

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانشون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD d'un tronçon du dédoublement
de la ligne ferroviaire
Annaba - Ramdane Djamel avec la conception
de la gare de HAJAR SOUD

Présenté par :

BOUOUDEN Salah

Encadré par :

Mr GOUMETTRE Ahmed

Promotion 2019 /2020

REMERCIEMENT

Le langage de dieu est à dieu le seul et unique, à qui j'adresse mes amples remerciements de m'avoir donné le courage, la volonté et la santé d'accompli mon travail.

A vrai dire, l'espace de cette page feuille ne suffira pas à contenir tous les noms des personnes qui m'ont aidés tout au long de ma formation et ma recherche.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur Mr. GOUMETTRE AHMED, qui a bien voulu consacrer tout son temps pour me transmettre son savoir avec une bonne volonté, son soutien, son aide, ses conseils et sa bienveillance durant l'élaboration de ce mémoire.

J'adresse également ma profonde gratitude au personnel pédagogique de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics KOUBA, le Chef de département Monsieur FEDGHOUCHE, ainsi qu'à tous mes professeurs, Sans oublier tout le personnel du BET TPF et ANASRIF

Je remercie les membres de jury qui me fait l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Je remercie toute ma famille et spécialement mes parents et mes frères et sœurs pour leurs supports et leurs aides.

Enfin, j'aimerai exprimer ma gratitude envers tous ceux qui ont, de Diverses façons, de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce modeste travail.

Mercie à tous

BOUOUDEN SALAH

DEDICACE

Avant tout, je remercie ‘Dieu’ de m’avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail ; que je dédie : À mon idole et mon chère papa, à ma plus belle étoile qui puissent exister dans l’univers ; ma chère mère, celles à qui je souhaite une longue vie.

À ceux que j’aime : Mes sœurs et leurs filles et fils mes frères (les hommes) et tous leurs fils et filles.

A toute ma grande famille, qui m’a accompagnée durant ce long parcours, celle qui m’a offerte tout l’amour

À tous mes amis(es) : AKRAM, GHANI, DAMECHE, MALEK, AHMED, HOUSSEM, RIDHA, SALAH, ABDELLAH,

toute les fils de notre promo, et pour tous l’ 5eme année (BIB, DMS). A tout les étudiants de L’ ENSTP

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

ملخص

هذا المشروع يتمثل في دراسة التصميم التفصيلي لمقطع من ازدواجية خط السكة الحديدية الرابط بين مدينة عنابة وبلدية رمضان جمال وهذا بين النقطة الكيلومترية 500+00 والنقطة الكيلومترية 516+312 بطول 16 كم

صمم هذا المشروع بناء على معايير وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية (SNTF) والاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وقد تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برنامج AUTOPISTE, PISTE, COVADIS

Résumé

Ce projet vise à étudier l'avant-projet détaillée d'un tronçon du dédoublement de la ligne de chemin de fer reliant la ville d'Annaba à la commune de Ramadan Jamal, entre les points kilométriques 500+00 km et 516+312 km.

Ce projet est conçu sur la base des normes et recommandations SNTF.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les normes ainsi que les recommandations ainsi qui sont suivies par la société nationale des transports des chemins de fer (SNTF) et l'union internationale des chemins de fer (UIC). La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel :

AUTOPISTE, PISTE, COVADIS

Abstract

The purpose of this project is to study the detailed preliminary project of a section of the double track of the railway line connecting the city of Annaba to the commune of Ramadan Jamal, between the kilometric points 500 + 00 km and 516 + 312 km.

This project is designed on the basis of SNTF standards and recommendations.

The identification of the most appropriate technical characteristics of the planned railway line will be based on the standards as well as the recommendations thus which are followed by the national company of transport of the railways (SNTF) and the international union of railways (UIC). The geometric modeling of the project was carried out using the software:

AUTOPISTE, PISTE, COVADIS

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

R	Rayon de raccordement circulaire	M
Rmin	Rayon minimal	M
Lmin	Longueur minimale de l'alignement droit	M
dmax	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
I_{max}	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
E_{max}	Excès de dévers maximal	mm
dv	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition	M
dp	Dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clotoïde	M
A	Paramètre de clotoïde	M
R_{vmin}	Rayon verticale minimal	M
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers	-
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	-
R_p	Résistance de pointe	-
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
I_c	Indice de consistance	-
γ_h	Poids volumique humide	t/m ³
γ_d	Poids volumique sec	t/m
S_r	Degré de saturation	-
ω	Teneur en eau naturel	-
R_c	Résistance à la compression	Mpa
C'	Cohésion fictive du sol	Kpa
φ'	Angle de frottement fictif	°
E_S	Equivalent de sable	Cm
A	Superficie du bassin versant	Ha
Q_a	Débit d'apport	m ³ /s
Q_s	Débit de saturation	m ³ /s
DN	Diamètre nominale	m ³ /s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
I	Intensité de la pluie	mm/h
T	Période de retour de l'averse	Ans
T_c	Temps de concentration	H
S_m	Section mouillée	m ²
K_{st}	Coefficient de rugosité	-
R_h	Rayon hydraulique	M
P	Pente moyenne du bassin versant	-

SOMMAIRE

Introduction générale...	1
--------------------------	---

CHAPITRE I : LES PROPRIETES MECANQUES ET GEOMETRIQUES DU BALLAST

I.1 Introduction.....	2
I.2 LA VOIE FERREE BALLASTEE.....	2
I.3 LE BALLAST.....	3
1. Nature et origine.....	3
2. Fonctions et spécifications.....	3
3. Caractéristiques géométriques.....	5
I.4 CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES MECANIQUE DU BALLAST.....	9
1. Résistance à la fragmentation.....	9
2. Résistance à l'usure.....	10
3. Durabilité vis-à-vis la Résistance au gel/dégel.....	11
4. Coup de soleil.....	11
I.5 CONCLUSION.....	11

CHAPITRE II : Présentation du projet

II.1. Introduction	12
II.2. Description globale du projet	13
II.3. Localisation du projet	13
II.5. Objectifs du projet	15
II.6. Présentation des wilayas limitrophes au projet.....	15
II.6. 1. présentation de la wilaya d'annaba.....	15
II.6.1. 1. Démographie.....	16
II.6.1. 2. Relief.....	16
II.6.1. 3. réseau ferroviaire	16
II.6.1. 4Climat.....	17
II.6.1. 5. Sismicité.....	18
II.6. 2. Présentation de La wilaya de Skikda	19
II.6. 2.1 Démographie.....	19
II.6. 2.2 Relief.....	19

II.6. 2.3 Réseau ferroviaire	19
II.6. 2.4 Climat.....	20
II.7. Données du projet.....	20
II.8. Conclusion.....	20

CHAPITRE III : Etude géométrique

III.1 Introduction	21
III.2 Catégorie du trafic	21
III.3 Tracé en plan	22
III.3.1 les conditions à respecter dans le tracé en plan.....	22
III.3.2 Eléments de tracé en plan.....	23
III.3.3 le rayon minimal.....	24
III.3.4 les conditions de raccordement	24
III.3.5 longueur des éléments de tracé.....	25
III.3.6 le devers.....	25
III.3 .6.1. Dévers théorique	25
III.3 .6.2. le Dévers Pratique (réel)	26
III.3 .6.3 Dévers maximum.....	27
III.3 .6.4. Excès de dévers.....	27
III.3 .6.5. L'insuffisance de dévers (I).....	28
III.3.7 Raccordement progressif (RP)	29
III.3.8 Raccordement de devers	30
III.3.9 Gauche et variation de devers	30
III.3.10	
Application au projet	31
III.3.11	Calcul d
axe	32
III.4 profil en long.....	37
1. Introduction.....	37
2. Règle à respecter dans le tracé de profil en long.....	37
3. Les éléments géométriques du profil en long.....	38
4. La longueur minimale des déclivités.....	38
5. Rayon verticale admissible en raccordements de profil en long.....	38
6. Déclivité maximale.....	39
7. Coordination profil en long et tracé en plan.....	40
8. Calcul des éléments de profil en long.....	41

III.5. Profil en travers	43
1. Introduction.....	43
2. Etablissement du profil en travers type.....	43
3. Les elements du profil en travers.....	44
4. Profil type de notre projet.....	44

CHAPITRE IV : Etude géotechnique

IV.1.Introduction.....	45
IV.2. Aperçu géologique	45
IV.3. Etude géotechnique.....	46
IV.4.Unité géotechniques et classification.....	46
IV.4.1.Remblais anthropiques.....	47
IV.4.2.Quaternaire	48
IV.4.3.Substrat.....	54
IV.5. Conclusion	54

CHAPITRE V : ETUDE HYDRAULIQUES ET ASSAINISSEMENT

V.1.Introduction	55
V.2.Presentation générale	55
V.3.Caractéristiques climatique de la zone d'étude	57
V.4. Caractéristique des bassins versants	59
V.5.Etude hydraulique de la zone	61
1. Temps de concentration.....	61
2. Intensité de la pluie.....	62
3. Calcul du débit maximum par la méthode de Burkli-Ziegler.....	62
V.6.Dimensionnement des ouvrages hydrauliques.....	64
1. Critère de dimensionnement.....	64
2. Calcul de débit de saturation (Qs).....	64
3. Dimensionnements des dalots.....	65
4. Dimensionnements des buses.....	65
5. Vérification conditions d'auto curage.....	66
6. Dimensionnement des fossés.....	66
V-5-conclusion	62

CHAPITRE VI : Terrassements et assise de voie

VI.1.Introduction.....	68
VI.2.Terassements.....	68
VI.2.1. Déblais.....	68
VI.2.2. Remblais.....	69
VI.3.Couche d'assise.....	70
VI.3.1Ballast.....	70
VI.3.2.Sous couche.....	70
VI.4. Couche de forme.....	70
VI.5. Dimensionnement de la couche d'assise.....	71
VI.5. 1. la fondation de la plateforme ferroviaire.....	71
VI.5. 2. plateforme.....	71
VI.5. 3. Calculer l'épaisseur minimale de la couche d'assise.....	72
VI.6. Cubatures.....	72
VI.7. Conclusion.....	72

CHAPITRE VII : Superstructure de la voie

VII.1 INTRODUCTION.....	75
VII.2 Catégorie de la voie.....	75
VII.3 Les armements de la voie.....	76
VII.3.1 le rail.....	76
VII.3.2 Assemblage des rails.....	77
VIII.3.3 Les traverses.....	79
VIII.3.4 Les attaches.....	80
VIII.3.5 Les semelles.....	80
VIII.3.6 Les appareils de la voie.....	80

CHAPITRE VIII : Conception la gare de HDJAR SOUD

VIII.1 Introduction.....	82
VIII.2 installations d'une gare de voyageurs.....	82
VIII.3 Installations d'une gare marchandises.....	82
VIII.4 Garage franc.....	82
VIII.5 Le heurtoir.....	83
VIII.6 La longueur utile d'une voie de stationnement.....	83

VIII.7 Localisation de la gare de hdjar soud	84
VIII.8 Caractéristique géométrique de la gare	85
1. les Qais.....	86
2. La longueur utile de stationnement.....	86
3. l'entraxe entre les voies.....	86
4. Les appareils de voie et les gares francs.....	86
5. Le chariot.....	87
6. Assainissement de la gare	87
VIII.9 Conclusion	88

CHAPITRE IX : Signalisation de la voie

IX.1 Introduction.....	89
IX.2 l'objectif de la signalisation	89
IX.3 Les différents types de blocks.....	89
IX.4 Les types de signalisation	90

CHAPITRE X : Devis estimatif et quantitatif

X.1 Devis estimatif et quantitatif... ..	99
--	----

Liste des figures

Figure I.1 la voie ferre ballastée.....	2
Figure I.2 La structure d'une voie ferre ballastée	3
Figure I.3 Le ballast : le matériau (gauche), et la structure couche dans la voie(droite).....	4
Figure I.4 Fuseau granulaire du ballast utilisé par SNTF.....	4
Figure II. 1. Le grand Programme ferroviaire national	12
Figure II. 2. Vue satellitaire du tracé.....	13
Figure II.3. Vue satellitaire du secteur du tracé concerné par l'étude	14
Figure II. 4. Carte de la Wilaya de ANNABA et ses frontières	15
Figure II. 5. Zones sismiques en Algérie	18
Figure II. 6. Carte de la Wilaya de skikda et ses frontières.....	19
Figure III.1 les éléments de trace en plan.....	23
Figure III.2. Le dévers théorique.....	26
Figure III.3 . Diagrammes des flèches et courbures d'un RP	29
Figure III.3 Schéma de raccordement de dévers	30
Figure III.4 Elément de clothoïde	33
Figure III.5 la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application.....	40
Figure III.6 les éléments de profil en long	41
Figure IV.1. Cadre géologique de la zone d'étude.....	45
Figure V. 1. Situation géographique de la zone d'étude	55
Figure V. 2. PLANS DES BASSINS VERSANTS	60
Figure V. 3. : Profil d'eau dans un dalot	65
Figure V. 4 Profil d'eau dans la buse	65
Figure V. 5 type fosse trapézoïdale.....	67
Figure VI. 1 Les différentes couches de la plateforme	72
figureVII.1 nomenclature d'un rail Vignole.....	76
figureVII.2 caractéristiques géométriques de l'UIC 54	77
figureVII.3 Assemblage du rail par une éclisse	78
figureVII.4 Assemblage des rails par soudure	79
figureVII.5 traverse bibloc VAX U 31 NAG.....	79
figureVII.6 attaches Nabla	80
figureVII.7 Appareil de voie type branchement simple	81
figureVII.8 Appareil de voie type traversées simples	81
Figure VIII.1garage franc.....	83
Figure VIII.2Heurtoir	83
Figure VIII.3 longueur utile d'une voie	83
Figure VIII.4 la gare de HDJAR EL SOUD	84
Figure VIII.5 détail de caniveau de la gare	87
Figure VIII.6 Coupe transversal de la gare de HDJAR EL SOUD	88
Figure VIII.7 vue en plan de la gare.....	88
Figure IX.1. Signaux de limitations temporaires de vitesse.....	90

Liste des tableaux

Tableau I.1 Catégories pour la granularité (EN 13450:2002).....	6
Tableau I.2 Catégories pour la teneur en grains fins (EN 13450:2002).....	6
Tableau I.3 Catégories pour la teneur en fines (EN 13450:2002).....	7
Tableau I.4 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient d'aplatissement	7
Tableau I.5 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient de forme (EN 13450:2002).....	8
Tableau I.6 Catégories pour les pierres longues (EN 13450:2002).....	8
Tableau I.7 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient Los Angeles	9
Tableau I.8 Catégories pour les valeurs maximales de résistance au choc (EN 13450:2002)	10
Tableau I.9 Catégories pour les valeurs maximales de résistance à l'usure (EN 13450:2002).....	10
Tableau II.1 Évolution démographique.....	16
Tableau II.2 : Les données du projet.....	20
Tableau III.1 : limitation des longueurs minimums (SNTF ch6).	25
Tableau III.2 : limitation de Dévers maximum (SNTF ch6).	27
Tableau III.2 : limitation de l'excès Dévers (SNTF ch6).	27
Tableau III.2 : limitation de l'insuffisance Dévers (SNTF ch6).....	28
Tableau III.3 Limite de la variation de dévers dans les courbes de transition (SNTF ch6).	31
Tableau III.4 Limite de la variation d'insuffisance de dévers (SNTF ch6).....	31
Tableau III.5 Les caractéristiques du tracé.....	32
Tableau IV.5. Tableau général des essais de l'Unité QAla.....	38
Tableau III.6 Rayon verticale admissible en raccords de profil en long [SNTF ch 6]	39
Tableau IV.1. Tableau général des essais de l'Unité Rc	47
Tableau IV.2. Tableau général des essais de l'Unité Rn.....	48
Tableau IV.3. Tableau général des essais de l'Unité QElA	49
Tableau IV.4. Tableau général des essais de l'Unité QElS.....	50
Tableau IV.5. Tableau général des essais de l'Unité QAla.....	51
Tableau IV.6. Tableau général des essais de l'Unité QAlS.....	52
Tableau IV.7. Tableau général des essais de l'Unité QCa.....	53
Tableau IV.8. Tableau général des essais de l'Unité Mc	54
Tableau.V. 1. Situation des postes pluviométriques	57
Tableau.V. 2. Variabilité des pluies annuelles dans les régions d'Annaba-Skikda.....	57
Tableau. V. 3. événements remarquables: pluies journalières maximales	58
Tableau. V. 4 Températures moyennes mensuelles (en C) dans la région Annaba-Skikda	58
Tableau. V .5. Bilan évaporométrique de Station de Ain Berda (Période : 1970-2002	58
Tableau. V.6 Caractéristiques géométriques et orographiques des bassins	60
Tableau. V.7 Caractéristiques hydrographiques des bassins versants.....	61
Tableau V.8 les valeurs des paramètres de Montana	62
Tableau V.9 Intensité des pluies	62
Tableau V.10 Estimation du coefficient de ruissellement.....	63
Tableau V.11 Calcul du débit de pointe par la formule de Burkli-Ziegler.....	63
Tableau VI. 1 les classes de sol.....	71
Tableau VI. 2 Déterminer la classe la portance de la plate-forme (normes UIC719R p.34)	71
Tableau VI. 3 classifications de couche d'assise	73
Tableau VII.1 les caractéristiques de la voie.....	75
Tableau VIII.1. Les longueurs utiles des voies de la gare de HDJAR EL SOUD.....	84
Tableau VIII.2 type des appareils de voie et longueurs de garage franc.....	86
Tableau IX.1. Les principaux signaux ferroviaires et leur indication	91
Tableau X. 1. Devis estimatif et quantitatif.....	94

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport d'un pays est un facteur de classement sur l'échelle de développement économique et social. Pour assurer un bon système de transport il faut assurer de bonnes infrastructures capables de fluidifier les échanges ce qui représentent des gages de réussite supplémentaires pour le commerce international tout en offrant des solutions locales pour désenclaver certaines régions enclavées et les faire participer à l'économie nationale. Parmi ces infrastructures on distingue le chemin de fer qui est devenu aujourd'hui au-delà de l'enjeu économique, un enjeu social et écologique. Il constitue également le moyen de transport le mieux adapté pour le déplacement de gros volumes sur de longues distances.

En Algérie, n'ayant pas été une préoccupation réelle des pouvoirs publics durant les années 70,80 et 90, les infrastructures ferroviaires ont connu un grand retard dans leur développement, ce qui a augmenté les difficultés d'absorption de l'investissement et retardé la mise en synergie des différents secteurs et acteurs.

Cependant cette dernière décennie, l'infrastructure ferroviaire à bénéficié d'une importante enveloppe qui servira à la moderniser et créer des nouvelles lignes et pour cela plusieurs projets ont été prévu, parmi ces projets, on distingue, la modernisation de la rocade ferroviaire Annaba-Alger-Oran destiné à améliorer les performances du chemin de fer, lancé en **décembre 2006** dans lequel s'inscrit le projet objet de notre travail de fin d'étude.

Dans ce modeste travail nous allons faire une étude **APD** du tronçon de **lot 5** sur une longueur de 16312m. Ce tronçon s'intègre dans la ligne **Annaba_ Ramdane Djamel (Skikda)**.

Ce travail « projet de fin d'étude » s'articule autour de ces axes principaux :

- Présentation du projet et objectifs.
- Etude géométrique : tracé en plan, profil en long, profils en travers.
- Les différents éléments qui constituent la superstructure de la voie ferrée.
- Terrassements et dimensionnement de la structure on se basant sur des études géotechnique, hydrologique et hydraulique.
- Aspects général sur les ouvrages d'arts rencontrés.
- Un devis estimatifs et quantitatifs du projet.

Et pour finir une conclusion générale sur le travail effectué.

CHAPITRE I

LES PROPRIETES MECANQUES ET GEOMETRIQUES DU BALLAST

Bibliographie Chapitre I

Les propriétés et les caractéristiques mécaniques et géométriques du ballast

- [1] Une description morphologique précise des grains pour l'étude numérique des propriétés mécaniques du ballast ferroviaire -Noura Ouhbi
- [2]Jean Alias, *La voie ferrée, Techniques de construction et d'entretien*, 1984 2ème édition.
- [3]Granulats pour ballasts de voies ferrées, standard, AFNOR, France, 2003.
- [4] Association française de normalisation, AFNOR EN 13450:2002.
- [5]Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats -

I.1 INTRODUCTION

La circulation des trains entraîne des sollicitations verticales et transversales qui engendrent des déformations irréversibles : des tassements verticaux et des étalements horizontaux de la voie, ainsi que des efforts longitudinaux (freinage, accélération). Afin d'assurer la durabilité et la résistance de la voie à ces sollicitations, ses caractéristiques sont normées en termes de géométrie et de caractéristiques mécaniques.

Ce présent chapitre est une synthèse sur les caractéristiques et propriété mécaniques et géométriques du ballast, dans laquelle on va s'intéresser plus spécifiquement aux paramètres et essais qui les identifier.

I.2 LA VOIE FERREE BALLASTEE

La voie ferrée ballastée est constituée de différents composants capables de supporter divers types de sollicitations longitudinales, transversales et verticales imposées par la circulation des trains.[1]

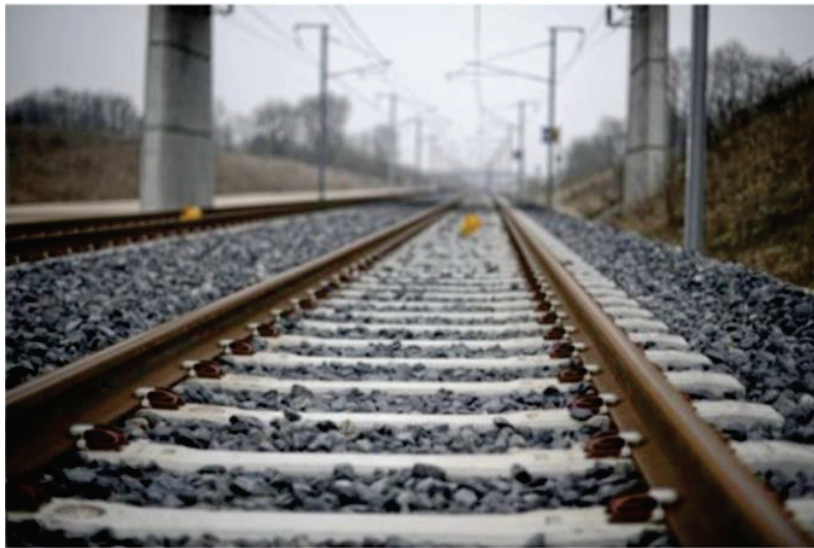


Figure I.1 la voie ferre ballastée

La structure d'une (LGV) ballastée est présentée sur la Fig. 1.2. Ses constituants peuvent être classés en deux groupes :

➤ L'armement

Il assure entre autres la transmission des efforts à la structure d'assise. Il est composé des rails, des attaches rail-traverse, des semelles sous rails et des traverses.

➤ La structure d'assise

Composée du ballast et des sous-couches sur lesquelles il repose. Sur LGV, l'épaisseur de la couche de ballast est en général de 30 cm sous les traverses.[1]

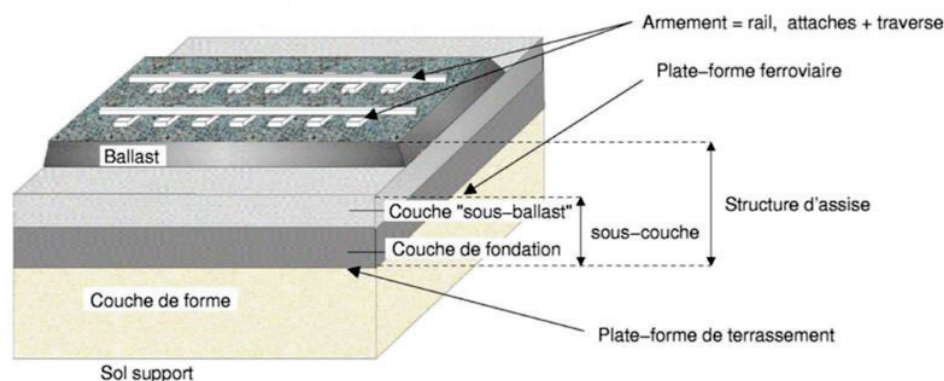


Figure I.2 La structure d'une voie ferrée ballastée

I.3 LE BALLAST

1. Nature et origine

Le ballast est un granulat 25/60 (mm) provenant du concassage de roche extraite dans des carrières de pierres dures (granit, microgranite, diorite, micro diorite, porphyre, quartzite, ophite, balaste, grès, gneiss, etc...)

Les mêmes carrières élaborent également un granulat 10/ 25 mm qui est employé pour la correction manuel du nivellement des voies comme nous le verrons ultérieurement [2]

2. Fonctions et spécifications

La couche de ballast est placée dans la partie supérieure de la structure d'assise, sous les traverses. Elle est composée d'un matériau granulaire : le ballast (Fig. 1.3). Les grains de ballast proviennent du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granit, rhyolite, diorite, grès). Le ballast constitue un élément crucial pour la voie .Il remplit plusieurs fonctions:

- ❖ La transmission et la distribution des efforts dus aux sollicitations statiques et dynamiques des circulations à la plate-forme.
- ❖ L'absorption des vibrations acoustiques et mécaniques induites par les circulations.
- ❖ L'ancrage longitudinal et latéral de la voie : la résistance au cisaillement permet de contenir les chargements longitudinaux et latéraux.
- ❖ Le drainage immédiat des eaux pluviales dans la voie.
- ❖ Une mise en place et une maintenance aisée de la voie.[1]



Figure I.3 Le ballast : le matériau (gauche), et la structure couche dans la voie (droite)

Pour répondre de façon optimale aux fonctions qui lui sont assignées, le ballast doit satisfaire des critères de qualité définis dans la norme européenne NF EN 13450 (Août 2003) [3]. Ces critères portent sur 3 aspects :

- ❖ Granulométrie : le diamètre des grains de ballast (dimension maximale des grains lors du tamisage) varie entre 25 et 61.5 mm. Sur les lignes ferroviaires françaises actuelles, le fuseau de refus du ballast employé est représenté sur la Fig. 1.4.

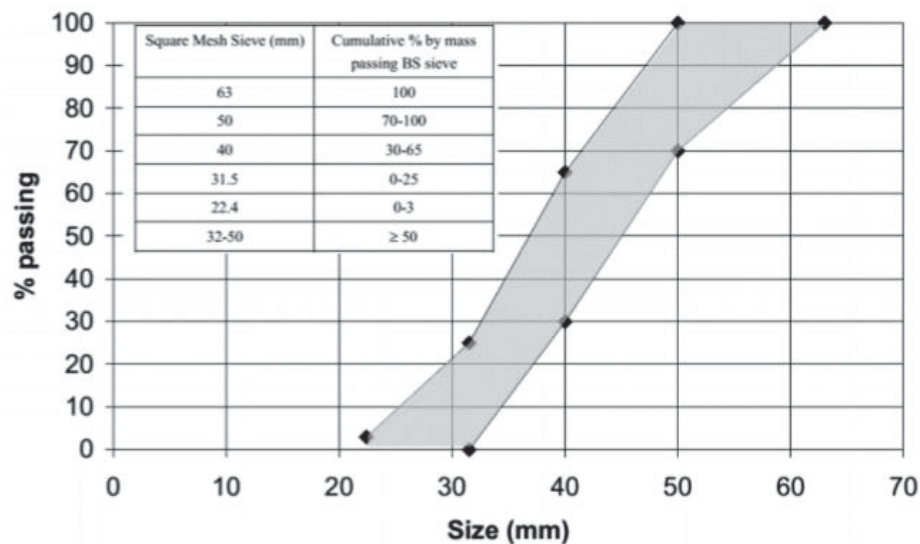


Figure I.4 Fuseau granulaire du ballast utilisé par SNTF

❖ Dureté

Le niveau de dureté du matériau ballast est évalué grâce au coefficient de dureté globale (DRG). Afin de calculer ce coefficient, deux tests sont utilisés : l'essai au Micro-Deval , effectué à l'état humide et caractérisant la résistance à l'attrition, et l'essai Los-Angeles qui caractérise la fragilité aux chocs. La valeur du DRG exigée varie en fonction du trafic et de la nature des traverses.

❖ Forme

Les grains de ballast sont de forme polyédrique et possèdent des arêtes vives qui sont une caractéristique d'une angularité élevée et permettent d'assurer une bonne résistance au cisaillement.

L'angularité, n'étant pour l'instant définie qu'intuitivement par l'apparence. D'une autre part, les grains allongés nuisent à la stabilité de la couche compactée, car ils sont susceptibles de se rompre et donc de perturber la stabilité du ballast : les aiguilles et les éléments plats ne doivent pas dépasser 92 mm. Le pourcentage en masse d'aiguilles ne doit pas dépasser 7%. Les éléments plats sont caractérisés par un coefficient d'aplatissement global qui représente le pourcentage total en masse de passant à l'ensemble des grilles et ne doit pas dépasser 12% [3].

Sur la voie, l'homogénéité du ballast est définie par la proportion d'éléments friables (se dégradant facilement en poudre) ou altérés qui ne doit pas dépasser 3%. Enfin, pour un fonctionnement optimal, les grains de ballast doivent être expurgés du sable, de la terre, des poussières, des débris et des fines pour ne pas influencer la rugosité et le frottement entre grains qui sont à l'origine de la résistance macroscopique. La masse relative des éléments passant au tamis de 1.6 mm doit être inférieure à 0.5%.

3. Caractéristiques géométriques

a) Classe granulaire du ballast de voie ferrée

La classe du ballast de voie ferrée doit être désignée par deux dimensions de tamis en millimètre, d correspondant au plus petit tamis et D, au plus grand, ces dimensions représentant l'intervalle dans lequel se situe la majeure partie de la granularité. Pour les ballasts de voies ferrées, $D = 50$ mm ou 63 mm et $d = 31,5$ mm.

b) Granularité

La granularité du ballast de voie ferrée, déterminée conformément à l'EN 933-1, doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 1.

Tableau I.1 Catégories pour la granularité (EN 13450:2002)

Maille de tamis mm	Ballast de voie ferrée 31,5 mm / 50 mm			Ballast de voie ferrée 31,5 mm / 63 mm		
	Pourcentage en masse de passant					
	Catégorie de granularité					
	A	B	C	D	E	F
80	100	100	100	100	100	100
63	100	97 à 100	95 à 100	97 à 99	95 à 99	93 à 99
50	70 à 99	70 à 99	70 à 99	65 à 99	55 à 99	45 à 70
40	30 à 65	30 à 70	25 à 75	30 à 65	25 à 75	15 à 40
31,5	1 à 25	1 à 25	1 à 25	1 à 25	1 à 25	0 à 7
22,4	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 7
31,5 à 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	—	—	—
31,5 à 63	—	—	—	≥ 50	≥ 50	≥ 85
NOTE 1 L'exigence pour le passant au tamis de 22,4 mm s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de production.						
NOTE 2 Dans certains cas, il est permis d'utiliser un tamis de 25 mm au lieu du tamis de 22,4 mm si une tolérance de 0 à 5 s'applique (0 à 7 pour la catégorie F).						

c) Grains fins

La teneur en grains fins déterminée par tamisage conformément à l'EN 933-1 doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 2.

Tableau I.2 Catégories pour la teneur en grains fins (EN 13450:2002)

Maille de tamis Mm	Pourcentage maximal passant en masse			
	Catégorie de teneur en grains fins			
	A	B	Déclarée	C
0,5	0,6	1,0	> 1,0	Aucune exigence
NOTE L'exigence s'applique au ballast de voie ferrée échantillonné sur le lieu de production.				

d) Fines

La teneur en fines déterminée conformément à l'EN 933-1 doit être conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 3.

La propreté doit être évaluée à partir de la teneur en fines. Les fines doivent être considérées comme non nocives si leur teneur totale est inférieure à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 3 conformément à la réglementation en vigueur sur le lieu d'utilisation du granulat.[4]

Tableau I.3 Catégories pour la teneur en fines (EN 13450:2002)

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

e) Coefficient d'aplatissement

La forme du ballast de voie ferrée doit être déterminée par le coefficient d'aplatissement, défini dans l'EN 933-3. Ce coefficient doit être l'essai de référence pour la détermination de la forme du ballast de voie ferrée. Il doit être exprimé par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 4.

Tableau I.4 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient d'aplatissement (EN 13450:2002)

Coefficient d'aplatissement	Catégorie <i>FI</i>
≤ 15	<i>FI</i> ₁₅
≤ 20	<i>FI</i> ₂₀
≤ 35	<i>FI</i> ₃₅
> 35	<i>FI</i> _{Déclaré}
Aucune exigence	<i>FI</i> _{NR}

f) Coefficient de forme

Le coefficient de forme, déterminé conformément à l'EN 933-4, doit être exprimé par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 5.[4]

Tableau I.5 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient de forme (EN 13450:2002)

Coefficient de forme	Catégorie SI
≤ 10	SI_{10}
≤ 20	SI_{20}
≤ 30	SI_{30}
5 à 30	$SI_{5/30}$
> 30	$SI_{Déclaré}$
Aucune exigence	SI_{NR}

g) Pierres longues

La longueur des pierres doit être évaluée par mesure avec une jauge ou un pied à coulisse approprié.

NOTE : Il convient de sélectionner les limites dans la classe spécifiée jusqu'à ce qu'il y ait davantage de données disponibles sur la relation entre les caractéristiques des granulats et leurs performances d'utilisation.

Le pourcentage de pierres longues doit être exprimé par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 6.

