

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جاتسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

Pour l'obtention des diplômes d'Ingénieur d'État et de Master

Filière : Travaux publics

Spécialité : Infrastructure de base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire SAIDA – TIARET entre le
PK 30+550 et PK 49+458 avec la conception de la gare de Frenda
Master : Modernisation de la voie ferrée

Présenté par :

M. LEMTOUCHE Abdelghani

M. MAOUCHI Abdelmalek

Encadré par :

M. AZRINE Mohamed

Mme. KHOUAS Zohra

Promotion 2019/2020

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études. Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour, Mme Khouass, d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement. Nos remerciements vont aussi pour tout le personnel de COSIDER Tiaret (M Azrine, Abderrahmane, mohamed....) pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage. À nos chers amis ingénieurs Pour leurs aides. Nos remerciements s'adressent, également, aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail. Nous tenons à remercier aussi toute l'équipe de la bibliothèque pour leurs patiences, leurs soutiens et pour les nombreux ouvrages qu'ils ont mis à notre disposition. Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance. Sans oublier les personnels de notre école

LEMTOUCHE & MAOUCHI

Dédicace:

*En cette fin d'étude je dédie ce
travail*

*A toutes personnes m'ayant
accompagné Par une parole, un geste ou
même une pensée, A toutes celles ayant
contribué*

*De prêt ou de loin à cette
finalité ; Merci pour tout
Ceci étant pour le général, vient maintenant le
particulier*

*Avec une distinction bien
méritée*

*Pour mes parents
préférés*

*Pour mes chers frères et Mes
chères sœurs.*

*Pour Mon Binôme
LEMTOUCHE*

*A mes amis NADIR
SALAH ET
GHENOUNE.*

MERCI

MAOUCHI ABDELMALEK

Dédicace

Avant tout, je remercie le Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail ; que je dédie :

À celle qui m'a fait venir au monde, celle qui s'est sacrifiée pour me voir grandir et réussir, à celle qu'aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que je lui éprouve,

À toi chère Maman

Au guide de ma vie, celui qui a répandu de la lumière sur mon chemin, celui qui s'est donné tant de mal pour me voir en arriver là où je suis, à celui qui je ne pourrai jamais révéler mon amour avec de simples mots,

À toi cher papa

*A mes chers frères : Rabie, Oussama, Sifeddine et Lokmane,
A toute ma famille, à mes deux confrères Mouloud et Kamel, à mon binôme Abdelmalek,*

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Vous m'avez toujours accompagné avec vos soutiens, vos conseils et vos encouragements dans tous les moments de cette vie mystérieuse. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite. Puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais.

A tous mes amis sans exception.

*A tous mes enseignants du primaire jusqu'à l'université.
Sans oublier ma famille de l'ENSTP et mes ex-collègues de ZIANIA.*

LEMTOUCHE ABDELGHANI

ملخص

هذا المشروع يتمثل اساسا في الدراسة المفصلة لقسم من خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين ولاية تيارت و ولاية سعيدة وتحديدًا من النقطة الكيلومترية 30+550 الى غاية النقطة 458+49 على طول 18 كم ويشمل المشروع ايضا تصميم محطة فرنده .

تحديد الخصائص التقنية الأكثر مناسبة لخط السكة الحديدية الجاري توقيعه سيستند الى التوجيهات المنصوح بها وكذا التطبيقات المتابعة من قبل الشركة الوطنية للنقل عبر السكك الحديدية (ش.و.ن.س.ح).

وكذا الأنظمة الأخرى الأكثر تحديثًا و تطورًا (نظام UIC) كما تم استعمال برنامج سيفيل 3 د في النمذجة الهندسية للمشروع.

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Tiaret-Saida, et ce Du pk 30+550 au pk 49+458, pour un linéaire de 18 Km, notre projet s'étale aussi a la conception de la gare de Frenda.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées de la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF et les autres systèmes ferroviaires plus développés (normes UIC), la modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2019.

SUMMARY

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line Tiaret - Saida (section 18 km), with construction of the station Frenda.

The identification of the most appropriate specifications for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices which are followed by SNTF and other more developed rail systems (UIC standards), geometric modeling of the Project was executed with CIVIL 3D software 2019.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE- MODERNISATION DE LA VOIE FERREE

I.1 Introduction.....	2
I.2 Modernisation de matériel roulant.....	2
I.2.1 Matériels existants :.....	2
I.2.2 Les matériels propres autonomes à l'étude.....	3
I.3 Modernisation de la voie.....	3
I.3.1 Les éléments de la voie :.....	3
I.3.1.1 Les rails.....	3
I.3.1.2 Traverse.....	5
I.3.1.3 Attaches et semelles.....	6
I.3.2 La voie ballastée.....	7
I.3.2.1 La voie ballastée classique.....	7
I.3.2.2 Voie CNM.....	7
I.3.3 Voie sans ballast.....	8
I.3.3.1 Traverses noyées dans une dalle de béton.....	9
I.3.3.2 Voie a attache directe.....	9
I.3.3.3 ERS (Embedded rail system).....	10
I.3.3.4 Les dalles préfabriquées.....	11
I.3.4 Electrification.....	12
I.3.4.1 Rôle de l'électrification.....	13
I.3.4.2 Les systèmes d'alimentation.....	13
I.3.4.3 Fourniture de l'énergie électriques.....	14
I.3.4.4 Le système catenaire.....	14
I.4 Conclusion.....	15

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II.1 INTRODUCTION.....	16
II.2 DESCRIPTION GENERAL DU PROJET :.....	16
II.3 OBJECTIFS DU PROJET.....	16
II.4 PRESENTATION DE LA WILAYA DE TIARET.....	17
II.4.1 Situation géographique.....	17
II.4.2 Situation géomorphologique.....	17
II.4.3 Climat.....	17
II.4.4 La pluviométrie.....	18
II.4.5 Sismicité.....	18
II.4.6 Les Infrastructures économiques, administratives et sociales.....	19

<u>II.5 LE TRONÇON ETUDIE</u>	19
<u>II.6 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU PROJET</u>	20
<u>II.6.1 Caractéristique de base :</u>	20
<u>II.6.2 Caractéristiques de la Voie</u>	20
<u>II.7 LA CATEGORIE DE TRAFIC</u>	21
<u>II.8CONCLUSION</u>	21

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

<u>III.1 INTRODUCTION</u>	22
<u>III.2 CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRE GEOMETRIQUE</u>	22
<u>III.3 CATEGORIE DU TRAFIC</u>	22
<u>III.4 TRACE EN PLAN</u>	22
<u>III.4.1 Règles et conditions sur le tracé en plan</u>	23
<u>III.4.2 Eléments du Tracé</u>	23
<u>III.4.2.1 Alignement droit</u>	23
<u>III.4.2.2 Courbe circulaire :</u>	24
<u>III.4.2.3 Courbe de raccordement progressif (CRP)</u>	27
<u>III.4.3 Application au projet :</u>	29
<u>III.4.4 Calcul d'axe</u>	30
<u>III.5 PROFIL EN LONG :</u>	33
<u>III.5.1 Eléments géométriques du profil en long :</u>	34
<u>III.5.2 Règle à respecter dans le tracé du profil en long :</u>	34
<u>III.5.3 Coordination profil en long-trace en plan :</u>	34
<u>III.5.4 Déclivité maximale :</u>	34
<u>III.5.5 Rayon admissible en raccordements de profil en long</u>	35
<u>III.5.6 Détermination de la longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil :</u>	36
<u>III.5.7 Exemple du calcul</u>	36
<u>III.6 Conclusion</u>	37

CHAPITRE IV : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

<u>IV.1 Introduction</u>	38
<u>IV.2 Géologie</u>	38
<u>IV.2.1 Compagne géologique</u>	38
<u>IV.2.2 Géologie schématique de la zone d'étude</u>	38
<u>IV.2.3 Risques géologiques</u>	39
<u>IV.2.4 Hydrogéologie</u>	39
<u>IV.2.5 Géomorphologie</u>	39
<u>IV.3 GEOTECHNIQUE</u>	39

IV.3.1	Programme géotechnique	39
IV.3.2	Interprétation des résultats :	42
IV.3.2.1	Essais in situ :	42
IV.3.2.2	Essais en laboratoire :	46
IV.3.2.3	Classification du sol support selon GTR et UIC	49
IV.3.3	Obtention des paramètres « E, C et Φ »	51
IV.3.3.1	La méthode de Bieniawski	51
IV.3.3.2	Détermination des caractéristiques mécaniques	55
IV.4	Conclusion	55

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT D'ASSISE

V.1	INTRODUCTION	56
V.2	LES COUCHES D'ASSISES	56
V.2.1	Le ballast	56
V.2.1.1	Importance de la couche de ballast	56
V.2.1.2	Caractéristique du ballast	56
V.2.2	La sous-couche	57
V.2.2.1	Importance de la sous-couche	57
V.2.2.2	Constitution de la sous-couche	57
V.2.3	La plate-forme	58
V.3	DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES D'ASSISE	58
V.3.1	Classification de la plate-forme	58
V.3.1.1	Classe de qualité du sol	58
V.3.1.2	Classe de portance de la plate-forme	58
V.3.2	Épaisseurs des couches d'assise « ballast + sous couche »	59
V.4	APPLICATION A NOTRE PROJET	60
V.4.1	Calcul de l'épaisseur minimale « e » des couches d'assises	60
V.4.2	L'épaisseur « e » des couches d'assises :	61
V.4.3	Proposition de la structure d'assise	61
V.5	CONCLUSION	62

CHAPITRE VI: ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

VI.1	INTRODUCTION	63
VI.2	ETUDE HYDROLOGIQUE	63
VI.2.1	Climat :	63
VI.2.2	Pluviométrie	63
VI.2.3	Caractéristiques des bassins versants	63
VI.2.4	Données pluviométriques	65
VI.2.5	Pluies annuelles	65

VI.2.6	Précipitations mensuelles	65
VI.2.7	Précipitations journalières	66
VI.2.8	Intensité de pluie	66
VI.2.8.1	Hauteur de la pluie journalière maximale annuelle	66
VI.2.8.2	Calcul de la fréquence d'averse	66
VI.2.8.3	Temps de concentration	67
VI.2.8.4	L'intensité horaire	67
VI.2.9	Coefficient de ruissellement	67
VI.2.10	Les crues	68
VI.3	HYDRAULIQUE	69
VI.3.1	Dimensionnement des buses	69
VI.3.2	Dimensionnement des dalots	70
VI.3.3	Dimensionnement des fossés	72
VI.4	CONCLUSION	75

CHAPITRE VII : PROFIL EN TRAVERS

VII.1	INTRODUCTION	76
VII.2	PROFIL EN TRAVERS TYPE	76
VII.3	PROFIL EN TRAVERS COURANT	76
VII.4	LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE	76
V.4.1	La plateforme	76
V.4.2	L'Emprise	76
V.4.3	Assiette	76
V.4.4	La voie	76
V.4.5	La berme	76
V.4.6	Le fossé	76
VII.5	ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE	77
VII.6	PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET	77

CHAPITRE VIII : TERRASSEMENT ET OUVRAGES

VIII.1	INTRODUCTION	81
VIII.2	DEBLAI	81
VIII.3	REMBLAI	81
VIII.4	LE DECAPAGE	82
VIII.5	PENDE DE TALUS	82
VIII.6	VERIFICATIONS DE LA STABILITE DES DEBLAIS ET DES REMBLAIS	82
VIII.6.1	Cas d'un Déblai	82
VIII.6.2	Cas d'un Remblai	83
VIII.7	REUTILISATION DES SOLS EN REMBLAI	85

<u>VIII.8 RECHERCHE DE GITES DE MATERIAUX</u>	85
<u>VII.8.1 Gite PK 24</u>	85
<u>VII.8.2 Gite TAGRARA</u>	86
<u>VIII.9 CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT</u>	87
<u>VIII.10 OUVRAGE D'ART</u>	87
<u>VIII.10.1 Les croisements avec la route</u>	87
<u>VIII.10.2 Franchissement d'écoulement d'eau</u>	87
<u>VIII.11 APPLICATION DE PROJET</u>	88

CHAPITRE IX : APPAREIL DE VOIE

<u>IX.1 INTRODUCTION</u>	89
<u>IX.2 DEFINITIONS DE L'APPAREIL DE VOIE</u>	89
<u>IX.3 TECHNOLOGIE DE BRANCHEMENT</u>	89
<u>IX.3.1 Aiguille</u>	89
<u>IX.3.2 LE CROISEMENT DE BRANCHEMENT</u>	91
<u>IX.4 LES TRAVERSEES DE LA VOIE</u>	91
<u>IX.4.1 La traversée –jonction simple</u>	91
<u>IX.4.2 La traversée –jonction double</u>	92
<u>IX.5 COMBINAISONS D'APPAREILS DE VOIE</u>	92
<u>IX.5.1 La diagonale</u>	92
<u>IX.5.2 Le Bretelle</u>	92

