \mathbf{D = I + d = \frac{BV^2}{Rg}} \\ \mathbf{I = \frac{BV^2}{Rg} - d} \end{cases} \qquad \mathbf{(10)}$$



FigureI.8–Dévers théorique de la voie [7].

I.5. Processus de détermination de la vitesse et de l'insuffisance de dévers maximal :

La démarche pour déterminer les conditions de circulation est explicitée en **FigureI.9**. La première étape consiste à déterminer le ratio **Ix/v** en regard du type de pose de la voie ainsi que les types de rail et de traverses. Ce ratio permet d'évaluer la résistance à la flexion de la voie.

Une fois le classement de la voie connu, il convient de déterminer celui du matériel roulant étudié. La catégorie du véhicule détermine quel tableau du référentiel **[8]** consulter. Ce dernier permet de déduire les valeurs maximales de la vitesse et de l'insuffisance de dévers accessibles au matériel roulant. Par exemple, pour une locomotive, le classement dépend du nombre de bogies et du nombre d'essieux par bogies. En ce qui concerne les wagons, le calcul des conditions de circulation nécessite de savoir le tonnage mensuel supporté par la voie.

I.5.1. Type de matériel roulant étudié

Conformément à la NF EN 15528 :2009, la catégorisation s'effectue en fonction du type de véhicule ferroviaire :

- Wagons de fret,
- Locomotives et motrices,
- Véhicules à voyageurs,
- Véhicules ferroviaires spéciaux,

Et selon :

- La catégorie de ligne,
- La limite de charge utile.

La méthodologie générale consiste à comparer la charge statique verticale du véhicule avec des modèles de charge prédéfinis et représentatifs des catégories de la classification.

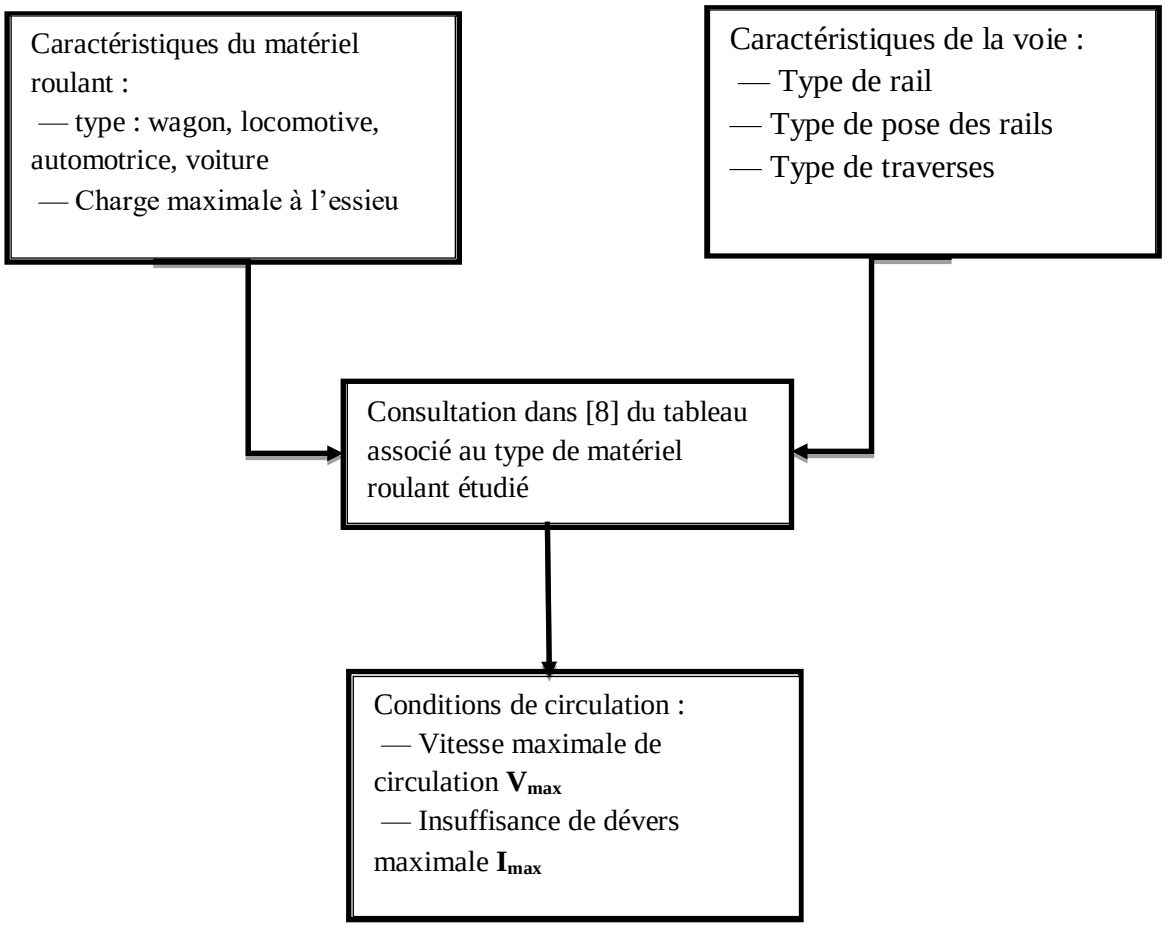


Figure I.9.Démarche de calcul des conditions de circulation d'un matériel roulant

À titre d'exemple, la circulation d'un train composé d'une locomotive et d'un wagon est conditionnée par les conditions de circulation du matériel roulant le plus contraignant en termes de valeurs maximales de vitesse et d'insuffisance de dévers comme le formule l'équation (13).

$$\begin{cases} \boldsymbol{V_{max,train}} = \mathbf{min}(\boldsymbol{V_{max,loco}}, \boldsymbol{V_{max,wagon}}) \\ \boldsymbol{I_{max,train}} = \mathbf{min}(\boldsymbol{I_{max,loco}}, \boldsymbol{I_{max,wagon}}) \end{cases} \quad \textbf{(11)}$$

Pour prendre en compte le tracé de la voie, à savoir la présence de courbes de rayon R et de dévers réel d, on calcule à partir de l'insuffisance de dévers $\boldsymbol{I_{max,train}}$ une vitesse dite vitesse potentielle de tracé $\boldsymbol{V_{max,train}}$ en utilisant la relation (13) et dont l'expression finale est donnée par l'équation (14).

$$\boldsymbol{V} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{Rg(I_{max,train}+d)}}{\boldsymbol{B}}} \quad \textbf{(12)}$$

Finalement, la vitesse retenue pour la circulation du train sera :

$$\boldsymbol{V_{train} = \min(V_{max,train}, V_{tracé,train})} \quad \textbf{(13)}$$

I.6. Conclusion et perspectives :

Le Réseau Ferré National dont le rôle principal est de garantir la sécurité et le confort des passagers lors de la circulation des trains. Ainsi, l'admission d'un nouveau matériel roulant sur une voie nécessite des vérifications de compatibilité entre ces deux derniers. Dans ce cas, on détermine la vitesse du véhicule en fonction de la résistance mécanique de la voie et de son tracé : on parle alors des conditions de circulation.

Références

[1] T.Dahlberg,Trackissues,Handbook of railway vehicle dynamics,2006,pp.143–179.

[2] H. Pinault, Étude de l'influence des hétérogénéités du ballast sur le comportement dynamique des voies ferrées, Rapportd'avancementdethèse,2018.

[3] Commission de circulation des machines, Rapport de la commission Demaux, SNCF,1944. [4] E. Winkler, Die Lehre von der Elasticitaet und Festigkeit : mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwe,ndung in der Technik für polytechnische Schulen, Bauakademien, Ingenieue, Maschinenbauer, Architecten, etc. Dominicus,1867.

[5] T. Haukass, From buoyancy stiffness Beams on Elastic Foundation,2014.

[6] Y. Noblet, Tracé de la voie : Notions fondamentales,2006.

[7] J. Molinari, Éléments de mécanique ferroviaire : Relations entre paramètres de voie, sécurité et vitessesdecirculation,1999. [8] SNCF. Règles d'admission des matériels roulants sur le RFN en fonction de la sollicitation de la voie, RFN-IG-MR00A-00-n001,2013.

[8] SNCF. Règles d'admission des matériels roulants sur le RFN en fonction de la sollicitation de la voie, RFN-IG-MR00A-00-n001,2013.

CHAPITRE II :

CHEMINS DE FER EN ALGERIE

II.1. INTRODUCTION :

Le transport est un service nécessaire pour de nombreuses activités de la vie courante c'est un élément important dans le développement d'un pays donc l'être humain a toujours chercher de le développer il est même devenu de plus en plus sa préoccupation majeure, il essaie toujours d'exploiter la totalité de l'espace par le transport routier, chemins de fer, transport aérien et maritimes.

Le chemin de fer est une invention spectaculaire qui se présente dans la civilisation humaine depuis la révolution industrielle en l'Europe dans le IX ème siècle. Il englobe le métro, le tramway et la voie ferrée. En Algérie le transport ferroviaire a fait ses débuts à la fin du XIXe durant la colonisation française de l'Algérie.

II.2. AVANTAGES DE CHEMIN DE FER :

Le chemin de fer présente plusieurs avantages par rapport aux autres moyens de transport on peut citer :

- Possibilité de remorquer des charges élevées car le contact métal sur métal limite à une faible valeur la résistance au roulement.
- Rapidité et sécurité vis-à-vis des accidents car le dépassement est impossible, absence des obstacles.
- Un débit supérieur à celui d'une autoroute à 4 voies.
- Coût de transport réduit par rapport au transport routier.
- Transport Non ou peu polluant.

II.3. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN :

II.3.1. Étapes de développement :

En Algérie le chemin de fer a passé par différentes étapes de développement :

- En 1857 c'était prévu la réalisation de 1357 km de chemins de fer ce projet a été réalisé par six compagnies.

- En 1879 renforcer les lignes de chemins de fer existantes avec plus de 1700 km Ce projet a été confié à des investisseurs privés et des collectivités locales.

- En 1959, création de la compagnie des chemins de fer Français en Algérie (CCFA) qui devint en 1963 la Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNCFA).

- En 1976, l'état algérien a divisé la SNCFA en trois organismes distincts : La SNTF, ANESRIF et la SIF.

- En 1999, le linéaire en voies ferrées existant ne dépassait pas les 1800 km. Donc ils ont lancé beaucoup de projet comme la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbés vers Béchar, donc le total de linéaire obtenu après à la réception de ce projet est de 6.000km.
- En 2005, l'ANESRIF est créée pour gérer un nouveau programme pour développer le réseau à 12 500 km en 2025.

- En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouverts (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.

- En 2011, il s'est hissé au niveau de 4000 km après l'achèvement de certains projets, dont la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbés vers Béchar.

- En 2015 sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

II.3.2. Réseau actuel en Algérie :

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes en Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de 4498Km dont [1]:

- ✓ Longueur des lignes en exploitation : 3750Km.
- ✓ Longueur des lignes en double voie : 553Km.
- ✓ Longueur des lignes en voie unique : 3217Km.
- ✓ Longueur des lignes électrifiées : 323Km.
- ✓ Nombre de gares en exploitation : 175.
- ✓ Nombre de haltes en exploitation : 215.
- ✓ Nombre d'Ouvrage d'Art dont l'ouverture est supérieure à 10 m : 553.
- ✓ Nombre d'Ouvrage d'Art dont l'ouverture est inférieure à 10 m : 5279.
- ✓ Nombre de tunnels : 139.
- ✓ Longueur des tunnels : 40Km.
- ✓ Nombre de passages à niveau gardé : 267.
- ✓ Nombre de passages à niveau non gardé : 959.

D'après la classification mondiale des chemins de fer effectuée par CIA en 2008 :

L'Algérie est classée la 45 éme sur 134 pays au monde et occupe la 6éme place au niveau africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays Maghrébins. [2]

II.4. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES :

Ce programme comporte des opérations de renouvellement des voies existantes, et de renforcement des ouvrages d'art anciens (ponts et tunnels), la création de lignes nouvelles, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits des lignes, la modernisation des équipements de signalisation et de télécommunication, la construction d'ateliers de maintenance du matériel roulant et l'électrification des lignes.

II.4.1. La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes :

Elle irrigue la principale ville de Nord de l'Algérie et va frontières Est vers les frontières Ouest sur 1250 km. Les travaux de modernisation et de dédoublement sont en cours sur 848 Km avec une vitesse qui varie entre 160-220 Km/h, de ce fait, il va desservies 60% de la population totale repartie sur 22 Wilayas.

II.4.2. La rocade ferroviaire des Hauts Plateaux :

Pour désenclaver les villes des Hauts Plateaux et l'exploitation économique de cette région cette rocade sera parallèle à celle du nord et sera reliée par celle de désert, cet investissement s'étendue sur 1160 Km qui desserve 10 Wilayas qui représentent environ 7 millions d'habitant (approximativement 20 % de la population globale).

II.4.3. Ligne Minière :

- ✓ Etude de la nouvelle ligne ferroviaire entre Djebel El Onk et El Oued : 200 km.
- ✓ Etude de Dédoublement, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST (Annaba /Djebel-Onk) : 388 km.
- ✓ Travaux de renouvellement de voie et ballast : 320 km en cours.

Travaux à lancer :

- ✓ Signalisation, télécommunications et énergie 230 km, 31 Gares, ainsi que le renouvellement des voies et ADV et remaniement de la gare de Souk Ahras.
- ✓ Travaux d'électrification Annaba (gare maritime) - Poste II (El Hadjar), Drean –Bouchegouf, Souk Ahras-Oued Kébrit, Oued Kébrit – Ouenza, Ain Chenia- Boukhara : 131 km.
- ✓ Lancement des travaux de Dédoublement, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST de 388 km (Annaba /Djebel-Onk).

II.4.4. Pénétrante Ouest :

- ✓ Modernisation pour une vitesse moyenne de 160 km/h.
- ✓ Dotée d'un système de signalisation et télécommunication de type GSM-R.

II.4.5. Pénétrante Centre :

Relie la wilaya de Blida (Chiffa) à la wilaya de Laghouat sur 390 km.

II.4.6. Boucle Sud-Ouest :

Il s'agit d'une boucle de 1500 km de voies elle reliera toutes les villes-oasis de sud-ouest, en allant de Ghardaïa jusqu'à la jonction avec la ville de Béchar.

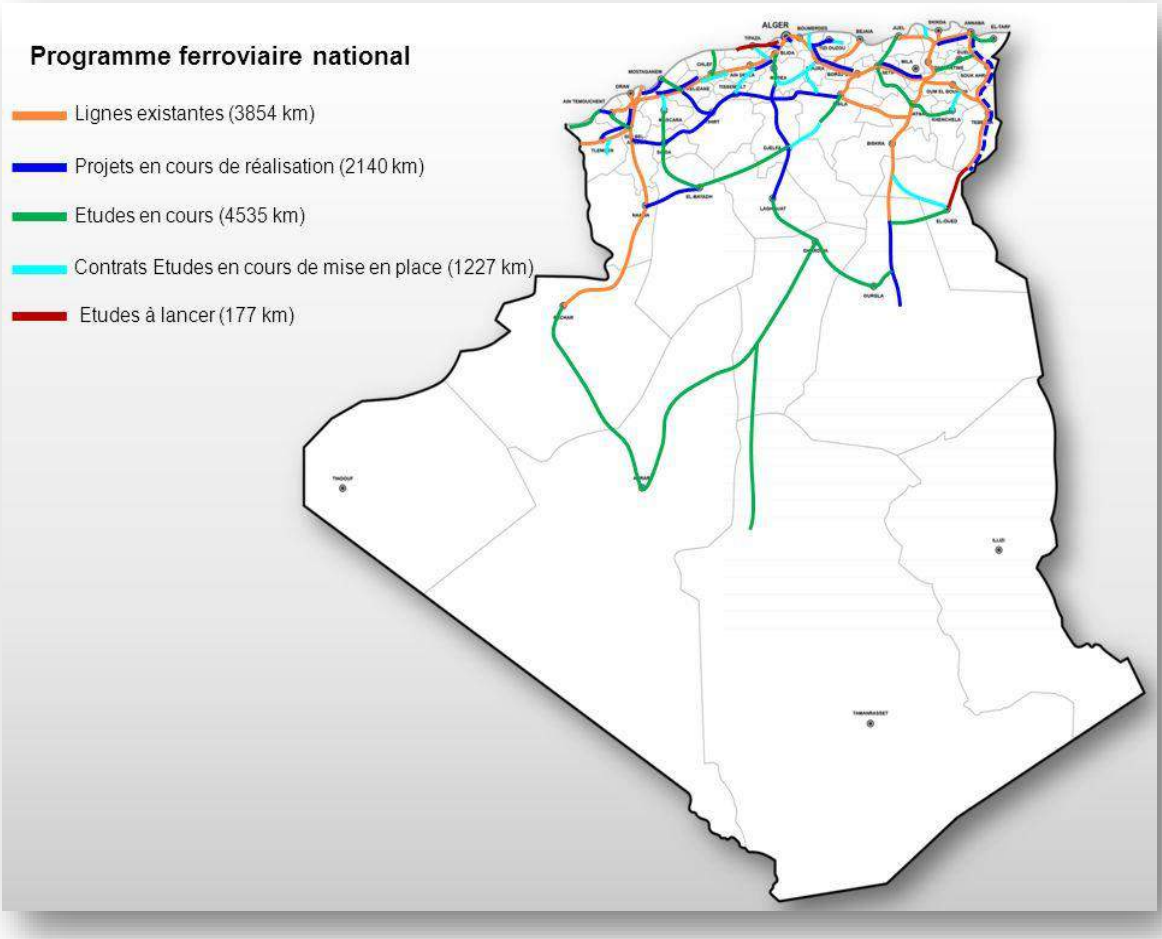


Figure II. 1 : Plan de développement des chemins de fer en Algérie. [1]

II.5. CONCLUSION :

Un grand pays d'une superficie énorme comme l'Algérie doit avoir un réseau densifié de chemins de fer malheureusement ce n'est pas le cas, donc l'amélioration de ce secteur est plus que nécessaire pour les investissements et l'augmentation des échanges entre les différentes régions du pays.

CHAPITRE III :

PRESENTATION DE PROJET

III.1. INTRODUCTION :

L'état vétuste et le mauvais tracé de la ligne ferroviaire SAIDA – TIARET ont conduit la SNTF à entreprendre des études d'une nouvelle ligne ferroviaire conçues à une vitesse de train à 160 km/h en voie principale.

L'objectif principal de cette première partie de l'étude est de réduire sensiblement le temps de parcours en proposant un tracé optimal.

Cette ligne de 153 km desservant les gares et les haltes devra être réduite autant que possible.

Elle comportera quatre gares, dont deux pour voyageurs (à Frenda et Ain Kermès) et deux de marchandises/voyageurs (à Tiaret et Saida) Ainsi que neuf gares de croisement sur toute la ligne.

Pour la réalisation de cette ligne, 15 viaducs, 31 ponts rail et 36 ponts route, sont prévus ainsi que la pose de 78 appareils de voie.

Le poids total des rails qui seront posées dépasse les 22 600 tonnes. Les travaux de terrassements ont nécessité le déplacement de plus de 8 856 000 tonnes de déblais et de 8 129 000 tonnes de remblais. Un total de 1691 personnes dont 132 cadres algériens et 44 expatriés participent à la réalisation de ce projet d'envergure.

La plateforme et les ouvrages d'art seront dimensionnés pour la nouvelle voie, les caractéristiques géométriques de cette ligne seront conformes aux normes exigées par la SNTF et aux standards UIC.



Figure III. 1 : Localisation géographique de ligne de projet

III.2. IMPACT DU PROJET :

- ✓ Modernisation de la Rocade ouest.
- ✓ Ce projet d'envergure devrait également avoir un impact sur les échanges commerciaux entre les deux wilayas voisines.
- ✓ Electrification et signalisation de la ligne.
- ✓ Elévation du niveau de sécurité.
- ✓ Amélioration de la fiabilité des services.
- ✓ Amélioration des performances du chemin de fer.
- ✓ Diminution du temps de parcours : Par exemple un train de voyageurs peut traverser cette distance de 153km entre SAIDA et TIARET sans pour autant s'arrêté sur une gare en une heure de temps.

III.3. Généralité Sur La Wilaya De Tiaret :

Située dans la région sud-ouest de l'Algérie, la Wilaya de Tiaret s'étend sur une superficie de 111.45 Km2. Avec une population avoisinant le 2 million d'habitant soit une densité de 1806 hab /km2, elle présente un grand intérêt à la fois géographique, historique, économique et social.

A mi-chemin entre deux grands pôles économiques, à savoir Alger et Oran, la plaine du Tiaret, d'une surface agricole utile de près de 13.000 ha, fait de la wilaya une région à vocation agricole, orientée principalement vers la céréaliculture, l'arboriculture et le maraîchage.

La wilaya possède un potentiel en ressources en sol et sous-sol non négligeable nécessitant une mise en valeur et une exploitation rationnelle.

Il y a lieu de noter que la Wilaya de Tiaret est une région touristique. En plus de sa ville historique. Sa richesse touristique se justifie d'avantage compte tenu de l'existence d'un relief diversifié et la présence des forêts de pain d'Alep et bruyère et qui s'étendent sur des milliers d'hectares.

Dans le domaine du commerce, la wilaya est un carrefour de transit et d'échange commercial assurant la jointure Est-ouest et Nord-sud grâce à sa situation géographique.

A noter enfin, que la wilaya compte également un important potentiel infrastructurel (Routes, aéroport).

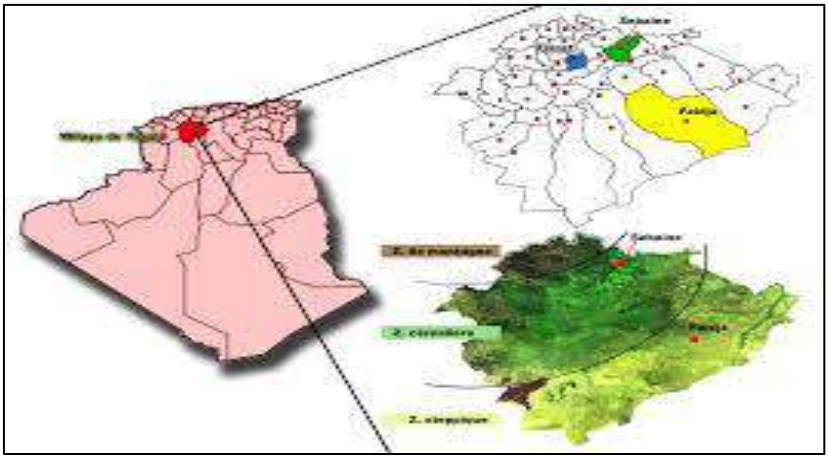


Figure III. 2 : la wilaya de Tiaret

III.4. CARACTERISTIQUES DE LA WILAYA DE TIARET :

III.4.1. Délimitations géographiques :

La Wilaya de TIARET est limitée (Figure 2) :

- ✓ Au nord, la wilaya de Relizane.
- ✓ Au sud par les Wilaya tes Aflo et l'Aghwat.
- ✓ À l'est, par la Wilaya de Tessemssilt.
- ✓ À l'ouest, par les Wilayates de Oran Mascara.

III.4.2. Caractéristiques géographiques :

Elle est géographiquement caractérisée par plusieurs éléments dont :

- **Un relief diversifié :**

La ville de Tiaret est située à 1080 m d'altitude sur les monts du Guezoul qui font partie de la chaine de l'Atlas tellien et s'ouvre sur des plaines des Hauts Plateaux de l'ouest Algérie, et au sud par l'atlas saharien (Djebel Amour) au sud.

La ville de Tiaret est entourée de l'est vers le nord-ouest par le mont Guezoul boisé principalement par des variétés de cipres et pin d'Alep.

Donc, le relief est constitué par 4 régions naturelles s'orientant par :

- ✓ Au nord : l'Atlas tellien.
- ✓ Au sud : l'Atlas saharien.
- ✓ Au centre : les plaines.
- ✓ Enfin, la région montagneuse du sud s'étend sur environ 40 Kms.

- **Un climat aux températures extrêmes :**

Le climat est sec et rigoureux en hiver il passe facilement au-dessous du 0 °C qu'au-dessus de 40 °C en été un climat continental.

Donc :

- ✓ Méditerranéen sec dans la partie nord.
- ✓ Continental vers le sud.

- **Une hydrographie moyenne :**

Avec notamment l'Oued « TLILER » dont l'écoulement est important en Algérie, et qui traverse la wilaya d'est en ouest, en plus d'autres oueds importants tels qu'oued Mina, Dis.

- **Une séismicité moyenne à faible du sol :**

En effet, la Wilaya de TIARET est située dans la zone sismique moyenne selon RPA.

- **Le réseau routier de la wilaya de Tiaret :**

Le réseau routier de la Wilaya de Tiaret est composé de 2.678 km réparti comme suit :

- Routes Nationales :

D'un linéaire de 304 km, elles sont réparties comme suit :

- ✓ RN 14 : axe - reliant Tiaret – Alger.
- ✓ RN 91 : axe -reliant Tiaret-Mascara.
- ✓ RN40 : axe –reliant Tiaret -Tissemssilt.
- ✓ RN90 : axe- reliant Tiaret – Saida.

- Chemins de Wilaya :

Les 19 chemins de wilaya d'un linéaire de 560 km, constituent les principales liaisons intercommunales.

- Chemins Communaux :

D'un linéaire de 1.814 km dont 1.291 km revêtus, les chemins communaux desservent plus de 100 localités.

III.5. LES ACTEURS DE PROJET :

Les différents intervenants qui participent à l'élaboration et à la réalisation de ce projet sont :

III.5.1. Maître de l'ouvrage :

Ministère de transport

III.5.2. Maître de l'ouvrage délégué :

Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF)

III.5.3. Maîtrise d'œuvre :

Groupement de bureaux : POYRY-SETIRAIL-GETINSA

III.5.4. Entrepreneur :

Groupement d'entreprises : ASTALDI SPA ITALIE-COSIDER TP ALGERIE

L'organisation du Chantier se fait en deux lots :

Lot COSIDER : (Sur un linéaire de 108,475 km)

- ✓ Du pk 0+000 au pk 102+315 traversant le territoire de la wilaya de Tiaret
- ✓ Du pk 102+315 au pk 108+475 traversant le territoire de la wilaya de Saida

Lot ASTALDI : (Sur un linéaire de 44,68 km)

- ✓ Du pk 108+475 au pk 153+160 traversant le territoire de la wilaya de SAIDA

III.6. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC :

La ligne est de trafic mixte avec vitesse de trafic de voyageurs de 160 km/h, donc la ligne est classée dans la deuxième catégorie (II) selon les normes UIC (703 R).

Tableau III.1 : Catégories de trafic UIC (703 R)

Catégorie I	Lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 80km/h et au plus égales à 120 km/h
Catégorie II	Lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 120 km/h et au plus égales à 200 km/h.
Catégorie III	Ligne à trafic mixte et vitesses projetées des trains de voyageurs pouvant atteindre 250 km/h. sont données les valeurs utilisées sur les lignes nouvelles des FS et de la DB. Les vitesses maximales sont provisoirement limitées à 200 km/h.
Catégorie IV	Lignes à trafic de voyageurs exclusivement, avec vitesses supérieures à 250 km/h et pouvant atteindre 30 km/h. sont données les valeurs utilisées sur les lignes TGV de la SNTF.

III.7. PRESENTATION DU PROJET

III.7.1. Les caractéristiques techniques Selon la refernciels UIC ET SNTF

- Caractéristiques de base :
  - Ligne mixte à voie unique.
  - Caractéristiques géométriques selon les standards UIC et SNTF.
  - Ponts-rail et ponts-route sont prévus pour double.
  - Trafic mixte voyageurs et marchandises.
  - Traction diesel.
  - Ligne sans passages à niveau.
  - Ligne clôturée sur toute la longueur.
- Caractéristiques de voie :
  - Écartement normal de 1435 mm sans sur écartement dans les courbes.
  - Gabarit : gabarit GC de l'UIC (celui des lignes à grande vitesse).
  - L'entraxe des voies est de 4,20 m.
  - L'entraxe des Voies dans les gares de croisement est de 5,00.
  - Charges à l'essieu :
    - Infrastructure : 22,5 T.
    - Ouvrages d'art : 25 T.
  - Vitesse maximale :
    - Vitesse des trains de voyageurs : 160 km/h.
    - Vitesse des trains de marchandises : 100 km/h.

– Vitesses de branchement dans les appareils de voie : 70 km/h.

III.7.2. Description du tracé :

Tableau III.2 : Fiche technique de la ligne

Eléments	Détails
Linéaire (km)	**28**
Vitesse (km/h)	**160**
Nombre de gare	**1 gare voyageurs (Ain de kermes)** **2 GARES de croisement**
PK début	**56+500**
PK fin	**84+800**



Figure III.3. Cadre géographique du Tronçon étudie

CHAPITRE IV :

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

IV.1. INTRODUCTION :

Une voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristiques physiques et mécaniques différentes qui permettant la transmission à la plate- forme, les charges statiques et dynamiques des roues. Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, la voie comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses qui sont, elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast.

IV-2- LA VOIE :

La voie ferrée est constituée par deux files de rails parallèles en métal supportées et fixées sur un grillage de traverses soit en bois, soit en métal ou en béton armé ou précontraint, avec des équipements de sécurité, il est identifiée par sa largeur d « la distance séparant le flanc interne des deux files de rails », cette distance est appelée « **Ecartement »**, suivant l'écartement, l'on peut classer les voies de chemins de fer en quatre groupes :

- **La voie Normale :** la plus utilisée dans le monde avec un écartement de 1 435mm.
- **La voie Large :** est la voie dont l'écartement est supérieur à la voie normale.
- **La voie métrique :** dont écartement est de 1000mm.
- **La voie étroite :** avec un écartement inférieur à celui de la voie normale.

IV.3. LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE :

La voie ferroviaire est constituée de : plateforme, sous couche, ballast, traverses, les semelles et les rails plus les accessoires d'attache et de fixation.

IV.3.1. Le rail :

Le rail est une longue barre d'acier profilée, qui est mise bout à bout pour former un chemin de fer. C'est le premier élément de contact entre le véhicule et la voie, il sert à la fois de guide et de support de roulement pour les trains :

- Le guidage des roues afin d'éviter le déraillement les matériels roulants.
- La transmission et la redistribution des charges verticale des roues aux traverses.

IV.3.1.1. Type des rails :

- **Le rail Vignole :**

Composé de 3 parties :

- **Le PATIN :** permettant l'appui sur la traverse.
- **L'AME :** assurant l'inertie verticale pour supporter la charge.
- **Le CHAMPIGNON :** à forte inertie transversale comprenant la table de roulement et les joues.



Figure IV. 1 : Le rail Vignole (UIC 60). Vignole

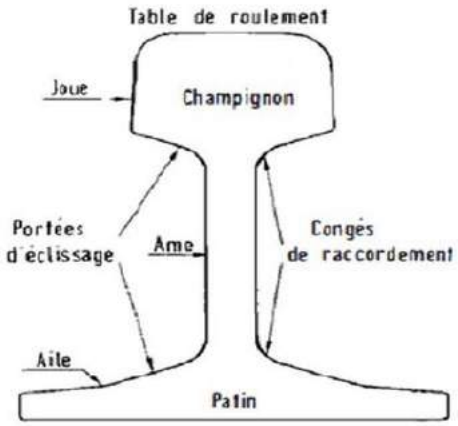


Figure IV. 2. Nomenclature d'un rail

❖ **Rail à gorge :**

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



Figure IV. 3 : Rail à gorge.

❖ **Rail à double champignon :**

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



Figure IV. 4 : Rail à double champignon

Le type de rail utilisé dans le projet entre « Saida – Tiaret » est de type Vignole UIC 60 E1.

IV.3.1.2. Caractéristiques géométriques du rail UIC 60 :

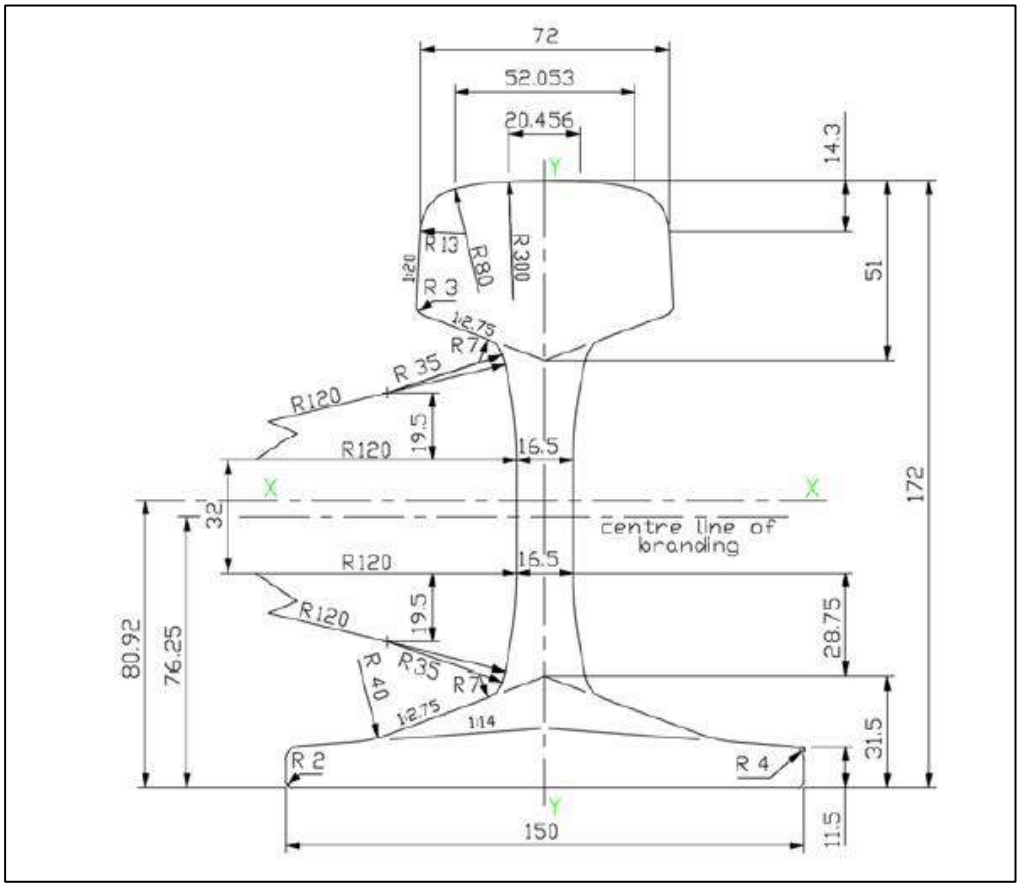


Figure IV. 5 : Section du rail Vignole 60E1 [5]. [15]

Tableau IV. 1. Caractéristiques du Rail 60 E1

		Norme EN 13674-1		
Rail 60 E1 « UIC 60 »	Surface de la section	**76.70 cm^2**	Moment d'inertie axe xx	**303.83 cm^4.**
	Masse par mètre	**60.21 Kg/m.**	Module d'inertie Ix/v	**555.98 mm^2**
	Moment d'inertie, axe xx	**3038.3 cm^4.**	Hauteur totale	**172 mm**
	Module d'inertie champignon	**333.6 cm^3**	Épaisseur Champignon	**72 mm**
	Module d'inertie patin	**375.5 cm^3**	Épaisseur patin	**150 mm.**
	Dimension indicative B	**52.053 mm.**	Épaisseur âme	**16.5 mm.**
	Dressage	**Classe A.**	Dureté au milieu de la table de roulement	**Entre 260 et 300 HBW.**
	Nuance	**260 (carbone-manganèse)**	Résistance à la traction	**≥880 N/mm^2**
	Allongement	**≥10%.**		

IV.3.1.3. L'écartement des rails :

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rail d'une voie ferrée, l'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie (Normale). Il est mesuré entre les deux joues internes du champignon de rail : e Avec (e = 1435mm).

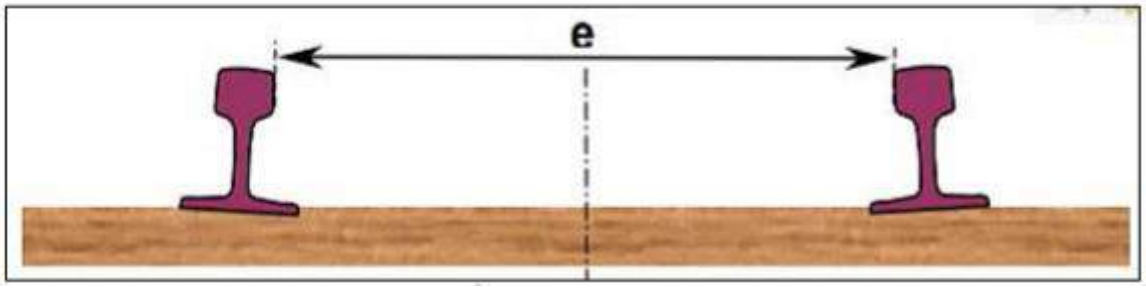


Figure IV. 6 : Écartement de la voie

IV.3.1.4. Assemblage des rails :

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

- **Soudures ou Les longs rails soudés (LRS) :**

Appelée aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, Ces barres longues sont posées et soudées entre elles sur place par soudure aluminothermique ou soudure électrique.

Les grands avantages de cette méthode sont :

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



Figure IV. 7 : Long rail soudé (LRS).

- **L'éclissage :**

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

- Relier les rails de façon de se comporter comme une poutre continue.
- Avoir la même qualité d'acier que le rail.
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre.

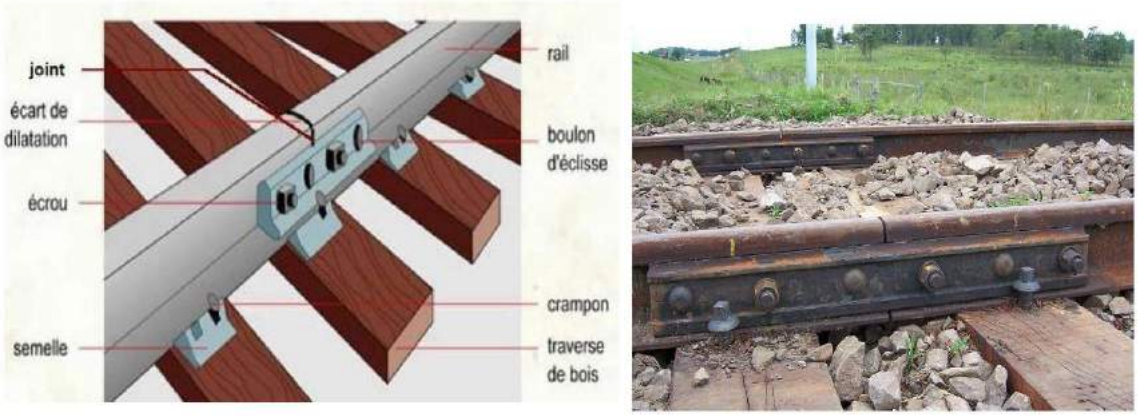


Figure IV. 8 : Eclissage des rails. [5]

IV.3.2. Les traverses :

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails. Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement 1666 à 1700 traverses/Km à la SNTF, on distingue quatre (4) types de traverse :

- **Traverses en bois** : 1ère génération des traverses, elles sont généralement en chêne, en bois exotique dur, elles sont presque inutilisées aujourd'hui
- **Traverse métallique** : les traverses en acier sont des produits industriels, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé, elles s'enfoncent dans le ballast pour qu'elles s'opposent aux déplacements transversaux de la voie. Elles sont légères (environ 80 Kg) et facile à poser.
- **Traverses en béton bi-bloc** : elle est constituée de deux blochet séparés par une barre métallique.
- **Traverses en béton monobloc** : en béton précontraint.

Pour notre projet : Le type de traverse utilisé est les traverses bi-bloc en béton armé de type **VAX U31.**

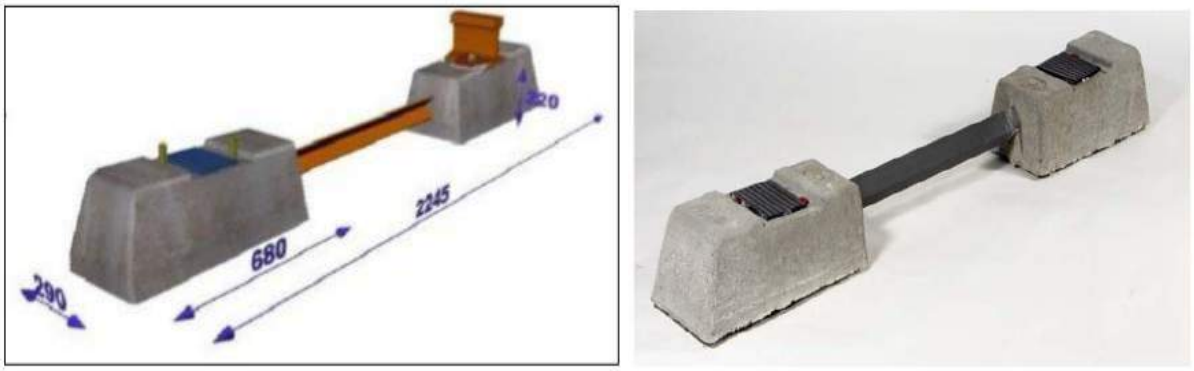


Figure IV. 9 : Traverse bi-bloc en béton armé. [15]

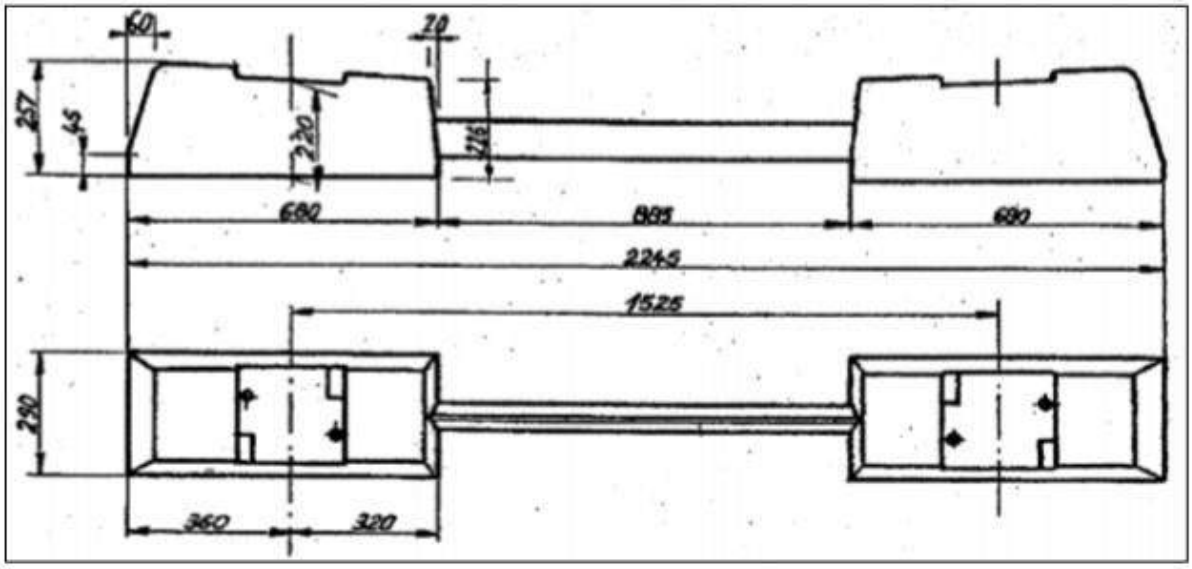


Figure IV. 10 : les dimensions de traverses V.A.X TYPE U31 NAT. [5]

IV.3.3. Les semelles :

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



Figure IV. 11 : Semelles en élastomère**.**

IV.3.4. Les attaches :

Une attache est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement, il existe plusieurs types d'attaches suivant la nature de la traverse :



Figure IV. 12 : les types des attaches**.**

Les attaches utilisées dans le projet sont de type **NABLA.**

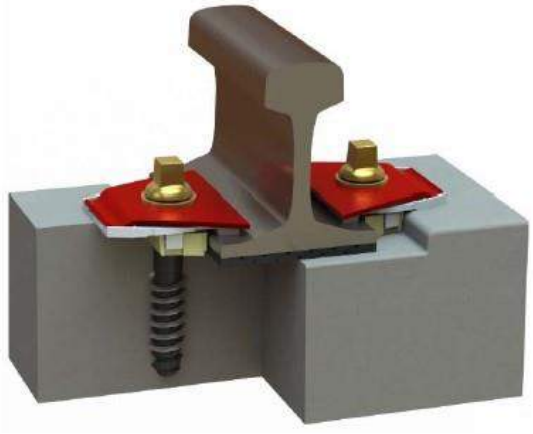


Figure IV. 13 : Les Attaches NABLA Utilisées Dans Notre Projet**.**

IV.4. ASSEMBLAGE DES CONSTITUANTS :

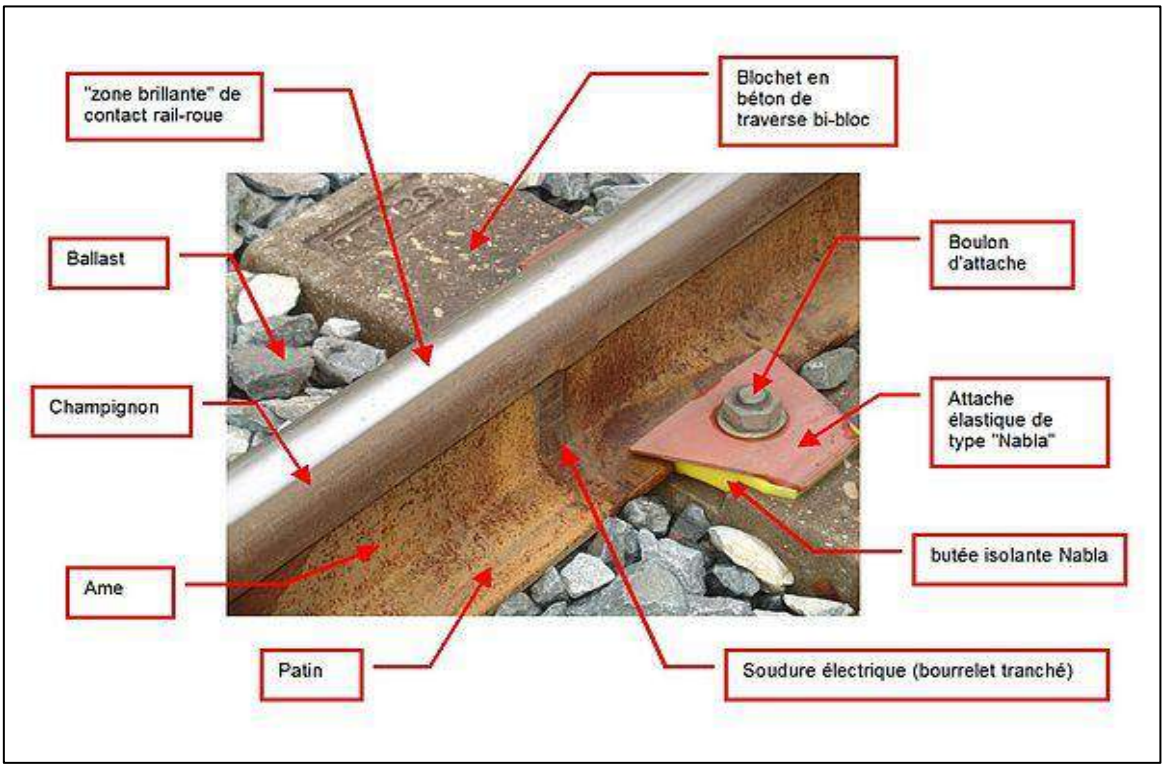


Figure IV. 14: Assemblage des constituants

IV-5-LES APPAREILS DE VOIE :

Les appareils de voie sont des dispositifs qui permettent la communication d'une voie sur une autre ou le croisement à niveau de deux voies, tout en conservant le mouvement. En effet, le conducteur d'un train n'ayant aucune maîtrise de la direction prise par le convoi, ce sont les appareils de voie qui sont chargés de le guider et de l'orienter de façon mécanique et passive ; Il peut être commandé automatiquement ou manuellement depuis un poste d'aiguillage ou bien à pied d'œuvre (sur le terrain) par une personne habilitée.

L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement).

Il existe deux catégories d'appareils de voie :

- **Groupe 1** (branchement, traversées et traversé jonctions)

Ils permettent aux trains de passer sans discontinuité d'une voie sur une autre. Dans un branchement, les axes de voies se réunissent tandis que dans une traversée, ils se coupent.

- **Groupe 2** (plaques, ponts ou secteurs tournants et chariots transbordeurs)

Ces appareils permettent de passer d'une voie sur une autre de façon discontinue.

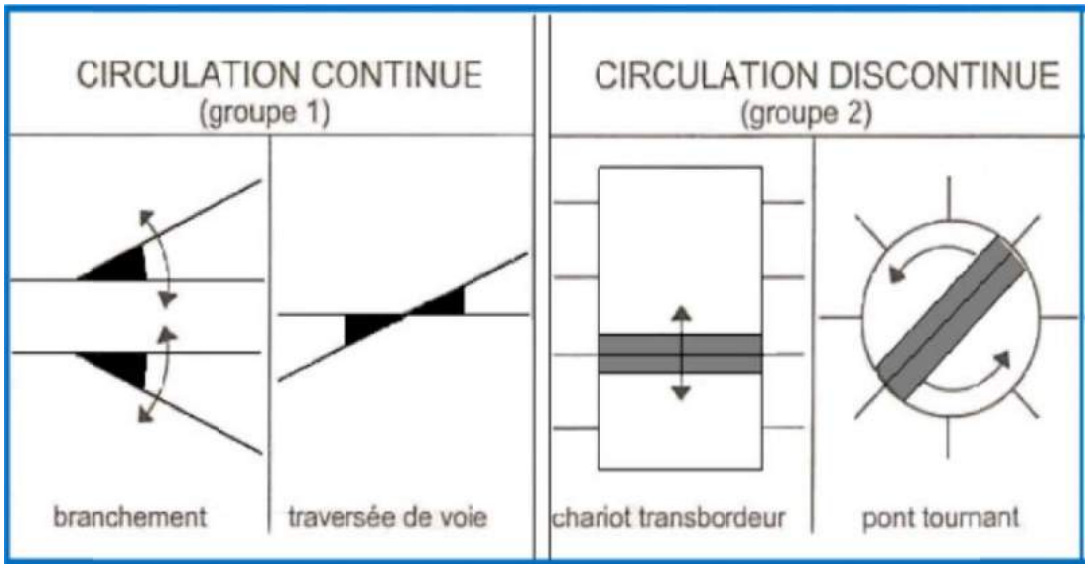


Figure IV- 15: les deux groupes d'appareils de voie**.** (Source : SNCF 2003, IN2915)

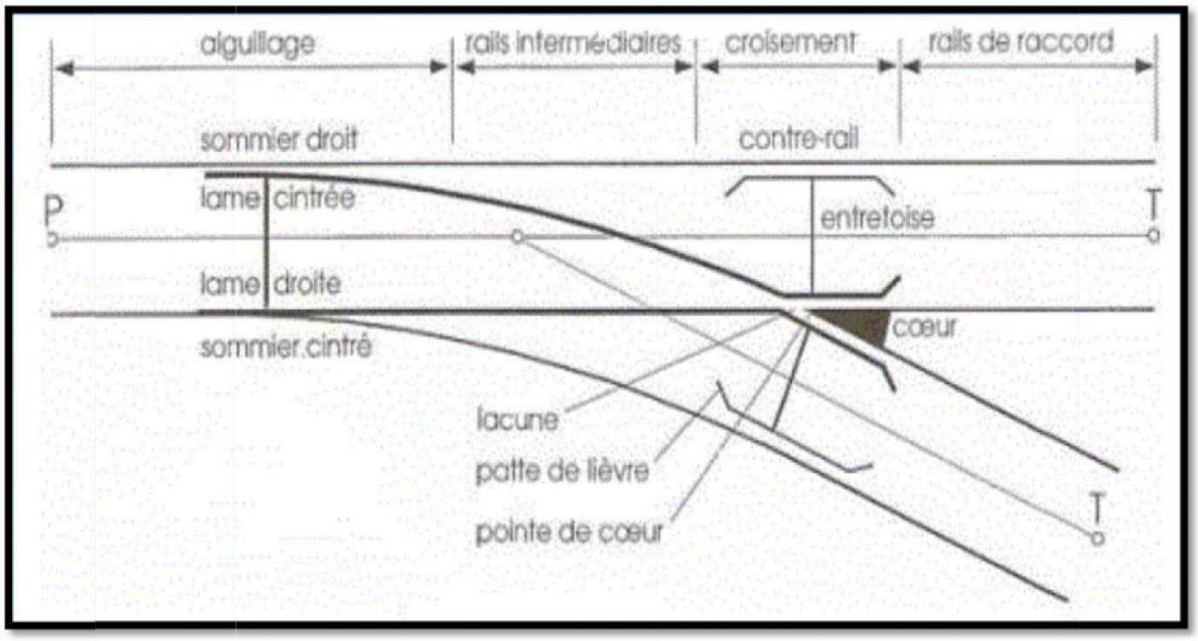


Figure IV- 16 : Un branchement et ses éléments constitutifs (Source : SNCF 2003, IN2915)

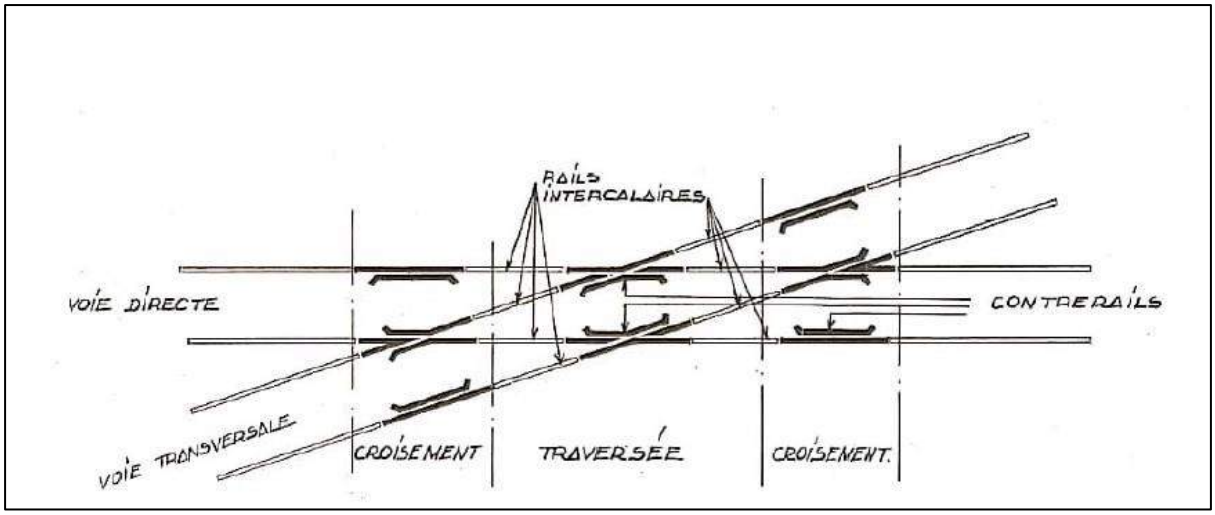


Figure IV. 17. Appareil de voie type traversée simple

IV.6. CONCLUSION :

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

Tableau IV. 2. Les composants pour notre projet

Composante	Caractéristique
Rail	Rail Vignole UIC 60 E1
Traverse	-Les traverses bi-bloc en béton armé de type VAX U31. -Traverses en bois de chêne pour les appareils de voies
Attache	Elastique de type NABLA
Ecartement	E =1 435mm
Les appareils de voie	UIC- 60 500 – 1/12.

CHAPITRE V :

TRACE EN PLAN

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

- ✓ Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs).
- ✓ V_l : vitesse des trains lents (marchandises).

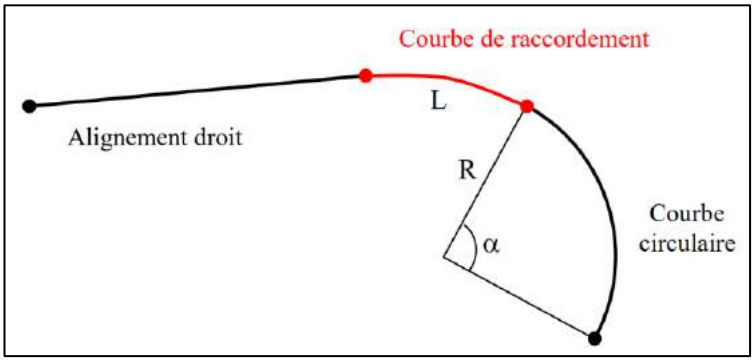


Figure V.1 : Eléments géométriques du tracé en plan

L'élaboration du tracé en plan doit se faire dans le respect des recommandations des normes. En Algérie, les règles sont définies par la SNTF .

Le principe est de choisir au maximum des alignements droits et de fixer des valeurs limites limites admissibles de confort et de sécurité pour les courbes de raccordements et les courbes circulaires (pour éviter le déraillement des trains ou le déripage de la voie c-à-dire son déplacement latéral).

Cela conduit à choisir des rayons de courbure les plus grands possibles.