Tableau I.6 Catégories pour les pierres longues (EN 13450:2002)

Pourcentage (en masse) de pierres de longueur ≥ 100 mm dans un échantillon de poids supérieur à 40 kg					
Catégorie de pierres longues					
A	B	C	D	Déclarée	E
4	6	8	12	> 12	Aucune exigence

I.4 CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES MECANIQUE DU BALLAST

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont déterminées par des essais tentant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple le degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers. La nécessité de procéder aux essais et de déclarer toutes les caractéristiques spécifiées dans le présent article doit varier en fonction de l'emploi ou de l'origine des granulats. Le cas échéant, les essais spécifiés doivent être réalisés pour déterminer les caractéristiques appropriées.[5]

1. Résistance à la fragmentation

C'est La résistance combinée aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d'un granulat. Cette définition s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des voies ferrées et chaussées et bétons hydrauliques.

La résistance à la fragmentation du ballast de voie ferrée est déterminé à partir de l'essai de los Angeles (coefficient Los Angeles, LA_{RB} , utilisant les conditions spécifiées en Annexe C de EN 13450:2002), déterminée conformément à l'Article 5 de l'EN 1097-2:1998, doit être déclarée conforme à la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 7. La méthode d'essai Los Angeles doit être l'essai de référence pour la détermination de la résistance à la fragmentation du ballast de voie ferrée. [4]

Tableau I.7 Catégories pour les valeurs maximales du coefficient Los Angeles (EN 13450:2002)

Coefficient Los Angeles	Catégorie LA_{RB}
≤ 12	$LA_{RB} 12$
≤ 14	$LA_{RB} 14$
≤ 16	$LA_{RB} 16$
≤ 20	$LA_{RB} 20$
≤ 24	$LA_{RB} 24$
> 24	LA_{RB} Déclaré
Aucune exigence	$LA_{RB} NR$

$$\text{Avec } LA = \frac{5000 - m}{50} \quad \text{et} \quad LA_{RB} = (10000 - m)/100$$

Et **m** La masse de l'échantillon transmis au laboratoire doit comporter au moins 15 kg de grains dans la classe granulaire de 31,5 mm à 50 mm.

La résistance au choc du ballast de voie ferrée (SZ_{RB} , utilisant les conditions spécifiées en Annexe D de EN 13450:2002), déterminée conformément à l'Article 6 de l'EN 1097-2:1998, doit être exprimée par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 8.

Tableau I.8 Catégories pour les valeurs maximales de résistance au choc (EN 13450:2002)

Résistance au choc %	Catégorie SZ_{RB}
≤ 14	$SZ_{RB} 14$
≤ 18	$SZ_{RB} 18$
≤ 22	$SZ_{RB} 22$
> 22	SZ_{RB} Déclarée
Aucune exigence	$SZ_{RB} NR$

2. Résistance à l'usure

Dans la science des matériaux, l'usure des surfaces désigne le phénomène de dégradation des couches superficielles d'un solide sous l'action mécanique du milieu extérieur. Cette dégradation est souvent associée aux phénomènes mécaniques dus à la sollicitation, elle peut prendre la forme d'une perte de masse, de cote, de forme, ou encore d'une modification de la structure.

La résistance à l'usure du ballast de voie ferrée est déterminé à partir de l'essai micro-Deval (coefficient micro-Deval $M_{DE}RB$, utilisant les conditions spécifiées en Annexe E de EN 13450:2002), déterminée conformément à l'EN 1097-1, doit être exprimée par la catégorie correspondante spécifiée dans le Tableau 9.

Tableau I.9 Catégories pour les valeurs maximales de résistance à l'usure (EN 13450:2002)

Coefficient micro-Deval	Catégorie $M_{DE}RB$
≤ 5	$M_{DE}RB 5$
≤ 7	$M_{DE}RB 7$
≤ 11	$M_{DE}RB 11$
≤ 15	$M_{DE}RB 15$
> 15	$M_{DE}RB$ Déclarée
Aucune exigence	$M_{DE}RB NR$

$$\text{Avec } M_{DE} = \frac{500-m}{5} \quad \text{et} \quad M_{DE}RB = \frac{10000-m}{100}$$

Et m est La masse de l'échantillon transmis au laboratoire doit comporter au moins 25 kg de grains dans la classe granulaire de 31,5 mm à 50 mm.

3. Durabilité vis-à-vis la Résistance au gel/dégel

Les régions avec un climat de type chaud humide et froid sec sont les plus problématiques pour les granulats lorsqu'il y a présence d'eau. Dans les climats de type froid-sec, les granulats sont soumis à de grandes variations de température en fonction des saisons. Lorsque les températures se retrouvent sous le point de congélation, l'eau présente dans les vides d'un granulat gèle et prend de l'expansion. Au Québec, le nombre de cycles de gel-dégel que peut subir un granulat lors d'un hiver type varie entre 22 et 77. L'exposition aux cycles de gel-dégel répétés est l'une des principales sources d'endommagement des granulats à des climats froids tels que le Canada. L'effet des cycles de gel-dégel se traduit par une augmentation de la teneur en vides du granulat. Cela a pour conséquence de faciliter encore plus la pénétration de l'eau dans les vides. [5]

La durabilité du ballast de voie ferrée définie par la résistance au gel/dégel doit être évaluée par un essai au gel/dégel conforme à l'EN 1367-1, utilisant les conditions spécifiées en Annexe F, ou un essai de résistance au sulfate de magnésium conforme à l'EN 1367-2, utilisant les conditions spécifiées en Annexe G de EN 13450:2002. Les résultats doivent ensuite être déclarés.

NOTE : On dispose d'une expérience limitée dans l'utilisation de ces essais pour l'évaluation de la durabilité du ballast de voie ferrée. Des conseils sur l'applicabilité des méthodes d'essai et l'utilisation possible du coefficient d'absorption d'eau comme essai crible sont donnés en Annexe H de EN 13450:2002. [4]

4. Coup de soleil

Le «coup de soleil» est un type de dégradation de roches qui peut être présent dans certains basaltes et qui se manifeste sous l'influence de certaines conditions atmosphériques. Cela commence par l'apparition de taches gris/blanc. Généralement, des fissures très fines rayonnent à partir de ces taches et les relient toutes ensemble. La structure minérale perd alors de sa résistance et la roche se dégrade en petites particules. En fonction de la source, ce phénomène peut se produire quelques mois après l'extraction ou s'étendre sur plusieurs décennies. Dans de très rares cas, une dégradation rapide aboutit à la formation de larges fissures et à la rupture des grains. Si une carrière de basalte ou d'autres roches similaires présente des signes de «coups de soleil», des essais qualitatifs doivent être menés conformément à l'EN 1367-3, et les résultats déclarés. [4]

I.5 CONCLUSION

Le ballast est la couche granulaire, formée de grains rocheux irréguliers de taille centimétrique, qui supporte la voie ferrée par l'intermédiaire des traverses. Son rôle est crucial dans la transmission des efforts statiques et dynamiques imposés par la circulation des trains vers le sol supportant la voie. Pour supporter l'action mécanique du milieu extérieur il faut avoir certaines caractéristiques géométriques et mécaniques pour assurer un bon comportement mécanique pour but d'assurer un bon confort et sécurité du train. C'est l'objectif de cette chapitre de déterminer ces caractéristiques.

CHAPITRE II :

Présentation du projet

II.1.INTRODUCTION

L'Algérie se dote de plusieurs nouvelles lignes ferroviaires. Un peu partout, des projets sont en cours de réalisation. Autres en études.

Au total, 2294 kilomètres de **chemins de fer** sont actuellement en **chantier** dans le cadre du programme de densification et de modernisation du réseau lancé par L'Agence Nationale d'Étude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) . Certains sont déjà achevés, ou presque. D'autres sont en phase d'études.

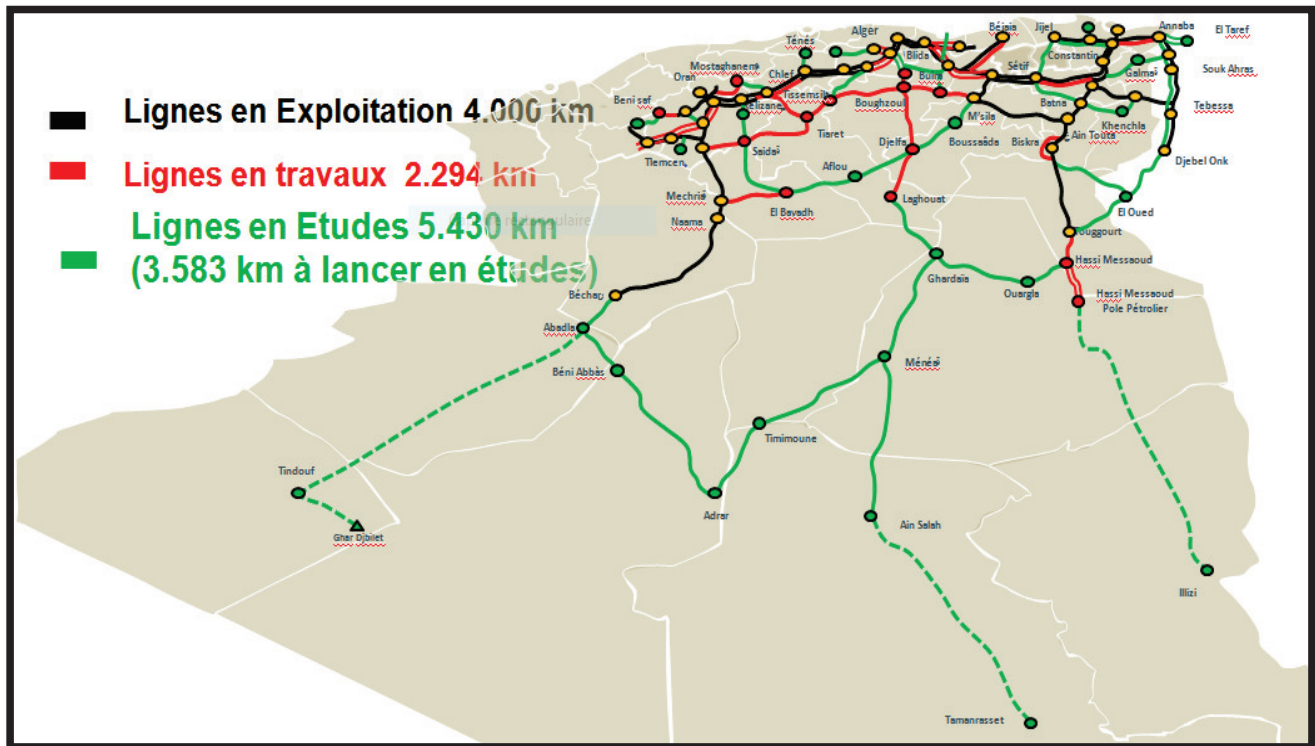


Figure II. 1. Le grand Programme ferroviaire national

L'état Algérien a lancé un vaste programme de développement des transports ferroviaires, ce dernier est inscrit au plan quinquennal du secteur. L'une des missions principales de l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) est de restructurer le réseau ferroviaire national en modernisant la rocade ferroviaire Est-Ouest (Oran-Alger-Annaba) et la rocade ferroviaire des Hauts Plateaux, Ce plan de développement intègre la mise à double voie de la ligne ferroviaire, reliant la ville d'**Annaba** à celle de **Ramdane Djamel (Skikda)**

II.2. DESCRIPTION GLOBALE DU PROJET

Le projet relatif à la mise à double voie de la ligne ferroviaire, reliant la ville d'**Annaba** à celle de **Ramdane Djamel (Skikda)**, entre dans le programme de modernisation de la rocade ferroviaire Annaba-Alger-Oran, destiné à améliorer les performances du chemin de fer, lancé en **décembre 2006**.

Ce projet, inscrit au titre du programme complémentaire de soutien à la croissance **2005-2009**, permettra « une homogénéisation de la vitesse des trains pouvant atteindre les **160km /h** et une garantie de la sécurité et de la régularité du trafic mixte voyageurs-marchandises ». Cette infrastructure, dont la réalisation a été confiée aux entreprises OHL (Espagne) et INFRARAIL (Algérie), comporte **19 ouvrages d'art, 5 gares, 2 tunnels** d'une longueur totale de plus de **92,3 Km**, l'exécution de ce projet, qui sera achevé en **2009**.

II.3. LOCALISATION DU PROJET

Le PK 0+000 origine de la ligne ferroviaire se trouve à la ville de Annaba , elle traverse la wilaya de ANNABA par quatre (3) communes(Annaba-Oued Zied -Berrahal), ensuite la wilaya de SKIKDA où elle la traverse par quatre (3) communes aussi(AZZABA,HDJAR SOUD,ET RAMDAN DJAMEL)



Figure II. 2. Vue satellitaire du tracé

Mon projet concerné par étude APD est le tronçon situé dans la ville de ANNABA et celle de SIKKIDA , Le lot 5 correspond, approximativement, au tracé situé entre les 34+300 et 51+140 de l'Avant-Projet Détaillé. Néanmoins, le tracé du projet finalement adopté est adapté à ce dernier presque dans sa totalité, avec de légères variations en plan. Sa longueur est de 16312 m, compris entre le P.K. 500+000 et le 516+312. Comme la montre la figure ci-dessous.

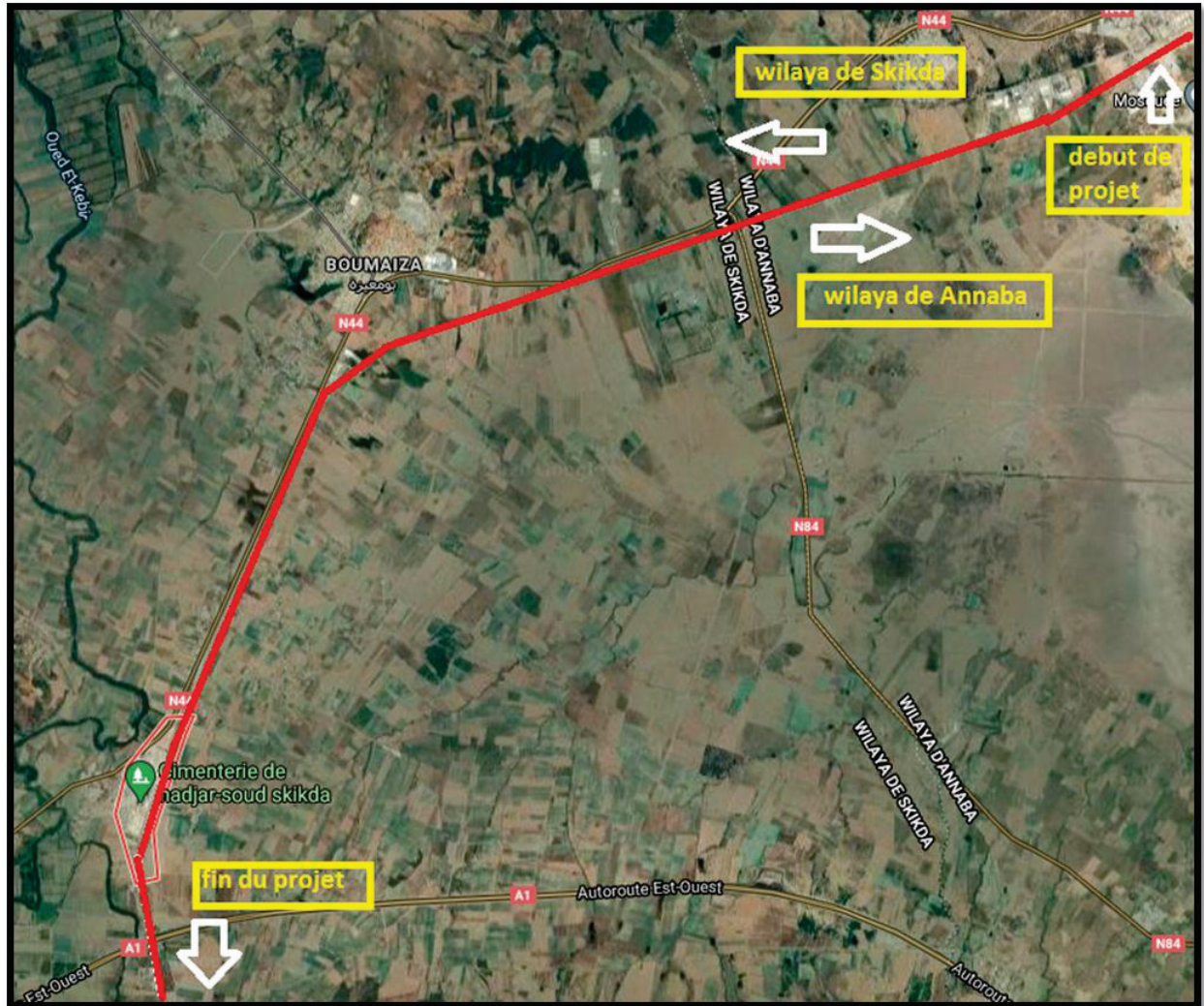


Figure II.3. Vue satellitaire du secteur du tracé concerné par l'étude

Le but de cette étude est la recherche d'un tracé économique et optimisé qui répond aux objectifs économiques et aux besoins sociaux de la région et du pays, de plus, elle doit répondre aux critères et aux normes internationales des chemins de fer.

II.5. OBJECTIFS DU PROJET

- Une ligne ferroviaire à double voie
- Un haut degré de performance
- De meilleures conditions d'exploitation
- Une vitesse significativement augmentée
- Un temps de parcours réduit entre Annaba et ramadan Djamel
- Un transport ferroviaire plus compétitif
- Un meilleur niveau de sécurité
- Un profil adapté à l'électrification.

II.6. PRESENTATION DES WILAYAS LIMITROPHES AU PROJET

II.6. 1. PRESENTATION DE LA WILAYA DE ANNABA

La wilaya est située à **600 km** de la capitale Alger, à l'extrême Est du pays, ouverte sur le littoral méditerranéen sur **80 km**. Elle s'étend sur 1439 km² soit **0,06 %** du territoire national.

ANNABA a des frontières communes avec d'importantes Wilayas d'Algérie.

Elle est délimitée :

- Au Nord par la Mer Méditerranée.
- A l'Est par la Wilaya d'El –Tarf.
- A l'Ouest par la Wilaya de Skikda.
- Au Sud par la Wilaya de Guelma..



Figure II. 4. Carte de la Wilaya de ANNABA et ses frontières

II.6.1.1.Démographie

En 2008, la population de la wilaya d'Annaba était de 609 499 habitants contre 453 951 en 1987. 4 communes dépassaient alors la barre des 30 000 habitants:

Tableau II.1 Évolution démographique

Évolution démographique		
1987	1998	2008
453 951	555 485	609 499

II.6.1.2.Relief

Annaba se caractérise par un relief constitué de montagnes, de collines et de plaines.

Les montagnes représentent 52,16 % du territoire de la Wilaya soit, une superficie de 736 km². Elles se distinguent par le massif de l'Edough dont le point dominant se situe au mont "Bouzizi" avec 1.100 m d'altitude.

Les collines et les piémonts, occupent 25,82 % de la superficie totale, soit 365 km². Les plaines représentent 18,08 % du territoire soit 255 km², et sont constituées essentiellement par la plaine de Kherraza. Le reste du relief est constitué de plateaux, et autres, représentant 3,94 % de la superficie, soit 56 km².

II.6.1.3 RESEAU FERROVIAIRE

Le réseau ferroviaire sur le territoire de la wilaya d'Annaba porte sur une longueur totale de 50 km dont 12 km en double voie (Annaba-El Hadjar), assurant le raccordement de la wilaya au réseau national. Il dispose en outre d'une ligne électrifiée de 30 km de linéaires reliant Annaba au gisement de Djebel - Onk (Wilaya de Tébessa) et utilisée essentiellement pour le transport du minerai.

La répartition, par axes, du réseau de chemin de fer à l'intérieur de la wilaya s'établit comme suit :

- Nord - Sud : Annaba - El Hadjar vers Tébessa sur 12 km.
- Est - Ouest : Annaba - Oued Zied - Berrahal vers Constantine sur 32 km.
- Une ligne interne reliant El Hadjar , Sidi Amar, Oued Zied sur 18 km , ainsi qu'une douzaine de branchements particuliers totalisant une longueur de 36 km.

L'exploitation de ces infrastructures est assurée par 08 gares ferroviaires, à savoir :

- Une (01) gare principale de voyageurs.
- Une (01) gare principale de transport de marchandises (3ème classe).

- Une (01) gare de transport (5ème classe) à El Hadjar (complexe sidérurgique).
- Une (01) gare de transport (4ème classe) à El Hadjar (ville)
- Quatre (04) gares (6ème classe) à Annaba, Oued Zied , Berrahal et Sidi Amar.

II.6.1.4.Climat

Le climat de la Wilaya est du type méditerranéen, humide en Hiver, chaud en été et la pluviométrie varie entre 650 et 1000 mm/an, la température moyenne varie entre 14° et 34°.

La Wilaya de Annaba dispose aussi d'un réseau hydrographique assez dense, constitué du lac Fetzara (eau douce) qui s'étend sur 18670 ha et de l'Oued Seybouse d'une longueur de 127,5 km.

Dans la région d'Annaba-Skikda, la pluviométrie moyenne annuelle, inégalement répartie au cours d'une même année et d'une année à l'autre ($CV > 20\%$ pour la plupart des stations), suit un gradient altimétrique sensiblement croissant (Annaba-Les Salines: 666 mm à la côte 3m et Seraïdi : 1145 mm à la côte 840 m). Plus de 50 % du cumul pluviométrique annuel est enregistré pendant la période relativement pluvieuse (Décembre-Mars); les mois d'été (Juin-Août) cumulent un peu moins de 5 % des pluies annuelles. Pendant les années fortement excédentaires la pluviométrie atteint les 1000 mm au niveau de la plupart des stations étudiées et dépasse les 1500 mm dans la station de Séraïdi (voir tableau ci-dessous). Le coefficient de variation, quelque peu modéré à l'échelle annuelle (25 % en moyenne pour l'ensemble des stations), est extrêmement élevé à l'échelle mensuelle. La variabilité est trop importante pendant la période sèche, notamment aux mois de Juin, Juillet et Août ($117 \leq CV \leq 200\%$). L'éloignement de la mer, l'orographie et l'exposition des versants sont à l'origine des disparités pluviométriques dans la zone d'étude.

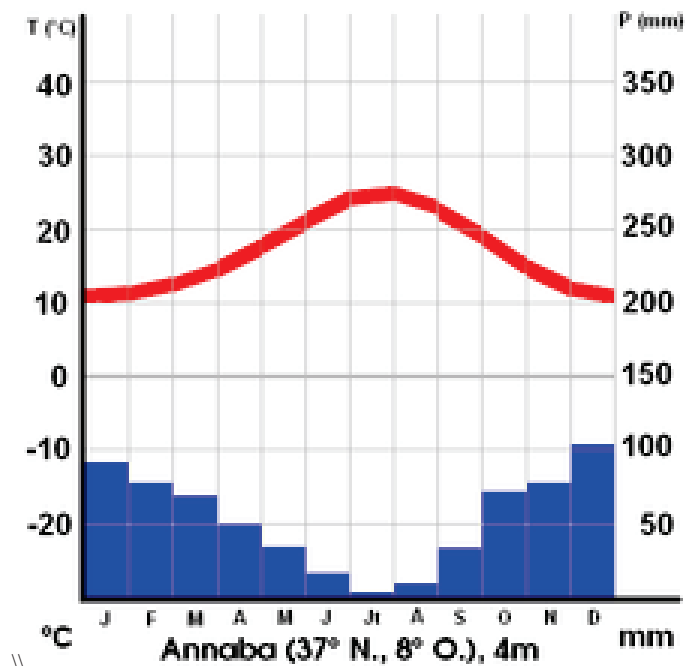


Figure : variation annuelle de température d'Annaba

II.6.1.5.Sismicité

Les cartes sismiques et les analyses tectoniques qui ont été faits montrent une échelle qui allant de sismicité négligeable jusqu'à sismicité très élevée selon des zones sismiques tel que :

- Zone 0 : sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone II a : sismicité moyenne.
- Zone II b : sismicité élevée.
- Zone III : sismicité très élevée.

D'après le Règlement Parasismique Algérien « RPA 99 / version 2003 », la wilaya de **ANNABA** ET DE **SKIKDA** appartient à une zone sismique « **II a** », car le coefficient d'accélération correspondant à cette zone sismique et de groupe de protection sismique est de 0,2. Pourtant l'accélération nominal qui caractérise l'action sismique à prendre en compte dans le calcul comment propose est 2 m/s^2

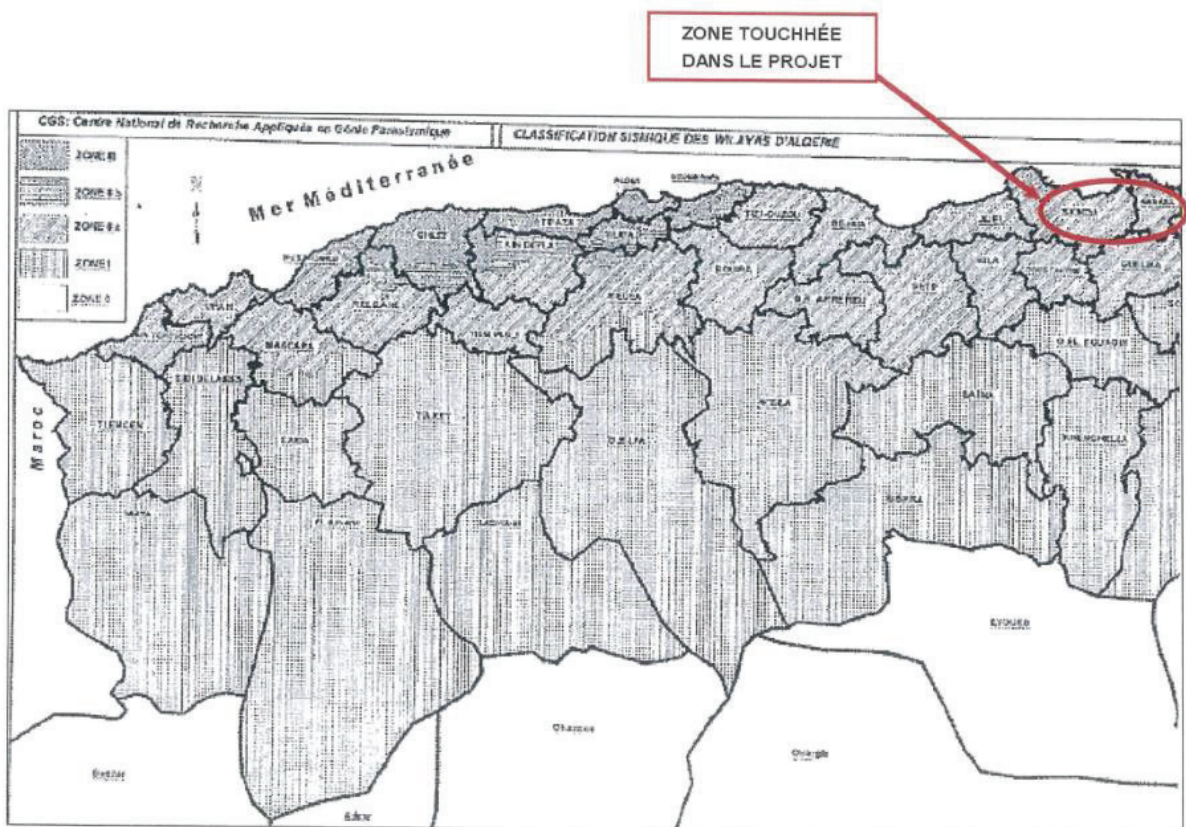


Figure II. 5. Zones sismiques en Algérie [24]

II.6.2. Présentation de La wilaya de Skikda

La wilaya de Skikda s'étend sur une superficie de 4 118 km², se situe dans la partie Nord-est du pays, dans l'espace géographique compris entre l'Atlas Tellien et le littoral méditerranéen. Elle dispose de 140km de côtes qui s'étalent de la Marsa à l'est jusqu'à Oued Z'hour aux fins fonds du massif de Collo à l'ouest. Elle est limitrophe avec les Wilayates de Annaba, Guelma, Constantine et Jijel. La Wilaya de Skikda est limitée au:

- Nord par la mer méditerranée ;
- A l'Ouest par la wilaya de Jijel ;
- Au sud par les Wilayas de Constantine, De Mila et de Guelma ;
- A l'Est par la Wilaya d'Annaba



Figure II. 6. Carte de la Wilaya de skikda et ses frontières

II.6.2.1.Démographie

La population totale de la wilaya de Skikda est de 936824 habitants, soit une densité de 220 habitants par Km².

II.6.2.2.Relief

Le relief de la wilaya de Skikda est très accidenté sur la frange littorale est, dans les massifs de Collo, Azzaba et la Marsa. Dans ce relief on distingue trois types de zones topographiques: les zones de montagnes, les zones de plaines et les zones de piémonts.

II.6.2.3 Réseau ferroviaire

- Long de 180 km dont 140 km en voie unique ;
- Treize (13) gares, deux (02) stations et cinq (05) haltes ;

- Skikda est reliée par voie ferrée aux wilayas d'Annaba, Constantine et Jijel et à la ligne Annaba - Oran avec le centre de triage de Ramdane Djamel ;
- Elle dispose d'un réseau de voie ferrée intra portuaire de 5 930 mètres linéaires ;

II.6.2.4.Climat

La Wilaya appartient aux domaines bioclimatiques humides et subhumides.

Il est à variante douce et tempérée au niveau du littoral et froid à l'intérieur. L'étage humide couvre la zone occidentale montagneuse ainsi que les sommets à l'Est et au Sud.

Le domaine subhumide prévaut sur les 4/5ème du territoire de la wilaya avec une pluviométrie comprise entre 1000 et 1500 mm/an. Sous l'influence maritime. Les températures sont douces en hiver (11°C en Janvier) et chaude en été (24°C en Août) sur le littoral, où les amplitudes thermiques sont faibles. Elles sont moins douces en hiver (9°C) et plus chaudes en été (27°C) au niveau du territoire intérieur où les amplitudes sont plus marquées.

II.7. DONNEES DU PROJET

Tableau II.2 : Les données du projet.

Type de plate-forme	Double voie
Vitesse des trains voyageurs	160 km/h
Vitesse des trains marchandises	80 km/h
Écartement standard	1 435 mm
Charge à l'essieu	20 tonnes
Rayon Minimum	1 200 m
Déclivité Maximale	15 pour mille
Type de rail	UIC 54 B en barres de 18 m
Type d'Attache	Attache élastique a lame de type nabla
Type de Traverses	BI-BLOC VAX-U31
Ballast	30 /60
Entraxe	5 m

II.8.CONCLUSION

On peut conclure que La politique de l'Algérie est un peu en retard en ce qui concerne le développement des chemins de fer. Il est plus que nécessaire, pour le développement et l'amélioration des conditions de l'investissement ainsi que pour le commerce et l'augmentation des échanges entre les différentes régions dans le pays, de favoriser ce secteur.

CHAPITRE III :

Etude géométrique

III.1 INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un roulement parfait et sécurisé des véhicules, il est donc indispensable de rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface.

L'étude géométrique de notre projet se résume dans trois étapes :

- ✓ Le tracé en plan
- ✓ le profil en long
- ✓ le profil en travers

III.2 CATEGORIE DU TRAFIC

On distingue les catégories de trafic suivantes :

- ❖ **I** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs de 80 km/h à 120 km/h maximum.
- ❖ **IIa** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 120 km/h et jusqu'à 160 km/h maximum
- ❖ **IIb** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures à 160 km/h et jusqu'à 200 km/h maximum
- ❖ **III** lignes à trafic mixte, conçu pour une vitesse des trains de voyageurs supérieure à 200 km/h et jusqu'à 300 km/h maximum.
- ❖ **IV** lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieures jusqu'à 230 km/h (ou 250 km/h sur ligne aménagée) avec des véhicules présentant des caractéristiques techniques spéciales de conception (faible masse par essieu, faible coefficient de souplesse, etc.).
- ❖ **V** lignes spécialement dédiées aux trafics voyageurs avec des vitesses comprises entre 250 km/h et 300 km/h.

Dans ce projet la ligne est une ligne à trafic mixte, avec une vitesse des trains de voyageurs maximale égale à 160km/h, donc la catégorie du trafic est : **catégorie IIa** [5].

III.3 TRACE EN PLAN

Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal, se composera de la succession judicieuse des éléments suivants : alignement droit, pleine courbe et courbe de transition. Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité. Sans omettre que dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques.

- V_R : vitesse des trains rapides (voyageurs), $V_R=160\text{km/h}$
- V_L : vitesse des trains lents (marchandises), $V_L=80\text{km/h}$

III.3.1 LES CONDITIONS A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN

Les normes exigées et utilisées dans l'étude du projet sont résumées dans les fiches UIC, Il faut respecter ces normes dans la conception et dans la réalisation. Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Comme c'est une étude d'amélioration de la ligne, on doit se raccorder au réseau existant et ne pas sortir du couloir choisi.
- Utiliser le maximum d'alignements droit et entre deux courbes la longueur minimale est de $0.5 V$ (km/h)
- Le rayon minimum recommandé par la SNTF est de 1400m
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien des les endroits les plus étroits
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.
- Eviter les problèmes de talus :
 - **Talus en déblai** : évité :
 - ✓ Présence de nappe
 - ✓ Terrains plastiques
 - ✓ Présence de roches fissurées
 - **Talus en remblai** : éviter :
 - ✓ Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai)
 - ✓ Sol très compressible

III.3.2 ELEMENTS DE TRACE EN PLAN

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

a) L'alignement ($R=\infty$) :

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

b) L'arc de cercle ($R=\text{constant}$)

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au raccordement circulaire. Vu le poids important, donc pour la diminuer, le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

c) La courbe de raccordement :

La géométrie des voies ferrées doit permettre une transition progressive (sans chocs) entre des éléments de tracé présentant des accélérations transversales différentes et éviter un accroissement subit de celles-ci à l'entrée d'une courbe. C'est la raison pour laquelle le passage d'un rayon de courbe, de dimension finie ou infinie, à un autre doit être progressif. Ceci est obtenu par l'introduction d'une courbe de raccordement. Ces éléments liés aux rampes de dévers sont des contraintes importantes dans l'élaboration d'un tracé.