CHAPITRE X : CONCEPTION DE LA GARE DE FRENDA

<u>X.1 INTRODUCTION</u>	94
<u>X.2 GARES DES VOYAGEURS</u>	94
<u>X.2.1 Les gares terminus</u>	94
<u>X.2.2 Les gares de passage</u>	94
<u>X.2.3 Les gares de triage</u>	94
<u>X.3 EQUIPEMENT DE LA GARE A VOYAGEURS</u>	94
<u>X.3.1 Les bâtiments à voyageurs (B.V)</u>	94
<u>X.3.2 Les bâtiments à usages divers (B.U.D)</u>	94
<u>X.3.3 Quais</u>	95
<u>X.3.4 Auvents et abris</u>	95
<u>X.3.5 Passages souterrains et passerelles</u>	95
<u>X.4 GARES DE MARCHANDISES</u>	95
<u>X.5 CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES</u>	95
<u>X.6 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES</u>	96
<u>X.6.1 Marge de glissement à l'aval des signaux</u>	96
<u>X.6.2 Garage franc</u>	96

<u>X.6.3</u>	<u>La longueur utile d'une voie de stationnement</u>	97
<u>X.6.4</u>	<u>Les évitements</u>	98
<u>X.6.5</u>	<u>Les heurtoirs</u>	98
<u>X.6.6</u>	<u>La longueur de quai (normes SNTF)</u>	99
<u>X.6.7</u>	<u>La largeur des quais</u>	99
<u>X.6.8</u>	<u>Hauteur des quais</u>	99
<u>X.6.9</u>	<u>La distance à l'axe de la voie</u>	99
<u>X.6.10</u>	<u>L'entre axe des quais</u>	99
<u>X.6.11</u>	<u>Déclivité dans les gares</u>	99
<u>X.6.12</u>	<u>Implantation des appareils de voie</u>	99
<u>X.7</u>	<u>APPLICATION AU PROJET</u>	100
<u>X.7.1</u>	<u>Localisation</u>	100
<u>X.7.2</u>	<u>Marge de glissement à l'aval des signaux</u>	100
<u>X.7.3</u>	<u>Les quais</u>	100
<u>X.7.4</u>	<u>Distance minimum entre l'axe de voie et l'obstacle</u>	100
<u>X.7.5</u>	<u>Longueur utile de stationnement</u>	101
<u>X.7.6</u>	<u>Longueur de garage de franc</u>	101
<u>X.7.7</u>	<u>Passerelle</u>	101
<u>X.7.8</u>	<u>Assainissement de la gare</u>	101
<u>X.8</u>	<u>CONCLUSION</u>	102

CHAPITRE XI : LA SIGNALISATION

<u>XI.1</u>	<u>INTRODUCTION</u>	103
<u>XI.2</u>	<u>PRINCIPES DE SIGNALISATION</u>	103
<u>XI.3</u>	<u>ROLE DE LA SIGNALISATION</u>	103
<u>XI.4</u>	<u>TYPES DE SIGNALISATION</u>	103
<u>XI.5</u>	<u>EVOLUTION DES SYSTEMES DE SIGNALISATION</u>	104
<u>XI.5.1</u>	<u>Système de signalisation blocks</u>	104
<u>XI.5.2</u>	<u>Système ATP (Automatic Train Protection)</u>	105
<u>XI.5.3</u>	<u>Transition des systèmes ATP vers ETRMS</u>	105
<u>XI.5.3.1</u>	<u>ERTMS :</u>	105
<u>XI.5.3.2</u>	<u>L'interopérabilité</u>	105
<u>XI.5.3.3</u>	<u>ETCS (European Train Control System)</u>	106
<u>XI.5.3.4</u>	<u>GSM-R (Global System for Mobiles – Railways)</u>	107
<u>XI.6</u>	<u>CONCLUSION</u>	107

CHAPITRE XII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

<u>XII.1</u>	<u>INTRODUCTION</u>	108
<u>XII.2</u>	<u>DEFINITION D'UNE ETUDE D'IMPACT</u>	108

<u>XII.3 OBJECTIFS ET UTILITES D'UNE ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT</u>	108
<u>XII.4 IMPACT DES VOIES FERREES SUR L'ENVIRONNEMENT</u>	108
<u>XII.4.1 Identification des impacts</u>	109
<u>XII.4.2 Évaluation des impacts</u>	109
<u>XII.4.3 Les impacts que peut provoquer un projet ferroviaire sur le milieu naturel</u>	109
<u>XII.4.3.1 Impact sur l'eau</u>	109
<u>XII.4.3.2 Pollution atmosphérique :</u>	110
<u>XII.4.3.3 Impact sur le bruit et les vibrations :</u>	110
<u>XII.4.3.4 Impacts sur le milieu physique</u>	111
<u>XII.4.3.5 Impacts sur le milieu urbain :</u>	111
<u>XII.5 IMPACT DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE SAIDA - TIARET SUR L'ENVIRONNEMENT</u>	111
<u>XII.5.1 Description du projet</u>	111
<u>XII.5.2 Analyse de l'état initial</u>	111
<u>XII.5.3 Description du milieu biologique :</u>	111
<u>XII.5.4 Description du milieu humain</u>	112
<u>XII.5.5 Identification et description des impacts :</u>	112
<u>XII.5.6 Les impacts positifs du projet</u>	113
<u>XII.5.7 Les impacts négatifs du projet :</u>	113
<u>XII.5.8 Les mesures prises pour minimiser les impacts :</u>	114
<u>XII.6 CONCLUSION</u>	114
<u>CHAPITRE XIII : Devis estimatif et quantitatif</u>	114

Liste des figures

Figure I. 1 matériel roulant	2
Figure I. 2 différents types des rails	3
Figure I. 3 Assemblage des rails	4
Figure I. 4 Types des traverses	6
Figure I. 5 attache et semelle	7
Figure I. 6 différence entre une voie classique et une voie CNM	8
Figure I. 7 structuration d'une voie sans ballast	8
Figure I. 8 voie de type « traverses noyées dans une dalle de béton »	9
Figure I. 9 voie à attaches directes	10
Figure I. 10 schématisation d'une voie ERS	11
Figure I. 11 Fourniture de l'énergie électrique.....	14
Figure I. 12 schéma représentatif du système captage du courant électrique	14
Figure I. 13 des caténaires	15
Figure II. 1 vue satellitaire du tracé.....	16
Figure II. 2 Situation géographique de la wilaya de Tiaret	17
Figure II. 3 précipitations annuelles sur 09 ans.....	18
Figure II. 4 Zones sismique en Algérie	18
Figure II. 5 Vue satellitaire du tracé concerné par l'étude.....	19
Figure III. 1 Eléments du tracé en plan.....	23
Figure III. 2 Forces appliquées au centre de gravité du véhicule	25
Figure III. 3 Eléments de clothoïdes	30
Figure III. 4 déclivité maximale en fonction de la longueur maximale de rampe	35
Figure III. 5 les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil	36
Figure IV. 1 Géologie général de la zone d'étude	38
Figure IV. 2 Unité Alluvion et alluvio-calcaire	44
Figure IV. 3 Unité calcaire gréseux.....	45
Figure IV. 4 Marne gréseux-calcaire	45
Figure IV. 5 marnes argileuses et gréseuses.....	46
Figure V. 1 les couches d'assise.	58
Figure V. 2 Les différentes épaisseurs de la couche d'assise.	60
Figure VI. 1 un dalot	70
Figure VI. 2 schéma d'un fossé	74
Figure VI. 3 dimensions d'un fossé	75
Figure VII. 1 Profil type de notre projet cas remblai	78
Figure VII. 2 Profil type de notre projet cas déblai	79
Figure VIII. 1 Remblai dans une grande pente	81
Figure VIII. 2 Résultat facteur de sécurité avec logiciel geostudio.	83
Figure VIII. 3 Vérification de la stabilité des remblais en condition statique.	84
Figure VIII. 4 Vérification de la stabilité des remblais en condition sismique.	84
Figure VIII. 5 Vue satellitaire du gite PK 24	86
Figure IX. 1 les composant d'un branchement simple	90
Figure IX. 2 Commande à pied d'œuvre des aiguillages	90
Figure IX. 3 Commande électrique d'un aiguillage	91
Figure IX. 4 schéma de croisement.	91
Figure IX. 5 Schéma de traversée- jonction double	92
Figure IX. 6 diagonale simple	93
Figure IX. 7 Bretelle	93
Figure X. 1 Schéma d'une marge de glissement	96

Figure X. 2 schéma d'un garage franc.....	97
Figure X. 3 longueur utile d'une voie de stationnement	97
Figure X. 4 Schéma d'un évitement.....	98
Figure X. 5 un heurtoir	99
Figure X. 6 schéma d'une passerelle sous-terrain	101
Figure XI. 1 Système de signalisation blocs	104
Figure XI. 2 Synoptique de fonctionnement de ce système de signalisation ETCS niveau 1.....	106

Liste des tableaux

Tableau I. 1 analyse comparative entre la voie ballastée en la voie bétonnée.....	12
Tableau II. 1 types des composantes adoptés à notre projet	21
Tableau III. 1 Valeurs de longueur minimale des alignements droits	24
Tableau III. 2 Dévers maximum admissible	26
Tableau III. 3 Insuffisance de dévers admissible.....	26
Tableau III. 4 Excès de dévers admissible.....	27
Tableau III. 5 Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur.....	28
Tableau III. 6 Limite de la variation de dévers par rapport au temps.....	28
Tableau III. 7 Limite de la variation d'insuffisance de dévers.....	28
Tableau III. 8 Tableau récapitulatif des paramètres du tracé	29
Tableau III. 9 longueur minimale des déclivités constantes	36
<u>Tableau IV. 1 Programme géotechnique.....</u>	<u>39</u>
<u>Tableau IV. 2 Sondage / puits et échantillonnage.....</u>	<u>42</u>
<u>Tableau IV. 3 résultats des essais des masses volumiques et teneurs en eau</u>	<u>46</u>
<u>Tableau IV. 4 résultat de la granulométrie</u>	<u>47</u>
<u>Tableau IV. 5 résultats de limites d'Atterberg</u>	<u>48</u>
<u>Tableau IV. 6 Résultats de l'essai compression simple</u>	<u>49</u>
<u>Tableau IV. 7 classification GTR et UIC.....</u>	<u>50</u>
<u>Tableau IV. 8 classes des massifs rocheux.....</u>	<u>51</u>
<u>Tableau IV. 9 Classification des masses rocheuses selon la méthode de Bieniawski.....</u>	<u>52</u>
<u>Tableau IV. 10 Résultat de classification Bieniawski.....</u>	<u>55</u>
<u>Tableau IV. 11 caractéristiques mécaniques des unités.....</u>	<u>55</u>
<u>Tableau V. 1 Classes de portance de la plate-forme (normes UIC 719 R. 34).....</u>	<u>59</u>
<u>Tableau VI. 1 Tableau récapitulatif des bassins versants de notre projet</u>	<u>63</u>
<u>Tableau VI. 2 Précipitations annuelles(mm) (source rapport hydrologique).....</u>	<u>65</u>
<u>Tableau VI. 3 Précipitations mensuelles(mm)(source rapport hydrologique).....</u>	<u>65</u>
<u>Tableau VI. 4: Pluies maximales journalières annuelles mm.....</u>	<u>66</u>
<u>Tableau VI. 5: variable de gauss.....</u>	<u>66</u>
<u>Tableau VI. 6 valeurs du coefficient de ruissèlement.....</u>	<u>68</u>
<u>Tableau VI. 7 surface des sous bassins versant.....</u>	<u>73</u>
<u>Tableau VI. 8 temps de concentration</u>	<u>73</u>
<u>Tableau VI. 9: debit d'apport en déblai.....</u>	<u>73</u>
<u>Tableau VI. 10: debit d'apport en remblai</u>	<u>73</u>
<u>Tableau VIII. 1 Résultat des facteurs de sécurité.....</u>	<u>83</u>
<u>Tableau VIII. 2 Paramètre géotechnique des couches du remblai.....</u>	<u>83</u>
<u>Tableau VIII. 3 Résultat des facteurs de sécurité</u>	<u>84</u>
<u>Tableau X. 1 Calcul des quais</u>	<u>100</u>
<u>Tableau XII. 1 les mesures prises pour minimiser les impacts</u>	<u>114</u>
<u>Tableau XIII. 1 Devis estimatif et quantitatif</u>	<u>115</u>
<u>Tableau XIII. 2 Récapitulation des prix sur les lots</u>	<u>117</u>

INTRODUCTION GENERALE

Le développement des pays repose essentiellement sur le développement de ses moyens de communications et de transports. Une analyse de la situation des pays développés montre que le secteur de transport constitue une base au plan de développement national et de croissance économique, et ce secteur facilite non seulement des échanges entre agents économique mais il améliore également la circulation des biens et des personnes.

Dans cette vision l'homme a su mettre en œuvre ces moyens de transport commençant par les moyens traditionnels, la force animale, la roue, l'énergie éolienne et le bateau, jusqu'à l'ère de transport motorisé : la machine à vapeur, moteur à explosion, moteur électrique (la locomotive, l'automobile, l'avion ...).

Le transport en Algérie est diversifié vu la superficie de l'Algérie. Même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées en raison de l'absence d'infrastructure routière, le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain, sa longueur est estimée à 108 302 km de routes (dont 76 028 km goudronnées) et plus de 3 756 ouvrages d'art. L'autoroute Est-Ouest de 1 216 km permet de relier la ville d'Annaba de l'extrême Est jusqu'à la ville de Tlemcen à l'extrême Ouest.