Ces valeurs limites dépendent de :

- la vitesse de circulation des trains dans les courbes
- la nature de la voie (principale, de circulation, de service)

V.2. CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRES GEOMETRIQUE :

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

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

  - ✓ **Valeur limite normale** : valeur à ne pas dépasser pour les circulations roulant aux Vitesses maximales ou minimales admissibles.
  - ✓ **Valeur limite exceptionnelle** : c'est une valeur plus défavorable que la valeur limite Normale, qui peut être utilisée dans des circonstances exceptionnelles ; Talque Pour la détermination des vitesses maximales sur les lignes existantes, il peut devenir nécessaire, en des zones particulières

où, sinon, une limitation de vitesse serait indésirable du point de vue du trafic, d'utiliser des valeurs plus élevées que les valeurs maximales.

L'usage de ces valeurs exceptionnelle n'est cependant recommandé qu'à condition que soient seulement utilisés des véhicules qui, dans ce cas, ne compromettent pas la sécurité et offrent un confort suffisant.

Par principe, cela doit être démontré par des essais en ligne. De plus, il faut s'attendre à ce que sur de telles zones, les coûts d'entretien de la voie soient nettement plus élevés.

Si la valeur d'un quelconque paramètre dépasse la valeur limite normale, il faudra tenir Compte des considérations suivantes [2] :

- Si un seul paramètre dépasse la valeur limite normale, sa valeur pourra atteindre la Valeur limite exceptionnelle.
- Si plusieurs paramètres dépassent la valeur limite normale, il sera admis un Dépassement maximum de 80 % de la marge exceptionnelle pour le paramètre le plus Défavorable alors que les autres paramètres ne devront dépasser cette marge que de 20 %.

Il est recommandé qu'un paramètre ne dépasse pas plus d'une fois la valeur limite normale sur un tronçon de 20 km de long.

V.3. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN :

Pour faire un bon tracé, économique et technique dans les normes on doit respecter certaines recommandations :

- ✓ Assurer la sécurité et le confort des usagers.
- ✓ L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- ✓ Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- ✓ Utiliser le maximum d'alignement.
- ✓ Eviter au maximum les propriétés privées.
- ✓ Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- ✓ Eviter les terrains très plastiques.
- ✓ L'adaptation de tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- ✓ Eviter les problèmes de talus qui sont comme suit :

<u>Talus en déblai :</u>

- ✓ Présence de nappe.
- ✓ Terrains plastiques.
- ✓ Présence des roches fissurées

<u>Talus en remblai</u> :

- ✓ Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai).
- ✓ Sol très compressible.

V.4. PARAMETRES DE CONCEPTION :

Les paramètres, pour lesquels le respect de ces valeurs garantit le confort et la sécurité ainsi que l'optimisation du coût de maintenance, sont les suivants :

- Le dévers et sa variation
- L'insuffisance de dévers et sa variation
- L'excès de dévers
- Le rayon minimum en plan
- La longueur des raccordements

V.5. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN :

V.5.1 Alignement :

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers. Dans la pratique il est nécessaire de ne pas dépasser des limites au-delà de l'alignement minimal recommandé par les normes :

Tableau V.1: Valeur minimale de l'alignement recommandé par l'UIC (fiche 703 R)

Valeur limite normale (m)	$\frac{V}{2} = 80$
Valeur limite exceptionnelle (m)	$\frac{V}{3} = 53.3$

V.5.2. L'ARC DE CERCLE :

Le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires. La valeur du rayon de raccordement est en fonction de la vitesse des trains dans la courbe. Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence $\mathbf{V_R}$ de ne pas dérailler.

V.5.3. 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. Il y a plusieurs types de courbes de raccordement mais la plus utilisée est la clothoïde (parabole cubique), On utilise ce type de raccordement afin de :

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

V.6. PARAMÉTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ :

V.6.1. Rayon minimum de l'alignement circulaire (R_{min})

La valeur du rayon minimum admissible est un paramètre qui dépond de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants. Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, Le rayon minimum est calculé par la formule selon la formule suivante (UIC 719) :

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

- ✓ R_{min} : Rayon minimum de courbe (m).
- ✓ VR = Vitesse des trains rapide (voyageurs) (km/h).
- ✓ D_{max} = Dévers maximal (mm).
- ✓ Imax = Insuffisance de dévers maximum (mm)
- ⁎ Emax = Excés de dévers

.

V .6.2. LE DEVERS :

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

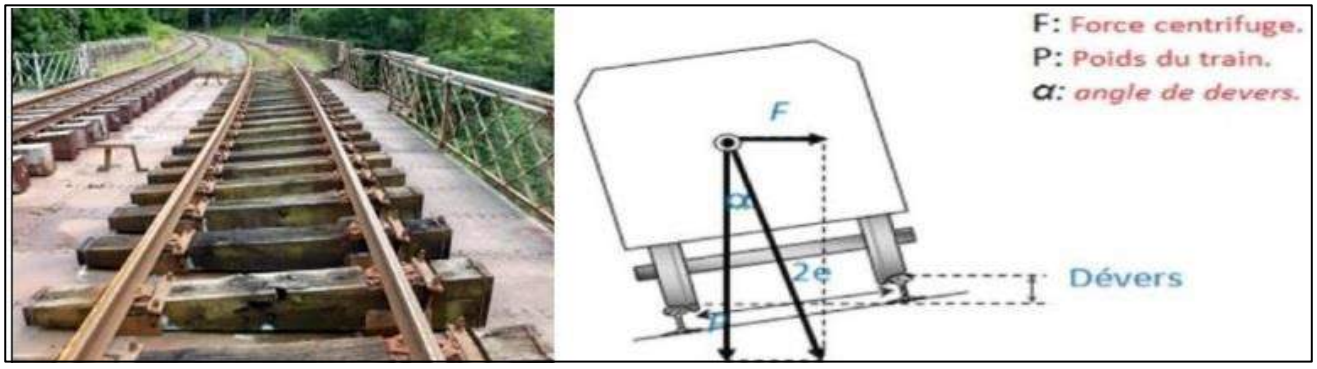


Figure V.2 : Définition du Dévers

V .6.2.1. DEVERS THEORIQUE (d_{TH}) :

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

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

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

V .6.2.2 DEVERS PRATIQUE (REEL) d_P :

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

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

$$d_p = \frac{k}{R}$$

Tel que :

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

V .6.2.3. COEFFICIENT DE DEVERS :

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

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

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

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

Cette méthode est valable pour les voies de vitesse < 220 Km/h.

Tableau V. 2 : Valeurs limites du dévers

Valeur limite normale (mm)	160	Source **Ref. SNTF**
Valeur limite exceptionnelle (mm)	180	

.

V.6.2.4. VARIATION DE DEVERS :

- **Variation en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$**

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

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

$\frac{\Delta d}{\Delta L}$ Est exprimé en (mm/m), ce rapport est appelé également « gauche » noté « g », il définit la pente relative des deux fils de rails (figure ci-dessous).

Tableau V. 3 : Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur

Valeurs Limite	Variation de dévers en (mm/m)	Source
Normale	180/V = 1.125	Ref. SNTF
Exceptionnelle	216/V = 1.35	

- **Variation en fonction du temps $\frac{\Delta d}{\Delta t}$**

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

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

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

Tableau V. 4. Taux de variation de dévers en fonction du temps**.**

Valeur	Normal	Exceptionnels	Source
dd/dt(mm/s)	50	60	Ref. SNTF

V.6.2.5. INSUFFISANCE DE DEVERS (I) :

Lorsque Vr² (la vitesse d'un train rapide empruntant une courbe) est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers normal (pratique). Elle est donnée par :

$$I = \frac{11.8 \times Vv^2}{R} - d_p < I_{lim} \ \ [\boldsymbol{mm}]$$

- Pour limiter ces effets, on adopte une valeur limite pour l'insuffisance de dévers (pour les trains les plus rapides). Ces limites sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau V. 5. Valeurs maximales admissible des insuffisances de dévers

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

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

Lors du passage d'un train d'un alignement (d=0, I=0) à la pleine courbe (d=Cte, Imax) et si la vitesse du train est supérieure à la vitesse d'équilibre, le voyageur va subir peu à peu l'action de la force centrifuge non compensée dû à l'insuffisance de dévers.

Le taux de variation d'insuffisance de dévers doit être limité pour permettre une adaptation progressive et si possible inconsciente du voyageur à ces effets. Cette variation d'insuffisance de dévers « ΔI » pendant un temps « Δt » s'exprime en (mm/s), elle s'écrit :

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

- Où (L) est la longueur de la courbe de transition exprimé en m.
  ΔI exprimé en (mm) ; Δt exprimé en (s) ; Vr exprimé en (km/h).

Tableau V. 6. Valeurs de variation de l'insuffisance de dévers.

Valeur	Normal	Exceptionnels	Source
dI/dt (mm/s)	75	90	Ref.SNTF

V.6.2.6. EXCES DE DEVERS :

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

$$E = d_{p-} \frac{11.8 \times Vl^2}{R} < E_{lim} \quad [\boldsymbol{mm}]$$

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

Tableau V.7 : Valeurs limites de l'excès de dévers

Tj (tonne / jours)	E (mm)	
	Normal	Exceptionnel
≥ 45 000	70	105
≥ 25 000 < 45 000	80	115
≥ 10 000 < 25 000	90	125
< 10 000	100	135

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

V.6.2.7. LONGUEUR DE RACCORDEMENT 'L'DE DEVERS :

C'est la longueur qui permet un raccordement convenable du dévers et de la courbe

Ce raccordement est une spirale dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul.

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

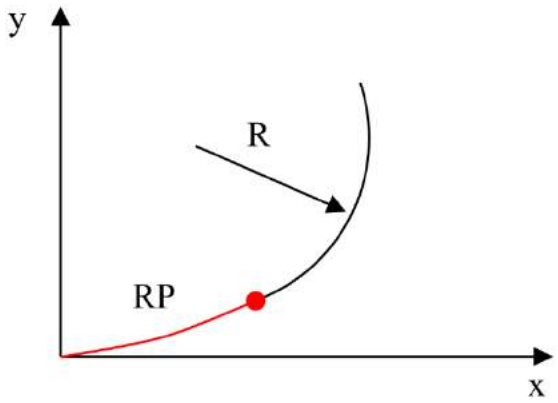


Figure V.4 : La courbe de raccordement

La longueur de se raccordement est calculée comme suit :

$$L \geq \frac{d_p \times V_r}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

Avec :

- ✓ L en (m) ;
- ✓ $\frac{\Delta d}{\Delta t}$ (Variation de dévers en mm) est recommandé.

.

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

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

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

- ➢ On utilise ce type de raccordement afin de :
  - o Introduire progressivement le devers.
  - o Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant.
  - o Respecter les conditions du confort et de sécurité

V.7. CONDITIONS DE RACCORDEMENT :

- **Condition de gauchissement** :

On doit limiter, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

- **Condition du confort dynamique** :

C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

Le paramètre de clothoïde (A) est calculé selon l'équation suivante :

$$A = \sqrt{R \times L}$$

- **Gauchissement et variation du dévers :**

Lors du passage des trains dans les courbes et en présence des dévers, les points de contact des roues des wagons avec le rail ne se trouvent pas sur le même niveau et sous des charges dynamiques à grandes vitesses qui sont répartit inégalement sur les roues, le problème deviendra très dangereux. Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport d/L appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m). Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Tableau V. 8. Paramètres du gauchissement.

	Variation de dévers en (mm/m)	Source
Limite normale	180/V = 1.125	Réf. SNTF
Limite exceptionnelle	216/V = 1.35	

- **Les doucines :**

Au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis. Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

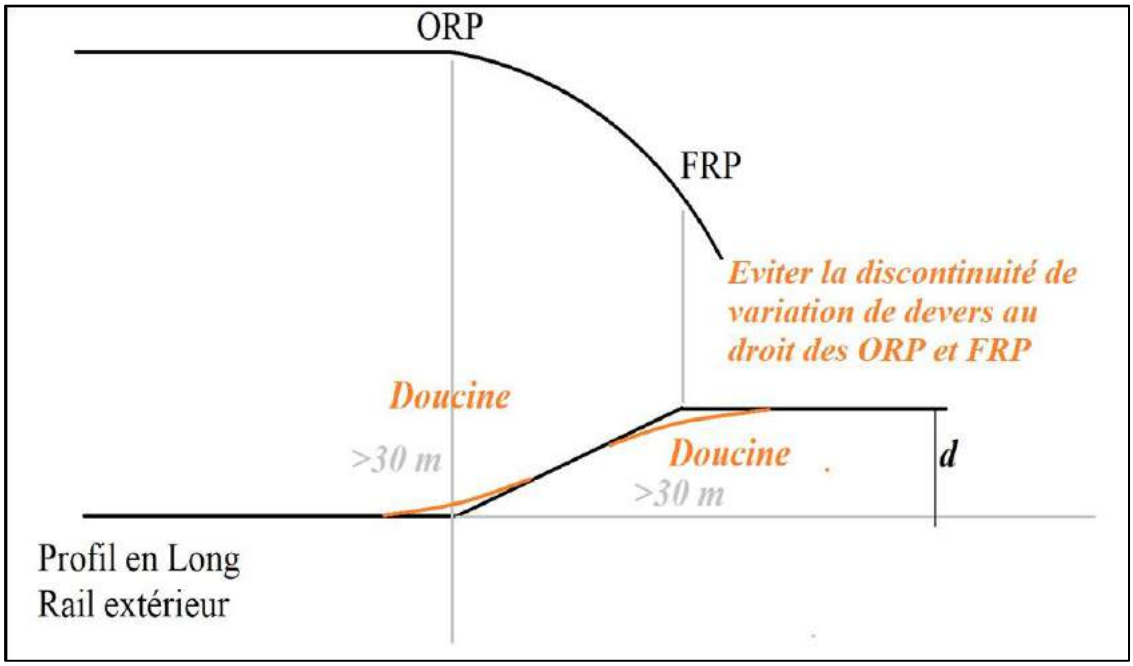


Figure V.5 : Schémas illustratif pour les doucines

Du fait de la proportionnalité dévers / courbure, ce raccord se traduit dans le diagramme des flèches par des arrondis appelés doucines.

- **Longueur de la courbe de raccordement :**

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

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

$$Ldd = \frac{D \times Vr}{3.6 \times \frac{dd}{dt}} \quad ; \quad LdI = \frac{I \times Vr}{3.6 \times \frac{dI}{dt}}$$

- **Longueur des éléments du tracé**

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

Tableau V. 9. Longueur minimale des éléments en plan

Alignement, Courbe et RP	**Limite normale**	V/3 =53.33 m	Source Ref. IC 00272
	Limite Exceptionnelle	V/5 = 32 m	
	Minimum	30 m	

Voie principale circulée à V =160 km/h.

V.8. APPLICATION AU PROJET :

Selon l'UIC 703 et la SNTF on a les données suivantes :

Tableau V. 10. Paramètres géométriques du tracé

vitesse des trains rapides (voyageurs).	V_r=160 km/h
Vitesse des trains lents (marchandise)	V_l=100 km/h
Excès de dévers (valeur limite normale)	E= 90 mm
Insuffisance de dévers maximum	I_{max} =120 mm
Dévers max	d_{max}= 150 mm
Variation de dévers (valeur limite normale	$\frac{\Delta d}{\Delta t}$ =35 mm/s.
Variation de l'insuffisance de dévers (Valeur limite normale)	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ =70 mm/s.
Paramètres du gauchissement (valeur limite normale)	1.125 mm/m.

- **Calcul le rayon minimal :**

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

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

AN :

$$R_{min} \geq \frac{11.8 \times 160^2}{150 + 120}$$

➔ $R_{min} = 1118.81$ m.

On prend : **R_{min} = 1150 m.**

Le dévers associé au rayon minimal est donné par la suite :

$$d\ (R_{min}) = \frac{1000 \times C}{R_{min}} = \frac{1000 \times 0.006 \times 160}{1240} = \mathbf{153.6mm}$$

d (R_{min}) = 153.6 < d_{max} (recommandé) = 160

❖ **Application au projet pour R = 1800 m :**

➢ **Calcul de dévers théorique d_{th} :**

$$d_{th} = \frac{11.8 \times Vv^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{1800} = \mathbf{167.82\ mm} \quad \rightarrow \quad d_{th} = \mathbf{167.82\ mm}$$

- **Calcul de coefficient de dévers C :**

  C = 0.006 × V^2 = 0.006× 160 = **153.6** ➔ C = **165**

  C : est un multiple de 15, choisir 165 plus de manière à avoir dp entre 0.5 dth et 0.7 dth

- **Calcul de dévers pratique dp :**

  $d_p = 1000 \times \frac{C}{R} = 1000 \times \frac{165}{1800} = \mathbf{91.66mm}$

  ➔ **On prend : $\mathbf{d_p}$ = 100 mm < 160 vérifié.**

- **Calcul de l'insuffisance de dévers I :**

  $I = \frac{11.8 \times Vv^2}{R} - d_p = 167.82 - 100 = \mathbf{67.82mm}$

  ➔ **I = 67.82 mm < 150 vérifié.**

- **Calcul d'excès de dévers E :**

D'abord on calcule le dévers théorique des trains lent (V_{min}=100 km/h) :

$d_{th}^{min} = \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R} = \frac{11.8 \times 100^2}{1800} = \mathbf{65.55\ mm}$

E = $d_p - d_{th}^{min}$ = 100 – 65.55 = 34.44 mm

E= 34.44 mm < 90 mm

- **Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde :**

L≥ $\frac{Vv}{3.6} \times \Delta d \times \left(\frac{dd}{dt}\right)^{-1}_{lim} = \frac{160}{3.6 \times 50} \times 100 = \mathbf{88.88\ m}$

On prend : L = 90 m.

$A = \sqrt{R \times L_{cl}} = \sqrt{1800 \times 90} = 402.49$

➔ **A = 402.49**

- **Variation de dévers :**

$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d} \times V_{max}}{3.6 \times \mathrm{L}} = \frac{100 \times 160}{3.6 \times 90} = 49.38\ mm/s$

➔ $\mathbf{\frac{\Delta d}{\Delta t} = 49.38}$ $\frac{mm}{s}$ < **50** $\frac{mm}{s}$ ***vérifié.***

- **Variation en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta L}$**

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \frac{3.6 \times \Delta d}{V_{max} \times \Delta t} = \frac{3.6}{160} \times 49.38 = \mathbf{1.11\ mm/m}$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} = \mathbf{1.11\ mm/m}$$

- **Variation de l'insuffisance de dévers ΔI :**

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L} = \frac{37.31 \times 160}{3.6 \times 90} = 33.50\ mm/s$$

➔ $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \mathbf{33.50}\ \frac{mm}{s} < \mathbf{75}\ \frac{mm}{s}$ vé$rifi$é

- **Gauchissement et variation du dévers d/L :**

$$\frac{d_p}{L} = \frac{100}{90} = \mathbf{1.11\ mm/m}$$

➔ $\frac{d_p}{L} = \mathbf{1.11}\ \frac{mm}{m} < \mathbf{1.125}\frac{mm}{m}$ vé$rifi$é.

- **Doucine :**

R_1=2200 m ; dp=70 mm ; L_R= 86 m

$$P' = \frac{70 \times 10^{-3}}{86} = 8.14 \times 10^{-4} = 0.814\ ‰$$

$$t = \frac{R}{2}(|p - p'|) = \frac{R}{2}|0 - 0.814| \times 10^{-3}$$

Pour t=15 m ;

$$R = \frac{2 \times 15}{8.14 \times 10^{-4}} = 36140\ m$$

- On choisit des doucines dont la longueur l=30 m .Dans ce cas on prend la tangente aux sommets égale à 15 m

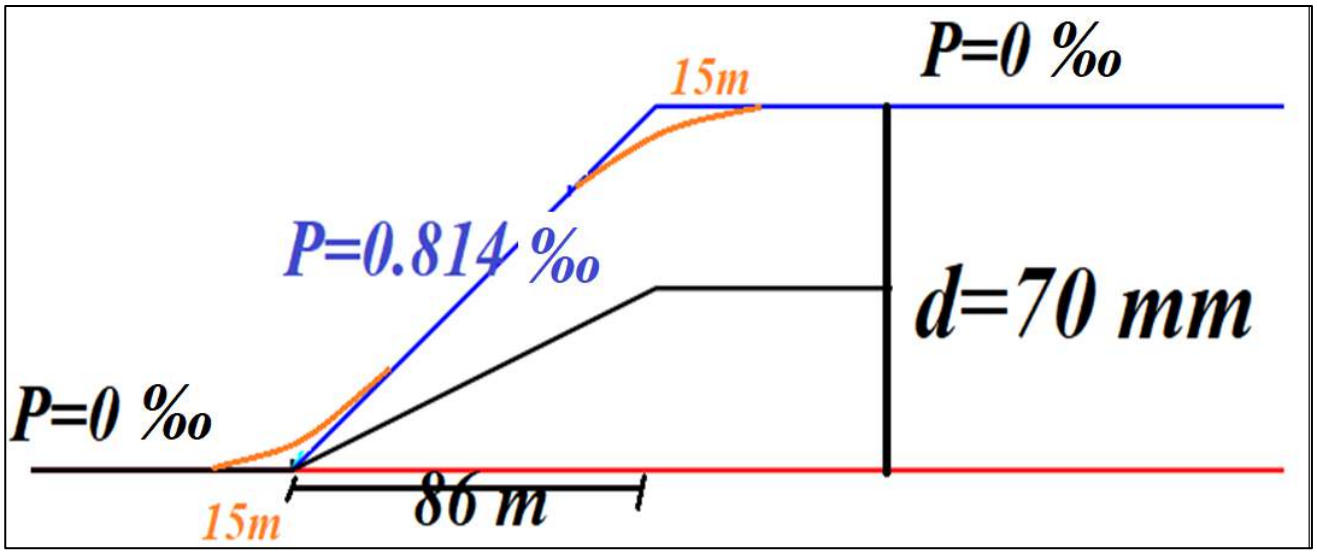


Figure V.5 : Exemple de Calcul de doucine

$$d_{0(15)} = y_{0(15)} = \frac{x^2}{2R} = \frac{15^2}{2 \times 36140} = 0.003\ m = 3\ mm$$

$$d_{0(10)} = y_{0(10)} = \frac{x^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 36140} = 0.0014\ m = 1.4\ mm$$

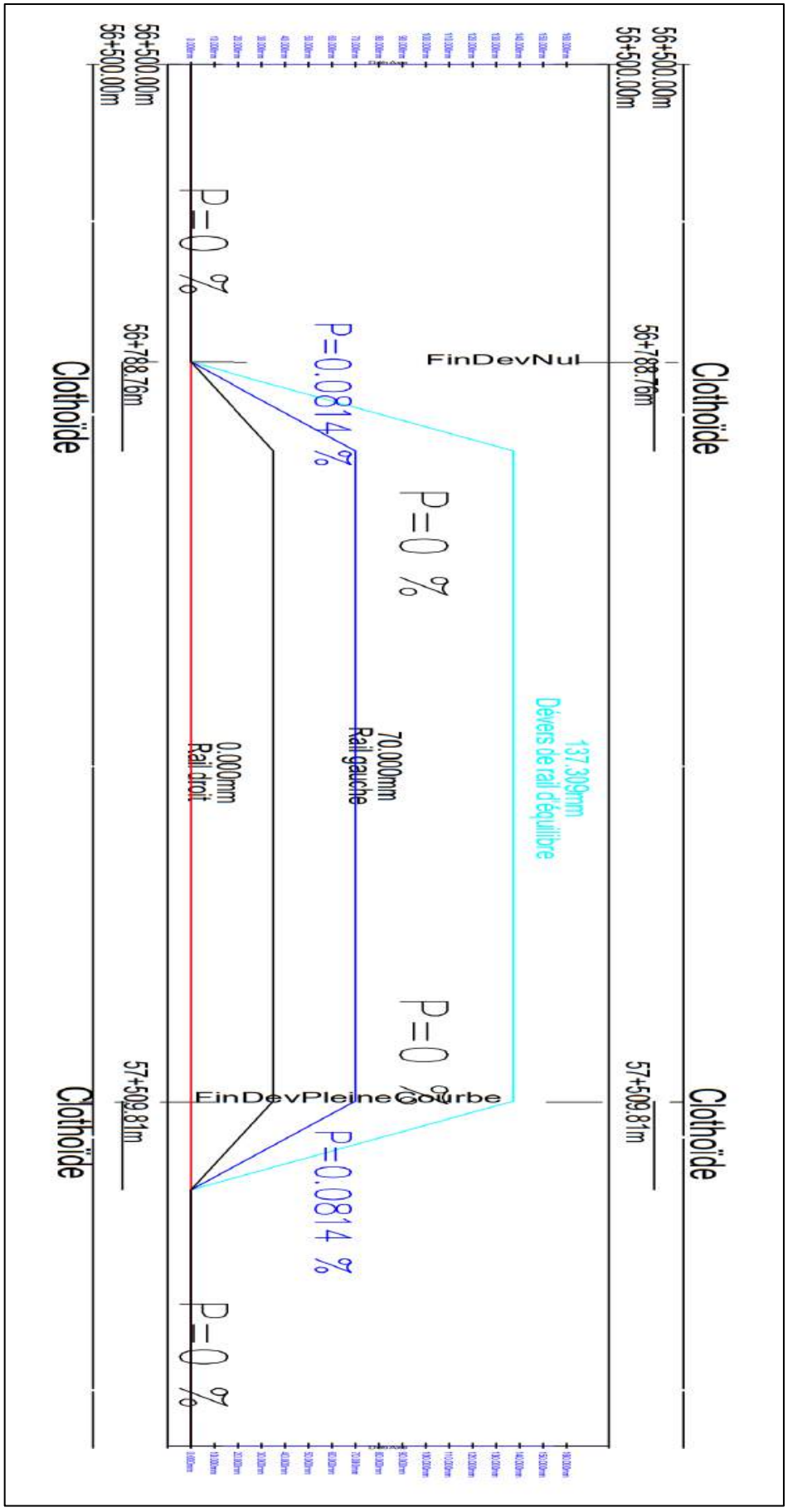


Figure V.06 : Diagramme des devers « Civil 3d »

Tableau V. 11 : les paramètres significatifs de l'axe en plan entre pk56+500 et84+800.

Rayon	Dévers théorique pour mar-chandises dth (mm)	Dévers théorique pour voyageurs dth (mm)	Dévers pratique dp (mm)		Insuffisance du dévers I (mm)	Excès du dévers E (mm)		
R(m)	$d_{th(min)}$	$d_{th(max)}$	d_p	Condition	I	E	Condition I	Condition E
	$\frac{11,8 \times V_M^2}{R}$	$\frac{11,8 \times V_V^2}{R}$	$\frac{1000\ C}{R}$	d<dp<dm	$\frac{11.8 \times Vv^2}{R} - d_p$	d_p-$\frac{11.8 \times V_{min}^2}{R}$	**I<Imax**	**E<Emax**
2200	53,64	137,31	**75**	***Vérifié***	62	21	***Vérifié***	***Vérifié***
1800	65,56	167,82	**100**	***Vérifié***	68	34	***Vérifié***	***Vérifié***
3000	39,33	100,69	**60**	***Vérifié***	41	21	***Vérifié***	***Vérifié***
9000	13,11	33,56	**20**	***Vérifié***	14	7	***Vérifié***	***Vérifié***
5000	23,6	60,416	**40**	***Vérifié***	20	16	***Vérifié***	***Vérifié***

dd/dt(mm/s)	dd/dL(mm/m)	***Condition***	***Condition***	Ldd	LdI	Dp/L
$\frac{\mathbf{d} \times V_{max}}{\mathbf{3.6 \times L}}$	$\frac{3.6 \times \Delta d}{V_{max} \times \Delta t}$	$\frac{\Delta d}{\Delta t} < \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right) lim$	$\frac{\Delta d}{\Delta L} < \left(\frac{\Delta d}{\Delta L}\right) lim$	$\frac{D \times Vr}{3.6 \times \frac{dd}{dt}}$	$\frac{I \times Vr}{3.6 \times \frac{dI}{dt}}$	$\frac{d_p}{L}$
48	1.1	***Vérifié***	***Vérifié***	69.44	68.88	1.07
49	1.1	***Vérifié***	***Vérifié***	90.70	91.58	1.11
44	1.0	***Vérifié***	***Vérifié***	60.60	60.74	1.00
30	0.7	***Vérifié***	***Vérifié***	29.62	31.11	0.70
44	1.0	***Vérifié***	***Vérifié***	40.40	38.64	1.00

Longueur de raccordement calculé L (m)			L.Rac adopté (m)	Para-mètre de clothoide	Ripage
L	**L**	**L**	**L**	**A**	**ΔR**
$\mathbf{L} \geq \frac{V_v}{3,6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}} \times d_p$	$L \geq \Delta d \times (\frac{\Delta d}{\Delta t})^{-1}$	$L \geq \frac{V_v}{3,6} \times \Delta I \times (\frac{\Delta I}{\Delta t})^{-1}$	L « max »	$\sqrt{L.R}$	$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R}$
66.67	66.67	36.92	70	392.43	0.093
88.89	88.89	40.191	90	402.49	0.188
53.33	53.33	24.115	60	424.26	0.050
17.78	17.78	8.038	30	519.62	0.004
35.56	35.56	12.098	40	447.21	0.013

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

Le calcul consiste à déterminer tous les points de l'axe point par point du début de tronçons à sa fin, en exprimant leur coordonnée ou directions dans un repère fixe, et à partir par un point dont on connait les coordonnées, et il doit suivre les étapes les étapes suivantes :

- Calcul des gisements,
- Calcul de l'angle γ entre les alignements,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la corde polaire SL
- Calcul de l'angle polaire τ
- Vérification de non-chevauchement,
- Calcul de l'arc en cercle,
- Calcul des coordonnées de points particuliers,
- Calcul de kilométrage des points particuliers.

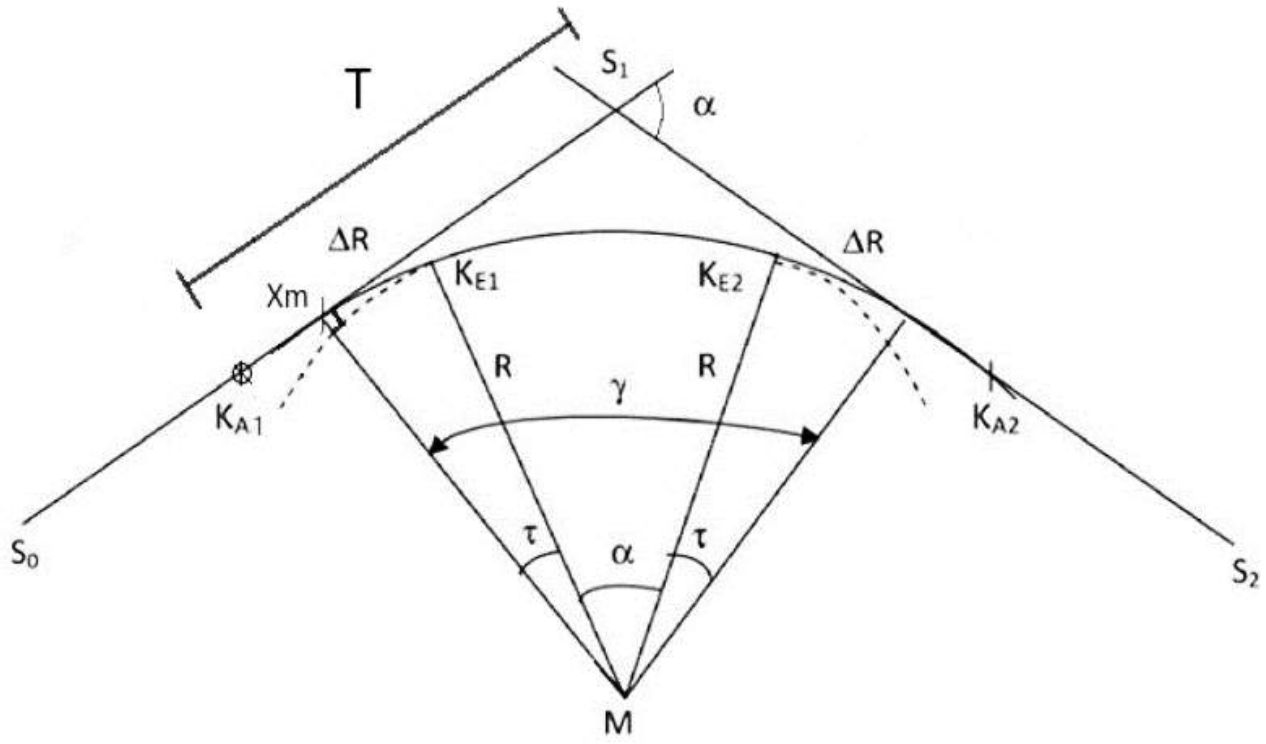


Figure V. 7. : Elément de clothoïde

V.9.1. LA METHODOLOGIE DE CALCUL :

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

- L'équation de la clothoïde $A^2 = L \times R$
- Calcul de la longueur de clothoïde : $L = \frac{A^2}{R}$
- Calcul de l'angle de tangente : $\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi}$ $(grade)$.

- Distance du centre de courbe parallèle à l'axe de l'alignement : $X_m = \frac{L}{2}\ (m)$.
- Le ripage qui est la variation du rayon entre le début et la fin de clothoïde :

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

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

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

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

V.9.2. APPLICATION AU PROJET :

Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

Tableau V. 12. Les données de l'arc choisi pour l'exemple.

Point	X	Y	Rayon(m)
S_0	3737400,619	734301,5087	*1800*
S_1	3737097,846	733145,5858	
S_2	3736252,122	731845,2607	

1. Calcul de la distance S_0S_1 :

$\Delta X_{S0}^{S1} = X_{S1} - X_{S0} = 3737097{,}846 - 3737400{,}619 = \mathbf{-302{,}772\ m}$

$\Delta Y_{S0}^{S1} = Y_{S1} - Y_{S0} = 733145{,}5858 - 734301{,}5087 =$ **-1155,923 m**

$S_0S_1 = \sqrt{{\Delta X_{S0}^{S1}}^2 + {\Delta Y_{S0}^{S1}}^2} = \sqrt{(-302{,}7726)^2 + (-1155.923)^2} =$ **1194,92 m**

2. Calcul du gisement S_0S_1 :

$$G_{S0}^{S1} = 200 + \alpha = 200 + \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X_{S0}^{S1}}{\Delta Y_{S0}^{S1}}\right) = 200 + \tan^{-1}\left(\frac{-302{,}772}{-1155{,}922}\right) = \mathbf{216.31\ grade.}$$

3. Calcul de la distance S_1S_2 :

$$\Delta X_{S1}^{S2} = X_{S2} - X_{S1} = 3736252{,}122 - 3737097{,}846 = \mathbf{-845.724\ m}$$

$$\Delta Y_{S0}^{S1} = Y_{S2} - Y_{S1} = 731845{,}2607 - 733145{,}5858 = \mathbf{-1300.325\ m}$$

$$S_1S_2 = \sqrt{{\Delta X_{S1}^{S2}}^2 + {\Delta Y_{S1}^{S2}}^2} = \sqrt{(-845.724)^2 + (-1300.325)^2} = \mathbf{1551.16\ m}$$

4. Calcul du gisement S_1S_2 :

$$G_{S1}^{S2} = 200 + \alpha = 200 + \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X_{S1}^{S2}}{\Delta Y_{S1}^{S2}}\right) = 200 + \tan^{-1}\left(\frac{-845.724}{-1300.325}\right) = \mathbf{236.71\ grade.}$$

5. Calcul de l'angle γ : $\boldsymbol{\gamma} = \left|{G_S}^S{}_1{}^2 - {G_S}^S{}_0{}^1\right| = |236.71 - 216.31|$

$= \mathcal{J}.23\ \boldsymbol{grade}$

	ɤ(grade)
S_0S_1	20.40
S_1S_2	47.23
S_2S_3	10.22
S_3S_4	21.96
S_4S_5	34.55

6. Calcul de longueur de clothoïde L :

Le paramètre de clothoïde qui vaut A = 402.49 m.

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{402.49^2}{1800} = \mathbf{90\ m}.$$

7. Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi} = \frac{90}{2 \times 1800} \times \frac{200}{\pi} = \mathbf{1.60\ grade}.$$

	τ (grade)
S_0S_1	1.01
S_1S_2	1.60
S_2S_3	0.64
S_3S_4	0.11
S_4S_5	0.25

8. Calcul de tangent T

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

$X_M = \frac{L}{2} = \frac{90}{2} = \mathbf{45\ m}$; Xm : Abscisse du centre de cercle.

$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} = \frac{90^2}{24 \times 1800} = \mathbf{0.187\ m}$; ΔR : le Ripage .

$T = 45 + (1800 + 0.187) \times \tan\left(\frac{47.2}{2}\right) = 747\ \mathbf{m}.$

9. Calcul de la distance S_0K_{A1}

$S_0K_{A1} = S_0S_1 - T = 1551.16 - 745 = 805\ \boldsymbol{m}$.

10. Calcul de la corde SL :

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

Tel que :

$X_{KE} = L = \mathbf{90}\ (\boldsymbol{m})$; **La longueur de clothoïde.**

$Y_{KE} = \frac{L^2}{6R} = \frac{90^2}{6\times1800} = \mathbf{0.75}\ (\boldsymbol{m})$; **La hauteur par rapport à l'axe.**

$S_L = \sqrt{90^2 + 0.75^2}. = \mathbf{90}\ (\boldsymbol{m})$

11. Calcul de l'angle polaire σ

$\sigma = \tan^{-1}(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}) = \tan^{-1}(\frac{0.75}{90}) = \mathbf{0.530}\ \boldsymbol{grade}.$

12. Vérification de non chevauchement :

$\tau = 1.59\ \boldsymbol{gr}.$; $\frac{\gamma}{2} = \frac{47}{2} = 23.5\ \boldsymbol{gr}.$

$\tau = 1.59\ \boldsymbol{gr} < 23.5\ \boldsymbol{gr}$. **La condition est vérifiée Donc il n'y a pas de chevauchement.**

Tableau V. 13. Vérification de non chevauchement

	Non chevauchement $\boldsymbol{\tau < \frac{\gamma}{2}}$
S_0S_1	*Vérifié*
S_1S_2	*Vérifié*
S_2S_3	*Vérifié*
S_3S_4	*Vérifié*
S_4S_5	*Vérifié*

13. Calcul du α :

$\alpha = \gamma - 2\tau = 47 - 2\times1.60 = 44.05$ gr.

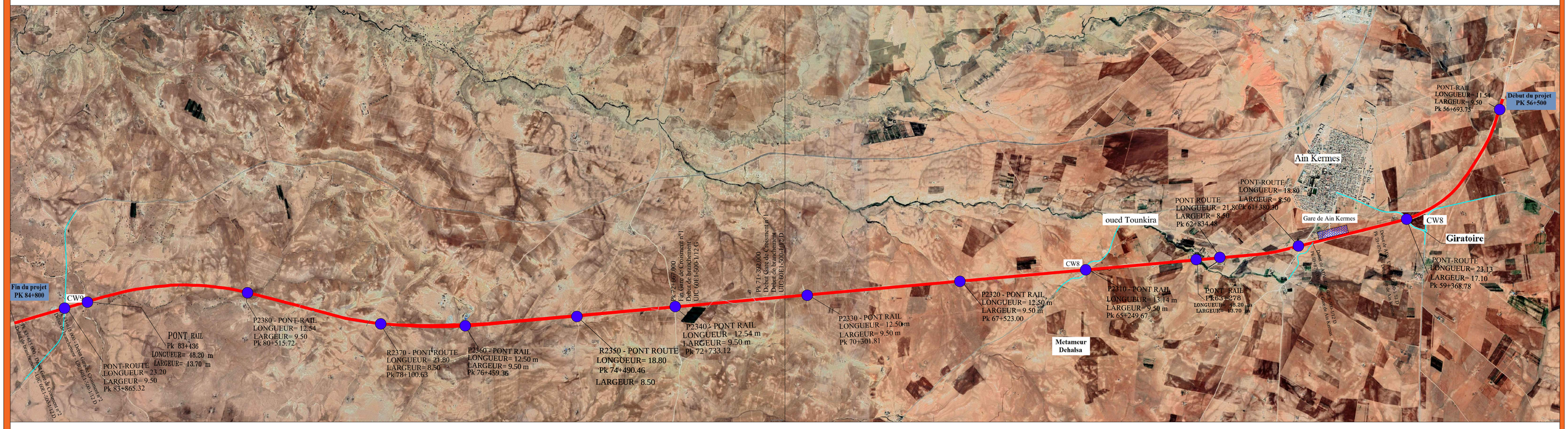
14. Calcul de la longueur d'arc :

$K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R\alpha}{200} = \frac{\pi\times1800\times44.05}{200} = 1245\ \boldsymbol{m}$

V.10. Les obstacles rencontrées :

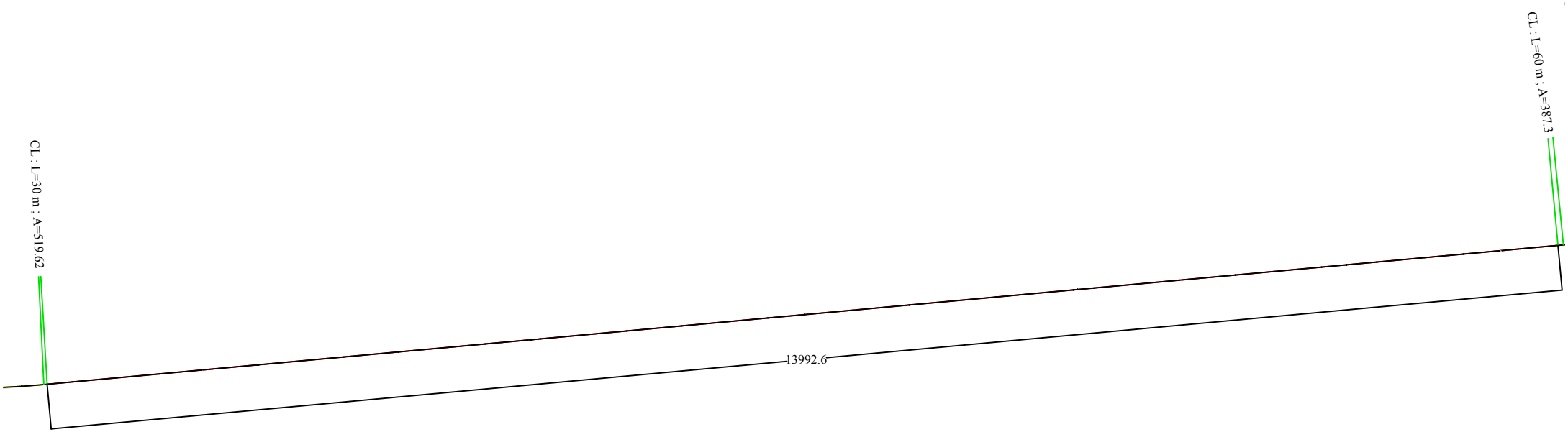
Tableau V. 14. Les obstacles rencontrées**.**

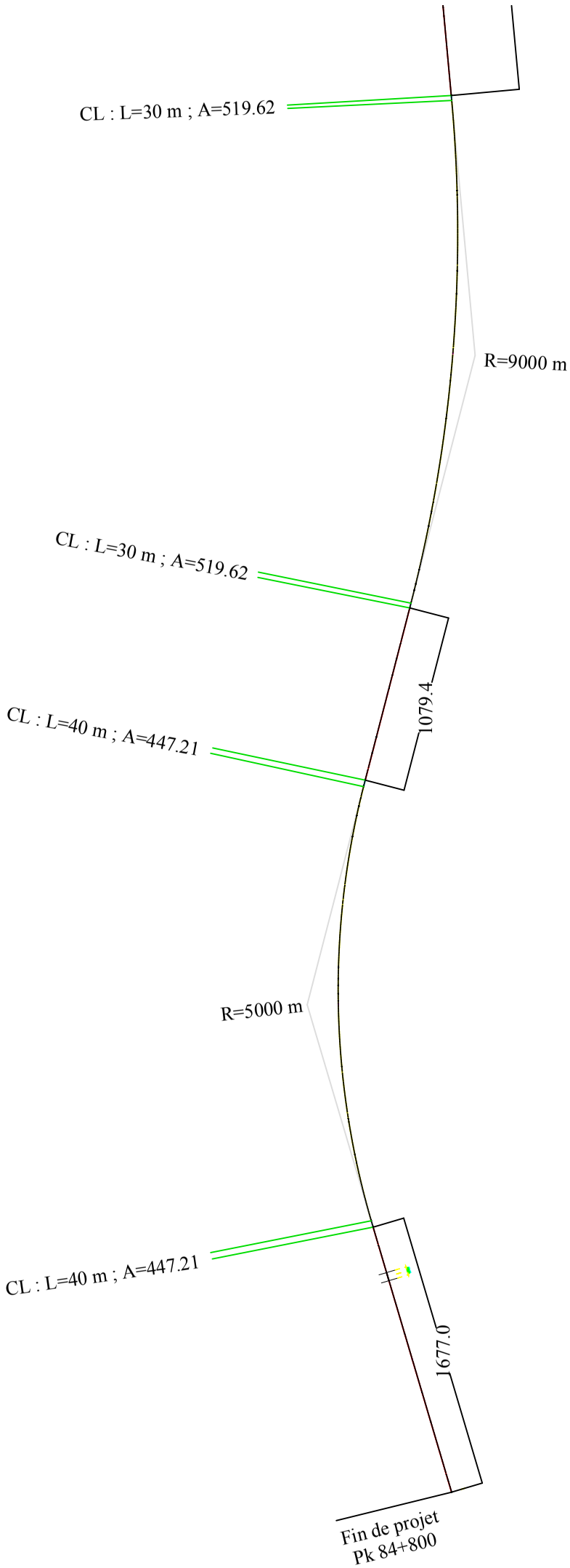
Les obstacles rencontrées.	
	Pk
Début de projet	56+500.00
PONT-RAIL	56+693.75
GAZODUC	57+919.
PONT-ROUTE	59+368.78
Début Gare de Ain Kermas	59+876.000
LIGNE ELECTRIQUE MOYENNE TENSION	59+946.200
LIGNE ELECTRIQUE MOYENNE TENSION	60+082.893
LIGNE ELECTRIQUE MOYENNE TENSION	61+272.012
CONDUITE D'EAU EN ACIER	PK 61+314.187
CONDUITE D'EAU EN PALSTIQUE	PK 61+313.874
Fin Gare de Ain Kermas	61+321.000
PONT-ROUTE	61+380.30
LIGNE ELECTRIQUE MOYENNE TENSION	61+470.863
PONT ROUTE	62+834.48
LIGNE ELECTRIQUE BASSE TENSION	63+091.164
LIGNE ELECTRIQUE BASSE TENSION	63+176.586
PONT RAIL	65+249.67
LIGNE ELECTRIQUE MOYENNE TENSION	66+963.901
PONT RAIL	67+523.00
PONT RAIL	70+301.81
PONT RAIL	72+733.12
PONT ROUTE	74+490.46
PONT RAIL	76+459.36
PONT ROUTE	78+100.63
PONT-RAIL	80+515.72
PONT-RAIL	83+436.000
PONT-ROUTE	83+865.32



ENSTP المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics National School of Build and Ground works engineering	PROJET DE FIN D'ETUDES ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE DU PK 56+500.00 AU PK 84+800.00 AVEC CONCEPTION DE LA GARE AIN KERMES	**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	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
			BELKACEM Omar BENOMRANE MOHAMED TAKIEDDINE	BENTCHIKOU		PLAN SYNOPTIQUE	2019 / 2020

Début de projet
Pk 56+500
CL : L=70 m ; A=392.43
CL : L=70 m ; A=392.43
CL : L=90 m ; A=379.47
CL : L=90 m ; A=379.47
CL : L=60 m ; A=387.3
CL : L=60 m ; A=387.3
304.9
R=2200 m
420.4
R=1800 m
2224.8
R=3000 m


CL : L=30 m ; A=519.62
13992.6
CL : L=60 m ; A=387.3


CL : L=30 m ; A=519.62
R=9000 m
CL : L=30 m ; A=519.62
1079.4
CL : L=40 m ; A=447.21
R=5000 m
CL : L=40 m ; A=447.21
1677.0
Fin de projet
Pk 84+800

CHAPITRE VI :

PROFIL EN LONG

VI.1. INTRODUCTION :

C'est une coupe verticale passant par l'axe de la voie ferrée qui permet de visualiser le tracé dans le sens longitudinal.

Le profil en long est défini par une succession de segments de droites (pentes et rampes dites déclivités) raccordés par des courbes circulaires. Ces éléments représentent la ligne rouge ou la ligne de projet.

VI.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG :

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

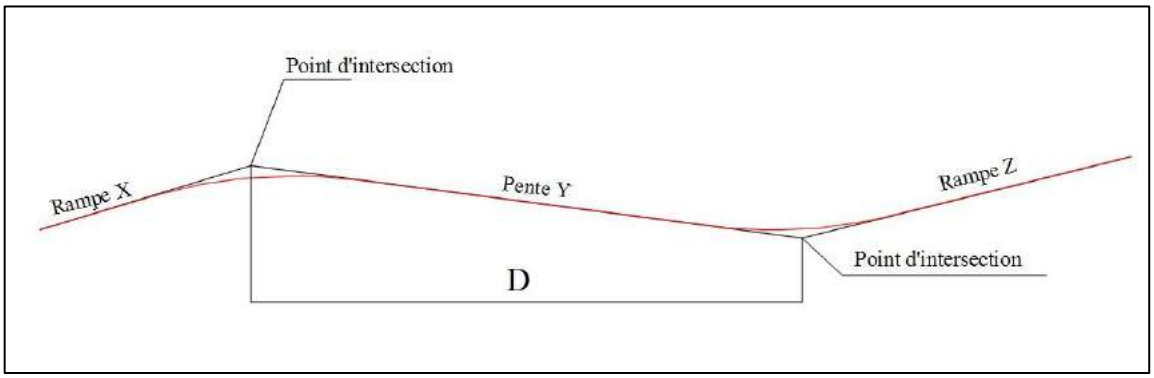


Figure VI.1 : Eléments géométriques du profil en long.

VI.3. PARAMETRES DU TRACE A RESPECTER :

Selon le référentiel SNTF géométrie de la voie chapitre (6) La déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, 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‰.

Dans notre cas on a des déclivités qui dépassé 18 ‰ donc on respectant la norme **IN0272**

❖ **Condition n°1 :**

La pente de chaque tronçon à pente constante doit respecter l'une des conditions ci-après :

- Pente < 20 ‰ (pour une longueur de tronçon quelconque),
- Pente < 25 ‰ pour une longueur de tronçon ≤ 2000 m,
- Pente < 30 ‰ pour une longueur de tronçon ≤ 1000 m,
- Pente ≤ 35 ‰ pour une longueur de tronçon ≤ 400 m.

❖ **Condition n°2 :**

La pente moyenne de la zone doit respecter l'une des conditions ci-après :

- Pente moyenne < 20 ‰ pour une zone de longueur quelconque,
- Pente moyenne < 25 ‰ pour une zone de longueur ≤ 2000 m,
- Pente moyenne < 30 ‰ pour une zone de longueur ≤ 1000 m,
- Pente moyenne ≤ 35 ‰ pour une zone de longueur ≤ 400

VI.3.1. LA LONGUEUR MINIMALE DES DECLIVITES :

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

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

Tableau VI. 1 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités. [6]

	Longueur min des éléments Du profil en long	Source de référence
Limite normale (m)	V/2 = 80m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite Exceptionnelle (m)	V/2.5 = 64m	
Limite minimum	30 m	

VI.3.2. RAYON MINIMAL EN PROFIL EN LONG :

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

- ✓ Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.
- ✓ Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse (V) un raccordement de profil en long de rayon Rv, il est soumis à une accélération centrifuge :

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

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

a_v=0.22 m/s^2====> 0.35 V^2 (Normal) ; a_v=0.31 m/s^2====> 0.25 V^2 (Except)

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

Tableau VI.2 : les rayons minimaux de profil en long.

	Valeur de rayon Vertical	Source de référence
Limite normale (m)	0.35*V² = 8960m	Référentiel SNTF chapitre 6. Géométrie de la voie
Limite Exceptionnelle (m)	0.25*V² =6400m	

Remarque :

Au point de changement de pente lorsque la déférence algébrique des déclivités est inférieure à 2‰ (cette valeur peut être portée à 4‰ lorsque la vitesse est inférieure ou égale à 60 km/h d'après la référence IN0272). on ne fait pas le raccordement circulaire.

VI.4. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :

Pour faire un bon tracé de projet on doit tenir en compte plusieurs conditions :

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

VI.5. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN :

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

• Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan (Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe)).

• Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.

• Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.

• Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité.

• Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.

VI.6. PARAMETRES CINEMATIQUES DU PROFIL EN LONG :

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

Tableau VI. 3 : Valeurs standards des paramètres cinématiques.

	Valeur maximale normale	**Valeur maximale exceptionnelle**
Vitesse (Km/h)	160	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	8960	6400
Longueurs minimales des pentes/rampes	80	64
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie	25 ‰	
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement	0 ‰	/

VI.7. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG :

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

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

Mais pour un grand rayon (R≥ 4000m) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X, surtout lorsqu'il s'agit d'un carré (y2→ 0) d'où on obtiendra une équation de parabole : $\mathbf{y = x^2/2R}$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

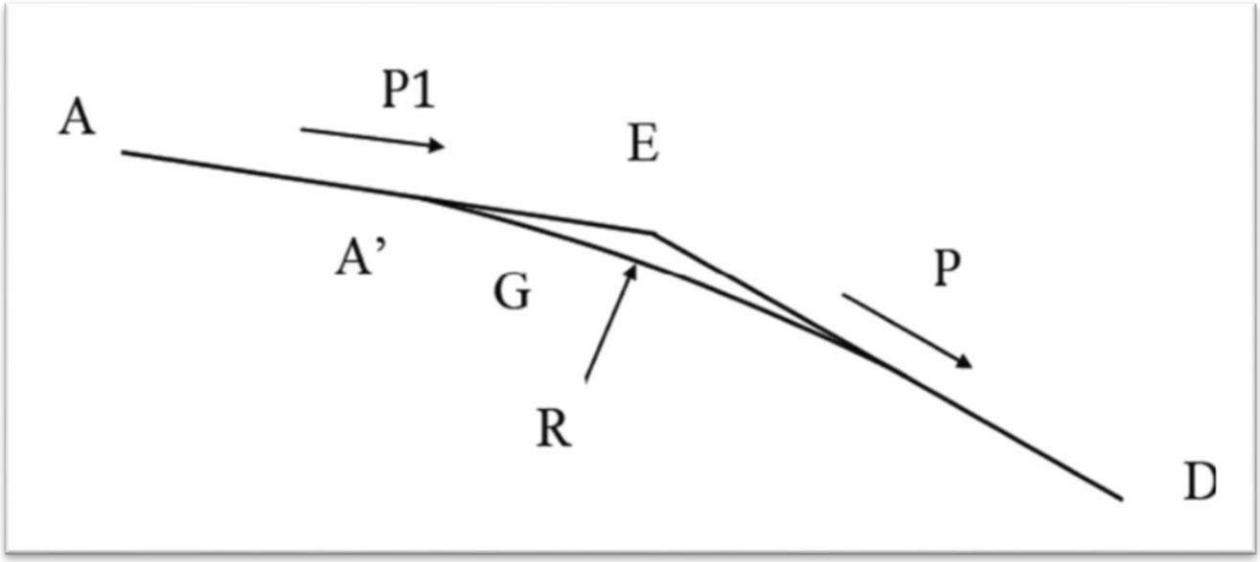


Figure VI.2 : les éléments d'un raccordement en long

- ✓ A' et B' : Extrémités du raccordement.
- ✓ T : Tangente de part et d'autre du sommet.
- ✓ G : Milieu de raccordement situé sur la variante.
- ✓ A et B : deux points connus sur P1 et P2.
- ✓ F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche).
- ✓ X : Distance entre le sommet et un point A surP1.
- ✓ (α+β) : angle de variation, ou de changement de direction.
- ✓ O : Centre du cercle de rayon R.
- ✓ E : Sommet ou point de changement de déclivité.
- ✓ L : Distance entre les deux points A et B.

Pour l'exemple de calcul on prend les coordonnées des points de profil en long suivantes :

Tableau VI. 4 : les coordonnées des points de profil en long (exemple).