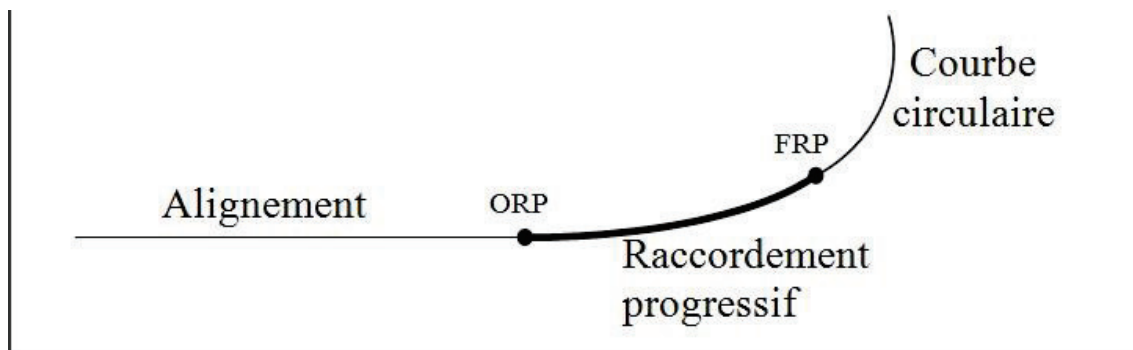


Figure III.1 les éléments de trace en plan

Avec L'origine du raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP côté alignement. La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP côté pleine courbe.

III.3.2 Le rayon minimal en plan

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants.

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

Le rayon minimum de la courbe devra être déterminé comme suit:

- Pour la vitesse minimale de circulation des trains (trains lents), l'excès de dévers E devra être inférieur à la valeur maximum admissible.
- Pour la vitesse maximale de circulation des trains (trains rapides), l'insuffisance de dévers I devra être inférieure à la valeur maximale admissible.

Donc le rayon minimum doit se traduire par l'équation suivante (UIC 703)[7]:

$$\frac{11.8 \times V_L^2}{D_{\max} - E_{\max}} \leq R_{\min} \leq \frac{11.8 \times V_R^2}{D_{\max} + I_{\max}}$$

III.3.3 Les conditions de raccordement

i. 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

ii. Condition du confort optique :

C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

iii. Condition du confort dynamique :

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

III.3.4 Longueur des éléments du tracé

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)(SNTF CH 6)[6]:

Tableau III.1 : limitation des longueurs minimums (SNTF ch6).

Valeur limite normale	$V/2 = 80 \text{ m}$
Valeur limite exceptionnelle	$V/3 = 53.3 \text{ m}$

Avec $v = 160 \text{ km/h}$

III.3.5 Le Devers

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

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

III.3.5 .1 Dévers théorique

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.

Dans une courbe de rayon R , la force F vaut : $F = mV^2/R$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f}{p} = \frac{v^2}{r.g}$$

On a : $d = e.\sin \alpha$ (est petit α $\sin \alpha \sim \operatorname{tg} \alpha$)

III.3.5 .3 Dévers maximum

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

Tableau III.2 : limitation de Dévers maximum (SNTF ch6).

Valeur maximale du dévers	160mm
----------------------------------	--------------

III.3.5 .4 Excès de dévers

Pour une voie mixte lorsque le train le plus lent, le dévers théorique qui assure l'équilibre de train marchandise est inférieur aux dévers pratique, ces trains sont soumis à une force centripète non compensée, donc la résultante [R] des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe pour le calcul cet excès de dévers :

$$E = d_p - d_m \quad \text{avec} \quad d_m = 11.8 * \frac{v^2}{R}$$

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes. Les valeurs maximales admissibles sont les suivantes :

Tableau III.2 : limitation de l'excès Dévers (SNTF ch6).

Valeur maximale normale	110mm
Valeur maximale exceptionnelle	130mm

III.3.5 .5 L'insuffisance de dévers (I)

La différence entre le devers théorique et le devers pratique représenté par l'insuffisance de devers :

$$I = d_v - d_p = 11.8 * \frac{v^2}{R} - d_p$$

La circulation d'un véhicule avec insuffisance de devers se traduit par l'apparition de forces transversales, résultat de « la force transversale non compensée » ayant pour effet :

- Tendre au chavirement du véhicule vers l'extérieur.
- Tendre à faire monter le boudi, sur le rail extérieur.
- Tendre à riper la voie vers extérieur delà courbe.
- Imposer un confort inacceptable aux voyageurs.

On limite l'accélération non compensée, afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et un coût raisonnable de l'entretien de la voie.

L'insuffisance de dévers se définit à partir de l'accélération non compensée par la formule suivante:

$$a_{nc} = g * \frac{l}{a} \gg I = a/g * a_{nc}$$

« a » étant l'écartement de la voie et « g » l'accélération de la pesanteur. Les valeurs maximales admissibles sont[6]:

Tableau III.2 : limitation de l'insuffisance Dévers [SNTF ch6]

Valeur maximale normale	150mm
Valeur maximale exceptionnelle	160mm

III.3.6 Raccordement progressif (RP)

C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre alignements et une pleine Courbe ou entre deux courbes circulaires de rayons différentes. la clothoïde ou son approximation la parabole cubique (dite de Nordling).

Cette variation de courbure et donc la flèche une à certaine distance, permet de faire varier progressivement le dévers depuis sa valeur nulle en alignement jusqu'à la valeur « d » en courbe.

- ORP : origine du raccordement progressif
- FRP : fin du raccordement progressif

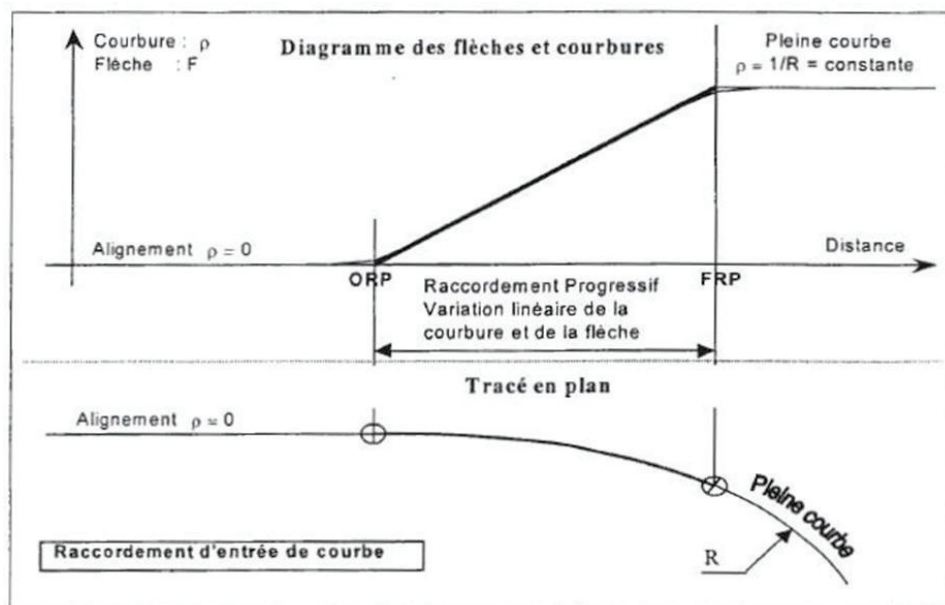


Figure III.3 . Diagrammes des flèches et courbures d'un RP

La courbe satisfaisant aux conditions définies ci-dessus est la clothoïde, est définie par sa longueur L et paramètre A :

- **Longueur minimale de clothoïde** : C'est la longueur de clothoïde qui permet un raccordement convenable du dévers avec :

$$L_{cl} \geq \frac{dp \times V_r}{\frac{dd}{dt} \times 3,6}$$

- **Paramètre de clothoïde** : Le paramètre de clothoïde est calculé selon l'équation suivante :

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

III.3.7 Raccordement de dévers

Le Dévers augmente progressivement d'une valeur nulle en alignement, jusqu'au dévers prévu en courbe, cette progression se fait sur une longueur dite rampe de dévers.

La variation du dévers par unité de longueur où la rampe de raccordement est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie. Pour passer d'un dévers d'alignement à un dévers de courbe, on surélève progressivement la file extérieure par rapport à la file intérieure et l'insuffisance ou l'excès varie jusqu'à la valeur prévue en plein courbe.

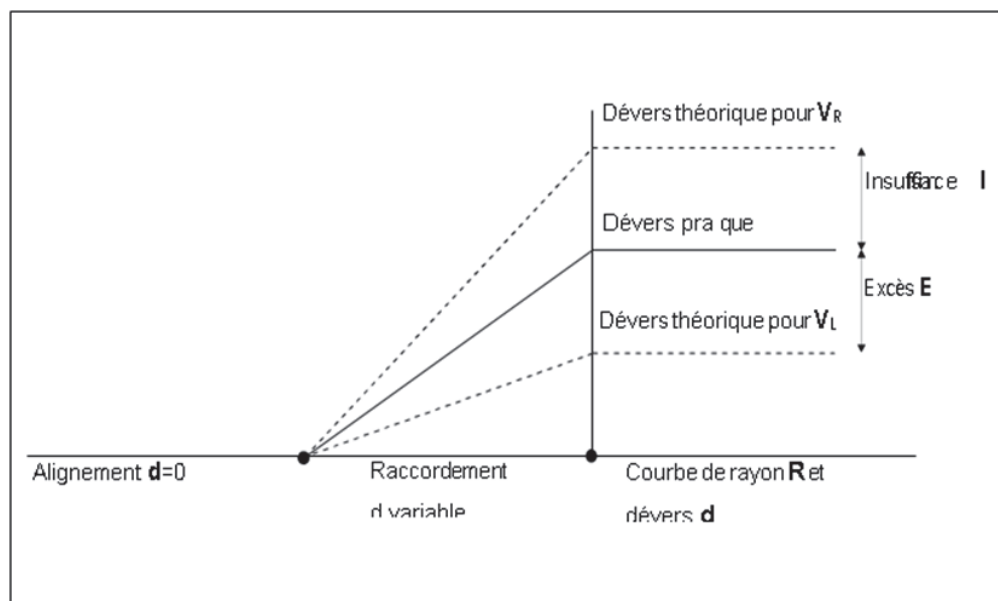


Figure III.3 Schéma de raccordement de dévers

III.3.8 Gauche et variation du devers

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de constat des quatre roues ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste.

Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport d/L appelé

«gauche» exprime cette variation en (mm/m). Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

$$d/L \leq 180/VR \text{ en (mm/m) ; } VR \text{ en km/h.}$$

La SNTF exige une variation ≤ 2.52 (exception 3.24 mm/m)

A.N:

$$V_R = 160 \text{ km/h} \quad 180/160 = 1.125 \text{ mm/m} < 2.52 \text{ mm/m.}$$

Tableau III.3 Limite de la variation de dévers dans les courbes de transition (SNTF ch6).

Valeur maximale normale	$180/V = 1.125 \text{ mm/m}$
Valeur maximale exceptionnelle	$216/V = 1.35 \text{ mm/m}$

- Limite la variation d'insuffisance de dévers

Tableau III.4 Limite de la variation d'insuffisance de dévers (SNTF ch6).

Valeur maximale normale	75 mm/s
Valeur maximale exceptionnelle	90 mm/s

III.3.9 Application au projet

D'après les données de la SNTF :

Vitesse des trains rapides $V_R = 160 \text{ km/h}$

Vitesse des trains lents $V_L = 80 \text{ km/h}$

Et la formule donnant le rayon minimal : $R_{\min} = \frac{11,8(V_r^2 - V_m^2)}{E + I}$

Avec, $I = 150 \text{ mm}$ et $E = 110 \text{ mm}$

$$R_{\min} = \frac{11,8(160^2 - 80^2)}{110 + 150} = 871,38 \text{ m}$$

On retient : $R_{\min} = 1200 \text{ m}$.

Vérification des paramètres dynamiques pour $R_{\min} = 1200 \text{ m}$:

1. Dévers pratique :

$$dp = 1\,000 \times \frac{0,006 \cdot V_r^2}{R} = 1\,000 \times \frac{0,006 \times (160)^2}{1200} \longrightarrow dp = 128 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \text{ c'est vérifié !}$$

2. Insuffisance :

$$I = \frac{11,8 \times V_r^2}{R_{min}} - dp = \frac{11,8 \times 160^2}{1200} - 128 \longrightarrow I = 123,7 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \text{ c'est vérifié !}$$

3. Excès :

$$E = dp - \frac{11,8 \times V_m^2}{R_{min}} = 128 - \frac{11,8 \times 80^2}{1200} \longrightarrow E = 65,06 \text{ mm} < 110 \text{ mm} \text{ c'est vérifié !}$$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.5 Les caractéristiques du tracé

Rayons (m)	d _r (mm)	d _m (mm)	d _p (mm)	I (mm)	E (mm)	L _{cl} (m)	A	$\frac{dd}{dt}$	$\frac{dd}{dl}$
1600	188,8	47,2	96	92,8	48,8	160	505	26,7	0,6
1650	183,1	45,8	93,1	90	47,3	151,5	500	27,59	0,62
3150	96	24	49	47	25	80	505	27,22	1,2

III.3.10 CALCUL D'AXE

L'opération de calcul d'axe n'aura lieu, qu'après avoir déterminé le couloir par le quel passera la voie.

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe.

1-PROCEDES 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

Tout calcul d'axe doit suivre les étapes suivantes :

1. Calcul de gisements
2. Calcul de l'angle γ entre alignements
3. Calcul de la tangente T
4. Calcul de la corde S_L
5. Calcul de l'angle polaire σ
6. Vérification de non – chevauchement
7. Calcul de l'arc de cercle
8. Calcul des coordonnées des points singuliers

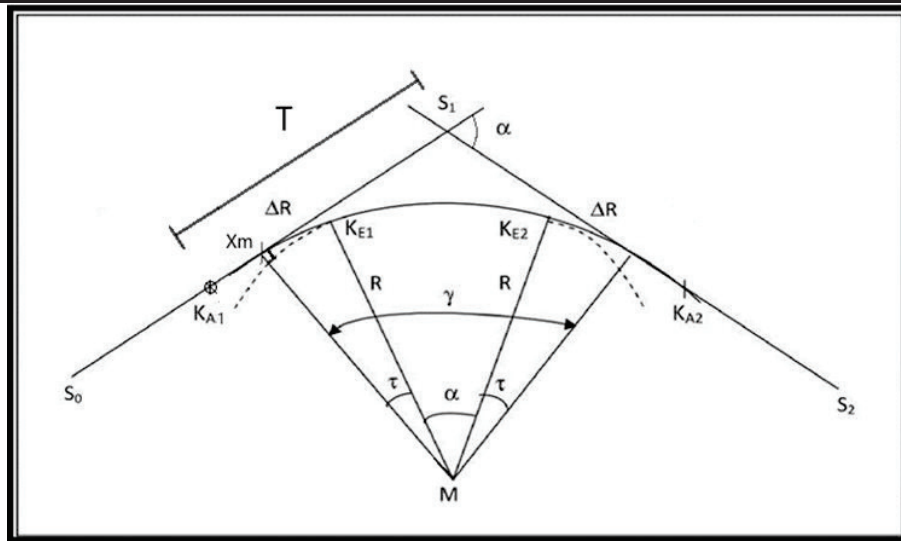


Figure III.4 Elément de clothoïde

- γ : Angle entre alignement

- T : Grande tangente

- OR : Ripage

- X_M : Abscisse du centre de cercle

- R : Rayon de virage

- τ : Angle de tangente

- S_L : La corde à la clothoïde

- α : L'angle polaire

- L : longueur de clothoïde

- K_A : début de clothoïde

- K_E : Fin de clothoïde

1- Gisement

Le gisement d'une direction est l'angle fait par cette direction avec le nord géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

2 -Formules et méthodes de calculs

Rayon $R_1 = 1650$ m

S_0 (359778.288, 4077353.083)

S_1 (358667.338, 4076722.073)

S_2 (351163.592, 4074282.368)

$$|\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = 1110.95$$

$$|\Delta X_1| = |X_{S2} - X_{S1}| = 7503.746$$

$$|\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = 631.01$$

$$|\Delta Y_1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = 2439.705$$

$$\text{Distance} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

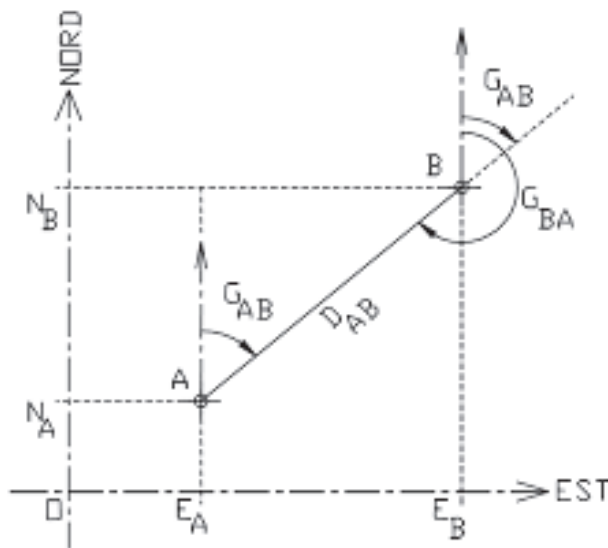
$$D_{S0S1} = \sqrt{(1109.741)^2 + 630.891^2} \longrightarrow D_{S0S1} = 1277.64\text{m}$$

$$D_{S1S2} = \sqrt{(936.625)^2 + (304.183)^2} \longrightarrow D_{S1S2} = 7890.39\text{m}$$

D'où:

$$G_{s1}^0 = 200 + \arctg \frac{|\Delta Y|}{|\Delta X|} = 232.88 \text{ grade}$$

$$G_{s2}^1 = 200 + \arctg \frac{|\Delta Y_1|}{|\Delta X_1|} = 220.01 \text{ grade}$$



3- Calcul de l'angle γ

$$\gamma = \left| G_{s2}^{s1} - G_{s1}^{s0} \right| = 12.87 \text{ grade}$$

4- Calcul de l'angle τ

$$L = \frac{A^2}{R} = 151.5$$

$$\tau = L * \frac{200}{2 * R * \pi} = 2.92 \text{ grade}$$

5- Vérification de non chevauchement

$$\tau = 2.92 \text{ grade.} \quad \text{et} \quad \gamma/2 = 6.435 \text{ grade}$$

$$\text{D'où : } \tau < \frac{\gamma}{2} \text{ Condition vérifiée, pas de chevauchement.}$$

6- Calcul de la tangente T

$$T = Xm + (R + \Delta R) * \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \text{ Avec } \Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{151.5^2}{24 * 1650} = 0.58$$

$$\text{et } Xm = \frac{L}{2} = 75.75 \longrightarrow T = 75.75 + (1650 + 0.58) * \tan(6.455)$$

$$\text{D'où } T = 243.69 \text{ m}$$

7-calcul de la distance S0KA1

$$S0KA1 = S0S1 - T = 1277.64 - 243.69 = 1033.95 \text{ m}$$

$$S0KA1 = 1033.95 \text{ m}$$

8- calcul de la corde sl

$$sl = \sqrt{X_{ke}^2 + Y_{ke}^2} \text{ avec } X_{ke} = L = 151.5 \text{ et } Y_{ke} = \frac{L^2}{6R} = \frac{151.5^2}{6 * 1650} = 2.32$$

$$SL = \sqrt{151.5^2 + 2.32^2} = 151.52 \text{ m}$$

9- calcul de l'angle polaire σ

$$\sigma = \arctg \frac{Y_{ke}}{X_{ke}} = 0.974$$

10-calcul de l'angle α

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 5.84 \text{ grade}$$

11- calcul de l'arc

$$B = K_{E1}K_{E2} = \frac{\pi R(\gamma - 2\tau)}{200} = 183.15 \text{ m}$$

12-calcul des point singuliers

$$\begin{aligned} X_{ka1} &= X_{S1} - T \sin G_{S1}^{S0} = 358667.338 - 243.69 * \sin 232.88 \\ K_{A1} \{ \\ Y_{ka1} &= Y_{S1} - T \cos G_{S1}^{S0} = 4076722.073 - 243.69 * \cos 232.88 \\ &358787.67 \\ K_{A1} \{ \\ &4076933.97 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{ka2} &= X_{S1} + T \sin G_{S2}^{S1} = 358667.338 + 243.69 * \sin 220.01 \\ K_{A2} \{ \\ Y_{ka2} &= Y_{S1} + T \cos G_{S2}^{S1} = 4076722.073 + 243.69 * \cos 220.01 \\ &358591.99 \\ K_{A2} \{ \\ &4076490.32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{E1} &= X_{KA1} + S_L \sin(G_{S1}^{S0} - \sigma) = 358787.67 + 151.52 * \sin(232.88 - 0.974) \\ K_{E1} \{ \\ Y_{E1} &= Y_{KA1} + S_L \cos(G_{S1}^{S0} - \sigma) = 4076933.97 + 151.52 * \cos(232.88 - 0.974) \\ &358714.87 \\ K_{E1} \{ \\ &4076801.08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{E2} &= X_{KA2} + S_L \sin(G_{S2}^{S1} - \sigma) = 358591.99 - 151.52 * \sin(220.01 - 0.974) \\ K_{E2} \{ \\ Y_{E2} &= Y_{KA2} + S_L \cos(G_{S2}^{S1} - \sigma) = 4076490.32 - 151.52 * \cos(220.01 - 0.974) \\ &358636.62 \\ K_{E2} \{ \\ &4076635.11 \end{aligned}$$

Les résultats du calcul d'axe manuel sont comparables au calcul numérique obtenu par le logiciel Autopiste

III.4 Profil en long

1. Introduction

Le profil en long est la coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé et on appelle déclivité, la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle prend le nom de pente pour une descente et rampe pour une montée. Un profil en long est constitué d'éléments de lignes droites raccordées par des arcs de cercle en cas de changement de déclivité. La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique la ou paraîtra l'importance des terrassements (Quantité de déblai et de remblai), les ouvrages d'arts ...etc. soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.

Il est constitué généralement d'une succession d'alignement droits raccordés par des courbes circulaires. Du fait que les rayons verticaux sont très grands, l'introduction de courbes de raccordement progressif n'est pas nécessaire.

2. Les règles à respecter dans le tracé du profil en long

On appelle le niveau de roulement « la ligne rouge » elle doit être conçue et tracée en respectant les recommandations et les prescriptions suivantes :

- La déclivité maximale est de 12‰ (16‰ exceptionnellement) en gare elle est de 1.5‰
- Assurer si possible un palier de 350 à 400m de part et d'autre de la gare, avec une certaine pente pour un redémarrage facile des trains en cas d'arrêt au voisinage de cette gare
- La distance minimale entre deux points de changement de déclivité doit être 800m
- Le rayon minimum en profil en long est de $R_{vmin} = 0.35 V^2_R$ et cela pour limiter l'accélération verticale ($R_{vmin} = 4000m$) la SNTF recommande un rayon de 9000m.
- Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé
- Minimiser les quantités de déblai et remblai
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer une bonne évacuation des eaux.
- Pour une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ne pas placer une courbe verticale sur une autre horizontale.

3. Les éléments géométriques du profil en long

➤ Déclivité

C'est la tangente de l'angle compris entre le profil en long et l'horizontal, elle est appelée pente et rampe. la déclivité influence sur l'écoulement des eaux, la sécurité lors de freinage en pente et confort au démarrage de véhicule en rampe

- **Pente** : tronçon de voie descendant.
- **Rampe** : tronçon de voie ascendant.
- **Palier** : tronçon de voie horizontale.

➤ Raccordement vertical

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules, alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise.

4. La longueur minimale des déclivités

Entre deux accélérations verticales brutales, un temps assez long doit s'écouler afin de permettre à la suspension d'amortir le choc et d'éviter les effets conjugués de plusieurs accélérations rapprochées, sources d'oscillations importantes du véhicule.

La valeur de la longueur minimale des déclivités constantes est donc limitée à [6] :

Tableau III.6 La longueur minimale des déclivités [SNTF ch 6]

Valeur minimale normale	$V / 2 = 80 \text{ m}$
Valeur minimale exceptionnelle	$V / 2,5 = 64 \text{ m}$

5. Rayon verticale admissible en raccords de profil en long

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

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

$$a_v = \frac{V_{\text{Max}}^2}{R_v}$$

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.

- b) Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, sans courbes de transition entre les pentes et le raccordement. 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.

Pour restreindre la variation brutale d'accélération verticale pour les circulations à vitesse maximale, on doit limiter le rayon minimum de ces courbes.

Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter (la vitesse V est exprimée en km/h[6].

Tableau III.6 Rayon verticale admissible en raccordements de profil en long [SNTF ch 6]

Valeur normale	$0,35 V^2 = 8960 \text{ m}$
Valeur exceptionnelle	$0,25 V^2 = 6400 \text{ m}$
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton)	$0,15 V^2 = 3840 \text{ m}$

6. Déclivité maximale

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur.

En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-après ; cependant dans le cadre d'une étude de variante, ces valeurs pourront être dépassées tout en respectant les dispositions reprises dans la dernière version de l'instruction SNCF/RFF IN 0272.

- 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‰.

Le figure ci-après précise la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application :

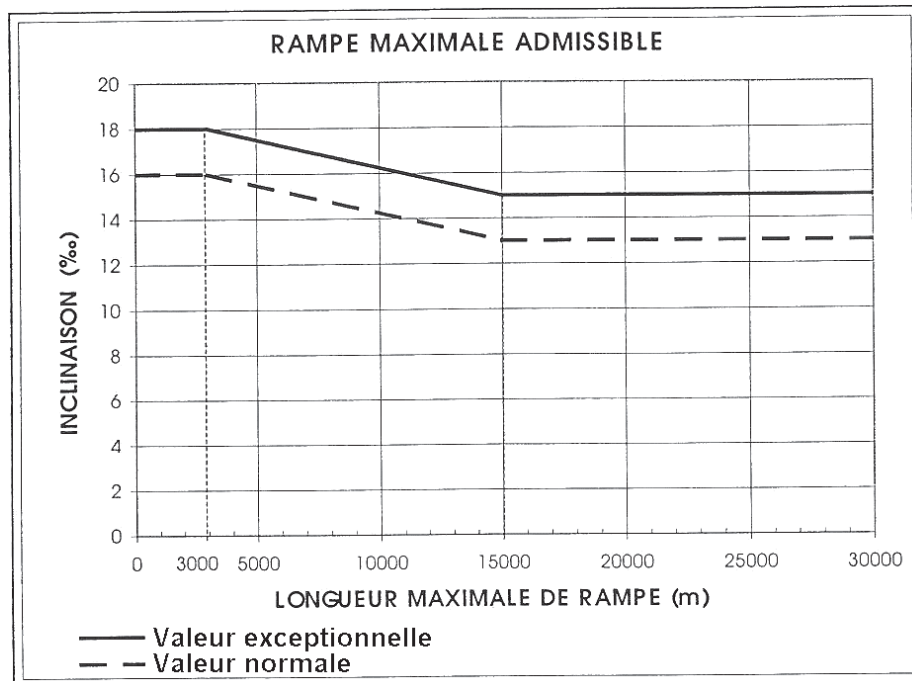


Figure III.5 la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application

7. Coordination profil en long et tracé en plan

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

- * Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan
- * 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. **Le respect de ces conditions a pour but de :**
- * Distinguer clairement les dispositions des points singuliers
- * Prévoir de loin l'évolution du tracé et assurer une bonne visibilité
- * Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant
- * Offrir du confort aux voyageurs

8. Calcul des éléments de profil en long

Dans ce calcul, on détermine toutes les coordonnées des points singuliers du raccordement, la tangente d'une part et d'autre du sommet, la flèche au dessous de ce dernier, on déterminera aussi les PK des points singuliers.

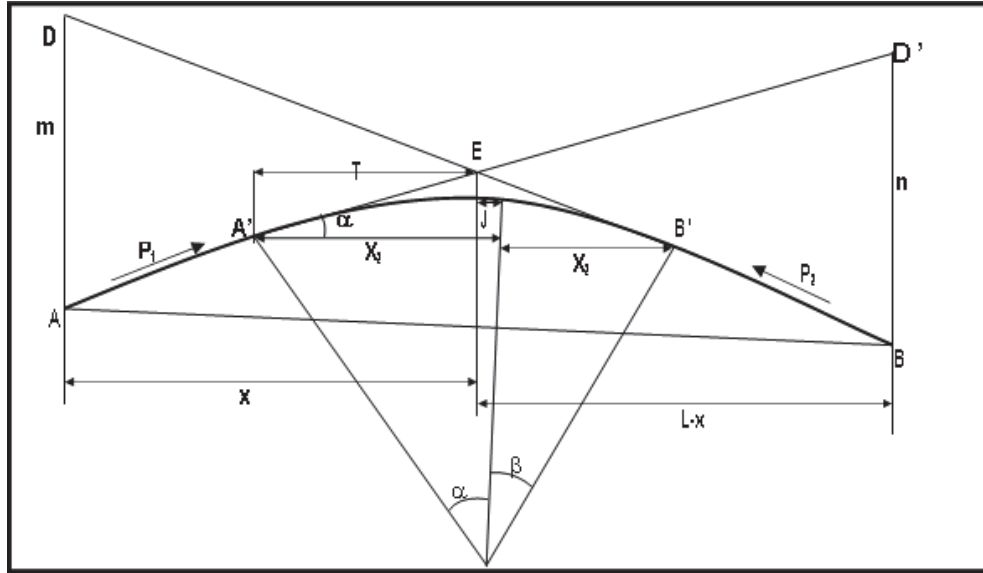


Figure III.6 les éléments de profil en long

Avec :

A' et B' : Extrémités du raccordement T : Tangente de par et d'autre du sommet

G : Milieu de raccordement situé sur la variante A et B: deux points connus sur P1 et P2

F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche)

X : Distance entre le sommet et un point A sur P1

$(\alpha+\beta)$: angle de variation, ou de changement de direction

O : Centre du cercle de rayon R

E : Sommet ou point de changement de déclivité

L : Distance entre les deux points A et B

❖ Exemple de calcul

$$A \begin{cases} S = 00 \\ Z = 30.168 \end{cases}$$

$$E \begin{cases} S = 1524.70 \\ Z = 24.13 \end{cases}$$

$$D \begin{cases} S = 2536.89 \\ Z = 17.58 \end{cases}$$

$$R = 17000 \text{ m}$$

✓ Calcul des pentes

$$P1 = \frac{\Delta z1}{\Delta s1} = \frac{24.13 - 30.168}{1524.70 - 00} = 0.0039$$

$$P2 = \frac{\Delta z2}{\Delta s2} = \frac{17.58 - 24.13}{2536.89 - 1524.70} = 0.0064$$

✓ Calcul de la tangente T

$$T = R * \frac{P1 + P2}{2} = 17000 * \frac{0.0039 + 0.0064}{2} = 87.55 \text{ m}$$

✓ Calcul de la flèche F

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{87.55^2}{2 * 17000} = 0.22 \text{ m}$$

✓ Calcul de la cote de point au milieu de raccordement parabolique

$$Z_G = Z_E - F = 24.13 - 0.22 = 23.91 \text{ m}$$

✓ Calcul des pk et cotes des points A' et B'

$$Pk_{A'} = Pk_E - T = 1524.70 - 87.55 = 1437.15$$

$$Z_{A'} = Z_E - P_1 \cdot T = 24.13 - 0.0039 * 87.55 = 23.78$$

$$Pk_{B'} = Pk_E + T = 1524.70 + 87.55 = 1612.25$$

$$Z_{B'} = Z_E + P_2 \cdot T = 24.13 + 0.0064 * 87.55 = 24.6$$

$$A' \begin{cases} 1437.15 \\ 23.78 \end{cases} \quad B' \begin{cases} 1612.25 \\ 24.6 \end{cases}$$

Les résultats du calcul d'axe manuel sont comparables au calcul numérique obtenu par le logiciel Autopiste.

III.5 Le profil en travers

1. Introduction

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie.

L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100. On distingue deux types de profil :

➤ 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.

➤ 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.

2. Etablissement du profil en travers type

➤ Élément 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.

➤ Éléments de l'infrastructure

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

➤ Éléments 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

3. Les éléments du profil en travers

a. **Emprise :**

C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.

b. **Assiette :**

C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

c. **Plate-forme :**

Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.

d. **La voie :**

C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.

e. **La berme :**

Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations...). Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

f. **Le fossé :**

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie

4. Profil type de notre projet

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

- * Type de ligne : double voies mixte .
- * Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- * Largeurs de la plate-forme : 14.5 m.
- * Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- * Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- * Epaisseur du ballast : 30 cm.
- * Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- * Epaisseur de la couche de forme: 50 cm.
- * Pente (déblai : 2/3 et remblai : 1 / 2).
- * Fossé trapézoïdale ($b=0.5\text{ m}$; $h=0.5\text{ m}$)

CHAPITRE IV : Etude géotechnique

IV.1 INTRODUCTION

L'étude géotechnique intervient dans toutes les activités de ce genre de projet. Elle peut aussi intervenir dans le choix du site, son objectif est basé essentiellement sur la description géomorphologique et lithologique, l'interprétation des mouvements gravitaires, l'estimation des tassements et enfin le dimensionnement des assises.