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.

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Il fait son apparition à la fin du XIXe siècle. Il sert au transport de personnes et de marchandises.

Le schéma directeur des transports du pays a inscrit plusieurs projets dans le domaine des infrastructures de transport, notamment les infrastructures ferroviaires en général et en particulier le projet de la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Saida - Tiaret qui s'encadre dans le programme pour l'amélioration du transport aux hauts plateaux.

Dans ce modeste travail nous allons faire une étude en APD d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Saida - Tiaret sur une longueur de 19km.

Le travail effectué a fait l'objet de Treize Chapitres. En premier lieu on a fait la présentation du projet d'étude, juste après notre sujet master, puis on est passé à la conception géométrique du tracé, ensuite on a présenté les détails de l'étude géotechnique et géologique et le dimensionnement de la structure d'assise, ensuite on est passé à l'étude hydraulique et assainissement, puis on a établi le profil en travers, ensuite on a abordé les terrassements et les ouvrages, ensuite c'est l'appareil de voie, puis on a fait l'aménagement de la gare, après on a donné une idée générales sur la signalisation ferroviaire et la télécommunication, ensuite on a élaboré l'étude d'impact du projet sur l'environnement. Enfin on a terminé par le devis estimatif du projet.

BIBLIOGRAPHIE CHAPITRE I

Modernisation de la voie ferrée

- [1] A. NEHAOUA, *Cours de chemin de fer*. 2014
- [2] Y. Noblet, tracé de la voie : notions fondamentales, 2006
- [3] Recommandations de l'AFTES
- [4] J. ALIAS, LA VOIE FERREE, *TECHNIQUES DE CONSTRUCTION ET D'ENTRETIEN*
- [5] ocvia.fr, article disponible à l'adresse URL : <http://www.ocvia.fr/page/les-equipements-ferroviaires>, consulté en ligne le 11 août 2020.
- [6] transportrail.canalblog.com, article disponible à l'adresse URL [http://transportrail.canalblog.com /pages/electrifications---quels-nouveaux-projets--31969446.html](http://transportrail.canalblog.com/pages/electrifications---quels-nouveaux-projets--31969446.html)

CHAPITRE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : MODERNISATION DE LA VOIE FERREE

I.1 INTRODUCTION

Tous les éléments qui composent l'infrastructure sont soumis à une usure naturelle. L'acier qui compose les rails, le bois ou le béton des traverses, les granulats du ballast, toutes nécessitent donc une surveillance accrue et des travaux de maintenance réguliers. Cette usure, est encore accélérée par l'importante sollicitation qu'impose l'exploitation de nos réseaux... d'où la nécessité de moderniser les réseaux ferrés.

Dans ce chapitre on va parler de la modernisation de l'infrastructure ferroviaire : de matériels roulants à la voie ferroviaire, passant par définir ses composantes et son évolution au cours du temps pour aborder le cœur de notre sujet, la voie sans ballast et l'électrification.

I.2 MODERNISATION DE MATERIEL ROULANT

Le matériel roulant est toute sorte de voitures et de matériel muni de roues destinés à servir sur les rails d'un chemin de fer, y compris les locomotives, machines actionnées par quelque force motrice, voitures automotrices, ...



Figure I. 1 matériel roulant

I.2.1 Matériels existants :

Ils existent plusieurs types de locomotives, on se limite de ces trois types suivant comme des exemples :

- ✓ X73500 Alstom : Matériel pur thermique de faible capacité.

- ✓ B82500 Bombardier : Matériel hybride thermique/électrique. Equipés à la fois de moteurs diesels et de pantographe 25000V/1500V alimentant des moteurs de traction électrique. Permet de circuler sous caténaire en électrique, sur ligne à voie unique avec les moteurs diesel
- ✓ Régiolis Alstom : Matériel Hybride Thermique/ électrique. Fonctionne comme les B82500. Une évolution des matériels hybrides est en cours de tests. Elle consiste en le remplacement d'une partie des moteurs diesels par des batteries de manière à économiser encore du gasoil. Cela à l'avantage de s'adapter sur du matériel existant.

I.2.2 Les matériels propres autonomes à l'étude

- ✓ Train au biogaz : actuellement en test en Espagne, il vise à utiliser la méthanisation des déchets. Le biogaz affiche plusieurs atouts indéniables en comparaison au diesel : de 20% à 30% d'émission de CO₂ en moins, 95% de particules fines en moins et un approvisionnement local et abondant. Et c'est sans compter sur le fait que la filière alimente une économie circulaire bénéfique pour tout un territoire en termes d'emplois et de création de valeurs pour tous les acteurs du filon. La SNCF étudie cette solution en remplacement du diesel.
- ✓ Train Hydrogène : La SNCF étudie cette solution également. L'avantage de ce matériel, au-delà de son absence de rejets polluants, est la mutualisation possible de la fabrication d'hydrogène avec le projet de bus Brest -Châteaulin-Loudéac-Rennes. Cela dit la fabrication d'hydrogène est encore couteuse et pas forcément vertueuse.

I.3 MODERNISATION DE LA VOIE

I.3.1 Les éléments de la voie :

I.3.1.1 Les rails

Le rail est une poutre de répartition des charges de roues dans le sens vertical, transversal et longitudinal, sert pour le guidage et maintien de la stabilité de l'essieu, le contact roue-rail (acier-acier) ayant les avantages de limiter la résistance à l'avancement par une surface réduite de contact et de faire le transfert des charges à la traverse via le système d'attaches. Ils sont également conducteurs électriques du retour traction et servent de support au courant de signalisation. Les rails sont caractérisés par leur profil et la nuance d'acier qui les compose.

La Flexion du rail Dépend de la charge de roue et de l'inertie du rail et aussi de la raideur de voie (travelage, étages élastiques et déformabilité de la plateforme).

➤ Types des rails

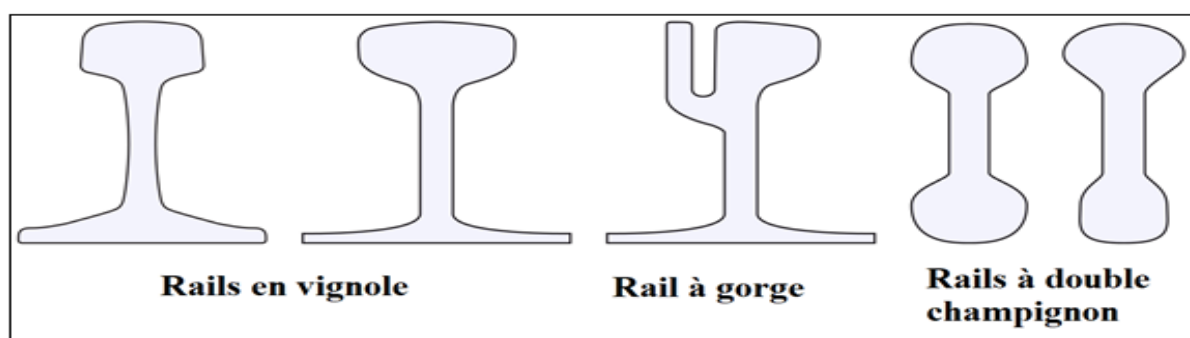


Figure I. 2 différents types des rails

- **Rail double champignon :**

Le rail à double champignon est caractérisé par une forme symétrique avec champignon supérieur et champignon inférieur.

Ce profil, facile à laminier, était particulièrement intéressant à l'époque où le fer corroyé était le métal couramment utilisé pour la fabrication des rails. Le rail à double champignon est fixé sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte dans lesquels il est serré par des coins élastiques, en général métalliques, parfois en bois. A l'heure actuelle, on n'utilise plus en pose neuve le rail à double champignon.

- **Rail à patin (Vignole)**

Il se caractérise par une base élargie qui permet une fixation facile sur la traverse, soit directement, soit par l'intermédiaire de selles métalliques.

Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance ; Le profil est composé du champignon, de l'Ame et du Patin

- **Rail à gorge**

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

Le rail double champignon c'est un vestige du passé. Les rails et les coussinets en fonte ne sont plus fabriqués depuis plusieurs années donc pour assurer l'entretien une seule solution, donc aujourd'hui on n'utilise que les rails à patin et les rails vignoles.

➤ **Assemblage des rails**

La longueur élémentaire des rails a constamment crû depuis les origines du chemin de fer à nos jours passant de 1, 2 m à 18, 24 m et 36 m actuellement. La dilatation des rails a été une source de désagréments pour les exploitants ferroviaires. La première technologie alors disponible ne permettait pas d'avoir de longs rails, ce problème fut résolu en laissant, aux joints entre les rails, un espace suffisant à leur libre dilatation. L'assemblage des rails est réalisé par les joints, Pour assurer la continuité et la rigidité de la voie et éviter qu'elle ne se déforme au passage des véhicules les rails sont reliés entre eux bout à bout au moyen de deux armatures métalliques boulonnées que l'on appelle éclisses, ou bien par une soudure, que se soit un soudage à l'arc en bain de fusion, soudage aluminothermique ou bien un soudage bout à bout par étincelage, la technique la plus utilisée est l'LRS (longs rails soudés) qui offre un avantage de supprimer les joints pour une grande distance.



Assemblage par éclisses



Assemblage par soudage

Figure I. 3 Assemblage des rails

I.3.1.2 Traverse

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

➤ **Fonction principale**

- Répartir les charges verticales : Augmenter la surface d'appui sur le ballast
- Ancrer la voie transversalement : Contribuer à la stabilité du châssis de voie en charge (efforts des véhicules) ou à vide (stabilité LRS)
- Contribuer à la position géométrique des rails : écartement et inclinaison notamment
- Intégrer l'interface avec les systèmes d'attaches

➤ **Type des traverses :**

La première traverse utilisée était en bois, mais après elle a été remplacée par une autre en acier puis en béton armée pour des raisons de cout, de performances et de durée de vie.

On utilise principalement des traverses en :

- **Traverses en bois**

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

- **Traverses métalliques**

Profil laminé en forme de U renversé, embouti aux extrémités pour assurer la résistance latérale de la voie Les traverses métalliques ne sont plus utilisées en France depuis une trentaine d'années

- **Traverses en béton**

Ce type des traverses est le plus utilisé dans la voie ferrée, ils existent deux types des traverses en béton :

Traverses monobloc en béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance

Traverses de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse

- **Traverses en plastique recyclé**

La traverse plastique est habituellement fabriquée à partir d'un recyclât de polyoléfine et renforcée de fibres. Elle est respectueuse de l'environnement. La traverse composite est une alternative à la traverse en bois imprégnée de créosote, l'EU envisageant une restriction sur l'utilisation de la créosote dans les années à venir. La traverse plastique possède d'excellentes caractéristiques mécaniques, supérieures à la traverse en bois. Elle résiste très bien aux intempéries et aux produits chimiques. Elle peut aussi permettre une réduction de nuisance sonore. Plusieurs pays de l'EU ont déjà opté pour cette traverse 100% recyclable. Elle peut être installée en voie standard, en appareil de voie ou encore sur des ouvrages d'art.

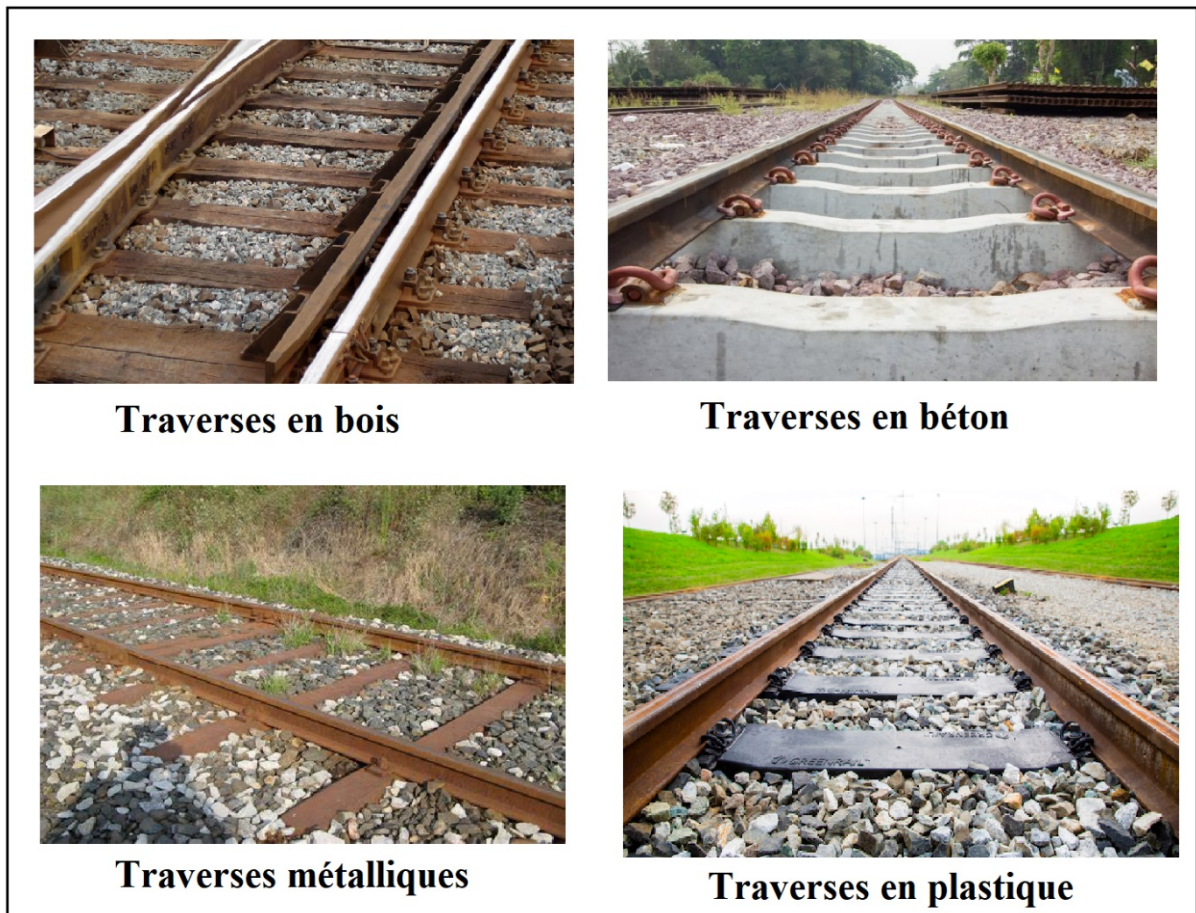


Figure I. 4 Types des traverses

I.3.1.3 Attaches et semelles

➤ Semelle

Elle est posée entre le rail et la traverse, généralement en élastomère, de 9 mm d'épaisseur, elle a une capacité d'amortissement importante qui peut réduire considérablement les charges exercées sur les traverses.