Points	S(m)	Z(m)	Rayon(m)
A	59702.93	1098.248	19000
E	61443.68	1098.248	
B	63191.25	1080.486	

- **Calcul des pentes :**

$$P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1} = \frac{1098.248 - 1098.248}{61443.68 - 59702.93} = \frac{0}{1740.75} = 0\ ‰$$

$$P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = \frac{1080.486 - 1098.248}{63191.25 - 61443.68} = \frac{-17.76}{1747.57} = -10.2\ ‰$$

- **Calcul de la tangente T :**
  R=19000 m

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{R}}{2}(\mathrm{P}_1 - \mathrm{P}_2) = 96.55\ \mathrm{m}$$

- **Calcul de la flèche F :**

$$\mathrm{F} = \frac{\mathrm{T}^2}{2\mathrm{R}} = \frac{9321.903}{2*19000} = 0.245\ \ \mathrm{m}$$

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

$$\mathrm{Z_G} = \mathrm{Z_E} - \mathrm{F} = 1098.248 - 0.245 = 1098.003\ \mathrm{m}$$

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

$$\mathrm{PkA'} = \mathrm{PkE} - \mathrm{T} = 61443.68 - 96.55 = 61347.13\ \ \mathrm{m}$$

$$\mathrm{ZA'} = \mathrm{ZE} - \mathrm{P1.T} = 1098.248 - 0.00 * 96.55 = 1098.248\ \mathrm{m}$$

$$\mathrm{PkE'} = \mathrm{PkE} + \mathrm{T} = 61443.68 + 96.55 = 61540.23\ \mathrm{m}$$

$$\mathrm{ZE'} = \mathrm{ZE} - \mathrm{P2.T} = 1098.248 - 0.0102 * 96.55 = 1097.00\ \mathrm{m}$$

Remarque :

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

CHAPITRE VII :

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII.1. ETUDE GÉOLOGIQUE :

VII.1.1. INTRODUCTION :

L'étude géologique est nécessaire dans tout projet, elle nous permet de déterminer les caractéristiques géologiques (stratégiques et structurelles et hydrauliques) du site retenu pour le projet et les facteurs de stabilité ou d'instabilité des assises géologiques, ainsi de trouver les relations entre les facteurs géologiques, hydrauliques et géotechniques et leurs répercussions sur l'ouvrage projeté. Sans oublier la distinction entre les sites des matériaux susceptibles d'être réutilisés à ceux qui sont médiocres.

VII.1.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DE LA RÉGION :

La zone d'étude se place dans la zone structuro-sédimentaire des "hauts plateaux", c'est-à-dire l'avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intra-montagneux comme ceux de Telagh et de Tiaret.

La zone des "hauts plateaux" est délimitée au sud par l'Atlas Saharien, une chaîne de montagnes d'origine alpine né d'une subsidence entre les hauts plateaux et la Plate Forme Saharienne, et au nord par l'Atlas Tellien, une zone complexe de nappes constituées d'une série sédimentaire étendue du Jurassique au Miocène.

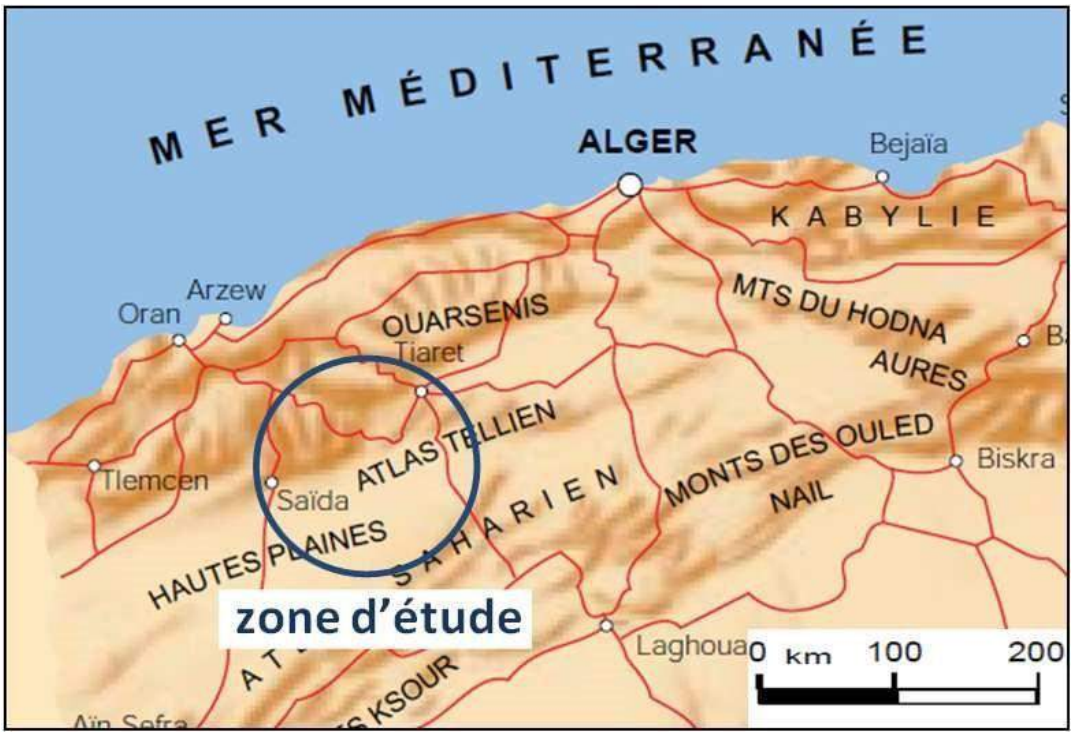


Figure VII.1 : Cadre des unités géologique-structurelles du nord d'Algérie

VII.1.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE NOTRE TRONCON :

Le projet de la ligne ferroviaire « **SAIDA – TIARET**) dont sa partie située entre PK 56+500 et PK 84+800 Il est situé près le village d'Ain Kermes, entièrement dans la Wilaya" de Saida. Il a un développement nord-sud du début du lot jusqu'au PK. 60+000 environ, tandis qu'un développement est-ouest du PK. 60+000 jusqu'à la fin du lot.

En particulier, le jurassique dans la zone est représenté par trois principaux groupes

de formations géologiques:

- Groupe Carbonaté Inférieur (Jurassique inférieur et moyen) ;
- Groupe Détritique des Hauts Plateaux (Callovien-Oxfordien) ;
- Groupe Carbonaté Supérieur (Jurassique supérieur et début du Crétacé).

En analysant les cartes géologiques (échelle 1/50000 ème), il a été mis en évidence les formations suivantes :

- Du PK 56+500 au PK 57+200 (GC /MA) : Calcaire gréseux, Calcaire marneuse et grés / Marne argileuse schisteuse compacte.
- Du PK 57+200 au PK 57+850 (T/GC/MA) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Calcaire gréseux, Calcaire marneuse et grés calcaire compacte / Marne argileuse schisteuse compacte.
- Du PK 57+850 au PK 60+900 (T/GC/CO) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Calcaire gréseux, Calcaire marneuse et grés calcaire compacte, Conglomérat cimenté alteré karstifié.
- Du PK 60+900 au PK 62+450 (T/ALL/CO) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Alluvion composées de sable brunates et argilles sableuse, Conglomérat cimenté alteré karstifié.
- Du PK 62+450 au PK 63+150 (T/ALL/GA/MA) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Alluvion composées de sable brunates et argilles sableuse, grés calcareuse marneuse, Marne argileuse schisteuse compacte.
- Du PK 63+150 au PK 64+150 (T/ALL/MA) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Alluvion composées de sable brunates et argilles sableuse, Marne argileuse schisteuse compacte.
- Du PK 64+150 au PK 64+750 (MA) : Marne argileuse schisteuse compacte.
- Du PK 64+775 au PK 75+500 (T/GA/MA) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, grés calcareuse marneuse, Marne argileuse schisteuse compacte.
- Du PK 75+500 au PK 80+500 (T/ALL/GC) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Alluvion composées de sable brunates et argilles sableuse, Calcaire blanchâtre, Calcaire gréseux, Calcaire marneuse et grés calcaire compacte.
- Du PK 80+500 au PK 83+865 (T/ALL/GA/MA) : Sable et encroutement gréso, Calcaire blanchâtre, Alluvion composées de sable brunates et argilles sableuse, grés calcareuse marneuse, Marne argileuse schisteuse compacte.

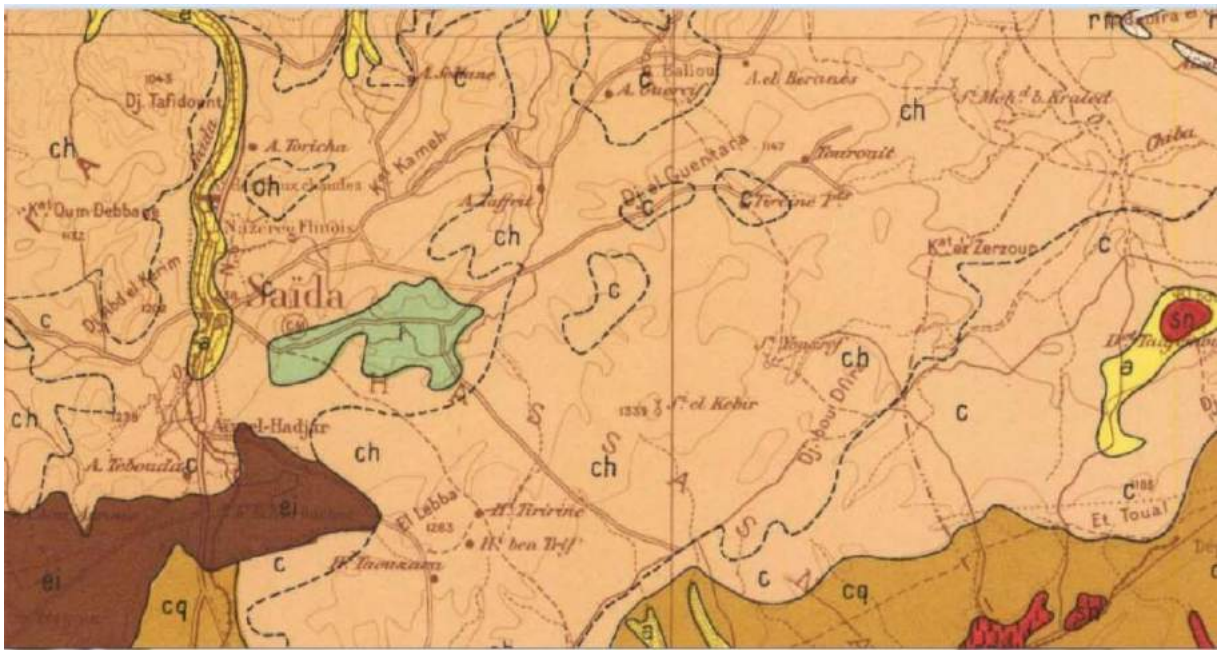
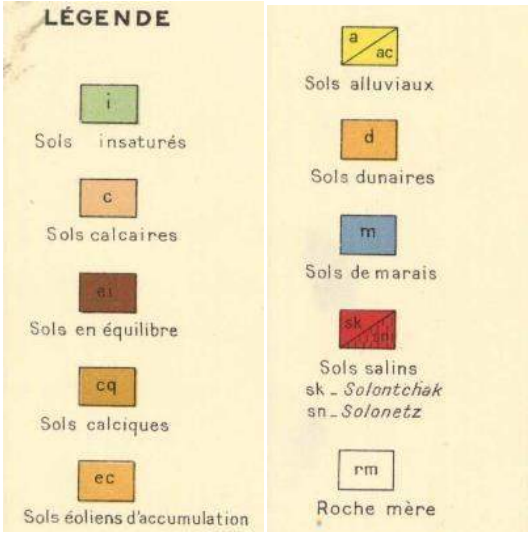


Figure VII.2 : Carte géologique de la zone d'étude



VII.1.4. CONCLUSION :

À l'échelle stratigraphique, les grands ensemble litho-stratigraphiques dans le secteur étudié, sont représentés par :

- **Sols Calcaires**
- **Les Argiles**
- **Les Grès**
- **Les marnes**

VII.2. ETUDE GEOTECHNIQUE :

L'étude géotechnique consiste à déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du sol devant accueillir le projet étudié. Et après l'analyse de tracé en plan et le profil en long de notre projet, un programme de reconnaissance géotechnique a été proposé par nous tout le long du tracé de la voie ferrée ainsi que les zones d'emprunt.

VII.2.1. Programme d'investigation géotechnique :

VII.2.1.1 Consistance des 'investigation géotechniques :

Ce programme d'investigation géotechnique doit permettre de :

- Classer les matériaux rencontrés et leurs conditions de réemploi en remblais et en couche de forme/réglage en sens de la classification GTR.
- Définition de la classe de portance de la plate-forme.
- Préciser les conditions hydrogéologiques du site (niveau de la nappe)
- Déterminer les conditions de stabilité et les pentes des déblais/remblais à adopter.
- La description lithologique et géotechnique des terrains constituant les zones de glissements et son environnement.
- La définition d'un système de fondation adéquat des 'ouvrages d'arts en fonction des éléments géotechnique obtenues.

Ce programme, consiste à l'exécution des investigations suivantes :

- Investigations in situ (puits, sondages carottés, essais pénétrométriques et pressiométrique, avec installation des piézomètres …)
- Prélèvements des échantillons intacts et remaniées.
- Réalisation des 'essais de laboratoire (essais d'identifications, essais mécaniques) sur chaque couche de terrain.

Les investigations sont réparties sur les lots suivants ;

1. Lot Voie ferrée
2. Lot ouvrage d'art.
3. Lot gite d'emprunt et carrières.

Tableau VII.1. : Consistance des 'investigation géotechniques

Essais	Lot Voie ferrée	Lot ouvrage d'art	Lot gite d'emprunt et carrières.
Essais in-situ	– Puit de reconnaissance	-Sondages carottés et essais SPT -Sondages pressiométriques - essais pénétrométrique piézomètre	Puits de reconnaissance prélèvement à partir des talus ou front de taille
Essais en laboratoire	Essais physique sur : Sol/roche Essais mécaniques sur : Sol/roche Essais chimiques sur sol	Essais physique sur : Sol/roche Essais mécaniques sur : Sol/roche Essais chimiques sur sol	Essais physique sur : Sol/roche Essais mécaniques sur : Sol/roche Essais chimiques sur sol /Roche

VII.2.1.1.1. Lot Voie ferrée :

VII.2.1.1.1.1. Reconnaissance de portance de la plate-forme :

A. Essais in situ :

Pour la classification de la plate-forme d'emprise du tracé ; des puits de reconnaissance seront creusés, à l'aide d'une pelle équipée en rétro, jusqu'à atteindre une profondeur de près de 3 mètres. Ils seront de préférence placés dans des profils à petit hauteur.

B. Essais en Laboratoire :

Les essais en laboratoire à exécuter à partir des échantillons recueillis dans les puits de prospection, seront ceux qui figurent ci-dessous, parmi tant d'autres qui s'avèreraient nécessaires à une bonne caractérisation géotechnique :

- **Essais d'identification** : analyse granulométrique par procédé de tamis, limites d'Atterberg, la détermination de la teneur en eau naturel et de la valeur du bleu de méthylène.

- **Essais Proctor Modifié** : sera déterminé au γd maximum et la teneur en eau correcte des matériaux.

- **Essais de Poinçonnement CBR** : La détermination d'indice portant des sols.

Les essais seront élaborés par explosion de 3 échantillons moulés, aux valeurs proches de celles obtenues lors des essais Proctor.

- **Essais en Laboratoire sur Echantillons Rocheux**
  - Densité apparente.
  - Los angles- micro-deval.

Tableau VII. 02 : Puits de reconnaissance

sondage	PK(ETUDE)	Profondeur	Coordonnées prévu	
			X(m)	Y(m)
P01	**57+700**	3	3737068.30	733149.74
P02	**61+275**	3	3734218.53	731321.10
P03	**64+540**	3	3730987.30	730842.27
P04	**66+335**	3	3732840.07	731013.45
P05	**72+297**	3	3718926.79	729732.63
P06	**75+400**	3	3720182.93	729848.20
P07	**77+781**	3	3718891.93	729729.44
P08	**81+657**	3	3714725.17	730266.02
P09	**84+290**	3	3712045.83	730201.65

VII.2.1.1.2. Les terrassements déblais/remblais :

VII.2.1.1.2.1 Essais in situ :

Pour l'étude de la stabilité des déblais et remblais, l'investigation géotechnique sera comme suit :

- Un sondage carotté au niveau de chaque déblai et remblai considérable avec installation d'un piézomètre.
- Essais pénétrométriques type Standard pénétration (SPT) chaque deux (02) mètres.

Tableau VII. 03 : Localisation des investigations pour les remblais importants

Remblai/Glissement				Coordonnées (m)	
Pk/ profil	Hauteur max	Sondage	Profondeur	X(m)	Y(m)
57+035	7.30	SC 01	15	3737198.84	733531.17
67+867	7.25	SC 02	15	3727188.68	730493.73
69+619	5.22	SC 03	15	3726421.83	731396.14
72+900	8.47	SC 04	15	3722174.94	730031.47
76+650	9.38	SC 05	15	3718439.74	729701.68
84+510	6.95	SC 06	15	3710730.94	729813.87

Tableau VII. 04 : Localisation des investigations pour les déblais importants

Déblai/glissement				Coordonnées (m)	
Pk/ profil	Hauteur max	Sondage	Profondeur	X(m)	Y(m)
59+650	7.56	SC 01	15	3735308.74	731602.06
63+950	5.00	SC 02	15	3731087.58	730851.41
78+270	12.2	SC 03	20	3716823.56	729782.35
79+950	6.56	SC 04	15	3715620.81	730034.37
81+625	6.54	SC 05	15	3713188.22	730408.06

VII.2.1.1.2.2. Essais en Laboratoire :

- Essais physiques (densité, teneur en eau, plasticité et granulométrie).
- Essais mécaniques (essais de cisaillement CD ou CC, essai œdométrique pour les remblais).

VII.2.1.1.3. Lot Ouvrages d'Art :

Pour le lot ouvrage d'arts, l'investigation géotechnique sera comme suit :

VII.2.1.1.3.1 Essais In situ :

- Des sondages carottés de profondeur variable selon le type d'ouvrage avec installation d'un piézomètre et la réalisation des essais SPT chaque 2 mètres.
- Il sera prélevé ou moins 04 échantillons intacts par sondage en vue de la réalisation d'essais en laboratoire.

Ce programme est applicable sur l'ensemble des différents types d'ouvrage présentés dans le tableau suivant (Tableau V*II.* **5** : localisation des investigations pour les ouvrages), soit : passages supérieurs , ouvrage de soutènement, Pont).

VII.2.1.1.3.2. Essais de laboratoire :

❖ **Essais physico-chimiques :**

- Analyses granulométriques et Sédimentométrie sur tous les échantillons ;
- Mesure des densités sèches (γs) humide (γh) et du degré de saturation (Sr).
- Limites d'Atterberg pour déterminer la teneur en eau naturelle (Wn), la limite de liquidité (WL) et l'indice de plasticité (Ip) ;
- Analyse chimiques sommaires sur quelques échantillons pour l'évaluation du degré d'agressivité du sol vis-à-vis les fondations des ouvrages d'art.

❖ **Essais mécaniques :**

- Essai de cisaillement drainé et non drainé pour déterminer les cohésions et angles de frottement correspondants. Ce type d'essai permet de calculer les contraintes admissibles et les charges nominales pouvant être supportées par les sols présents sous les ouvrages d'art projetés.
- Essais de compressibilité à l'odomètre pour déterminer la compressibilité et le gonflement.

Tableau VII.05 : Localisation investigation pour les' Ouvrages

OUVRAGE D'AR	Pk / profil	Type de sondage	Profondeur (m)	Coordonnées (m)	
				X	Y
PONT-RAIL	**56+694**	**1** SC01 +SPT	15	3737224.52	733629.16
PONT-ROUTE	**59+369**	**1** SC02 + SPT	15	3735579.35	731672.04
PONT-ROUTE	**61+380**	**1** SC03 + SPT	15	3733633.01	731170.41
PONT-ROUTE	**62+835**	**1** SC04 + SPT	15	3732197.88	730953.33
Pont	**63+278**	**2** SC05 + SPT	20	3731756.09	730912.93
PONT-RAIL	**65+250**	**1** SC06 + SPT	15	3729793.05	730732.32
PONT-RAIL	**67+523**	**1** SC07 + SPT	15	3727526.91	730523.88
PONT-RAIL	**70+302**	**1** SC08 + SPT	15	3724763.29	730269.86
PONT-RAIL	**72+733**	**1** SC09 + SPT	15	3722338.81	730046.65
PONT-ROUTE	**74+490**	**1** SC10 + SPT	15	3720587.14	729885.37
PONT-RAIL	**76+459**	**1** SC11 + SPT	15	3718629.46	729711.19
PONT-ROUTE	**78+100**	**1** SC12 + SPT	15	3717023.11	729757.93
PONT-RAIL	**80+516**	**1** SC13 + SPT	15	3714633.64	730290.59
PONT	**83+432**	**2** SC14 + SPT	20	3711759.74	730118.42

Nomenclature des symboles ;

- SC : Sondage carotté avec piézomètre,
- SPT ; standard pénétration teste.

VII.2.1.1.4. Lot matériaux des gîtes d'emprunts et carrières :

Les principales directives appliquées dans le programme de recherche de matériaux de viabilité sont les suivantes :

- Prospection de matériaux pour assise de la voie.
- Implantation des prélèvements des gites.
- Exécution des puits jusqu'à une profondeur permettant de traverser les couches exploitables
- Prélèvement d'un échantillon remanié global de couche exploitable dans chaque puits
- Etablissement du plan de situation de l'emprunt avec précision des coordonnées géographiques des sites des emprunts qui seront relevés et bien définies dans le rapport géotechnique à établir.

Sur les échantillons prélevés, doit être effectué les essais suivants :

1. gîtes d'emprunts :

- Teneur en eau naturelle
- Analyse granulométrique par tamisage mécanique
- Limite d'Atterberg
- VBS
- Essai Proctor Modifié

2. Les agrégats des carrières :

- Analyses granulométriques
- Coefficient d'aplatissement
- Essai Los Angeles ➔ LA < 18 %
- Essai Micro Deval ➔ MDE <5 %
- Equivalent de sable
- Propreté superficielle
- La résistance à la compression ➔ RC > 14 KN/cm^2
- Resistance à l'attrition l'état sec DS et l'état humide DH
  ➔ DS > 14 (pierres durs) et DH > 6.

Tableau VII.06 : les essais pour matériaux extrait d'emprunt et carrière.

N° ART	DÉSIGNATION DES ESSAIS	QUANTITE DE PRELEVEMENT DE GITE ET CARRIERE		Norme
1	Essais in Situ :	GITE	CARRIERE	/
	1-1 Prélèvement de reconnaissance	3	1	
2	Essais en laboratoires			
	2-1 Essais physiques			
	2-1-1 Teneur en eau	3	/	NF P 94-050
	2-1-2 Essais granulométriques	3	4	NF P 94-056
	2-1-3 Equivalent de sable	/	1	NF P 933-8
	2-1-6 coefficients d'aplatissement	/	2	NF P 933-3
	2-1-7 Propreté superficielle	/	2	NF P 18-591
	2-2 Essais mécaniques :			
	2-2-1 Essais de Proctor modifié	3	/	NF P 94-093
	2-2-2 Essai Los Angeles	/	2	NF P 1097-1
	2-2-3Essai Micro Deval	/	2	NFP1097-1/A1

Tableau VII.7 : localisation de gite et carrière

Gite	Lieu (commune)	Coordonnées prévu	
		X(m)	Y(m)
Carrière	Ain kermes	3734369.54	735417.84
Gite	Sidi Abderrahmane	3736809.88	720457.87



Figure VII.3. Carrière de Ain kermes

VII.2.2. CONCLUSION :

Ce programme a été pas réalisé , Pour cela on a récupéré les données géotechniques de l' entreprise pour adapter notre programme avec la compagne géotechnique.

Le programme 'investigation géotechnique établi pour les différents lots a pour objectif ;

- Reconnaissances et description des conditions lithologique et géo-mécanique de sols et roches rencontrés,

- Exploitation et analyse des résultats des essais in-situ et en laboratoire,

- Description détaillée des conditions de la surface et des caractéristiques géotechnique intrinsèque de chaque unité géologique.

L'investigation sur site et au laboratoire doit aboutir à la reconnaissance et détermination des points suivants :

- classe et portance de sols de supports.

- pentes de terrassement déblai/remblais et leur stabilité.

- types de sols rencontrés au droit des ouvrages d'art ;

- type de fondation de tout ouvrage d'art.

- propriétés géo- mécanique des agrégats et matériaux des gites.

Ce programme d'investigation pourra connaitre des modifications de localisation selon l'existence d'entraves sur site (réseaux d'assainissement, câbles d'électricité, conduites diverses ……).

VII.3. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE :

L'analyse du tracé en plan, profil en long, profil en travers et l'aperçu géologique ont permet d'établir un programme de reconnaissance, la liste des essais bien illustrés dans les tableaux suivants :

VII.3.1. Essais in situ :

Tableau VII.8. : programme de reconnaissance géotechnique (essai in situ).

Essai in situ	Nbr	PK	Localisation-Ouvrage	Objectifs
Sondages carottés	**15**	**56+679**	**Ouvrage ferroviaire PK56+679**	**Permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols Et déterminer la description lithologique**
		59+369	**La gare (KERMES) + Passage Supérieur (PK 59+369)**	
		61+275	**La gare (KERMES) + Passage Supérieur (PK 62+203)**	
		62+818	**Passage Supérieur**	
		63+278	**Ouvrage ferroviaire**	
		65+250	**Ouvrage ferroviaire**	
		67+506	**Ouvrage ferroviaire**	
		70+300	**Ouvrage ferroviaire**	
		72+715	**Ouvrage ferroviaire**	
		74+472	**Passage Supérieur**	
		76+441	**Ouvrage ferroviaire**	
		78+157	**Passage Supérieur**	
		80+497	**Ouvrage ferroviaire**	
		83+413	**Ouvrage ferroviaire**	
		83+846	**Passage Supérieur**	

Les puits de reconnaissance	**7**	62+248	Zone de Remblai (étude de la Stabilité) + plateforme	**Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés**
		64+350	**Zone de Remblai (étude de la Stabilité) + plateforme**	
		66+200	**Ouvrage hydraulique + plateforme**	
		69+600	**Zone de Remblai (étude de la Stabilité) + plateforme**	
		72+433	**Zone de Remblai (étude de la Stabilité) + plateforme**	
		75+712	**Zone de Remblai (étude de la Stabilité) + plateforme**	
		81+657	**Zone de Remblai (étude de la Stabilité) + plateforme**	
Sondages pressiométriques.	**2**	**56+693**	**Pont Rail**	**Effectuer les calculs de fondation**
		58+890	**Passage Supérieur**	
Essai SPT	**6**	**61+290**	**PONT ROUTE**	**Effectuer les calculs de fondation**
		72+733	**Pont Rail**	
		76+459	**Pont rail**	
		80+516	**Pont rail**	
		83+432	**Viaducs**	
		83+865	**Pont-Route**	

VII.3.2. Essais au laboratoire :

Tableau VII.9. : Compagne de reconnaissance géotechnique (Essais au laboratoire).

Essais au laboratoire	**Objectifs**
Analyse granulométrique	**Classification des sols**
Valeur au bleu de méthylène	**Et dimensionnement de la plateforme**
Essai Proctor modifié	**Déterminer la teneur en eau optimal**
Détermination de la teneur en eau	**Déterminations Les paramètres mécanique Pour étude stabilisation des**
Essai de compressibilité à l'œdomètre	**Remblais et déblais**
Essai de cisaillement rectiligne à la boite	**Etude tassement des sols**
Valeur au bleu de méthylène	**Mesurer la capacité des éléments fins**

VII.3.1 ESSAIS IN SITU :

VII.3.1.1 Les Sondages Carottés :

Cet essai permet d'observer la succession des couches de sol et les éventuelles venues d'eau. A la différence d'un sondage destructif ou à la tarière, le sondage carotté permet de conserver une « image » de la succession des couches, de déterminer la nature des formations en place et de récupérer des échantillons intacts qui ont été transmis au laboratoire pour subir les différents essais physiques et mécaniques.



Figure VII.4. : photos de sondage ST2270 (source : rapport géotechnique). [9]

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII- 10 : les résultats de l'essai carottage.

Sondages	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
ST 2270	56+679	0.0 – 1.6	Terre végétale, tuff argilo-gréseux
		1,60 – 3.00	Grès calcaire sain très compact intercalé par des bandes 10/20cm de marne argileuse
		3.00 – 5.00	Grés limoneux très compact très disloqué rougeâtre
		5.00 – 15.00	Marne verdâtre compacte à très compacte en alternance avec des grès calcaires rougeâtre sain très compact ;
ST 2280	58+875	0.0-1.00	Terre végétale
		1.00-11.50	Tuff carbonaté localement calcaireux compact à très compact parfois caillouteux blanchâtre à rougeâtre
		11.50-15.00	Conglomérat à matrice argilo-tuffeuse compacte à très compacte
STD-8	59+625	0.0-0.80	Terre végétale
		0.80-1.40	Tuff caillouteux avec des passages de sable tuffeux
		1.40-10	Tuff calcaire sopact à très compact alterné par des bandes de 50 cm de tuff caillouteux
ST 2290	61+275	0-0.70	Terre végétale
		0.70-1.4	Terrain Sableuse et argileuse
		1.40-2.10	Calcaire Sableuse fracturé
		2.10-3.50	Sable limoneuse
		3.50-6.30	Argile limoneuse
		6.30-10	Argile compacte
		10.0-15.0	Alluvion (cayux-gravier-limo-sable)
ST 2300	62+818	0.00-4.80	Argile, sable limoneux
		4.80-5.50	Blocs gréseux dans une matrice argileuse ;
		5.50-11.10	Gres fracturé à faible cimentation
		11.10-15	Marne grisse à marron compacte
ST 2310	65+250	0.0-0.60	Terre vègètalè
		0.60-1.80	Tuf carbonatique, sableux de coloration blanchatre;
		1.80-15.00	Gres carbonatique avec intercalation de terrain argilleuse de coloration blancatrè
ST 2320	67+506	0.00-0.40	Terre vègètalè
		0.40-1.20	Sable et carbonatique ;
		1.20-15.00	Grés calcaires, après gres sain et compact avec couche sableuse et couche d'argille.
ST 2330	70+300	0.00-0.50	Terre végétale
		0.50-1.00	Tuf carbonatique blanchâtre plus au moins sableux ;
		1.00-7.80	Gres fracturè et broyè intercalè
		7.80-15.00	Marne compacte grise

ST2340	72+715	0.00-0.20	Terrain végétal de coloration maron
		0.20-1.10	Grés marron
		1.10-2.20	Terrain carbonatique blancatre avec passage gresseuse
		2.20-15.00	Argille marneuse de coloration claire avec une couche gresseuse
ST2350	74+472	0.00-0.20	Terre végétale ;
		0.20-0.80	Sable fin et propre
		0.80-4.00	Sable argileux légèrement carbonatique avec des morceaux de grès,
		4.00-11.20	Marne argileuse compacte de coloration marron
		11.20-12.10	Grés marron
		12.10-20.00	Marne calcaire compacte de coloration grise
ST2360	76+441	0.00-0.20	Terre végétale ;
		0.20-1.50	Terrain tuffeux carbonatique blanchâtre
		1.50-3.80	Argile marneuse
		3.80-5.00	Passage grèseux de 20 cm, argile marneuse et grès sain et compact marron claire avec de petites intrusion argileuses
		5.00-15.00	Argile marneuse intercallèe avec des couches grèseuses.
ST2370	78+175	0.00-0.20	Terre végétale
		0.20-1.80	Argile carbonatique
		1.80-20.00	Marne compacte de coloration marron7verdatre avec des intercalations de pelites couches de grès
ST2380	80+497	0.00-1.80	Terre végétale de coloration marron, argile limoneuse à sableuse avec des passages carbonatiques à partir de 1,00 m :
		1.80-6.00	Sable faiblement cimenté, bariolé avec des intercalations argileuses
		6.00-6.90	Marne compacte de coloration gris
		6.90-8.90	Grés à grains fins légèrement marneux et carbonatique ;
		8.90-10.80	Marne compacte de coloration gris ;
		10.80-15.00	Gres calcaire fins fracturées avec remplissage calcitique.
ST1060	83+413	0.00-2.00	Sable fin limoneux
		2.00-3.80	Argile sableuse
		3.80-11.10	Sable avec galets de petite taille ;
		11.10-15.00	Sable limoneux de coloration claire.
ST2390	83+846	0.00-2.10	Sable et argile incrustès de blocs grèseux ;
		2.10-20.00	Alternance de couches argileuse avec des couches sableuses.

VII.3.1.2. Essai SPT :

Essais SPT Au cours des forages, ont été effectués des essais de pénétration dynamique SPT. Les essais SPT-Terzaghi consistent à l'enfoncement, à travers des coups donnés par un pylône avec poids et hauteur de chute normalisée, d'une pointe normalisée liée à un échantillonneur spécial. Cet essai a deux phases : la première pour une pénétration de 15 cm et la seconde pour une pénétration de 30 cm. A la fin de chaque phase, on enregistre le nombre de coups nécessaire à la pénétration ; l'essai se termine après la conclusion de la 2ème phase ou lorsque le nombre de coups atteint 60 et, dans ce cas, on fait l'enregistrement de la pénétration obtenue.

Les résultats d'essais SPT ont permis la caractérisation géotechnique de formations cohérentes argileuses et marneuses quant à la consistance et des formations incohérentes sableuses quant à la compacité.

Les résultats d'essais SPT ont permis la caractérisation géotechnique des formations incohérentes sableuses quant à la compacité (Tableau VII-10) et de formations cohérentes argileuses et marneuses quant à la consistance (Tableau VII-11).

Tableau VII- 11 : compacité des sables.

N_{SPT}	compacité
0-4	Très peu compact
4-10	Peu compact
10-30	Moyennement compact
30-50	Compact
>50	Très compact

Tableau VII- 12 : consistance de l'argile.

N_{SPT}	Consistance	Résistance à Compression Simple (kN/m^2)
<2	Très molle	<25
2-4	Molle	25-50
4-8	Consistance moyen	50-100
8-15	Consistance	100-200
15-30	Très consistance	200-400
>30	Dure	>400

- **Interprétation des résultats :**

Tableau VII- 13 : compacité des sables.

PK	Hauteur	Nspt	Classe de sol
61+290	3.20-3.65	53	Très compact
	8.50-8.95	29	Compact
72+733	3.25-3.70	28	Compact
	6.00-6.45	33	Compact
76+459	3.05-3.50	55	Très compact
	6.30-6.75	51	Très compact
80+516	3.00-3.04	60 ®	Très compact
83+432	3.05-3.50	59	Très compact
	6.30-6.75	49	Compact
83+865	3.30-3.75	87	Très compact
	10.50-10.95	135	Très compact

VII.3.1.3. Les puits de reconnaissance :

Cet essai permet une exploration visuelle des couches supérieures, (07) puits ont été exécutés. Les puits sont réalisés à l'aide d'un Rétro - chargeur tout au long du tracé (endroits accessibles). Sur une profondeur de 3m.



Figure VII. 6 : photos puit de reconnaissance PU17-AT (source : rapport géotechnique). [9]

Le tableau ci-après présente des extrais des résultats obtenus le long du tronçon étudié :

Tableau VII. 14 : localisation des puits de reconnaissance et description lithographique

Puits de reconnaissance	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
PU18-AT	62+248	0.00-0.30	Terrain végétale
		0.30-1.80	Tuf sableux, formé par des sables brunes et marrons et Encroûtements calcaires blanchâtres
		1.80-2.00	Alluvions graveleuses avec encroutements blanchâtres
PU19-AT	64+350	0.00-0.50	Terrain végétale
		0.50-2.30	Tuf (Sable calcaire marron avec veines blanchâtre, faiblement addensé)
		2.30-2.80	Alluvions graveleuses avec encroutements blanchâtres
PU20-AT	66+200	0.00-0.30	Terrain végétale
		0.30-2.50	Marnes argileuses de couleur ocre avec fractures remplis de calcite
PU21-AT	69+600	0.00-0.50	Terrain végétale
		0.50-2.6	Sables et argiles sableuses remaniées, de couleur orange, avec encroûtements calcaires blanchâtres
PU22-AT	72+433	0.00-0.60	Terrain végétale
		0.60-3.00	Marnes argileuses sableuses de couleur gris, avec intercalations gréseux
PU23-AT	75+712	0.00-0.30	Terrain végétale
		0.30-1.80	Marnes argileuses de couleur ocre avec fractures remplis de calcite
PU24-AT	81+657	0.00-0.50	Terrain végétale
		0.50-2.00	Sables et argiles sableuses remaniées, de couleur orange, avec encroûtements calcaires blanchâtres

- **VII.3.1.4. Essai pressiométrique Menard (NF P 94-110-1) :**

Cet essai consiste à dilater radialement une cellule cylindrique placée dans un forage préalable, c'est la réalisation dans un forage préalable qui différencie essentiellement cet essai des autres essais pressiométriques réalisés par auto forage ou par fonçage direct de la sonde par battage ou vérinage.

Les résultats expérimentaux relevés par l'opérateur ou enregistrés sont interprétés par ordinateur, le programme calcule la courbe corrigée qu'il présente puis les caractéristiques pressiométriques EM et Pl.

Les valeurs de EM et Pl déterminées sur un forage sont ensuite présentées sur un profil en fonction de la profondeur, ce profil est appelé profil pressiométrique. [10].

PK 56+679 :

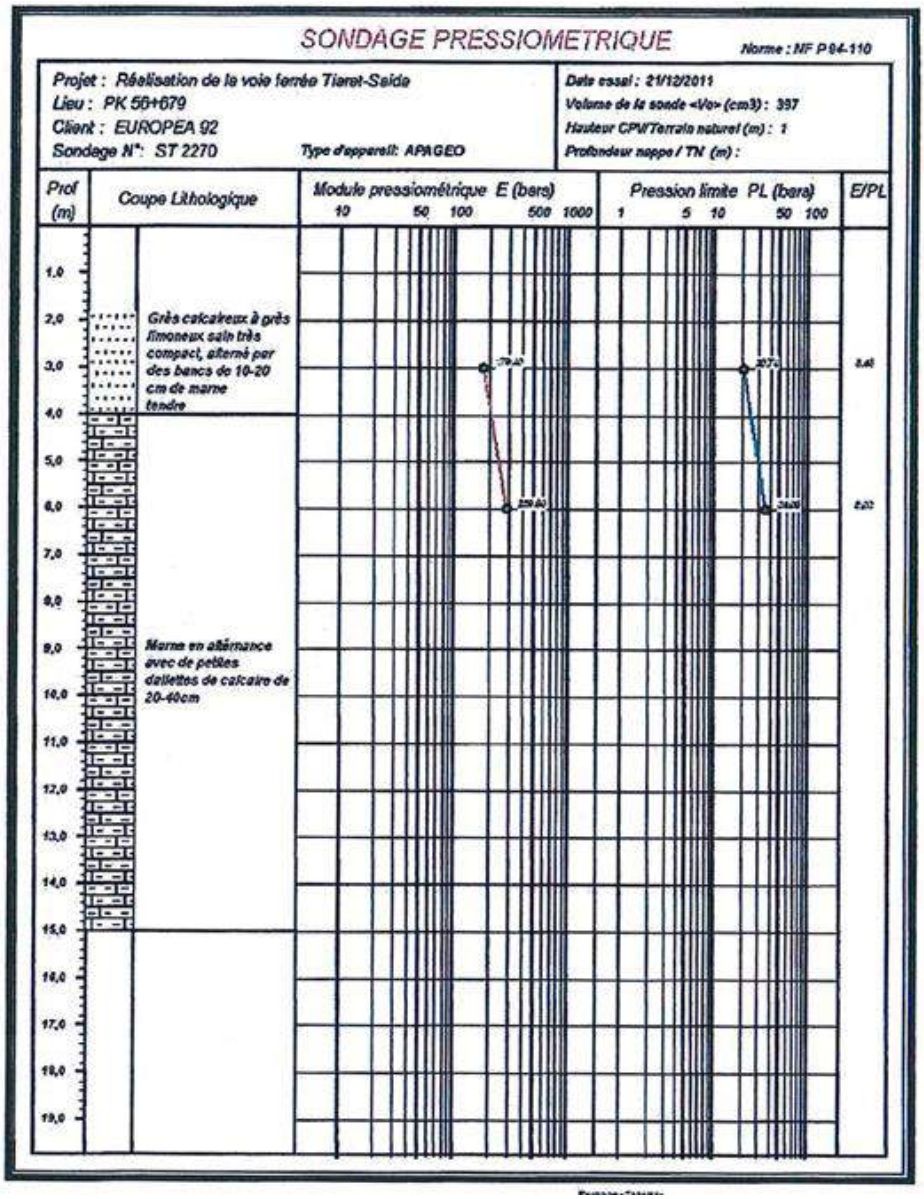


Figure VII. 7 : Résultat de l'essai SP (source : rapport géotechnique)

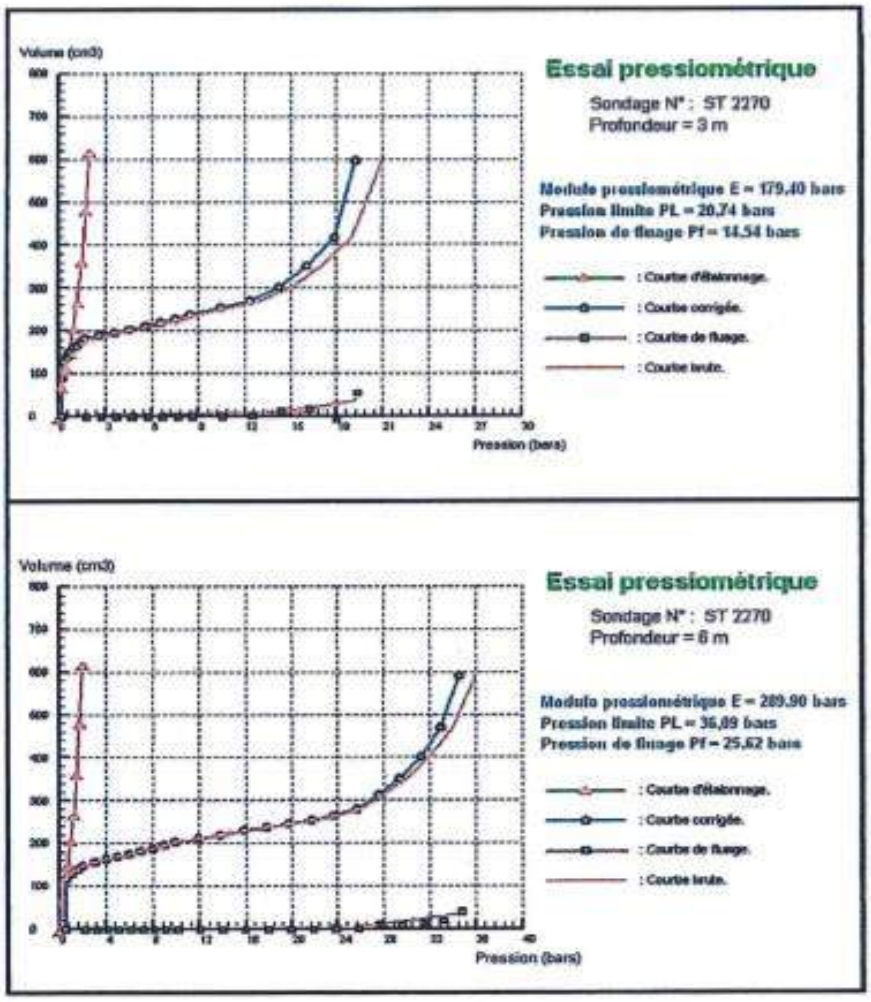


Figure VII.7 : Résultat de l'essai pressiomètre (source : rapport géotechnique)

PK 58+890 :

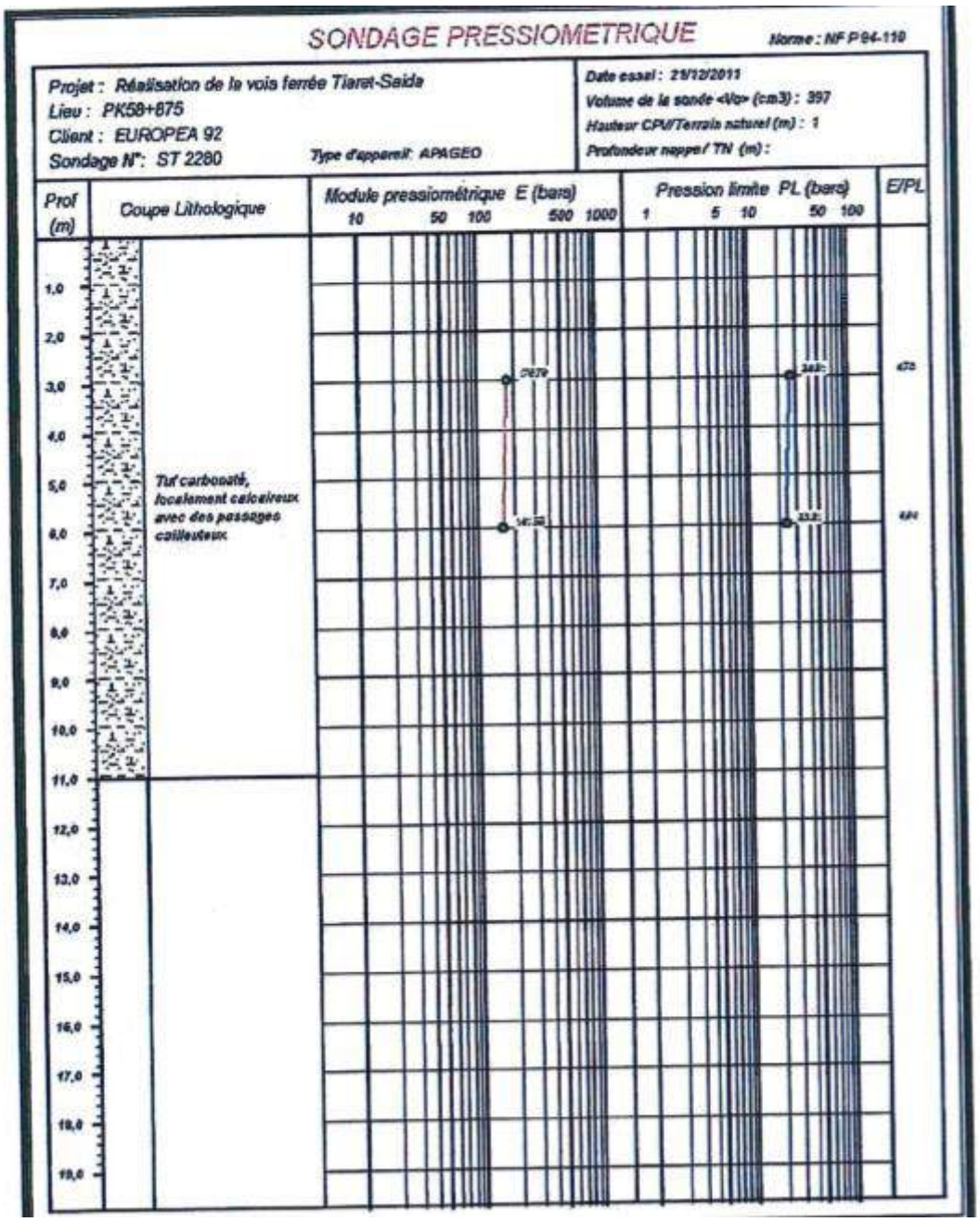


Figure VII. 7 : Résultat de l'essai SP (source : rapport géotechnique)

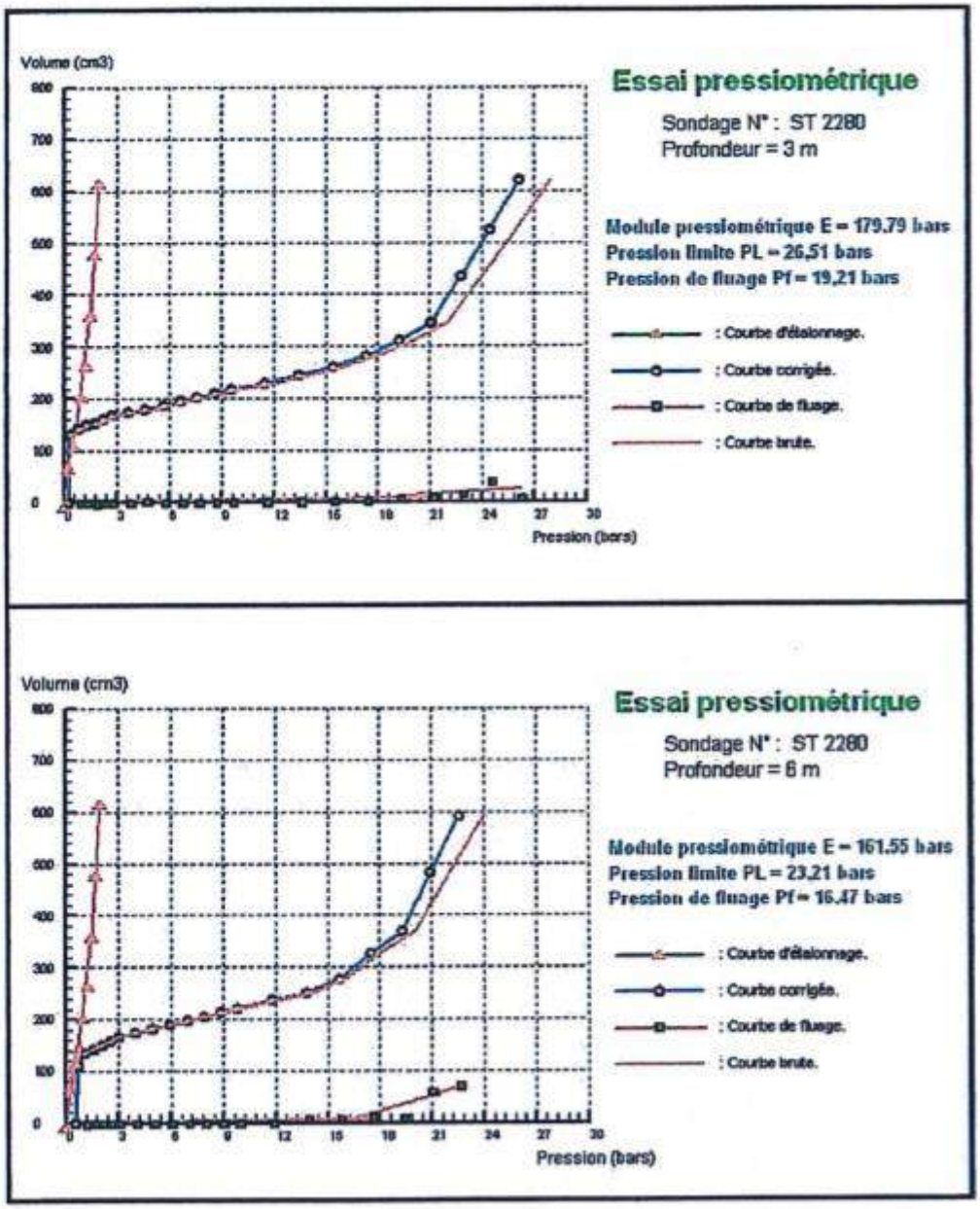


Figure VII. 7 : Résultat de l'essai SP (source : rapport géotechnique)

VII.3.2 ESSAIS AU LABORATOIRE :

Tous les échantillons prélevés dans les sondages et les puits de reconnaissance durant la campagne de reconnaissance, ont été transportés au niveau du laboratoire. Les essais ont été exécutés sur des échantillons intacts ou remaniés, ont subi des analyses pour une identification Physico-chimique, et la détermination des caractéristiques mécaniques du sol étudié.

VII.3.2.1. Essais d'indentification :

- **Analyse granulométrique (NF P94-056) / (NF P94-057) :**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de taille différente dans le sol. Elle s'effectue au laboratoire par :

- ✓ Le tamisage : pour les particules à dimension supérieure à 80 μm.
- ✓ Analyse sédimentométrique : pour les particules à dimension inférieure 80 μm.

- **Essai Proctor modifié (NF P94-093) :**

L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale, On appelle optimum Proctor, la teneur en eau (ω) pour laquelle le sol atteint, pour une énergie de compactage donné, un poids volumique maximal.

VII.3.2.2. Essais physiques :

- **Détermination de la teneur en eau (NF P94-050) :**

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique d'eau dans le sol étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 100 grammes de sol sec. Cette information importante permettra de décider du traitement ou de compactage à apporter au sol.

VII.3.2.3. Analyse chimique :

- **Valeur au bleu de méthylène (NF P94-068) :**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber du bleu de méthylène. Cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. (Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, les matière organiques et hydroxydes de fer).

VII.3.2.4. Essais mécaniques :

- **Essai de compressibilité à l'œdomètre (XP P94-090-1) :**

L'essai œdométrique permet d'évaluer l'amplitude de tassement des ouvrages ainsi que son évolution dans le temps. Il consiste à :

- Placé le sol dans une enveloppe rigide.
- Exerce une pression variable à l'aide d'un piston.
- Mesure les affaissements observés. C'est la relation $\sigma = f(\varepsilon)$.

Tableau VII. 15 : classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1)

C_c	Compressibilité
<0.02	Incompressible
0.02 à 0.05	Très peu compressible
0.05 à 0.10	Peu compressible
0.10 à 0.20	Moyenne compressible
0.20 à 0.30	Assez fort compressible
0.30 à 0.40	Très compressible
>0.40	Extrêmement compressible

- **Essai de cisaillement rectiligne à la boite (NF P 94-071-1) :**

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boite de cisaillement constituée de deux demi-boites indépendantes. Le plan de séparation des demi-boites constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette sous l'effort (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai,
- Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boites l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δ_l à vitesse constante,
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.

Le but de l'essai est d'obtenir les paramètres (C ; $\varphi\varphi$) pour traiter les problèmes d'instabilités (rupture et glissement) due à la réalisation des remblais sur sols compressibles.

- **Essai de Resistance a la compression**

La résistance à la compression est la capacité d'un matériau ou d'une structure à supporter les charges qui tendent à réduire sa taille par compression (écrasement).

VII.3.3. Résultats des essais au laboratoire :

- **Les sondages carottiers :**

Les résultats des essais de laboratoire pour les échantillons prélevés des sondages carottés et des puits de reconnaissance (Analyse granulométrique, Limites d'ATTERBERG, Détermination de la teneur en eau, Masses volumiques) les sondages carottiers

1. **Humidité :**

Légende :

W : teneur en eau

γh : Densité humide.

γd : Densité sèche.

Sr : Degré de saturation

Tableau VII.16 : Résultats de l'essai physique au laboratoire (1). [9]

PK	Profondeur (m)	ω %	γ_h t/m^3	γ_d t/m^3	Sr %	Interprétation des résultats suivant la Norme XP 94-011
58+875	3.00-3.60	14.07	3.365	2.073	100	Sol très dense et saturé
61+275	2.50-3.00	16.35	2.085	1.792	87.10	Sol dense non saturé
	7.40-8.00	13.74	2.08	1.82	77.75	Sol très dense non saturé
70+300	8.15-8.65	16.57	2.035	1.741	81.19	Sol peu dense non saturé
72+733	3.25-3.50	18.6	2.08	1.76	98.056	Sol proche a la saturation, dense
	5.00-5.30	20.47	2.07	1.718	96.66	Sol proche a la saturation, dense
	6.00-6.20	17.88	1.89	1.60	70.20	Sol non saturé, peu dense
74+490	3.00-3.70	25.88	1.957	1.554	100	Sol peu dense et saturé
	10.00-10.70	23.35	1.842	1.493	94.19	Sol peu dense et non sauré
76+441	5.00-5.30	19.07	2.13	1.788	100	Sol saturé dense
	6.30-6.75	14.61	2.105	1.836	83.77	Sol non saturé très dense
	10.00-10.35	15.90	2.175	1.876	97.73	Sol proche a la saturation, très dense
	14.70-15.00	16.14	2.115	1.821	90.30	Sol non saturé très dense
78+157	7.00-7.70	25.15	1.952	1.558	100	Sol peu dense et saturé
80+516	10.00-10.30	12.68	2.197	1.949	88.82	Sol non saturé très dense
83+413	3.00-3.25	17.32	2.05	1.747	85.70	Sol non saturé dense
	5.00-5.30	15.83	1.976	1.705	73.21	Sol non saturé dense
	6.20-6.50	12.86	2.115	1.874	78.75	Sol non saturé très dense
	10.00-10.30	17.65	2.00	1.80	81.00	Sol non saturé dense
83+459	4.00 – 4.50	21.55	2.012	1.655	44.18	
	8.00 – 8.50	16.37	2.174	1.867	89.03	
	13.00 – 13.50	15.305	2.019	1.751	76.22	Sol dense, non saturé
	15.00 – 15.50	15.67	2.07	1.79	83.32	
	18.00 – 18.50	17.26	-	-	-	
83+846	9.00-9.90	16.70	2.081	1.782	87.60	Sol peu dense et saturé

2. Granulométrie par tamisage :

Légende :

% < 2 mm : Pourcentage des passants inférieur à 2 mm ; **% < 80 µ** Pourcentage des passants inférieur à 80 µ.