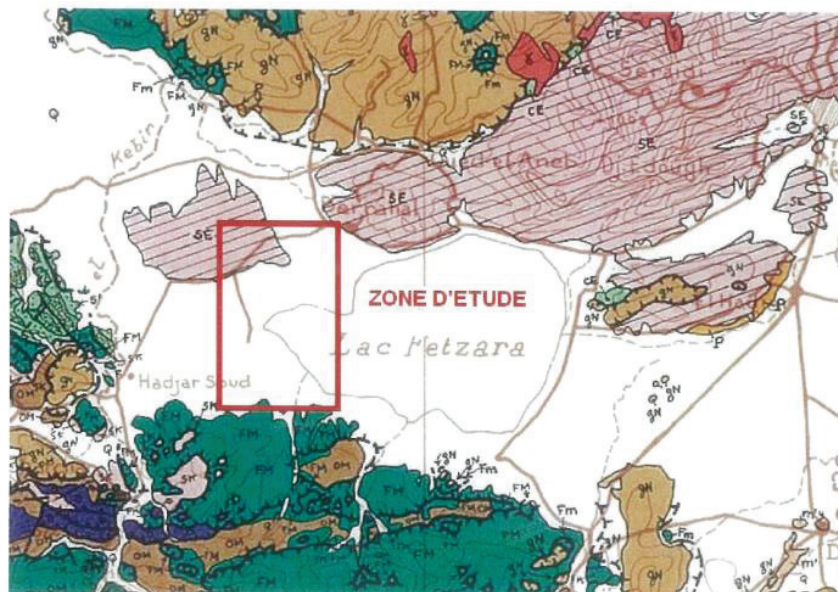
IV.2 APERÇU GEOLOGIQUE

1. Cadre géologique

la zone d'étude fait partie du tell oriental sur le plan géologique, le tell fait partie d'une chaîne connue sous le nom des maghrébides, cette dernière s'étend du détroit de Gibraltar jusqu'à sud de l'Italie en passant par le Rif marocain, le tell algérien et la Sicile.

Il s'agit d'une chaîne complexe constituée essentiellement des unités géologiques allochtones charriées sur un socle métamorphique ancien représenté dans la zone par les massifs de l'Edough et de Filfla. Les unités allochtones sont représentées principalement par les séries de type Flysch de la région d'Azzaba et par la nappe numidienne représentée à la fin du lot.

Suite à la régression de la mer, à la fin du Miocène, un régime lagunaire s'est installé entre le massif de l'Edough au nord et le complexe allochtone au sud, cette structure a fait naître le bassin de lac de Fetzara. Cette dernière a fini par se colmater avec des matériaux de l'érosion du relief crétacés situés au sud du bassin et relief Paléozoïque situés au nord [7].



Le tracé de la ligne de chemin de fer passe sur le substrat altéré paléozoïque et sur les dépôts colluviaux-alluviaux, qui tapissent les pentes du bassin.

Figure IV.1. Cadre géologique de la zone d'étude

2. Géologie du tracé

Tout au long du lot, le tracé par passe sur l'ancienne plateforme de chemin de fer de la ligne d'Annaba à Skikda du côté droit de la voie actuelle. La plate-forme s'appuie dans son début sur les matériaux Paléozoïques très altérés, qui par moment affleurent, bien que le substrat Paléozoïque affleurent dans des points très concertés du tracé sous forme de micaschiste. Le reste de la plateforme se trouve sur les matériaux alluviaux et colluviales avec des une prédominance argileuse, due au dernier épisode de colmatage du bassin lac de Fetzara. [7]

IV.3 PROGRAMME GEOTECHNIQUE

Comme n'y a pas de chance pour faire mon propre programme géotechnique alors on va se baser sur l'information géotechnique disponible, et campagne qui a été effectuée, consistant en:

63 Sondages à la pelle dans la plate-forme située à la droite de la voie actuelle. Dans ces Fouilles des échantillons ont été récupérés afin d'effectuer des essais sur chacun des niveaux géologiques observés. De même, 18 Sondages à la pelle ont été effectués dans la plate-forme, afin d'obtenir des échantillons des matériaux. Ceux-ci ont atteint une profondeur moyenne de 80 cm.

- 63 pénétromètres dynamiques.
- 83 Essais à la plaque.
- 63 Densités prises avec le troxler sur la plate-forme existante.
- essai en laboratoire :
 - essai d'identification : analyse granulométrie, teneur en eau, limites d'atterberg, matière organique.
 - essai mécanique : Proctor modifié, indice CBR.

IV.4 UNITE GEOLOGIQUE ET CLASSIFICATION

Au long du tracé, un total de 9 unités géotechniques ont été identifiées, dont 1 correspond au substrat et le reste à des formations superficielles. Ces unités correspondent aux unités géologiques définies dans l'annexe de géologie

La caractérisation des matériaux est effectuée d'abord au niveau des unités géologiques, définies par leur nature et origine, et ce à partir des considérations effectuées dans l'Annexe Géologie. Les unités géotechniques considérées et affectées par le tracé sont les suivantes :

-Formations superficielles comportent :

- Remblais anthropiques **RA : R_v, R_c, R_n**
- Quaternaire: **QE_{1a}, QE_{1s}, QA_{1a}, QA_{1s}, Qca**

- Sustrat compote :

- Micaschistes (**Mc**)

IV.4.1 REMBLAIS ANTHROPIQUES

1. Rv-Remblais déversés

Il s'agit de matériaux très hétérogènes, dont l'origine principale est liée à la construction du chemin de fer et qui postérieurement ont souffert un déchet additionnel incontrôlé. Ils sont constitués par des argiles, des argiles sablonneuses avec certains blocs de béton. L'épaisseur est variable, pouvant dépasser les 5 m de hauteur.

2. RC- Remblai de chemin de fer

Cette unité géotechnique est formée des par graves calcaires argileuses avec un peu de sable. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés par la suite.

- **Identification et état** : La densité sèche insitu moyenne obtenue par les essais est de 2,09 g/cm³

Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0,40 mm, la limite liquide moyenne est 34, la limite plastique moyenne est de 19 et l'indice de plasticité est 15.

- **L'humidité naturelle** : n'a dépassé en aucun cas les valeurs limites. Le pourcentage moyen de matériau qui passe par le tamis 0,080 UNE est de 29,9%. Selon la classification de Casagrande, il s'agit des graves argileuses de faible plasticité (GC).

- **Propriétés chimiques** : Le contenu en matière organique est nul.

- **Capacité de charge de la plate-forme** : La détermination de la résistance dans ce niveau géotechnique a été effectuée au moyen d'essais de plaque de charge.

- **Excavabilité** : Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.1. Tableau général des essais de l'Unité Rc

P.K. PROJET	Sond, A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR		GRANULOMETRIE		HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PROCTOR M		M.O. (%)	Clas. Selon U.I.C.
			(m)		Tamis	SABLE		L.L.	L.P.	I.P.		DMax	Wopt		
			de	A	0,08							(g/cm ³)	(%)		
500+015	34+700	Rc	0,20	0,60	47	18,00		36	24	12	GC	1,94	12,8		QS1
500+315	35+000	Rc	0,20	0,60	31	24,00		35	19	16	GC	2,01	10,2		QS1
501+315	36+000	Rc	0,20	0,60	38	24,00		38	19	19	GC	2,20	8,6		QS1
502+035	36+440	Rc	0,00	0,80			12,5	31	19	12					
502+315	37+000	Rc	0,20	0,60	35	23,00		38	19	19	GC	2,10	8,0		QS1
503+315	38+000	Rc	0,20	0,60	36	22,00		38	16	22	GC	2,08	8,4		QS1
503+695	38+100	Rc	0,00	0,50				29	17	12		1,92	10,0		
504+095	38+500	Rc	0,00	0,80			12,3	35	22	13					
504+315	39+000	Rc	0,20	0,60	39	30,00		38	20	18	GC	2,17	7,1		QS1
505+315	40+000	Rc	0,20	0,60	42	20,00		32	18	14	GC	2,03	7,0		QS1
505+395	39+800	Rc	0,00	0,50			14,0	36	22	14					
506+315	41+000	Rc	0,20	0,60	35	20,00		49	25	24	GC	2,20	7,2		QS1
506+895	41+300	Rc	0,00	0,60			11,3	38	24	14		2,11	10,0		
507+315	42+000	Rc	0,20	0,60	34	19,00		49	24	25	GC	2,15	6,2		QS1
508+315	43+000	Rc	0,20	0,60	30	20,00		34	18	16	GC	2,26	5,5		QS1
508+695	43+100	Rc	0,00	0,90			17	36	22	14					
509+315	44+000	Rc	0,20	0,60	25	29,00		28	16	12	GC	2,34	5,2		QS1
510+315	45+000	Rc	0,20	0,60	30	35,00		27	17	10	SC	2,22	4,6		QS1
511+315	46+000	Rc	0,20	0,60	12	28,00		25	13	12	GC	2,26	6,3		QS1
512+315	47+000	Rc	0,20	0,60	17	28,00		30	15	15	GC	2,29	4,7		QS1
513+595	48+000	Rc	0,00	0,70			11,0	25	13	12				0,00	
513+995	48+400	Rc	0,00	0,50			17,0	37	20	17					
515+315	50+000	Rc	0,20	0,60	13	31,00		25	14	11	GC	2,20	5,3		QS1
516+315	51+000	Rc	0,20	0,60	14	31,00		29	18	11	GC	2,18	5,4		QS1
N° de VALEURS					16	16	6	24	24	24		18	18	1	
VALEUR MOYENNE					29,9	25,1	13,0	34,1	18,9	15,2		2,15	7,4	0,0	
DÉVIATION TYPIQUE					10	5,2	2	6,5	3,5	4		0,12	2,3	0	
VALEUR MAXIMALE					47	35	17	49	25	25		2,34	12,8	0	
VALEUR MINIMALE					12	18	11	25	13	10		1,92	4,6	0	

3. Noyau de remblai RN

Cette unité correspond aux matériaux qui constituent le noyau de remblai. Elle a uniquement été repérée autour du P.K. 305+900. Elle est constituée par une argile marron et de grands blocs de micaschiste. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés ci-après.

- Identification et état : Il s'agit d'une argile avec des indece de sable. Le pourcentage moyen de sable est de 8%.

-La densité naturelle moyenne : est de 2.08 g/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.40 mm, la limite liquide moyenne est de 34.5, la limite plastique moyenne de 19 et l'indice de plasticité de 15.5.

Dans aucun cas l'humidité naturelle a dépassé les valeurs limites. Le pourcentage moyen du matériau qui passe par le tamis 0.080 UNE est de 92 %. Selon la classification de Casagrande il s'agit d'argiles de plasticité basse (CL).

Compacité : Un essai Proctor modifié à été effectué, donnant une valeur moyenne de la densité maximale de 1,94 g/cm³, et une humidité optimale de 10%

Excavabilité : Cette unité est excavable par des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.2. Tableau général des essais de l'Unité Rn

P.K. PROJET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR					GRANULOMETRIE				DENSITÉ		HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PRÓCTOR M		C.B.R.		Clas. Selon U.I.C.
			(m)					GRAVIER	SABLE	SEC	NAT	L _L	L _P		I _P	D _{máx} (Gr/cm3)	W _{opt} (%)		100% D _{máx} (%)	Gonf. (%)			
			de	a	5	2,0	0,08																
500+930	35+335	Rn	0,45	0,95								18,5											
500+930	35+335	Rn	0,60	0,75						1,79	2,09	17,0											
500+930	35+335	Rn	0,95	3,20						1,78	2,08	16,7	35	19	16		1,94	10,0	2,95	2,70			
501+195	35+600	Rn	0,90	1,40	100	99	92	0,00	8,00			14,1	34	19	15	CL					QS1		
N° de VALEURS					1	1	1	1	1	2	2	4	2	2	2		1	1	1	1			
VALEUR MOYENNE					100,0	99,0	92,0	0,0	8,0	1,79	2,08	16,6	34,5	19,0	15,5		1,94	10,0	2,95				
DÉVIATION TYPIQUE					0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1		0	0	0				
VALEUR MAXIMALE					100	99	92	0	8	1,79	2,09	19	35	19	16		1,94	10	2,95				
VALEUR MINIMALE					100	99	92	0	8	1,78	2,08	14	34	19	15		1,94	10	2,95				

IV.4.2 QUATERNAIRE

1. Eluvial argileux QE1a

Cette unité correspond aux matériaux qui constituent le terrain d'appui du remblai. Sa lithologie est formée par des argiles comme matériau principal et par des sables comme matériaux secondaires.

-Identification et état : Il s'agit d'une argile avec des indices de sable. Le pourcentage moyen de sable est de 14%, même si des veines et des couches apparaissent, dont le contenu en sables est de 48%. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés à continuation.

-Résistance : La détermination de la résistance dans ce niveau géotechnique a été réalisée à partir des essais de pénétration dynamique, étant donné son caractère cohésif. Des valeurs de N_{spt} moyennes de 20 ont été enregistrées. À partir de ces valeurs, une résistance au cisaillement non drainée de quelques 120 kPa a été enregistrée, ainsi qu'une résistance à la compression simple d'environ 2 kg/cm². Il est néanmoins nécessaire de réaliser des essais spécifiques afin de confirmer les valeurs indiquées.

-Expansivité et déformabilité : Quant au potentiel expansif de cette unité, selon la relation d'Oteo (1986) qui met en rapport la limite liquide avec la relation entre l'humidité et la limite plastique, ce matériau se situe dans la zone où l'expansivité est nulle. Cependant il faudra effectuer les essais de gonflement spécifiques qui vérifient cela.

-Compacité : 2 essais de Proctor modifié ont été réalisés. Ils ont donné une valeur moyenne de densité maximale de 1,96 g/cm³ et une humidité optimale de 10,0%.

-Excavabilité : Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.3. Tableau général des essais de l'Unité QEla

P.K.	PROJET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR					DENSITÉ				HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PRÔCTOR M			M.O. (%)	Clas. Selon U.I.C.
				(m)					GRAVIER	SABLE	SEC	NAT		L _L	L _P	I _P		D _{max} (Gr/cm3)	Wopt (%)			
				de	a	5	2,0	0,08														
500+270		34+675	QEla	1,00	1,50	100	99	89	0,00	11,50			13,0	33	20	13	CL					QS1
500+495		34+900	QEla	0,90	1,40	100	100	90	0,00	10,50	1,69	2,01	19,0									QS1
500+495		34+900	QEla	1,80	4,00								13,2	NP	NP	NP						
500+695		35+100	QEla	0,00	0,60	100	99	92	0,40	7,80												QS1
500+695		35+100	QEla	0,80	1,30	100	99	92	0,00	8,20			13,5	32	18	14	CL					QS1
501+395		35+800	QEla	0,80	2,50						1,78	2,03	14,2	31	19	12						
501+595		36+000	QEla	1,30	1,80	100	100	93	0,00	7,00			15,6					2,00	12,0			QS1
501+795		36+200	QEla	1,00	1,50	100	100	93	0,00	7,00			14,0	35	21	14	CL					QS1
502+035		36+440	QEla	0,80	1,30								15,0	32	20	12						
502+035		36+440	QEla	0,90	1,40	100	100	91	0,00	9,00			15,2	33	20	13	CL					QS1
502+195		36+600	QEla	0,80	1,10	100	99	92	0,50	8,00	1,69	2,03	20,0	30	16	14	CL	1,97	8,0			QS1
502+395		36+800	QEla	1,00	1,50	100	99	92	0,00	8,00			12,6	29	17	12	CL					
502+395		36+800	QEla	1,60	4,00								15,8	33	20	13						
502+595		37+000	QEla	0,60	1,10						1,62	1,96	20,9	40	23	17						
502+595		37+000	QEla	1,10	1,40	100	91	65	0,40	34,60	1,85	2,11	13,8	29	17	12	CL	1,91	10,0			QS1
504+995		39+400	QEla	0,70	1,10	100	93	51	0,30	48,70			13,0	28	16	12	CL					QS1
505+235		39+640	QEla	0,90	3,10	100	99	91	0,00	9,50	1,77	2,07	17,0	37	23	14	CL					QS1
505+235		39+640	QEla	3,10	4,00						1,83	2,16	18,0	43	25	18						
N° de VALEURS						12	12	12	12	12	7	7	17	14	14	14		3	3			
VALEUR MOYENNE						100	98,2	85,9	0,1	14,2	1,75	2,05	15,5	33,2	19,6	13,6		1,96	10,0			
DÉVIATION TYPIQUE						0	2,9	13,4	0,2	13,3	0,1	0,2	3	4	3	2		0	2			
VALEUR MAXIMALE						100	100	93	0,5	48,7	1,85	2,16	21	43	25	18		1,97	12			
VALEUR MINIMALE						100	91	51	0	7,0	1,62	1,96	13	28	16	12		1,91	8			

2. Eluvial sablonneux QElS

Cette unité correspond aux matériaux qui constituent le terrain d'appui du remblai et du déblai initial du lot. Sa lithologie est formée par des sables de nature siliceuse avec quelques moscovite.

-La densité naturelle moyenne : est de 2.16 g/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.40 mm, la limite liquide moyenne est de 25, la limite plastique moyenne de 15 et l'indice de plasticité de 10. Dans aucun cas l'humidité naturelle a dépassé les valeurs limites. Le pourcentage moyen du matériau qui passe par le tamis 0.080 UNE est de 85%. Selon la classification de Casagrande il s'agit d'argiles de plasticité basse (CL)

La densité naturelle moyenne est de 2.2gr/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.08 mm, la limite liquide moyenne est de 37,5, la limite plastique moyenne de 27,5 et l'indice de plasticité de 10. Le pourcentage moyen du matériau qui passe par le tamis 0.080 UNE est de 37%. Selon la classification de Casagrande il s'agit des sables avec limon de plasticité basse (SM)

-Résistance : D'après les résultats obtenus des essais de pénétration dynamique, il est possible de déduire qu'il s'agit de matériaux de compacité moyenne. Les valeurs de N_{spt} moyennes enregistrées sont de 20.

-Expansivité et déformabilité : Quant au potentiel expansif de cette unité, selon la relation d'Oteo (1986) qui met en rapport la limite liquide avec la relation entre l'humidité et la limite plastique, ce matériau se situe dans la zone où l'expansivité est nulle. Cependant il faudra effectuer les essais de gonflement spécifiques qui vérifient cela.

-Compacité : 1 essai de Proctor modifié a été réalisé. Il a donné une valeur moyenne de densité maximale de 2,11 gr/cm³ et une humidité optimale de 8%.

-Excavabilité : Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.4. Tableau général des essais de l'Unité QElS

P.K.	PROYET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR					DENSITÉ				HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PRÓCTOR M		C.B.R.		M.O.	Clas. Selon U.I.C.
				(m)					GRAVIER	SABLE	SEC	NAT		L _L	L _P	I _P		D _{máx} (g/cm ³)	W _{opt} (%)	100% D _{máx} (%)	Gonf. (%)		
				de	a	5	2,0	0,08															
500+095		34+500	QEIs	0,90	1,30					1,87	2,13	13,7	17	9	8		2,11	8,0	7,40	2,33			
500+095		34+500	QEIs	1,30	3,50	100	99	40	0,00	60,00												QS1	
500+270		34+675	QEIs	2,70	4,00					1,87	2,19	17,0	33	21	12								
502+195		36+800	QEIs	1,10	1,60	100	99	34	0,20	65,80			NP	NP	NP	SM						QS1	
N° de VALEURS				2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3		1	1	1	1			
VALEUR MOYENNE				100	99	37,0	0	62,9	1,87	2,16	15,4	25	15	10,0		2,11	8,0	7,4	2,33				
DÉVIATION TYPIQUE				0	0	3	0	3	0	0	2	11,3	8,5	2,8		0	0	0	0				
VALEUR MAXIMALE				100	99	40	0	66	1,87	2,19	17	33	21	12		2,11	8	7	2,33				
VALEUR MINIMALE				100	99	34	0	60	1,87	2,13	14	NP	NP	NP		2,11	8	7	2,33				

3. Alluvial argileux QAla

Cette unité correspond aux matériaux qui constituent le terrain d'appui des deux tiers du tracé. Sa lithologie est formée par des argiles avec quelques traces de sable et de quelques graviers calcaires dispersés. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés en ce qui suit.

-Identification et état : Il s'agit d'une argile légèrement sablonneuse avec un indice de gravier. Le pourcentage moyen d'argile est de 84%, et le contenu moyen de sable de 13%.

-La densité naturelle moyenne : est de 2.2 g/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.40 mm, la limite liquide moyenne est de 38.6, la limite plastique moyenne de 21.7 et l'indice de plasticité de 16.7. Dans aucun cas l'humidité naturelle a dépassé les valeurs limites. Selon la classification de Casagrande, il s'agit d'argiles de plasticité moyenne- basse (CL). Selon cette classification, la limite liquide correspond à une plasticité basse pour $LL < 35$, à une plasticité moyenne pour $35 < LL < 50$ et à haute plasticité arrête $LL > 50$.

-Compacité 10 essais de Proctor modifié ont été réalisés. Ils ont donné une valeur moyenne de densité maximale de 1,96 g/cm³ et une humidité optimale de 10,6%.

-Excavabilité : Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples

Tableau IV.5. Tableau général des essais de l'Unité QAla

P.K. PROJET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR						GRAVIER	SABLE	DENSITÉ		HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PRÓCTOR M			Clas. Selon U.I.C.
			(m)					SEC			NAT	L _L		L _P	I _P	D _{máx} (g/cm ³)		W _{opt} (%)	M.O. (%)		
			de	a	5	2,0	0,08														
502+745	37+150	QA1a	1,50	4,00						2,10	2,50	19,2	37	21	16						
502+880	37+285	QA1a	0,80	1,00								15,0							0,97		
502+880	37+285	QA1a	1,00	1,50								18,0	30	18	12						
502+880	37+285	QA1a	1,50	3,10								17,0	36	20	16						
503+095	37+500	QA1a	1,50	2,00								12,3	33	21	12						
503+240	37+645	QA1a	0,80	1,10						1,72	2,03	18,0	38	20	18						
503+240	37+645	QA1a	1,80	2,30						1,78	2,12	19,2	31	17	14						
503+240	37+645	QA1a	3,30	4,00									42	23	19						
503+495	37+900	QA1a	0,80	1,30						1,65	1,94	17,5	41	23	18						
503+495	37+900	QA1a	1,30	2,95						1,67	1,98	18,5	43	23	20						
503+495	37+900	QA1a	2,95	3,50	96	95	82	3,80	14,20	1,83	2,11	15,4	32	19	13	CL				QS1	
503+695	38+100	QA1a	0,90	1,50	100	98	85	0,00	15,00	1,65	1,98	20,3	32	19	13	CL				QS1	
503+695	38+100	QA1a	2,60	4,00						1,81	2,10	15,9	43	24	19						
503+895	38+300	QA1a	0,70	1,20						2,08	2,43	16,7	34	20	14						
504+095	38+500	QA1a	1,20	3,70	100	99	89	0,00	11,00	1,64	1,97	20,0	29	18	11	CL				QS1	
506+895	41+300	QA1a	2,60	3,00						1,87	2,21	18,0	43	25	18						
507+045	41+450	QA1a	0,90	1,40	91	88	75	9,00	16,00	1,85	2,16	17,0	36	23	13	CL				QS1	
507+245	41+650	QA1a	0,90	1,40						1,83	2,12	16,0	37	23	14						
507+245	41+650	QA1a	1,00	2,20						1,87	2,21	18,0	42	24	18						
507+445	41+850	QA1a	1,00	1,50						1,65	1,93	17,0	35	22	13						
507+445	41+850	QA1a	2,70	4,00						1,78	2,13	19,6	38	20	18						
507+645	42+050	QA1a	2,60	4,00						1,74	2,05	18,0	38	20	18		1,99	8,0			
507+795	42+200	QA1a	0,80	1,60						1,70	2,06	21,0	39	20	19						
507+795	42+200	QA1a	2,60	3,80						1,76	2,09	19,0	44	23	21						
507+965	42+370	QA1a	0,00	0,70													1,90	10,0			
507+965	42+370	QA1a	2,70	3,30						1,69	2,03	20,0	38	20	18						
508+095	42+500	QA1a	1,20	1,70						1,67	1,94	16,0	37	22	15						
508+095	42+500	QA1a	2,10	4,10						1,77	2,09	18,0	43	24	19						
508+295	42+700	QA1a	1,20	1,70								12,0	38	23	15						
508+495	42+900	QA1a	0,90	3,50						1,78	2,08	17,0	45	23	22						
508+695	43+100	QA1a	0,90	1,50						1,76	2,06	16,8	44	23	21						
508+895	43+300	QA1a	1,30	1,80								12,2	32	21	11						
508+895	43+300	QA1a	2,20	3,40						1,89	2,21	17,0	40	23	17						

4. Alluvial sablonneux QAIs

Cette unité correspond aux matériaux qui constituent le terrain d'appui dans certaines zones ponctuelles du tracé. Cette unité a été séparée de l'alluvial argileux, vu qu'elle présente un plus grand contenu granulaire. Elle a tendance à paraître sous forme de lentilles de développement latéral variable, intercalées à l'intérieur de l'unité QA1a. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés en ce qui suit.

-Identification et état : Il s'agit d'une argile assez sableuse. Le pourcentage moyen en argile est de 74% et celui en sable de 26%.

-La densité naturelle moyenne : est de 2.1 g/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.40 mm, la limite liquide moyenne est de 34, la limite plastique moyenne de 18 et l'indice de plasticité de 14. Dans aucun cas l'humidité naturelle a dépassé les valeurs limites. Selon la classification de Casagrande, il s'agit d'argiles de plasticité moyenne- basse (CL).

-Résistance : D'après les résultats obtenus par les essais de pénétration dynamiques, il est possible de déduire qu'il s'agit de matériaux de compacité moyenne-basse. Les valeurs de N_{spt} obtenues varient entre 8 et 15.

-Expansivité et déformabilité : Quant au potentiel expansif de cette unité, selon la relation d'Oteo (1986) qui met en rapport la limite liquide avec la relation entre l'humidité et la limite plastique, ce matériau se situe dans la zone où l'expansivité est nulle. Cependant il faudra effectuer les essais de gonflement spécifiques qui vérifient cela.

-Excavabilité : Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.6. Tableau général des essais de l'Unité QAIs

P.K. PROJET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR							DENSITÉ		HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	Clas. Selon U.I.C.
			(m)					GRAVIER	SABLE	SEC	NAT		L _L	L _P	I _P		
			de	a	5	2,0	0,08										
502+745	37+150	QAIs	1,00	1,50	100	100	92	0,00	8,00			11,5	35	20	15	CL	
503+240	37+645	QAIs	2,50	3,30	100	99	63	0,00	37,00	1,80	2,04	13,3	30	18	12	CL	QS1
503+695	38+100	QAIs	1,50	2,60	100	100	85	0,00	15,00	1,70	2,04	19,8	32	20	12	CL	QS1
503+895	38+300	QAIs	1,40	1,60						2,06	2,40	16,5	40	23	17		
504+095	38+500	QAIs	1,60	2,30									32	18	14		
504+345	38+750	QAIs	0,90	1,20						1,63	1,95	19,6	35	19	16		
504+595	39+000	QAIs	0,80	1,30								13,0	34	22	12		
N° de VALEURS					3	3	3	3	3	4	4	6	7	7	7		
VALEUR MOYENNE					100,0	99,7	80,0	0,0	20,0	1,80	2,11	15,6	34,0	20,0	14,0		
DÉVIATION TYPIQUE					0	0,6	15,1	0	15,1	0,2	0	3	3	2	2		
VALEUR MAXIMALE					100	100	92	0	37	2,06	2,40	20	40	23	17		
VALEUR MINIMALE					100	99	63	0	8	1,63	1,95	12	30	18	12		

5. Coluvial QCA

Cette unité correspond aux matériaux qui constituent le terrain d'appui de 1.5 km du tracé, aux alentours du P.K.506+000. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés à continuation.

-Identification et état : Il s'agit d'argiles avec quelque peu de sable et des indices de graviers. Le pourcentage moyen en argile est de 83% et celui en sable de 15%.

-La densité naturelle moyenne : est de 2.1 gr/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.40 mm, la limite liquide moyenne est de 38,3, la limite plastique moyenne de 38,3 et l'indice de plasticité de 15,7. Dans aucun cas l'humidité naturelle a dépassé les valeurs limites. Selon la classification de Casagrande, il s'agit d'argiles de plasticité moyenne- basse (CL).

-Résistance : La détermination de la résistance dans ce niveau géotechnique a été réalisée à partir des essais de pénétration dynamique, étant donné son caractère cohésif. Des valeurs de N_{spt} moyennes d'entre 8 et 15 ont été enregistrées. À partir de ces valeurs, une résistance au cisaillement non drainée de quelques 70 kPa a été enregistrée, ainsi qu'une résistance à la compression simple d'environ 1,5 kg/cm². Il est néanmoins nécessaire de réaliser des essais spécifiques afin de confirmer les valeurs indiquées

-Expansivité et déformabilité : Quant au potentiel expansif de cette unité, selon la relation d'Oteo (1986) qui met en rapport la limite liquide avec la relation entre l'humidité et la limite plastique, ce matériau se situe dans la zone où l'expansivité est nulle. Cependant il faudra effectuer les essais de gonflement spécifiques qui vérifient cela.

-Compacité 1 essai de Proctor modifié a été réalisé. Il a donné une valeur moyenne de densité maximale de 1,99 gr/cm³ et une humidité optimale de 8%.

-Excavabilité Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.7. Tableau général des essais de l'Unité Qca

P.K. PROJET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR					DENSITÉ		HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PRÓCTOR M		Clas. Selon U.I.C.
			(m)					GRAVIER	SABLE						D _{max}	W _{opt}	
			de	a	5	2,0	0,08				L _L	L _P	I _P		(g/cm ³)	(%)	
505+595	40+000	QCa	0,80	1,10						13,0	38	23	15				
505+595	40+000	QCa	1,70	4,00					1,78	2,10	18,0	39	22	17			
505+745	40+150	QCa	0,00	0,60	98	98	83	2,20	15,30		14,5	32	19	13	CL		QS1
505+745	40+150	QCa	0,70	1,50					1,83	2,14	17,2	43	24	19	1,99	8,0	
505+895	40+300	QCa	1,90	2,30							18,0	32	20	12			
506+095	40+500	QCa	1,90	2,40							12,6	39	23	16			
506+095	40+500	QCa	2,40	4,10					1,76	2,06	17,0	33	20	13			
506+305	40+710	QCa	1,10	1,60							12,3	41	25	16			
506+305	40+710	QCa	1,80	3,30					1,78	2,13	19,6	43	23	20			
506+475	40+880	QCa	1,80	2,30							12,0	40	25	15			
506+475	40+880	QCa	2,20	4,30							14,6	42	26	16			
N° de VALEURS					1	1	1	11	1	4	11	10	10	10	1	1	
VALEUR MOYENNE					97,8	97,8	82,5	2,2	15,3	1,8	15,3	38,3	22,7	15,6	1,99	8,0	
DÉVIATION TYPIQUE					0	0	0	0	0	0	3	4	2	2	0	0	
VALEUR MAXIMALE					98	98	83	2	15	2	20	43	26	20	2	8	
VALEUR MINIMALE					98	98	83	2	15	2	12	32	19	12	2	8	

IV.4.2 SUBSTRAT

1. Micaschistes MC

Cette unité correspond aux matériaux paléozoïques qui constituent le substrat de la zone d'étude. Quand ils ont été interceptés par les reconnaissances, ils apparaissent avec un degré d'altération IV, dans lequel la roche est altérée, avec des noyaux sains plus grands de 25 cm². Ceci fait que les essais effectués sur cette unité ont été réalisés sur la partie altérée, contenant des minéraux argileux. Les principaux paramètres géotechniques qui définissent ce niveau sont exposés à continuation.

-Identification : et état Il s'agit de graviers anguleux assez argileux.

-La densité naturelle moyenne : est de 2,15 g/cm³. Quant à la plasticité des fines qui passent par le tamis 0.40 mm, la limite liquide moyenne est de 34,5, la limite plastique moyenne est de 19 et l'indice de plasticité est de 15,5%. Dans aucun cas l'humidité naturelle a dépassé des valeurs limites.

-Résistance : Les résultats obtenus par les essais de pénétration dynamiques, ont donné des valeurs supérieur à 50 tel qu'attendu. Afin d'obtenir des valeurs de résistance à la compression simple de ces matériaux, il est nécessaire de réaliser des essais spécifique.

-Expansivité et déformabilité : Quant au potentiel expansif de cette unité, selon la relation d'Oteo (1986) qui met en rapport la limite liquide avec la relation entre l'humidité et la limite plastique, ce matériau se situe dans la zone où l'expansivité est nulle. Cependant il faudra effectuer les essais de gonflement spécifiques qui vérifient cela

-Compacité : 2 essais de Proctor modifié ont été réalisés. Ils ont donné une valeur moyenne de densité maximale de 2,04 g/cm³ et une humidité optimale de 9%.

-Excavabilité : Cette unité est excavable avec des moyens mécaniques simples.

Tableau IV.8. Tableau général des essais de l'Unité Mc

P.K. PROJET	Sond. A PELLE	UNITÉ	PROFONDEUR		DENSITÉ		HUM. (%)	LIMITES DE ATTERBERG			CLAS	PRÓCTOR M		
			(m)		SEC	NAT		L _L	L _P	I _P		D _{máx} (g/cm ³)	W _{opt} (%)	M.O. (%)
			de	a										
504+795	39+200	Mc	1,70	3,40			14,0	25	15	10		2,15	8,0	
506+690	41+095	Mc	2,10	2,30	1,79	2,15	20,0	44	23	21		1,93	10,0	0,00
	N° de VALEURS				1	1	2	2	2	2		2	2	1
	VALEUR MOYENNE				1,8	2,1	17,0	34,5	19,0	15,5		2,04	9,0	0,0
	DÉVIATION TYPIQUE				0	0	3	10	4	6		0	1	0
	VALEUR MAXIMALE				2	2	20	44	23	21		2,15	10	0
	VALEUR MINIMALE				2	2	14	25	15	10		1,93	8	0

IV.4 CONCLUSION

D'après l'étude géologique et géotechnique de la région on est conclu deux chose très importante sont les suivante :

- ✓ Le sol support est classé en QS1 classe de faible portance
- ✓ Le sol excaver est non valable pour l'utilisation sur les remblais.