➤ Attaches

Les attaches L'attache est un matériel de fixation, elle permet de fixer le rail sur la traverse, ils existent plusieurs types d'attaches mais les plus utilisés et connus sont les suivantes :

- Les anciennes attaches pour les traverses en bois étaient des crampons puis des Tirefonds. Le premier type serrait mal le patin, le rail pouvant alors se relever de la traverse et le deuxième était tellement rigide que le rail pouvait soulever la traverse en se redressant.
- Pour les traverses métalliques, le système d'attache est constitué de boulons qui fixent les crapauds sur le patin.

Leurs rôles sont de :

- ✓ Assure un effort vertical de serrage du rail sur la traverse le plus constant possible
- ✓ Couple de renversement important, s'opposant au déversement du rail
- ✓ Transmission des efforts latéraux à la traverse
- ✓ Contribuer à l'élasticité et à l'amortissement de la voie (attaches élastiques)

- ✓ Assure l'isolement électrique
- ✓ Mécanisation de la pose
- ✓ Entretien réduit au minimum (consiste essentiellement à vérifier les qualités mécaniques de l'attache)

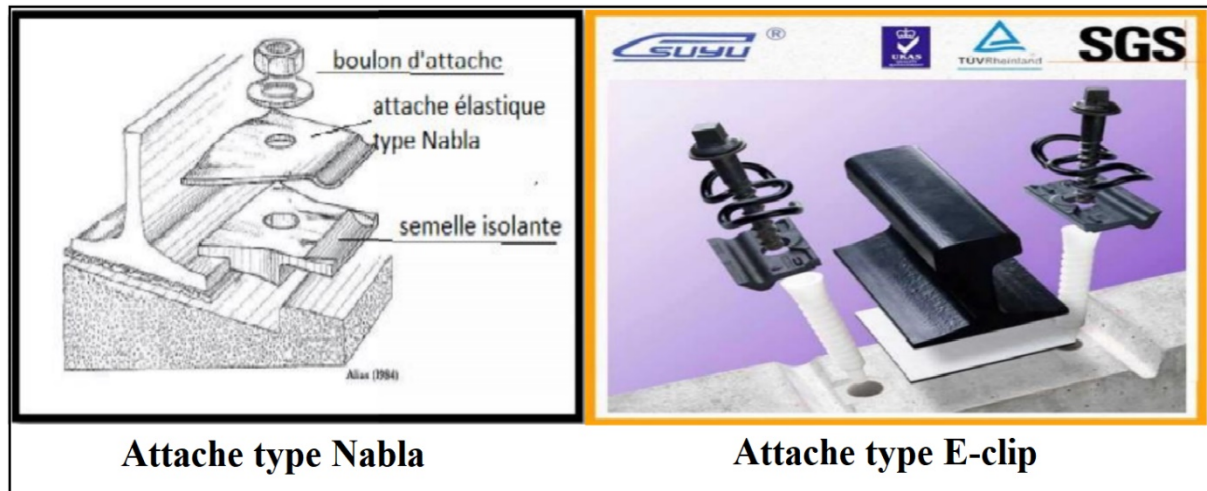


Figure I. 5 attache et semelle

I.3.2 La voie ballastée

I.3.2.1 La voie ballastée classique

C'est une voie où le ballast forme la plate-forme sur laquelle les traverses sont posées. Il est utilisé pour supporter la charge des traverses de chemin de fer, pour faciliter le drainage de l'eau et aussi pour maintenir la végétation qui pourrait interférer avec la structure de la voie. Le ballast maintient également la voie en place lorsque les trains roulent dessus. Il se compose généralement de pierre concassée.

I.3.2.2 Voie CNM

La plateforme du CNM intégré une spécificité innovante pour une voie ferrée : une structure d'assise bitumeuse.

Classiquement, le ballast des voies ferrées repose sur une succession de couches compactées de matériaux nobles granulaires (corps de remblai, couche de forme, sous-couche).

La mise en œuvre d'un revêtement goudronné a de nombreux avantages :

- **En conception**, cette assise est plus économe en matériaux car elle permet de diminuer l'épaisseur des couches du remblai ; de plus, le bitume ayant une imperméabilisation accrue cela facilite l'écoulement des eaux pluviales, une conception du tracé plus souple et des apports en matériaux extérieurs diminués.
- **Pendant les travaux**, après la mise en œuvre de cet enrobé et avant la pose des voies ferrées, la plateforme est comparable à une chaussée routière. Certains travaux ferroviaires sont réalisés par camions plutôt que par train (déroulage de câbles, pose des supports caténaires, ...), ce qui facilite la pose des équipements ferroviaires.

- **En phase d'exploitation**, cette innovation crée une paroi entre les matériaux du remblai et le ballast empêchant les mauvaises herbes de pousser, ce qui diminue le recours à des désherbants pour l'entretien de la plateforme. Elle possède également des propriétés mécaniques favorables plus souple qu'une sous-couche classique et favorise l'absorption des chocs générés par le passage des trains, diminuant ainsi l'usure des matériaux et la propagation des vibrations tout en assurant la stabilité de la voie.

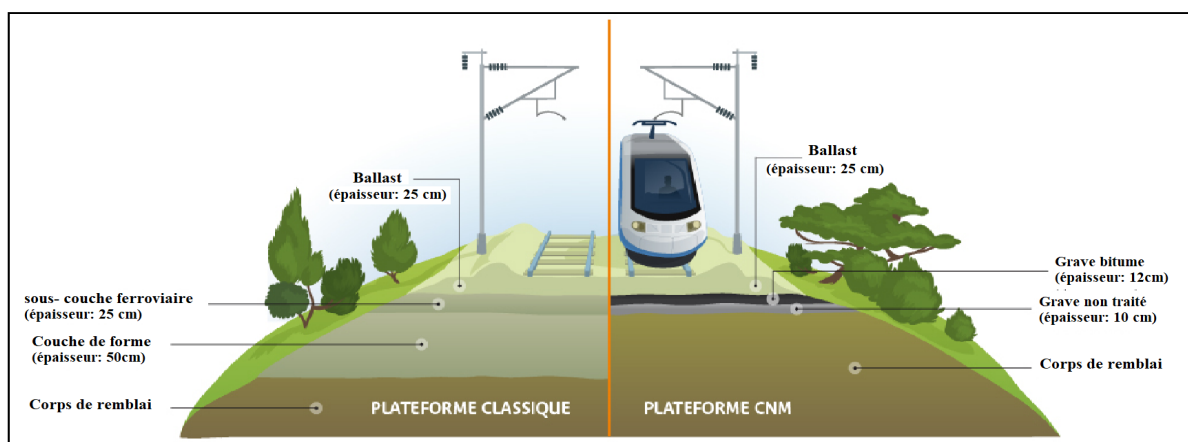


Figure I. 6 différence entre une voie classique et une voie CNM

I.3.3 Voie sans ballast

Une voie sans ballast est un type de voie dans lequel la combinaison élastique traditionnelle de traverses et de ballast est remplacée par une construction rigide en béton, plusieurs techniques existent actuellement, toutes utilisent une dalle en béton armé installée soit en continu grâce à une machine spécialisée (machine à coffrage Glissant), soit en éléments préfabriqués, soit par la mise en œuvre de béton coulé en place. Ces techniques sont :

- le système spécialisé de traverses en béton noyées dans la dalle en béton ;
- l'attache directe de la voie sur « selles » ;
- le rail noyé ou « Embedded Rail System » (ERS) : les rails sont maintenus dans des gorges moulées dans le béton par l'intermédiaire d'une résine souple
- les dalles préfabriquées.

L'élasticité et l'amortissement nécessaire qui sont absents dans ces couches d'assise, sont assurés par la fixation des rails ou des dispositifs élastiques sous les traverses. L'avantage sur le ballast est que l'élasticité est parfaitement contrôlée, et se dégrade beaucoup moins rapidement que le ballast

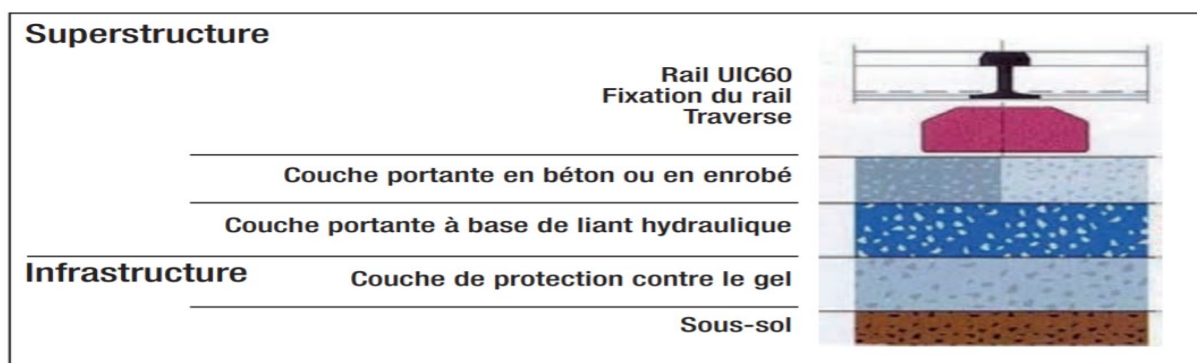


Figure I. 7 structuration d'une voie sans ballast

I.3.3.1 Traverses noyées dans une dalle de béton

L'utilisation du ballast pour la mise en place des traverses est souvent la méthode la plus utilisée, malgré son avantage en construction, elle nécessite beaucoup d'entretien et donne une hauteur d'assise importante. Pour régler ce problème, on fait appel à une autre méthode de fixation des traverses, elle consiste à noyer la traverse dans un béton de calage. La pose est facile dans son principe mais requiert une grande maîtrise car la géométrie de la voie doit être précise, et ce d'autant plus lorsque la vitesse de circulation est élevée.

Ce type de voie favorise, les conditions de cheminement des personnels ou l'évacuation des usagers en cas d'accident ou d'incidents dans les tunnels.

Les différentes étapes de la construction de la voie :

- Pose des traverses en béton sur la chape en béton ;
- Disposition d'armatures intermédiaires ;
- Positionnement des rails (selles, boulons, ressorts) ;
- Installation des bordures latérales (auget) ;
- Constitution de la dalle définitive



Figure I. 8 voie de type « traverses noyées dans une dalle de béton »

I.3.3.2 Voie à attache directe

Cette technique est une expérimentation française, elle ouvre les perspectives de pérenniser le débouché et le dégagement des gabarits et de réduire les interventions d'entretien des voies

La surface de la dalle mince en béton armé est réglée avec une tolérance de l'ordre des quelques millimètres. Les rails sont fixés sur des selles élastiques. Celles-ci sont réglées puis scellées dans le béton, permettant d'obtenir le niveau exact du plan de roulement des rails,

conformément aux tolérances prescrites par la SNCF. Cette pose permet d'envisager une augmentation future de la vitesse des trains. Elle facilite son entretien par l'emploi de matériels mécanisés et informatisés. Aujourd'hui, les coûts d'entretien des voies et les renouvellements des traverses et du ballast sont conséquents. De plus, ces travaux nécessitent d'importants tonnages en matériaux (granulats) et leur mise en œuvre nécessite des précautions en raison de l'espace confiné (dégagement de poussières, etc.)



Figure I. 9 voie à attaches directes

I.3.3.3 ERS (Embedded rail system)

Il s'agit d'un système de fixation en continu : les rails sont maintenus dans une engravure qui peut être moulée dans une dalle en béton. La caractéristique principale du système ERS est l'absence totale des éléments de fixation traditionnelle, tels que les plaques, les boulons, les selles, les ressorts, etc.