Tableau VII.17 : Résultats de l'essai Granulométrie par tamisage (1). [9]

PK	Profondeur (m)	% < 2 mm	% < 80 µ	Interprétation des résultats Suivant la norme XP 94-011
58+875	3.00-3.60	87.27	69.30	A2
61+275	2.50-3.00	88.74	57.70	A1
	3.2-3.65	76.50	54.57	A1
	7.40-8.00	83.40	62.10	A2
	8.50-8.95	92.84	87.07	/
70+300	8.15-8.65	72.40	69.47	A2
72+733	3.25-3.50	99.23	97.56	A2
	5.00-5.30	99.80	99.40	
	6.00-6.20	99.83	98.80	
74+490	3.00-3.70	100	87.00	A2
	10.00-10.70	100	100	
76+441	5.00-5.30	92.73	91.50	A2
	6.30-6.75	96.63	93.80	
	10.00-10.35	98.80	97.66	
	14.70-15.00	99.90	99.20	
78+157	7.00-7.70	99.50	97.00	A2
80+516	10.00-10.30	-	100	A2
83+413	3.00-3.25	98.77	78.48	$A2_{ts}$
	5.00-5.30	98.50	81.03	
	6.20-6.50	87.62	52.02	
	10.00-10.30	100	48.06	
83+846	4.00 – 4.50	100	60.96	A2
	8.00 – 8.50	99.06	59.66	
	9.00-9.90	99.37	88.67	

3. **Limite d'Atterberge** :

Légende :

W_L : Limite de liquidité **; W_P :** Limite de plasticité **; I_P :** Indice de plasticité

Tableau VII.18 : Résultats des essais au laboratoire (2). [9]

PK	Profondeur (m)	WL %	WP %	Ic %	Ip %	Obs
58+875	3.00-3.60	37.84	22.91	1.59	14.93	Sol peu plastique
61+275	2.50-3.00	32.94	24.82	2.04	8.12	Sol peu plastique
	3.2-3.65	30.87	19.26	-	11.61	
	7.40-8.00	27.89	12.65	1.70	15.24	
	8.50-8.95	-	-	-	-	
70+300	8.15-8.65	41.79	26.41	1.63	15.38	Sol peu plastique
72+733	5.00-5.30	38.5	21.9	1.08	16.6	Sol peu plastique
	6.00-6.20	36.6	20.9	1.19	15.7	

74+490	3.00-3.70	45.84	22.69	0.90	22.35	Sol peu plastique
	10.00-10.70	44.05	24.79	1.07	19.26	
76+441	5.00-5.30	46.9	33.2	2.03	13.70	Matériau Insuffisant
	6.30-6.75	49.8	33.9	2.21	15.90	
	10.00-10.35	45.87	32.30	2.20	13.57	Sol peu plastique
	14.70-15.00	50.69	34.03	2.07	16.66	Dure
78+157	7.00-7.70	42.89	20.77	0.80	22.12	Sol peu plastique
80+516	10.00-10.30	41.8	21.00	1.31	22.19	Sol peu plastique
83+413	3.00-3.25	-	-	-	-	
	5.00-5.30	-	-	-	-	
	6.20-6.50	48.64	29.62	1.88	19.02	Sol peu plastique
	10.00-10.30	51.75	30.49	1.60	21.26	Dure
83+432	4.00 – 4.50	33.71	14.51	0.70	17.26	Sol peu plastique
	8.00 – 8.50	26.64	14.39	0.83	12.25	
	13.00 – 13.50	23.99	9.65	0.60	14.34	
	15.00 – 15.50	28.8	18.34	1.25	10.46	
	18.00 – 18.50	23.78	13.30	0.62	10.48	
83+846	9.00-9.90	42.95	29.81	1.20	13.14	Sol peu plastique

4. Essai de cisaillement rectiligne à la boite :

Légende :

C'$_f$: Cohésion en bar ; φ'_f : Angle de frottement en degré.

5. Essai de cisaillement rectiligne à la boite :

Légende :

C_C : Coefficient de compressibilité.

Tableau VII.19 : Résultats des essais au laboratoire (2). [9]

PK	Profondeur (m)	Compressibilité à l'œdomètre		Essai de Cisaillement	
		C_C (%)	Compressibilité	C'$_f$ (Bar)	φ'_f (Degré)
58+875	3.00-3.60	-	-	0.36	21.26
70+300	8.15-8.65	9.30	Peu compressible	0.38	19.90
72+733	5.00-5.30	12.67	Moyenne compressible	0.49	12.91
74+490	3.00-3.70	11.39	Moyenne compressible	0.46	7.03
76+441	14.70-15.00	-	-	0.99	6.34
78+157	7.00-7.70	13.81	Moyenne compressible	0.80	6.01
80+516	10.00-10.30	-	-	0.74	11.50
83+413	5.00-5.30	16.78	Moyenne compressible	0.45	7.90

83+459	4.00-4.50	-	-	0.41	16.25
	13.00-13.50	-	-	0.39	18.70
	18.00-18.50	-	-	0.32	19.73
83+846	9.00-9.90	13.81	Moyenne compressible	0.33	18.95

6. Essai de Resistance a la compression :

Légende :

RC : résistance à la compression.

RCC : résistance à la compression corrigée.

Tableau VII.20 : Résultats des essais au laboratoire (2). [9]

PK	Profondeur	Diamètre (Cm)	Hauteur (Cm)	Poids (Kg)	Charge de rupture (kg)	RC (Kg/cm^2)	RCC (Kg/cm^2)
56+697	**4.70-5.00**	**8.20**	**7.40**	**0.953**	**6404**	**121**	**95**
	5.50-5.65	**8.30**	**8.50**	**1.048**	**2372**	**44**	**36**
65+275	**5.00-5.60**	**8.30**	**16.8**	**1.731**	**1000**	**18**	**18**
67+222	**5.30-6.00**	**8.30**	**16.90**	**0.728**	**2000**	**37**	**37**
80+516	**5.00-5.80**	**8.30**	**8.00**	**0.970**	**6000**	**111**	**89**

❖ Les Puits de reconnaissance :

Les résultats des essais de laboratoire pour les échantillons prélevés des sondages carottés et des puits de reconnaissance (Analyse granulométrique, VBS, Essai Proctor, Détermination de la teneur en eau,).

Tableau VII.21 : Résultats des essais au laboratoire (1).[9]

Puits de reconnaissance	PK	Teneur en eau (%)	Essai Proctor		VBS	Analyse Granulométrique			
			γ_d (t/m3)	Wopt (%)		Dmax	<2mm	<80µm	<2µm
PU15-AT	**62+248**	**17.40**	**1.52**	**20.80**	**2.00**	**40**	**55.83**	**25.70**	**6.61**
PU16-AT	**64+350**	**4.20**	/	/	**0.70**	**80**	**45.23**	**16.29**	**4.82**
PU17-AT	**66+200**	**11.9**	**1.69**	**16.9**	**6.9**	**4.2**	**46.7**	**40.9**	**6.20**
PU18-AT	**69+600**	**9.07**	**1.94**	**12.20**	**0.85**	**80**	**50.48**	**27.78**	**6.77**
PU19-AT	**72+433**	**7.60**	**1.87**	**13.00**	-	**80**	**58.06**	**36.31**	**4.49**
PU20-AT	**75+712**	**12.00**	**1.67**	**17.00**	**6.5**	**3.5**	**43.5**	**41.87**	**5.81**
PU21-AT	**81+657**	**9.80**	**1.73**	**14.00**	**0.30**	**63**	**68.05**	**27.79**	**11.92**

Légende :

γ_d : Densité sèche (t/m3) **; Wopt :** Teneur en eau optimale (%) **; VBS :** valeur de bleu de méthylène **; Dmax** diamètre maximale (mm) **; < 2 mm (%) :** Pourcentage des passants inférieure à 2 mm **; < 80µ (%) :** Pourcentage des passants inférieurs à 80 µ**.**

VII.6. CLASSIFICATION DES SOLS :

VII.6.1. Applications au projet :

Tenant compte de l'essai in situ (PU 15 –AT) PK 57+700 :

- **Classifications selon GTR :**
  - **Classe des sols :**

Dmax = 40 mm < 50mm ⇨ donc classe de ce sol est A ou B ou D.

Le passant à 80µm est de 25.70 % ⇨ alors la sous classe de sol sera : B5 ou B6

VBS = 2 < 2.5 ⇨ donc la sous classe sera B6.

- **Classification selon l'état hydrique :**

$0.7\ W_{opn} \leq W_n < 0.9\ W_{opn}$ ➔ $0.7*20.8 \leq 17.40 < 0.9*20.8$

➔ $14.56 \leq 17.40 < 18.75$

Donc selon classifications GTR le sol est de classe **: $B6_S$**

- **Classification selon UIC (719 R) :**

Le pourcentage des fines est égal à 25.70 % ➔ Sols comportant plus de 15 % de fines
➔ Alors le sol est de classe **QS2** (sols moyens).

Résultats de classification des sols représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII.22 : Résultats de classification des sols

Essai in situ	PK	Nature de sols	Classification de la Norme NF P 11 300	Classe de Qualité des sols
PU15-AT	**62+248**	**Sable argileux**	**B6s**	**QS2**
PU16-AT	**64+350**	**Sable argileux**	**C1B6**	**QS2**
PU17-AT	**66+200**	**Argiles marneuses**	**$A3_s$**	**QS1**
PU18-AT	**69+600**	**Sable à grave argileux**	**C1B5s**	**QS2**
PU19-AT	**72+433**	**Roche argileuse**	**$R34_{ts}$**	**QS2**
PU20-AT	**75+712**	**Argiles marneuses**	**$A3_s$**	**QS1**
PU21-AT	**81+657**	**Sable argileux**	**C1B6s**	**QS2**

VII.3.3 CONCLUSION :

Les essais géotechniques nous ont permis de connaitre les caractéristiques intrinsèques pour la classification GTR, en effet nous avons obtenu des sols entre A, B, C et R. L'état hydrique est entre moyen, sec à très sec.

On aura besoin de cette classification pour l'utilisation de matériaux en terrassement. La classification UIC nous a permis d'apprécier la qualité du sol de notre zone d'étude en QS2 et rarement QS1 *(A3s)* , ce qui nous permettra de dimensionner la structure d'assise correspondante à ces classes de qualité de sol.

VII.4. Étude Comparative :

Cette partie consiste à faire une étude comparative entre notre programme géotechnique et la compagne géotechnique de l'entreprise.

	Programme Géotechnique		Compagne Géotechnique	
Essai in-situ	Nombre d'essai		Nombre d'essai	
Puit de reconnaissance.	09		07	
		Totale		Totale
Sondages Carottés.	Remblai : 06	27	Remblai : 05	25
	Déblai : 05		Déblai : 05	
	Ouvrage d'art : 16		Ouvrage d'art : 15	
Pressiométriques	00		02	
Essais SPT	Ouvrage d'art : 10	Totale : 10	Ouvrage d'art : 06	Totale : 06
/	/		/	
Essai au laboratoire				
Essai d'identification				
Analyse granulométrique	×		×	
Limites d'Atterberg	×		×	
La teneur en eau naturel	×		×	
La valeur du bleu de méthylène	×		×	
Essais Proctor Modifié	×		×	
Essais de Poinçonnement CBR	×			
Essais sur Echantillons Rocheux	×			
Densité apparente	×			
Los angles- micro-deval	×			

CHAPITR IX :
ETUDE HYDRAULIQUE
ET ASSAINISSEMENT

VIII.1. ETUDE HYDROLOGIQUE :

VIII.1.1. INTRODUCTION :

La voie ferrée est un ouvrage qui se développe linéairement sur le terrain, et qui apporte par ses déblais et remblais des modifications qui perturbent les écoulements d'eau naturels préexistants provenant des précipitations atmosphériques ainsi que des affleurements d'eaux souterraines. La nouvelle ligne ferroviaire Tiaret-Saida croise, en effet, un réseau fluvial constitué de plusieurs bassins, de surface variable, qui s'écoulent généralement en direction Sud-est Nord-Ouest.

Ce chapitre constitue l'étude Etude hydrauliques et assainissement concernant le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (ouvrages d'assainissement et de drainage) le long de tronçon entre le PK.56+500.00 et le PK. 84+800.00, afin d'assurer la continuité des débits des écoulements d'eau et la protection de la plate-forme ferroviaire.

- Ce dimensionnement est basé sur les critères suivants :

- 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 autocurage.

VIII.1.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE GÉNÉRAL :

VIII.1.2.1. PRESENTATION GENERALE :

D'après Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) Le couloir de la nouvelle ligne Tiaret – Saida traverse essentiellement deux bassins versants 03 et 27 du grand bassin hydrographique.



FigureVIII.1. : Détermination des bassins versant BV 3 – BV 27 « Global mapper V 20.0 »

BV27 : c'est le bassin versant le plus grand dans notre projet, sa superficie est 208.2 km², son cours d'eau traverse la ligne ferroviaire au pk 83+436.00 avec une pente moyenne de 0.89%

BV3 : Le basin qui englobe avec sa superficie la zone de Ain Kermes, avec une surface de 36.7 km², son cours d'eau traverse notre ligne ferroviaire au pk 63+250.00 avec une pente moyenne de 1.10%

Tableau VIII.1. : caractéristiques des paramètres de bassins versant BV3 – BV27**.**

N° du BV	PK	S (km²)	P (km)	L (m)	H max	H min	Hmoy	H(m)	I (m/m)
BV3	**63+250.000**	36.731	**35.83**	12697.26	1214	1074	1144	140	0.0110
BV27	**83+436.00**	208.206	**82.36**	27851.87	1136	888	1012	248	0.0089

VIII.1.3 Hydrologie :

L'étude hydrologique comprend la délimitation des bassins versants qui sont interceptés ainsi que leurs caractéristiques physiques qui servent de référence pour l'analyse des écoulements. Par ailleurs, cette étude inclut également l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

- **Le climat de la zone :**

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type semi-aride avec des étés lourds et secs et des hivers très froids et humides.

- **Les précipitations :**

Les précipitations constituent l'unique source des écoulements d'eau dans les bassins versants, 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

- **Données Pluviométrique :**

Dans la région traversée par le tracé. D'après les observations effectuées à la station météorologiques on a :

Tableau VIII.2 : Données Pluviométrique

Pj moy (mm)	**55.3**			**Pluie journalière moyenne en mm**
Cv =	0.30			Coefficient de variation
b =	0.31			Exposant climatique
U (10/50/100 ans) =	**1.28**	**2.057**	**2.327**	Variable de Gauss

Soit le tableau suivant qui donne les valeurs de la variable de GAUSS

Tableau VIII.3. : Valeurs de variable du GAUSS

Fréquence au dépassement (%)	50	20	10	5	2	1
Période de retour (années)	2	5	10	20	50	100
Variable de Gauss(U)	0	0.841	1.282	1.645	2.057	2.327

- **Calcul des précipitations maximales journalières de fréquence donnée PJ (%) :**

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

$$Pj(\%) = \frac{Pjmoy}{\sqrt{Cv^2+1}} e^{u.\sqrt{\ln(Cv^2+1)}}$$

La pluie de référence pour le dimensionnement des ouvrages correspond à une durée de pluie(t) en minute et une période de retour de 10 ans, 50 ans, 100 ans.

- **Calcul de la fréquence d'averse :**

- Pour obtenir une estimation de la quantité de pluie maximale en 24 heures, on devra donc multiplier la valeur journalière par un coefficient de majoration. Si on ne dispose pas d'autres indications, on utilisera la valeur proposée par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) de 1,13

$$\boldsymbol{P(t) = 1.13.Pj\%.(\frac{t}{24})^b}$$

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

- **Calcul de l'intensité horaire moyenne :**

$$\boldsymbol{I(t) = \frac{P(t)}{Tc}}$$

- I: Intensité de la pluie (mm/h).
- T$\boldsymbol{c}$: Temps de concentration (h).
- P(t): Hauteur de la pluie de durée T$\boldsymbol{c}$,(mm).

VIII.1.3.1 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.

VIII.1.3.1.1. Caractéristiques des bassins versants :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante.

- **Caractéristiques géométriques :**
  - **La surface (A) :** c'est l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, 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.

Dans notre projet, les surfaces des bassins versants oscillent entre 0,20 km² et 208,21 km² environ.

  - **Le périmètre P :** est la longueur de la ligne de contour du bassin.
  - **Longueur du talweg principal (L) :** c'est la longueur du cours d'eau principal du bassin versant.
- **Caractéristiques topographiques :**

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

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

  - **Altitude moyenne du bassin :** H_{moy} (m) :

L'altitude moyenne est évaluée en faisant la moyenne entre la côte de pointe du flanc de coteaux et la côte minimale de la vallée

Hmin : altitude minimale.

$$Hmoy = \frac{Hmax+Hmin}{2}$$

Hmax : altitude maximale.

  - **Pente moyenne du talweg principal (p) :**

C'est une caractéristique importante qui renseigne sur La topographie du bassin, elle donne une bonne indication sur le temps de parcours des écoulements d'eau (le temps de concentration) donc elle influence directement le débit de crue lors d'une averse. Elle est approximée avec le rapport $(\frac{Hmax-Hmin}{L})$Pour la délimitation des bassins versants et la détermination de leurs surface s on a utilisé un SIG (système d'information géographique) le Global mapper V 20.0.

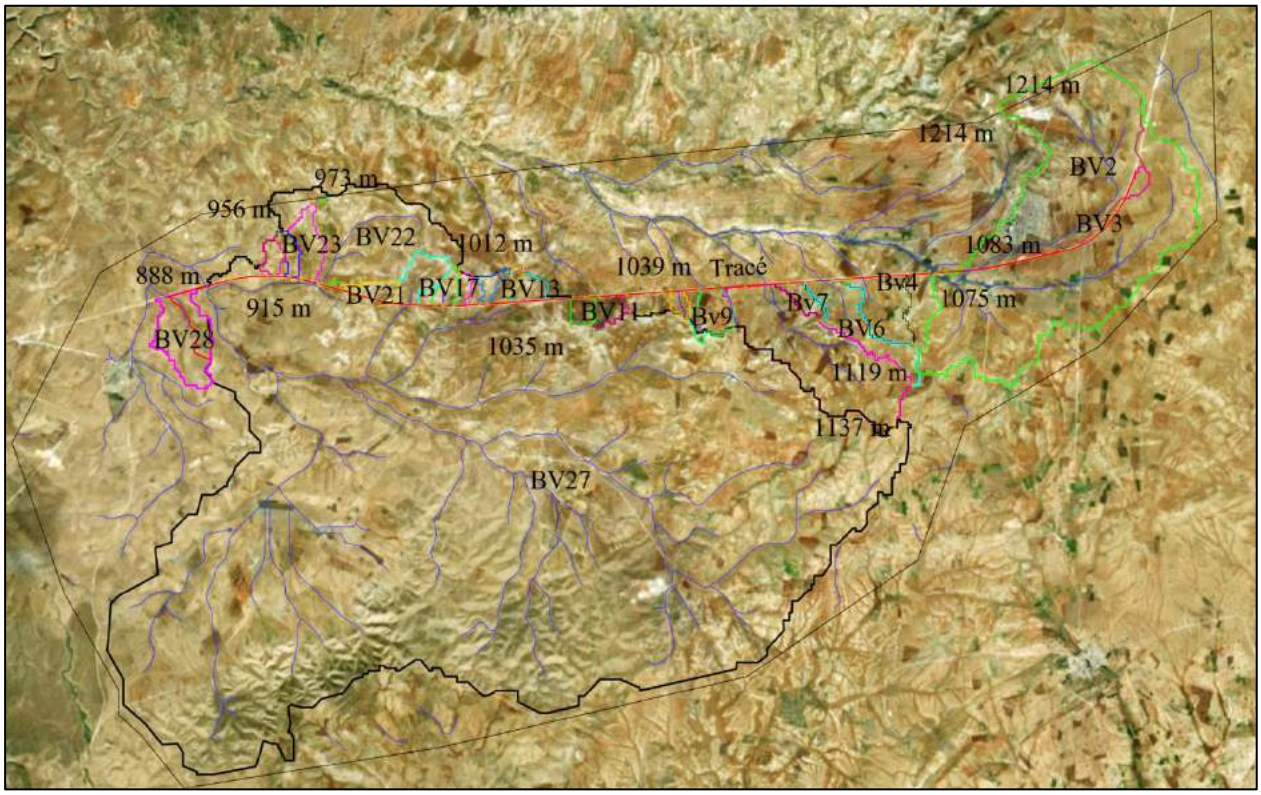


Figure VIII.02 : Détermination des bassins versant « Global mapper V 20.0 »

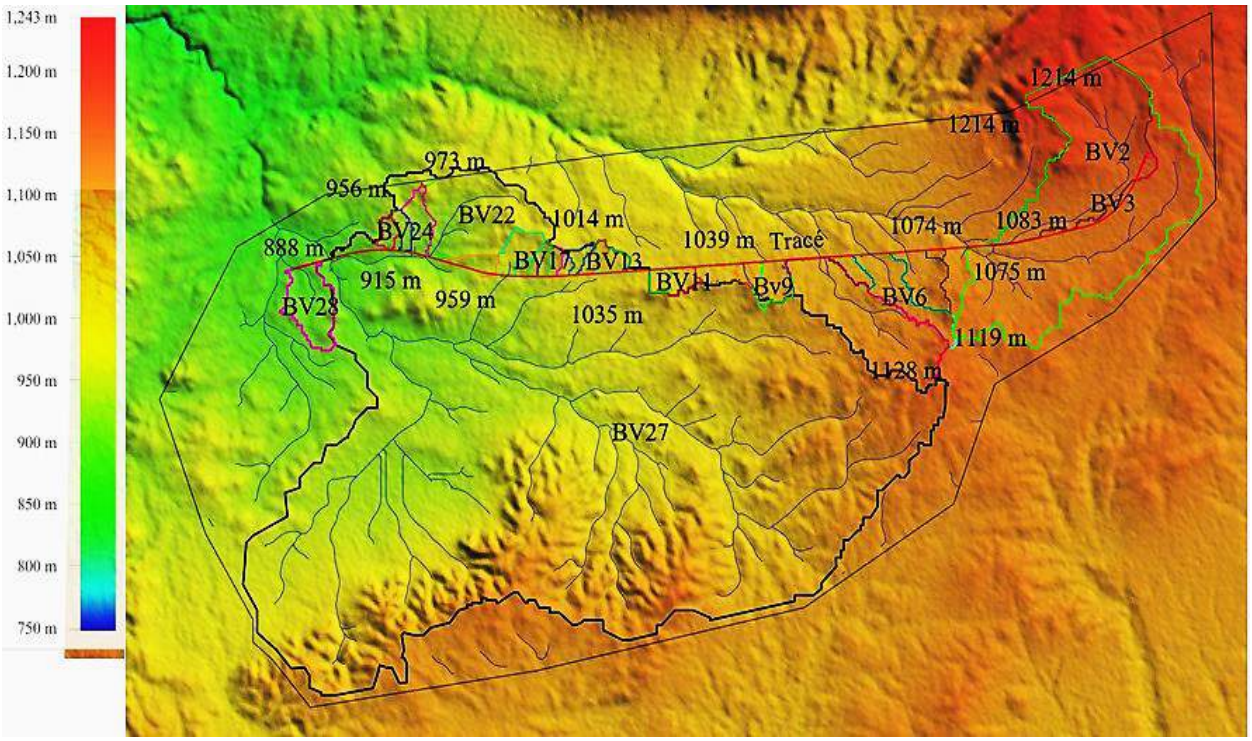


Figure VIII.03 : Image STRM des bassins versants « Global mapper V 20.0 »

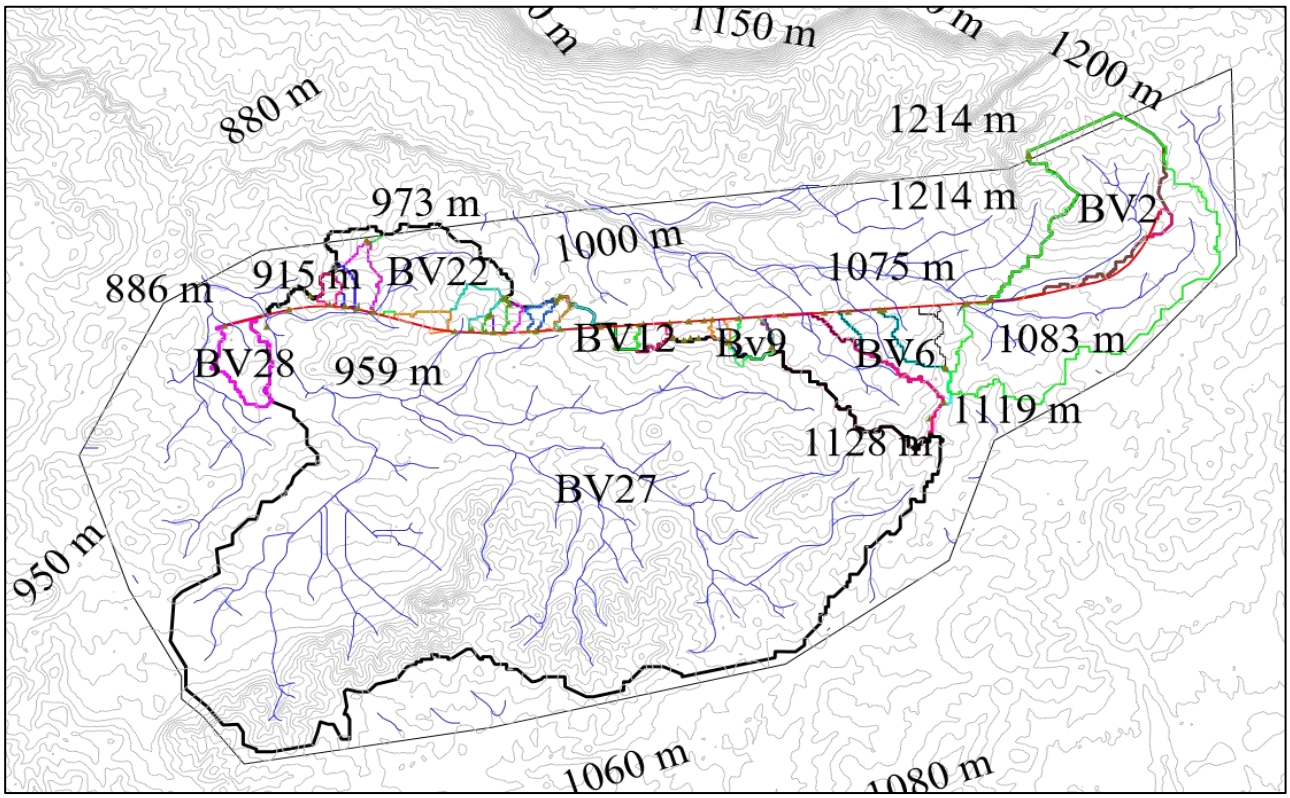


Figure VIII.4. : courbes de niveau des bassins versants « Global mapper V 20.0 »

- **Les paramètres suivants : (**Surface Périmètre Longueur de l'oued Altitude max Altitude min pente du lit Longueur du rectangle équivalent)

Sont évalués et calculés pour chaque oued qui traverse la voie ferrée.

Les PK (Points Kilométriques), ont servis de repérage du passage d'un tronçon de la voie ferrée sur l'oued. La délimitation des bassins versants est faite à partir de leur intersection. Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des oueds traversant la nouvelle voie ferrée Tiaret / Saida du PK 56+500 au PK 84+800 sont données par le tableau récapitulatif suivant :

L'ordre des bassins a été pris à partir de la ville de Ain Kermes.

Tableau VIII.4. : Caractéristiques des paramètres de bassins versant.

N° du BV	PK	S (km²)	P (km)	L (m)	H max	H min	Hmoy	H(m)	I (m/m)
BV1	**57+035.000**	**0.3031**	4.36	**484.3**	**1142.5**	**1123**	1132.75	19.5	0.0403
BV2	**62+225.000**	16.525	**22.21**	9492.70	1214	1084	1149	130	0.0137
BV3	**63+250.000**	36.731	**35.83**	12697.26	1214	1074	1144	140	0.0110
BV4	**64+540**	0.155	**1.86**	266	1080	1074	1077	6	0.0226
BV5	**64+801**	2.101	**8.27**	2423.19	1118	1065	1091.5	53	0.0219
BV6	**66+335.000**	4.002	**11.36**	1210.67	1119	1049	1084	70	0.0578
BV7	**67+505**	0.594	**4.80**	1509.00	1074	1047	1060.5	27	0.0179
BV8	**67+785.250**	9.224	**18.96**	4142.06	1137	1045	1091	92	0.0222
BV9	**69+619.00**	1.298	**5.25**	1325.00	1012	984	998	28	0.0211
BV10	**70+525.00**	0.310	**2.69**	656.4	1060	1034	1047	26	0.0396
BV11	**72+450.00**	0.630	**4.40**	1042.00	1040	1017	1028.5	23	0.0221
BV12	**72+900.00**	0.456	**3.11**	1000.47	1039	1015	1027	24	0.0240
BV13	**74+730.00**	0.585	**3.50**	542	1014	990	1002	24	0.0443
BV14	**75+400.00**	0.456	**3.90**	1228.0521	1013	982	997.5	31	0.0252
BV15	**75+714.00**	0.374	**4.08**	980.0609	1012	980	996	32	0.0327
BV16	**76+397.00**	0.316	**2.88**	828.9094	1015	975	995	40	0.0483
BV17	**76+675.00**	0.380	**3.19**	1042.0072	1015	970	992.5	45	0.0432
BV18	**77+092.00**	0.125	**1.60**	242.45	996	964	980	32	0.1320
BV19	**77+360.00**	0.202	**2.45**	1150.18	1012	959	985.5	53	0.0461
BV20	**77+781.00**	1.328	**6.24**	1756.56	976	942	959	34	0.0194
BV21	**79+119.00**	0.489	**3.25**	1225.05	1014	915	964.5	99	0.0808
BV22	**80+262.20**	7.680	**14.81**	4145.5969	973	913	943	60	0.0145
BV23	**80+695.00**	1.222	**6.84**	2825.8889	956	913	934.5	43	0.0152
BV24	**81+094.50**	0.752	**5.04**	2046.8368	933	912	922.5	21	0.0103
BV25	**81+657.10**	0.453	**3.58**	835.55	954	912	933	42	0.0503
BV26	**82+759.30**	2.209	**7.60**	3283	950	896	923	54	0.0164
BV27	**83+436.00**	208.206	**82.36**	27851.87	1136	888	1012	248	0.0089
BV28	**84+747.00**	2.327	**8.19**	2178.4188	916	886	901	30	0.0138

S (km2) : Surface (km2) ;**P (km)** : Périmètre (km) ;**L (km)** : Longueur du cours d'eau principal ;

Kc : Indice de compacité ;$\mathbf{H_{max}(m)}$: Altitude max $\mathbf{H_{min}(m)}$: Altitude min ;$\mathbf{H_{moy}(m)}$: Altitude moyenne ;
I = pente du lit (m/m) ;**H(m)** : dénivelée spécifique ;

VIII.1.4. CALCUL HYDRAULIQUE :

VIII.1.4.1. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

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

- **Formule rationnelle** : (A <200 km^2) :

$$Qmax = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Tel que :

- Q_{MAX} : débit maximal de la crue de période de retour voulue (m3/s).
- C : coefficient de ruissellement.
- I : intensité de pluie (mm /h) pour le temps de concentration du BV et la récurrence souhaitée.
- A : la surface du bassin versant (km^2).

- **Formule Crupedix :(A >50 Km^2) jusqu'a 100 Km^2 :**

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

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

Tel que :

- A [km2] : surface du bassin versant.
- PJ [mm / j] : Précipitation journalière maximale décennal.
- R : coefficient régional :
  - R = 0,2 pour des terrains perméables.
  - R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
  - R = 1 pour des terrains intermédiaires.

  - Avec : $1,4 \leq b' \leq 4$

Le paramètre « b' » dépend de la superficie du bassin versant :

- Le coefficient b' est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet.
- En absence des oueds de jaugeage on prend le coefficient b'=2

VIII.1.4.2. Temps de concentration :

Pour calculer le temps de concentration de chaque bassin pour ce travail, nous avons proposé, ci-dessous, l'utilisation des formules habituelles en Algérie, en fonction de la surface des bassins versants.

- **Formule de Ventura** : (A < 5 Km²)

$$\mathbf{Tc} = \mathbf{0.1272}\sqrt{\frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{I}}}$$

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

- **Formule de Passini :** (5Km²<A<25Km²)

$$\mathbf{Tc} = \mathbf{0.108}.\frac{(\mathbf{A}.\mathbf{L})^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\mathbf{I}}}$$

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

- **Formule de Giandotti :** (A > 25 Km2)

$$\mathbf{Tc} = \mathbf{1,25}.\frac{(\mathbf{1.5L} + \mathbf{4}.\sqrt{\mathbf{A}})}{\sqrt{\mathbf{h}}}$$

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

- **Le coefficient de ruissellement :**

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

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

$$\mathbf{C} = \frac{\mathbf{hauteurd'eauruisseléeenmm}}{\mathbf{hauteurd'eauprécipitéeenmm}} * \mathbf{100}$$

Tableau VIII. 5 : Désignation des Coefficient de ruissellement par zones.

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

VIII.1.5. APPLICATION AU PROJET :

VII.1.5.1. 1ere application : (formule rationnelle) :

Tenant compte le bassin versant N° 05 :

(A = 2.1 km^2<10 km^2➔on applique **la formule rationnelle)**

- A = 2.10 km2
- I = 0.0218 m / m.
- L = 2.423 km.

➢ **Calcul temps de concentration d'eau Tc :**

A = 2.10 km^2<5 km^2➔on applique **la formule de VENTURA.**

$$\mathbf{Tc} = \mathbf{0.1272}\sqrt{\frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{I}}} = \mathbf{0.1272}\sqrt{\frac{\mathbf{2.1}}{\mathbf{0.0218}}} = \mathbf{1.248}\ \boldsymbol{h}.$$

- **Calcul de l'intensité horaire moyenne (Tc, 100 ans) :**

$$\boldsymbol{P(t)} = \mathbf{1.13}.\boldsymbol{Pj}\%.(\frac{\boldsymbol{t}}{\mathbf{24}})^{\boldsymbol{b}} = \mathbf{1.13} \times \mathbf{104.9} \times (\frac{\mathbf{1.248}}{\mathbf{24}})^{\mathbf{0.31}} = \mathbf{47.30}\ \textbf{(mm)}$$

$$\boldsymbol{I(t)} = \frac{\boldsymbol{P(t)}}{\boldsymbol{Tc}} = \frac{\mathbf{47.30}}{\mathbf{1.248}} = 38.15\ \text{mm/h}.$$

- **Coefficient de ruissellement :**
  - (1) Couverture : culture
  - (2) 0 < pente = 2.18 % < 5 ➔ Presque plat.
  - (3) Argile Limon.

D'âpres (1), (2) et (3) ➔ C =0.5.

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

Formule rationnelle :

$$\boldsymbol{Q_{100}} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.5 \times 38.15 \times 2.1}{3.6} = 11.14\ (\frac{m^3}{s})$$

VII.1.5.2. 2éme application : (Formule de Crupedix) :

Tenant compte le bassin versant N° 27 :

(A = 208.206 km^2>50 km^2➔on applique **la formule Crupedix).**

- A = 208.206 km2
- I = 0.0089 m / m.
- L = 27.851 km.
- P_j =104.9 (mm).
- R = 1.
- b’ = 2

Q_{100} = b’ × Q_{10}

$$\boldsymbol{Q_{10} = A^{0.8} \times (\frac{P_j}{80})^2 \times R = 208.206^{0.8} \times (\frac{104.9}{80})^2 \times 1 = 123.07\ m^3/s}$$

Q_{100} = 2 × 123.07 = 246.14 m^3/s< Q_s = 410.02 m^3/s➔ vérifier

Tableau VIII.6. : Calcul des débits de crue décennaux et centennaux

BV	PK	Tc	C	Période De Retour =10 ans				Période De Retour =100ans				
				Pj max (mm)	P(t) (mm)	I (mm/h)	Qmax (m3/s)	Pj max (mm)	P(t) (mm)	I (mm/h)	Qmax (m3/s)	Ouvrage prévus
BV1	**57+035.00**	0.347	0.6	**77.1**	**40.90**	**19.56**	**0.99**	**104.9**	**55.62**	**26.60**	**1.34**	**Buse (x2) Ø1000**
BV2	**62+225.00**	4.977	0.5	**77.1**	**53.52**	**10.75**	**24.70**	**104.9**	**72.77**	**14.62**	**33.58**	**Dalot Type 4**
BV3	**63+277.75**	4.573	0.5	**77.1**	**52.13**	**11.40**	**58.20**	**104.9**	**70.89**	**15.50**	**79.14**	**Ouvrage d'art**
BV4	**64+540.00**	0.331	0.5	**77.1**	**23.10**	**69.74**	**1.50**	**104.9**	**31.42**	**94.84**	**2.04**	**Buse (x2) Ø1000**
BV5	**64+801.00**	1.240	0.5	**77.1**	**34.78**	**28.06**	**8.19**	**104.9**	**47.30**	**38.15**	**11.14**	**Dalot Type 2**
BV6	**66+335.00**	1.052	0.6	**77.1**	**33.06**	**31.41**	**20.97**	**104.9**	**44.95**	**42.72**	**28.51**	**Dalot Type 4**
BV7	**67+505.00**	0.729	0.6	**77.1**	**29.50**	**40.48**	**4.01**	**104.9**	**40.12**	**55.04**	**5.45**	**Buse (x2) Ø1000**
BV8	**67+785.25**	2.441	0.5	**77.1**	**42.91**	**17.58**	**22.54**	**104.9**	**58.35**	**23.91**	**30.65**	**Dalot Type 4**
BV9	**69+619.00**	0.991	0.5	**77.1**	**32.45**	**32.74**	**5.91**	**104.9**	**44.13**	**44.52**	**8.03**	**Dalot Type 2**
BV10	**70+525.00**	0.354	0.6	**77.1**	**23.58**	**66.63**	**3.45**	**104.9**	**32.07**	**90.61**	**4.69**	**Buse (x2) Ø1500**
BV11	**72+450.00**	0.676	0.6	**77.1**	**28.82**	**42.63**	**4.48**	**104.9**	**39.19**	**57.97**	**6.10**	**Buse (x2) Ø2000**
BV12	**72+900.00**	0.551	0.6	**77.1**	**27.05**	**49.08**	**3.73**	**104.9**	**36.79**	**66.74**	**5.07**	**Buse (x2) Ø1500**
BV13	**74+730.00**	0.460	0.7	**77.1**	**25.57**	**55.62**	**6.33**	**104.9**	**34.78**	**75.64**	**8.61**	**Dalot Type 2**
BV14	**75+400.00**	0.537	0.6	**77.1**	**26.84**	**49.95**	**3.80**	**104.9**	**36.50**	**67.92**	**5.16**	**Buse (x2) Ø1500**
BV15	**75+714.00**	0.428	0.6	**77.1**	**25.01**	**58.44**	**3.64**	**104.9**	**34.01**	**79.47**	**4.96**	**Buse (x2) Ø1500**
BV16	**76+397.00**	0.323	0.7	**77.1**	**22.93**	**70.90**	**4.35**	**104.9**	**31.18**	**96.42**	**5.92**	**Buse (x2) Ø1500**

BV17	**76+675.00**	0.375	0.6	**77.1**	**24.01**	**63.99**	**4.06**	**104.9**	**32.66**	**87.01**	**5.52**	**Buse Ø2000**
BV18	**77+092.00**	0.123	0.82	**77.1**	**17.00**	**138.1**	**3.93**	**104.9**	**23.11**	**187.76**	**5.35**	**Buse (x2) Ø1500**
BV19	**77+360.00**	0.265	0.7	**77.1**	**21.56**	**81.32**	**3.20**	**104.9**	**29.32**	**110.58**	**4.36**	**Buse Ø2000**
BV20	**77+781.00**	1.048	0.6	**77.1**	**33.01**	**31.51**	**6.98**	**104.9**	**44.89**	**42.85**	**9.49**	**Dalot Type 2**
BV21	**79+119.00**	0.311	0.82	**77.1**	**22.66**	**72.80**	**8.12**	**104.9**	**30.82**	**98.99**	**11.05**	**Dalot Type 2**
BV22	**80+262.20**	2.845	0.7	**77.1**	**45.00**	**15.81**	**23.64**	**104.9**	**61.19**	**21.51**	**32.14**	**Dalot Type 4**
BV23	**80+695.00**	1.134	0.5	**77.1**	**33.83**	**29.84**	**5.07**	**104.9**	**46.00**	**40.58**	**6.89**	**Buse (x2) Ø2000**
BV24	**81+094.50**	1.083	0.5	**77.1**	**33.35**	**30.80**	**3.22**	**104.9**	**45.36**	**41.88**	**4.38**	**Buse (x2) Ø1500**
BV25	**81+657.10**	0.380	0.6	**77.1**	**24.10**	**63.48**	**4.79**	**104.9**	**32.77**	**86.32**	**6.52**	**Buse (x2) Ø2000**
BV26	**82+759.30**	1.466	0.5	**77.1**	**36.64**	**24.99**	**7.67**	**104.9**	**49.82**	**33.99**	**10.43**	**Dalot Type 2**
BV27	**83+436.00**	7.897	0.5	**77.1**	**61.75**	**7.82**	**226.3**	**104.9**	**83.97**	**10.63**	**307.7**	**Ouvrage d'art**
BV28	**84+747.00**	1.644	0.5	**77.1**	**37.96**	**23.09**	**7.47**	**104.9**	**51.62**	**31.39**	**10.16**	**Dalot Type 2**

VII.2. ETUDE D'ASSINISSEMENT :

VII.2.1. INTRODUCTION :

Dans cette étude on va établir un système opérationnel d'évacuation des eaux pour assurer la stabilité de l'infrastructure. Ce système doit assurer le captage des eaux zénithales et celles des nappes phréatiques, l'assainissement des plateformes ferroviaires comprend :

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

VII.2.2. LE DRAINAGE TRANSVERSAL :

VII.2.2.1. Ouvrages transversaux :

Ils permettent le transit, d'un côté à l'autre de la plateforme ferroviaire, des écoulements des

Eaux des bassins versants. Ils peuvent être constitués de :

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

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

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

$$\mathbf{Q_{100} < Qs}$$

- Q_{100} : Débit de crue centennal (débit d'apport) en m³/s.
- Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage en m³/s.

- Des buses et des dalots, disposés sous la voie, seront prévus pour les oueds. La taille des dalots a été sélectionnée en fonction du débit d'eau entrant, selon le dimensionnement hydraulique effectué avec la formule de Manning-Strickler :

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

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

Tableau VIII .7 : Valeurs de Ks selon SETRA.

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

VIII.2.2.2. Critères de dimensionnement à respecter :

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

- L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit de crue correspondant.
- Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluvial). H > h critique tel que $h_{critique}= \sqrt[3]{\frac{Q_a}{g \times b^2}}$ **pour assurer un écoulement fluvial.**
- La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 1 %) pour éviter des vitesses trop élevées.
- La hauteur d'eau correspondante à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage).
- Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les taux de remplissages de 1% et 10% des débits, afin d'assurer la durabilité des ouvrages (en vue de l'érosion des parois et la stagnation des eaux) :
  - 1ere condition : pour Qa /Qps=Rq=0.1 il faut $V_{écoulement}$>0.6 m/s.
  - 2ème condition : pour Qa /Qps=Rq= 0.01 il faut V écoulement >0.3 m/s.

- Coefficient de rugosité Strickler **Ks = 70** (correspond au béton grossier avec coffrage bois).
- Forme de construction : Profil circulaire et rectangulaire.

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

$$\mathbf{Q_s = V\ S_m}$$

- V = Vitesse d'écoulement d'eau (m/s).
- S_m = Section mouillée de l'ouvrage (m²).

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

Tableau VIII.8. : Prédimensionnement des ouvrages d'assainissement transversaux

Débit de crue Q100 (m^3/s)	Ouvrage type	Dimensions retenues (m)
$Q_{100} < 7$	Buse (circulaire)	Diamètre $1 \leq \emptyset \leq 2$
$7 \leq Q_{100} < 15$	Dalot Type 2 (rectangulaire)	B / H = 2,5 / 2,5
$15 \leq Q_{100} < 25$	Dalot Type 3 (rectangulaire)	B / H = 3 / 3
$25 \leq Q_{100} < 35$	Dalot Type 4 (rectangulaire)	B / H = 4 / 3
$35 \leq Q_{100} < 60$	Dalot Type 5 (rectangulaire)	B / H = 5 / 3,5
$60 \leq Q_{100}$	Pont et viaduc	

VIII.2.2.3. Application au projet :

➢ **Dimensionnement des dalots :**
Ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifiés par la largeur (B) et la hauteur (H). Dans notre projet, les dalots sont en béton.

- La hauteur de remplissage Hr = 0.75 H
- Ks = 70.
- I= 1%.

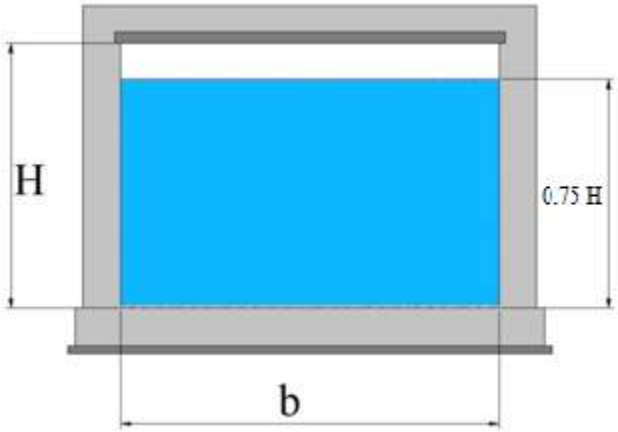


Figure VIII.5. : Schéma d'un dalot.

Dans ce schéma :

- B : largeur nette du cadre (m).
- H : hauteur nette (m).
- 0.8H : hauteur de remplissage (m).
- $\boldsymbol{R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{H \times b}{2H+b} = \frac{0.8 \times H \times b}{1.6H+b}}$

On utilisant la formule de Manning –Strickler :

$$\mathbf{Qs = Ks.S_m.Rh^{2/3}.I^{1/2} \rightarrow Q_s = K_s \times (0.8 \times H \times b) \times \left(\frac{0.8 \times H \times b}{1.6H+b}\right)^{2/3} \times (I)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\boldsymbol{Q_s = K_s \times (0.8 \times H \times b)^{5/3} \times \frac{1}{(1.6 \times H+b)^{\frac{1}{2}}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \rightarrow K_s(0.8 \times H \times b)^{5/3} \times (I)^{\frac{1}{2}} = Q_s \times (1.6 \times H + b)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\boldsymbol{(0.8 \times H \times b)^{5/3} = \frac{Q_s}{(1.6 \times H + b)^{\frac{1}{2}}} (1.6 \times H + b)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\boldsymbol{H = \frac{1}{0.8B} \left(\frac{Q_s}{K_s \times (I)^{\frac{1}{2}}}\right)^{3/5} (1.6 \times H + b)^{\frac{2}{5}} = H_0 \times \frac{(1.6 \times H + b)^{\frac{2}{5}}}{0.8b}}$$

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

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

➢ **Application numérique :**

Tenant compte le bassin versant N° 05 :

- PK 64+801 ;
- Surface = 2.1 km2,
- Débit Q=11.14 m3/s,
- Pente I = 1%,
- Coefficient de rugosité Strickler Ks =70.
- H_0 = 1.32.

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

H = 1.2 m ; B = 2.5.

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

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

$$\boldsymbol{R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{H \times b}{2H + b} = \frac{0.75 \times h \times b}{1.5h + b} = \frac{0.75 \times 2.5 \times 2.5}{1.5 \times 2.5 + 2.5} = 0.75m}$$

$$\boldsymbol{Q_s = 4.69 \times 70 \times (0.75)^{2/3} \times (0.01)^{1/2} = 29.09\ (\frac{m^3}{s})}.$$

Q_{100}=11.14 <Qs = 29.09 : Vérifié.

TableauVIII.9 : La vérification hydraulique des ouvrages d'assainissement transversaux.

PK	Ouvrages Prévus	H (m)	B (m)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	Q_{100} (m^3/s)	Q_S (m^3/s)	Q_{ps} (m^3/s)	V_{ps} (m/s)
64+801	Dalot	1.2	2.5	2.25	4.05	0.55	11.14	29.09	15.14	2.42

- **Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial :**

  $\boldsymbol{h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_s}{g \times b^2}} = \sqrt[3]{\frac{29.09}{9.8 \times 2.5^2}} = 0.78\ m < H = 1.2\ m}$ ➔ **La condition est vérifiée.**

- **Vérification les conditions d'auto curage :**

  1ere condition :

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

  Rq = 0.1 ➔ Rv = 0.638 = V/V_{PS} ➔ **V = Rv × Vps = 0.638 × 2.42 = 1.54 m/s.**

  V = 1.54 m/s > 0.6 m/s ➔ la condition est vérifiée.

2éme condition :

Pour Q_{100} /Q_{ps}= Rq=0.01 il faut $V_{écoulement}$> 0.3 m/s
Rq = 0.01 ➔ Rv = 0.315 = V/V_{PS}➔ V = Rv × Vps = 0.315 × 2.42 = 0.76 m/s.
V = 0.76 m/s > 0.3 m/s ➔ la condition est vérifiée.

Tableau VIII.10 : Itération (dalot).

B (m)	H (m)	Pm (m)	Sm (m^2)	Rh (m)	Kst	I (m/m)	Qs (m^3/s)
2.5	2.5	6,5	5	0,769	70	0,01	29,38
3	3	8	7,5	0,938	70	0,01	50,29
4	3	9	10	1,111	70	0,01	75,09
5	3.5	11	15	1,364	70	0,01	129,12

➢ **Dimensionnement d'une buse :**

Caractéristique de bassin versant PK77+360

- Surface = 0.202 km^2,
- Débit Q=3.73 m^3/s,
- Pente I = 0,01,
- Coefficient de rugosité Strickler Ks =70.

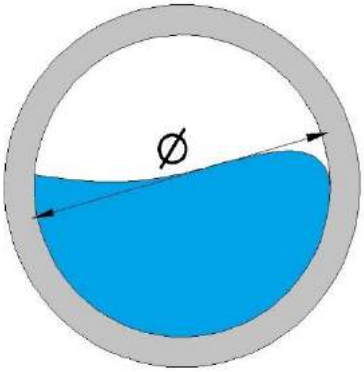


Figure VIII.6. : Schéma d'une buse

$$\emptyset = 2 \times \left(\frac{2 \times (2)^{2/3} \times Q}{80 \times \pi \times \sqrt{I}}\right)^{\frac{3}{8}}$$

$$\text{AN} : \emptyset = 2 \times \left(\frac{2 \times (2)^{2/3} \times 3.73}{80 \times \pi \times \sqrt{0.01}}\right)^{\frac{3}{8}} = 1.23 \text{ m}$$

On Prend :$\emptyset = \mathbf{1.5\ m}$

Tableau VIII.11. Les ouvrages hydrauliques

		Ø (m)	H0	H=
BV1	**Buse circulaire**	1.03	-	-
BV2	**Dalot Type 4**	-	2.56	1.72
BV3	**Ouvrage d'art**	-	-	-
BV4	**Buse circulaire**	1.20	-	-
BV5	**Dalot Type 2**	-	1.32	1.20
BV6	**Dalot Type 4**	-	2.32	1.53
BV7	**Buse circulaire**	1.74	-	-
BV8	**Dalot Type 4**	-	2.43	1.61
BV9	**Dalot Type 2**	-	1.09	0.95
BV10	**Buse circulaire**	1.64	-	-
BV11	**Buse circulaire**	1.81	-	-
BV12	**Buse circulaire**	1.69	-	-
BV13	**Dalot Type 2**	-	1.13	1.00
BV14	**Buse circulaire**	1.70	-	-
BV15	**Buse circulaire**	1.68	-	-
BV16	**Buse circulaire**	1.79	-	-
BV17	**Buse circulaire**	1.75	-	-
BV18	**Buse circulaire**	1.73	-	-
BV19	**Buse circulaire**	1.60	-	-
BV20	**Dalot Type 2**	-	1.20	1.07
BV21	**Dalot Type 2**	-	1.31	1.19
BV22	**Dalot Type 4**	-	2.50	1.66
BV23	**Buse circulaire**	1.90	-	-
BV24	**Buse circulaire**	1.60	-	-
BV25	**Buse circulaire**	1.86	-	-
BV26	**Dalot Type 2**	-	1.27	1.14
BV27	**Ouvrage d'art**	-	-	-
BV28	**Dalot Type 2**	-	1.25	1.12

➢ **Profil en travers d'une buse :**

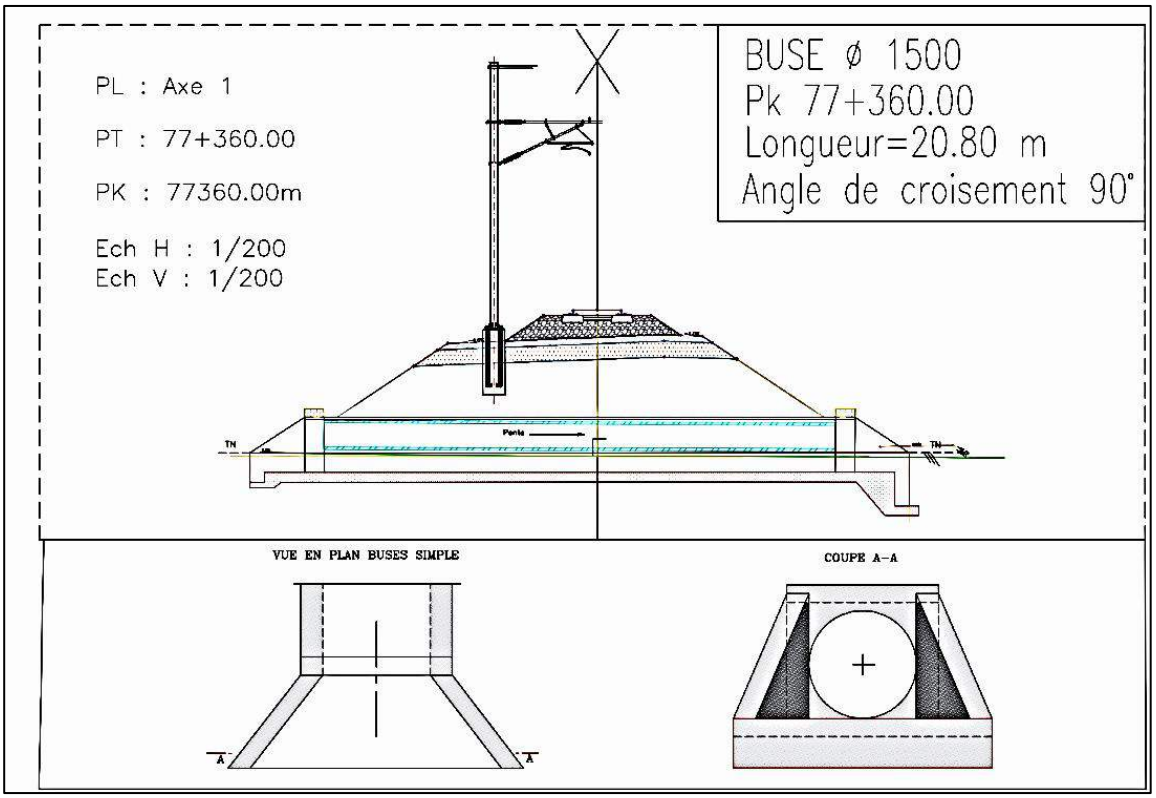


Figure VIII.7. : Profil en travers d'une buse

La vérification hydraulique de chaque ouvrage est rapportée dans le tableau suivant :

Tableau VIII.12 : La vérification hydraulique des ouvrages d'assainissement transversaux

	PK	Q_{100} (m3/s)	Ouvrages prévus	ø (m)	B (m)	H (m)	Pm (m)	Sm (m^2)	Rh (m)	Kst	I (m/m)	V (m/s)	Qs (m^3/s)	$Q_{100}<Q_s$
BV1	**57+035**	**1.34**	Buse circulaire	1	-	-	2.36	0.44	0.188	70	0.01	1.62	**2.03**	Vérifiée
BV2	**62+225**	**33.58**	Dalot type 4	-	4	3	8.50	9.00	1.059	70	0.01	4.88	**65.45**	Vérifiée
BV3	**63+277**	**79.14**	Ouvrage d'art	-	-	-	26.50	42.29	1.596	30	0.0078	3.61	**152.82**	Vérifiée
BV4	**64+540**	**2.04**	Buse circulaire	1	-	-	2.36	0.44	0.188	70	0.01	1.80	**2.03**	Vérifiée
BV5	**64+801**	**11.14**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.71	**27.09**	Vérifiée
BV6	**66+335**	**28.51**	Dalot type 4	-	4	3	8.50	9.00	1.059	70	0.01	4.66	**65.45**	Vérifiée
BV7	**67+505**	**5.45**	Buse circulaire	1	-	-	2.36	0.44	0.188	70	0.01	2.30	**2.03**	Vérifiée
BV8	**67+785**	**30.65**	Dalot type 4	-	4	3	8.50	9.00	1.059	70	0.01	4.76	**65.45**	Vérifiée
BV9	**69+619**	**8.03**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.38	**27.09**	Vérifiée

BV 10	**70+525**	**4.69**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.21	**5.97**	Vérifiée
BV 11	**72+450**	**6.10**	Buse circulaire	2	-	-	4.71	1.77	0.375	70	0.01	2.36	**12.87**	Vérifiée
BV 12	**72+900**	**5.07**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.25	**5.97**	Vérifiée
BV 13	**74+730**	**8.61**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.44	**27.09**	Vérifiée
BV 14	**75+400**	**4.30**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.26	**5.97**	Vérifiée
BV 15	**75+714**	**4.13**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.24	**5.97**	Vérifiée
BV 16	**76+397**	**5.92**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.34	**5.97**	Vérifiée
BV 17	**76+675**	**6.44**	Buse circulaire	2	-	-	4.71	1.77	0.375	70	0.01	2.30	**6.43**	Vérifiée
BV 18	**77+092**	**5.35**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.28	**5.97**	Vérifiée
BV 19	**77+360**	**4.36**	Buse circulaire	2	-	-	4.71	1.77	0.375	70	0.01	2.17	**6.43**	Vérifiée
BV 20	**77+781**	**9.49**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.55	**27.09**	Vérifiée
BV 21	**79+119**	**11.05**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.68	**27.09**	Vérifiée
BV 22	**80+262**	**32.14**	Dalot type 4	-	4	3	8.50	9.00	1.059	70	0.01	4.87	**65.45**	Vérifiée
BV 23	**80+695**	**6.89**	Buse circulaire	2	-	-	4.71	1.77	0.375	70	0.01	2.43	**12.87**	Vérifiée
BV 24	**81+094**	**4.38**	Buse circulaire	1.5	-	-	3.53	0.99	0.281	70	0.01	2.17	**5.97**	Vérifiée
BV 25	**81+657**	**6.52**	Buse circulaire	2	-	-	4.71	1.77	0.375	70	0.01	2.40	**12.87**	Vérifiée
BV 26	**82+759**	**10.43**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.63	**27.09**	Vérifiée
BV 27	**83+436**	**307.71**	Ouvrage d'art	-	-	-	51.32	106.77	2.080	30	0.0061	3.84	**410.02**	Vérifiée
BV 28	**84+747**	**10.16**	Dalot Type 2	-	2.5	2.5	6.25	4.69	0.750	70	0.01	3.63	**27.09**	Vérifiée

Pour les ouvrages BV2, BV6, BV8, BV22 dont la vitesse d'écoulement situé entre 4 m/s et 5 m/s, il est a prévoir des protections des gabions en un enrochements lequel à dimensionner en conséquence.