CHAPITRE V :

ETUDE HYDRAULIQUES ET

ASSAINISSEMENT

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

V.2. PRESENTATION GENERALE

Les bassins versants définis par le tracé de la LCF font partie des bassins de l'extrême Nord-Est de l'Algérie. Sur le plan administratif, la région d'étude chevauche sur les trois wilayates d'Annaba à l'Est, Guelma au Sud-Ouest et Skikda à l'Ouest. Du point de vue hydrographique, les bassins appartiennent aux bassins de la Seybouse (Code-ANRH : 14) et des Côtiers constantinois (Code-ANRH : 03). La partie Est de la zone d'étude est drainée par les oueds Boudjemaa (entre la ville d'Annaba et le village d'En Nil) et le Lac Fetzara et le canal de dessèchement (entre Oued Zied et Berrahal). La partie centrale est drainée par l'oued Kébir Ouest et ses affluents (entre Berrahal et Ras el Maa). Enfin la partie Ouest (de Ras el Maa à Ramdane Djamel) appartient au bassin de l'oued Saf-Saf.

Si les limites topographiques entre les bassins du Kébir Ouest et du Saf-Saf sont très nettes, il est par contre très difficile de tracer sur les fonds disponibles une ligne de partage des eaux entre le Nord-Ouest du bassin du lac Fetzara et le bassin du Kébir Ouest à Ain Charchar. Cette contrainte est difficile à surmonter suite à la nature topographique plus ou moins plate de cette partie de la zone d'étude, côtes variables entre 20 et 22 m (BNEDER, 2000)[8].

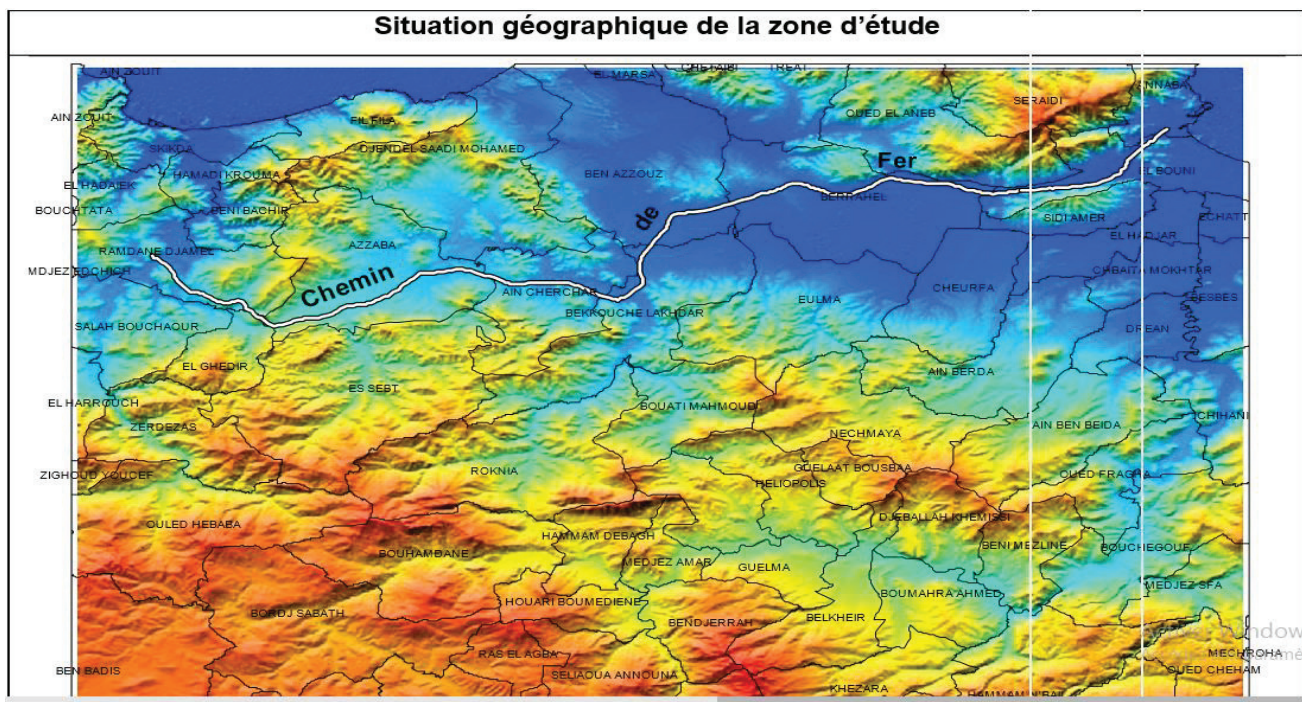


Figure V. 1. Situation géographique de la zone d'étude

➤ **la plaine de kherraza et la dépression de fetzara**

Le bassin versant de l'oued Boudjemaa à la confluence avec le canal de ceinture, appelé à l'amont Oued En Nil, se caractérise par une plaine alluviale, connue sous le nom de "Plaine de Kherraza", cette plaine à pentes faibles, voir même très faibles, se trouve coincée entre les massifs de Bougantas au Nord et les massifs de Bellilita et Bouhamra au Sud. Cette partie montagneuse du bassin, formée essentiellement de roches métamorphiques dures, se démarque par des pentes raides favorisant ainsi le développement d'un réseau hydrographique dense et ramifié à écoulement torrentiel temporaire. L'ensemble des drains (chaabets) convergent vers l'aval pour donner naissance à des petits oueds dont l'écoulement trouve des difficultés à atteindre l'exutoire naturel, la mer (entre la cité Seybouse et ASMIDAL); les pentes à l'aval étant trop insuffisantes pour permettre l'évacuation des eaux provenant de l'amont. Ce qui fait que les débordements sont très fréquents, d'où la création de grandes étendues marécageuses: marécages de BoussedraEssarouel, marécages de Bidari-Sidi Achour et marécages de Boukhadra,

La dépression de Fetzara, qui débute au Nord-Est au niveau de l'oued Ziad, s'étend sur de très grandes étendues délimitées au Nord par un ensemble de Koudiats dont les principales sont d'Ouest à Est: El Basbassa (206m), el Gsassib (226m), El Kébira (188m), Abad Rabou (203m) Tseldjia (209m) et Braika (238m). Cette dépression est limitée par le massif de Bellilita à l'Est et les monts de Dj. Mennchoura (566m) au Sud et Kt. Demni Hedra (250m) Sud-Ouest. Au Sud-Est, elle est ouverte sur la plaine de la Seybouse.

➤ **le bassin du kébir ouest**

La géomorphologie du bassin versant du Kébir Ouest est très diversifiée: plaines, cuvettes, collines et montagnes. Ces ensembles géomorphologiques sont représentés du Nord au Sud (BNEDER, 1995) par le massif montagneux septentrional, la dépression d'Azzaba, la chaîne montagneuse médiane, la chaîne montagneuse méridionale et les cuvettes (ou micro plaines) d'Essebt, Roknia et Bouati Mahmoud.

➤ **le bassin de l'oued saf-saf**

Le bassin du Saf-Saf est marqué par une forte complexité structurale où le relief a été soulevé puis plissé juste avant l'ère Quaternaire, donnant naissance aux chaînes (Horst) et dépressions (Grabens ou bassins d'effondrement) actuels, où les cours d'eau venus du sud, s'enfonçaient en gorges à travers les montagnes donnant l'allure d'une vallée encaissée.

Drainant une superficie à l'embouchure en mer de 1160 km², le bassin versant du Saf-Saf est l'un des plus grands bassins des côtiers Constantinois. Cette superficie est délimitée par une ligne de partage des eaux de 150 km. Ce bassin de forme allongée, se caractérise par un relief très fort (Dénivelée spécifiques : 530 m) dont l'altitude moyenne est de l'ordre de 320 m.

V.3. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude climatologique d'une région a pour but de définir les principaux caractères climatiques de la zone du projet, afin d'établir l'incidence qu'ils pourraient avoir sur les travaux à réaliser.

Pour l'étude des différents paramètres climatologiques de la région, nous avons pris en compte les stations météorologiques .

1. Pluviométrie

L'analyse pluviométrique est basée sur les observations d'une vingtaine de postes pluviométriques couvrant de façon satisfaisante la plus grande partie des secteurs définis dans la région étudiée. Les coordonnées sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau.V. 1. Situation des postes pluviométriques

code	station	X _{utm} (m)	y _{utm} (m)	z (m)	autorité	equipement
140606	ain berda	374311.7	4056769.4	130	ANRH	pv+pg
31302	berrahal	362522.4	4077355.4	30	ANRH	pv
31106	Azzaba	329917.3	4067800.9	96	ANRH	PV
31201	ain charchar	347176.0	4068677.2	34	ANRH	PV

PV: Pluviomètre PG: Pluviographe ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ONM: Office National de la Météorologie.

Dans la région d'Annaba-Skikda, la pluviométrie moyenne annuelle, inégalement répartie au cours d'une même année et d'une année à l'autre (CV > à 20 % pour la plupart des stations), suit un gradient altimétrique sensiblement croissant.

Tableau.V. 2. Variabilité des pluies annuelles dans les régions d'Annaba-Skikda

Code	Poste pluviométrique	Série	N	min	max	m	CV (%)
140606	Ain Berda	1970.71-2002.0	33	368.2	940.5	605.4	25
031302	Berrahal	1970.71-2003.04	33	446.0	945.4	664.7	20
031201	Ain Charchar	1970.71-2003.04	34	325.4	1157.4	658.8	29
031106	Azzaba	1975.76-2000.01	26	282.8	971.9	622.2	27

Tableau. V. 3. événements remarquables: pluies journalières maximales

code	station	pj (mm)	date
031302	berrahal	176,0	31/03/1973
031201	ain charchar	85,5	17/10/1976
031106	azzaba	81,6	11/11/1982

2. Température

Contrairement aux précipitations, les températures subissent un gradient décroissant avec l'altitude. En effet, la température moyenne varie de 15 à 16°C à Seraïdi et sur les régions des hautes altitudes et 18 à 19°C au niveau du reste de la région d'étude (voir tableau ci-dessous).

Tableau. V. 4 Températures moyennes mensuelles (en C) dans la région Annaba-Skikda 5

Station	Période	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Août	Année
Annaba	1984-2005	22.9	20.0	15.7	13.4	11.4	11.8	13.3	15.2	18.2	22.4	25.0	26.1	17.9
Pt Bouchet	1982-2003	23.3	19.7	15.5	12.4	10.8	11.5	12.5	14.4	17.9	21.4	24.4	25.3	17.4
Ain Berda	1995-2001	24.8	22.2	16.1	19.3	11.3	11.9	12.2	15.6	17.3	22.7	26.7	27.7	19.0
Seraïdi	1988-2005	19.9	16.8	11.7	8.5	7.8	8.1	10.9	12.5	17.4	21.5	24.4	24.5	15.3
Azzaba	1987-2002	24.2	21.0	16.8	14.0	12.7	12.4	14.3	15.8	19.1	21.8	24.7	26.2	18.6
Skikda	1970-2004	23.4	20.8	16.6	14.0	12.5	12.7	14.1	15.5	18.5	21.9	24.7	25.5	18.3
R. Djamel	1965-1990	23.4	20.0	16.1	13.5	12.5	12.5	13.1	15.4	17.7	21.3	24.2	25.1	17.9
Zardezas	1984-2004	22.2	18.8	13.8	10.5	9	9.3	11.6	14.1	17.9	21.8	24.4	25	16.

Les minima s'observent durant la période hivernale (Décembre - Février). A titre d'exemple, la moyenne des minima s'échelonne entre 4°C à Seraïdi et 8 à 10°C à Annaba et Skikda, stations représentatives des hautes et des basses altitudes, respectivement. Les maxima sont enregistrés au mois de Juillet et Août (plus de 27°C en moyenne)[8].

3. Evapotranspiration et bilan

L'évapotranspiration est définie comme étant la somme des quantités d'eau (exprimées en mm) évaporées par la surface du sol et transpirées par les plantes. Dans cette étude, elle est déterminée par la méthode du bilan évaporométrique de Thornthwaite au niveau de 8 stations dotées de mesures complètes des pluies et des températures et qui couvrent de façon satisfaisante l'aire d'étude. Le bilan est établi pour en moyenne toute l'année en affectant, selon la station, une valeur de 80 et 100 mm de la réserve facilement utilisable. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau. V.5. Bilan évaporométrique de Thornthwaite -Station de Ain Berda (Période : 1970-2002)

Mois	T (°C)	ETP	P	BH	RFU	ETR	DEF	EXC
S	24.8	120.2	33.7	-86.5	0.0	33.7	86.5	0.0
O	22.2	89.6	60.8	-28.8	0.0	60.8	28.8	0.0
N	16.1	40.2	75.3	35.1	35.1	40.2	0.0	0.0
D	19.3	55.6	85.1	29.5	64.5	55.6	0.0	0.0
J	11.3	19.2	91.2	72.0	80.0	19.2	0.0	56.5
F	11.9	21.0	67.9	46.9	80.0	21.0	0.0	46.9
M	12.2	26.8	66.9	40.1	80.0	26.8	0.0	40.1
A	15.6	48.1	60.7	12.6	80.0	48.1	0.0	12.6
M	17.3	65.9	41.4	-24.5	55.5	65.9	0.0	0.0
J	27.7	175.3	12.8	-162.5	0.0	68.3	107.0	0.0
J	26.7	167.4	2.5	-164.9	0.0	2.5	164.9	0.0
A	27.7	166.7	6.9	-159.8	0.0	6.9	159.8	0.0
Année	19.4	996.15	605.2	-390.95	-	449.13	547.02	156.07

P: précipitations ETP: évapotranspiration potentielle ETR: évapotranspiration réelle
DA : déficit agricole EXC : excédent NMDef: nombre de mois déficitaires PDéf: période

V.4.CARACTERISTIQUE 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.

La superficie (S) des bassins, exprimée en km², est déterminée avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage des eaux est faite sur les cartes d'état-major à différentes échelles selon l'importance des bassins versants

La superficie est mesurée à l'aide d'un planimètre.

Les paramètres suivants :

- Surface • Longueur de l'oued •Altitude max •Altitude min • Temps de concentration
- Indice de pente globale

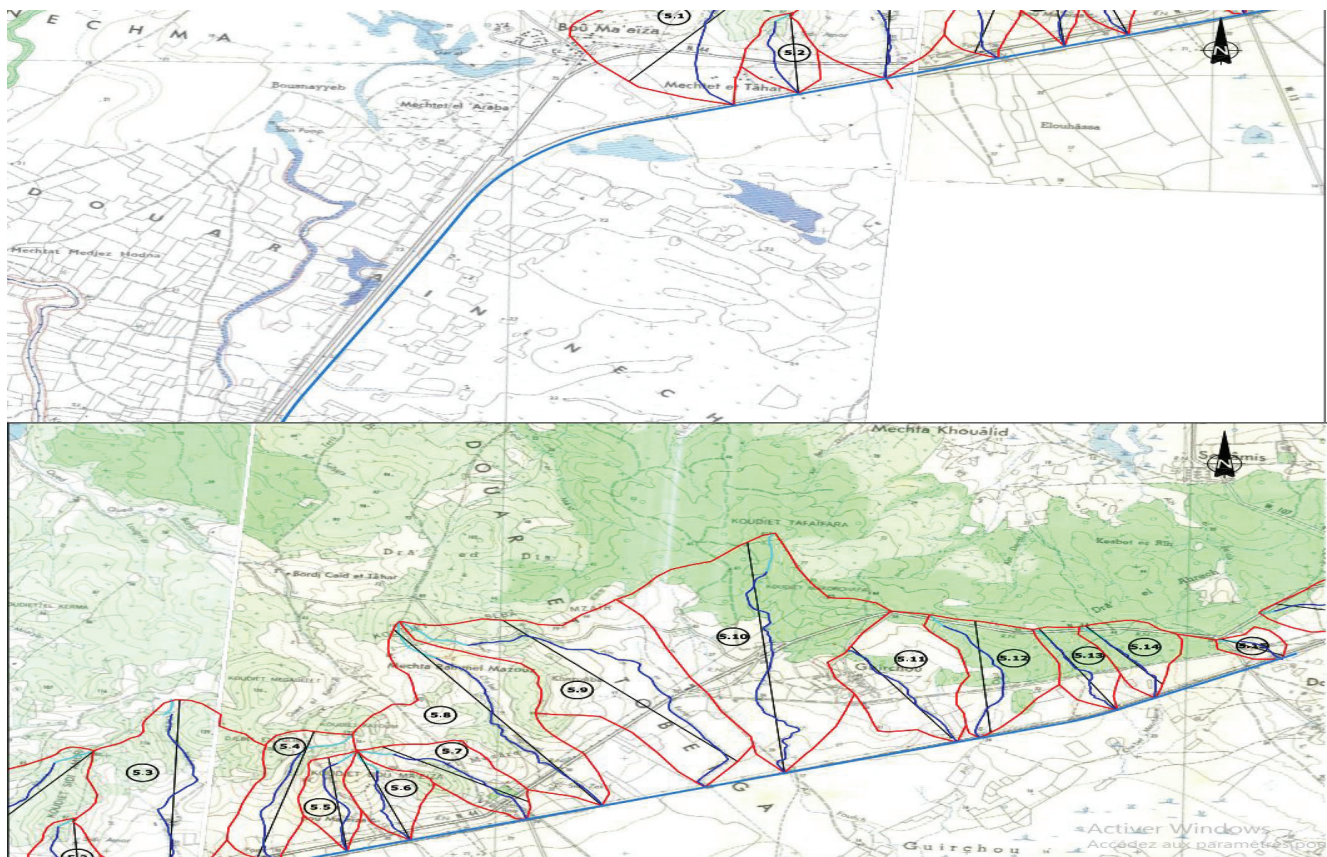


Figure V. 2. PLANS DES BASSINS VERSANTS

Code	A (km ²)	P (km)	Kc	Lbv (Km)	Zmax (m)	Zmin (m)	Dbv (m)	lbv (m/m)
5.1	1,259	4,977	1,24	1,813	102	23	79	0,0416
5.2	0,196	2,042	1,29	0,892	97	24	73	0,0788
5.3	1,387	4,879	1,16	1,944	129	25	104	0,0514
5.4	0,470	3,625	1,48	1,414	126	27	99	0,0653
5.5	0,234	2,449	1,42	0,999	132	28	104	0,0956
5.6	0,273	2,314	1,24	0,995	132	28	104	0,1013
5.7	0,378	2,872	1,31	1,044	132	29	103	0,0878
5.8	1,195	5,943	1,52	2,225	132	26	106	0,0454
5.9	1,515	6,48	1,47	2,030	112	19	93	0,0376
5.10	1,953	7,295	1,46	2,447	83	17	66	0,0249
5.11	0,727	3,653	1,20	1,134	56	23	33	0,0283
5.12	0,564	3,415	1,27	1,184	53	24	29	0,0218
5.13	0,244	2,303	1,31	0,980	47	25	22	0,0215
5.14	0,280	2,247	1,19	0,767	46	30	16	0,0190
5.15	0,094	1,212	1,11	0,404	38	30	8	0,0184

Tableau. V.6 Caractéristiques géométriques et orographiques des bassins

Code BV	Thalweg principal				Plus long cheminement hydraulique				Tc (min)
	Ltp (km)	Ztp (m)	Zmin (m)	ltp (m/m)	Lplp (km)	Zplp (m)	Zmin (m)	lplp (m/m)	
5.1	1,724	65	23	0,024	1,993	102	23	0,040	60
5.2	0,813	75	24	0,063	0,963	97	24	0,076	25
5.3	1,938	85	25	0,031	2,108	95	25	0,033	60
5.4	1,244	91	27	0,051	1,634	126	27	0,061	45
5.5	1,018	105	28	0,076	1,195	132	28	0,087	30

Code BV	Thalweg principal				Plus long cheminement hydraulique				Tc (min)
	Ltp (km)	Ztp (m)	Zmin (m)	ltp (m/m)	Lplp (km)	Zplp (m)	Zmin (m)	lplp (m/m)	
5.6	0,801	99	28	0,089	1,060	132	28	0,098	25
5.7	1,121	99	29	0,062	1,340	132	29	0,077	30
5.8	1,970	78	26	0,026	2,456	112	26	0,035	60
5.9	2,663	75	19	0,021	3,158	112	19	0,029	75
5.10	2,476	60	17	0,017	2,903	82	17	0,022	75
5.11	1,202	52	23	0,024	1,202	52	23	0,024	45
5.12	1,364	49	24	0,018	1,510	53	24	0,019	60
5.13	0,897	45	25	0,022	1,070	47	25	0,021	45
5.14	0,728	41	30	0,015	0,937	46	30	0,017	45
5.15	0,318	36	30	0,019	0,470	38	30	0,017	30

Tableau. V.7 Caractéristiques hydrographiques des bassins versants

V.5. ETUDE HYDRAULIQUE DE LA ZONE

1. Temps de concentration

Etant l'un des paramètres les plus déterminants dans l'étude des crues, le temps de concentration d'un bassin est défini comme étant le temps mis par la goutte de pluie tombée sur le point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire. Ce paramètre dépend de plusieurs facteurs notamment, la taille, la forme, le relief du bassin, d'une part, et les caractéristiques hydraulique des axes de drainage, d'autre part.

Dépendant des caractéristiques du bassin drainé, le temps de concentration est estimé respectivement d'après Ventura, Passing, Giandothi, comme suit :

- ✓ lorsque $A < 5 \text{ km}^2$:
$$t_c = 0,127 \cdot \sqrt{\frac{A}{P}}$$
- ✓ lorsque $5 \text{ km}^2 \leq A < 25 \text{ km}^2$:
$$t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{P}}$$
- ✓ lorsque $25 \text{ km}^2 \leq A < 200 \text{ km}^2$:
$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H}}$$

Avec :

- t_c : temps de concentration (heure).
- A : surface du bassin versant (km^2).
- L : longueur du bassin versant (km).
- P : pente moyenne du bassin versant.
- H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m)

Compte tenu des disparités très marquées dans les résultats du calcul, la valeur moyenne a été adoptée puis ajustée, pour chaque sous bassin en tenant compte des conditions géomorphologiques réelles du terrain, notamment, la superficie, le plus long parcours hydraulique et la pente et Les résultats du calcul sont reportés dans le tableaux ci-dessus.

2. Intensité de la pluie [I]

Les précipitations de courtes durées sont caractérisées par la loi Intensité-Durée-Fréquence (IDF) qui est représentée par une courbe exponentielle décroissante dont les coefficients a et b sont dits paramètres de Montana. Cette loi est très importante dans la détermination des débits de projets maxima.

L'intensité maximale : $I = at^{-b}$

- a, b : paramètres de Montana.
- t : Temps exprimé en heures.
- T : période de retour exprimée en année.
- I : intensité de pluie exprimée en mm/h.

Tableau V.8 les valeurs des paramètres de Montana

Station	Ain Berda		
Durée de retour (T)	10 ans	50 ans	100 ans
$a(T)$	6,14	8,36	9,14
$b(T)$	0,369	0,361	0,366

Tableau V.9 Intensité des pluies

Code	A (km ²)	T= 10 ans	T = 50 ans	T = 100 ans	T = 1000 ans
5.1	1,259	27,1	35,0	38,2	47,8
5.2	0,196	47,4	61,4	66,9	83,7
5.3	1,387	27,1	35,0	38,2	47,8
5.4	0,470	32,5	42,1	45,9	57,4
5.5	0,234	42,2	54,6	59,6	74,5
5.6	0,273	47,4	61,4	66,9	83,7
5.7	0,378	42,2	54,6	59,6	74,5
5.8	1,195	27,1	35,0	38,2	47,8
5.9	1,515	23,5	30,4	33,1	41,4
5.10	1,953	23,5	30,4	33,1	41,4
5.11	0,727	32,5	42,1	45,9	57,4
5.12	0,564	27,1	35,0	38,2	47,8
5.13	0,244	32,5	42,1	45,9	57,4
5.14	0,280	32,5	42,1	45,9	57,4
5.15	0,094	42,2	54,6	59,6	74,5

NB : pour notre projet **T=100ans**

3. Calcul du débit maximum par la méthode de Burkli-Ziegler

L'équation de Burkli-Ziegler est une modification de la formule rationnelle qui introduit de façon explicite la forme du bassin dans la procédure de calcul. La formule rationnelle considère implicitement la forme du bassin à travers la détermination du temps de concentration et d'intensité des pluies. Cependant, la méthode de Burkli-Ziegler insiste

d'avantage sur l'effet de la pente du bassin sur le débit de pointe. Développée en Europe, cette équation est recommandée pour l'estimation des débits de crue pour les bassins non jaugés. Elle prend la forme (Watt, 1983):

$$Q(T) = C \times I(T) \times A(s/A)^{0,25}$$

Dans laquelle s dénote la pente du bassin (‰). Les autres termes étant définis plus haut, ils sont néanmoins exprimés dans le système d'unité anglo-saxon: Q_T (cfs : $1 \text{ m}^3/\text{s} = 35.3 \text{ cfs}$), I_T (in/h : $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$) et A (acres : $1 \text{ acre} = 0,4047 \text{ ha}$). Le coefficient de ruissellement C est identique à celui de la formule rationnelle.

Bien que cette formule paraisse simple d'usage, elle est cependant totalement dépendante de la sélection correcte du coefficient de ruissellement qui dépend de l'occupation du sol et bien d'autres facteurs. Dans l'étude actuelle, les valeurs du coefficient de ruissellement pour chaque sous bassin, de la même manière que le NCR, par recoupement entre plusieurs valeurs présentées dans la littérature (voir tableau ci-dessous).

Tableau V.10 Estimation du coefficient de ruissellement

Code	Pente (%)	Forêt (%)	Autres (%)	C-Forêt	C-Autres	C
5.1	4,16	33,00	67,00	0,18	0,46	0,37
5.2	7,88	20,00	80,00	0,25	0,60	0,53
5.3	5,14	50,00	50,00	0,18	0,46	0,32
5.4	6,53	8,33	91,67	0,25	0,60	0,57
5.5	9,56	0,00	100,00	0,25	0,60	0,60
5.6	10,13	16,67	83,33	0,25	0,60	0,54
5.7	8,78	10,00	90,00	0,25	0,60	0,57
5.8	4,54	25,00	75,00	0,18	0,46	0,39
5.9	3,76	10,00	90,00	0,18	0,46	0,43
5.10	2,49	40,00	60,00	0,18	0,46	0,35
5.11	2,83	10	90,00	0,18	0,46	0,43
5.12	2,18	67	33,00	0,18	0,46	0,27
5.13	2,15	67	33,00	0,18	0,46	0,27
5.14	1,90	75	25,00	0,13	0,37	0,19
5.15	1,84	10	90,00	0,13	0,37	0,35

Tableau V.10 calcul de débit avec la méthode de Burkli-Ziegler

Code	A (km2)	Ibv (m/km)	C	A (acres)	(Ibv/A)^0,25	Q10	Q50	Q100	Q1000
5.1	1,259	41,606	0,37	310,97	0,60	2,076	2,686	2,931	3,663
5.2	0,196	78,822	0,53	48,41	1,13	1,524	1,972	2,151	2,689
5.3	1,387	51,417	0,32	342,59	0,62	2,049	2,651	2,892	3,615
5.4	0,470	65,301	0,57	116,09	0,87	2,071	2,681	2,924	3,656
5.5	0,234	95,567	0,60	57,80	1,13	1,840	2,381	2,598	3,247
5.6	0,273	101,318	0,54	67,43	1,11	2,126	2,752	3,002	3,752
5.7	0,378	87,762	0,57	93,37	0,98	2,430	3,145	3,431	4,289
5.8	1,195	45,400	0,39	295,17	0,63	2,165	2,801	3,056	3,820
5.9	1,515	37,631	0,43	374,21	0,56	2,370	3,066	3,345	4,182
5.10	1,953	24,853	0,35	482,39	0,48	2,082	2,694	2,939	3,674
5.11	0,727	28,277	0,43	179,57	0,63	1,764	2,283	2,490	3,113
5.12	0,564	21,849	0,27	139,31	0,63	0,717	0,928	1,012	1,265
5.13	0,244	21,505	0,27	60,27	0,77	0,458	0,593	0,647	0,808
5.14	0,280	18,968	0,19	69,16	0,72	0,343	0,444	0,485	0,606
5.15	0,094	18,412	0,35	23,22	0,94	0,355	0,459	0,501	0,626

V.6. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

1. Critère de dimensionnement

Le dimensionnement des ouvrages de drainage transversal a été effectué en analysant le fonctionnement hydraulique de l'œuvre conformément aux 8 types de fonctionnement décrits par le Bureau of Public Roads des Etats-Unis, repris dans la publication "Drainage transversal de routes. Petites œuvres de passage. Dimensionnement hydraulique " du Ministère des travaux Publics (1971).

On a adopté comme critère de conception la garantie qu'à tout moment l'œuvre transversale doit répondre à un fonctionnement avec entrée libre, ce pourquoi la percée des eaux en haut de l'œuvre de drainage doit être égale ou inférieure à 1.2 fois le diamètre ou la hauteur utile de cette dernière.

Avec ce critère on limite la capacité du conduit de ce débit par lequel la section d'entrée commence à être submergée, ce qui suppose une forte restriction des immersions admissibles à l'entrée de l'œuvre indépendamment du fait qu'ils se produisent ou non des versés vers d'autres bassins. De cette manière, la marge de sécurité exigée du calcul hydraulique est cohérente avec celle adoptée pour les calculs hydrologiques, puisque fixer des débits très conservateurs vaudrait peu (T=100 années) si la conception hydraulique de l'œuvre permettrait que celle-ci, par exemple, entre en charge ou fonctionne de manière discontinue en cas de submersion de l'entrée même pour des périodes de retour sensiblement inférieures

Pour la réalisation des calculs hydrauliques, les critères de dimensionnement suivants ont été tenus en compte :

- Les ouvrages hydrauliques existants (les ouvrages existants du tracé sont joints dans l'annexe)

- La pente des ouvrages doit être limitée pour éviter des vitesses trop élevées. La vitesse maximum acceptée sera de 6,0 m/s.

- Le degré de remplissage maximum des tuyaux et dalots est égal à 80 % pour la période de retour considérée.

- Compte tenu de la longueur des ouvrages, il n'est pas recommandé d'implanter des Buses de diamètre inférieur à 1.50 m, ceci afin de faciliter le récurage des ouvrages. Les Buses de diamètres inférieures, telles que celles de 0.8 m seront utilisées comme passages de drainages longitudinaux ou ouvrages d'irrigation type siphon uniquement, recueillant les eaux des regards, plus propres que celles des lits naturels qui génèrent beaucoup de charriage et pourraient obstruer les tubes.

- Le pourcentage de submersion ne doit pas dépasser 120% du diamètre de l'ouvrage pour le débit calculé selon la période de retour considérée.

2. Calcul de débit de saturation (Qs)

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

Ces ouvrages seront dimensionnés pour un événement pluvieux d'occurrence centennale. Le calcul de débit de saturation est déterminé par la formule de **MANNING-STRICKLER**

$$Q_s = V \times S_u \quad \text{avec : } V = K_{st} \times I^{1/2} R^{2/3}$$

Avec :

- Q_s : Débit maximum
 - V : vitesse d'écoulement d'eau (m/s).
 - S : Section utile de l'ouvrage ($b \times H_u$).
 - K_s : Coefficient rugosité (Manning Strickler) dépend de la nature des parois internes de l'ouvrage
 - I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
 - R_h : Rayon hydraulique (m).
- $R_h = S_m / P_m$ = Section mouillée / périmètre mouillé.

3. Dimensionnements des dalots

Ouvrage de sections rectangulaires ou carrées identifiés par la largeur (b) et hauteur (h). On calcule par itération les dimensions du dalot en utilisant la formule Manning-Strickler. Dans ce schéma : B : largeur nette du cadre (m)

H : hauteur nette du cadre (m)

h : hauteur de l'eau (m)

Largeur de surface d'eau :

Superficie d'eau : $A = B \cdot h$

Longueur de surface mouillée : $L = B + 2h$

A la saturation : $Q_{\max} = Q_s = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot S_m \cdot I^{1/2}$

$K_s = 70$

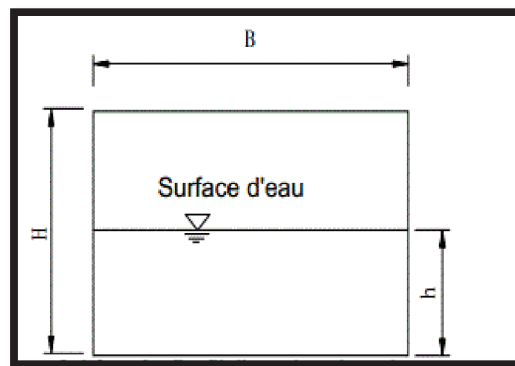


Figure V. 3. : Profil d'eau dans un dalot

NB : (Le calcul de tous les ouvrages hydrauliques du tracé sont joints dans l'annexe)

4. Dimensionnements des buses

Ouvrages de section circulaire, disposés sous le tracé, identifiés par le diamètre ($\emptyset$). Dans notre projet en béton. On calcule les dimensions de la buse de Manning-Strickler. Dans ce schéma : d : diamètre de la buse (m) ;

B : largeur de surface d'eau (m) ;

H : hauteur de l'eau (m)

$$S_m = \pi D^2 / 4 \quad R_h = D / 4$$

A la saturation : $Q_{\max} = Q_s = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot S_m \cdot I^{1/2}$

$$Q_s = K_s \cdot (D/4)^{2/3} \cdot \pi D^2 / 4 \cdot I^{1/2}$$

$$\emptyset = 2 \times \left(\frac{2^{2/3} \times Q}{\pi \times K_s \times \sqrt{I}} \right)^{3/8}$$

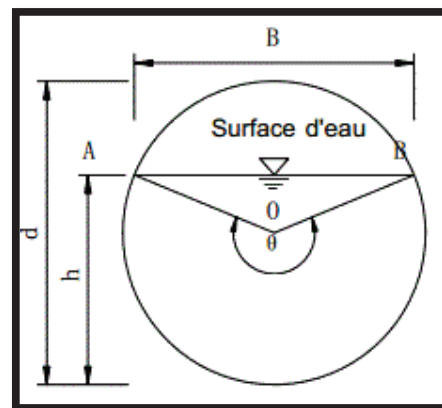


Figure V. 4 Profil d'eau dans la buse

NB : (Le calcul de tous les ouvrages hydrauliques du tracé sont joints dans l'annexe)

5. Vérification conditions d'auto curage

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

- $V > 0.6 \text{ m/s}$ pour : $Q = 0.1 \text{ Qps}$.
- $V > 0.3 \text{ m/s}$ pour : $Q = 0.01 \text{ Qps}$

6. Dimensionnement des fossés

Le projet de modernisation de la ligne ferroviaire entre Annaba et Ramdane Djamel inclut le dédoublement de certains tronçons de la voie actuelle, ainsi que de nouvelles variantes de double voie avec un tracé totalement nouveau.