Après réglage et calage, le rail est enrobé et collé par une résine bi-composante, dont les capacités mécaniques sont fonction des besoins du projet (atténuation de bruit ou des vibrations). Cette résine doit rester invariable dans le temps et résister au rayonnement et aux agressions chimiques, thermiques et mécaniques. De plus, elle doit être facile à employer dans des conditions courantes de chantier :

- ✓ Conditionnement adapté des composants ;
- ✓ Consistance et temps de polymérisation réglés en fonction du travail à réaliser ;
- ✓ Collage parfait sur toutes les surfaces ;
- ✓ Insensibilité à l'humidité.

Principaux points forts du système ERS :

- ✓ Réduction des bruits et des vibrations ;

- ✓ Augmentation de la durée de vie des rails grâce au support vertical et au calage latéral en continu par la résine élastique et par l'absence de forces dynamiques induites par la flexion des traverses ;
- ✓ Réduction de la hauteur de la construction (tunnels, ouvrages d'art, gares) ;
- ✓ Technique utilisable pour toute la gamme des rails existants ;
- ✓ Soudage et meulage des rails sans contraintes en dehors de la réservation ;
- ✓ Réglages avec outillage courant ;
- ✓ Entretien réduit au minimum : plus de fluage des patins, plus de pièces desserrées ou corrodées ;
- ✓ Remplacement aisé du rail

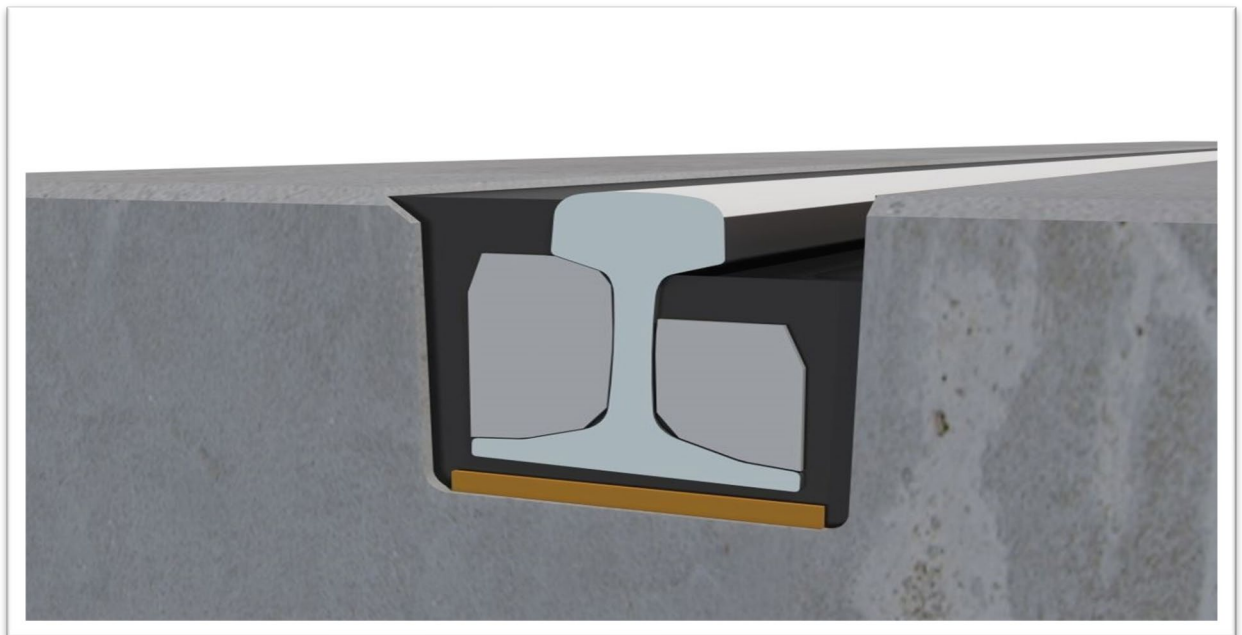


Figure I. 10 schématisation d'une voie ERS

I.3.3.4 Les dalles préfabriquées

Cette technologie est utilisée en Allemagne, japon, chine, très peu en France.

La fabrication en usine de plaques d'appui ou de dalle préfabriquées pour voie ferrée est une alternative à la construction d'une dalle coulée en place, elle permet de réduire l'ordre de tolérances de fabrication au millimètre.

Pour son positionnement, chaque plaque (pesant 15 tonnes environ) fera préalablement l'objet d'une numérotation et d'une identification sur un plan de calepinage conforme à la géométrie de la voie, les plaque sont ensuite liées entre elles par un mortier de scellement.

Tableau I. 1 analyse comparative entre la voie ballastée en la voie bétonnée

	Voie ballastée	Voie sans ballast
Projet	• Nécessité de prendre en compte la structure de la plate-forme dès le projet	• Nécessité de prendre en compte la structure de la plate-forme dès le projet
Conception	• Irrégularité des propriétés rhéologiques des ballast • Résistance au déplacement latéral limitée • Niveau sonore faible • Tenue de la géométrie de la voie apte à l'usage • Projection de ballast à grande vitesse	• Régularité des propriétés rhéologiques du béton • Haute résistance au déplacement • Emissions sonores plus élevée mais facile à traiter • Prévoir une transition voie béton/ voie ballast demandant une réalisation spécifique
Construction	• Pose à grande rendement maîtrisée • Largement mécanisée • Faible sensibilité aux imperfections de fabrication • Prix maîtrisé • Utilisation des quantités importantes de granulats de caractéristiques élevées	• Cadences rapides • Maîtrise globale des cadences et des couts • Expériences nombreuses et a priori favorables
Maintenance	• Techniques de maintenance parfaitement maîtrisées • Renouvellement périodique du ballast • Obligation de la surveillance et du contrôle	• Interventions lourdes pour le renouvellement de la structure si nécessaire • Grande durabilité générale de la voie

I.3.4 Electrification

La traction électrique a toujours été un choix populaire pour les réseaux ferroviaires de transport collectif. Plus récemment, cette technologie prend de l'importance au sein des systèmes de transport en commun, en raison des préoccupations grandissantes envers le réchauffement planétaire et la durabilité de l'environnement.

De nouvelles technologies innovantes d'alimentation et de régulation ont aussi contribué à réduire les coûts et à améliorer le rendement énergétique de la traction ferroviaire électrique. Aujourd'hui, les réseaux de transport électrifiés offrent une meilleure sécurité et répondent aux besoins diversifiés des déplacements en ville, de plus longues distances.

1.3.4.1 Rôle de l'électrification

L'électrification du réseau ferroviaire a d'abord été un moyen de réduire les coûts d'exploitation par rapport à la traction vapeur (cas des chemins de fer du Midi), puis d'améliorer les performances, exprimées aussi bien par l'augmentation des temps de parcours - suppression des relais de traction, des arrêts pour prise d'eau et élévation de la puissance - que celle des tonnages transportés. La traction Diesel, singulièrement avec des engins de grande puissance comme les CC72000, a bousculé ce schéma, et en matière de transport régional, l'arrivée des X72500 a aussi réduit l'impact de la traction électrique sur les performances ferroviaires.

Aujourd'hui, le recours aux énergies fossiles étant de plus en plus mal perçu, non sans raisons, le champ de pertinence de l'électrification devrait en principe être élargi, tandis que l'évolution technique des motorisations dont nous venons de parler dans la première partie de ce dossier, appelle à reconsidérer la méthode actuelle d'installations fixes, linéaires et continues.

1.3.4.2 Les systèmes d'alimentation

✓ Le courant continu

Développé très tôt aux Etats-Unis l'ont utilisé très tôt pour les transports urbains, suivis par l'Europe : France (1922), Belgique, Espagne, Italie. La tension continue ne pouvant être obtenue de façon simple, et les limites d'isolement étant d'un niveau faible, l'alimentation des lignes devait permettre une utilisation directe sur la locomotive. Ceci explique les tensions d'alimentation utilisées relativement basses : 1 500 ou 3 000 Volts. Les réseaux urbains et certaines grandes lignes sont électrifiés sous tension de 750 V, voire 600 V.

✓ Le courant alternatif basse fréquence 16,7 Hz

En courant alternatif le transport jusqu'à la locomotive peut s'effectuer sous tension plus élevée qu'en continu (15 000 V) du fait des distances d'isolement plus facile à mettre en œuvre. C'est le choix initié par deux grands Ingénieurs suisses : Huber-Stockar et Behn-Eschenburg en 1905. A cette époque les grands réseaux de distribution n'existent pas ou peu et le chemin de fer est son propre fournisseur d'électricité. Ainsi la tension et la fréquence d'alimentation choisies en fonction des contraintes ferroviaires, d'où cette valeur de 16,7 Hz (le tiers de 50 Hz) assimilable par le moteur à collecteur fonctionnant en moteur universel.

✓ Le courant alternatif en fréquence industrielle (50 Hz ou 60 Hz)

Développé à l'initiative de la France, il s'est répandu dans le monde entier de sorte que la plupart des électrifications nouvelles le sont avec ce système.

Des systèmes différents entre pays voisins ou à l'intérieur d'un même pays comme la France, pose le problème du franchissement de ces « frontières électriques ». Nous étudierons les solutions développées notamment grâce aux engins « multi-tensions »

I.3.4.3 Fourniture de l'énergie électriques

Deux types sont à considérer :

- le réseau ferroviaire est son propre fournisseur ; c'est le cas de ceux qui utilisent une fréquence spéciale (16,7 Hz). Ils possèdent leurs centrales ou des centrales intermédiaires convertissant la fréquence du réseau général. (Suisse, Allemagne, Autriche, Pays Scandinaves) et leur propre réseau de distribution.
- le réseau est un abonné du réseau général ; il doit mettre en œuvre l'adaptation nécessaire à ses propres besoins.

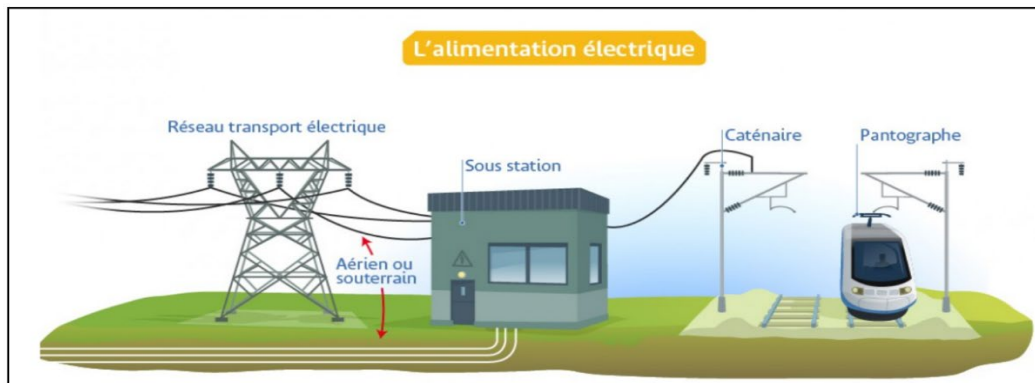


Figure I. 11 Fourniture de l'énergie électrique

I.3.4.4 Le système catenaire

Quelle que soit la tension d'alimentation, la caténaire remplit deux fonctions principales :

- ✓ Distribuer le courant de traction à l'engin moteur en tous points de la ligne, par l'intermédiaire d'un appareil articulé, appelé " pantographe ".
- ✓ Permettre un contact mécanique optimum quels que soient les paramètres de circulation

Du point de vue électrique, le système répond aux contraintes suivantes :

- ✓ Résistance électrique minimum pour optimiser la chute de tension (en Ω/km)
- ✓ Respecter les isolements électriques par rapport à l'environnement (supports, obstacles, ouvrages d'art, etc.)

Du point de vue mécanique, l'ensemble de suspension du câble de contact présente :

- ✓ Une rigidité suffisante au passage du pantographe
- ✓ Une hauteur la plus constante possible par rapport au rail

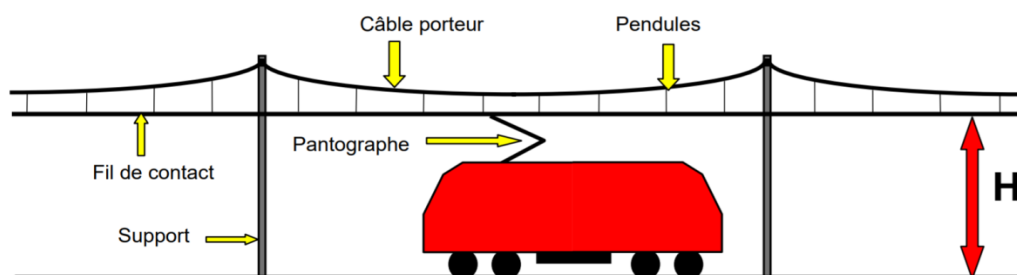


Figure I. 12 schéma représentatif du système captage du courant électrique

Pour garantir une hauteur constante et un soulèvement minimum du fil de contact au passage de l'archet du pantographe, et ce quelles que soient les conditions de température entraînant dilatation ou rétraction, on doit maintenir l'ensemble porteur et fil de contact en tension mécanique. Elle assurée par un système simple d'ancrage et contrepoids. Les tensions adoptées généralement sont de 1700 daN en courant continu et 1000 daN en monophasé, pour des températures ambiantes de -10°C à $+50^{\circ}\text{C}$.