VIII.3. Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

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

On a également adopté, pour la conception générale du système de drainage longitudinal, les principes suivants :

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

- **Dimensionnement des fossés :**

- Les fossés sont des ouvrages linéaires qui véhiculent les débits des eaux de surface drainées avec un écoulement à surface libre aussi bien de l'infrastructure que des bassins versants en interaction avec le projet afin de les acheminer vers un point de rejet (exutoire) hors de l'emprise de la voie ferrée
- Le débit de conception retenu pour le drainage longitudinal est le débit centennal (Q100 ans) pour les déblais et le débit décennal (Q10 ans) pour les remblais.
-

Formule de Manning Strickler :

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

- La surface mouillée : Sm=(b+z.h).h ; z : pente du talus z =1/n.
- Le périmètre mouillé : $Pm = b + 2h\sqrt{1+z}$
- Le rayon hydraulique :$Rh = \frac{Sm}{Pm}$; avec : z la pente des berges.

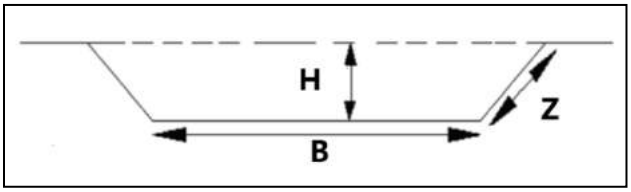


Figure VIII.8: fosse trapézoïdale.

- Le débit de saturation de chaque type de fossé est rapporté dans le tableau suivant :

Tableau VIII.13. : Calcul des débits de saturation des fossés

B (m²)	H (m)	Z	S_m(m²)	P_m (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Qs (m3/s)
0.5	0.5	0.667	0.41	1.70	0.24	50	0.02	1.12
0.5	0.6	0.667	0.54	1.94	0.28	50	0.02	1.63
0.7	0.7	0.667	0.82	2.38	0.34	50	0.02	2.83
0.8	0.9	0.667	1.26	2.96	0.43	50	0.02	5.04

Le choix de type de fossé est en fonction débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus :$Q_a=Q_{pf}+Q_b+Q_t$

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

$$\boldsymbol{Q = 0.278.C.I.A}$$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m³/s).
- C : Coefficient de ruissellement
- I : Intensité de pluie (mm/h).
- A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²).

Tel que :

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

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

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

VIII.3.1. Applications au projet :

Tableau VIII. 14 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai

		Remblai	Déblai
		Le cas le plus défavorable	Le cas le plus défavorable
		Longueur : 1483 m	Longueur : 934 m
		H_{talus} : 9.433 m	H_{talus} : 14.636 m
		Bermes = 3 m	Bermes= 3 m
		Largeur de la plateforme = 8 m	Largeur de la plateforme = 8m
Plateforme	C	0,2	0,2
	P (m/m)	0,04	0,04
	A (km²)	0,022	0,014
	Tc	**0,093**	**0,074**
	P(t) 10	15,59	14,51
	I (mm/h)	167,41	196,36
	Q(m3/s)	**0,20**	**0,15**
Les Bermes	C	0,4	0,4
	P (m/m)	0,04	0,04
	A (km²)	0,013	0,008
	Tc	**0,073**	**0,058**
	P(t) 10	14,48	13,48
	I (mm/h)	197,3526322	231,4818518
	Q(m3/s)	**0,29**	**0,22**
Les talus	C	0,7	0,7
	P (m/m)	0,67	0,67
	A (km²)	0,030	0,027
	Tc	**0,027**	**0,026**
	P(t) 10	10,61	10,45
	I (mm/h)	394,2786454	407,4643777
	Q(m3/s)	**2,31**	**2,17**
Qa (m3/s)		Qpf+Qb+Qt=	Qpf+Qb+Qt=
		2,80	**2,53**

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet sont :

- **En remblai** : un fossé de dimensions : h=0.7m ; b=0.7m ; B = 2.1m.
- **En déblai** : un fossé de dimensions : h=0.7m ; b=0.7m ; B = 2.1 m.

Donc Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : h=0.7m ; b=0.7m ; B = 2.1 m.

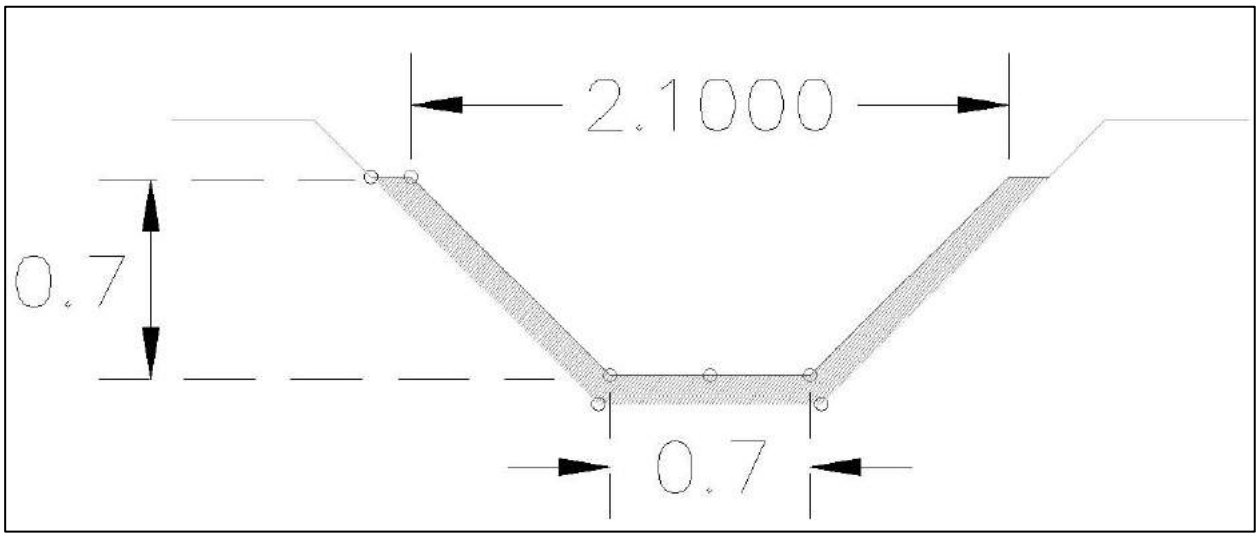


Figure VIII.9. Le fossé adopté pour notre projet

VIII.3.2. Fossés de crête :

Pour ne pas surcharger le drainage des tronçons en déblai avec des eaux provenant d'aires voisines et dans le but de protéger les talus de déblai, on prévoit généralement l'installation de fossés de crête et de risbermes pour collecter et conduire ces eaux. Les fossés de crête sont en section trapézoïdale. Leur géométrie sera définie dans les plans de détail du projet.

Indépendamment de la méthode de construction adoptée, le fossé sera exécuté sur un terrain régularisé et compacté et on devra prendre tous les soins dans la finition du bord de la pente où il s'insère, afin d'éviter que les eaux en provenance des terrains adjacents provoquent la rupture du fossé, situation où les fossés ne collectent plus les eaux.

Tableau VIII. 15 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de fossé de crête

Déblai	
C	**0.70**
P (m/m)	**0.67**
A (km^2)	**0.00992**
Tc (h)	**0.0155**
$P(t)_{10}$	**8.933**
I(mm/h)	**578.033**
Q (m^3/s)	**1.116**

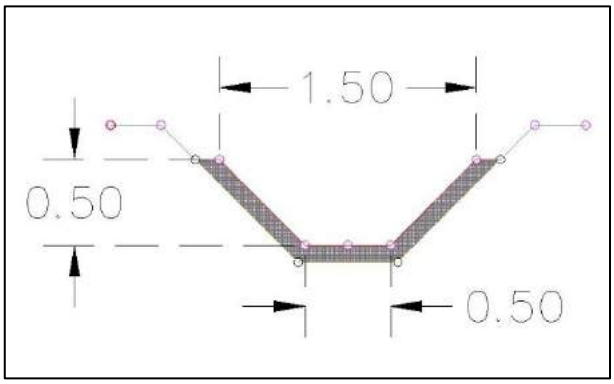


Figure VIII.10. Le fossé adopté pour notre projet

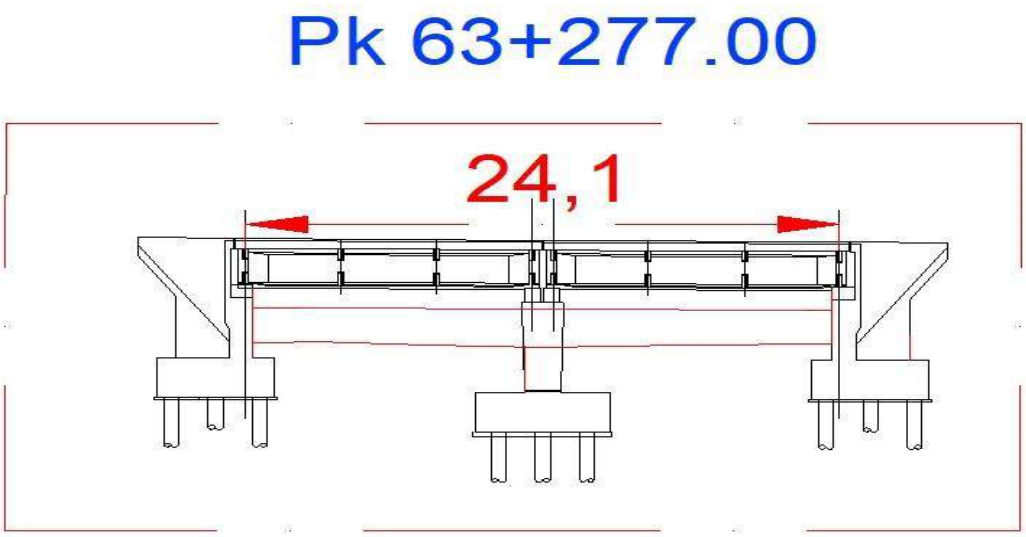
VIII.3.3. Calcul hydraulique des ponts :

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

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

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

VIII.3.3.1. Application au projet :



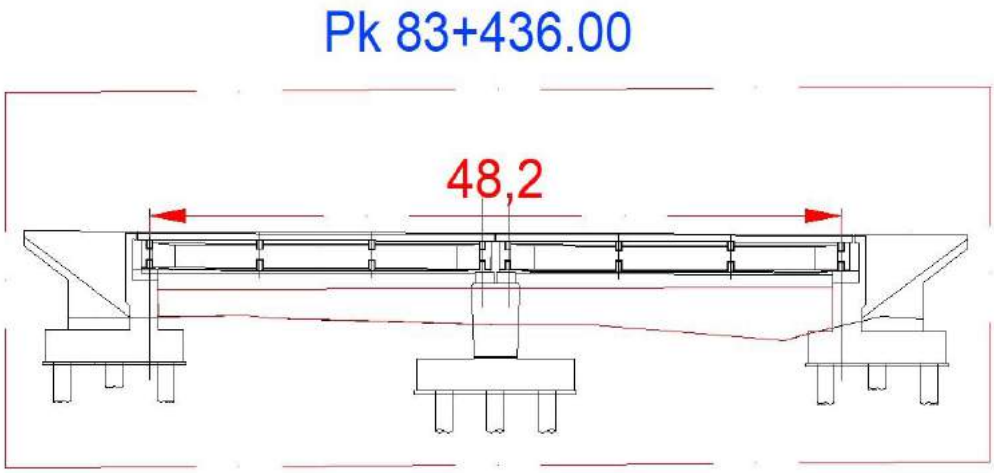


Tableau VIII. 16 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de Pont

BV	PK	Pm (m)	Sm (m²)	Rh (m)	Kst	I (m/m)	V (m/s)	Qs (m³/s)	Q100<Qs
BV3	**63+277**	26.50	42.29	1.60	30	0.05	3.61	152.82	Vérifié
BV27	**83+436**	51.32	106.77	2.1	30	0.05	3.84	410.02	Vérifié

VIII.4. CONCLUSION :

D'après l'étude hydrologique et hydraulique précédente, on déduit que le tracé étudié comporte un volet des travaux très important en termes des ouvrages de drainage longitudinal et transversal :

- Deux (2) Pont sur oued.
- 26 ouvrages hydrauliques (dalot +Buse).
- Un fossé de forme trapézoïdale (h=0.7m ; b=0.7m ; B = 2.1 m). Sur linéaire zone de déblais de 28 km.
- Un Fossés de crête de forme trapézoïdale (h=0.5m ; b=0.5m ; B = 1.5 m). Pour les zones de déblai.

Chapitre VI
Assise ferroviaire

IX. Définition :

Les couches d'assise contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée des points de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast et la sous-couche.

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

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

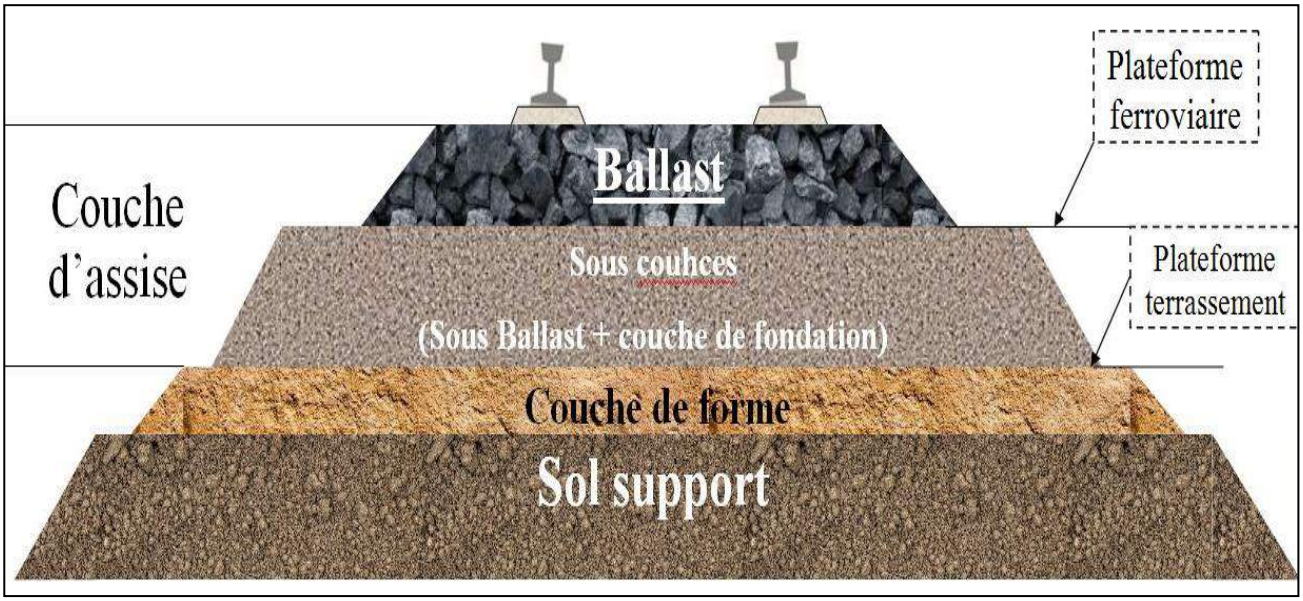


Figure IX.1. : profil en travers de l'assise ferroviaire

IX.1. Le ballast :

Le ballast est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure. La couche "ballast" et le matériau "ballast" ne sont évoqués ici que dans la mesure où ils influent sur la qualité des ouvrages en terre et des couches d'assise.

Les rôles de ballast sont multiples :

- Transmettre des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Encastrer les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales.
- Assure en raison de sa granularité particulière le drainage et l'évacuation des eaux superficielles.
- Joue le rôle d'un amortisseur de vibration très efficace.

- La granulométrie des pierres concassées variant entre 22,4 mm et 63 mm avec 50% des éléments entre 31,5 mm et 50 mm, on utilise du gravillon fin (10 mm à 35 mm) pour le nivellement. Les éléments du ballast doivent s'imbriquer, de façon à former une masse compacte, mais perméable.

Caractéristiques du ballast :

IX.1.1. Caractéristiques physiques

- **Granulométrie :** on utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF).

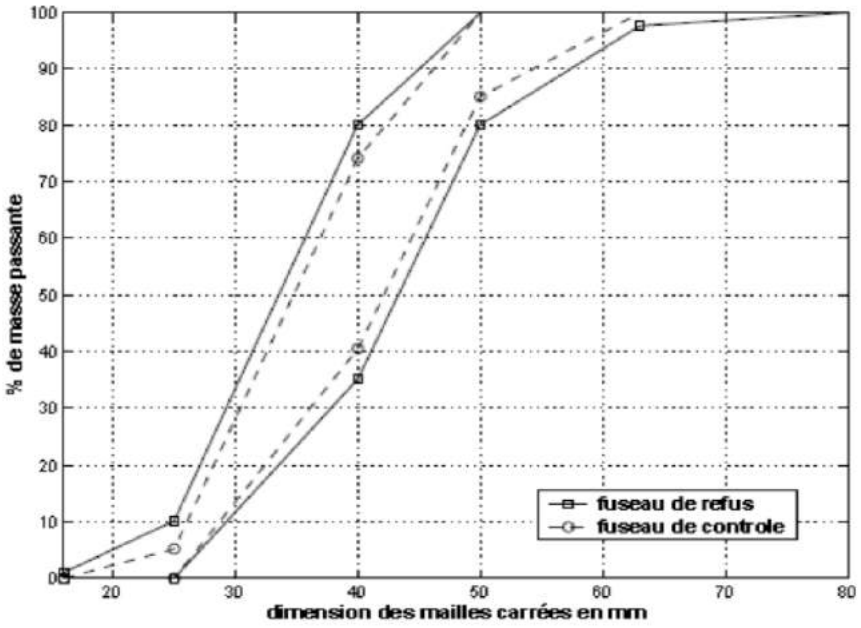


Figure IX.2. : fuseau granulaire du ballast.

- Forme de granulats (Angularité et rugosité)
- Homogénéité des granulats
- Propreté des granulats

- **Perméabilité :** Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuses) ; cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. En outre, la voie gelée perd son élasticité.

Après avoir traversé le ballast, les eaux viennent au contact de la plateforme et s'écoulent vers les fossés d'assèchement à la faveur de la pente de 4 % donnée à la plateforme. En cas de besoin, on réalise un drainage de la plateforme elle-même.

- **Densité :** Afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.

IX.1.2. Caractéristiques mécaniques

- **Solidité :** Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes (broiement) et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage (émiettement). Elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale, un ballast doit avoir pour notre cas, une DRG >12 (il varie selon la nature des traverses et du trafic).
- **Élasticité :** Le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une masse compacte, comprimée sous le poids des trains et ne « revenant » pas lorsque la charge a disparu.
- **Résistance à l'attrition :** sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux. Cette résistance est caractérisée par un coefficient deval sec DS, en présence d'eau deval humide DH.

Pour le ballast : DS > 14 (pierres dures) ; et DH > 6 (documents SNTF)
DS> 12 (pierres carbonatées).

- **Angularité et rugosité :** Avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse. Assurer par le frottement ballast/traverses le bon maintien en place de ces dernières.

- **Résistance à la compression simple :**

Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures. En effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression RC suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai uniaxial en laboratoire. En Algérie on doit avoir :

RC > 12KN/cm2 (document SNTF).

IX.2. Sous-couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme. Elle a des rôles multiples :
- amélioration de la portance par action sur la raideur et meilleure répartition des charges transmises.
- contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- anticontamination entre plate-forme et ballast.
- protection contre l'érosion et le gel.
- évacuation des eaux zénithales.

La sous-couche peut être mono ou multicouche (par exemple : couche "sous ballast", couche de fondation, couche anti-contaminante).

Constitution de la sous –couche :

IX.3. Sous –ballast :

Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses ou elle sert de couche d'égalisation et contribue à réduire la raideur de l'assise, elle est en grave propre bien graduée 0/31.5 mm comportant au moins 30% du matériau concassé ayant une DRG ≥ 12 et compacté a 100% OPN. (Jean.ALIAS. 1984 page 272).

IX.4. Couche de fondation :

En grave propre bien graduée, compactée à 100% OPN. Cette couche permet la circulation des engins de chantiers (la couche de sous ballast étant mise en œuvre en fin de chantier. La couche de fondation n'est pas nécessaire sur les meilleurs sols. (Jean.ALIAS. 1984 page 272).

Les matériaux doivent être conformes aux spécifications particulières ci-après : Sous-produit de carrière du ballast (0/31.5mm) propre bien gradué DRG>10.

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

IX.5. Couche anti-contaminante :

Elle est en sable propre et complétée si nécessaire par une feuille de feutre synthétique (géotextile), à prévoir seulement sur une plate-forme médiocre PF1.

IX.6. La plate-forme :

Constituée de sol rapportée (remblai) ou en place (déblai) la partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme, pente transversalement. Dans le cas d'un remblai cette couche de forme est d'un sol de qualité meilleure ; son taux de compactage est de 95% OPM. Par fois la couche de forme est traitée aux liants hydrauliques. Dans le cas d'un déblai, la couche de forme est obtenue par compactage du fond de fouille à 95% OPM sur épaisseur minimal de 30cm.

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

Remarque :

Le sous-ballast, la couche de fondation et la couche anti-contaminante doivent être posés en pente transversale afin de mener l'eau de pluie vers l'assainissement :

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

IX.6.1. Classification de la plate-forme :

Pour classer la plateforme, il convient :

- Tout d'abord d'apprécier la classe de qualité de chaque sol composant la plateforme.
- Puis d'apprécier la classe de portance de la plateforme complète : couche de forme + sol support.

IX.6.1.1. Classe de qualité des sols pour la plate-forme :

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

- La nature géotechnique du sol (à partir de l'identification géotechnique) :
  - La granularité et de contenu organique, Dans le cas des sols meubles.
  - La dureté et l'altérabilité, Dans le cas des sols rocheux.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales, ces conditions, sont considérées bonnes si :
  - La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle.
  - La plateforme n'est pas le siège de percolations naturelles transversales, longitudinales ou verticales nocives,
  - Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

On distingue alors les classes de qualité de sols, notées Qsi ci-après :

- Qs0 : impropre,
- Qs1 : mauvais,
- Qs2 : moyen,
- Qs3 : bon sol.

IX.6.1.2. Classe de portance de la plateforme :

On peut distinguer les trois classes suivantes de plateforme en fonction de la qualité de leur portance :

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

Le tableau suivant représente les classes de plateforme en fonction de la classe de qualité du sol support :

Tableau IX.1. : les classes de portance de la plateforme (UIC719R)

Classe de qualité du sol :	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance :	
		Qualité	Epaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	**-**
	P2	QS2	**0.5**
	P2	QS3	**0.35**
	P3	QS3	**0.5**
QS2	P2	QS2	**-**
	P3	QS3	**0.35**
QS3	P3	QS3	**-**

IX.6.1.3. Dimensionnement 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 (m)

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

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

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3) ;
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714) ;
- b : facteur dépendant de type de traverse ;
- c : facteur dépendant des conditions de travail ;
- d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules ;
- f : facteur dépendant de la vitesse ;
- g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

Tableau IX.2. : les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R**).**

Paramètres de dimensionnement			valeurs
E		**E=0.70m** **E=0.55m** **E=0.45m**	➢ pour les plateformes de classe de portance P1. ➢ pour les plateformes de classe de portance P2. ➢ pour les plateformes de classe de portance P3.
a		**a= 0 m** **a= -0.05m** **a= -0.10 m** **a= -0.15 m**	➢ pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne à V> 160 km h quel que soit le groupe UIC). ➢ pour les groupes UIC 3 et 4. ➢ pour les groupes UIC 5 et 6 groupe ainsi que 7.8 et 9 avec voyageurs. ➢ pour les groupes 7.8 et 9 sans voyageurs
b		**b=0** **b= (2.5-L)/2**	➢ pour les traverses bois de longueur 2.60m. ➢ pour les traverses béton de longueur L.
c		**c=0** **c=0.1m** **c= 0.05m**	➢ pour un dimensionnement normal. ➢ à titre exceptionnel pour des opérations difficiles s r les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec voyageurs. ➢ à titre exceptionnel pour des opérations difficiles su r les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
d		**d= 0** **d= +0.05m** **d= +0.10m**	➢ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules emorqués ne dépasse pas 200 KN. ➢ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN. ➢ lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
f		**f=0** **f=0.05m** **f= 0.10m**	➢ pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h e pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse. ➢ f=0.05m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. ➢ pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g		**g= +** **g=0**	➢ géotextile lorsque la couche de forme est en sol 1 ou QS2. ➢ g=0 (pas de géotextile) lorsque la couche de est en sol QS3.

IX.7. Application à notre projet :

IX.7.1. Calcul de l'épaisseur du ballast :

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

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

On prend e= 30 cm.

IX.7.2. Détermination du paramètre E :

- Avec une qualité moyenne de sol type QS2 et pour une voie rapide (V=160 Km/h), les recommandations du Maitre de l'Ouvrage est d'envisagé une plateforme 'P2', ce qui nécessite de mettre en place une couche de forme de classe QS2.
- Pour le sol support QS2 et en absence de couche de forme, le UIC 719 prévoie une classe de portance de la plate-forme équivalente à PF2 : **E = 55 cm**

- **Tableau IX.3. :** Paramètres de classification de couche d'assise

Paramètre	Valeur (m)	Critère de choix
E	0.55	Classe de plateforme P2
a	-0.*1*	V ≤160 Km/h Groupe UIC 5
b	0.13	Traverse en béton avec L=2.245 m
c	0	Dimensionnement normal
d	0.05	La charge maximale 22.5 tonnes/essieu
f	0	La ligne a une vitesse ≤ 160 km/h
g	0.01	Avec géotextile pour qualité QS1

- **Résultats :**

En appliquant la formule, on obtient :

e (m) = E + a + b + c + d + f + g = 0.55 – 0.1 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 1 = 0.6*4* m.

Nous avons pris la valeur de : **e = 0.6*5* m.**

Alors la structure de la voie est comme suit :

Tableau IX.4. : structure de la voie

Couche	Epaisseur(m)	Matériaux
Ballast	0.30	GC (grave concassée) 25/50 mm
Sous-ballast	0.1*5*	Grave bien gradué 0/31.5 mm
Couche de forme	0.2*0*	GC (grave concassée) 0/50 mm

Tableau IX.4 bis. : Structure de la voie pour le sol support QS1

Couche	Epaisseur(m)	Matériaux
Ballast	0.30	GC (grave concassée) 25/50 mm
Sous-ballast	0.15	Grave bien gradué 0/31.5 mm
CDF	0.35	GC (grave concassée) 0/50 mm
Couche de forme	0.20	un sol de qualité meilleure

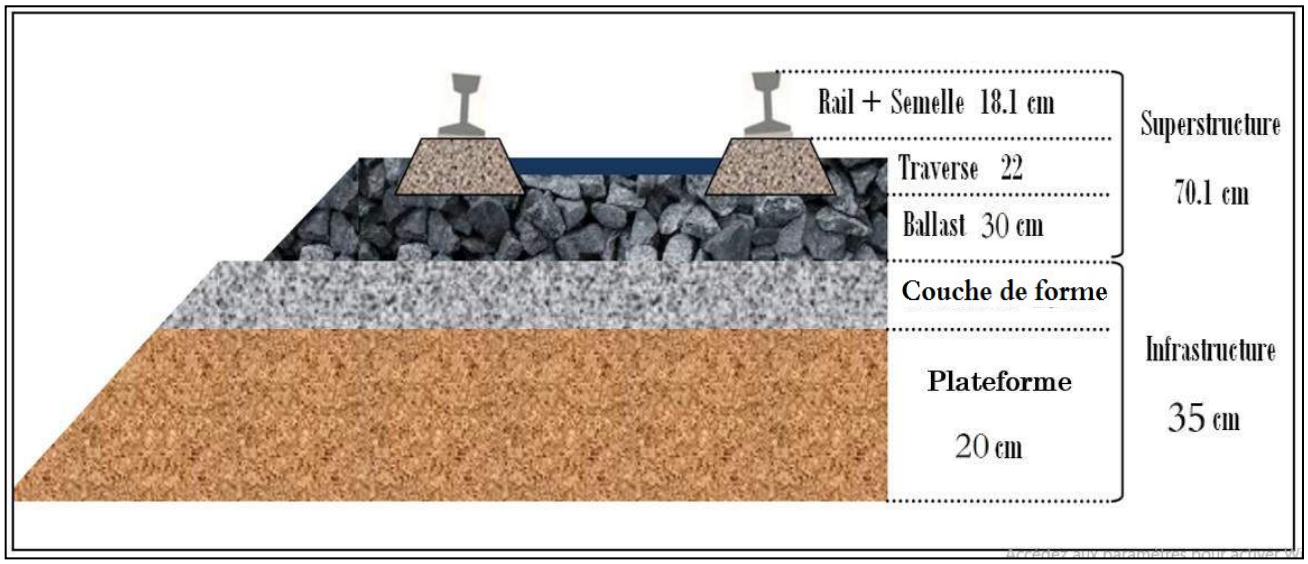


Figure IX.3. : structure de la voie

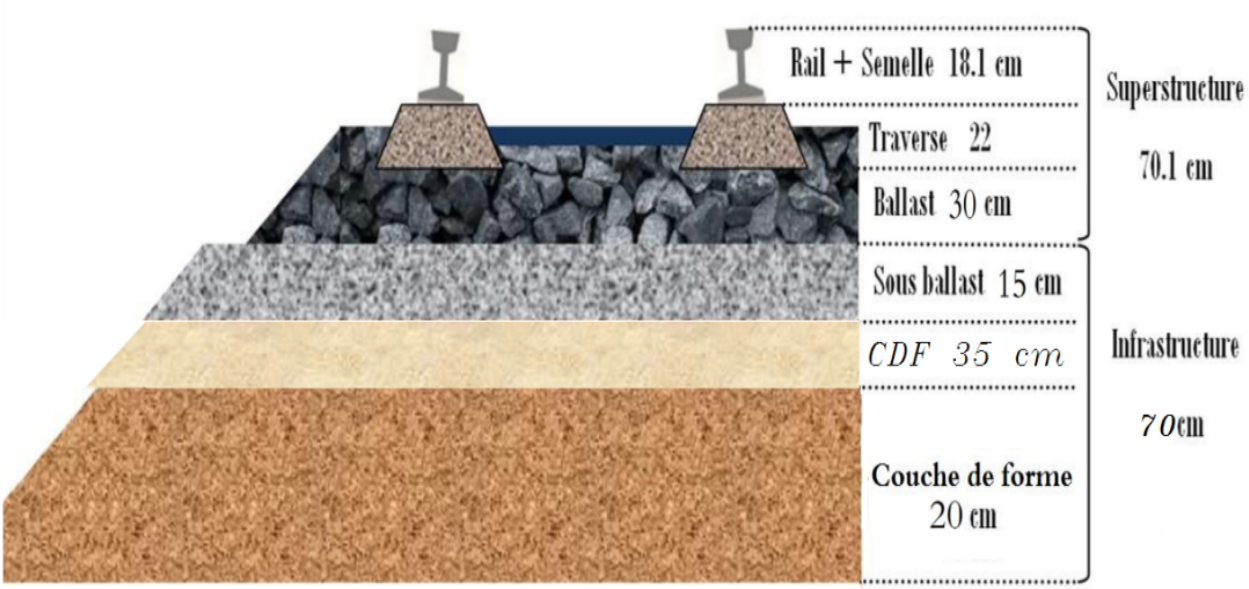


Figure IX.3bis. : structure de la voie pour les sols supports QS1

Chapitre V
Profil en Travers

X.1 Introduction :

Le profil en travers correspond à une coupe verticale perpendiculaire à l'axe en plan de le ligne nouvelle. Il précise les dévers appliqués à la voie, et il permet de visualiser :

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

On distingue deux types de profil :

X.1.1 Profil en travers type :

Est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

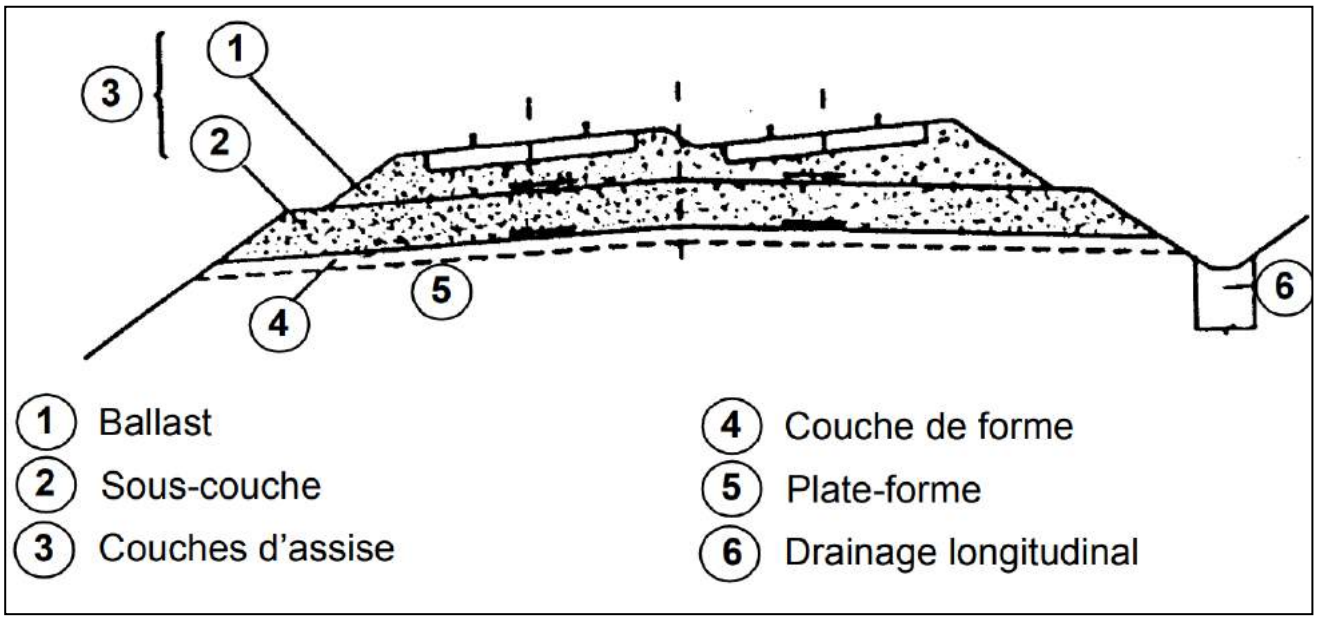


Figure X.1. : Profil en travers type

X.1.2. Profil en travers courant :

Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet. Devers de la plate-forme.

X.2. Constituants du profil en travers type :

En chemin de fer, le profil en travers type doit indiquer tous les éléments suivants :

- Elément de la superstructure :
- Le rail et son type.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- L'entraxe de la voie.
- Les traverses et leur type.
- Poteaux caténaires et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées).
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La pente latérale de la couche de ballast.
- Eléments de l'infrastructure :
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.
- Les épaisseurs et les nominations de chaque couche.
- Eléments de talus :
- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuels, tels que les murs de soutènement.
- Eléments d'assainissement :
- Type et dimension des fossés ou des drains.

X.3. Les éléments du profil en travers :

- **Emprise :** C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette :** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme :** C'est la partie qui reçoit la voie et le ballast (face supérieure du sous ballast)
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme :** Supporte des équipements de signalisations ferroviaires. Sa largeur dépend toutde l'espace nécessaire au fonctionnement de ces équipements.
- **Le fossé :** C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellementprovenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

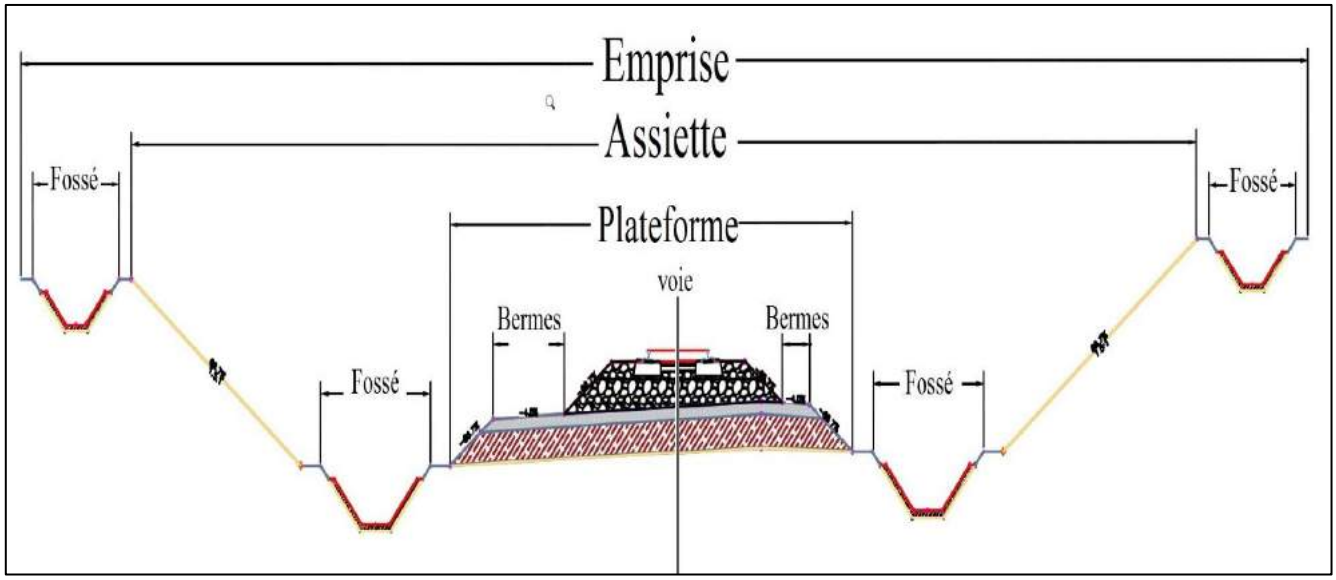


Figure X.2. : Constituants du profil en travers

X.4. Profil type de notre projet :

Pour notre projet, on suit les exigences de la SNTF :

- Type de ligne : voie unique mixte non électrifiée.
- Ecartement de la voie de 1435 mm sans sur écartement dans les courbes.
- La voie unique repose sur une plate-forme de 8m de largeur.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Les talus de remblai et de déblai auront des pentes de 1.5H:1V.
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast :15 cm.
- Epaisseur de la couche de forme : 20 cm.

- Cas des sols de classe QS1 :

Pour notre projet, on a 2 zones qui ont la classe du sols QS1 :

- Du Pk 64+350 au Pk 69+600
- Du Pk 72+433 au Pk 81+657
- **Les épaisseurs de profil en travers est comme suit**
- Epaisseur du ballast : 30 cm
- Epaisseur du sous-ballast :15 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 35 cm
- Epaisseur de la couche de forme : 20 cm.

La limitation des zones QS1 doit être affinie lors de exécution

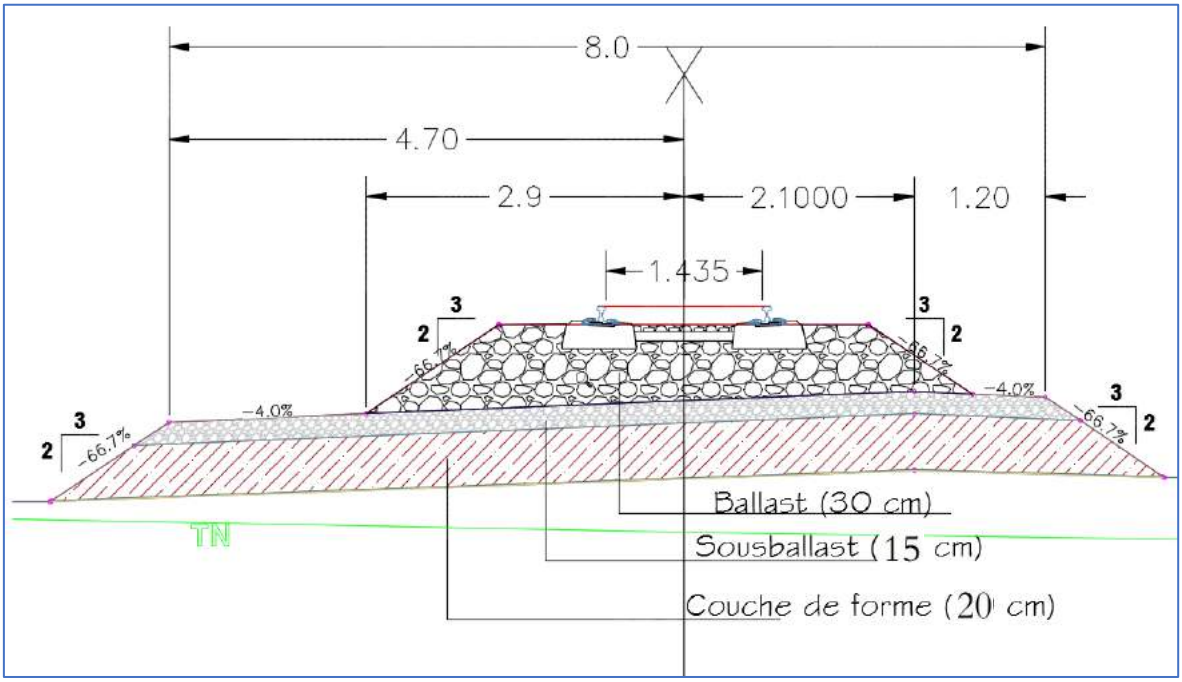


Figure X.3. : Profil type de notre projet cas remblai et déblai.

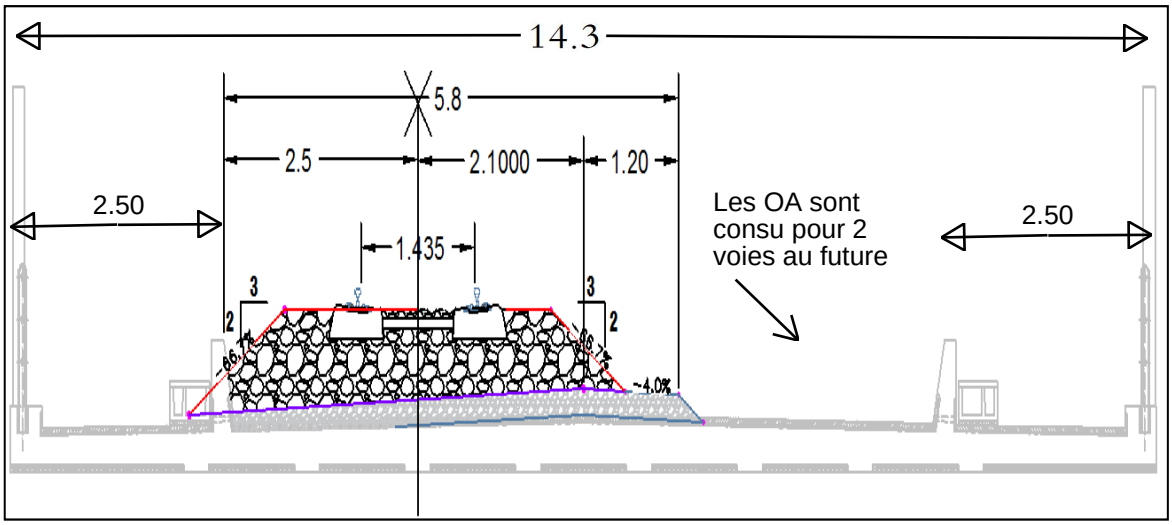


Figure X.4 : Profil type de notre projet cas des ouvrages d'arts**.**

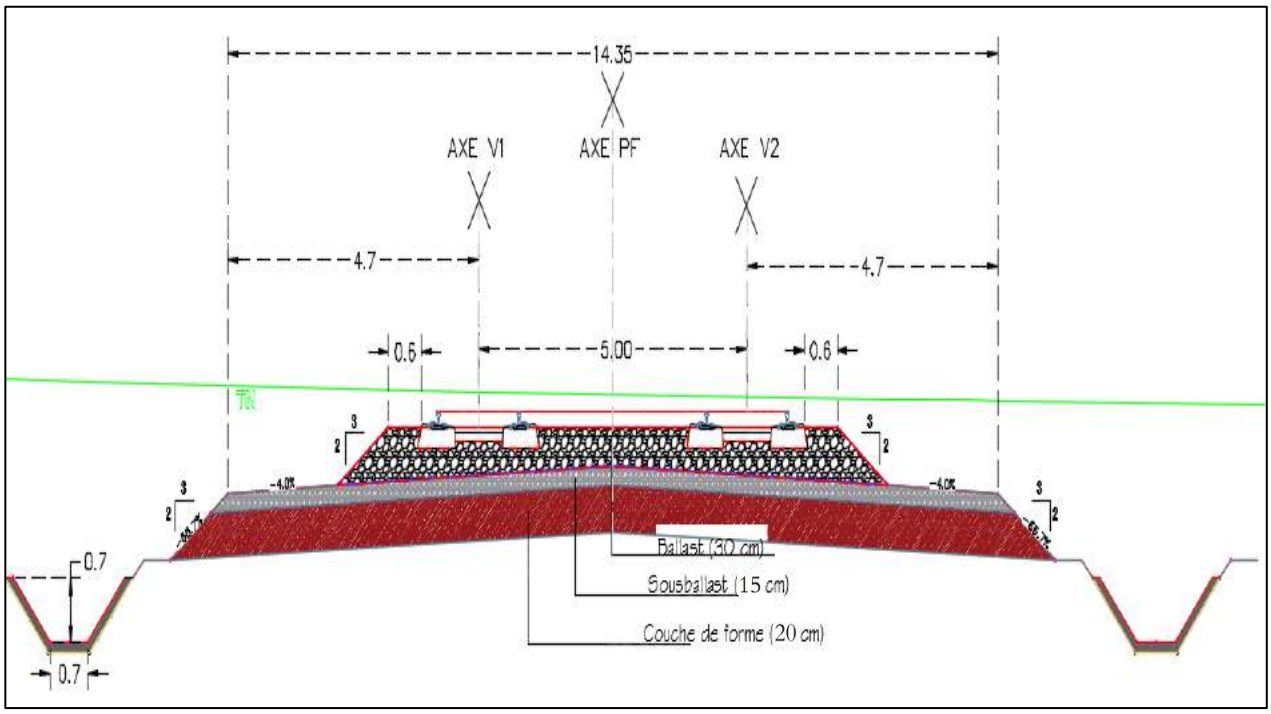


Figure X.5. : Profil type de notre projet cas des gares.

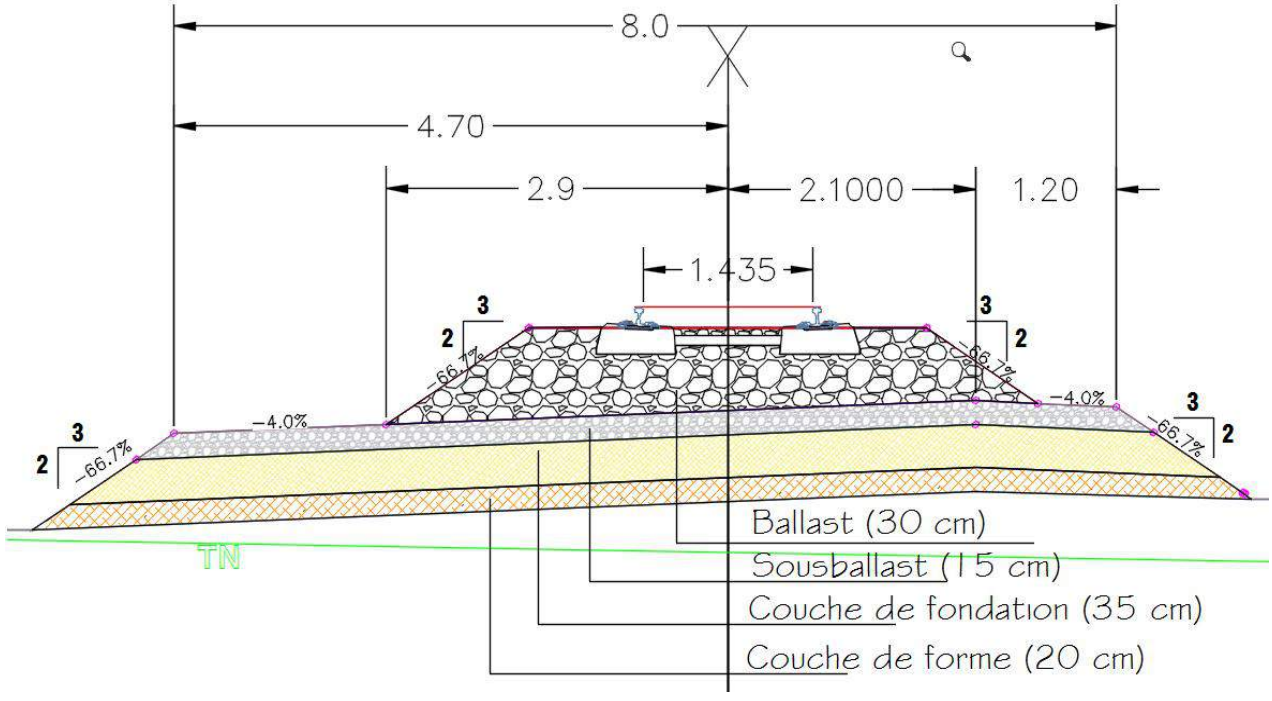


Figure X.5bis. : Profil type de notre projet cas d'un sol support QS1

CHAPITRE XI
TERRASSEMENT ET OUVRAGES

XI. TERRASSEMENTS :

XI.1 INTRODUCTION :

Les terrassements désignent l'ensemble des opérations de mouvement des terres en déblais et en remblais, ayant pour objectif fondamental de modification d'un site pour la création d'une plate-forme ferroviaire. Cette modification s'effectue soit par rapport de terre sur le sol du terrain naturel qui lui suivra le support : remblais, soit par excavation des terres existantes au-dessous du niveau de la ligne rouge : déblais.

XI.1.1. Déblais :

Les contraintes topographiques et géotechniques d'implantation du tracé de la ligne ferroviaire dans les zones de relief nivelé induisent la nécessité d'exécution de terrassements de petite à moyenne magnitude. Le tableau ci-dessous montre Les principales zones de déblais le long du tracé :

Tableau XI. 1 : zones de déblais entre PK56+500 et PK 84+800.

Localisation pk	H max (m)	Nature du terrain
59+650	7.56	**Sable argileux**
78+275	12.2	**Sable argileux**

La géométrie des talus en déblais choisie basée sur la géométrie de la plateforme ferroviaire, type de structure d'assise retenu et type de drainage. Tout en assurant la stabilité de l'ouvrage en respectant coefficient globale de sécurité F :

- Fs ≥ 1.5 pour la stabilité à court terme.
- Fs ≥ 1.3 pour la stabilité à long terme.
- Fs ≥ 1 pour la stabilité sous la sollicitation sismique.
- Les pentes de talus en déblai sont : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1

Tableau XI. 2. La sécurité dans la zone de déblai :

Le cas	Solution proposée
La stabilisation des talus	✓ Disposer des fossés de crête de talus. ✓ Disposer des tuyaux en descente en béton. ✓ La surface des talus sera traitée avec des plantations.
Cas des déblais effectués dans des terrains rocheux	✓ Le traitement avec des boulons d'ancrage
Instabilités locales avec détachement des blocs	✓ La projection de béton. ✓ Le boulonnage local. ✓ La disposition de grillage antichute.
Infiltration des eaux dans la zone de déblai	✓ Disposer des fossés revêtus dans les bermes.

XI.1.2. Remblais :

Les principaux remblais occurrents au niveau du tracé présentent des hauteurs maximales entre 6 et 8.6 m situés au niveau du (pk57+035 ; H=9.42 m) et (pk 67+870 ; H=8.56 m), (pk 69+619 ; H=7.9 m), (pk 72+900 ; H=7.8 m), (pk76+650 ; H=9.7 m), (pk 84+510 ; H=7 m)

Une importance partie des matériaux résultant des excavations des déblais pourra être utilisée dans la construction des remblais.

- **Pentes de talus :** en remblai 3/2, .

Une importance partie des matériaux résultant des excavations des déblais pourra être utilisée dans la construction des remblais.

Pour exécution des remblais il est toujours nécessaire de débarrasser le sol de tout ce qui pourrait nuire à la liaison du terrain en place avec les remblais tels que les racines, souche et débris de tout nature et la terre végétale sur une épaisseur suffisante.

Si le terrain d'assiette est en grande pente comme notre cas, il y a lieu de créer des redans pour permettre l'accrochage des remblais.

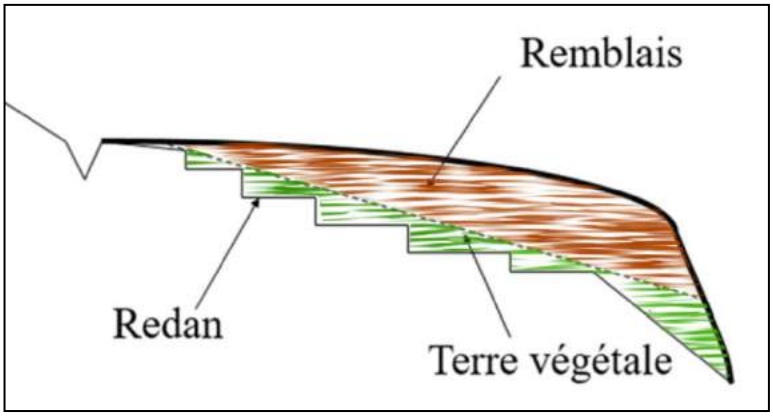


Figure XI.1. : Remblais dans une grande pente

XI.2. VERIFICATIONS DE LA STABILITÉDES DÉBLAIS ET DES REMBLAIS :

La vérification consiste à calculer le facteur de sécurité global pour les différentes positions des centres des cercles de rupture, en comparant la valeur obtenue avec le minimum :

Fs= Tr/Ts (facteur de sécurité global) dans laquelle :

Tr : résistance au cisaillement le long le cercle critique

Ts : force totale de cisaillement agissante le long le cercle critique.

L'intensité de l'action sismique a été déterminée en faisant référence aux Normes parasismiques algériennes (Règles Parasismiques Ouvrages d'Art - R.P.O.A.)

XI.2.1. Cas d'un Déblai :

- Position : 78+275
- Hauteur Totale : 12.2 m.
- Pente proposée : **3H/2V**, Risberme : 2 m, Hauteur : 6 m.
- Sismicité : zone « I » (séismicité faible).

Tableau XI. 3 : Les caractéristiques mécaniques des déblais

PK Début- fin	Profondeur (m)	Nature terrain	Paramètres géotechniques		
			γ_h KN/m^3	C'$_f$ (kn/m^3)	φ'_f (Degré)
59+369 – 60+150	0.80-1.40	Sable	18	26	18
	1.40-10.00	Marne Argileuse	20	08	28
77+900 – 79+00	0.20-1.80	Argile	20.9	20.9	19.29
	1.80-20.00	Marne Argileux	20	35	13

Tableau XI.4. Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais.