Le dimensionnement du drainage longitudinal a été réalisé en considérant la localisation des nouvelles odt dans cette phase du projet comme s'il était sur l'axe de l'odt existante, malgré qu'en réalité elles soient déplacées en situation d'ouvrage à approximativement 10 m à leur droite ou gauche, dépendant de l'orographie du terrain. La variation de côte qui se produira dans la nouvelle odt due à ce déplacement sera très petit, étant donné qu'il sera le résultat de sa pente longitudinale (autour du 0.3%) pour ces 10 m (c'est à dire, autour de 3 cm).

Dû à ce fait, tout le drainage longitudinal est présenté débouchant dans l'axe de l'odt existante. On assure cependant, l'accomplissement des critères de drainage longitudinal pendant la phase d'exécution

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

Selon les résultats obtenus, on dispose de quatre types de fossé de section trapézoïde et triangulaire, de largeurs et de hauteurs variables.

On présente les caractéristiques des différents types de sections utilisées pour le drainage longitudinal Les sections type adoptées selon leur situation sont:

- Fossés en pied de déblai : types 2, 3, 4,5.
- Fossé de garde: types 3,5.
- Fossé de chemin: type 1.

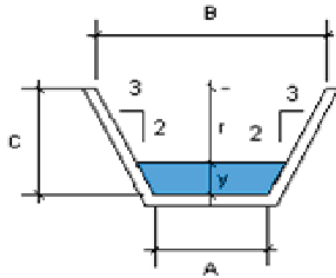
Les fossés type 2, 3, 4 et 5 seront revêtus, avec un coefficient de Manning estimé à $n = 0.014$ ($k_s = 70$) pour la détermination de la perte unitaire de charge. Le calcul du fossé a été effectué avec l'hypothèse d'un régime uniforme, étant la section transversale trapézoïdale ou triangulaire de largeur à la base et de hauteur variable, selon les débits à dériver et les caissiers de pentes $3H/2V$.

Dans le cas des fossés type 1, ceux-ci ne seront pas revêtus de bétons (en terres), vu que ce sont des fossés triangulaires de zone de chemins où le débit est relativement petit et leur fonction est de protection; pour ce type 1 on a estimé un coefficient de Manning de $n=0,025$.

Les calculs effectués pour dimensionner les fossés en pied de remblai et de déblai et de chemins qui interceptent directement l'écoulement des bassins versants sont joints dans l'annexe. Dans plusieurs cas, le régime qui se présente dans le fossé est lent, ce qui fait qu'une marge minimale de 10 cm est adoptée.

Trapézoïdale

H:1V 1,5 2
n= 0,014
n= 0,025



Type	A	B	C
1	0,00	1,00	0,30
2	0,50	1,25	0,25
3	0,50	2,00	0,50
4	1,00	1,75	0,25
5	1,00	2,50	0,50

Figure V. 5 type fosse trapézoïdale

Tableau V.11 Calcul des débits rapportés

		Déblai	Remblai
		Le cas le plus défavorable :	Le cas le plus défavorable :
		➤ Longueur=180 m	➤ Longueur=180m
		➤ H _{talus} =14m	➤ H _{talus} =3.8m
		➤ Bermes=1.5m	➤ Bermes=1.5m
		➤ Largeur de la plateforme=14.5	➤ Largeur de la plateforme=14.5m
Plateforme	Cr	0.3	0.3
	P(m/m)	0.04	0.04
	A (km ²)	0.0015	0.00315
	Tc (h)	0.05	0.06
	I(mm/h)	32.5	42.2
	Q(m ³ /s)	0.015	0.004
Les bermes	Cr	0.4	0.4
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(km ²)	0.00	0.009
	Tc (h)	0.049	0.032
	I(mm/h)	44.4	52.98
	Q(m ³ /s)	0.004	0.002
Les talus	Cr	0.4	0.4
	P (m/m)	0.5	0.5
	A (km ²)	0.0225	0.0083
	Tc (h)	0.045	0.042
	I(mm/h)	32.5	42.2
	Q(m ³ /s)	0.293	0.140
Qa (m³/s)		Q _{pf} +Q _b +Q _t =0.015+0.004+0.293= 0.312	Q _{pf} +Q _b +Q _t =0.004+0.002+0.140= 0.146

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

CHAPITRE VI :

Terrassements et assise de voie

VI.1.INTRODUCTION

L'infrastructure est la partie inférieure sur laquelle repose la voie, elle sert à répartir et à transmettre les charges induites par les trains au sol support. Dans ce chapitre, on va déterminer les différentes épaisseurs des couches constituant l'assise, aussi les différentes dispositions permettant de rendre les talus stables.

VI.2.TERASSEMENTS

La performance d'une ligne dépend principalement de la qualité de sa fondation. Ce qui nécessite des aménagements spécifiques du terrain tels que déblais, remblais, talus conçus de manière adéquate pour répondre aux charges de trafic prévues et différentes charges dynamique.

VI.2.1.Déblais

VI.2.1.1. Unités géotechniques affectées par les déblais

Les unités géotechniques susceptibles d'être affectées par les déblais dans le lot 3 sont les suivantes

Formations superficielles

- Quaternaire:

QELs.- Eluvial sablonneux: Sable jaune bariolé par du rougeâtre, avec un veinage de sable gris.

QELa - Eluvial argileux: Argile légèrement sablonneuse jaune bariolée par du rougeâtre, avec veinage de sable gris.

VI.2.1.2 Caractéristiques générales

Les pentes varient en accord avec le type de terrain, mais d'une manière générale, pour des terrains granulaires, il est possible d'avoir des talus de jusqu'à 3H:2V et pour des terrains cohésifs des talus d'entre 2H:1V et 3H:2V, suivant la hauteur de ce dernier et des conditions du terrain (possibilité d'érosion par exemple). Il est également possible d'employer des bermes en cas de besoin.

Étant donné les caractéristiques du terrain, et en accord avec les indications de la SNTF, il est nécessaire de procéder à la re-végétation du talus en sols, et ce avec une épaisseur minimale de 10 cm.

En accord avec les caractéristiques des terrains excavés, et tenant en compte les critères d'instabilité, les talus adoptés sont de 2H:1V pour des talus de plus de 4 mètres et de moins de 10 mètre d'hauteur et des talus de 3H:2V pour des talus de jusqu'à 4 mètres de hauteur. Les talus de plus de 10 mètres d'hauteur seront exécutés en talus de 2H:1V et bermes intermédiaires. Ces données devront être confirmées par les caractéristiques mécaniques des matériaux déduits des résultats des essais demandés. Le fond des déblais devra être préparé de sorte à avoir au moins 50 cm d'épaisseur avec un $E_{v2} \geq 45$ MPa et une densité supérieure ou égale à 95% de Proctor modifié. Cette épaisseur, peut-être d'avantage supérieur lorsque le terrain est très mou. Les déblais à exécuter se situent tous dans des sols, par conséquent ils ont été dimensionnés en accord avec les indications décrites dans l'annexe de drainage.

Cependant, en partant de l'hypothèse que le talus se dégradera progressivement jusqu'à un talus d'angle tendant vers l'angle de frottement du matériau, tel qu'il est possible d'observer dans les formations et pentes naturelles présentes dans les proximités de la zone d'étude, il est nécessaire d'assurer la propreté des fossés. Par ailleurs, la procédure de re-végétation des talus proposée, permettrait de réduire considérablement de cette dégradation.

VI.2.1.3 Analyse de la stabilité globale des déblais

La stabilité des déblais en sols a été analysée par le programme GSTABL 7 w/STEDwin v.2. Une fois introduites toutes les données relatives au déblai en étude (géométrie, paramètres géotechniques, niveaux piézométriques et charges), le programme génère, à partir d'une série de points préalablement choisis au pied du déblai, des possibles surfaces de rupture, pour lesquelles il détermine le coefficient de sécurité. La méthode appliquée dans ce cas est la méthode simplifiée de Bishop. Comme résultat de calcul, les 10 surfaces de rupture des plus petits coefficients de sécurité sont obtenues.

L'analyse a été effectuée pour la situation d'ouvrage terminé (longue durée), considérant acceptable un coefficient de sécurité plus grande ou égale à 1.5. Les paramètres géotechniques employés dans le calcul, ont été estimés à partir de tableaux consultés pour des terrains semblables et devront être validés par des essais effectués sur des échantillons inaltérés, et ce avant de procéder à l'exécution des déblais.

Deux études ont été réalisées pour des déblais types, dont un consiste en un déblai d'une hauteur de 4 mètre et un talus de 3H:2V et l'autre en déblai de 10 mètre d'hauteur et un talus de 2H:1V.

Les paramètres utilisés dans le calcul sont les suivants:

Densité	Cohésion	Angle de frottement
2 t/m ³	15 kPa	25°

VI.2.2.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.

VI.2.2.1 Caractéristiques générales

En accord avec les profils en travers, dans le cas du lot 5, les talus adoptés pour les remblais sont de 2H:1V.

En ce qui concerne le noyau de remblai, on pourra employer, des sols type 2.3, 3.1 et 3.2 selon la classification du tableau de l'UIC, présentée dans les Classes de qualité des terrains en accord avec la fiche UIC-719-R " Un remblai type d'une hauteur maximale de 5 mètres et des paramètres géotechniques adéquats pour un corps de remblais, tel que indiqué précédemment, a été étudié. Concrètement, les paramètres adoptés ont été les suivants[10] :

Densité	Cohésion	Angle de frottement
2 t/m ³	20 kPa	30°

Pour le terrain d'appui, étant donné le caractère cohésif du terrain, les calculs ont été effectués à court terme, et par conséquent la cohésion employée est sans drainage, déterminée à partir du nombre de coups, d'une valeur de 70 kPa. Les paramètres géotechniques employés dans le calcul, ont été estimés à partir de tableaux consultés en bibliographie pour terrains des semblables, et devront être confirmés à travers d'essais à réaliser sur des échantillons inaltérés, avant de procéder à l'exécution de ces remblais. Les calculs effectués sont inclus dans l'annexe "calculs de déblais et remblais". Les conditions de départ ont été un niveau phréatique estimé à mi-hauteur du remblai, la charge du train et en outre un calcul qui considère l'effet d'un séisme. Dans l'appui du remblai contre le terrain, il sera nécessaire d'enlever le terrain végétal. Dans le cas du lot 5 et vu la hauteur des remblais à exécuter, aucune mesure d'amélioration des terrains n'est prévue.

VI.3. COUCHE D'ASSISE

Les couches d'assise contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, la répartition de la charge, tenue du nivellement et drainage. Elle comprend la couche de ballast, la sous- couche :

VI.3.1. Ballast : est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure, matériaux granulaire qui doit avoir des qualités de haute résistance, la granulométrie du ballast comprise entre 22.4 et 63 mm ; d'épaisseur minimal de 25 cm.

VI.3.2. Souscouche : est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate- forme. Mono ou multicouche, composée de matériaux grenus (sables ou graves) bien gradués qui comporte parfois des tapis de natures diverses : feuilles étanches plastiques (géomembranes) ou feuilles en feutre synthétique anti-contaminant (géotextile).

Constituée de :

- **Sous ballast** : constitué de grave propre bien graduée comprise entre 0 et 31.5 mm, permet la transmission et la répartition des charges sur la plateforme.
- **Fondation** : on utilise une couche de fondation si certaines conditions du sol ne sont pas satisfaites, d'une épaisseur minimale de 15 cm.
- **Anti-contaminant** : protéger les sous couches supérieures de la remontée de particules fines de la plateforme ; Cette couche est éventuelle.

VI.4. COUCHE DE FORME

Elle est située sur la plate-forme dont la partie supérieure est appelée la couche de forme et qui est inclinée conformément à la sous-couche (4 % pour notre projet), son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm[10].

- **Située en remblai**, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleure.
- **Située en déblai**, cette couche de forme est obtenue en général par le compactage du fond de feuille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants.

VI.5. DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE D'ASSISE

VI.5.1. la fondation de la plateforme ferroviaire

La classe de sol prépondérante dans cette zone est de classe **QS1** Selon **UIC 719R** on peut désigner 4 classes de sol :

Tableau VI. 1 les classes de sol

Qualité	Définition
QS1	Sol impropre.
QS2	Mauvais sols acceptables tel quel, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage, ces sols peuvent-être transformés en qualité meilleure par un traitement approprié (traitement au liant).
QS3	Sol moyen
QS4	Bon sol

VI.5.2. Plate-forme

La plateforme est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

La portance d'une plate-forme dépend :

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

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes de portance de plate- forme suivante : P1 : plateforme médiocre.

P2 : plateforme moyenne.

P3 : plateforme bonne.

Selon les normes techniques (SNTF), le maître d'ouvrage a exigé une plateforme de classe P3. Pour déterminer l'épaisseur de la couche de forme, on doit utiliser le tableau (UIC 719 R page 34)[10].

Tableau VI. 2 Déterminer la classe la portance de la plate-forme (normes UIC719R p.34)

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

Donc pour obtenir une classe de plateforme bonne P3 « imposée par le maitre de l'ouvrage » de qualité QS3 on prendre une épaisseur minimale de couche de forme égale à 0.50 m.

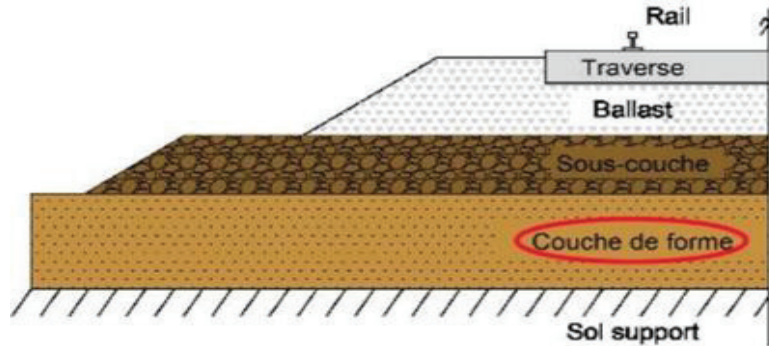


Figure VI. 1 Les différentes couches de la plateforme

VI.5.3 Calculer l'épaisseur minimale de la couche d'assise

Ces épaisseurs minimales calculées sont valables pour un espacement de traverses de 0.6 m

Et de la charge maximale d'essieu de 25 t (UIC 719R p57)[10] :

En utilisant la formule :

$$e = E + a + b + c + d + f + g$$

avec :

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

➤ Valeurs de E :

E=0.70 m pour les plates-formes de classe de portance P1. E=0.55 m pour les plates-formes de classe de portance P2. E=0.45 m pour les plates-formes de classe de portance P3.

Pour notre cas la classe de plateforme est de P3 correspondre à E=0.45m.

➤ Valeurs de a :

a=0 pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le groupe UIC.

$a = -0.05$ pour les lignes de groupes UIC 3 et 4.

$a = -0.10$ pour les lignes de groupe UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs. $a = -0.15$ pour les lignes de groupe UIC 7, 8, 9 sans voyageurs.

Notre ligne est un UIC 5 $a = -0.10$.

➤ Valeurs de b :

$b = 0$ pour les traverses en bois de longueurs $L = 2.60\text{m}$.

$b = (2.50 - L)/2$ pour les traverses en béton de longueur L . L et b en mètre (si $L > 2.5$, b peut être négatif).

On a des traverses en béton avec $L = 2.245\text{m}$.

➤ Valeurs de c :

$c = 0$ pour un dimensionnement normal. A titre exceptionnel « c » peut être pris égal à -0.05 m ou -0.10 m pour des lignes de groupe UIC 7, 8, 9 ou pour des voies de service de catégories B et C.

➤ Valeurs de d :

$d = 0$ lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 200 KN .

$d = 0.05\text{m}$ lorsque cette charge est de 225 KN . $d = 0.12\text{m}$ lorsque cette charge est de 250 KN .

La charge des trains est de 20 tonnes/essieu donc on prend $d = 0$.

➤ Valeurs de f :

$f = 0$ pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160\text{ Km/h}$ et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.

$f = 0.05$ pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.

$f = 0.10$ pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.

On prend $f = 0$ pour une vitesse $V \leq 160\text{ Km/h}$ et de portance P3.

➤ Valeurs de g :

$g = +1$ géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. $g = 0$ (pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

Tableau VI. 3 classifications de couche d'assise

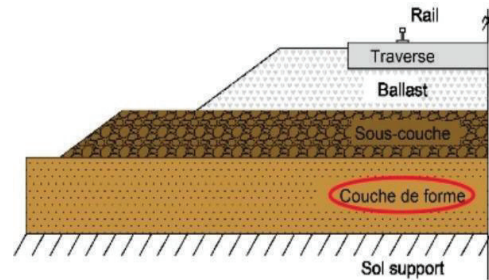
Paramètre	Valeur (m)	Critère de choix
E	0.45	Classe de plateforme P3
a	-10	lignes de groupe UIC 5 avec voyageurs
b	0.13	Traverse en béton avec $L = 2.245\text{ m}$
c	0	Dimensionnement normal
d	0	La charge maximale 20 tonnes/essieu
f	0	Plateforme classe P3 et V
g	0.01	Avec géotextile pour qualité QS1

$$e = 0.45 + (-10) + 0.13 + 0 + 0 + 0 + 0.01 = 0.49 \text{ m}$$

on prend $e = 0.5 \text{ m}$

L'épaisseur des différentes couches est :

- Ballast: 30 cm.
- Sous-ballast: 20 cm.
- Couche de forme de type QS3 : 50 cm.
- Épaisseur totale : 100cm.



VI.6. CUBATURES

Les volumes totales des différentes couches de projet sont comme ci-après :

Tableau VI Volume de terrassements et des couches de la voie

	Remblai	Déblai	Ballast	Sous Ballast	Couche de forme
Volume en m ³	1342,76	141.768,65	45407.56	26.554,21	71.254,70

VI.7.CONCLUSION

Le bon dimensionnement de différents éléments du profil en travers soit la couche d'assise ou bien les talus tout en respectant les normes permettre à la voie de supporter et transmettre la charge provoqué par le matériel roulant, minimiser l'entretien et les quantités des matériaux et garantir une longue durée de vie.

CHAPITRE VII :

Superstructure de la voie

VII.1 INTRODUCTION

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

VII.2 CATEGORIES DE LA VOIE

Il existe plusieurs catégories de voie, chacune d'elle a une vitesse maximale et une charge à l'essieu propre à elles on cite :

- ✓ **Les voies principales** : attribuées à la circulation de la voie
- ✓ **Les voies de service** : attribuées aux manœuvres.
- ✓ **Les voies de circulation** : attribuée aux grands complexes ferroviaires.
- ✓ **Les voies d'évitement** : permettent le croisement deux terrains circulant à contre sens sur une voie unique.
- ✓ **Les voies de garage** : attribuées au stationnement des terrains.

On peut classer les voies de chemins de fer en quatre groupes suivant l'écartement :

- **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 1 000mm.
- **La voie étroite** : avec un écartement inférieur à celui de la voie normale.

Tableau VII.1 les caractéristiques de la voie

Désignation	Spécification
Écartement des rails	1435 mm
type de rail utilisé	UIC 54
Longueur des rails en voie	L18 m / 288 m
Le type des traverses	la traverse bibloc VAX U 31 NAG
Le mode de fixation des rails aux traverses	NABLA
La charge à l'essieu en pleine voie / et OA	20t
La vitesse de terrain	160 km/h

VII.3 LES ARMEMENT DE LA VOIE

VII.3.1.le rail

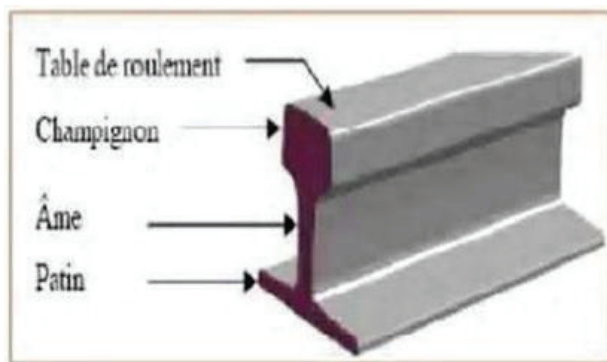
Les rails sont de longues barres d'aciers profilées qui servent principalement à la transmission des charges et permet le roulement et le guidage des véhicules. L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions.

Les deux files de rails maintiennent leur écartement à l'aide des traverses sur lesquelles elles sont fixées et qui reçoivent les charges exercées sur le rail. La masse linéaire du rail varie d'un pays à un autre et qui est en générale estimé à 54 Kg/m. le rail sert également de conducteur électrique soit pour les courants de signalisations ou pour le retour du courant de traction. Il existe trois types de rails sont :

- **Rail à patin** « sous le nom **Vignole** »
- **Rail à gorge** « **rail à ornières** » : utilisé pour les voies encastrées dans des chaussées routières.
- **Rail à double champignon** « symétrique ou dissymétrique » : aussi connue sous le nom « rail à **double bourrelet** ».

. On utilise en général les rails composés de 3 parties :

- **Un patin** : qui s'appuie sur la traverse
- **Un champignon** : constitue le chemin de roulement
- **Une âme** : relie le champignon au patin

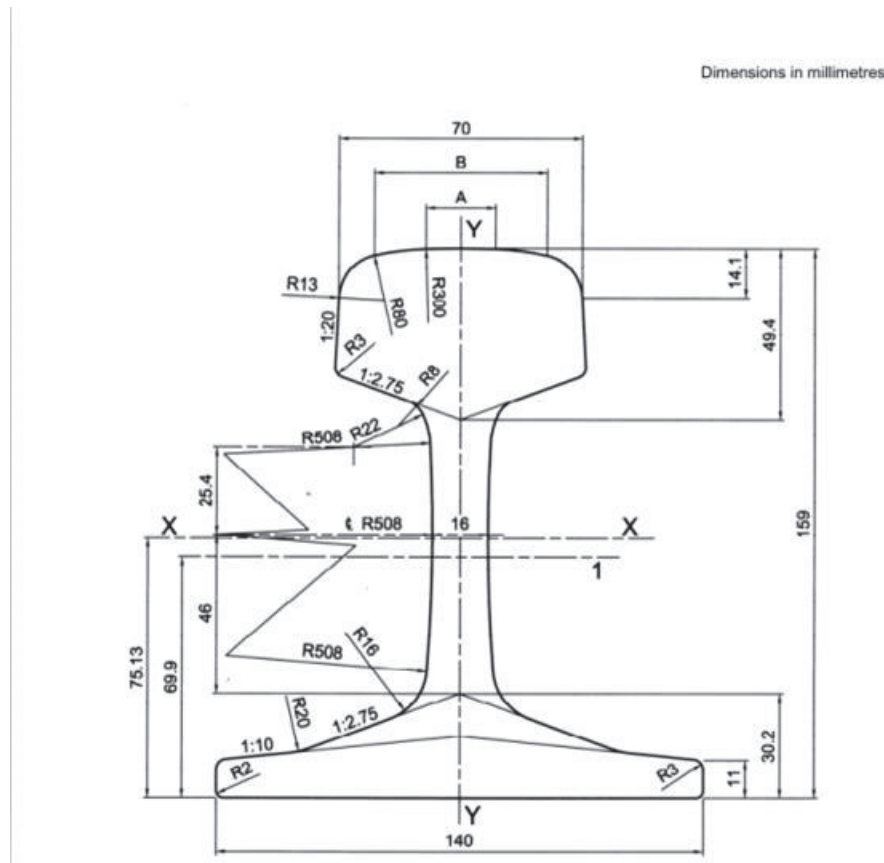


figureVII.1 nomenclature d'un rail Vignole

Dans notre projet on s'intéresse au rail à patin Vignole sera du type UIC 54 dont ces caractéristiques sont :

- Hauteur $H = 159\text{mm}$
- Largeur de table de roulement $l = 70\text{mm}$
- Epaisseur de l'âme $E = 16\text{mm}$
- Largeur du patin $L = 140\text{mm}$
- Poids métrique $P = 54.430\text{kg}$
- Section $F = 69.34\text{cm}^2$
- Moment d'inertie par rapport à l'axe neutre (horizontale) $I_x = 2346\text{cm}^4$
- Moment d'inertie par rapport à l'axe vertical $I_y = 417.5\text{cm}^4$
- Moment de résistance par rapport :

- Au champignon : $W_{xk} = 279.3 \text{ cm}^3$
- Au patin $W_{xf} = 312.8 \text{ cm}^3$
- A l'axe vertical y-y : $W_y = 59.6 \text{ cm}^3$
- Elancement : $E = 1.14$
- Equilibrage thermique : $a/b = 1.67$ Ou :
 - a : est l'entraxe des trous centraux d'éclisses.
 - b : la distance entre l'about du rail et l'axe de son premier trou.
- Les longs rails soudés sont les plus souvent constitués des rails de 18 ou 36 m.



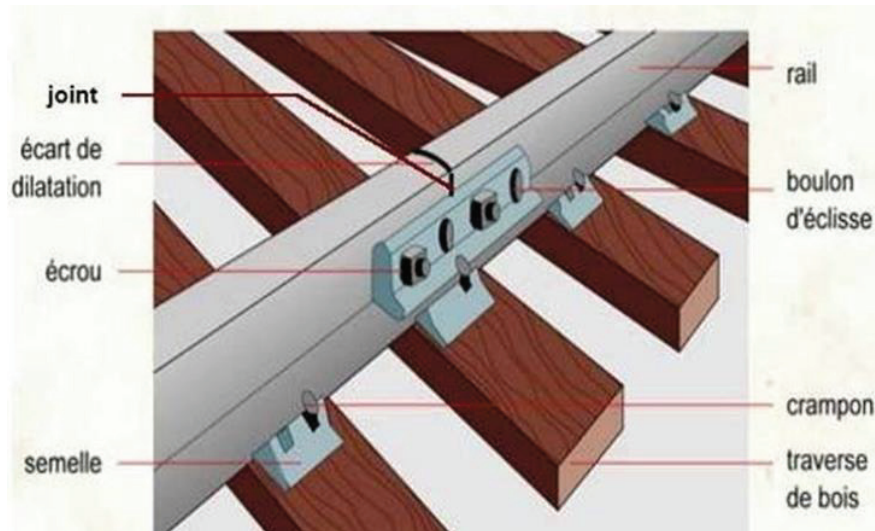
figureVII.2 caractéristiques géométriques de l'UIC 54

VII.3.2 Assemblage des rails

❖ Par éclissage

L'éclissage permet d'assembler deux rails consécutifs. Il doit satisfaire les conditions suivantes :

- Relier les rails de façon qu'ils se comportent comme une poutre continue en alignement et en nivellement.
- Avoir une résistance à la déformation qui approche d'aussi près que possible celle des rails assemblés.
- Empêche les mouvements verticaux ou latéraux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre, tout en permettant la dilatation.



figureVII.3 Assemblage du rail par une éclisse

❖ Par soudure

Ce mode consiste à raccorder entre deux pièces par des joints appropriés, les contraintes techniques qui se posent sont la résistance mécanique et la géométrie (la qualité de circulation et tenue de la voie).

- ✓ Le rail sera fourni en barres de 18 m, lesquelles seront soudées électriquement sur chantier pour permettre l'obtention de barres avec 288 m.
- ✓ Les barres avec 288 m seront transportées sur le lieu d'application et seront liées entre elles par des soudures aluminothermiques.

Long Rail Soudé :

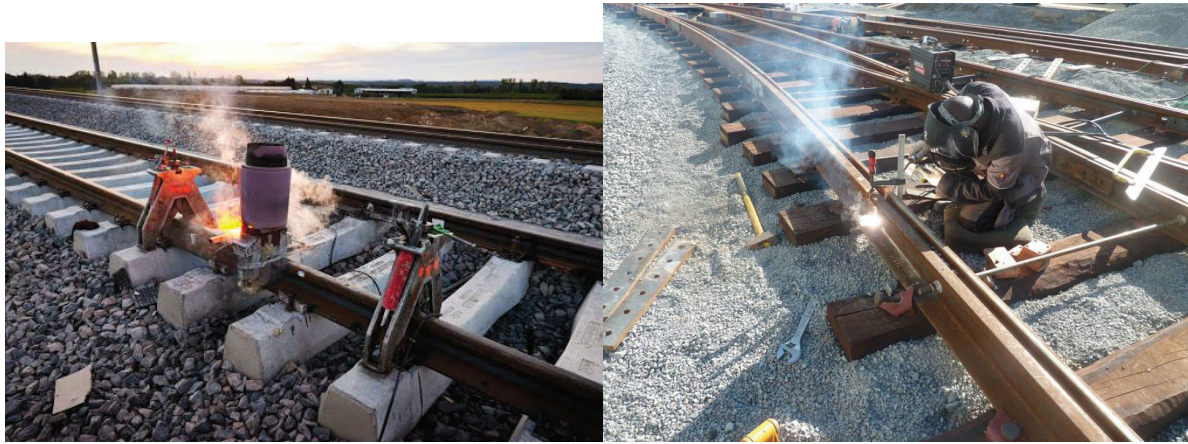
C'est un rail dans la longueur est suffisante pour au moins qu'un de ses points reste fixe quelques soit la variation de la température. Cette variation de température engendre des contraintes supplémentaires dans les rails, ces LRS sont largement utilisés dans la plupart des réseaux ferroviaires

✓ **Les avantages**

- Suppression de l'éclissage boulonné.
- Réduction des dépenses d'entretien.
- Réduction des défauts de rails.
- Amélioration du confort.
- Réduction de l'usure de la superstructure

✓ **Les inconvénients**

- Défauts de soudure.
- Les efforts longitudinaux importants.
- Résistance latérale affaiblie.
- Risque glissement latéral et flambage de la voie lors de la température élevée.



figureVII.4 Assemblage des rails par soudure

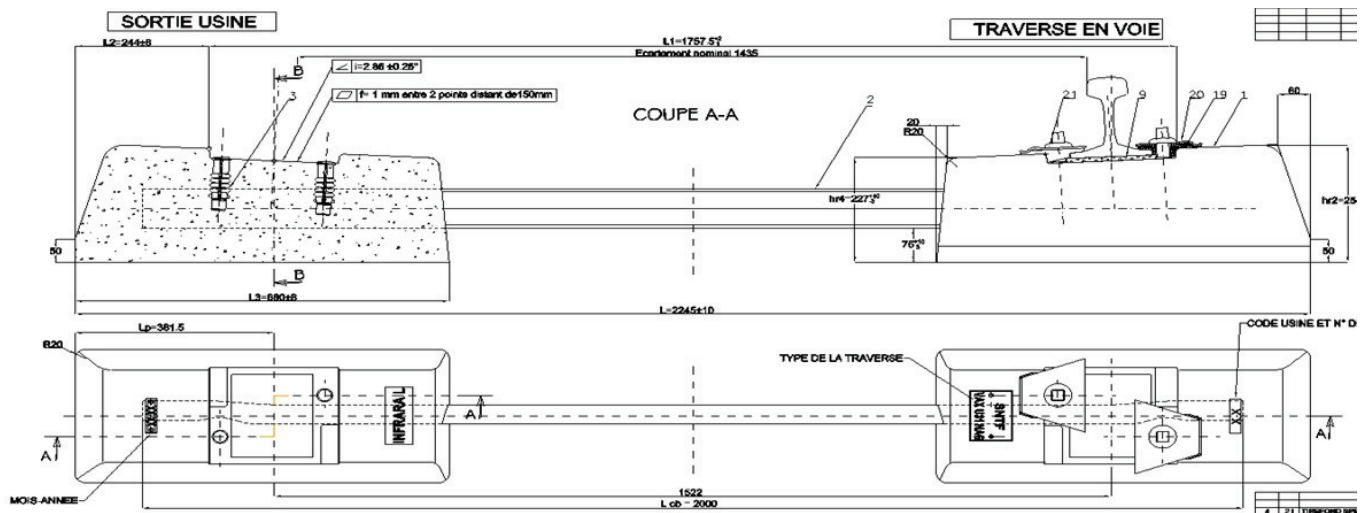
VII.3.3. Les traverses

Les traverses peuvent être en bois en acier, en béton armé ou précontrainte elles doivent remplir les fonctions suivantes [17]:

- Répartir les charges verticales transmises par le rail sur le ballast.
- Maintien l'écartement des rails.
- Renforcement et renouvellement aisé du ballast.
- Reprise des efforts latitudinaux et transversaux résultant de la dynamique des véhicules.
- Diminution de l'effet de déformation locale du sol d'infrastructure.