➤ **Caténaire à courant continu**

La caténaire à courant continu est caractérisée par de fortes sections de cuivre nécessitant un armement de supports lourd. Sur les lignes à fort trafic le câble porteur est doublé d'un câble porteur auxiliaire ; le fil de contact est doublé

➤ **Caténaire monophasée**

La tension d'alimentation plus élevée permet des intensités beaucoup plus faibles, donc une section cuivre plus petite. L'armement des supports s'en trouve allégé. Elle est constituée d'un câble porteur et d'un fil de contact suspendu par pendules

➤ **Caténaire monophasée simple régularisée**

Certaines lignes à faible ou moyen trafic ne nécessitent pas un équipement aussi complet qu'une ligne normale ; c'est le cas, entre autres, des lignes à voie unique où le nombre de trains alimentés simultanément par la même sous-station est réduit ; les chutes de tension sont, dans ce cas, faibles. L'équipement caténaire est constitué par un seul fil de contact, régularisé au droit des support par un câble de suspension.



Figure I. 13 des caténaires

I.4 CONCLUSION

Aller vers des futures voies modernes n'est pas un choix mais plutôt une obligation, la modernisation du réseau ferroviaire joue un rôle important pour assurer une grande durabilité des voies avec des basses coûts, et pour assurer le confort et la sécurité nécessaires pour les usagers.

CHAPITRE II

PRESENTATION DU

PROJET

II.1 INTRODUCTION

Les transports efficaces sont un composant critique du développement économique, au niveau national aussi bien que mondial, En effet, dans une économie moderne, le transport joue un rôle prépondérant car, non seulement il facilite les échanges entre les agents économiques, mais également améliore la circulation des personnes et des biens, des idées et des services.

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire d'Algérie parmi lesquels la réalisation de la rocade ferroviaire des hauts plateaux.

II.2 DESCRIPTION GENERAL DU PROJET

Notre projet consiste à la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Tiaret- Saida dans le cadre de développement de l'axe de la rocade ferroviaire des hauts plateaux.

La ligne Tiaret-Saida est d'un linéaire de 153 kilomètre de voie unique pour un trafic mixte à une vitesse maximale de 160 km/h pour les trains de voyageurs et de 100 km/h pour les trains de marchandise.

Le projet comporte quatre gares, dont deux de marchandise/voyageur à Tiaret et Saida et deux autres pour voyageur à Freneda et Ain Kermès, ainsi que neuf gares de croisement sur la ligne.



Figure II. 1 vue satellitaire du tracé

II.3 OBJECTIFS DU PROJET

- L'ouverture des régions les unes aux autres
- L'adaptation et le développement des zones industrielles et des zones économiques
- Un gain de temps de transport et une amélioration de la sécurité...

II.4 PRESENTATION DE LA WILAYA DE TIARET

II.4.1 Situation géographique

Située au Nord-ouest de l'Algérie à 340 km de la capitale, elle est limitée par des wilayas de Tissemsilt et Relizane au Nord, Laghouat et El-Bayad du sud Est, Mascara et Saïda du côté sud Oust et partage ses frontières avec la wilaya de Djalfa et Médéa.

La position géographique stratégique de la wilaya fait d'elle une zone de contact entre le nord et le sud, mais aussi plusieurs wilayas de pays.

Le nombre de commune : 42. Le nombre de daïra est de 14.

La population de la wilaya est de 847813 habitants.



Figure II. 2 Situation géographique de la wilaya de Tiaret

II.4.2 Situation géomorphologique

La wilaya de Tiaret est caractérisée par un ensemble chaines de montagnes des hauts plateaux de l'atlas Saharien (sud-ouest), le relief est composé de trois zones :

- Au nord : une zone montagneuse de L'Atlas tellien.
- Au centre : les hauts plateaux
- Au sud : des espaces semi arides

II.4.3 Climat

Déterminé par la position géographique de la wilaya est la diversité de son relief, la wilaya de Tiaret traverse au cours de l'année deux périodes principales, à savoir :

Le climat est continental semi-aride :

- Un hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige.
- Un été chaud et très sec.

II.4.4 La pluviométrie

La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 300mm/ans, les pluies tombent en générale sous forme d'averses (orage), durant le mois de septembre, novembre et jusqu'au mois d'avril.

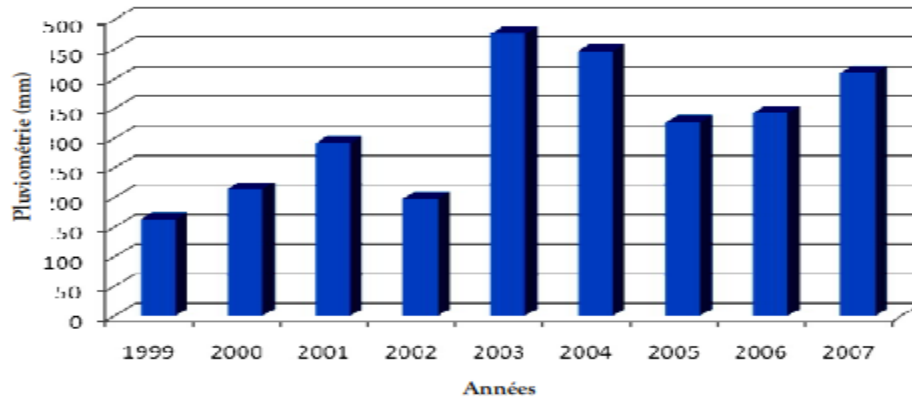


Figure II. 3 précipitations annuelles sur 09 ans

II.4.5 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.

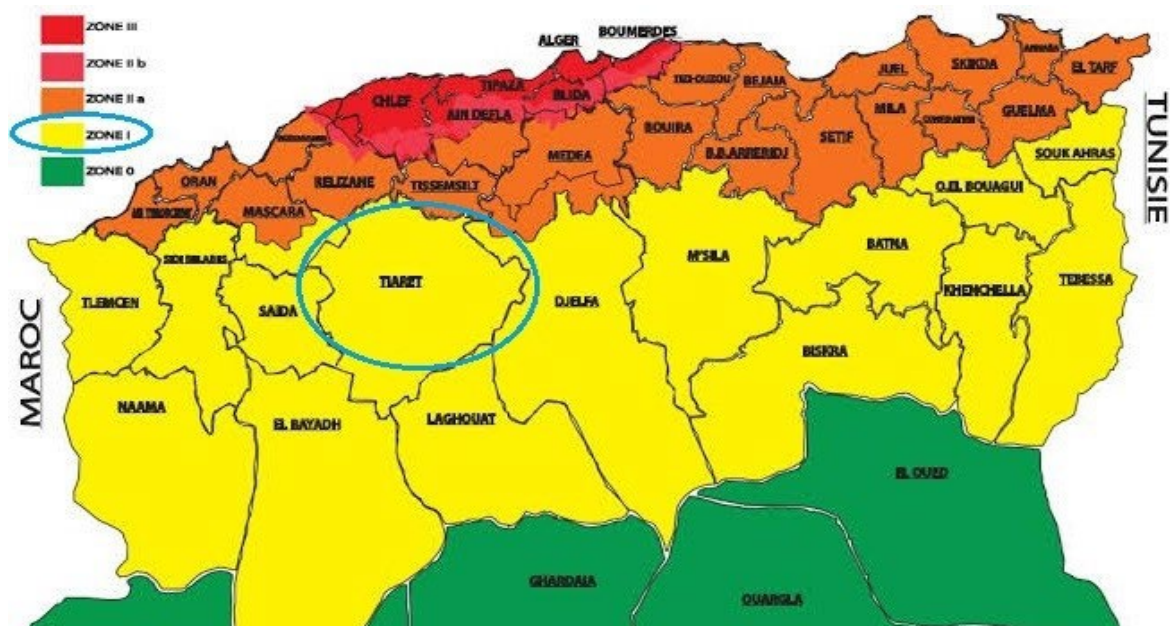


Figure II. 4 Zones sismique en Algérie

D'après le Règlement parasismique Algérien « RPA 99/version 2003 », la wilaya de Tiaret appartient à une zone sismique « I » caractérisé par une sismicité faible.

II.4.6 Les Infrastructures économiques, administratives et sociales

La wilaya de Tiaret dispose d'une infrastructure de base importante dont :

- Elle est traversée par trois importantes voies de communication (RN 23, RN 14, RN 40), qui assurent les liaisons nord-sud et est-ouest du pays.
- Une zone industrielle et de neuf zones d'activités.
- Le secteur de l'enseignement supérieur est doté d'un pôle universitaire de 20.000 place.

II.5 PRESENTATION DU PROJET D'ETUDES

Notre projet de réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire du tronçon Tiaret- Saida, s'étale sur une longueur de 19 km environ. Le tracé est à voie unique du PK 30+550 au PK 49+458.

Il est situé à l'est de ville Frenda entièrement dans la wilaya de Tiaret, entre 25 et 45 Km au sud du chef-lieu du wilaya.

Cinq oueds croisent le tracé et peuvent être canaliser au moyen des dalots ou des buses.

Le tronçon se compose principalement des surfaces agricoles, il traverse des terrains à basses pentes, parfois rocheux parfois meubles.

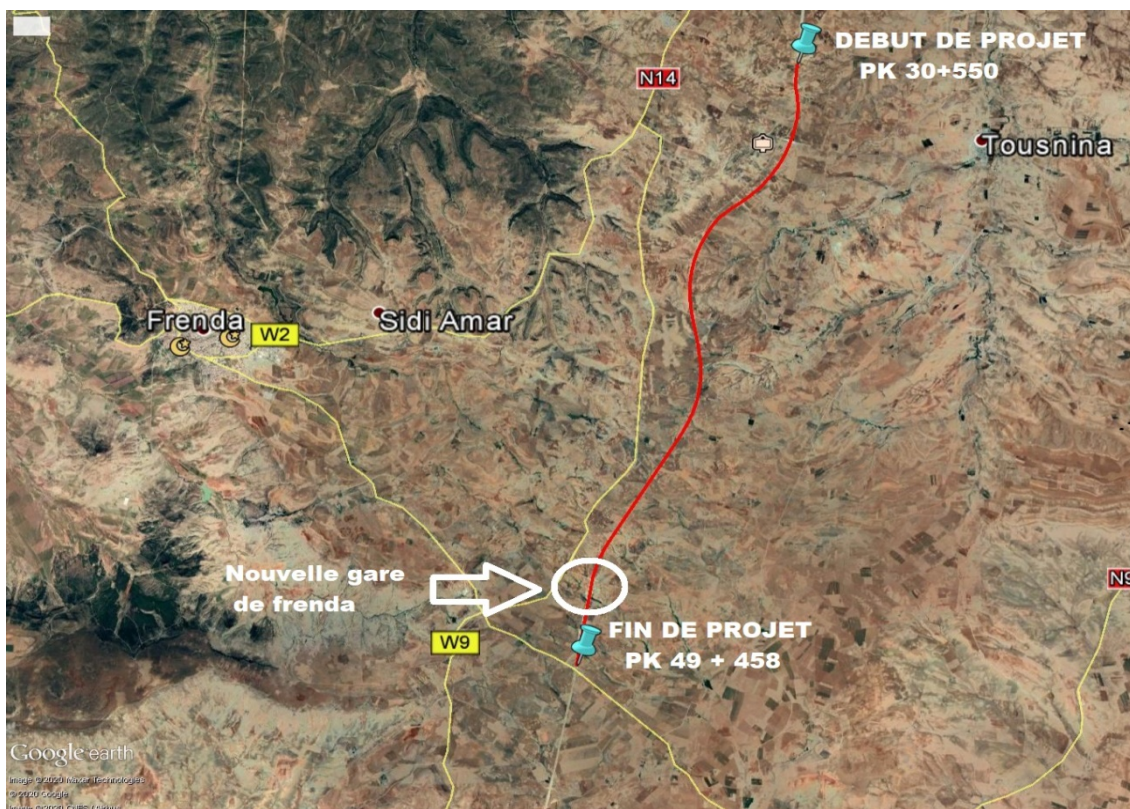


Figure II. 5 Vue satellitaire du tracé concerné par l'étude

La gare de Frenda se trouve à 11 km environ du centre-ville de Frenda, elle se situe entre le PK 47+975 et le PK 49+425.

II.6 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU PROJET

Cette nouvelle ligne à voie unique est conçue pour une vitesse maximale de 160 km/h. Les caractéristiques géométriques et techniques suivent les recommandations de la SNTF et des UIC.

II.6.1 Caractéristique de base :

- Longueur 19 km. .
- Ligne à voie unique posée sur plate-forme de 8m de largeur.
- Ponts-rails et ponts-route prévus pour double voie.
- Trafic mixte voyageurs et marchandises.
- Traction actuellement diesel, électrifiée en future.
- Ligne sans passages à niveau.
- Ligne clôturée de bout en bout.