PK Début- fin	Géométrie des talus				Facteur sécurité	Observations
	Longueur (m)	Hauteur (m)	Pente proposée	Bermes / Talus (m)	Condition statique	
59+369 – 60+150	781	7.56	3H/2V	2m / 6m	3.23	Stable
77+900 – 79+00	1100	12.2	3H/2V	2m/6m	1.86	Stable

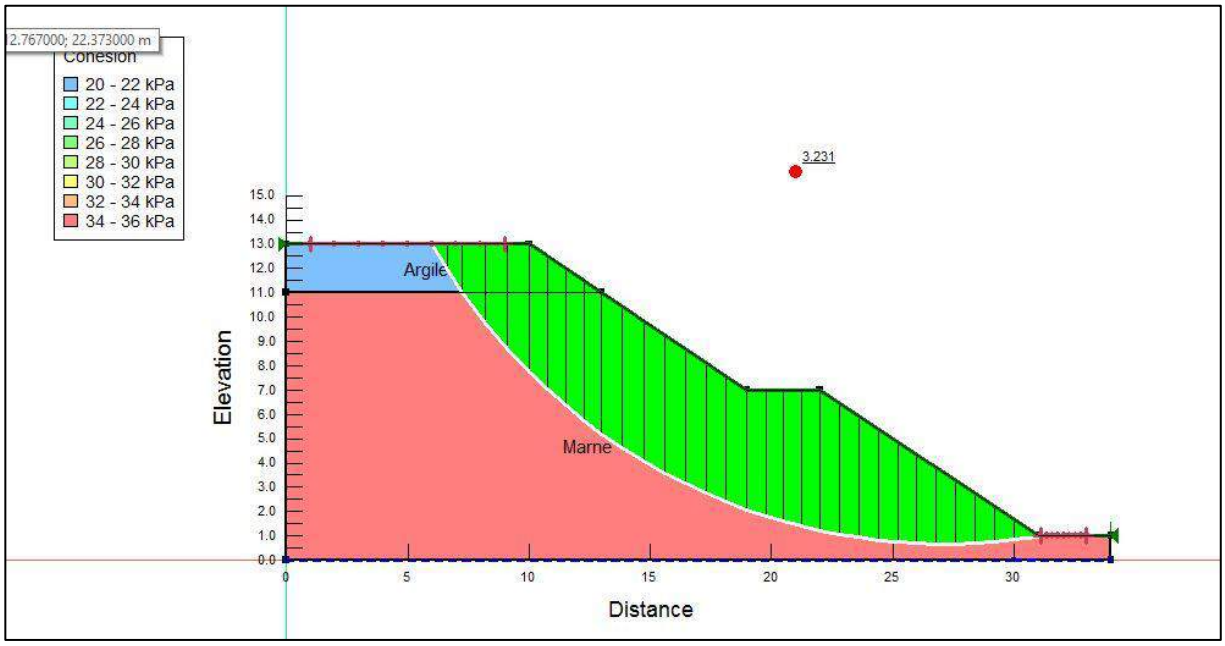


Figure XI.2 : les cercles de rupture pour les déblais au PK 78+275 condition statique.



Figure XI.3 : les cercles de rupture locale pour les déblais au PK 78+275 condition statique
.

XI.2.1.1 Conclusion :

Pour des raisons de stabilité, mais aussi visant la création d'accès pour d'éventuels entretiens : des ris-bermes de 2 m de largeur ont été adoptées chaque 6m de hauteur pour les zones de déblais avec pente de 3H/2V

XI.2.2. Cas d'un Remblai :

- Position : 63+000 à 73+100 (4 zones)
- Hauteur Totale : 7.37 m.
- Sismicité : zone « I » (séismicité faible)

Comme fait pour les déblais, on a considéré aussi en ce cas la présence du caniveau en béton et une couche de terrain végétale, pour lesquels ils ont été assumé les paramètres du tableau suivant :

Tableau XI. 5 : Les caractéristiques mécaniques des Remblais

PK Début- fin	Nature terrain	Paramètres géotechniques		
		γ_h KN/m^3	C'$_f$ (kn/m^3)	φ'_f (Degré)
63+00-64+00	TVO	21	31	35
64+100-65+250	TVO	21	31	35
67+505-68+550	TVO	21	31	35
72+300-73+100	TVO	21	31	35

NB: Les remblais à mettre en place seront soigneusement exécutés et seront l'objet d'études au laboratoire avant éxecution conformément aux conditions.

Tableau XI.6. Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en remblais.

PK Début- fin	Géométrie des talus				Facteur sécurité	Observations
	Longueur (m)	Hauteur (m)	Pente proposée	Bermes / Talus (m)	Condition statique	
63+00-64+00	1000	6.83	3H/2V	2m/6m	2.82	Stable
64+100-65+250	1150	7.37	3H/2V	2m/6m	2.20	Stable
67+505-68+550	1045	6.21	3H/2V	2m/6m	2.24	Stable
72+300-73+100	800	6.22	3H/2V	2m/6m	2.08	Stable

NB: 3H/2V correspond à un angle de 34° ce qui est favorable pour la stabilité des argiles et des marnes

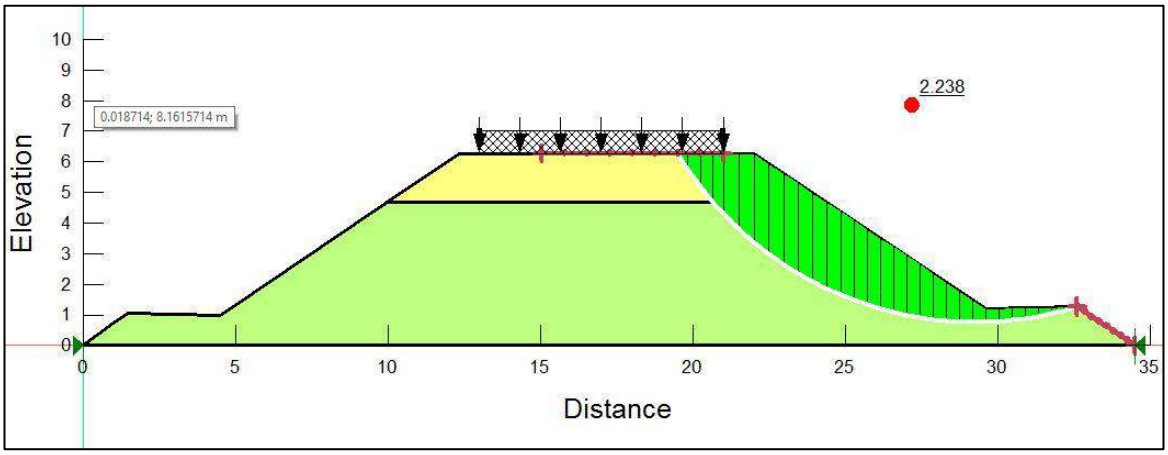


Figure XI.4 : les cercles de rupture pour les Remblai au PK 64+800 condition statique

XI.2.2.1. Conclusion :

Pour tous les remblais on remarque que les surfaces de glissement intéressent exclusivement le corps du remblai.

XI.3. Réutilisation des matériaux de déblais (déblais mise en remblais) :

En raison des coûts énormes des travaux de terrassements, les constructeurs essaient d'utiliser le maximum des sols extraits en remblais pour réduire les coûts de transport et d'achat des matériaux conformes à l'utilisation pour remblais. Les conditions de réutilisation des matériaux sont définies par le GTR.

Dans les zones déblais on a un (01) classe de sol classifié par GTR ($B6_S$) : Tableau suivant représente les zones déblais rencontrés le long du tracé entre PK 56+500 et PK 84+500 :

Tableau XI.7. : les zones déblais rencontrés le long du tracé

PK	Longueur (m)	Classe GTR
59+650	781	$B6_s$
78+275	1100	$B6_S$

D'après le GTR, la teneur en eau de ces matériaux, va définir les conditions de réutilisations :

Tableau XI.8. Les conditions de réutilisations des matériaux

	Utilisation des matériaux	
	En remblais	En couche de forme
$B6_S$	Il faut compenser l'insuffisance de la teneur en eau par un compactage intense, un arrosage, ou une humi-dification avec un malaxage soigné et une quantité d'eau importante	Il faut procéder par un traitement avec des liants hydrauliques associes éventuellement à de la chaux.

XI.3.1 Conclusion :

D'après le GTR les matériaux mis en remblais et en couche de forme sont $B6_S$,

XI.4. Structure des remblais :

La structure des remblais peut être composite (remblai avec noyau et enveloppe, remblai avec matériaux de zone inondable) :

XI.4.1. Remblai en zone courante (non inondable) :

Dans la figure suivant se présente la structure de remblai en zone courante (non inondable), elle est constituée par un noyau et une enveloppe :

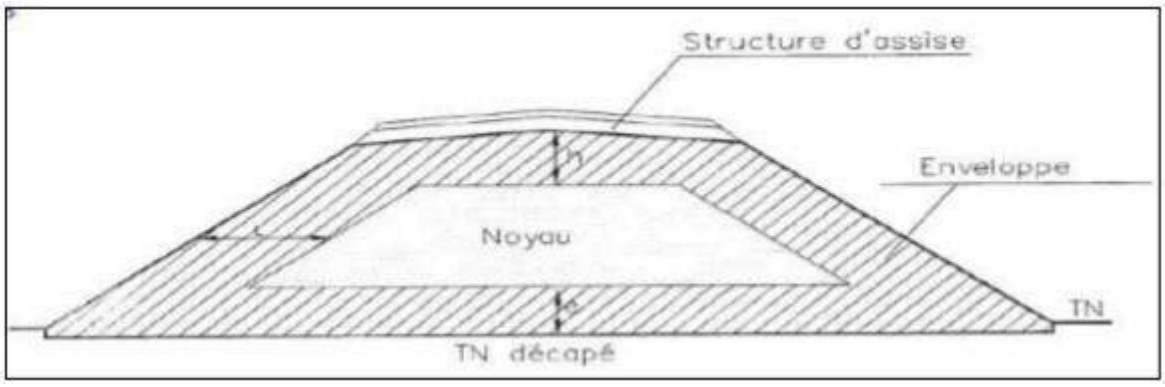


Figure XI. 5 : Structure d'un remblai courant**.**

Avec :

- e : épaisseur de l'enveloppe en base de remblai (1.00m minimum).
- l : largeur de l'enveloppe (3.00 m minimum).
- h : épaisseur de l'enveloppe au-dessus du noyau (1.00 m minimum).

XI.4.2. Remblais en zone inondable :

Une partie du tracé est en risque d'inondations et de stagnation d'eau. L'observation sur terrain et l'analyse de la cartographie a permis la localisation d'une zone à risque d'inondation de PK 59+369 PK 64+801 ; PK 72+450 ; PK 77+781 ; PK 79+119 ; PK 80+262 ; PK 80+695 ; PK 83+615.

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés selon la conception donnée dans le référentiel technique (voir Figure N° X.4) de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité.

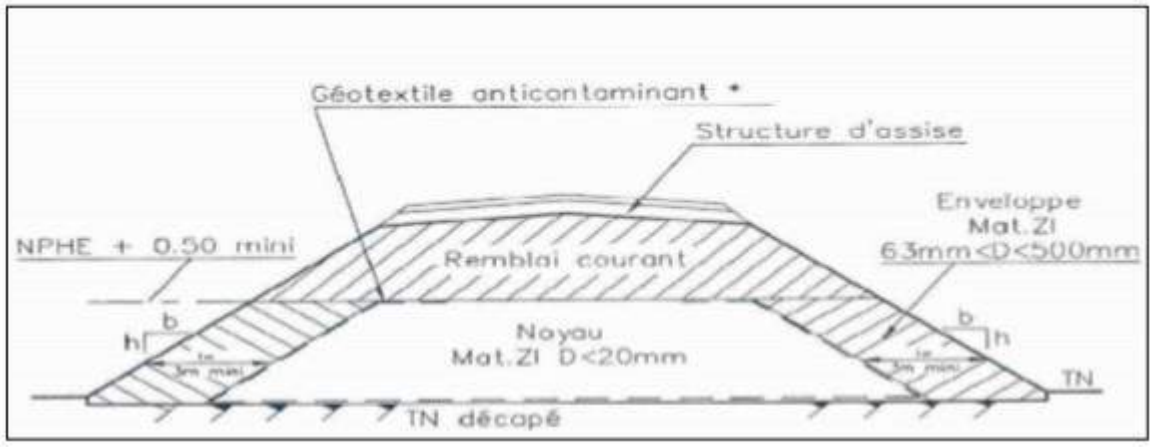


Figure XI. 6 : Structure d'un remblai en zone inondable**.**

Selon les Spécifications Techniques ST 590 B (SNCF), les matériaux à utiliser pour la construction des parties des remblais susceptibles d'être immergées au niveau de zones inondables doivent être constitués de matériaux granulaires avec les caractéristiques suivantes :

- $63 \leq D < 500$ mm
- Tamisât à ($D \leq 200$ mm) : $85\% \leq$ %tamisât $\leq 99\%$.
- Passant à $80\mu m \leq 5\%$.
- $LA+MDE \leq 80$.

Avec :

- D : dimensions des granulats.
- LA : Los Angeles.
- MDE : Micro Deval d'Eau.

XI.5. EPAISSEURS DE LA TERRE VEGETALE :

Avant la réalisation d'un remblai il faut préparer le terrain, le décapage de la terre végétale est réalisé selon des épaisseurs variables déterminées par des études géotechniques, pour le tronçon étudié les épaisseurs de terre végétale seront les suivantes :

Tableau XI.9. Le Volume de la terre végétale

PK		Epaisseur (m)	Volume de la terre végétale (m^3)
Début	Fin		
56+679	58+875	1.6	17343.3
58+875	59+625	1	
59+625	61+275	0.8	
61+275	62+818	0.7	
62+818	65+250	0.6	
65+250	67+506	0.4	
67+506	70+300	0.5	
70+300	72+715	0.2	
72+715	74+472	0.2	
74+472	76+441	0.2	
76+441	78+175	0.2	
78+175	80+497	1.8	
80+497	**83+413**	0.4	

XI.5.1. CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :

Les cubatures des terrassements sont calculées après définition du terrain naturel, et du projet par : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers. Le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :(les résultats détaillés dans annexe…)

Tableau XI. 10 : Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassement	Volume (m^3)
Remblais	769769
Déblais	963420

Tableau XI. 11 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise

Terrassement	Volume (m^3)
Ballast	88072
Sous-ballast	48920
Couche de fondation	133038

Tableau XI. 12 : Récapitulatif des volumes des terrassements

Pk Début	Pk Fin	Vol Remblais cumulé (m^3)	Vol Déblais cumulé (m^3)	Vol net (m^3)	Vol Ballast cumulé (m^3)	Vol Sous Ballast Cumulé (m^3)	Vol Couche de forme Cumulé (m^3)
56+500.00	56+687.23	14919	0	14919	575	311	854
56+687.23	56+882.65	13663	0	13663	554	304	835
56+882.65	57+501.70	30269	0	30269	1746	1008	2772
57+501.70	57+750.00	1540	58	1482	752	411	1129
57+750.00	58+090.27	766	868	-102	1030	564	1547
58+090.27	59+325.66	732	74225	-73493	3420	2002	5510
59+325.66	60+048.36	31	132555	-132524	2205	1199	3291
60+048.36	60+500.00	249	23461	-23212	1679	1027	2677
60+500.00	61+150.00	11056	4278	6778	3118	1908	4971
61+150.00	61+700.25	20880	0	20880	1372	745	2044
61+700.25	62+600.00	4726	0	4726	2681	1485	4077
62+600.00	63+241.95	35496	4747	30749	1972	1067	2928
63+241.95	63+700.00	18145	572	17573	1333	721	1979
63+700.00	64+125.00	6336	40494	-34158	1306	706	1938
64+125.00	65+243.43	111702	0	111702	3436	1859	5101
65+243.43	67+516.75	68892	11912	56980	6945	3757	10308
67+516.75	70+295.75	75871	18146	57725	8500	4599	12618
70+295.75	70+625.00	85	3534	-3449	973	527	1445
70+625.00	71+448.36	0	236237	-236237	2530	1369	3755
71+448.36	71+950.00	23	18920	-18897	1799	1101	2868
71+950.00	72+450.00	28741	29	28712	2399	1461	3809
72+450.00	72+727.75	12109	0	12109	541	293	803
72+727.75	73+600.00	50840	2594	48246	2642	1429	3921
73+600.00	74+300.00	0	71822	-71822	2151	1164	3193
74+300.00	76+453.00	24590	17487	7103	6600	3578	9818
76+453.00	77+283.17	68210	0	68210	2383	1310	3596
77+283.17	78+075.00	12991	6984	6007	2270	1248	3426
78+075.00	78+800.00	0	145085	-145085	2031	1117	3064
78+800.00	79+425.00	14786	3230	11556	1890	1035	2841
79+425.00	79+775.00	0	40678	-40678	1075	582	1596
79+775.00	80+509.73	20012	3914	16098	1913	1074	2945
80+509.73	81+910.00	44882	4778	40104	4428	2327	6378
81+910.00	82+100.00	0	14592	-14592	606	319	873
82+100.00	83+411.90	25977	11811	14166	3819	2020	5537
83+411.90	83+500.00	3263	0	3263	123	66	182
83+500.00	84+800.00	47987	70409	-22422	5275	3227	8409
	Total Vol	**769769**	**963420**		**88072**	**48920**	**133038**

XI.6. OUVRAGES D'ART :

XI.6.1. INTRODUCTION :

La conception d'un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire et le franchissement des différents obstacles et infrastructures existantes en répondant aussi aux exigences techniques et économiques, nous obligeons de doter notre nouvelle ligne les ouvrages d'arts suivants :

- Ponts rail (ouvrages ferroviaires) :
  - Pont sur oued.
  - Passage inférieur.

- Ponts routiers :
  - Passage Supérieur
- Les ouvrages hydrauliques :
  - Dalot (détaillé dans le chapitre de l'assainissement et hydrologie).

XI.6.2. Les croisements avec la route :

En général, le problème de croisement doit prendre en considération la nature et le débit de la voie, l'analyse au cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale doit être faite. On prévoit en effet, trois solutions possibles :

XI.6.2.1 Passage inférieur :

La vitesse de train est importante >100km/h et si la topographie et nature de zone ne le permet.



Figure XI.7 **:** Passage inférieur.

XI.6.2.2. Passage supérieur :

C’est rarement envisagé, c’est lorsque la topographie ou bien la nature de site l’exige.



Figure XI. 8 **:** Passage supérieur

XI.6.3. Franchissement d’écoulement d’eau :

XI.6.1. Pont hydraulique :

Ouvrage hydraulique pour franchir les oueds de grand débit.



Figure XI.9 **:** pont hydraulique**.**

XI.7. APPLICATION DE PROJET :

XI.7.1. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET :

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

Tableau XI. 13 : Les ouvrages d'arts projetés du projet.

Obstacle à franchir	PK de L'ouvrage	Ouvrage Projeté	Le gabarit de l'ouvrage (m)
une piste	56+679	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
chemin Wilaya (CW8)	59+369	Passage Supérieur	**7.1**
une piste	61+275	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
une piste agricole	62+818	Passage Supérieur	**7.1**
Un Oued	63+278	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
chemin Wilaya (CW8)	65+250	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
une piste	67+506	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
une piste	70+300	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
une piste agricole	72+715	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
une piste	74+472	Passage Supérieur	**7.1**
une piste	76+441	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
une piste	78+157	Passage Supérieur	**7.1**
une piste	80+497	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
Un Oued	83+413	Ouvrage ferroviaire	**5.25**
chemin Wilaya (CW9)	83+846	Passage Supérieur	**7.1**

CHAPITRE XII :
LA CONCEPTION DE LA GARE
Ain kermes

XII.1. Introduction :

La gare ferroviaire se présente comme un lieu d'arrêt des trains pour assurer la montée et la descente des voyageurs et le chargement déchargement de la marchandise et se présente aussi comme un nœud de liaison entre la ville et son système de transport public.

Ce chapitre a pour objectif de présenté les différents constituants d'une gare voyageurs, et de donner une conception des voies et des quais de la nouvelle gare Bouira.

XII.2. TYPES DES GARES :

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises Ferroviaire.
- Gare mixte.
- Gare de triage.
- Gare de croisements.

XII.3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS :

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

- Le bâtiment de voyageurs : c'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.

- Les bâtiments à usages divers (B.U.D) : c'est un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.
- Quais : c'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.
- Abris de quais : c'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
- Les passages sous terrain et les passerelles : ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

XII.4. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES :

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.

XII.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE :

XII.5.1. La marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation n'est autorisée.
La marge de glissement a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Selon UIC 741 Les longueurs de la marge de glissement sont définies comme suit :

- 50-200 m : selon la vitesse de la ligne, comme à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie :

- LG = 200 m pour V ≥ 60 km/h
- LG = 100 m pour 40 km/h ≤ V ≤ 60 km/h
- LG = 50 m pour V < 40 km/h.

- 50 m : à l'aval des signaux de blocs

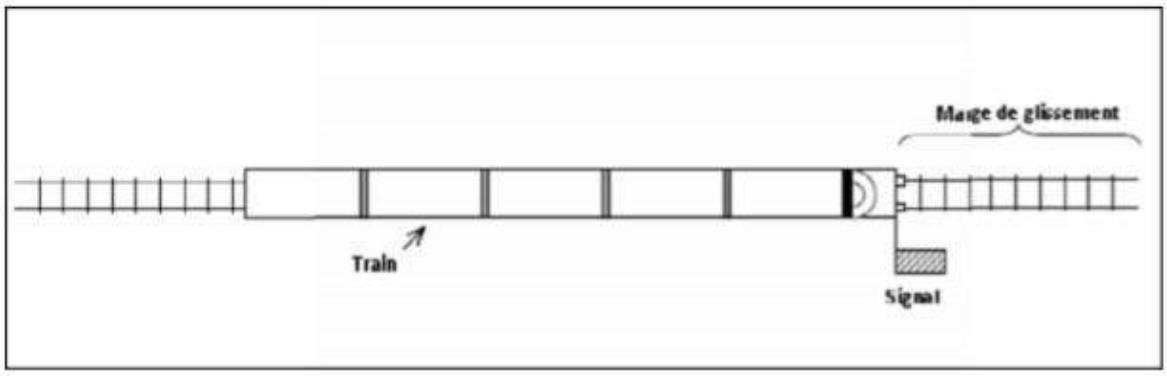


Figure XII. 1 : Schéma de la marge de glissement**.**

XII.5.2. Garage franc (GF) :

De part et d'autre de la voie de stationnement, il marque la partie de voie à occuper par les véhicules garés. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément. D=3.57m

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

N : variable dépend de l'ouverture de l'appareil de voie

- Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF = 44 m.

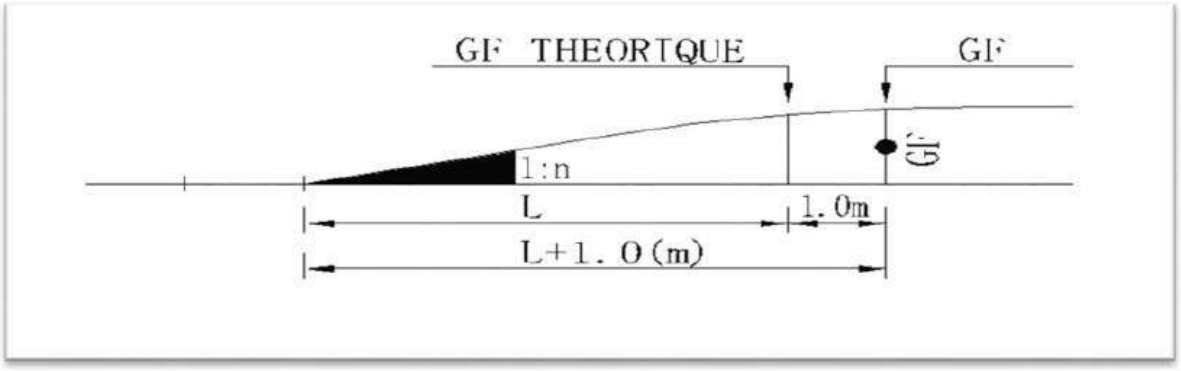


Figure XII. 2 : Garage franc.

XII.5.3. 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.

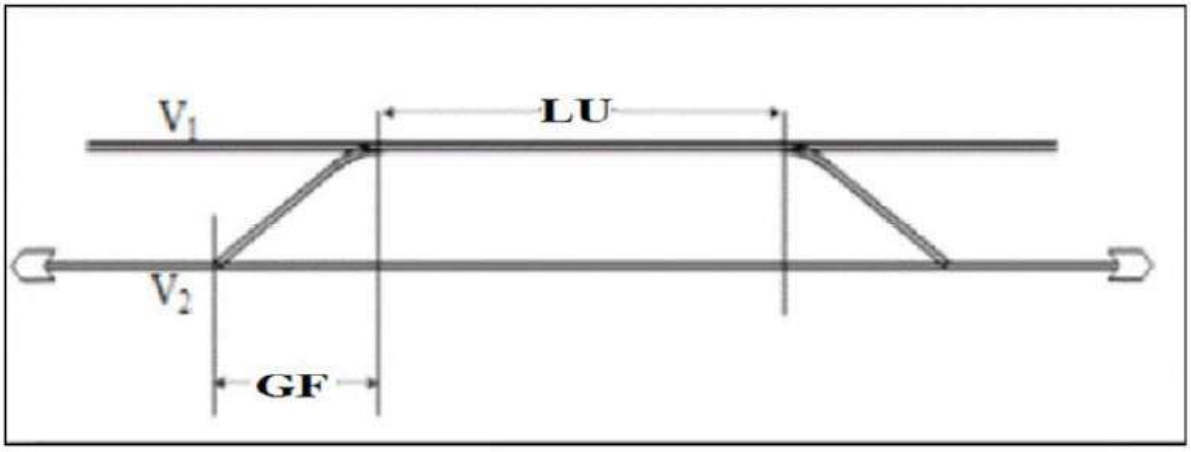


Figure XII. 3 : Longueur utile de stationnement et garage franc

LU=LG+LS+LT+LA+LC.

LU : longueur utile.
LG : longueur de glissement.
LS : longueur de sécurité.
LT : longueur maximale de train.
LA : marge de tolérance d'arrêt.
LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

- 426 m : pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandise (pour la voie principale et la voie de service)

XII.5.4 Les évitements

C'est un endroit sur une voie ferrée où cette dernière se divise en deux voies parallèles sur une longueur de quelque dizaines à quelque centaines de mètres pour se rejoindre à nouveau, afin de permettre à deux trains de se croiser ou de se dépasser ou dans le cas d'une voie destinée à l'arrêt prolongé d'un train, on parle de garage ou tiroir [12].

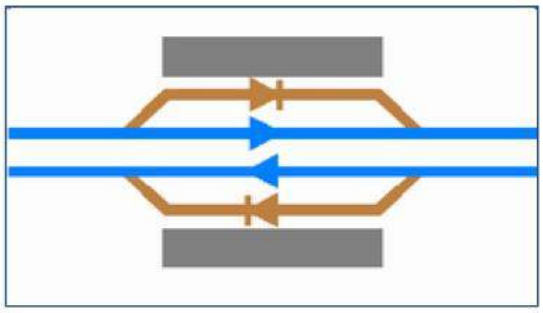


Figure XII.4. schémas d'évitement

XII.5.5. Heurtoir :

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons



Figure XII. 5. : Un heurtoir

XII.5.6. QUAI :

XII.5.6.1. La hauteur du quai :

La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm ou de 760 mm au-dessus de la table de roulement selon le type de matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter à ce quai.

- Plus grand que 760 mm - quais dits hauts.
- Plus petit que 550 mm - quais dits bas.

En se basant sur les normes de l'UIC 741 OR Une hauteur de quai de 550 mm est recommandée.

XII.5.6.2 Distance par rapport à l'axe de la voie :

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$\mathbf{L\ (mm) = 1\ 650 + S}$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{(I - 1435)}{2}$$

- **R** : étant le rayon de la voie en (m).
- **I** : étant l'écartement de la voie en (mm).

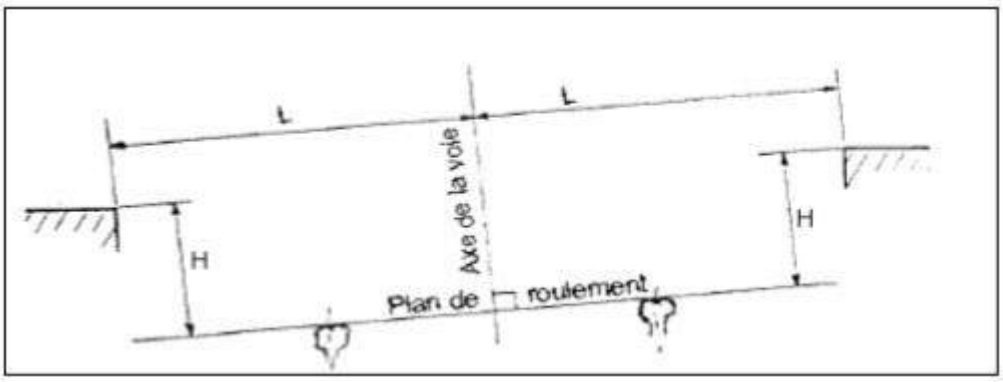


Figure XII. 6. : la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

XII.5.6.3. Entraxe entre les quais :

Selon SNTF :

- Entraxe normal > 11.3 m.
- Entraxe minimal > 9.3 m.

XII.5.7. Appareils de la voie :

Les spécifications et les dimensions des appareils de voie type UIC 60E1 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau XII. 1 : Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1. [13]

Appareil de voie	Type de rail	R (m)	LQ (m)	A (m)	B (m)	Vitesse (km)
8 de 1/12	UIC60 E1	500	43.481	20.797	22.684	70km/h

XII.5.7.1. Implantation des appareils de voie :

- Cas normal sans contraintes :
  - Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m.
  - Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.
  - Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 70 km/h.



Figure XII. 7 : implantation d'un appareil de voie sans contraintes.

- **Cas avec contraintes :**

- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥ 80 m.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 70 km/h.
- Distance appareil de voie / courbe ≥ 6 m ; il est prévu des rampes de dévers droites sans doucine.

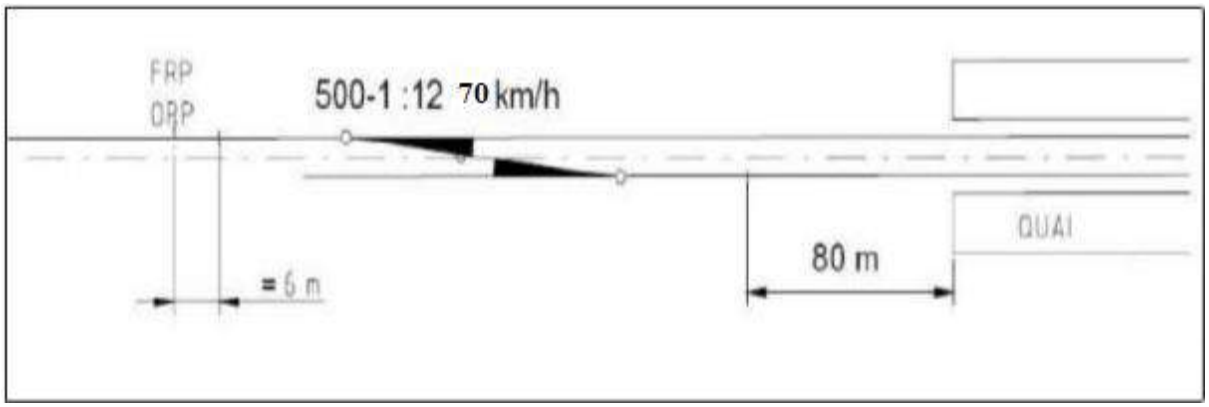


Figure XII. 8 : implantation d'un appareil de voie avec contraintes**.**

XII.8. APPLICATION AU PROJET :

La Modernisation de la ligne ferroviaire comprend la modernisation des sites de gare et la construction des gares nouvelles à chaque station. Le tracé lié à la vitesse de 160 km/h ne permet pas de maintenir toutes les gares dans leur site original.

XII.8.1. Localisation de la gare :

La gare de **Ain Kermes** est une gare voyageurs située entre le PK 59+876 et PK 61+321 du côté Sud de la ville, elle est desservie par un chemin raccordé à la CW8, la gare est bordée par des terres agricoles.



Figure XII.9. : Localisation de la gare de Ain kermes

XII.8. 2. Caractéristiques de la gare :

Selon les normes de la SNTF, les caractéristiques géométriques recommandées des gares sont comme suit :

- **La marge de glissement à l'aval des signaux** :

Pour notre projet LG = 200 m.

- **La longueur des quais :**

Pour notre gare on prend 300 m comme longueur des quais, en considérant 4 wagons de 75 m.

- **Hauteur des quais :**

Pour notre cas nous prenons un quai de hauteur : H = 550mm. •

Largeur des quais :

Pour notre projet L = 8m.

- **Distance du quai par rapport à l'axe de la voie :**

La gare de Ain Kermes est située en alignement droit donc R= ∞

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{(I - 1435)}{2} = \frac{3750}{\infty} + \frac{1435 - 1435}{2} = 0$$

L (mm) = 1650+S = 1650+0 = **1650 mm**

- **Entraxe entre les quais :**

Pour la gare de Ain kermes **e=11.3m (entre quai A et B).**

- **La longueur utile de stationnement :**

Selon la SNTF la longueur utile est :

  - Voie A est de 1200m
  - Voie B : Lu = 979 m
  - Voie C, Lu = 573 m (voie secondaire).

- **Longueur de garage de franc** :
  - Pour l'appareille de voie type 1/12 : GF = 44 m
- **Les abris de quais :**
  - Largeur : 02 abris de largeur de chaque un est de 3m,
  - Longueur : Longueur de chaque abri est de 12m,
  - Entre axes : On prend un entraxe de 60m entre 02abris,
  - Hauteur libre : H=3.10 m.
- **Appareils de la voie**

– 08 appareils 60 E1 500 1/12

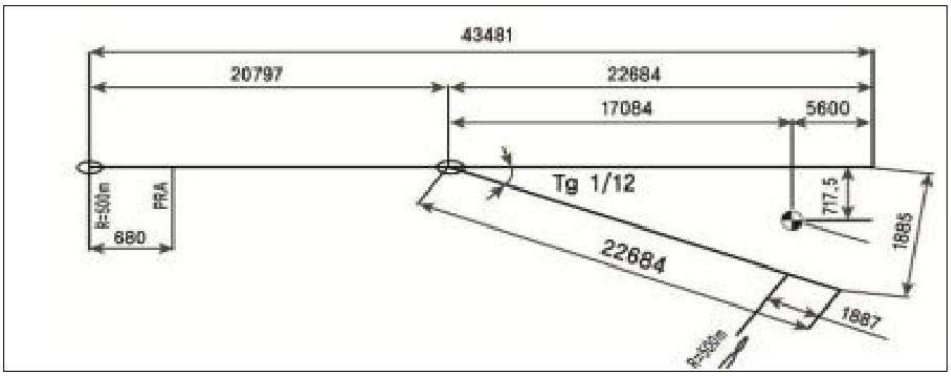


Figure XII. 10 : Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12. [13]

Tableau XII. 2 : caractéristiques des appareils de voie de la gare Ain kermes

N°	TYPE APPAREIL	Pk Début	Pk Fin	Direction
01	60 E1 500 1/12	60+048.36	60+150.16	Droit
02		59+975.00	60+076.00	Gauche
03		61+150.00	61+251.80	Gauche
04		61+057.00	61+158	Droit
05		71+448.36	71+550.16	Droit
06		72+450.00	72+551.80	Gauche
07		83+500.00	83+601.80	Droit
08		84+701.25	84+803.05	Gauche

N°	Départ		Fin	
01	X = 3734922.5782	Y = 731502.5824	X = 3734823.0619	Y = 731482.0951
02	X = 3734993.7970	Y = 731520.9226	X = 3734896.6232	Y = 731490.7123
03	X = 3733854.5583	Y = 731232.4597	X = 3733757.3806	Y = 731202.2327
04	X = 3733946.1374	Y = 731249.1444	X = 3733847.1124	Y = 731225.7040
05	X = 3723620.4837	Y = 730164.4871	X = 3723518.9716	Y = 730160.1378
06	X = 3722622.5958	Y = 730077.6833	X = 3722521.8552	Y = 730063.3948
07	X = 3711699.5003	Y = 730100.8357	X = 3711600.4264	Y = 730076.5521
08	X = 3710546.1365	Y = 729764.3084	X = 3710453.0318	Y = 729731.5095

XII.8. 3. La passerelle :

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai on trouve :

- Passerelle supérieure
- Passerelle sous-terraine

Pour notre projet un passage souterrain est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et le bâtiment de voyageurs dont les dimensions dictées par le référentiel technique de la SNTF représentées dans la figure ci-dessous :

- Pour la largeur B≥2.40m donc on prend une largeur B=2.5m
- Pour la largeur H≥2.40m donc on prend une largeur H=2.5m

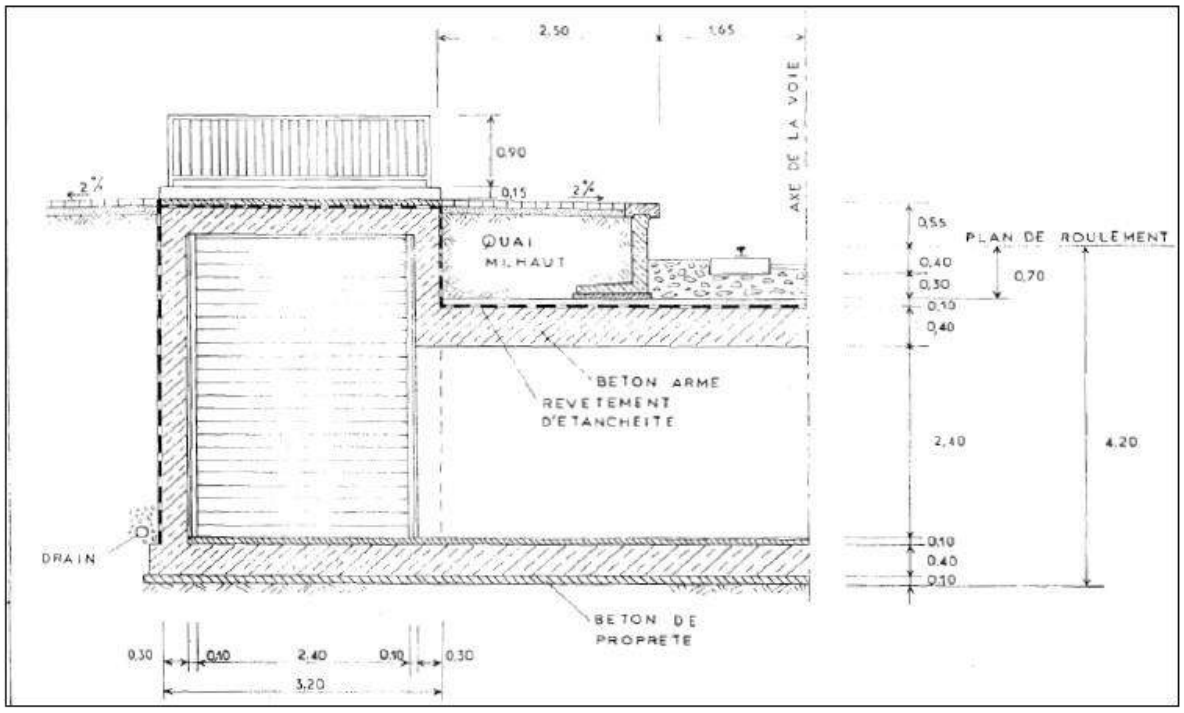


Figure XII. 9. les dimensions du passage sous-terraine dans la gare [13]

Le passage souterrain apte aux personnes à mobilité réduite (PMR).

XII.9. ASSAINISSEMENT DE LA GARE :

- Pour l'assainissement de la nouvelle gare de Ain kermes, Le drainage longitudinal se fait par la mise en place de conduites perforées, circulaires et enterrées. Des collecteurs fermés assureront l'évacuation des eaux de pluie vers l'exutoire naturel, une tête de buse sera mise en place sur chaque point de décharge.

- Pour assure 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%.

- Le système de drainage des entre-voies évacue ses eaux à la sortie des ouvrages hydrauliques conçus pour les cours d'eau avoisinant ce système ou dans le fossé longitudinal au pied du remblai de l'infrastructure ferroviaire.

- Pour le bâtiment de voyageur le réseau sanitaire devrait se raccorder au réseau municipal existant, en fonction de sa capacité.

- Si le drainage vers le cours d'eau n'est pas envisageable, rejeter les eaux dans le réseau municipal existant en prévoyant leur captage dans des puisards aux points bas et en s'assurant de respecter les critères de rejet.

- Le système de drainage des voies des gares consiste en un drain-collecteur. Cet élément de drainage est formé d'un tube-drain qui recueille les eaux filtrées, sous lequel un collecteur en béton est placé. Le tube-drain décharge le débit recueilli dans le collecteur de transport dans des bornes de visite placées tous les 50 m. Les débits transportés dans le collecteur sont déchargés tous les 300 m maximum pour assurer le bon fonctionnement du système.

Le schéma ci-après montre un drain-collecteur :

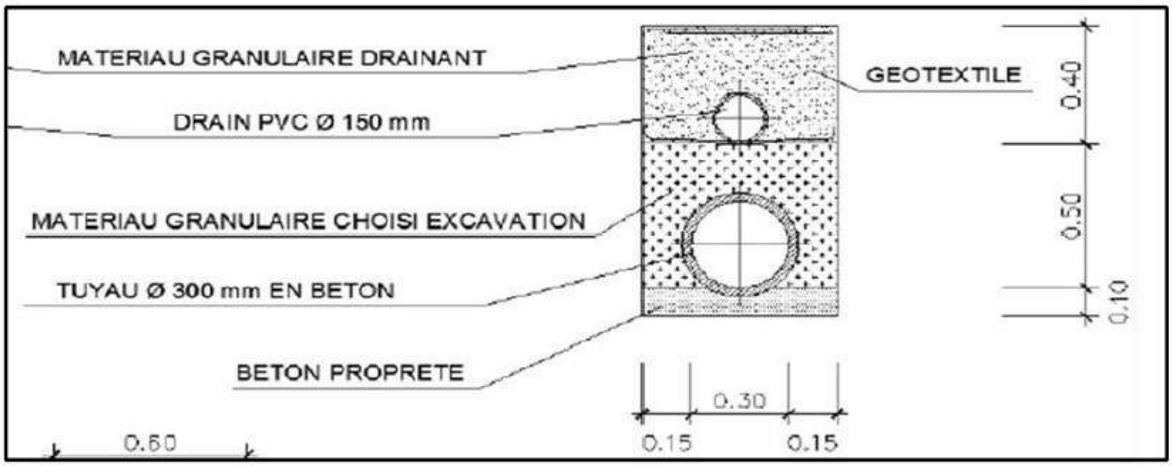


Figure XII. 10. : Drain collecteur [14]

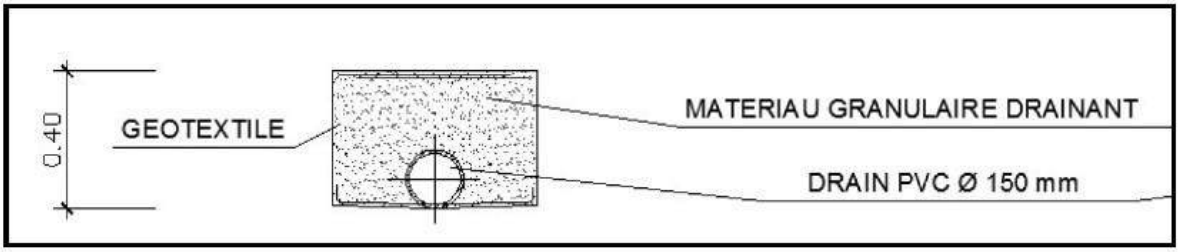


Figure XII.11. : Un drain [14]

Pour garantir l'écoulement des eaux infiltrées dans les stations, le système de drainage doit être installé avec une pente longitudinale qui permette l'écoulement des flux infiltrés.

Critères de conception des collecteurs sont énumérés dans le tableau ci-après :

Tableau XII.3 critères de conception des collecteurs [4]

Description	Critère
Pente longitudinale	0.2%
Diamètre minimal	400mm
Recouvrement minimum	1.2m
Vitesse maximale	3 m/s
Taux de remplissage maximal	90%
Distance maximale entre les Regards	80m si DN ≤ 600mm 100m si 700mm ≤ DN ≤ 900mm 125m si 1000mm ≤ DN ≤ 1400mm 200m si 1500mm ≤ DN ≤ 2000mm

XII.10 profils en travers de la gare ;

La figure ci-aprés montre le profil en travers de la gare Ain Kermes

XII.11. Gares de croisement :

Les villes et villages le long du tracé seront raccordés à la nouvelle ligne de chemin de fer par des gares (gares de voyageurs et gares de marchandises).

Mais entre ces gares, d'autres possibilités de croisement des trains sont exigées par les conditions d'exploitation. Alors il est nécessaire de réaliser des gares de croisement, ce qui est le cas dans notre tronçon. Tel qu'il existe deux gares de croisement auront des déclivités longitudinales de 0,0 ‰.

Les deux gares de croisement seront toutes construites selon le même schéma de voies :

- La voie directe principale (voie A) est prévue pour une vitesse de 160 km/h, la voie d'évitement (voie B) est appropriée pour 70 km/h. Et elles pourront être utilisées dans les deux sens.

- Les deux voies sont chacune prévues pour des trains d'une longueur maximale de 750 m.

- La voie B est reliée à la voie A par deux appareils de voie de type UIC-60 500 - 1:12, dont la vitesse maximale dans ces appareils de voie est de 70 km/h.

- L'entraxe des voies est de 5,00 m. La longueur des gares de croisement entre les pointes des appareils de voie sera de 1335 m.

Le tableau suivant présente la situation et l'altitude des gares de croisement présentes dans le tronçon étudié :

Pk début	Pk fin	Longueur (km)	Altitude (m au-dessus de la mer)
71+392.00	72+667.00	1.275	1024.34
83+615.00	84+800	1185	895.8

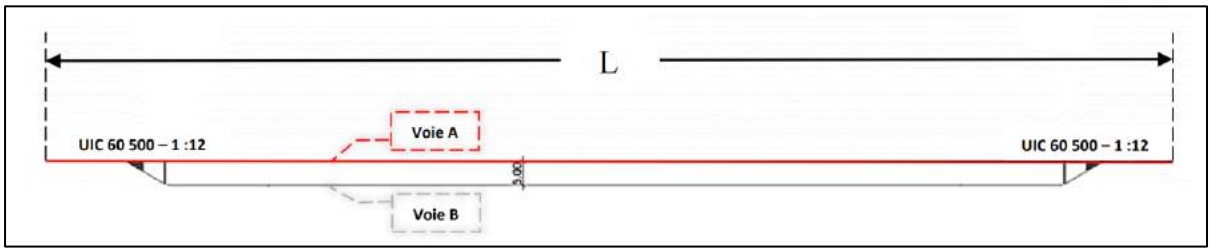


Figure XII. 13 : Schéma de la gare de croisement

XII.11.1. Profils en travers des gares de croisement ;

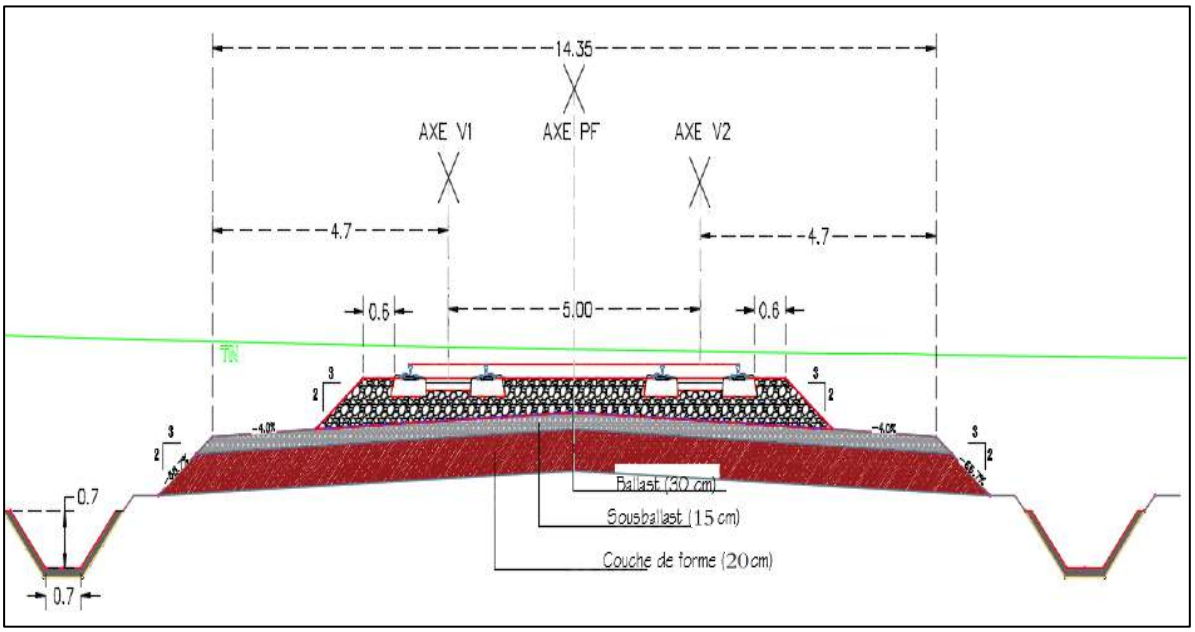


Figure XII. 14 : profil en travers des gares de croisement

XII.13. Modèle 3D de la gare Ain Kermes :



Figure XII. 15 : Vue en plane de la gare Ain kermes



Figure XII. 16 : le modèle 3D de la gare Ain kermes



Figure XII. 17 : le modèle 3D de la gare Ain kermes

XII.14. CONCLUSION :

La conception de la gare de Ain Kermes est conforme aux normes en vigueur pour répondre aux exigences de sécurité et de confort, afin d'absorber la demande sur ce mode de transport qui ne cesse qu'augmenter au fil de temps.

.

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION

XIII.1. INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire. Elle lui donne, sous forme de codes divers disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin rouler en toute sécurité. Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter …etc. La signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

XIII.2. OBJECTIFS 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).

XIII.3. DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel.

XIII.4. GENRE ET ETALON DE SIGNALISATION :

Sur les lignes à double voie, la circulation des trains se fait normalement à gauche, les signaux implantés à demeure sont habituellement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent ou dans la partie gauche au-dessus de cette voie. Dans certains cas, notamment dans les entre –voies réduites, il peut être fait usage de signaux de type bas installés au ras du sol, La signalisation peut comporter :

- Des tableaux lumineux.
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables.
- Des tableaux ou pancartes réflectrices.
- Des guidons d'arrêt

Exceptionnellement à certains signaux amovibles par nature (signaux à main), les signaux sont implantés à demeure soit à titre permanent, soit à titre temporaire (signaux de chantier…). Les signaux implantés à demeure sont dits :

- Fixes, lorsqu'ils présentent un aspect invariable.
- Mobiles, lorsqu'ils présentent aux moins un aspect distinct.

XIII.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX :

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (au point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales, c'est le rôle des signaux d'annonce à distance. 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.

XIII.6. SIGNAUX LUMINEUX :

Tous les signaux seront des signaux de type LED, doivent être visibles à une distance minimum de 1000 mètres.

Les signaux localisés sont situés du côté de la voie du sens de circulation des trains, Ils sont fixés sur des mats, les mats sont fixés sur une base en béton dont la taille doit être calculée de manière à assurer une très bonne fixation pour tenir compte des conditions climatiques particulières et de la force du vent. Les matériaux utilisés devront de préférence être du type inoxydable, sinon ils devront être traités pour être résistants à la corrosion. Les signaux seront équipés d'écrans de couleur noire entourant les unités lumineuses.

Dans les courbes, des lentilles appropriées doivent permettre d'élargir le rayon lumineux horizontalement.

XIII.7. VISIBILITE DES SIGNAUX :

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

XIII.7.1. VISIBILITE DES SIGNAUX HAUTS :

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2,42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou à 10 m du plan de front des tampons.

XIII.7.2. VISIBILITE DES SIGNAUX BAS :

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au- dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles jusqu'à une du front des tampons.

XIII.8. LES DIFFERENTES CIBLES UTILISÉES :

- Cible type 1 où type C pour les signaux principaux.
- Cibles type 3 ou type H pour les signaux principaux.
- Cible type 4 ou type R pour les signaux d'avertissement
- Cible type K pour les carrés « violet » de type bas positionnés sur voies principales et à l'origine d'itinéraires des refoulements.

XIII.9. SYSTEME DE SIGNALISATION :

Dans la nouvelle ligne **Tiaret – Saida** Le type de système de signalisation choisi par le maitre d'ouvrage est ERTMS/ETCS Niveau 1 (European Rail Traffic Management System/European Train Control System) pour contrôler et surveiller la sécurité de la circulation des trains. Les composants ETCS viendront en complément du système de signalisation lumineuse classique, dont la fonctionnalité est entièrement maintenue.

XIII.9.1. 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 cantons.

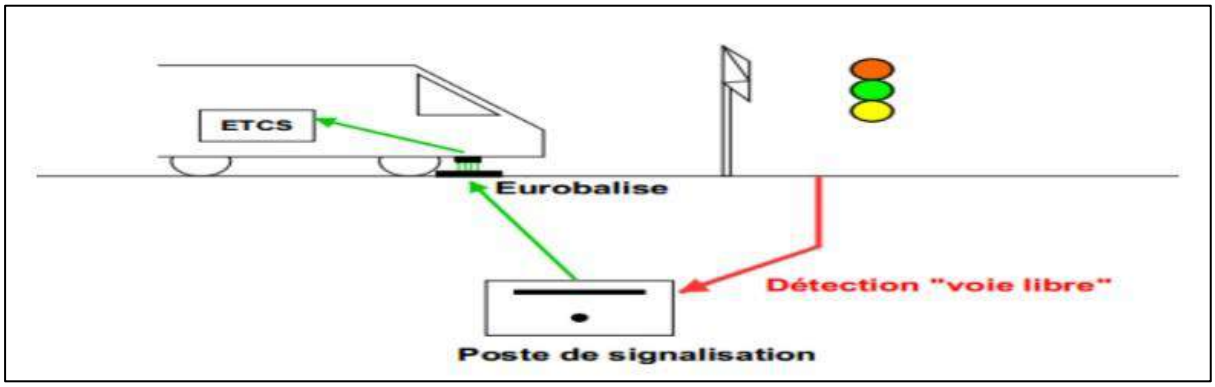


Figure XIII. 1 : LE SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS (ERTMS) niveau 1

XIII.9.2. 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 :

- **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).

- **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.



Figure XIII. 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 :**

  Qui contient des messages qui ne dépendent pas de la signalisation, elle possède une interface unifiée au niveau européen pour :

  - Les échanges sol-bord.

- **L'Euro balise commutable :**

  Qui reçoit des messages qui dépendent de la signalisation, elle possède deux interfaces unifiées au niveau européen pour :

- Les échanges sol-bord,
- Les échanges entre la balise et le LEU,

XIII.9.3. Les équipements ERTMS à bord des locomotives :

L'interface ERTMS à la disposition du conducteur doit lui permettre de réaliser toutes les actions nécessaires pour la bonne conduite du train. Ce sont les informations relatives à la conduite du train, vitesse, courbes de freinage, REFERENTIEL informations auxiliaires, les informations sur l'itinéraire suivi, la possibilité de réaliser le data entry. Le schéma ci-après donne un exemple de configuration de l'interface homme Machine ERTMS.

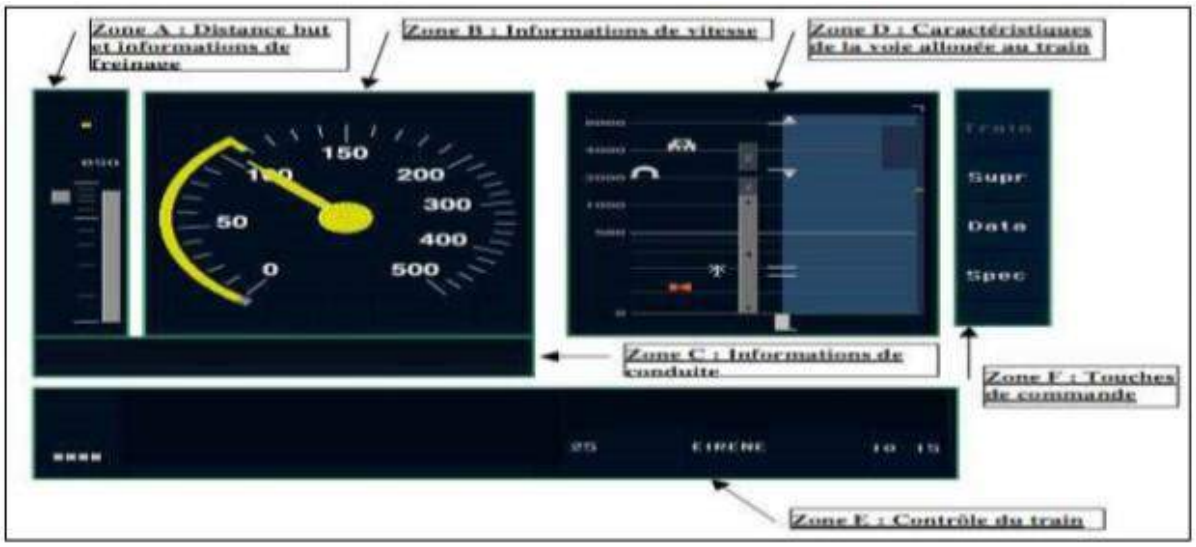


Figure XIII. 3 : L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap. 10). [14]

XIII.10. CONCLUSION :

Avec l'apparition des outils informatiques 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 accidents et la facilité de circulation du matériel roulant.

CHAPITRE XIV

ETUDE D'IMPACTE SUR

L'ENVIRONNEMENTS

XIV.1. INTRODUCTION :

L'environnement est défini comme l'ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines (source : Wikipédia)

L'étude d'impact sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné.