Dans ce cas on doit s'intéresser aux Traverses en béton, il existe deux types :

- Bi bloc : sont formés de deux blocs de béton armé appelés Blochet relié par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.
- Mono bloc : formé en un seul bloc de béton précontraint dans leur partie centrale, armée avec des fils à haute résistance



figureVII.5 traverse bibloc VAX U 31 NAG

VII.3.4 Les attaches

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

Il existe des attaches rigides comme tirefonds et crampons utilisées pour les traverses en bois, le premier type serre mal le patin, le rail alors peut se relever de la traverse, le deuxième est tellement rigide, que le rail peut soulever la traverse en se redressant, pour les traverses métalliques, il s'agit des boulons qui fixent les crapauds sur le patin. Des attaches élastiques « de types nabla utilise dans notre projet, E-clip etc. » convient aux longs rails soudés sur les traverses en béton sont les plus utilisées, ils peuvent résister d'une manière élastique aux mouvements verticaux, surtout vers le haut, ces déplacements se font sans jeu, sans chocs.



figureVII.6 attaches Nabla

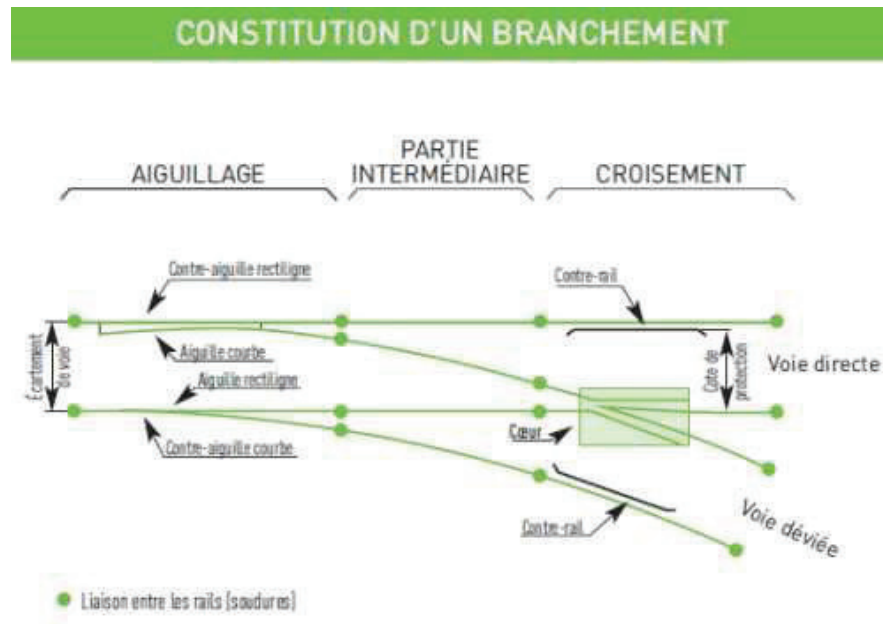
VII.3.5 Les semelles

Posée entre le rail et la traverse généralement en élastomère «caoutchouc» de 9 mm d'épaisseur à une capacité d'amortissement importante qui peut réduire considérablement les charges exercées sur les traverses.

VII.3.6 Les appareils de la voie

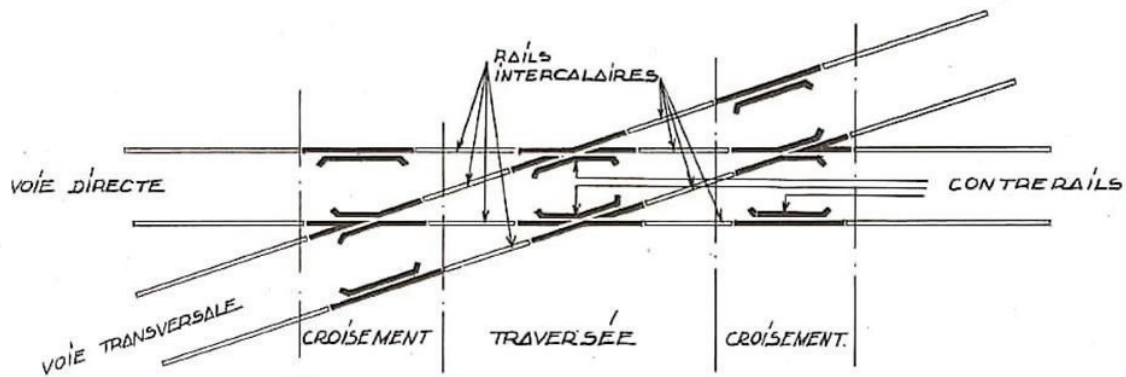
Les appareils de voie sont des dispositifs qui permettent la communication d'une voie sur une autre ou le croisement à niveau de deux voies, tout en conservant le mouvement. En effet, le conducteur d'un train n'ayant aucune maîtrise de la direction prise par le convoi, ce sont les appareils de voie qui 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. Ainsi on peut les classer suivant deux types :

- **Le branchement** : comporte deux pièces mobiles terminées en pointe ; Sur un appareil de voie de type branchement simple on distingue trois parties :
 1. la partie aiguillage qui comprend les aiguilles mobiles et les contre aiguilles
 2. la partie intermédiaire qui est assimilable à de la voie courante
 3. la partie croisement qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails



figureVII.7 Appareil de voie type branchement simple

- **Les traversées :** les traversées simples permettent le croisement à niveau d'une voie par une autre, sans qu'il ne soit possible d'agir sur l'orientation des trains



figureVII.8 Appareil de voie type traversées simples

CHAPITRE VIII :

Conception la gare de

HDJAR SOUD

VIII.1. INTRODUCTION

Un gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses installations qui ont un double fonction, permettant l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises. Ainsi que pour certaines elles assurent des fonctions de sécurité dans des trains.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents constituants d'une gare voyageurs, et de donner une conception des voies et des quais de la gare de HDJAR-SOUD.

VIII.2. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS

- **Le bâtiment de voyageurs** : est un espace destiné à l'accueil des voyageurs, il comporte un hall des guichets (ou espace de vente) ainsi qu'une ou plusieurs salles d'attente.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D)** : c'est un espace réservé aux agents de chemins de fer.
- **Quais** : une bande parallèle à la voie et permettant aux passagers d'accéder aux voitures de la rame.
- **Abris de quais** : c'est une installation sur le quai pour protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages sous terrain et les passerelles** : ils sont construits dans les gares pour permettre aux voyageurs le passage d'un quai à l'autre quai en pleine sécurité.

VIII.3. 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.

VIII.4. GARAGE FRANC

Une borne de garage franc est un signal qui indique la limite de stationnement permis du train à la voie de croisement. Théoriquement on pose ce signal à 3,57 m entre les deux voies. Compte tenu de la sécurité, il vaut mieux le poser un mètre plus loin par rapport à la position théorique.

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

$GF = 3.57 \cdot n + 1$ (1m pour sécurité)

n : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

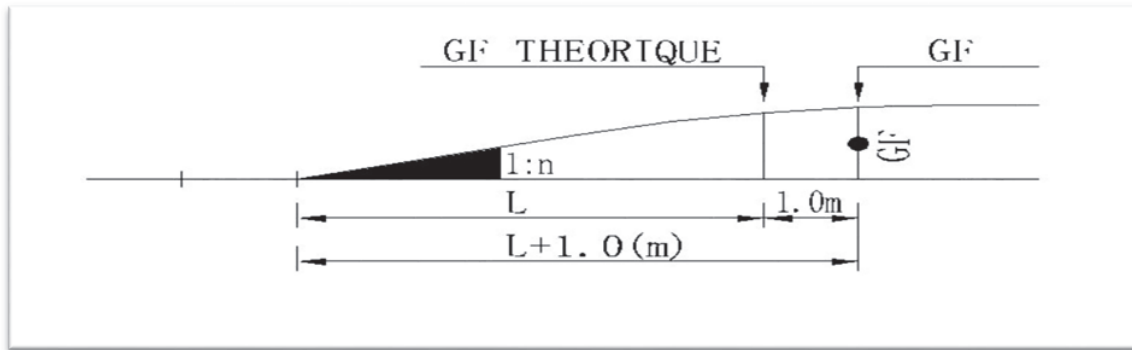


Figure VIII.1 garage franc

VIII.5. LE HEURTOIR

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée pour arrêter d'éventuel véhicule en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons,

Placé au bout des voies en impasse les heurtoirs sont construits en béton armé identiques à ceux installés sur le réseau SNTF. Ils doivent pouvoir supporter un effort de 50.00 N appliqué à 1060 mm au-dessus du niveau du rail.



Figure VIII.2 Heurtoir

VIII.6. La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs.

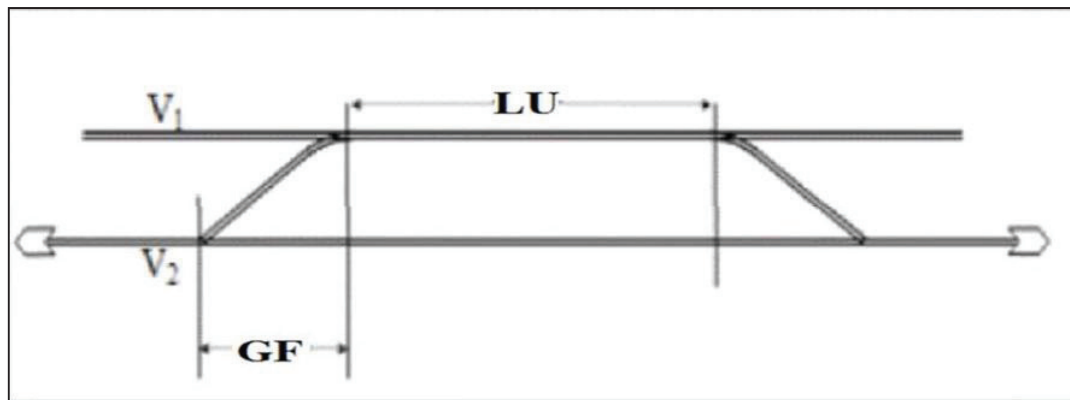


Figure VIII.3 longueur utile d'une voie

$$LU = LG + LS + LT + LA + LC.$$

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.

Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme SNTF (aménagement et gare, tracé des voies). tel que :

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m.
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie principale et la voie de service.

Tableau VIII.1. Les longueurs utiles des voies de la gare de HDJAR EL SOUD

LONGUEURS UTILES DES VOIES		
LOT	VOIE	LONGUEUR
5	1	1059.95
	2	1021.319m
	4	842.188m
	C.S V4 COTE ANNABA	182.537m
	C.S V4 COTE R.DJAMEL	14.728m
	6	265.154m

VIII.7. LOCALISATION DE LA GARE DE HDJAR SOUD

La ville de HDJAR EL SOUD s'agit d'une gare de marchandises déjà existée et une autre de voyageurs implantée au Pk 513+265 du bâtiment voyageur BV est, et cela afin d'offrir une meilleure implantation du faisceau de voies vis-à-vis du profil en long, et aussi un emplacement idéal du BV par rapport au remblai de la zone.

L'emplacement de la nouvelle gare de voyageurs de HDJAR SOUD s'adapte au plan de trace de voie et la gare existées. Le tracé insère la gare dans une zone près des constructions et activités industriels (cimenterie de hdjar soud) en voie de développement. On a intégré dans la conception du tracé un alignement suffisant qui permettra d'implanter la totalité de la nouvelle gare en alignement droit. Cet alignement droit commence au Pk512+420 et se termine au pk513+681.



Figure VIII.4 la gare de HDJAR EL SOUD

VIII.8. CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE LA GARE

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

1. les Quais**❖ La longueur de quai (normes SNTF)[11] :**

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

❖ La largeur des quais :

$$B_{\min} = (1.5 \times N_{\min} + S) / L$$

La largeur des quais est donnée par la formule suivante

$N_{\min}$: nombre de voyageurs sur le quai qui est égale à 80% des voyageurs au départ du train.

S : surface prise par les bâtiments voyageurs sur les quais.

L : longueur d'un quai est égale à la longueur du plus grand train.

1.5 : surface prise par un voyageur.

Cependant, la **SNTF** recommande pour une telle gare :

- Quai intermédiaire **$B > 8 \text{ m}$**
- Quai extérieur **$B \geq 6 \text{ m}$**

❖ Hauteur des quais :

- Quai bas **$h = 35 \text{ cm}$**
- Quai mi- haut **$h = 55 \text{ cm}$** (Normes SNTF)
- Quai haut **$76 \leq h \leq 100 \text{ cm}$**

❖ L'entre axe des quais :

- e normal $> 11.3 \text{ m}$.
- e minimal $> 9.3 \text{ m}$. (Normes SNTF)

Pour notre gare :

- **La longueur du quai :**

Pour notre gare on prend 250 m comme longueur des quais

- **Largeur des quais :**

On prend $B = 5\text{ m}$ pour les quais extérieurs, et 6 m pour les quais intermédiaires

- **Hauteur des quais :**

On prend pour notre cas $h = 55\text{ cm}$.

- **Entre-axe des quais :**

On prend: $e = 13.8\text{ m}$ (entre quai 1 et 2[11]).

2. La longueur utile de stationnement

Les longueurs utiles sont définies dans le tableau au-dessus.

3. L'entraxe entre les voies

- Entraxe nominal : $e = 5\text{ m}$
 - Entraxe minimal : $e = 4.5\text{ m}$
- L'entraxe est fixé à 5 m le long de la gare.

4. Les appareils de voie et les gares francs

Le tableau suivant décrit bien les appareils de voies utilisés ainsi que les gares de francs et ses longueurs et rayons et ses tangents.

Tableau VIII.2 type des appareils de voie et longueurs de garage franc

N°	TYPE	NOMENCLATURE	LONGUEUR	
			J.C.A-C.M	J.C.A-TALON
01	R500-1/12-	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-D	20.797	42.2780
02	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-D	20.797	42.2780
03	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-G	20.797	42.2780
04	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-G	20.797	42.2780
05	R300-1/9	BSI-C-UIC 54-300-1/9-CC-D	16.615	33.230
06	R300-1/9	BSI-C-UIC 54-300-1/9-CC-D	16.615	33.230
07	R190-1/9	BSI-C-UIC 54-190-1/9-CR-D	10.523	27.1380
08	R190-1/9	BSI-C-UIC 54-190-1/9-CR-D	10.523	27.1380
09	R190-1/9	BSI-C-UIC 54-190-1/9-CR-G	10.523	27.1380
10	R190-1/9	BSI-C-UIC 54-190-1/9-CC-G	10.523	27.1380
11	R300-1/9	BSI-C-UIC 54-300-1/9-CR-G	16.615	33.230
12	R300-1/9	BSI-C-UIC 54-300-1/9-CC-G	16.615	33.230
13	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-D	20.797	42.2780
14	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-D	20.797	42.2780
15	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-G	20.797	42.2780
16	R500-1/12	BSI-C-UIC 54-500-1/12-CC-G	20.797	42.2780

Le chariot

Il permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai. On a opté à utiliser un chariot. Il permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai. On a opté à utiliser un chariot son axe est située dans pk 513+267, elle est de largeur de 5m et cote de 27.83 m.

5. Assainissement de la gare

• Assainissement transversal

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit ou en V selon le cas de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

• Assainissement longitudinal

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

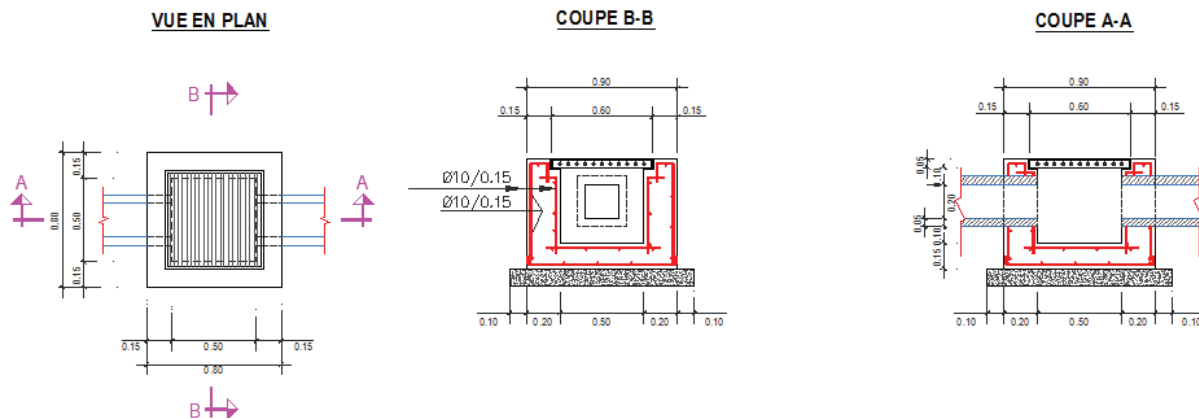


Figure VIII.5 détail de caniveau de la gare

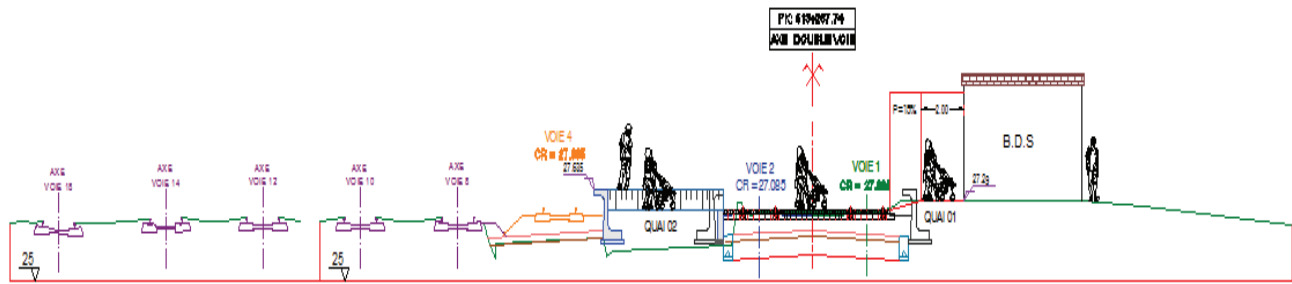


Figure VIII.6 Coupe transversal de la gare de HDJAR EL SOUD

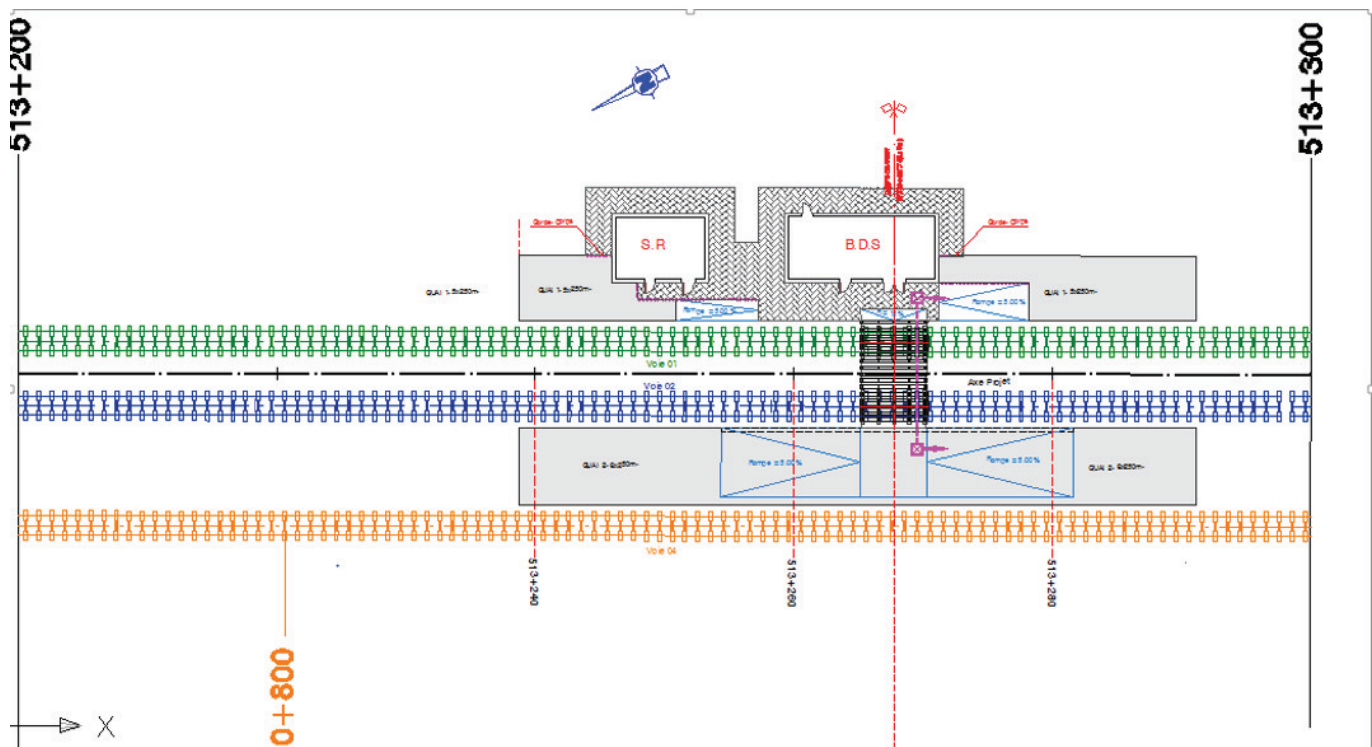


Figure VIII.7 vue en plan de la gare

VIII.9 CONCLUSION

La gare de HDJAR EL SOUD est aménagée d'une manière à satisfaire aux besoins des usagers de cette région en termes de déplacement et communication avec d'autre région.

CHAPITRE IX :

Signalisation de la voie

IX .1. INTRODUCTION

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire lui donnant, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverse, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité.

IX .2. L'OBJECTIF DE SIGNALISATION

Les objectifs de signalisation sont multiples, ont pour but d'éviter :

- Les risques inhérents à la circulation ferroviaire :
 - Le « nez à nez », quand deux trains se retrouvent face à face sur la même voie.
 - Le « rattrapage », quand le train suiveur rattrape celui qui le précède,
 - La « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train

Venant d'une autre direction

- Les risques de déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux) ;
- Les risques inhérents aux passages à niveau, intersections avec le réseau routier.

IX .3. LES DIFFERENTS TYPES DE BLOCKS

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés block, selon la catégorie de la ligne sont ci -dessous :

- **Le block manuel (B.M)**: est utilisé sur des lignes peu fréquentées, dont l'exploitation est assurée totalement manuellement. Le nombre de signaux implantés sur les voies est très réduit, les installations de commande sont simples, ce qui en fait un système économique. Cependant ce type de block ne permet pas un gros débit sur les lignes et n'est donc utilisé que sur des lignes secondaires peu fréquentées.
- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R)** : est utilisé sur des lignes secondaires. C'est un système automatique, mais la longueur des cantons est relativement importante (plusieurs kilomètres). Ce système présente l'avantage d'une sécurité accrue par rapport au block manuel (le risque d'erreur humaine est diminué), tout en restant économique car le nombre de signaux implantés reste faible. De par son fonctionnement ce type de block ne permet pas des débits élevés sur une ligne. En effet le franchissement des signaux d'espacements fermés est interdit, pour éviter des marches à vue trop longues (puisque les cantons sont longs).
- **Le block automatique lumineux (B.A.L)** : il est utilisé sur les lignes principales, les cantons sont courts, il est donc plus couteux (plus de signaux) c'est le système le plus souple pour régler les circulations des trains, avec des cantons courts, l'espacement des trains est réduit et donc : le franchissement des signaux d'espacements fermés en marche à vue y est autorisé.

IX .4. LES TYPES DE SIGNALISATION

- **La signalisation lumineuse** : Pour réaliser la signalisation lumineuse, on utilise des panneaux portants un ou plusieurs feux, ces panneaux sont constitués d'un écran noir bordé d'un liséré blanc.

Utilisent des couleurs suffisamment différenciées pour ne pas être confondues par les mécaniciens (conducteur). Ces couleurs sont le vert, le jaune, le rouge, le blanc, le violet.

- **signalisation mécanique** : il est fait usage des signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocadre de couleur
- **Signaux combinés** : Lorsque plusieurs signaux lumineux ou mécaniques sont groupés.

D'autres signaux :

- La détonation d'un ou plusieurs pétards isolés commande au conducteur de s'arrêter en urgence
- Les signaux acoustiques sont faits au moyen du sifflet ou de la trompe et sont utilisés, en plus des signaux à main
- Lorsque la visibilité d'un signal est insuffisante pour une observation correcte, on place avant le signal des mirlitons, distants de 100 mètres



Mirlitons sur mâts

- Signaux de limitations temporaires de vitesse (chantier).

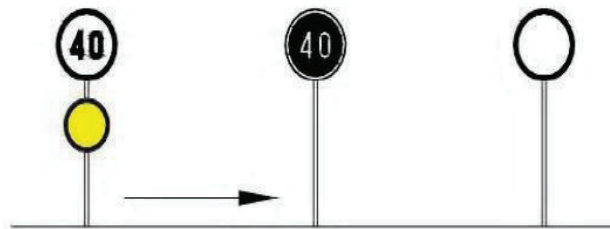
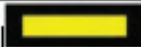
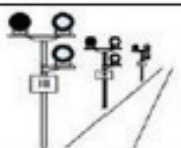
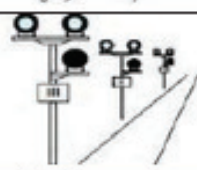
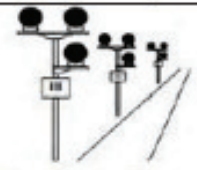


Figure IX.1. Signaux de limitations temporaires de vitesse

Tableau IX.1. Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Signal	Indication	Signalisation Lumineuse	Signalisation mécanique
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux De nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.	ou 	
Feu violet ou Carré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : carré, sémaphore, carré violet, ou d'être		

	en mesure de respecter un rouge clignotant		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
La bande lumineuse Jaune horizontale	Il commande au conducteur d'être en mesure de s'arrêter à quai sur une distance réduite		
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30 km/h Pour franchir une aiguille		
Le rappel 30 fermé			
Le ralentissement et rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60 km/h Pour franchir une aiguille		
Signal		Indication	Signalisation
Le signal d'arrêt à main		Il commande l'arrêt immédiat	
Signal lumineux de manœuvre type S.N.C. F		L'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne Verticale	
		Refouler par l'allumage alterné de deux feux blancs sur une ligne horizontale	
		Arrêter par l'extinction complète des feux présentés.	
Le signal fin de caténaire	Fin de caténaire		

Plaque d'identification	Indication
	Un signal carré
	Un sémaphore de B.A.L ou d'un feu rouge clignotant
	Un sémaphore de B.A.P.R
	Un sémaphore commandant l'entrée d'un canton de B.M
	Un disque
	Un avertissement

CHAPITRE X :

Devis estimatif et quantitatif

Tableau X. 1. Devis estimatif et quantitatif

Désignation	Unité	Prix unitaire (DA)	Quantité	Montant (DA)
Installation générale du chantier				
Installation générale du chantier	F	50 000 000	1	50 000 000
Terrassement				
Décapage de la terre végétale	M ³	250	56 757.9	14 189 475
Déblais mise en dépôt	M ³	500	141 768.65	70 884 325
Remblai de terrain meuble issu de lieux d'emprunt	M ³	3 200	1 342.76	4 296 832
Sous ballast	M ³	1700	26 554.21	45 142 157
Couche de forme	M ³	3 200	7 1254.70	228 015 040
Totale				362 527 829
Travaux de la voie				
Ballastage voie nouvelle	M ³	6 400.00	45407.56	290 608 384
Fourniture des rails UIC 54	Tonne	173880	4354	757 073 520
Fourniture des attachés NABLA	U	434.73	112904	49 082 755.92
Pose de la voie	M	6 100	41 171	251 143 100
Fourniture des traverses bi-bloc VAX U31	U	9 200	27 976	257 379 200
Soudure aluminothermique	U	17 000	298	5 066 000
Fourniture d'un branchement simple UIC 54-190 - 1:9	U	8 885 565	4	35 542 260
fourniture d'un branchement simple UIC 54-300 - 1:9	U	191 601.47	4	766 405.88
Fourniture d'un branchement simple UIC 54-500 -1 :12	U	11 550 625.23	8	92 405 001.84
Pose des branchements simples	U	251 441.52	16	4 023 064.32
Traverses de Garage Franc	U	247 746	24	5 945 904
Pose de Garage Franc	U	1140	24	27 360
Totale				17 490 629 550.96

Assainissement généraux				

CHAP X : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Fossés trapézoïdaux en béton armé (0.5×0.5)	ml	10 000	16 000	160 000 000
Dalot en béton armé (3*3)	ml	130 000	18	2 340 000
Dalot en béton armé (2*2)	ml	96 000	18	1 728 000
dalot en béton armé (2*1.5)	ml	70 000	54	3 780 000
Dalot en béton armé (2*1)	ml	48 000	162	432 000
Buse en béton armé Ø1.00	ml	25 000	90	2 250 000
Buse en béton armé Ø0.8	ml	18 000	162	2 916 000
Totale				173 446 000
TOTALE FINALE				18 076 603 379.96

LE COUT TOTAL DU PROJET

Dix-huit milliards, soixante- seize millions, six-cents trois mille trois cent soixante-dix-neuf Dinars Algérien et quatre-vingt -seize centimes (18 076 603 379.96 DA).

CONCLUSION GENERALE

De nos jours, les infrastructures de transport symbolisent le degré du développement de pays, du fait qu'elles permettent les échanges commerciaux et facilitent les déplacements et les communications.

Pour cela, l'état a investi dans le domaine ferroviaire en lançant un programme de modernisation des anciennes lignes et création de nouvelles lignes.

Le tronçon étudié fait partie du dédoublement de la voie à trafic mixte entre Annaba et Ramdan Djamel (Skikda) du PK 500+000 au PK 516+312.

L'étude d'avant-projet détaillé nous a permis d'utiliser le bagage théorique durant les années de formation à l'ENSTP en le mettant en pratique d'une part, et de préparer à l'intégration à la vie professionnelle d'une autre part.

Ce travail m'a permis de combiner entre les conditions et les exigences dans les normes (UIC, SNTF), et les conditions rencontrées dans la zone d'étude où on était obligé dans certains cas de passer par des ouvrages d'art pour minimiser le coût et améliorer le confort des voyageurs.

Finalement elle m'a familiarisée avec les outils informatiques, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, COVADIS, AUTOPISTE.

LA BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Une description morphologique précise des grains pour l'étude numérique des propriétés mécaniques du ballast ferroviaire -Noura Ouhbi
- [2] Jean Alias, *La voie ferrée, Techniques de construction et d'entretien*, 1984 2ème édition.
- [3] Granulats pour ballasts de voies ferrées, standard, AFNOR, France, 2003.
- [4] Association française de normalisation, AFNOR EN 13450:2002.
- [5] Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats –
- [6] SNTF, Référentiel technique, chapitre 06 géométrie de la voie, version 2 2005.
- [7] Code UIC 703R, caractéristiques des voies parcourues par des trains, 2ème édition 1989
- [8] Annexe Géotechnique Lot N 5 OHL
- [9] Annexe hydraulique Lot N 5 ohl
- [10] Code UIC 719R, ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires, 2ème édition 1994.
- [11] Code UIC 741-OR: quais des gares à voyageurs –Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie, 5ème édition, septembre 2007.