II.6.2 Caractéristiques de la Voie

Notre voie future est caractérisée par les spécifications suivantes :

- Ecartement : La voie normale sera construite à écartement normal $e = 1435$ mm sans sur écartement dans les courbes.
- Gabarit : Le gabarit à dégager est celui des lignes à grande vitesse. le gabarit GC de l'UIC (y compris future caténaire en 25 KV).
- Charges à l'essieu :
 - Infrastructures : 22.5 t.
 - Ouvrages d'art : 25 t.
- Vitesse maximale :
 - Vitesse des trains de voyageurs : 160 km/h.
 - Vitesse des trains de marchandises : 100 km/h.
 - Vitesses de branchement dans les appareils de voie :
 - UIC-60 300-1:9 : 50 km/h.
 - UIC-60 500-1:12: 60 km/h.
- L'entraxe des voies :
 - L'entraxe des voies est de 4.20 m.
 - L'entraxe des voies de croisement est de 5,00/6,50 m
 - L'entraxe des voies en gares voyageurs est de 5.00m.
 - L'entraxe des voies en gares marchandises et de 5.00m

Tableau II. 1 types des composantes adoptés à notre projet

Composante	Caractéristique
Rail	Rail Vignole UIC 60 EI
Traverse	- Les traverses bi-bloc en béton armé de type VAX U31. - Traverses en bois de chêne pour les appareils de voies.
Attache	Elastique de type NABLA
Ecartement	E=1435 mm
Les appareils de voie	UIC-60 300-1:9 UIC-60 500-1:12

NB : la superstructure est faite dans le chapitre master

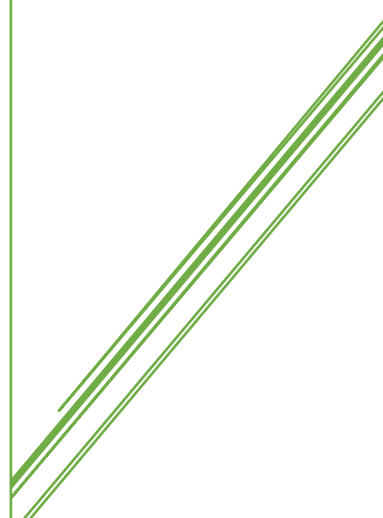
II.7 CONCLUSION

Notre projet consiste à faire une étude APD de la nouvelle ligne à voie unique reliant Saida Tiaret allant de section PK 30+550 jusqu'à PK 49+458 avec la conception de la gare de voyageurs Frenda.

CHAPITRE III

ETUDE

GEOMETRIQUE



III.1 INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement 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

III.2 CRITERE DE LIMITATION DES PARAMETRE GEOMETRIQUE

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

- Valeur limite normale : valeur à ne pas dépasser pour les circulations roulant aux vitesses maximales ou minimales admissibles.

- Valeur limite exceptionnelle : c'est une valeur plus défavorable que la valeur limite normale, qui peut être utilisée dans des circonstances exceptionnelles. Les valeurs limites normales et exceptionnelles conditionneront la définition géométrique du tracé. La marge exceptionnelle d'un paramètre est la différence qui existe entre les valeurs limites exceptionnelles et normales.

Si la valeur d'un quelconque paramètre dépasse la valeur limite normale, il faudra tenir compte des considérations suivantes :

- Si un seul paramètre dépasse la valeur limite normale, sa valeur pourra atteindre la valeur limite exceptionnelle.

- Si plusieurs paramètres dépassent la valeur limite normale, il sera admis un dépassement maximum de 80 % de la marge exceptionnelle pour le paramètre le plus défavorable alors que les autres paramètres ne devront dépasser cette marge que de 20 %.

- Un paramètre ne devra pas dépasser plus d'une fois la valeur limite normale sur un tronçon de 20 km de long.

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, il est constitué en générale d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles relié entre eux par des courbes de raccordement progressif.

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

V_r : vitesse des trains rapides (voyageurs)

V_L : vitesse des trains lents (marchandises)

III.4.1 Règles et conditions sur le tracé en plan

Pour réaliser un tracé optimal (économiquement et techniquement), on doit respecter les règles suivantes :

- Utiliser le maximum d'alignements droits
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible, dans le cas où c'est inévitable, le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dans les endroits les plus étroits.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.
- Eviter les problèmes de talus :

Talus en déblai :

Présence de nappe

Terrains plastiques

Présence de roches fissurées

Talus en remblai :

Présence de terrain instable (pouvant être mis en mouvement par le remblai)

Sol très compressible

III.4.2 Eléments du Tracé

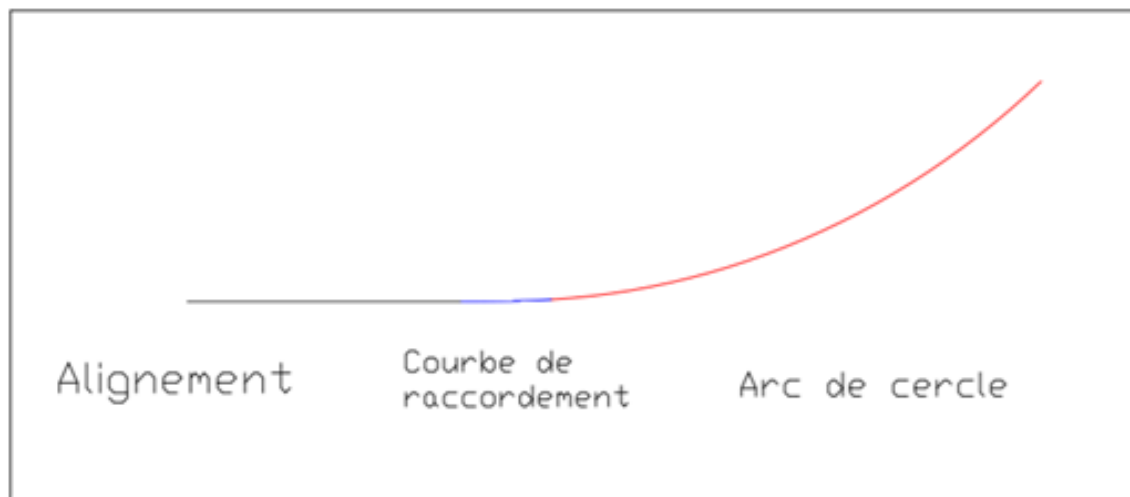


Figure III. 1 Eléments du tracé en plan

III.4.2.1 Alignement droit

La conception d'une voie ferrée avec plus de longs alignements offre un meilleur confort aux usagers ainsi que leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone nous permet, donc c'est le meilleur tracé en point de vue technique.

Les longueurs minimales des alignements doivent respecter les valeurs ci-après (exprimées en mètres) :

Tableau III. 1 Valeurs de longueur minimale des alignements droits

Valeur normale	V/2
Valeur exceptionnelle	V/3

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

V : Vitesse des trains rapides (V_r)

N.B : pour notre projet, $L_{min} = V/2 = 160/2 = 80$ m

III.4.2.2 Courbe circulaire :

Sont nécessaires pour raccorder deux alignements droits, elles sont caractérisées par les éléments suivants :

a) 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 extérieure de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

➤ Dévers théorique

Les forces appliquées au centre de gravité du véhicule sont la force centrifuge (**GA**) et le poids du véhicule (**GB**).

Pour faire équilibrer la composante $GC = \frac{1}{R} mV^2 \cos \alpha$ de la force centrifuge qui tend à rejeter le véhicule vers l'extérieur, nous avons la composante $GH = P \sin \alpha$

$$\text{Donc } \frac{mV^2 \cos \alpha}{R} = P \sin \alpha$$

Comme : $P = m g$ et l'angle α étant très petit, on peut prendre : $\sin \alpha = \tan \alpha = d_{th} / e$ et $\cos \alpha = 1$

$$\text{Donc : } mV^2 / R = mg d_{th} / e$$

$$\Rightarrow d_{th} = \frac{eV^2}{gR} \text{ et puisque : } V \text{ (m/s)} = \frac{V \text{ (km/h)}}{3.6} \text{ et } e = 1500 \text{ mm et } g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow d_{th} = \frac{11.8 V^2}{R} \text{ (mm)}$$

R : Rayon de courbe (m)

V : Vitesse (km/h)

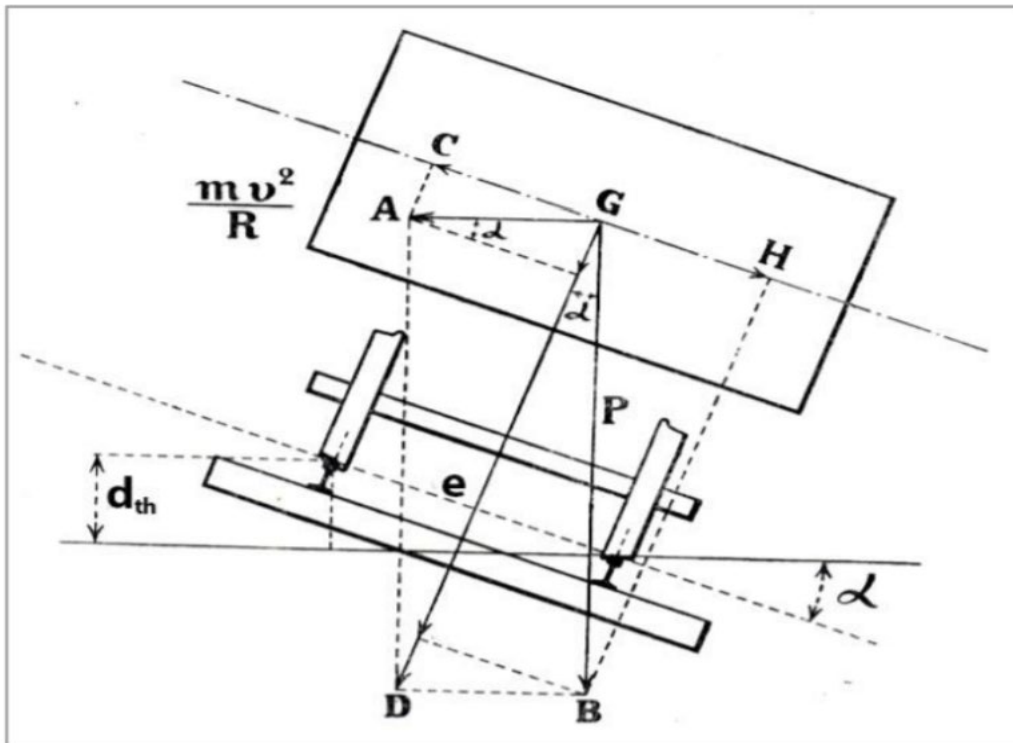


Figure III. 2 Forces appliquées au centre de gravité du véhicule

➤ Dévers pratique

C'est le dévers réel qu'on va donner à la voie, il est compris entre le d_{th} correspond à la vitesse maximale et le d_{th} correspond à la vitesse minimale. il permet la circulation (en courbe) d'un trafic mixte voyageurs-marchandises des trains rapides et des trains lents roulant avec des vitesses différentes en tout sécurité et confort, Il est obtenu à partir de selon la formule suivante :

$$dp = 1000 C / R \quad (\text{mm})$$

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h)

- R : Rayon de la courbe (m)
- C : coefficient de dévers

Coefficient de dévers : C'est un coefficient de proportionnalité entre le dp et la courbure ($1/R$). le choix d'un coefficient C constant sur toute la voie, permet de respecter simultanément les valeurs normales (ou exceptionnelles) des paramètres suivants : dévers, insuffisance de dévers et excès de dévers, ce qui ramène un plus pour le confort.

la valeurs optimale de coefficient de dévers est :

$$C = 0.006 V^2$$

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h)

V : Vitesse des trains rapides (km/h)

De plus, pour des raisons de confort des voyageurs, on essaye de choisir C d'une manière de rapprocher d_p à $0.7 d_{th}$

➤ **Dévers maximum admissible :**

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

Tableau III. 2 Dévers maximum admissible

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

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

b) Insuffisance de dévers (I)

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers théorique et le dévers pratique, elle est limitée par le formule suivante :

$$I = \frac{11.8 V_{max}^2}{R} - D \leq I_{lim}$$

Les valeurs maximales admissibles sont :

Tableau III. 3 Insuffisance de dévers admissible

Valeur maximale normale	150 mm
Valeur maximale exceptionnelle	160 mm

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

c) Excès de dévers (E)

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

Les valeurs maximales admissibles sont les suivantes :

Tableau III. 4 Excès de dévers admissible

Valeur maximale normale	110mm
Valeur maximale exceptionnelle	130mm

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

d) Rayon minimum de l'alignement circulaire

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

Le R_{min} est défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible (I_{max}), le dévers maximum (D_{max}) et la vitesse (V_{max}) pour les trains rapides (voyageurs), suivant la formule :

$$R_{min} \geq \frac{11.8 V_{max}^2}{D_{max} + I}$$

Avec :

- R : Rayon de courbe (m)
- V_{max} : Vitesse des trains rapides (km/h)
- I : Insuffisance de dévers (mm)
- D_{max} : Dévers maximum (mm)

III.4.2.3 Courbe de raccordement progressif (CRP)

C'est une courbe à rayon variable assurant la variation uniforme de dévers (ou courbure) entre un alignement droit et une courbe circulaire ou bien entre deux courbes circulaires de rayons différents.

a) La clothoïde

Il existe plusieurs types de courbes de raccordement progressif mais la clothoïde est la seule CRP qui sera appliquée dans le tracé de notre projet pour plusieurs raisons :

- C'est l'idéale courbe de raccordement progressif en point de vue dynamique
- Elle maintient la variation de l'accélération transversale constante, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.
- Elle satisfait les exigences d'esthétique et de confort optique

L'expression mathématique de la clothoïde est

$$A^2 = L_{RP} \cdot R$$

A : Paramètre de la clothoïde.