La politique Algérienne de préservation de l'environnement s'insère d'une part dans le processus de mise en place de projet de développement respectueux des conventions internationales entériné par l'Algérie. Les différents lois et décrets qui s'appliquent sur notre projet sont les suivants :

- ✓ Loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.
- ✓ Loi nº 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- ✓ Décret n° 87-91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire.
- ✓ Décret exécutif n° 93-163 du 10 juillet 1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles.
- ✓ Loi n°84-12 du 23 juin 1984 portant régime général des forêts.
- ✓ Décret présidentiel n° 02-400 du 20 Ramadhan 1423 correspondant au 25 novembre 2002 portant ratification de la convention internationale pour la protection des végétaux.
- ✓ Décret exécutif n° 12-235 du 3 Rajab 1433 correspondant au 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
- ✓ Le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990, relatif aux études d'impact sur l'environnement.
- Cette étude traitera les chapitres suivants :
- ✓ Analyse d'état initial du site, de son environnement (air, eau, végétation, population)
- ✓ Analyse des effets sur l'environnement (faune, flore, équilibre naturel, voisinage)
- ✓ Argument sur l'opportunité du présent projet.
- ✓ Mesure envisagée par l'opérateur, dans la perspective de supprimer, de réduire ou de compenser les conséquences engendrées par le projet sur cet environnement.

XIV.2. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :

- **Situation géographique :**

Située au Nord-ouest de l'Algérie à 340Kms de la capitale, elle limitrophe des wilayas de Tissemsilt et Rélizane Au Nord, Laghouat et El-Bayad du sud Est, Mascara et Saïda du côté sud-ouest et partage ses frontières avec les willayas de Djelfa et Médéa. La position géographique stratégique de la wilaya fait d'elle une zone de contact entre le nord et le sud mais aussi plusieurs wilayas d pays. Elle se trouve à 219 km d'Oran ,154 km de Mascara, 253km de Mostaganem et de 291 km de Laghouat. On peut y accéder par voie routière, et par voie aérienne

Le nombre de commune : 42. Le nombre de daïra est de 14.

La Wilaya de Tiaret est divisée en 14 daïras : le daïra d'AïnDeheb, le daïra d'AïnKermes, le daïra de Dahmouni, le daïra de Frenda, le daïra de Hamadia, le daïra de Ksar Chellala, le daïra de Mahdia, le daïra de MechraaSafa, le daïra de Medroussa, le daïra de Meghila, le daïra d'Oued Lilli, le daïra de Rahouia...

Elle est limitée par :

- La wilaya de Tissemsilt et Rélizane au Nord
- La wilaya de Laghouat et El-Bayad au Sud
- La wilaya de Mascara et Saida à l'ouest
- La wilaya de Djelfa et Laghouat à l'East.

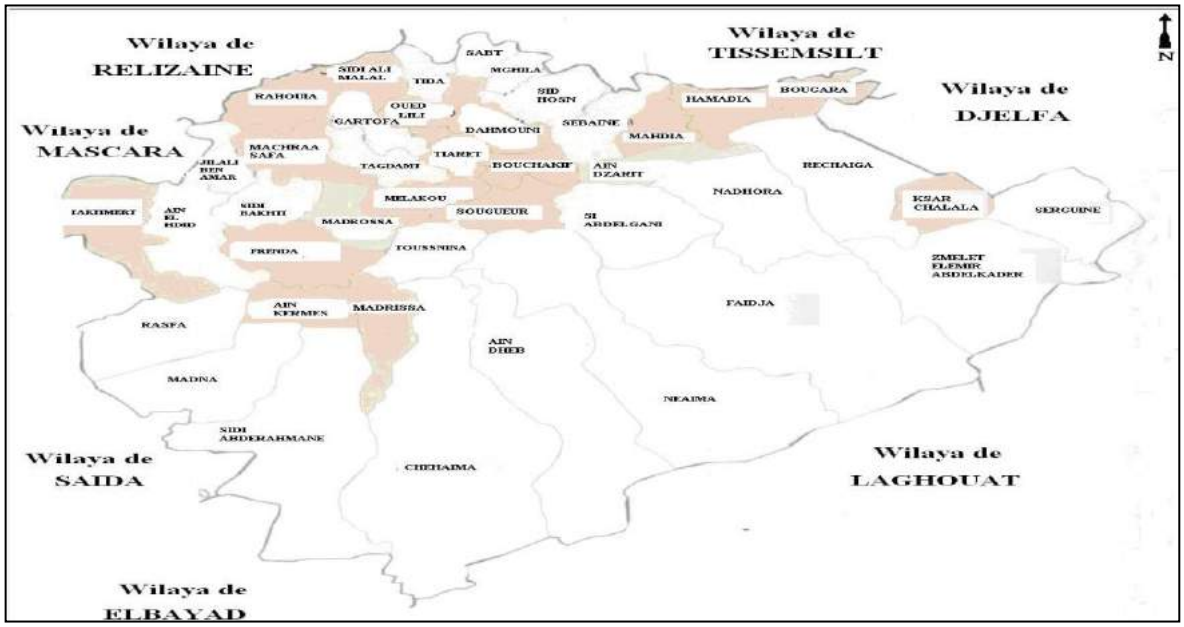


Figure XIV.1. Situation géographique de la wilaya de Tiaret

XIV.3. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT :

XIV.3.1. Environnement physique :

La wilaya de Tiaret est caractérisée par un ensemble de chaines de montagne des hauts plateaux et l'atlas Saharien (sud-ouest) Le relief montagneux est composé de : Les sommets de certaines chaines atteignent parfois plus de 2000 m d'altitude Le versant méridional de la chaine atlasique, le passage vers la plateforme saharienne est brutal. La dénivelée attient parfois 100 m. les chainons sont séparées par des cuvettes facilitant le passage du nord au sud et d'Est à l'Ouest. La ville de Rosfa est l'une des communes de la wilaya de Tiaret, est située à 80 km au Sud.

- **Climat :**

Déterminé par la position géographique de la wilaya et la diversité de son relief, sur le plan climatologique la wilaya de Tiaret traverse au cours de l'année deux périodes principales qui expriment le contraste important qui sévit durant l'année ; à savoir.

Tableau XIV.1. : Environnement physique

Climat	- **Le climat est continental semi-aride** - **Un hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige.** - **Un été chaud et très sec.** - **De cette situation découle des écarts thermiques brusques et importants, induisant des gelées tardives et des siroccos précoces.** -
Température	- T max (°C) : 31,6 - T min (°C) : 2,2. - T moy. (°C) : 11,2.
La pluviométrie	✓ La pluviométrie Annuelle est de l'ordre de 200 mm/an les pluies tombent, en générale, sous forme d'averses (orage), durant le mois de septembre, novembre et jusqu'au mois avril.
Vents	✓ Un vent fort à modéré, sec du Nord et du Sud - Le sirocco se manifeste pendant lapériode estivale juillet et Août. ✓ La région est réputée par les vents de sables qui soufflent durant l'année. Ils changent de direction selon les saisons : ✓ Printemps : ils soufflent de l'Est puis évoluent vers le Sud Automne : ils soufflent Nord-Nord-ouest ✓ Eté : ils soufflent entre le Sud-ouest Hiver : ils soufflent entre le Sud-ouest et le Nord ✓ Les vents dominants sont du Nord et du Sud
Sismologie	✓ la région étudiée est classée dans la zone sismique II, à Sismicitémoyenne.

XIV.3.2. Environnement biologique :

- **Faune Et Flore :**

La végétation caractérisé la région des hauts plateaux. Se sont des forêts de chêne pins d'Alep et d'Alfa. Dans certains coins de la région on constate une désertification de la nature et la végétation n'est représentée que par des restes de plantes d'Alpha.

La Faune est variée. Elle est typique des zones sahariennes et des hauts plateaux (lézard, vipères à cornes ; dobes ; renards ; fennecs ; chacals ; gazelles

XIV.4. ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL :

XIV.4.1 Population et Habitat :

La Wilaya de Tiaret est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 851 426 habitants sur une superficie de 13 480 km². La densité de population de la Wilaya de Tiaret est donc de 63,2 habitants par km².

Tiaret, Sougueur et Frenda sont les plus grandes villes de la Wilaya de Tiaret parmi les 42 villes qui la compose. Le Climat méditerranéen avec été chaud est le climat principal de la Wilaya de Tiaret.

XIV.4.2 Agriculture :

L'Agriculture est développée dans la région sous trois formes :

- Surface agricole utile (SAU): 280 ha dont Taux SAU irriguée/SAU totale (%):280 2- Superficie des parcours (ha) :692
- La région est connue comme toutes les régions des hauts plateaux par le pastoralisme.
- Le nombre de tète par type d'animal sont :
  - ✓ Ovins 18000 tètes en 2009
  - ✓ Bovins 3150
  - ✓ Caprins 1100
  - ✓ Poulet de chair 65000
  - ✓ Apiculture : ruches 2120

XIV.5. Evaluation des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet:

XIV.5.1. Impacts sonores :

- **Le bruit :**

La principale nuisance causée par le transport ferroviaire est le bruit. La gêne occasionnée est en effet de plus en plus perçue, notamment dans les zones à forte densité d'habitation, particulièrement pendant la nuit. La problématique posée par le bruit des chemins de fer n'est toutefois pas ressentie de la même manière dans chaque région.

Tableau XIV.2. : évaluations des impacts prévisibles (Impacts dues aux bruits)

Impact	Mesures
Le bulldozer, le chargeur et les camions de transport sont à l'origine du bruit. **Selon les normes internationales un engin de 200 à 300 Cv, développe, à une distance de sept 7 m, un niveau sonore de 80-83db**	L'éloignement due la carrière des premières habitations est de 2.5 km à l'EST, ce qui est loin de nuire aux populations du secteur. Les bruits générés ne sont pas audibles àplus de 0.1 km au maximum. Le personnel servant au niveau de la carrière sera muni de moyens de protection (stop bruit) • La norme (CEI° admissible de bruit est de 85DB/12 h/J

Dans notre projet, la population exposée au bruit du transport ferroviaire est très peu nombreuse. En effet, la portion de la ligne Tiaret-Saida qui nous concerne se situe en campagne et zone de pâturage très peu peuplé. Le seul point où il risque d'y avoir des problèmes se trouve uniquement au niveau de la gare d'Ain Kermes.

- **Les vibrations**

La circulation des trains sur une voie ferrée provoque également l'émission des vibrations transmises par le sol à des distances relativement très importantes. L'origine de ces vibrations se situe essentiellement dans la succession des charges roulantes, des phénomènes de glissement roue /rail et des imperfections géométriques du rail et de la roue.

Tableau XIV.3. : Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet

Localisation		Impact	Mesure
Pk 59+560	Une ferme	Les nuisances générées : - Passage des trains. - Présence d'engins de terrassements - Trafic des camions transportant - Les matériaux et équipements de construction.	✓ Conception des Mur pour l'isolation sonore ✓ Les travaux de nuit ne seront effectués qu'en cas d'urgence (rétablissement de routes ou de réseaux). ✓ La circulation des engins doit être limitée à l'intérieur des emprises du projet et des pistes d'accès, dans des horaires bien définis.
Pk 61+300	Une ferme		
Du pk 61+530 au pk 61+580	Une petite ville		
Pk 62+820	Une ferme		
Pk 63+025	Une ferme		
Pk 63+120	Une ferme		
63+380	Une ferme		
Du pk 69+250 au pk 69+280	Une petite ville		
Du pk 76+480 au pk 76+540	Une petite ville		
Pk 83+180	Une ferme		

XIV.5.2. Réduction de l'impact visuel et remise en état des lieux :

Tableau XIV.4. : évaluations des impacts visuel et remise en état des lieux et les mesure à prendre

Impact	Mesures
Réduction de l'impact visuel et remise en état des lieux	Après l'extraction du volume total prévue dans cette carrière, il est indispensable de procéder à la remise en état initial du site par le remblayage de tous les creux occasionnés par l'exploitation, avec les stériles (terre rouge).

XIV.5.3. Impacts sur les biens de la population :

Tableau XIV.5. : évaluations des impacts prévisibles (Impacts sur les biens de la population)

Destruction des serres agricoles				
Expropriation des terrains agricoles	Le long du tracé			
Abattage d'arbres				
Franchissement des pistes existantes	Pk 56+693.75	Une piste	Passage Inférieur	La liaison entre les Passages. Conception des ouvrages soit en passage supérieur ou inférieur.
	Pk 59+368.78	Chemin de wilaya CW8	Passage Supérieur	
	Pk 61+380.30	Une Piste revêtues	Passage Supérieur	
	Pk 62+834.48	Une piste	Passage supérieur	
	Pk 65+249.67	Chemin de wilaya CW8	Passage Inférieur	
	Pk 67+523.00	Une piste	Passage Inférieur	
	Pk 70+301.81	Une piste	Passage Inférieur	
	Pk 72+733.12	Une piste	Passage Inférieur	
	Pk 74+490.46	Une piste	Passage Supérieur	
	Pk 76+459.36	Une piste	Passage Inférieur	
	Pk 78+100.63	Une piste	Passage Supérieur	
	Pk 80+515.72	Une piste	Passage Inférieur	
	Pk 83+865.32	Chemin de wilaya CW9	Passage Supérieur	

XIV.5.4. Effet de coupure :

Tableau XIV.6. : évaluations des impacts prévisibles (Impacts sur les biens de la population)

Impact	Localisation		Mesures
la réalisation d'une ligne nouvelle ferro-viaire entraîne d'autres types de Ré-tablissements : **écoulements naturels (ruisseaux, rivières et fleuves).**	Dalot	62+225.00	**Implanter des ouvrages hydraulique**
	Ouvrage d'art	63+277.75	
	Dalot	64+801.00	
	Dalot	66+335.00	
	Dalot	67+785.25	
	Dalot	69+619.00	
	Dalot	74+730.00	
	Dalot	77+781.00	
	Dalot	79+119.00	
	Dalot	80+262.20	
	Dalot	82+759.30	
	Ouvrage d'art	83+800.00	
	Dalot	84+747.00	

XIV.5.5. Risque d'accidents :

Tableau XIV.7. : évaluations des impacts prévisibles (Risque d'accidents)

Impact	Mesure
La présence des engins constitue un danger pour les travailleurs et les résidents vivant à proximité des voies d'accès au chantier **L'acheminement du tuf de la carrière au lieu de déchargement (le long de la nouvelle voie ferrée) se fera par camions de 20 t de capacité.**	- Vu la proximité immédiate de la carrière de la (Cw9), des précautions par une signalisation conforme à la réglementation en vigueur, doi-vent être prises. - Des signalisations claires des chantiers - Signalisation lumineuse de chantier la nuit - Pistes d'accès seront mises en place afin de Limiter les risques d'accident

XIV.6. Impacts sur la qualité de l'air et de l'eau :

XIV.6.1. Impacts sur la qualité de l'air :

Tableau XIV.8. : Évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la qualité de l'air)

Impact	Mesures
- **Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins** - **Une dispersion accidentelle de produits chimiques gazeux.** - **Des émissions de poussières dues au transport de matériaux par les camions** - **le climat de la région est peu humide. L'exploitation du tuf génère d'importantes quantités de poussière, pouvant nuire à l'environnement**	- La première mesure de Prévention est la limitation du nombre des moteurs thermiques en utilisant des moteurs électrique chaque fois que cela est possible. Cette mesure revêt toute son importance en espace confiné. • Pour les travaux souterrains : - Équiper de moteurs électriques le matériaux fixe ou semi mobile tels que compresseur, pompe à béton, chargeuse, engins de forage ; - Les autres mesures e prévention consistent à réduire les émissions à la source par le choix de technologies de moteur peu polluantes, ou par l'épuration des gaz d'échappement, et à ventiler mécaniquement l'espace de travail. • Pour diminuer la pollution de l'air à cause de la génération de poussière il est recommandé : - Les ouvriers des carrières seront munis de bavettes de protection jusqu'au lieu de déchargements. - La carrière fonctionnera à un poste prolongé de 12h/jours - Les mesures de direction des vents. Relevées dans le secteur, montrent que les poussières sont dispersées, loin des agglomérations urbaines, sans pour autant trouver un obstacle à leur dépôt en un lieu précis. - Les vents de sable, parfois assez violents, sévissant régulièrement durant l'année dans la région, joueront le rôle de nettoyeur. - Des mesures particulières (arrosage des pistes d'accès) sont à envisager. - - Bâchage de camions : Durant le transport de matériaux.

XIV.6.2. Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines :

Tableau XIV.9. : Evaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines)

Impact	Mesures
• **Impact sur les eaux superficielles :** - **Les eaux des oueds peuvent être altérées temporairement par les travaux (diversement des eaux de chantier, une contamination possible de l'eau suite à un diversement accidentel d'hydrocarbures)** • **Impact sur les eaux souterraines :** - **Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, cela risque de contaminer des eaux souterraines par infiltration lors d'un accident de diversement de ces dernier dans la nature.** - **Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines**	• Pour La préservation de ces ressources naturelles il faut éviter : - Le nettoyage des engins de chantier aux bords d'Oued, Rejet des déchets (sanitaires, ou bien de la base vie) en phase de construction.

XIV.7. Évaluations des impacts des Divers :

Tableau XIV.10. : Évaluations des impacts prévisibles (Divers)

Impact	Mesures
Les moyens roulants nécessitant un entretien, à ce que les terrains ne soient pas souillés par les déchets résultants de ces derniers.	Tous les lubrifiants (huiles de vidange des moteurs) seront stockés dans des tufs, et livrés à l'organisme chargé de la récupération. L'énergie électrique : La mise en place de consignes et de la mesure stricte de sécurité, au niveau du chantier est indispensable

XIV.8. Impacts sur le milieu naturel :

XIV.8.1. Flore :

D'après la Conservation des forêts de Tiaret (2009), la surface forestière dans la wilaya de Tiaret se partage en 12 secteurs forestiers qui sont :

- Forêt domaniale des Zdamas chergui : 44000 ha.
- Forêt domaniale des Zdamas gherbi : 37441 ha.
- Forêt domaniale de Nador : 42000 ha.
- Forêt domaniale de Rechaiga : 7834 ha.

- Forêt domaniale de Tagdemt : 4989 ha.
- Forêt domaniale de Beni affene : 4018 ha
- Forêt domaniale de Tiaret : 508 ha.
- Forêt domaniale de Ouled Boughaddou : 643 ha.
- Forêt domaniale de Torriche : 526 ha.
- Forêt communale de Tiaret: 279 ha.
- Forêt communale de Guertoufa : 53 ha.
- Forêt sectionale d'Azzouania: 127 ha.

Les principales essences forestières :

Les principales essences forestières dans la wilaya de Tiaret ainsi que la surface qu'occupe chacune d'elles. Le pin d'Alep représente l'essence prédominante dans les forêts de la wilaya de Tiaret, dépassant largement le chêne vert qui régnait autrefois sur le paysage forestier de la région.

Tableau XIV.11. Le patrimoine forestier de la wilaya de Tiaret (Conservation des forêts de Tiaret, 2009)

Essence	Pin d'Alep	Cyprès	Chêne vert	Thuya	Eucalyptus	Chêne liège
Superficie (Ha)	62934	479	7751	1430	260	200
Pourcentage (%)	86.14	0.65	10.6	1.95	0.03	0.02

XIV.8.2. Faune :

Des photos sur quelques mammifères de Tiaret :



Rat Rayé



Felis Caracal



Felis Sylvestris



Vulpes ruppeli



Chacal (Canis aureus)



Genetta genetta



Sus scrofa (Sanglier)



Gazella dorcas



Autres

XIV.8.3. Impacts sur la faune et la flore :

Tableau XIV.12. : Impacts sur la faune et la flore

Impact	Localisation	Mesure
• **Faune** et Flore **:** Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistiques • Terres végétale enlevée lors des travaux de terrassements	**Ferme (Barrières)** **Pk 61+200.00**	**- La pose des barrières pour la faune le long des passages des fortes, fermes ou des zones des colonisations faunistiques** **- Création des passages pour animaux.** **- Eviter au maximum les zones riches en végétation.**
	Ferme (Passage) **Pk 62+203.00**	
	Ferme – Foret – Champ (Passage) **Pk 63+278.00**	
	Passage : Pk 65+250.00	
	Passage : Pk 67+523.00	
	Passage : Pk 70+301.81	
	Passage : Pk 72+733.12	
	Passage : Pk 76+459.36	



Figure XIV.2. Pose d'une clôture pour les animaux



Figure XIV.3. Passages pour des riverains et les animaux**.**

XIV.9. Conclusion :

Ce projet vient de renforcer le réseau ferroviaire sur le plan socio-économique national et régional, comme il sera une source de soulagement du réseau routier et des utilisateurs de la route par absorption d'un taux important du poids lourd dédié au transport des marchandises, et des voyageurs qui vont utiliser cette ligne au futur.

Cependant, comme tout projet similaire, pendant sa construction et son exploitation il aura des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement ce qui va entraîner des perturbations sur le fonctionnement naturel et urbain et sur le cadre de vie des riverains.

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT (DA)	Montant HT (DA)
1-INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	100 000 000.00	100 000 000.00
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	30 000 000.00	30 000 000.00
1.3	Étude d'exécution	F	1.00	150 000 000.00	150 000 000.00
TOTAL 1					280 000 000.00
2-TERRASSEMENTS GENERAUX					
2.1	Décapage de terre végétale épaisseur de 0,40 m	M3	456 990.00	300.00	137 097 000.00
2.2	Déblai mis en remblai	M3	114 227.00	350.00	39 979 450.00
2.3	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	M3	655 542.00	900.00	589 987 800.00
2.4	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,50 m ep	M3	145 952.00	1 200.00	175 142 400.00
2.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0,20 m ep	M3	53 184.00	3 200.00	170 188 800.00
TOTAL 2					1 112 395 450.00
3-OUVRAGE D'ART					
3.1	Pont Hydraulique 1	U	1.00	65 000 000.00	**65 000 000.00**
3.2	Pont Hydraulique 2	U	1.00	130 000 000.00	**130 000 000.00**
3.3	PONT RAIL PK 56+693.75	U	1.00	32 000 000.00	**32 000 000.00**
3.4	PONT RAIL PK 65+249.67	U	1.00	37 000 000.00	**37 000 000.00**
3.5	PONT RAIL PK 67+523.00	U	1.00	35 000 000.00	**35 000 000.00**
3.6	PONT RAIL PK 70+301.81	U	1.00	35 000 000.00	**35 000 000.00**
3.7	PONT RAIL PK 72+733.12	U	1.00	35 000 000.00	**35 000 000.00**
3.8	PONT RAIL PK 76+459.36	U	1.00	35 000 000.00	**35 000 000.00**
3.9	PONT RAIL P 80+515.72	U	1.00	35 000 000.00	**35 000 000.00**
3.10	PONT ROUTE PK 59+368.78	U	1.00	65 000 000.00	**65 000 000.00**
3.11	PONT ROUTE PK 61+380.30	U	1.00	52 000 000.00	**52 000 000.00**
3.12	PONT ROUTE PK 62+834.48	U	1.00	65 000 000.00	**65 000 000.00**
3.13	PONT ROUTE PK 74+490.46	U	1.00	52 000 000.00	**52 000 000.00**
3.14	PONT ROUTE 78+100.63	U	1.00	65 000 000.00	**65 000 000.00**
3.15	PONT ROUTE 83+865.32	U	1.00	65 000 000.00	**65 000 000.00**
TOTAL 3					803 000 000.00

4-OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	25 250.00	6 500.00	**164 125 000.00**
4.2	Buses en Béton Armé Ø 1000	ML	390.00	35 000.00	**13 650 000.00**
4.3	Buses en Béton Armé Ø 1500	ML	470.00	50 000.00	**23 500 000.00**
4.4	DALOT TYPE 1	M3	203.76	35 000.00	**7 131 600.00**
4.5	DALOT TYPE 2	M3	302.40	35 000.00	**10 584 000.00**
4.6	DALOT TYPE 4	M3	236.96	35 000.00	**8 293 600.00**
TOTAL 4					227 284 200.00
5-TRAVAUX DE VOIE					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantités**	**Prix unitaire DA**	**Montant Total DA**
5.1	Fourniture et pose ballast sur épaisseur de 0,30 m	M3	95 263.00	7 000.00	**666 841 000.00**
5.2	Pose de voie UIC 60	ML	31 600.00	6 500.00	**205 400 000.00**
5.3	Soudage Aluminothermique	U	1 588.00	9 500.00	**15 086 000.00**
5.4	Soudage électrique	U	1 956.00	9 500.00	**18 582 000.00**
TOTAL 5					**905 909 000.00**
6-FOURNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE					
6.1	Fourniture des rails Neufs UIC 60 (60,34 kg/m)	T	3 861.76	125 000.00	**482 720 000.00**
6.2	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	53 312.00	5 700.00	**303 878 400.00**
6.3	Attache Nabla	U	213 248.00	850.00	**181 260 800.00**
6.4	Pose d'un appareil de voie simple type				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	U	4.00	620 000.00	**2 480 000.00**
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	4.00	620 000.00	**2 480 000.00**
6.5	Fourniture d'un branchement simple type				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	U	4.00	14 200 000.00	**56 800 000.00**
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	4.00	14 200 000.00	**56 800 000.00**
TOTAL 6					113 600 000.00
7-BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING					
7.1	Voiries + parking	m²	9 645.00	5 000.00	48 225 000.00
7.2	Bâtiments de Voyageurs	m²	30 000.00	30 000.00	900 000 000.00
7.3	Quais y compris aménagement annexe	m²	12 841.00	5 000.00	64 205 000.00
TOTAL 7					1 012 430 000.00
8-SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION					
SIGNALISATION FERROVIAIRE				**TOTAL 8**	**4 454 620.00**

Récapitulation		
N° Lot	**Désignations des lots**	**Montants (DA)**
Lot N°01	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION	**280 000 000.00**
Lot N°02	TERRASSEMENTS GENERAUX	**1 112 395 450.00**
Lot N°03	OUVRAGE D'ART	**803 000 000.00**
Lot N°04	OUVRAGES HYDRAULIQUE	**227 284 200.00**
Lot N°05	TRAVAUX DE VOIE	**905 909 000.00**
Lot N°06	FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE	**113 600 000.00**
Lot N°07	BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING	**1 012 430 000.00**
Lot N°08	SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION	**4 454 620.00**

TOTAL	
MONTANT DU PROJET H T	4 459 073 270.00
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)	847 223 921.30
MONTANT DU PROJET EN T T C	5 306 297 191.30

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'amélioration et l'aménagement des infrastructures de transports en générale et de secteur ferroviaire en particulier est la base de développement du pays cela permet de régler plusieurs problèmes contrairement aux autres modes de transport tel que les problèmes de circulations, le taux de croissance élevé, temps de parcoure, pollution. etc.

Comme l'Algérie est un pays peu développé dans le secteur ferroviaire considérant son énorme superficie plusieurs programmes de modernisation de réseau ferrée national ont été établi pour donner un nouveau souffle à notre économie.

Notre projet fin d'étude qui porte sur une étude APD d'un tronçon de 28 km (du PK56 au PK 84) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique **TIARET - SAIDA** rentre dans le cadre de ce programme de développement il permet d'améliorer les conditions d'exploitations, les performances du chemin de fer ainsi de relier ces villes au réseau ferré.

Notre travail est basé sur des normes existantes (UIC), toute en respectant les exigences de la SNTF pour enfin réaliser une ligne à une vitesse de 160km/h pour train passagers 100km/h pour les trains de marchandise en assurant le confort et la sécurité

On s'est trouvé face à plusieurs contraintes qui peuvent se présenter lors d'une étude de voie ferrée donc on à essayer de trouver les meilleures solutions à tous ses problèmes techniques.

Ce travail était une occasion pour mieux maîtriser quelques logiciels informatiques du domaine comme :

Civil 3d, global mapper et AUTOCAD. Géo studio.

Ce projet de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine ferroviaire et d'appliquer ce qu'on a acquis durant notre formation à l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

La bibliographie

- [1] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : https://www.sntf.dz/, consulté en ligne le 02 Avril 2017.
- [2] Central Intelligence Agency (CIA), WORLD FACTBOOK-VERSION DU 01/01/2011, article disponible à l'adresse URL : https://www.cia.gov/, consulté en ligne le 02 Avril 2017.
- [3] RPOA 2008.
- [4] les normes UIC (703 R). Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.2éme édition.
- [5]. SNTF 2003, IN 2547.
- [6] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.
- [7] ASTALDI, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [8] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [9] ASTALDI, « Rapport de synthèse géotechnique »
- [10] L'Association Française de Normalisation (AFNOR), Sol : reconnaissances et essais- Description, identification et dénomination des sols-Terminologie et éléments de classification, référence : XP P 94-0110, Aout 1999.
- [11] UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.
- [12] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires, 22/12/2005.
- [13] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
- [14] norme SNTF chapitre. 10
- [15] Ecole Spécial des Travaux Publics-Paris, Matériels fixe de la voie, 6e édition.

LISTE DES ANNEXES

Tracé en plan

Alignement				
Longueur (m)	PK de départ (m)	PK de fin (m)	Point de départ	Extrémité
304.759	56+500.00	56+804.76	(3737274.0353m,733818.2395m)	(3737196.8143m,733523.4260m)
415.398	57+579.81	57+995.20	(3736884.8902m,732818.1599m,)	(3736658.4066m,732469.9347m,)
2214.711	59+420.59	61+635.30	(3735530.5328m,731659.2683m)	(3733385.9175m,731106.4857m)
13987.576	62+176.85	76+164.43	(3732853.0517m,731013.9155m)	(3718924.3038m,729732.4024m)
1079.380	79+299.49	80+378.87	(3715815.2245m,729984.0297m)	(3714770.2765m,730254.4812m)
1677.233	83+125.74	84+802.97	(3712058.2076m,730207.2165m)	(3710450.1073m,729730.6428m)

Clothoïde					
Paramètre (A)	Longueur (m)	PK de départ (m)	PK de fin (m)	Point de départ	Extrémité
392.428m	70.00	56+804.76	56+874.76	(3737196.8143m,733523.4260m)	(3737178.7189m,733455.8061m)
402.492m	90.00	57+995.20	58+085.20	(3736658.4066m,732469.9347m,)	(3736608.7111m,732394.9020m)
424.264m	60.00	61+635.30	61+695.30	(3733385.9175m,731106.4857m)	(3733327.7672m,731091.7037m)
519.615m	30.00	76+164.43	76+194.43	(3718924.3038m,729732.4024m)	(3718894.4285m,729729.6705m)
447.214m	40.00	80+378.87	80+418.87	(3714770.2765m,730254.4812m)	(3714731.5392m,730264.4521m)

Rayon		
Longueur (m)	PK de départ (m)	PK de fin (m)
635.047	56+874.76	57+509.81
1245.386	58+085.20	59+330.59
421.549	61+695.30	62+116.85
3075.066	76+194.43	79+269.49
2666.865	80+418.87	83+085.74

Clothoïde					
Paramètre (A)	Longueur (m)	PK départ (m)	PK fin (m)	Point de départ	Extrémité
392.428m	70.00	57+509.81	57+579.81m	(3736922.7435m,732877.0413)	(3736884.8902m,732818.1599m)
402.492m	90.00	59+330.59	59+420.59m	(3735617.4917m,731682.4568m)	(3735530.5328m,731659.2683m)
424.264m	60.00	62+116.85	62+176.85m	(3732912.7805m,731019.6117m)	(3732853.0517m,731013.9155m)
519.615m	30.00	79+269.49	79+299.49m	(3715844.2717m,729976.5290m)	(3715815.2245m,729984.0297m)
447.214m	40.00	83+085.74	83+125.74m	(3712096.5739m,730218.5310m)	(3712058.2076m,730207.2165m)

	coord		**ΔX**	**ΔY**	**dx/dy**	**D**	**g**	**g °**	**Gisement**	**G**	**G**
	X	Y	$\lvert X_{Sj}-X_{Si}\rvert$	$\lvert Y_{Sj}-Y_{Si}\rvert$	$\sqrt{\Delta X^2+\Delta Y^2}$		Grade	Degré		Degré	Grade
S_0	3737400,6	734301,5	-302,8	-1155,9	0,26	1195	16	15	**$G_{0,1}$=**	195	216
S_1	3737097,8	733145,6	-845,7	-1300,3	0,65	1551	37	33	**$G_{1,2}$=**	213	237
S_2	3736252,1	731845,3	-3128,9	-806,5	3,88	3231	84	76	**$G_{2,3}$=**	256	284
S_3	3733123,2	731038,8	-15775,4	-1451,4	10,87	15842	94	85	**$G_{3,4}$ =**	265	294
S_4	3717347,8	729587,4	-3940,2	1019,8	-3,86	4070	-84	-75	**$G_{4,5}$ =**	285	316
S_5	3713407,7	730607,1	-2958,4	-880,9	3,36	3087	82	73	**$G_{5,6}$ =**	253	282
S6	3710449,3	729726,3									

τ (grade)	ϒ(grade)	**L**	**Xm**	**ΔR**	**T**	**s0 - k**	**YKE**
				$\Delta R=\frac{L^2}{24R}$			$Y_{KE}=\frac{A^2}{6R}$
1.01	20	70	35	0.093	391	804.33	0.37
1.59	47	80	40	0.18	745	805.98	0.75
0.64	10	50	25	0.05	271	2959.89	0.20
0.11	22	30	15	0.004	1583	14258.87	0.02
0.25	35	40	20	0.013	1411	2659.06	0.05

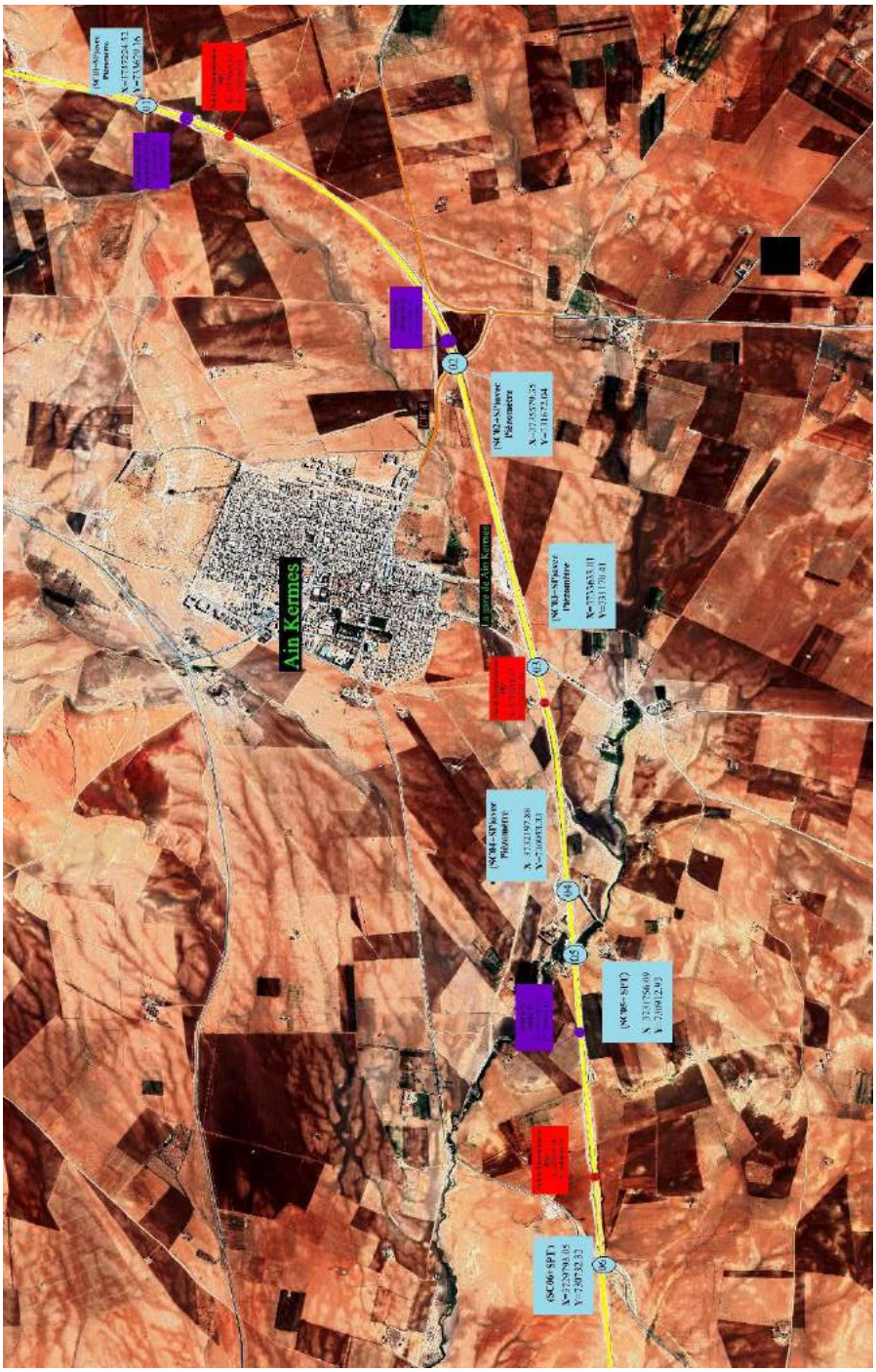
SL	σ	YKE/ XKE	α	l'arc
$S_L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$	$\sigma = \tan^{-1}\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}$		$\alpha = \gamma - 2\tau$	$\frac{\pi R\alpha}{200}$
70.00	0.30	0.01	18.38	635.0
90.00	9.46	0.17	44.40	1255.4
60.00	9.46	0.17	9.16	431.5
30.00	9.46	0.17	21.75	3075.1
40.00	9.46	0.17	34.04	2673.3

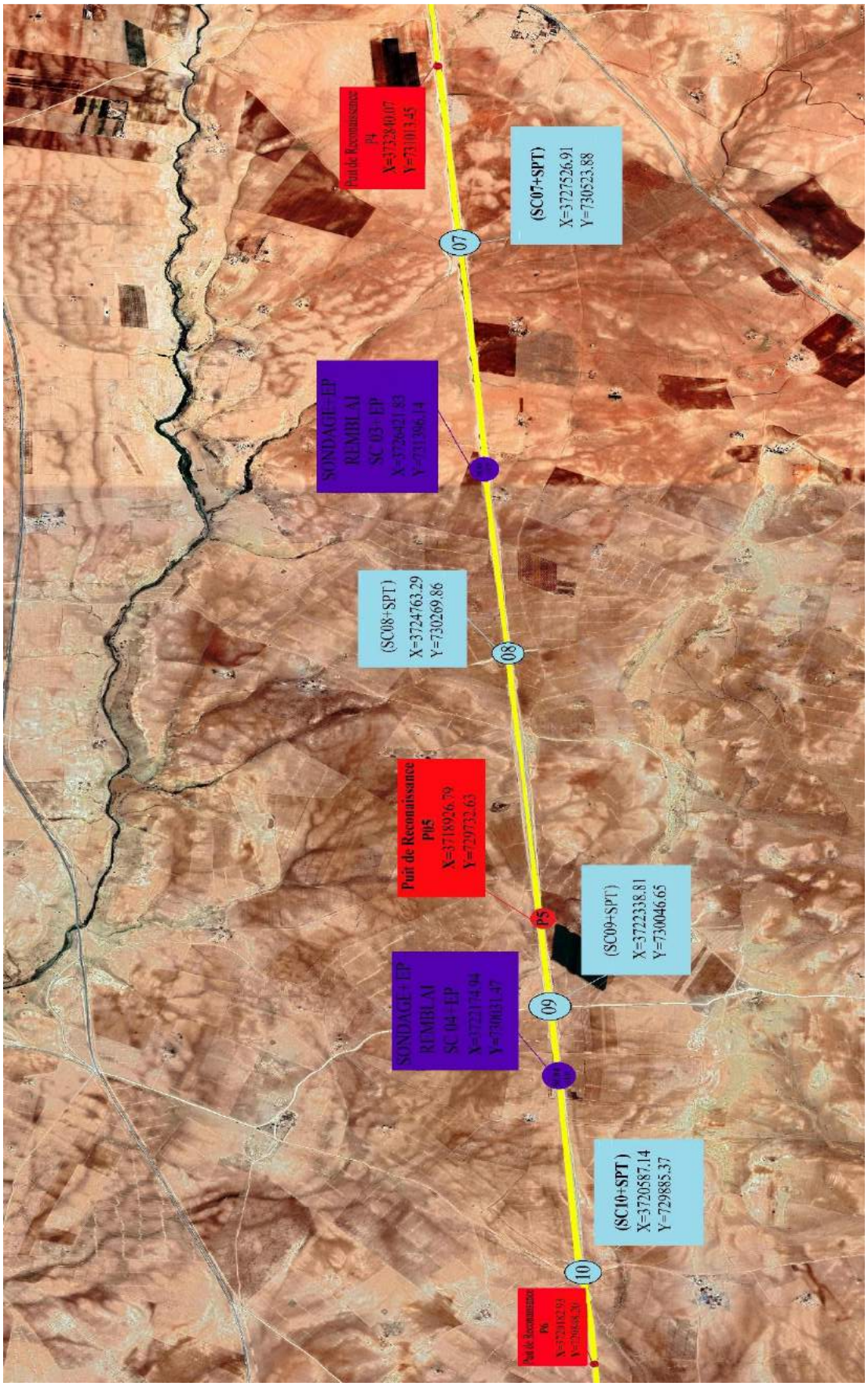
XkA1	**YkA1**	**XkA2**	**YkA2**	**XkE1**	**YkE1**	**XkE2**	**YkE2**
$X_{Ka1} = X_{S1} - T\sin G_{S_1}^{S_0}$	$Y_{K1} = Y_{S1} - T\cos G_{S_1}^{S_0}$	$X_{Ka2} = X_{S1} + T\sin G_{S_2}^{S_1}$	$Y_{K2} = Y_{S1} + T\cos G_{S_2}^{S_1}$	$X_{KE1} = X_{Ka1} + S_L\sin(G_{S_1}^{S_0} - \sigma)$	$Y_{KE1} = Y_{Ka1} + S_L\cos(G_{S_1}^{S_0} - \sigma)$	$X_{KE2} = X_{Ka2} + S_L\sin(G_{S_2}^{S_1} - \sigma)$	$Y_{KE2} = Y_{Ka2} - S_L\cos(G_{S_2}^{S1} - \sigma)$
3737196.8	733244.6	3736998.9	733046.6	3737179.4	733176.7	3736961.0	732987.7
3736655.7	732248.8	3735848.6	731441.7	3736623.2	732174.5	3735774.4	731408.8
3733381.1	731296.6	3732865.3	730780.9	3733334.7	731276.1	3732816.3	730768.0
3718924.3	731163.8	3715771.4	728010.9	3718894.9	731156.1	3715741.1	728013.6
3714773.6	731973.1	3712041.8	729241.2	3714733.2	731976.6	3712005.3	729223.4

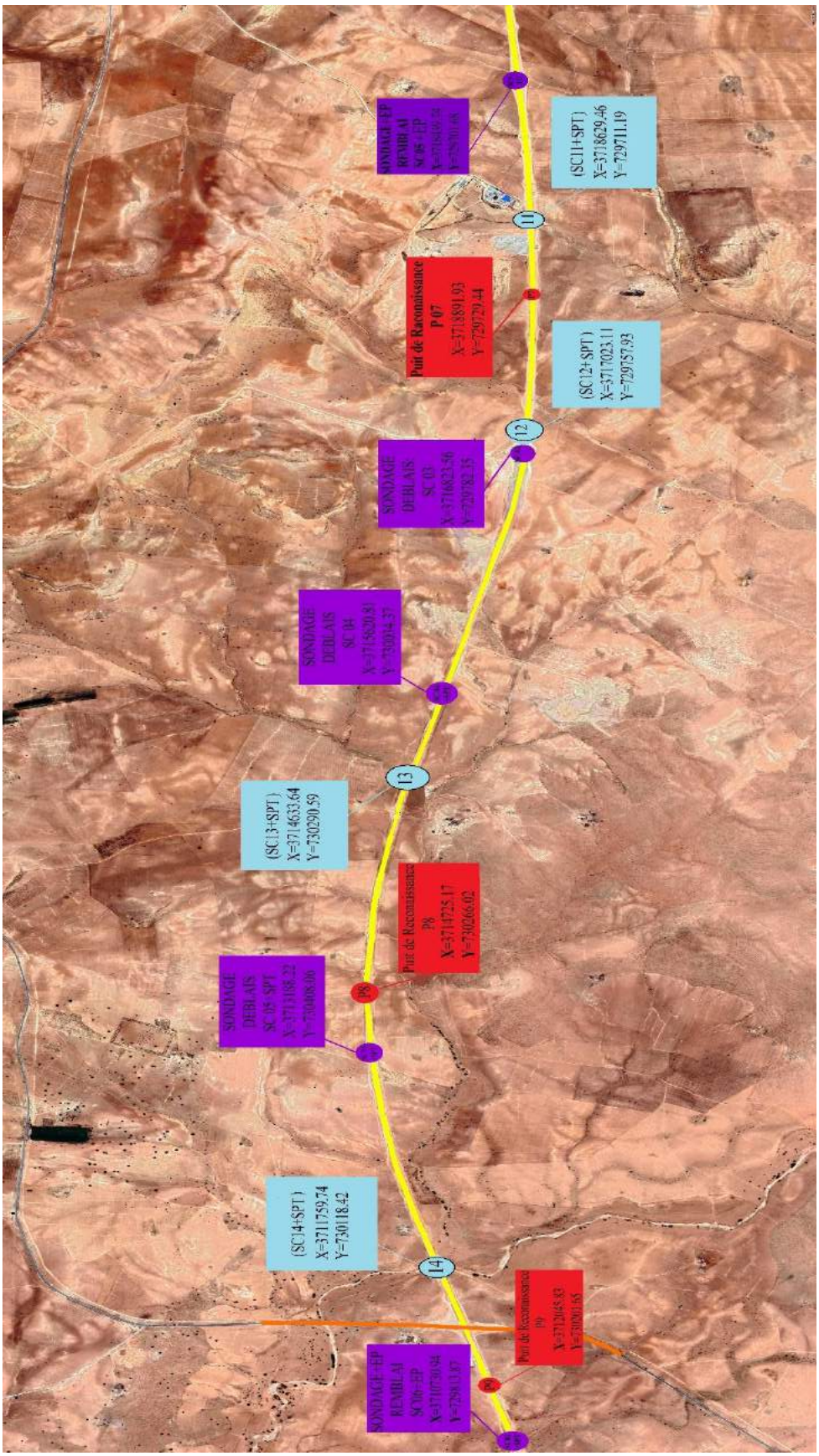
Annexe Profil en long

N°	Abscisse	Altitude	Pente d'entrée	Pente de sortie	A (changement de pente)	Longueur de la courbe	Rayon de la courbe
01	56+500.00m	1141.321m		-19.7‰			
02	57+264.89m	1126.229m	-19.7‰	-9.5‰	10.2‰	193.564m	19000.000m
03	57+780.09m	1121.314m	-9.5‰	-7.3‰	2.3‰		
04	58+372.23m	1117.009m	-7.3‰	-11.3‰	4.0‰	168.417m	42053.296m
05	58+964.06m	1110.335m	-11.3‰	-16.4‰	5.1‰	127.010m	25000.000m
05	59+702.92m	1098.250m	-16.4‰	0.00‰	16.4‰	359.476m	21928.483m
07	61+443.68m	1098.315m	0.00‰	-9.5‰	9.6‰	181.502m	19000.000m
08	63+191.24m	1081.687m	-9.5‰	5.6‰	15.1‰	241.190m	16000.000m
09	63+942.95m	1085.866m	5.6‰	-10.4‰	16.0‰	351.774m	22000.000m
10	64+840.73m	1076.501m	-10.4‰	-5.7‰	4.7‰	93.615m	20000.000m
11	65+657.47m	1071.805m	-05.7‰	-17.8‰	12.0‰	360.811m	30000.000m
12	66+436.13m	1057.961m	-17.8‰	-3.1‰	14.6‰	322.199m	22000.000m
13	67+963.69m	1053.178m	-3.1‰	1.4‰	4.5‰	81.434m	18000.000m
14	69+024.59m	1054.655m	1.4‰	-10.9‰	12.2‰	122.465m	10000.000m
15	70+150.65m	1042.433m	-10.9‰	-18.3‰	7.4‰	172.485m	23249.195m
16	71+135.89m	1024.427m	-18.3‰	-0.1‰	18.2‰	516.899m	28435.828m
17	72+856.77m	1024.264m	-0.1‰	-14.8‰	14.7‰	366.907m	25000.000m
18	74+948.23m	993.367m	-1.4.8‰	-6.3‰	8.5‰	295.804m	35000.000m
19	76+373.01m	984.363m	-6.3‰	-14.6‰	8.2‰	197.012m	23908.564m
20	77+437.76m	968.859m	-14.6‰	-8.4‰	6.2‰	85.013m	13818.825m
21	78+288.46m	961.706m	-8.4‰	-18.4‰	10.0‰	189.200m	18918.301m
22	78+967.94m	949.195m	-18.4‰	-16.5‰	1.9‰	50.342m	26224.095m
23	80+752.05m	919.773m	-16.5‰	-5.6‰	10.8‰	216.875m	20000.000m
24	81+095.07m	917.836m	-0.5.6‰	1.6‰	7.2‰	173.083m	24000.000m
25	81+821.98m	918.975m	1.6‰	-11.8‰	13.3‰	215.005m	16108.243m
26	82+291.92m	913.438m	-11.8‰	-22.4‰	10.7‰	114.143m	10708.400m
27	82+875.43m	900.341m	-22.4‰	-6.7‰	15.8‰	283.505m	18000.000m
28	83+558.37m	895.772m	-6.7‰	0.1‰	6.8‰	217.455m	32000.000m
29	84+802.91m	895.904m	0.1‰				

Programme Géotechnique proposé pour notre tronçon

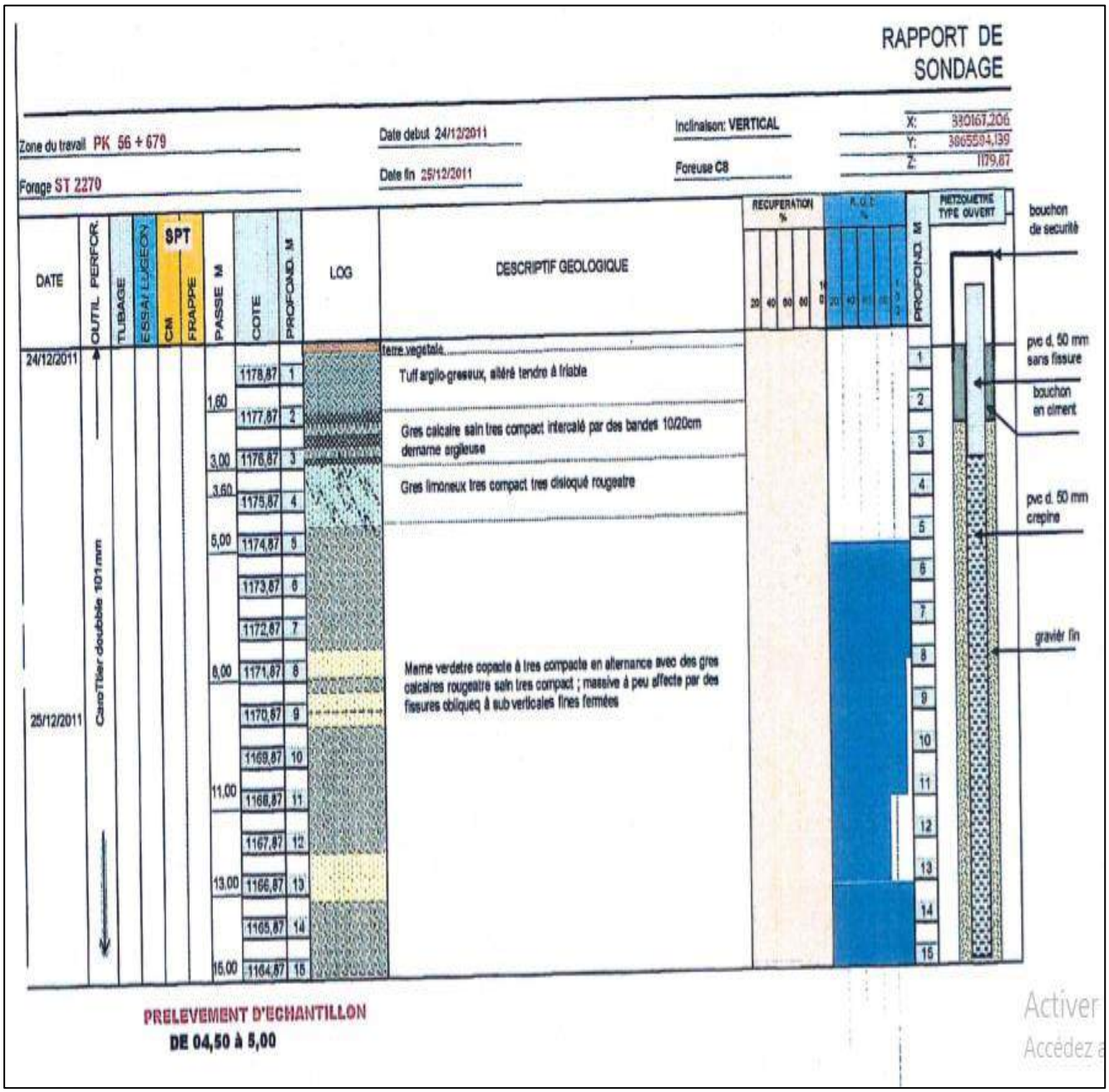



Puit de Reconnaissance
P4
X=3732840.07
Y=731013.45
(SC07+SPT)
X=3727526.91
Y=730523.88
07
SONDAGE+EP
REMBLAI
SC 03+EP
X=3726421.83
Y=731396.14
(SC08+SPT)
X=3724763.29
Y=730269.86
08
Puit de Reconnaissance
P05
X=3718926.79
Y=729732.63
P5
(SC09+SPT)
X=3722338.81
Y=730046.65
SONDAGE+EP
REMBLAI
SC 04+EP
X=3722174.94
Y=730031.47
09
(SC10+SPT)
X=3720587.14
Y=729885.37
10
Puit de Reconnaissance
P6

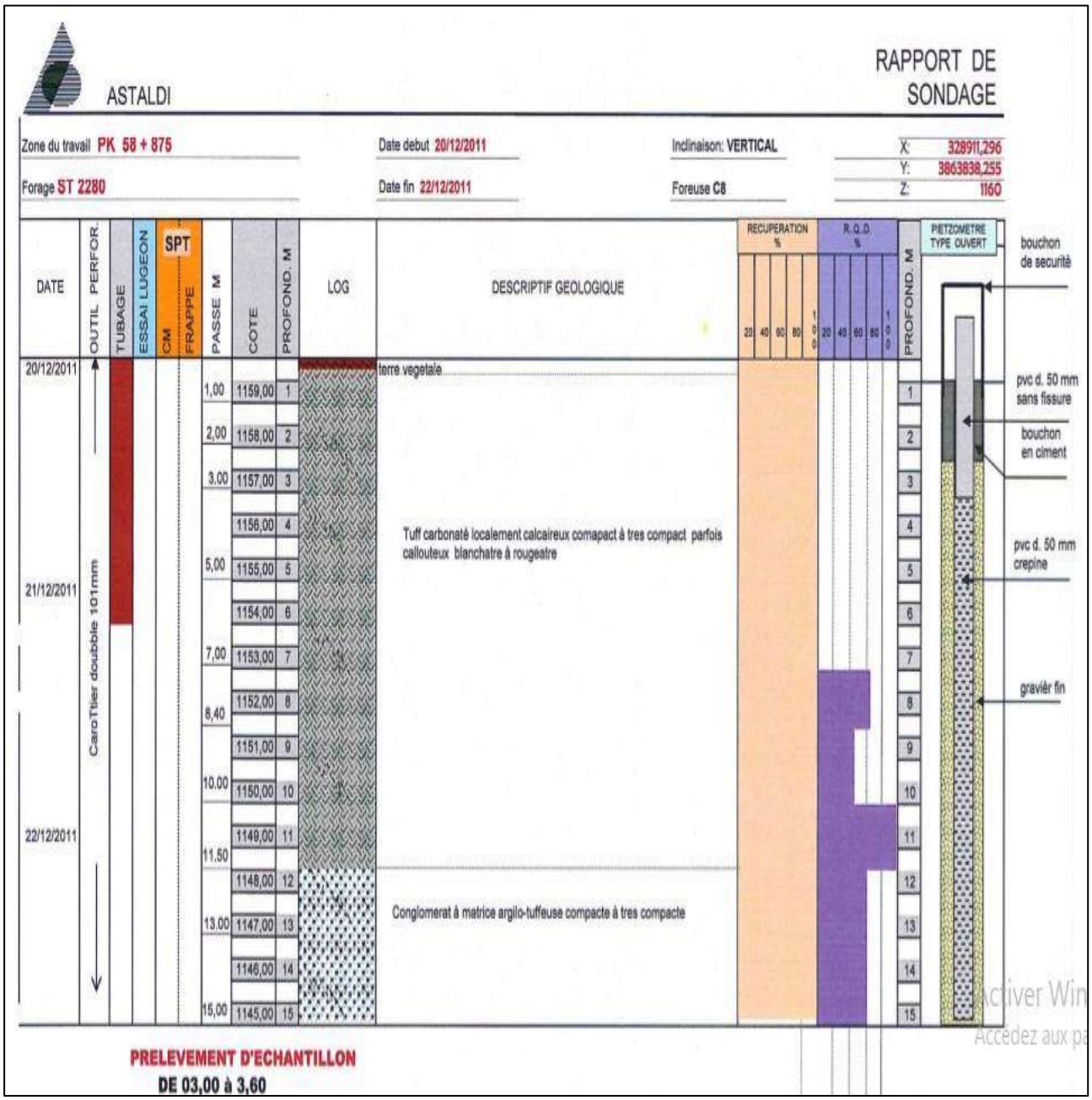

(SC11+SPT)
X=3718629.46
Y=729711.19
Puit de Reconnaissance
P 07
X=3718891.93
Y=729729.44
(SC12+SPT)
X=3717023.11
Y=729757.93
SONDAGE
DEBLAIS
SC 03
X=3716823.56
Y=729782.35
SONDAGE
DEBLAIS
SC 04
(SC13+SPT)
X=3714633.64
Y=730290.59
Puit de Reconnaissance
P8
X=3714725.17
Y=730266.02
SONDAGE
DEBLAIS
SC 05+SPT
(SC14+SPT)
X=3711759.74
Y=730118.42
Puit de Reconnaissance
P9
X=3712045.83
Y=730001.65
SONDAGE+EP
REMBLAI
SC06+EP
11
12
13
14