ANNEXE

ANNEX 1 : LISTINGS AXE EN PLAN

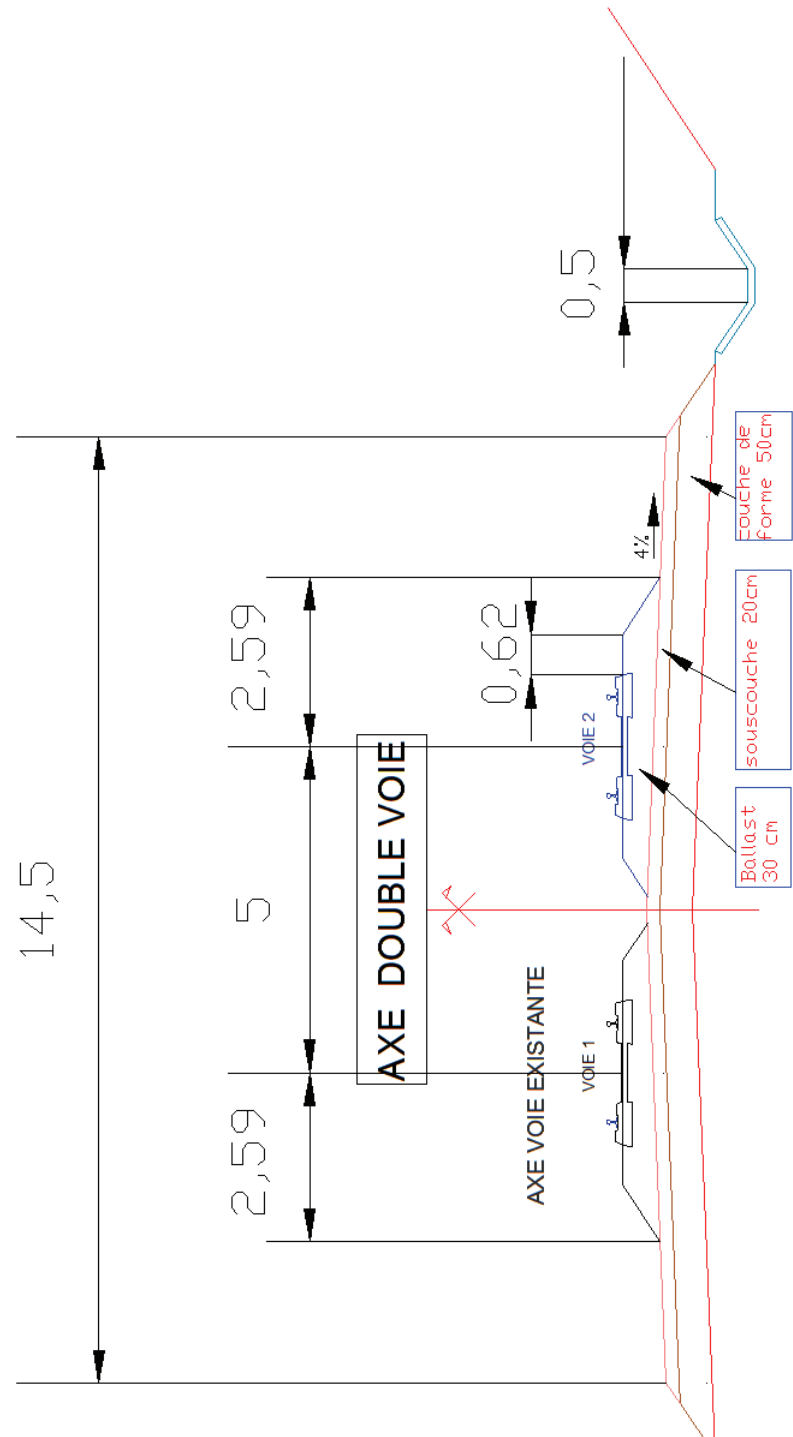
Axe En Plan					
Els Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 267.1153 g	1034.238	0.000	359778.288	4077353.083
Clothoïde 1	Paramètre -500.000	151.515	1034.238	358878.989	4076842.289
Arc 1	Rayon -1650.000 m	182.536	1185.754	358746.125	4076769.490
	Centre X 357997.925 m				
	Centre Y 4078240.100 m				
Clothoïde 2	Paramètre 500.000	151.515	1368.289	358579.193	4076695.876
Droite 2	Gisement 280.0040 g	6881.884	1519.805	358435.837	4076646.869
Clothoïde 3	Paramètre 505.000	159.391	8401.689	351890.643	4074520.661
Arc 2	Rayon 1600.000 m	1136.079	8561.080	351739.905	4074468.912
	Centre X 352309.389 m				
	Centre Y 4072973.690 m				
Clothoïde 4	Paramètre -505.000	159.391	9697.159	350902.840	4073736.331
Droite 3	Gisement 228.4589 g	2144.732	9856.550	350831.568	4073593.782
Clothoïde 5	Paramètre 505.000	80.960	12001.281	349904.422	4071659.803
Arc 3	Rayon 3150.000 m	159.292	12082.242	349869.737	4071586.650
	Centre X 352727.465 m				
	Centre Y 4070261.550 m				
Clothoïde 6	Paramètre -505.000	80.960	12241.533	349806.410	4071440.506
Droite 4	Gisement 223.6033 g	1688.260	12322.493	349776.753	4071365.174
Clothoïde 7	Paramètre 500.000	156.250	14010.753	349165.056	4069791.628
Arc 4	Rayon 1600.000 m	714.253	14167.003	349110.826	4069645.108
	Centre X 350628.627 m				
	Centre Y 4069138.868 m				
Clothoïde 8	Paramètre -500.000	156.250	14881.256	349041.007	4068940.221
Droite 5	Gisement 188.9671 g	1161.163	15037.506	349065.439	4068785.909
			16198.669	349265.667	4067642.140
Longueur totale de l'axe 16198.669 mètre(s)					

ANNEXE 2 : LISTINGS PROFIL EN LONG

Profil En Long Projet				
Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente -0.38 %	1503.701	0.000	30.168
Parabole 1	Pente -0.38 %	48.768	1503.701	24.408
	Rayon -17000.000 m			
	Sommet Absc. 1438.585 m			
	Sommet Alt. 24.533 m			
	Pente -0.67 %			
Pente 2	Pente -0.67 %	984.429	1552.468	24.151
Parabole 2	Pente -0.67 %	206.205	2536.898	17.556
	Rayon 25000.000 m			
	Sommet Absc. 2704.373 m			
	Sommet Alt. 16.995 m			
	Pente 0.15 %			
Pente 3	Pente 0.15 %	1271.628	2743.102	17.025
Parabole 3	Pente 0.15 %	90.539	4014.731	18.995
	Rayon 15000.000 m			
	Sommet Absc. 3991.493 m			
	Sommet Alt. 18.977 m			
	Pente 0.76 %			
Pente 4	Pente 0.76 %	888.831	4105.269	19.409
Parabole 4	Pente 0.76 %	251.800	4994.100	26.151
	Rayon -25000.000 m			
	Sommet Absc. 5183.727 m			
	Sommet Alt. 26.870 m			
	Pente -0.25 %			
Pente 5	Pente -0.25 %	860.146	5245.900	26.793
Parabole 5	Pente -0.25 %	67.908	6106.046	24.654
	Rayon -35000.000 m			
	Sommet Absc. 6019.003 m			
	Sommet Alt. 24.762 m			
	Pente -0.44 %			
Pente 6	Pente -0.44 %	1306.435	6173.954	24.419
Parabole 6	Pente -0.44 %	199.222	7480.389	18.635
	Rayon 45000.000 m			
	Sommet Absc. 7679.611 m			
	Sommet Alt. 18.194 m			
	Pente 0.00 %			
Pente 7	Pente 0.07 %	984.037	7679.611	18.194
Parabole 7	Pente 0.07 %	32.704	8663.648	18.836
	Rayon -28000.000 m			
	Sommet Absc. 8681.921 m			
	Sommet Alt. 18.842 m			
	Pente -0.05 %			
Pente 8	Pente -0.05 %	1250.344	8696.352	18.838
Parabole 8	Pente 0.00 %	59.548	9946.695	18.194
	Rayon 30000.000 m			
	Sommet Absc. 9946.695 m			
	Sommet Alt. 18.194 m			
	Pente 0.20 %			
Pente 9	Pente 0.20 %	1758.120	10006.244	18.253
Parabole 9	Pente 0.20 %	12.389	11764.364	21.743
	Rayon 25000.000 m			
	Sommet Absc. 11714.740 m			
	Sommet Alt. 21.694 m			
	Pente 0.25 %			
Pente 10	Pente 0.25 %	612.571	11776.753	21.770

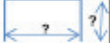
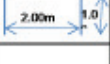
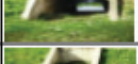
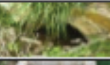
Profil En Long Projet				
Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Parabole 10	Pente 0.25 %	61.340	12389.323	23.290
	Rayon -25000.000 m			
	Sommet Absc. 12451.336 m			
	Sommet Alt. 23.367 m			
	Pente 0.00 %			
Pente 11	Pente 0.00 %	1206.152	12450.663	23.367
Parabole 11	Pente 0.00 %	46.370	13656.815	23.399
	Rayon 15000.000 m			
	Sommet Absc. 13656.412 m			
	Sommet Alt. 23.399 m			
	Pente 0.31 %			
Pente 12	Pente 0.31 %	1295.044	13703.185	23.472
Parabole 12	Pente 0.31 %	13.985	14998.228	27.510
	Rayon 28000.000 m			
	Sommet Absc. 14910.919 m			
	Sommet Alt. 27.374 m			
	Pente 0.36 %			
Pente 13	Pente 0.36 %	1186.456	15012.213	27.558
			16198.669	31.850
Longueur totale de l'axe 16198.669 mètre(s)				

ANNEXE 3 : PROFIL EN TRAVERS TYPE



ANNEXE 4 : DIMENTIENEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

4.1.Ouvrage hydraulique transversal existant

ELEMENTS	DETAIL	SENS D'ECOULEMENT	POSITION *GPS*	UTM 32	CROQUEE	PHOTO		REMARQUE
DT 5.1	BUSE Ø800mm	DROITE A GAUCHE	N 036°49,9042° E 007°25,6713°	4077360 359804				
DT 5.2	OUV: L=2,20m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°49,6732° E 007°25,1835°	4076945 359071				
DT 5.3	OUV: L=2,20m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°49,5976° E 007°25,0290°	4076809 358840				
DT 5.4	OUV: L=2,00m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°49,4356° E 007°24,5059°	4076522 358057				
DT 5.5	OUV: L=2,00m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°49,4078° E 007°24,4027°	4076472 357903				
DT 5.6	OUV: L=4,80m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°49,2863° E 007°23,9718°	4076259 357258				
DT 5.7	OUV: L=2,70m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°49,2330° E 007°23,7373°	4076166 356908				
DT 5.8	impossible de prendre des mesure	DROITE A GAUCHE	N 036°49,1330° E 007°23,4258°	4075989 356442				
DT 5.9	OUV: L=2,00m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°48,8146° E 007°22,1540°	4075433 354541				
DT 5.10	OUV: L=2,00m, H=1,00m		N 036°48,8162° E 007°22,1537°	4075435 354541				
DT 5.11	OUV: L=2,00m, H=1,00m	DROITE A GAUCHE	N 036°48,6938° E 007°21,7899°	4075218 353997				
DT 5.12	BUSE Ø1000mm	DROITE A GAUCHE	N 036°48,6640° E 007°21,6789°	4075166 353831				
DT 5.13	OUV: L=1,90m, H=?	DROITE A GAUCHE	N 036°48,5607° E 007°21,3157°	4074985 353287				
DT 5.14	2 BUSES Ø 600mm	DROITE A GAUCHE	N 036°48,3946° E 007°20,7115°	4074693 352383				
DT 5.15	2BUSES Ø 400mm 2 BUSES Ø 600mm	DROITE A GAUCHE	N 036°48,2422° E 007°20,1829°	4074425 351592				A DROITE A GAUCHE
DT 5.16	2 BUSES Ø 600mm	DROITE A GAUCHE	N 036°48,1449° E 007°20,0112°	4074249 351334				
DT 5.17	BUSE Ø 600mm		N 036°47,3157° E 007°19,4077°	4072732 350410				
DT 5.18	BUSES Ø 800mm	INCONUT	N 036°47,3168° E 007°19,4056°	4072733 350407				
DT 5.19	2 BUSES Ø 600mm	INCONUT	N 036°46,8997° E 007°19,1718°	4071968 350045				
DT 5.20	BUSE Ø 600mm	GAUCHE DROITE	N 036°46,3525° E 007°18,9016°	4070963 349626				
DT 5.21	BUSE Ø 800mm	GAUCHE DROITE	N 036°45,5640° E 007°18,5427°	4069515 349066				
DT 5.22	BUSE Ø 1000mm	GAUCHE DROITE						

4.2.Ouvrage hydraulique transversal

N°	OUVRAGE APD	P.K. APD	P.K. TRACÉ	COORDONNÉES		OUVRAGE	OUVRAGE	BASSIN	Q DIM 100	DIMENSIONNEMENT (*)	OUVRAGE ADOPTÉ (**)
				X	Y	APD	EXISTANT	VERSANT			
5.1	DT 74	34,495	500,075	359801,384	4077366,121	Ø 1000 mm	Ø 1000 mm	5.15	0,461	Ø 800 mm	Ø 1000 mm
5.2	DT 76	35,333	500,935	359072,277	4076951,464	3x3.50	3x3	5.14	0,597	Ø 800 mm	Dalot 3,00 x3,00 m
5.3	DT 77	35,602	501,202	358839,900	4076819,333	2.25x2.05	2x2	5.13	0,691	Ø 800 mm	Dalot 2,00 x 2,00 m
5.4	DT 78	36,440	502,045	358056,865	4076523,093	2.00x1.60	2x1,50	5.12	1,321	Ø 1000 mm	Dalot 2,00 x1,50 m
5.5	DT 79	36,593	502,194	357911,151	4076475,772	Marco 2.00x1.00m	2x1,20	5.11	3,009	2 Ø 1000 mm	Dalot 2,00 x1,50 m
5.6	DT 80	37,283	502,862	357255,986	4076262,955	2 Marco 2.00x1.15m	2x2x1	-	-	-	2 Dalot 2,00 x1,00 m
5.7	DT 81	37,643	503,243	358912,577	4076151,546	Marco 2.00x0.70m	2x1	5.10	4,799	Marco 2x1,30m	2 Dalot 2,00 x1,00 m
5.8	DT 82	38,145	503,725	358435,604	4075996,652	Ø 600 mm	Ø 600 mm	5.9	4,706	Marco 2x1,30m	2 Dalot 2,00 x1,00 m
5.9	DT 83	38,752	504,330	358858,286	4075809,215	Marco 2.00x1.10m	2x1	5.8	3,872	Marco 2x1,00m	Dalot 2,00 x1,00 m
5.10	DT 84	39,228	504,800	355402,821	4075661,315	2 Ø 1000 mm	x	5.7	1,3915	2 Ø 1000 mm	2 Ø 1000 mm
5.11	DT 85	39,239	504,860	355394,200	4075658,484	Ø 1000 mm	x	5.7	1,3915	(MISMA)	1000 mm
5.12	DT 86	39,639	505,215	355013,812	4075534,887	Ø 1000 mm	Ø 800 mm	ext RN44	-	-	Ø 800 mm
5.13	DT 87	40,143	505,750	354535,858	4075379,714	Marco 2.00x1.20m	2x1,10	5.6	2,237	2 Ø 1000 mm	Dalot 2,00 x1,00 m
5.14	DT 88	40,546	506,150	354152,599	4075255,239	Ø 1000 mm	Ø 1000 mm	5.5	1,948	Marco 2x1,00m	Dalot 2,00 x1,00 m
5.15	DT 89	40,707	506,310	353999,031	4075205,530	Marco 2.00x1.10m	2x1,10	5.4	2,667	2 Ø 1000 mm	Dalot 2,00 x 1,50 m
5.16	DT 90	40,881	506,485	353834,161	4075151,796	Ø 1000 mm	Ø 1000 mm	peq. cauce	-	-	Ø 1000 mm
5.17	DT 91	41,448	507,050	353294,750	4074976,680	Marco 2.00x1.10m	Marco 2.00x1m	5.3	3,738	Marco 2x1m	Dalot 2,00 x 1,00 m
5.18	DT 92	42,367	507,967	352421,031	4074692,853	2 Ø 800 mm	2 Ø 600 mm	5.1	3,824	Marco 2x1m	Dalot 2,00 x1,00 m
5.19	DT 93	43,216	508,820	351617,781	4074416,776	2 Ø 800 mm	2 Ø 600 mm	-	-	-	2 Ø 800 mm
5.20	DT 94	43,545	509,150	351337,679	4074245,170	2 Ø 800 mm	2 Ø 600 mm	-	-	-	2 Ø 800 mm
5.21	DT 95	44,674	510,250	350702,430	4073324,288	Ø 800 mm	Ø 600 mm	-	-	-	Ø 800 mm
5.22	DT 96	45,338	510,950	350415,371	4072725,534	Ø 800 mm	Ø 800 mm	-	-	-	Ø 800 mm
5.23	DT 97	46,175	511,815	350054,787	4071973,422	Ø 600 mm	Ø 600 mm	-	-	-	Ø 800 mm

4.3. Dimensionnement des dalots et buses

pk	N	Ouvrage prévu	Ø (m)	h (m)	b (m)	S _m (m ²)	P _m (m ²)	R _h (m)	K _s	Q (m ³ /s)	Q _s (m ³ /s)
500+85	1	Buse	1	-	-	0.79	3.14	0.25	70	0.461	2.21
500+925	2	Dalot	-	3	3	9	9	1	70	0,597	63
501,192	3	Dalot	-	2	2	4	6	0.66	70	0,691	21.28
502,036	4	Dalot	-	2	1.5	3	7.5	0.4	70	0,691	11.47
502,184	5	Dalot	-	2	1.2	4.4	5.2	0,85	70	1,321	27.66
502,872	6	2Dalot	-	2	1	2	5	0.50	70	3,009	17.72
503,233	7	Dalot	-	2	1.3	2.6	5.3	0.50	70	-	11.51
503,735	8	Dalot	-	2	1.3	2.6	5.3	0.5	70	4,799	11.51
504,342	9	Dalot	-	2	1	2	5	0.4	70	4,706	7.64
504,800	10	2Buses	1	-	-	0.79	3.14	0.25	70	3,872	4.42
504,860	11	Buse	1	-	-	0.79	3.14	0.25	70	1,391	2.21
505,230	12	Buse	0.8	-	-	0.50	0.2	0.25	70	-	1.4
505,733	13	Dalot	-	2	1.2	4.4	5.2	0.85	70	2,237	27.66
506,136	14	Dalot	-	2	1	2	5	0.50	70	1,948	17.72
506,297	15	Dalot	-	2	1.2	4.4	5.2	0.85	70	2,667	27.66
506,471	16	Buse	1	-	-	0.79	3.14	0.25	70	-	2.21
507,038	17	Dalot	-	2	1	2	5	0.50	70	3,738	17.72
507,957	18	Dalot	-	2	1	2	5	0.5	70	3,824	17.72
508,806	19	2Buse	0.8	-	-	0.5	0.2	0.25	70	-	2.8
509,135	20	2Buses	0.8	-	-	0.5	0.2	0.25	70	-	2.8
510,268	21	Buse	0.8	-	-	0.5	0.2	0.25	70	-	1.4
510,932	22	Buse	0.8	-	-	0.5	0.2	0.25	70	-	1.4
511,766	23	Buse	0.8	-	-	0.5	0.2	0,25	70	-	1.4
513,783	24	Buse	1	-	-	0.79	3.14	0.25	70	-	2.21
514,457	25	Buse	0.8	-	-	0.5	0.2	0,25	70	-	1.4
515,550	26	Buse	1	-	-	0.79	3.14	0.25	70	-	2.21

4.4.vérification de l'auto curage

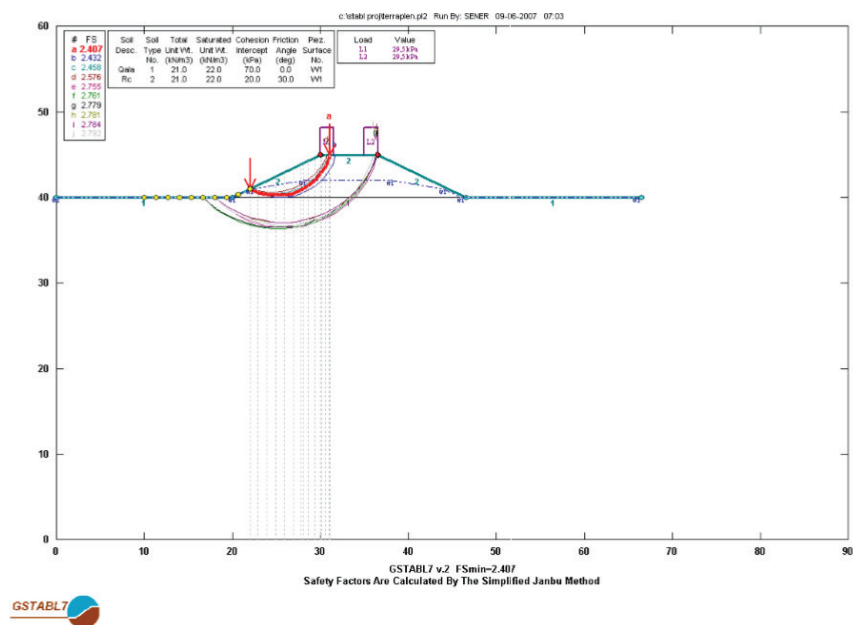
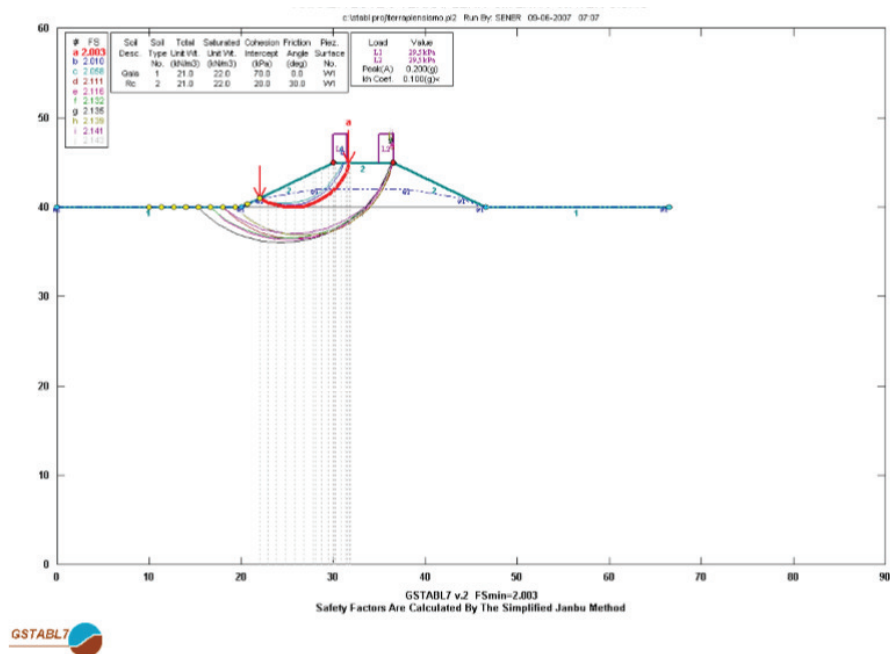
Pk	N	Ouvrage prévus	Q (m ³ /s)	Qs (m ³ /s)	Vps (m/s)	Q=0.1Qps		Q=0.01Qps	
						V (m/s)	V>0.6 (m/s)	V (m/s)	V>0.3 (m/s)
500+85	1	Buse	0.461	2.21	2.65	1.75	vérifiée	0.43	vérifiée
500+925	2	Dalot	0,597	63	3.67	1,41	vérifiée	0.62	vérifiée
501,192	3	Dalot	0,691	21.28	3,67	2,43	vérifiée	1,29	vérifiée
502,036	4	Dalot	0,691	11.47	5,88	0,68	vérifiée	0,35	vérifiée
502,184	5	Dalot	1,321	27.66	4,41	0.94	vérifiée	0.87	vérifiée
502,872	6	2Dalot	3,009	17.72	4,16	1.75	vérifiée	0.79	vérifiée
503,233	7	Dalot	-	11.51	5.6	1,83	vérifiée	0,83	vérifiée
503,735	8	Dalot	4,799	11.51	4.7	2,59	vérifiée	1,29	vérifiée
504,342	9	Dalot	4,706	7.64	6.3	1,32	vérifiée	0,69	vérifiée
504,800	10	2Buses	3,872	4.42	2.4	1,92	vérifiée	1,10	vérifiée
504,860	11	Buse	1,391	2.21	4.7	0,98	vérifiée	0,69	vérifiée
505,230	12	Buse	-	1.4	7.2	1,02	vérifiée	0,69	vérifiée
505,733	13	Dalot	2,237	27.66	1.3	2,98	vérifiée	1,56	vérifiée
506,136	14	Dalot	1,948	17.72	2.4	1,80	vérifiée	0,83	vérifiée
506,297	15	Dalot	2,667	27.66	5.3	2,59	vérifiée	1,29	vérifiée
506,471	16	Buse	-	2.21	3.67	2,59	vérifiée	1,29	vérifiée
507,038	17	Dalot	3,738	17.72	4.87	1,87	vérifiée	0,97	vérifiée
507,957	18	Dalot	3,824	17.72	2.34	2,59	vérifiée	1,29	vérifiée
508,806	19	2Buse	-	2.8	4,5	1,46	vérifiée	0,69	vérifiée
509,135	20	2Buses	-	2.8	3.6	2,24	vérifiée	1,17	vérifiée
510,268	21	Buse	-	1.4	5.7	1,62	vérifiée	0,83	vérifiée
510,932	22	Buse	-	1.4	3.5	2,59	vérifiée	1,29	vérifiée
511,766	23	Buse	-	1.4	4	1,60	vérifiée	0,80	vérifiée
513,783	24	Buse	-	2.21	5.6	1,46	vérifiée	0,69	vérifiée
514,457	25	Buse	-	1.4	2.45	1,82	vérifiée	0,83	vérifiée
515,550	26	Buse	-	2.21	3.45	1,85	vérifiée	0,97	vérifiée

4.5.Ouvrage hydraulique longitudinal

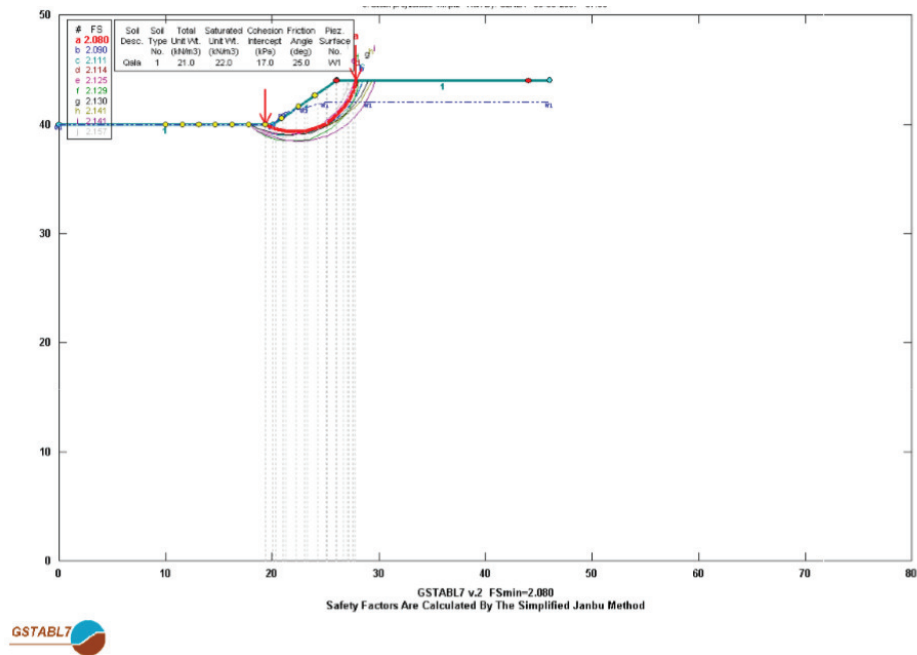
Fossés	BASSIN	REMBLAI / DÉBLAI			PLATE-FORME			Qd	TOTAL	QRd	Vérification
	Bassin	Pourcentage	Débit	It	Débit de remblai/déblai	It	Débit de plate-forme				
		Débit portant	du bassin								
		(m3/seg)	(%)	(m3/s)	(mm/h)	(m3/s)	(mm/h)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	
PD1	5,15	0,287	8%	0,023	42,200	0,002	42,2000	0,005	0,030	1,207	OK
PD2	5,15	0,287	12%	0,034	42,200	0,006	42,2000	0,015	0,056	1,255	OK
PD3	5,15	0,287	10%	0,029	42,200	0,004	42,2000	0,010	0,043	0,870	OK
PD4	5,14	0,342	10%	0,034	32,500	0,003	32,5000	0,008	0,046	0,932	OK
PD5	5,14	0,342	9%	0,031	32,500	0,003	32,5000	0,007	0,040	1,302	OK
PD7	5,13	0,417	11%	0,046	32,500	0,002	32,5000	0,005	0,052	1,187	OK
PD8	5,12	0,785	9%	0,071	27,100	0,001	27,1000	0,003	0,075	1,069	OK
PD9	5,12	0,785	18%	0,141	27,100	0,008	27,1000	0,022	0,172	1,086	OK
PD10	5,12	0,785	3%	0,024	27,100	0,000	27,1000	0,001	0,024	1,232	OK
PD11	5,11	1,878	8%	0,150	32,500	0,002	32,5000	0,006	0,159	0,973	OK
PD12	5,11	1,878	16%	0,300	32,500	0,008	32,5000	0,021	0,330	1,086	OK
PD13	5,11	1,878	10%	0,188	32,500	0,003	32,5000	0,008	0,199	0,301	OK
PD14	5,11	1,878	12%	0,225	32,500	0,005	32,5000	0,012	0,243	0,908	OK
PD15	5,10	1,953	8%	0,156	23,500	0,001	23,5000	0,002	0,159	1,133	OK
PD16	5,10	1,953	12%	0,234	23,500	0,003	23,5000	0,008	0,245	0,790	OK
PD17	5,9	2,924	12%	0,351	23,500	0,003	23,5000	0,008	0,362	0,854	OK
PD18	5,9	2,924	14%	0,409	23,500	0,003	23,5000	0,009	0,422	0,973	OK
PD19	5,8	2,390	14%	0,335	27,100	0,004	27,1000	0,011	0,350	1,105	OK
PD20	5,8	2,390	14%	0,335	27,100	0,005	27,1000	0,013	0,353	1,114	OK
PD21	5,7	1,814	8%	0,145	42,200	0,002	42,2000	0,005	0,153	1,097	OK
PD22	5,7	1,814	8%	0,145	42,200	0,001	42,2000	0,003	0,150	1,014	OK
PD23	5,7	1,814	15%	0,272	42,200	0,008	42,2000	0,021	0,301	0,845	OK
PD24	5,6	1,465	9%	0,132	47,400	0,004	47,4000	0,011	0,147	0,625	OK
PD25	5,6	1,465	15%	0,220	47,400	0,008	47,4000	0,021	0,249	0,529	OK
PD26	5,6	1,465	9%	0,132	47,400	0,004	47,4000	0,010	0,145	1,137	OK
PD27	5,5	1,279	12%	0,153	42,200	0,005	42,2000	0,013	0,171	1,009	OK
PD28	5,4	1,725	8%	0,138	32,500	0,002	32,5000	0,006	0,146	0,997	OK
PD29	5,4	1,725	8%	0,138	32,500	0,002	32,5000	0,004	0,144	0,793	OK
PD30	5,4	1,725	8%	0,138	32,500	0,001	32,5000	0,003	0,143	1,058	OK
PD31	5,4	1,725	8%	0,138	32,500	0,001	32,5000	0,003	0,143	1,057	OK
PD32	5,3	2,260	8%	0,181	27,100	0,001	27,1000	0,004	0,186	0,981	OK
PD33	5,3	2,260	14%	0,316	27,100	0,005	27,1000	0,014	0,336	0,895	OK
PD34	5,2	1,038	18%	0,187	47,400	0,018	47,4000	0,049	0,254	0,891	OK
PD35	5,1	2,344	9%	0,211	40,000	0,003	40,0000	0,008	0,222	0,603	OK
PD36	5,1	2,344	8%	0,188	40,000	0,002	40,0000	0,005	0,194	0,603	OK
PD37	-	1,500	18%	0,270	40,000	0,015	40,0000	0,041	0,326	0,350	OK
PD38	-	1,500	9%	0,135	40,000	0,003	40,0000	0,007	0,144	0,494	OK
PD39	-	1,500	12%	0,180	40,000	0,004	40,0000	0,011	0,195	0,374	OK
PD40	-	1,500	12%	0,180	40,000	0,004	40,0000	0,010	0,194	0,819	OK
PD41	-	1,500	20%	0,300	40,000	0,019	40,0000	0,050	0,389	0,633	OK
PD42	-	1,500	17%	0,255	40,000	0,010	40,0000	0,027	0,293	0,741	OK
PD43	-	1,500	9%	0,135	40,000	0,003	40,0000	0,008	0,146	1,119	OK
PD44	-	1,500	8%	0,120	40,000	0,002	40,0000	0,006	0,128	0,917	OK
PD45	-	1,500	13%	0,195	40,000	0,006	40,0000	0,015	0,215	1,088	OK
PD46	-	1,500	13%	0,195	40,000	0,002	40,0000	0,004	0,201	0,403	OK
PD47	-	1,500	15%	0,225	40,000	0,006	40,0000	0,016	0,247	0,872	OK
PD50	-	1,500	9%	0,135	40,000	0,003	40,0000	0,007	0,145	0,565	OK
PD51	-	1,500	5%	0,075	40,000	0,001	40,0000	0,001	0,077	1,103	OK
PD52	-	1,500	15%	0,225	40,000	0,013	40,0000	0,036	0,274	1,023	OK
PD53	-	1,500	17%	0,255	40,000	0,012	40,0000	0,032	0,299	0,718	OK
PD54	-	1,500	12%	0,180	40,000	0,005	40,0000	0,013	0,197	1,044	OK
PD55	-	1,500	12%	0,180	40,000	0,005	40,0000	0,014	0,199	1,235	OK
PD57	-	1,500	14%	0,210	40,000	0,008	40,0000	0,020	0,238	0,886	OK

ANNEXE 4 TERRASSEMENT ET STABILITE DES TALUS

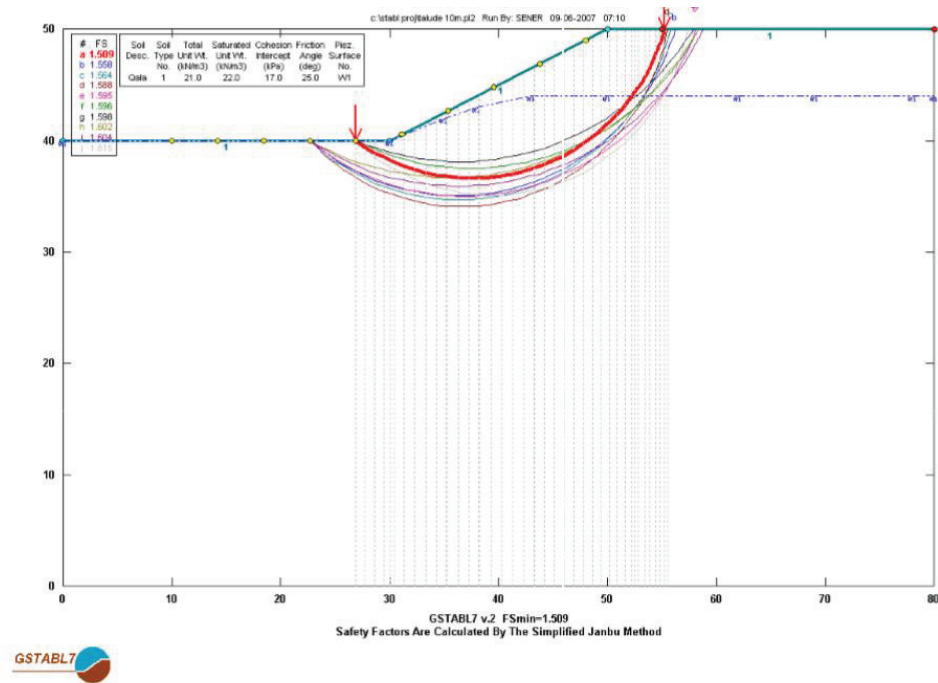
5.1 Cas de Remblai

Court terme $h=5m$ 2h :1vCourt terme sismique $h=5m$ 2h :1v

Cas de déblais



long terme h=4m 3h:2v



long terme h=10m