ANNEXE B2 : fiches de laboratoires des sondages carottées

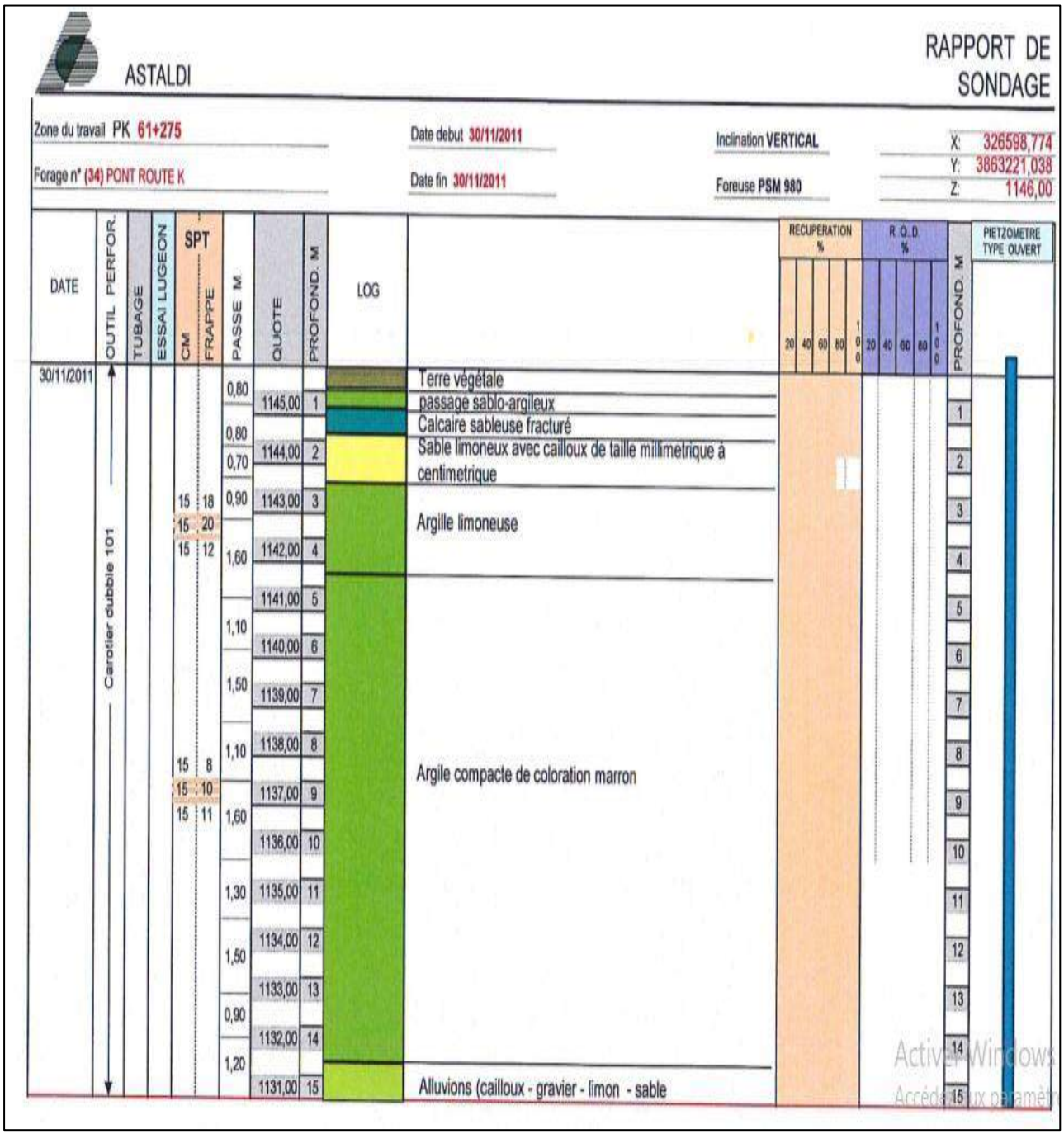
Sondage carottées PK 56 + 679 :



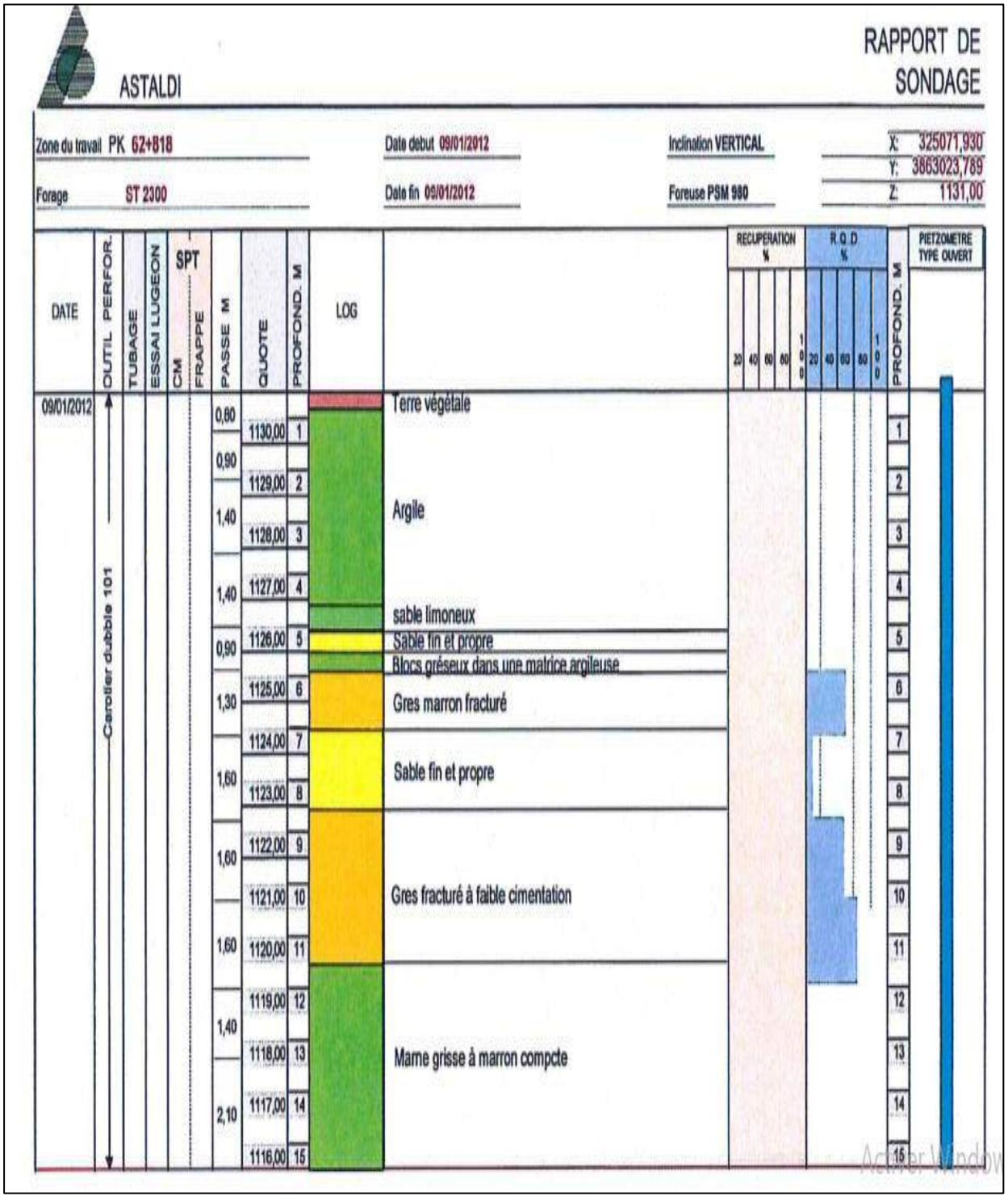
Sondage carottées PK 58 + 875 :



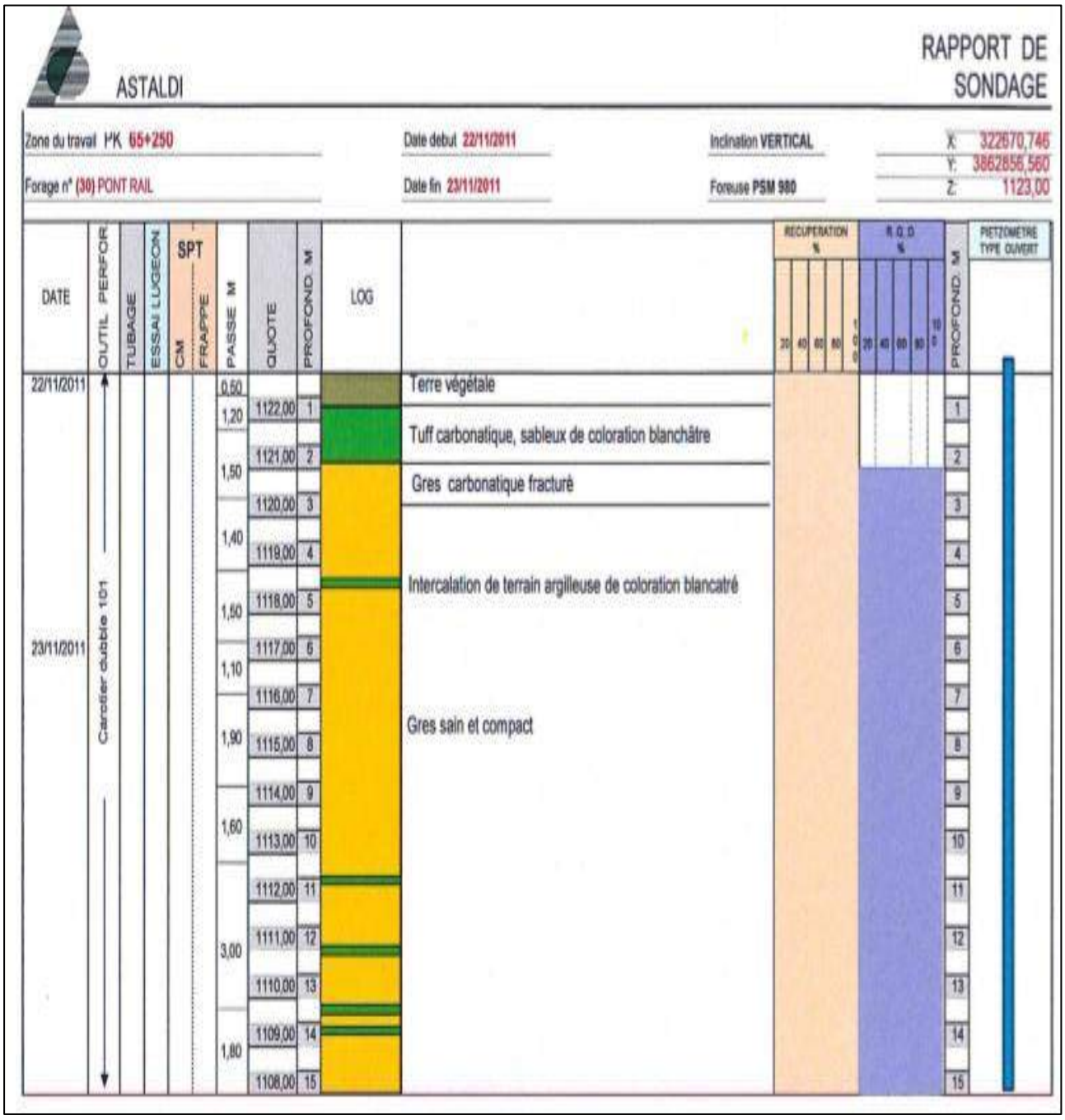
Sondage carottées PK 61 + 275 :



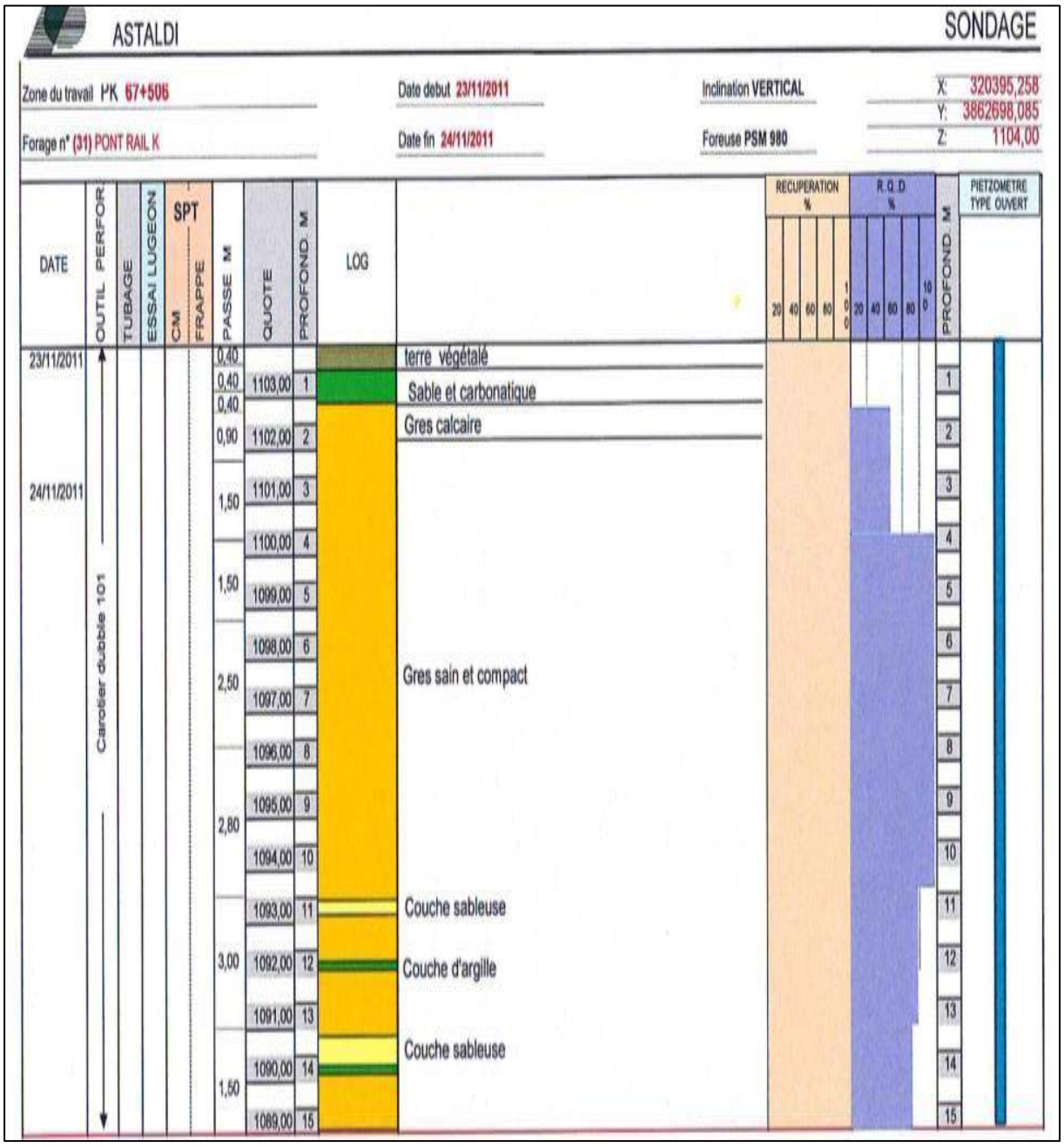
Sondage carottées PK 62 + 818 :



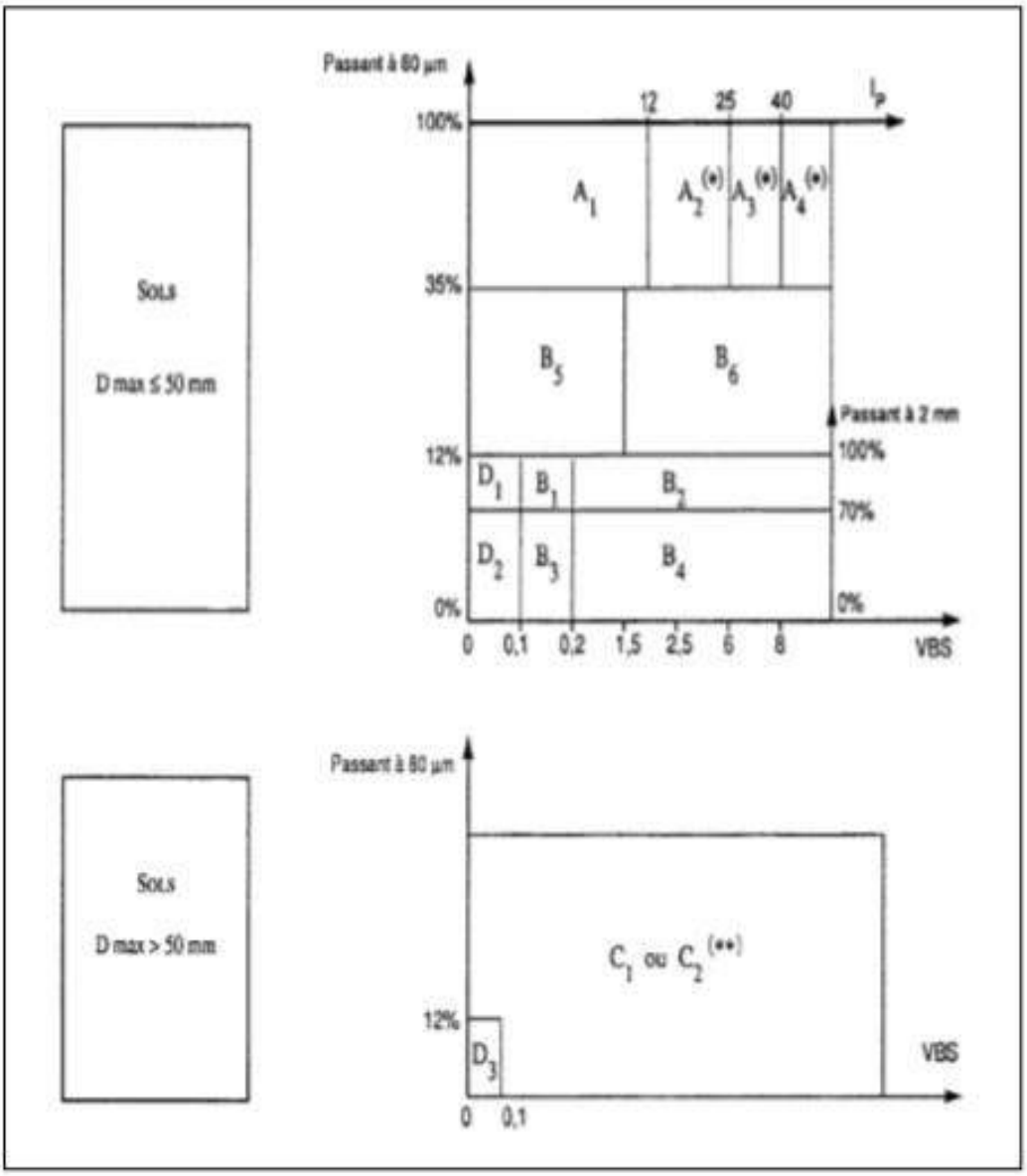
Sondage carottées PK 65 + 250 :



Sondage carottées PK 67 + 506 :



ANNEXE B2 : CLASSIFICATION DES SOLS :



Classifications des sols selon UIC (POUR LA PLATEFORME) :

La qualité de sol pour la plateforme dépend des deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol ; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales. On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd<1.7 t/m3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd<1.7 t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25 <MDE≤40 et 30<LA≤40
QS3 Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe Etude hydrauliques et assainissement

Tableau 05-03 : Calcul des débits de crue décennaux et centennaux

BV	PK	Tc	C	Période De Retour =10 ans				Période De Retour =100ans			
				Pj max (mm)	P(t) (mm)	I (mm/h)	Qmax(m3/s)	Pj max (mm)	P(t) (mm)	I (mm/h)	Qmax(m3/s)
BV1	**57+035.000**	0.347	0.6	**77.1**	**40.90**	**19.56**	**0.99**	**104.9**	**55.62**	**26.60**	**1.34**
BV2	**62+225.000**	4.977	0.5	**77.1**	**53.52**	**10.75**	**24.70**	**104.9**	**72.77**	**14.62**	**33.58**
BV3	**63+277.750**	4.573	0.5	**77.1**	**52.13**	**11.40**	**58.20**	**104.9**	**70.89**	**15.50**	**79.14**
BV4	**64+540**	0.331	0.5	**77.1**	**23.10**	**69.74**	**1.50**	**104.9**	**31.42**	**94.84**	**2.04**
BV5	**64+801**	1.240	0.5	**77.1**	**34.78**	**28.06**	**8.19**	**104.9**	**47.30**	**38.15**	**11.14**
BV6	**66+335.000**	1.052	0.6	**77.1**	**33.06**	**31.41**	**20.97**	**104.9**	**44.95**	**42.72**	**28.51**
BV7	**67+505**	0.729	0.6	**77.1**	**29.50**	**40.48**	**4.01**	**104.9**	**40.12**	**55.04**	**5.45**
BV8	**67+785.250**	2.441	0.5	**77.1**	**42.91**	**17.58**	**22.54**	**104.9**	**58.35**	**23.91**	**30.65**
BV9	**69+619.00**	0.991	0.5	**77.1**	**32.45**	**32.74**	**5.91**	**104.9**	**44.13**	**44.52**	**8.03**
BV10	**70+525.00**	0.354	0.6	**77.1**	**23.58**	**66.63**	**3.45**	**104.9**	**32.07**	**90.61**	**4.69**
BV11	**72+450.00**	0.676	0.6	**77.1**	**28.82**	**42.63**	**4.48**	**104.9**	**39.19**	**57.97**	**6.10**
BV12	**72+900.00**	0.551	0.6	**77.1**	**27.05**	**49.08**	**3.73**	**104.9**	**36.79**	**66.74**	**5.07**
BV13	**74+730.00**	0.460	0.7	**77.1**	**25.57**	**55.62**	**6.33**	**104.9**	**34.78**	**75.64**	**8.61**
BV14	**75+400.00**	0.537	0.5	**77.1**	**26.84**	**49.95**	**3.16**	**104.9**	**36.50**	**67.92**	**4.30**
BV15	**75+714.00**	0.428	0.5	**77.1**	**25.01**	**58.44**	**3.04**	**104.9**	**34.01**	**79.47**	**4.13**
BV16	**76+397.00**	0.323	0.7	**77.1**	**22.93**	**70.90**	**4.35**	**104.9**	**31.18**	**96.42**	**5.92**
BV17	**76+675.00**	0.375	0.7	**77.1**	**24.01**	**63.99**	**4.73**	**104.9**	**32.66**	**87.01**	**6.44**
BV18	**77+092.00**	0.123	0.82	**77.1**	**17.00**	**138.08**	**3.93**	**104.9**	**23.11**	**187.76**	**5.35**
BV19	**77+360.00**	0.265	0.7	**77.1**	**21.56**	**81.32**	**3.20**	**104.9**	**29.32**	**110.58**	**4.36**
BV20	**77+781.00**	1.048	0.6	**77.1**	**33.01**	**31.51**	**6.98**	**104.9**	**44.89**	**42.85**	**9.49**
BV21	**79+119.00**	0.311	0.82	**77.1**	**22.66**	**72.80**	**8.12**	**104.9**	**30.82**	**98.99**	**11.05**
BV22	**80+262.20**	2.845	0.7	**77.1**	**45.00**	**15.81**	**23.64**	**104.9**	**61.19**	**21.51**	**32.14**
BV23	**80+695.00**	1.134	0.5	**77.1**	**33.83**	**29.84**	**5.07**	**104.9**	**46.00**	**40.58**	**6.89**
BV24	**81+094.50**	1.083	0.5	**77.1**	**33.35**	**30.80**	**3.22**	**104.9**	**45.36**	**41.88**	**4.38**
BV25	**81+657.10**	0.380	0.6	**77.1**	**24.10**	**63.48**	**4.79**	**104.9**	**32.77**	**86.32**	**6.52**
BV26	**82+759.30**	1.466	0.5	**77.1**	**36.64**	**24.99**	**7.67**	**104.9**	**49.82**	**33.99**	**10.43**
BV27	**83+436.00**	7.897	0.5	**77.1**	**61.75**	**7.82**	**226.29**	**104.9**	**83.97**	**10.63**	**307.71**
BV28	**84+747.00**	1.644	0.5	**77.1**	**37.96**	**23.09**	**7.47**	**104.9**	**51.62**	**31.39**	**10.16**

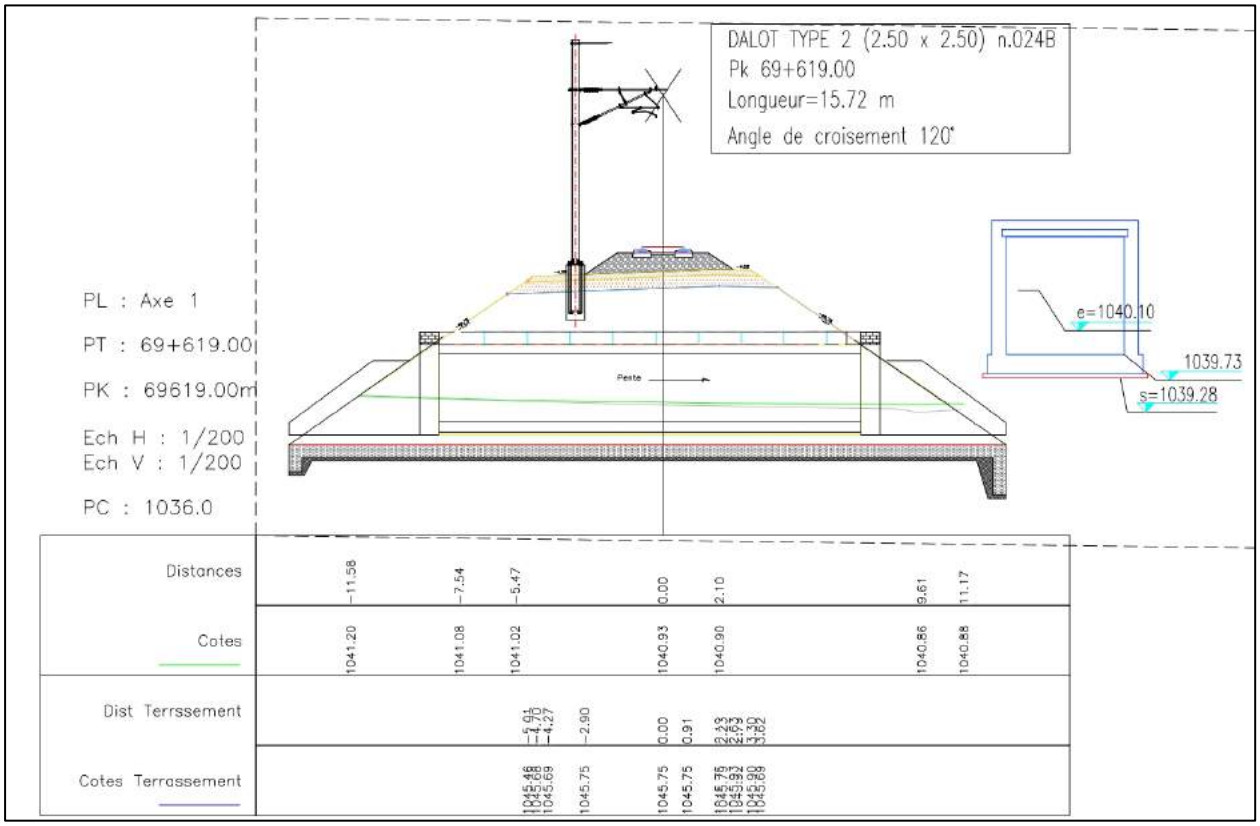
Tableau n° 05 : Calcul de Rayon hydraulique pour une section circulaire et rectangulaire.

	Section circulaire	Section rectangulaire
Section mouillée	$\pi \frac{(0.75.\emptyset)^2}{4}$	B (0.75.H)
Périmètre mouillé	$\pi.(0.75.\emptyset)$	B+2(0.75.H)

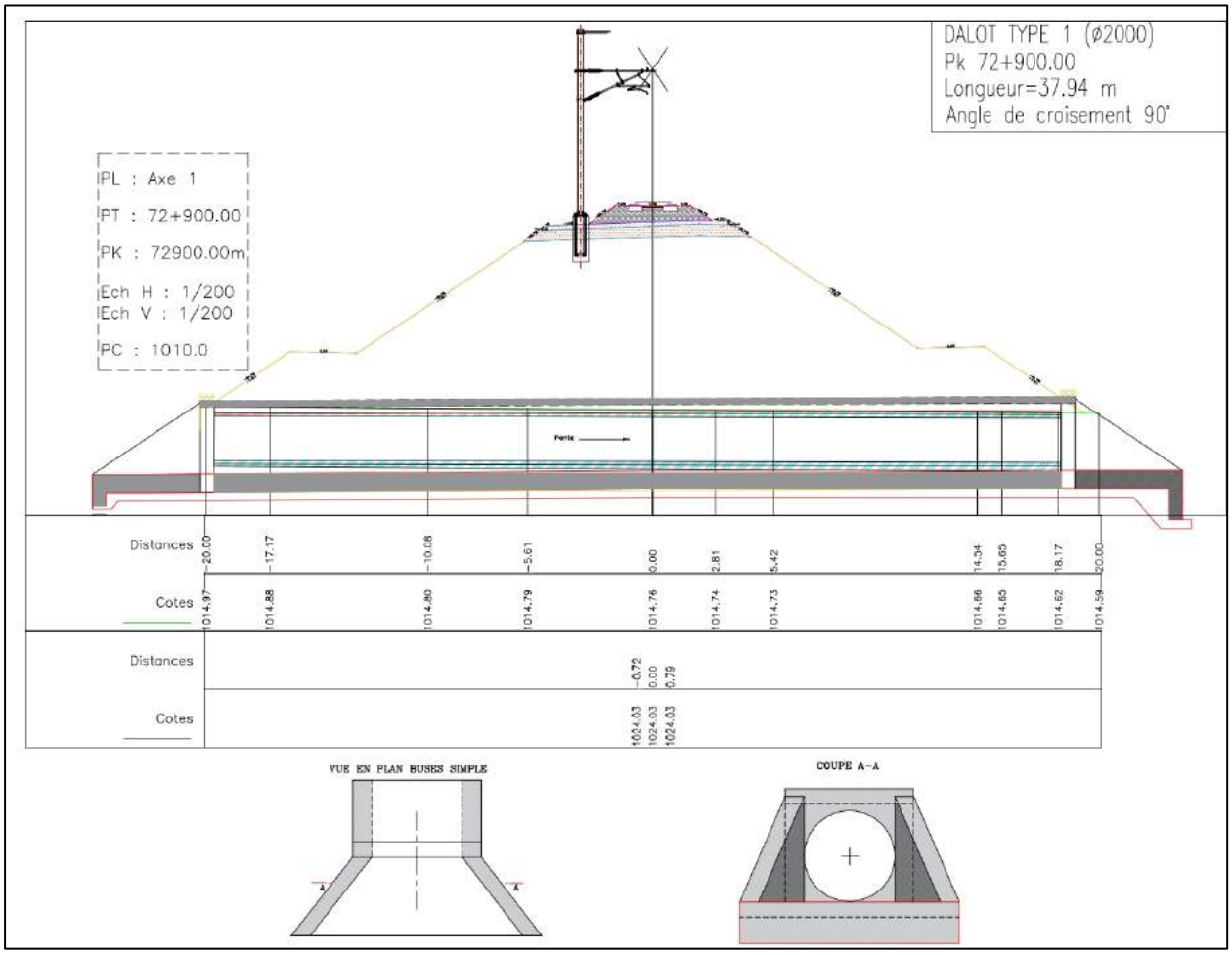
Tableau n° 06 : Vérification les conditions d'auto curage

N° du BV	PK	Ouvrage prévus	Qmax(m3/s)	Qs (m^3/s)	Vps	Q=0.1Qps		Q=0.01Qps	
						V (m/s)	V>0.6 (m/s)	V (m/s)	V>0.3 (m/s)
BV1	57+035.000	Buse circulaire	1.34	2.18	2.78	1.77	Vérifiée	0.88	Vérifiée
BV2	62+225.000	Dalot type 4	33.58	75.09	7.90	5.04	Vérifiée	2.49	Vérifiée
BV3	63+277.750	Ouvrage d'art							
BV4	64+540	Buse circulaire	2.04	2.18	2.78	1.77	Vérifiée	0.88	Vérifiée
BV5	64+801	Dalot Type 2	11.14	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée
BV6	66+335.000	Dalot type 4	28.51	75.09	7.90	5.04	Vérifiée	2.49	Vérifiée
BV7	67+505	Buse circulaire	5.45	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV8	67+785.250	Dalot type 4	30.65	75.09	7.90	5.04	Vérifiée	2.49	Vérifiée
BV9	69+619.00	Dalot Type 2	8.03	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée
BV10	70+525.00	Buse circulaire	4.69	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV11	72+450.00	Buse circulaire	6.10	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV12	72+900.00	Buse circulaire	5.07	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV13	74+730.00	Dalot Type 2	8.61	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée
BV14	75+400.00	Buse circulaire	5.16	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV15	75+714.00	Buse circulaire	4.96	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV16	76+397.00	Buse circulaire	5.92	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV17	76+675.00	Buse circulaire	6.44	13.85	4.41	2.81	Vérifiée	1.39	Vérifiée
BV18	77+092.00	Buse circulaire	5.35	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV19	77+360.00	Buse circulaire	4.36	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV20	77+781.00	Dalot Type 2	9.49	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée

BV21	79+119.00	Dalot Type 2	11.05	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée
BV22	80+262.20	Dalot type 4	32.14	75.09	7.90	5.04	Vérifiée	2.49	Vérifiée
BV23	80+695.00	Buse circulaire	6.89	13.85	4.41	2.81	Vérifiée	1.39	Vérifiée
BV24	81+094.50	Buse circulaire	4.38	6.43	3.64	2.32	Vérifiée	1.15	Vérifiée
BV25	81+657.10	Buse circulaire	6.52	13.85	4.41	2.81	Vérifiée	1.39	Vérifiée
BV26	82+759.30	Dalot Type 2	10.43	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée
BV27	83+436.00	Ouvrage d'art							
BV28	84+747.00	Dalot Type 2	10.16	29.38	6.20	3.95	Vérifiée	1.95	Vérifiée



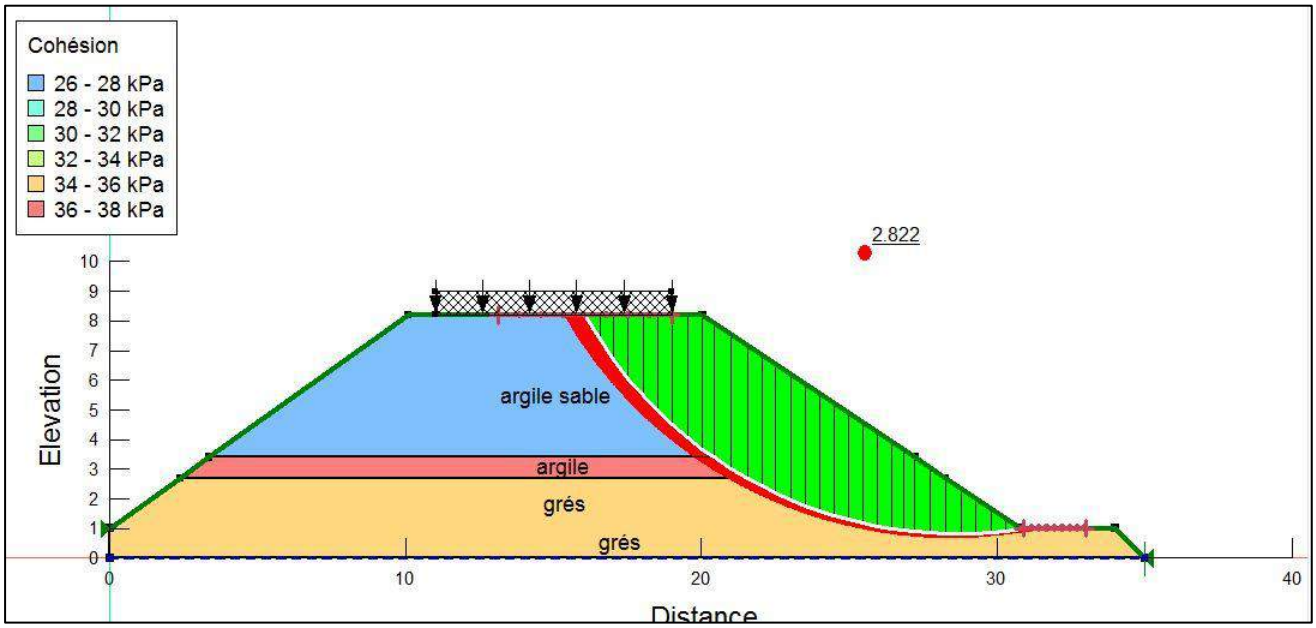
Profil en travers d'un Dalot Type 2



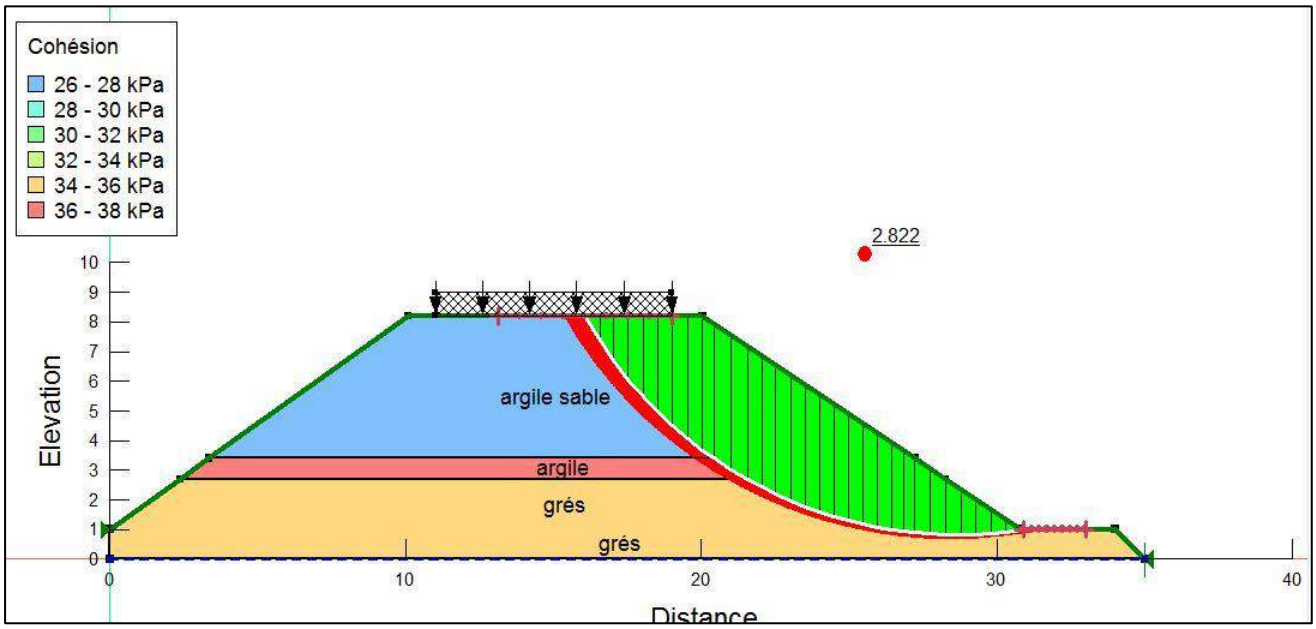
Profil en travers d'un Dalot Type 1

ANNEXE D1 : vérification de stabilité des talus en déblais avec logiciel Géostudio

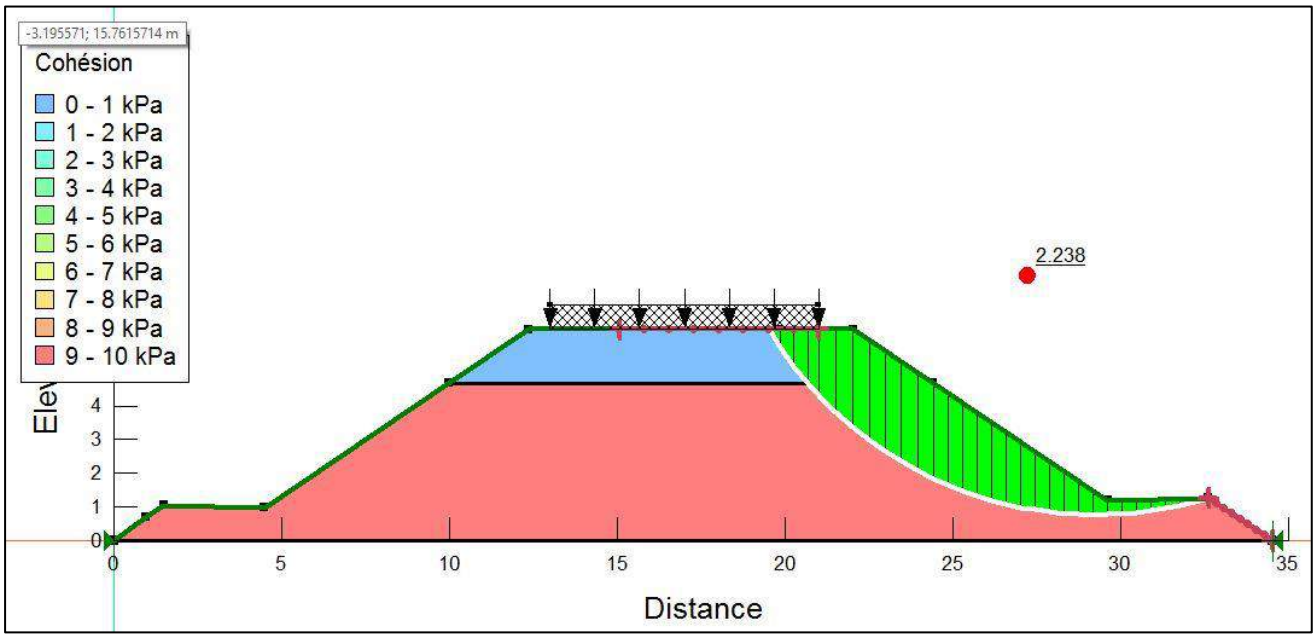
Vérification de stabilité pour les déblais au PK 59+650 condition statique



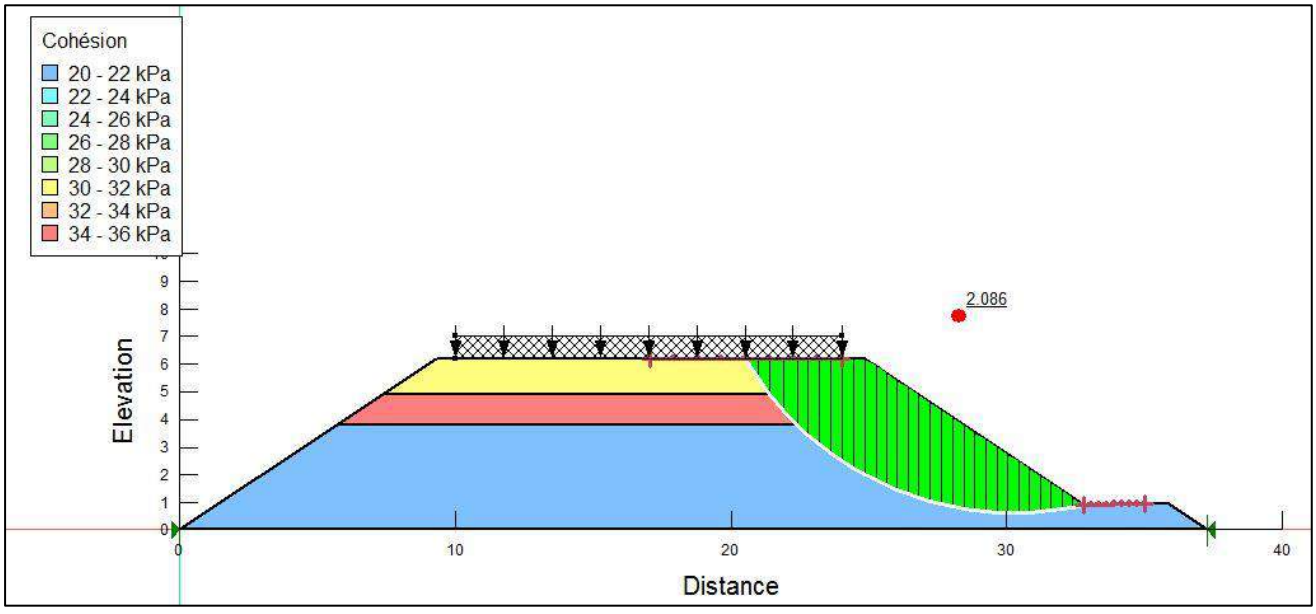
Vérification de stabilité pour les Remblai au PK 63+266 condition statique



Vérification de stabilité pour les Remblai au PK 67+800 condition statique



Vérification de stabilité pour les Remblai au PK 72+300 condition statique



ANNEXE D2: Réutilisation des matériaux de déblais (mise en remblais).

Les Condition et notice d'utilisation des matériaux :

Notice d'utilisation des matériaux pour remblai : **B_{6s}**

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
B_6s	Pour ces sols, il faut compenser l'insuffisance de la teneur en eau par un compactage intense, un arrosage, ou une humidification avec un malaxage soigné et une quantité d'eau importante	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction en couches R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 0 0 1 1 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	**Solution 1 : humidification** W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
		–	évaporation importante	**Solution 1 : arrosage** W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0 0 3 0 0 1 1
				Solution 2 : extraction frontale - arrosage E : extraction frontale W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 3 0 0 1 2
				Solution 3 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage intense	0 0 4 0 1 1 0

Activer Windo

ANNEXE D : Volume des terrassements (Remblai/Déblai) et les matériaux (SOUS BALLAST, COUCHE DE FONDATION, BALLAST)

RESUME

Client : ENSTP Préparé par : BELKACEM et BENOMRANE

Logiciel civil 3d 2018 Date : 19/08/2020 11 :20 :19

Axe en plan : Alignement APD (TIARET - SAIDA)

Groupe de tabulations : TAB.

Plage d'abscisse : Début : 56+500.00, Fin : 84+701

Axe : Axe 1
Groupe de tabulations : Groupe de tabulations pk 56
Abscisse curviligne de départ : 56+500.072
Abscisse curviligne de fin : 56+687.230

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)	
56+500.072	0.00	0.00	0.00	77.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
56+525.000	0.00	0.00	0.00	84.58	2025.76	0.00	0.00	2025.76	-2025.76	
56+550.000	0.00	0.00	0.00	89.29	2173.41	0.00	0.00	4199.16	-4199.16	
56+575.000	0.00	0.00	0.00	85.23	2181.57	0.00	0.00	6380.73	-6380.73	
56+600.000	0.00	0.00	0.00	79.35	2057.20	0.00	0.00	8437.92	-8437.92	
56+625.000	0.00	0.00	0.00	72.83	1902.19	0.00	0.00	10340.11	-10340.11	
56+650.000	0.00	0.00	0.00	72.73	1819.55	0.00	0.00	12159.66	-12159.66	
56+675.000	0.00	0.00	0.00	74.54	1840.94	0.00	0.00	14000.60	-14000.60	
56+687.230	0.00	0.00	0.00	75.62	918.26	0.00	0.00	14918.86	-14918.86	

Axe : Axe 1
Groupe de tabulations : Groupe de tabulations pk57
Abscisse curviligne de départ : 56+698.770
Abscisse curviligne de fin : 56+882.652

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
56+698.770	0.00	0.00	0.00	73.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56+700.000	0.00	0.00	0.00	73.73	90.85	0.00	0.00	90.85	-90.85
56+725.000	0.00	0.00	0.00	70.43	1802.03	0.00	0.00	1892.88	-1892.88
56+750.000	0.00	0.00	0.00	73.05	1793.49	0.00	0.00	3686.37	-3686.37
56+775.000	0.00	0.00	0.00	75.66	1858.83	0.00	0.00	5545.21	-5545.21
56+796.752	0.00	0.00	0.00	74.55	1633.65	0.00	0.00	7178.86	-7178.86
56+800.000	0.00	0.00	0.00	74.42	241.96	0.00	0.00	7420.82	-7420.82
56+825.000	0.00	0.00	0.00	72.75	1839.70	0.00	0.00	9260.51	-9260.51
56+850.000	0.00	0.00	0.00	75.69	1855.57	0.00	0.00	11116.09	-11116.09
56+875.000	0.00	0.00	0.00	79.25	1936.77	0.00	0.00	13052.86	-13052.86
56+882.652	0.00	0.00	0.00	80.28	610.32	0.00	0.00	13663.18	-13663.18

Axe : Axe 1
Groupe de tabulations : Groupe de tabulations pk 57R
Abscisse curviligne de départ : 56+882.652
Abscisse curviligne de fin : 57+501.699

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
56+882.652	0.00	0.00	0.00	80.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56+882.752	0.00	0.00	0.00	80.29	8.03	0.00	0.00	8.03	-8.03
56+900.000	0.00	0.00	0.00	82.70	1405.67	0.00	0.00	1413.71	-1413.71
56+925.000	0.00	0.00	0.00	88.63	2141.61	0.00	0.00	3555.32	-3555.32
56+950.000	0.00	0.00	0.00	95.24	2298.32	0.00	0.00	5853.64	-5853.64
56+975.000	0.00	0.00	0.00	101.13	2454.56	0.00	0.00	8308.20	-8308.20
57+000.000	0.00	0.00	0.00	105.80	2586.54	0.00	0.00	10894.74	-10894.74

57+025.000	0.00	0.00	0.00	110.81	2707.54	0.00	0.00	13602.28	-13602.28
57+050.000	0.00	0.00	0.00	100.62	2642.78	0.00	0.00	16245.06	-16245.06
57+075.000	0.00	0.00	0.00	65.84	2080.73	0.00	0.00	18325.79	-18325.79
57+100.000	0.00	0.00	0.00	34.38	1252.82	0.00	0.00	19578.61	-19578.61
57+125.000	0.00	0.00	0.00	23.32	721.27	0.00	0.00	20299.89	-20299.89
57+130.553	0.00	0.00	0.00	22.79	128.02	0.00	0.00	20427.91	-20427.91
57+150.000	0.00	0.00	0.00	21.00	425.80	0.00	0.00	20853.71	-20853.71
57+175.000	0.00	0.00	0.00	19.90	511.34	0.00	0.00	21365.05	-21365.05
57+192.275	0.00	0.00	0.00	19.25	338.23	0.00	0.00	21703.28	-21703.28
57+200.000	0.00	0.00	0.00	18.91	147.41	0.00	0.00	21850.69	-21850.69
57+225.000	0.00	0.00	0.00	20.20	488.90	0.00	0.00	22339.59	-22339.59
57+250.000	0.00	0.00	0.00	22.93	539.06	0.00	0.00	22878.65	-22878.65
57+275.000	0.00	0.00	0.00	26.10	612.85	0.00	0.00	23491.51	-23491.51
57+300.000	0.00	0.00	0.00	29.21	691.42	0.00	0.00	24182.92	-24182.92
57+325.000	0.00	0.00	0.00	30.60	747.69	0.00	0.00	24930.61	-24930.61
57+350.000	0.00	0.00	0.00	31.46	775.82	0.00	0.00	25706.43	-25706.43
57+375.000	0.00	0.00	0.00	31.92	792.26	0.00	0.00	26498.69	-26498.69
57+399.390	0.00	0.00	0.00	34.69	812.37	0.00	0.00	27311.06	-27311.06
57+400.000	0.00	0.00	0.00	34.76	21.18	0.00	0.00	27332.24	-27332.24
57+425.000	0.00	0.00	0.00	33.33	851.17	0.00	0.00	28183.40	-28183.40
57+450.000	0.00	0.00	0.00	30.02	791.93	0.00	0.00	28975.34	-28975.34
57+475.000	0.00	0.00	0.00	24.89	686.36	0.00	0.00	29661.69	-29661.69

57+500.000	0.00	0.00	0.00	20.89	572.15	0.00	0.00	30233.84	-30233.84
57+501.699	0.00	0.00	0.00	20.71	35.33	0.00	0.00	30269.17	-30269.17

Axe : Axe 1
Groupe de tabulations : Groupe de tabulations pk 58
Abscisse curviligne de départ : 57+501.699
Abscisse curviligne de fin : 57+750.000

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
57+501.699	0.00	0.00	0.00	20.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57+501.799	0.00	0.00	0.00	20.69	2.07	0.00	0.00	2.07	-2.07
57+525.000	0.00	0.00	0.00	17.52	443.32	0.00	0.00	445.39	-445.39
57+550.000	0.00	0.00	0.00	13.35	385.93	0.00	0.00	831.32	-831.32
57+575.000	0.00	0.00	0.00	8.94	278.62	0.00	0.00	1109.94	-1109.94
57+587.799	0.00	0.00	0.00	6.79	100.65	0.00	0.00	1210.59	-1210.59
57+600.000	0.00	0.00	0.00	5.30	73.78	0.00	0.00	1284.37	-1284.37
57+625.000	0.00	0.00	0.00	2.93	102.92	0.00	0.00	1387.30	-1387.30
57+650.000	1.50	18.73	18.73	0.81	46.73	18.73	18.73	1434.03	-1415.30
57+675.000	0.00	18.73	18.73	0.84	20.64	37.46	37.46	1454.67	-1417.21
57+700.000	0.00	0.00	0.00	1.17	25.18	37.46	37.46	1479.85	-1442.39
57+725.000	0.00	0.00	0.00	1.51	33.47	37.46	37.46	1513.32	-1475.86
57+750.000	1.64	20.53	20.53	0.65	27.01	57.99	57.99	1540.33	-1482.34

Axe : Axe 1
Groupe de tabulations : Groupe de tabulations pk 58+
Abscisse curviligne de départ : 57+750.000
Abscisse curviligne de fin : 58+090.273

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Volume réutilisable (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. réutilisable Cum. (Cu.m.)	Vol. remblai Cum. (m3)	Vol. Net Cum. (m3)
57+750.000	1.64	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57+775.000	4.21	73.19	73.19	0.07	9.00	73.19	73.19	9.00	64.19
57+778.020	4.32	12.88	12.88	0.04	0.17	86.07	86.07	9.17	76.90
57+782.308	4.31	18.49	18.49	0.04	0.19	104.56	104.56	9.36	95.20
57+800.000	4.11	74.46	74.46	0.10	1.26	179.02	179.02	10.62	168.40
57+825.000	3.47	94.73	94.73	0.43	6.59	273.75	273.75	17.20	256.55
57+850.000	2.98	80.62	80.62	0.93	16.92	354.37	354.37	34.13	320.24
57+875.000	2.60	69.72	69.72	1.59	31.49	424.09	424.09	65.62	358.47
57+900.000	2.33	61.57	61.57	2.29	48.61	485.66	485.66	114.22	371.43
57+925.000	2.22	56.77	56.77	2.64	61.73	542.43	542.43	175.95	366.48
57+950.000	1.76	49.71	49.71	3.92	82.03	592.14	592.14	257.98	334.16
57+975.000	1.83	44.90	44.90	3.76	96.03	637.04	637.04	354.01	283.02
57+990.173	1.92	28.48	28.48	3.50	55.07	665.51	665.51	409.08	256.43
58+000.000	1.94	18.97	18.97	3.49	34.31	684.48	684.48	443.39	241.09
58+025.000	1.73	45.88	45.88	4.27	96.95	730.36	730.36	540.34	190.02
58+050.000	1.85	44.79	44.79	4.01	103.46	775.15	775.15	643.81	131.35
58+075.000	2.40	53.11	53.11	2.77	84.67	828.26	828.26	728.48	99.78
58+090.173	2.80	39.39	39.39	2.11	36.98	867.66	867.66	765.46	102.20
58+090.273	2.80	0.28	0.28	2.10	0.21	867.94	867.94	765.67	102.27