L_{RP} : Longueur de clothoïde L_{RP} (m).

R : Rayon de courbe (m).

b) Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur dd/dl

Le dévers varie progressivement dans la clothoïde, cette variation provoque un gauchissement car les deux files de rail ne sont plus parallèles, ce qui oblige le véhicule à s'inscrire anormalement sur ses quatre points de contact, ce qui est considéré comme un risque majeur pour la circulation des véhicules.

Le gauchissement est défini par taux de variation de dévers par unité de longueur : $\frac{dd}{dl}$, il est limité par un taux de variation maximal admissible R_p en (mm/m), afin de garantir une sécurité suffisante contre le déraillement.

Tableau III. 5 Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur

Valeur maximale normale	180/V
Valeur maximale exceptionnelle	216/V

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

V : Vitesse des trains rapides (km/h)

N.B : pour notre projet, $(dd/dl)_{\max} = 180/V = 180/160 = 1.125$ mm/m

c) Limite de la variation de dévers par rapport au temps dd/dt

La variation du dévers dans le temps est aussi limitée par une valeur maximale :

Tableau III. 6 Limite de la variation de dévers par rapport au temps

Valeur maximale normale	50 mm/s
Valeur maximale exceptionnelle	60 mm/s

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

d) Limite de la variation d'insuffisance de dévers :

Quand le véhicule parcourt la clothoïde, le voyageur ressent progressivement la force centrifuge non compensée à cause de la variation de l'insuffisance de dévers dl/dt , cette progression doit être si possible inconsciente pour le voyageur, elle est limitée par la formule :

$$\left(\frac{dl}{dt}\right) = \frac{I \cdot V_{\max}}{3.6 \cdot L} \leq \left(\frac{dl}{dt}\right)_{\text{rec}}$$

Les valeurs max sont :

Tableau III. 7 Limite de la variation d'insuffisance de dévers

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

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

e) La longueur de clothoïde L_{RP}

Le choix de la longueur de la clothoïde devra être effectué de telle sorte que les conditions précédentes soient satisfaites. Sur cette base, la longueur minimale de clothoïde sera calculée comme suit

$$L_{RP} \geq \frac{dp}{\left(\frac{dd}{dt}\right)_{max}}$$

III.4.3 Application au projet :

- Calcul du rayon minimal :

$$R_{min} \geq \frac{11.8 V^2_{max}}{D_{max} + I_{max}} = \frac{11.8 (160)^2}{160 + 150} = 975 \text{ m}$$

Pour une circulation de 160 Km/h, le rayon minimal normal est de $R_{min} = 975 \text{ m}$, correspondant à un dévers max de 160 mm, et d'insuffisance de dévers max de 150 mm

- Le calcul géométrique est fait pour un rayon de : $R = 1400 \text{ m}$
- Le dévers théorique : $d_{th} = \frac{11.8 V^2_{max}}{R} = \frac{11.8 (160)^2}{1400} = 215.77 \text{ mm} \approx 216 \text{ mm}$
- Le coefficient de dévers : $C = 195$
- Le devers pratique : $dp = 1000 C/R = 1000 (195/1400) = 139.29 \approx 140 < 160 \text{ mm}$
- L'insuffisance de dévers : $I = d_{th} - dp = 216 - 140 = 76 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$
- L'excès de dévers : $E = dp - \frac{11.8 V^2_{min}}{R} = 140 - \frac{11.8 (100)^2}{1400} = 55.71 \text{ mm} < 110 \text{ mm}$

Tableau III. 8 Tableau récapitulatif des paramètres du tracé

Rayon	Vitesse	d_{th}	C	dp	dp utilisé	I	E
1000	160	302.08	195	195.00	160	142.08	42.00
1400	160	215.77	195	139.29	140	75.77	55.71
1500	160	201.39	195	130.00	130	71.39	51.33
1600	160	188.80	195	121.88	120	68.80	46.25
1700	160	177.69	195	114.71	120	57.69	50.59
1800	160	167.82	195	108.33	110	57.82	44.44
1900	160	158.99	195	102.63	100	58.99	37.89
2000	160	151.04	195	97.50	100	51.04	41.00
3000	160	100.69	195	65.00	70	30.69	30.67
3500	160	86.31	195	55.71	60	26.31	26.29
4000	160	75.52	195	48.75	50	25.52	20.50

Rayon	d utilisé	Lrp	Lrp utilisée	Lrp*R	A	dd/L	dd/L < 1.125
1000	160	142.222	150	150000	387.298	1.067	Vérifiée
1400	140	124.444	130	182000	426.615	1.077	Vérifiée
1500	130	115.556	120	180000	424.264	1.083	Vérifiée

1600	120	106.667	110	176000	419.524	1.091	Vérifiée
1700	120	106.667	110	187000	432.435	1.091	Vérifiée
1800	110	97.778	100	180000	424.264	1.100	Vérifiée
1900	100	88.889	90	171000	413.521	1.111	Vérifiée
2000	100	88.889	90	180000	424.264	1.111	Vérifiée
3000	70	62.222	70	210000	458.258	1.000	Vérifiée
3500	60	53.333	60	210000	458.258	1.000	Vérifiée
4000	50	44.444	50	200000	447.214	1.000	Vérifiée

III.4.4 Calcul d'axe

Tout calcul d'axe doit suivre les étapes suivantes :

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

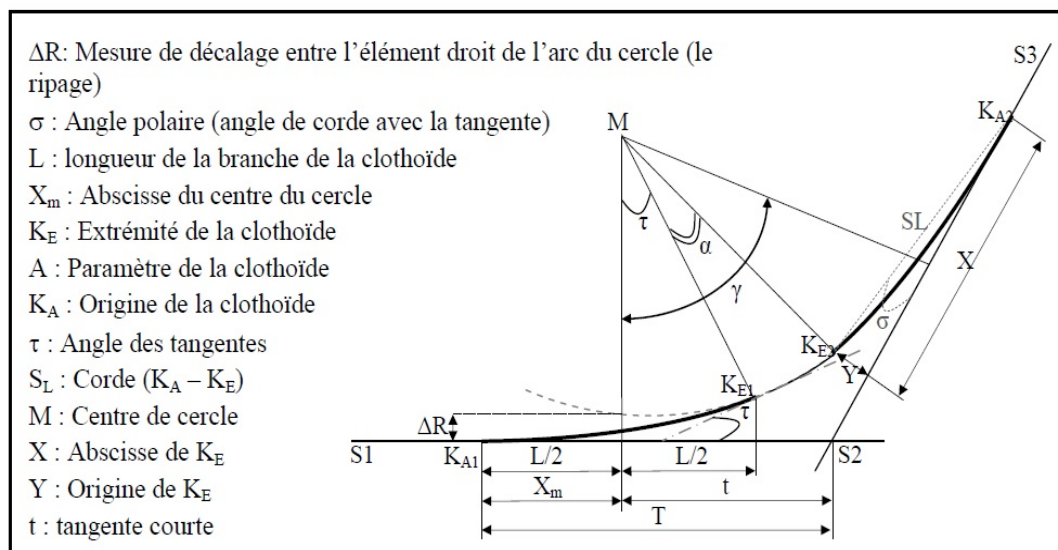


Figure III. 3 Eléments de clothoïdes

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

- Rayon $R1 = 3000$ m

Sommet	X	Y
S0	3744710.8932	757872.4704
S1	3744617.9245	757114.0203
S2	3744666.3833	756056.0166

➤ **Calcul des gisements :**

$$\begin{cases} |\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = -92.9687 \\ |\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = -758.4501 \end{cases} \quad \begin{cases} |\Delta X_1| = |X_{S2} - X_{S1}| = 48.4588m \\ |\Delta Y_1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = -1058.0037m \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_{0S1} = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2} = 764.1268m \\ S_{1S2} = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2} = 1059.1129m \end{cases}$$

D'où:

$$G_{s0}^{s1} = 200 + \arctg \frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|} = 207.7648 \text{ grades.}$$

$$G_{s1}^{s2} = 200 + \arctg \frac{|\Delta Y_1|}{|\Delta X_1|} = 197.0862 \text{ grades.}$$

➤ **Calcul de l'angle γ :**

$$\gamma = |G_{s1}^{s2} - G_{s0}^{s1}| = 10.6786 \text{ grades.}$$

➤ **Calcul de l'angle τ :**

$$\tau = \frac{L}{2R} \cdot \frac{200}{\pi} = \frac{100}{2 \times 3000} \cdot \frac{200}{\pi}$$

Avec :

$$L = 70m \text{ (L : longueur de clothoïde)}$$

$$\tau = 0.7427 \text{ grade}$$

➤ **Vérification de non chevauchement :**

$$\tau = 0.7427 \text{ grade}$$

$$\gamma / 2 = 10.6786 / 2 = 5.3393 \text{ grades.}$$

D'où :

$$\tau < \gamma / 2 \Rightarrow \text{pas de chevauchement.}$$

➤ **Calcul de la tangente T**

$$T = X_m + (R + \Delta R) \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \text{ (m)}$$

$$X_m = \frac{L}{2} = \frac{70}{2} = 35m$$

$$\text{Le ripage } \Delta R: \Delta R = \frac{L^2}{24 R} = \frac{70^2}{24 \times 3000} = 0.0681 \text{ m}$$

$$T = 35 + (3000 + 0.0681) \tan(5.3393) \Rightarrow T = 287.206 \text{ m}$$

➤ **Calcul des la distance $S_0 K_{A1}$**

$$S_0 K_{A1} = S_{0S1} - T = 764.129 - 287.206 \Rightarrow S_0 K_{A1} = 476.923 \text{ m}$$

➤ **Calcul de la corde SL :**

$$S_L = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\text{Avec : } X_{KE} = L = 70$$

$$Y_{KE} = \frac{L^2}{6R} = \frac{70^2}{6 \times 3000} = 0.272$$

donc :

$$S_L = \sqrt{70^2 + 0.272^2} = 70.00 \text{ m}$$

➤ **Calcul de σ :**

$$\sigma = \arctan (Y_{KE} / X_{KE}) = \arctan \left(\frac{0.272}{70} \right) = 0.247 \text{ grades.}$$

➤ **Calcul de α**

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 10.679 - 2 \times 0.7427 = 9.194 \text{ grades.}$$

➤ **Calcul de l'arc :**

$$B = K_{E1}K_{E2} = \frac{[\pi R \alpha]}{200} = \frac{\pi \times 3000 \times 9.194}{200} = 433.26 \text{ m}$$

➤ **Calcul des coordonnées des points singuliers :**

$$K_{A1} = \begin{cases} X_{KA1} = X_{S1} - T \sin G_{S0}^{S1} \\ Y_{KA1} = Y_{S1} - T \cos G_{S0}^{S1} \end{cases}$$

$$K_{A1} = \begin{cases} X_{KA1} = 3744710.8932 - 287.206 \sin 207.7648 = \mathbf{3744745.837 \text{ m}} \\ Y_{KA1} = 3936636.6956 - 287.206 \cos 207.7648 = \mathbf{3936921.768 \text{ m}} \end{cases}$$

$$K_{A2} = \begin{cases} X_{KA2} = X_{S1} + T \sin G_{S1}^{S2} \\ Y_{KA2} = Y_{S1} + T \cos G_{S1}^{S2} \end{cases}$$

$$K_{A2} = \begin{cases} X_{KA2} = 3744710.8932 + 287.206 \sin 107.099 = \mathbf{3744996.315 \text{ m}} \\ Y_{KA2} = 3936636.6956 + 287.206 \cos 107.099 = \mathbf{3936604.735 \text{ m}} \end{cases}$$

$$K_{E1} = \begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} + S_L \sin(G_{S0}^{S1} + \sigma) \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L \cos(G_{S0}^{S1} + \sigma) \end{cases}$$

$$K_{E_1} = \begin{cases} X_{KE1} = 3744745.837 + 70 \sin(132.873 + 0.247) = 3744806.576\text{m} \\ Y_{KE1} = 3936921.768 + 70 \cos(132.873 + 0.247) = 3936886.971\text{m} \end{cases}$$

$$K_{E_2} = \begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} - S_L \sin(G_{S1}^{S2} - \sigma) \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} - S_L \cos(G_{S1}^{S2} - \sigma) \end{cases}$$

$$K_{E_2} = \begin{cases} X_{KE2} = 3744996.315 - 70 \sin(107.099 - 0.247) = 744926.781\text{m} \\ Y_{KE2} = 3936604.735 - 70 \cos(107.099 - 0.247) = 3936612.794\text{m} \end{cases}$$

Les calculs sont faits à l'aide du logiciel **Civil3D** et les résultats du calcul sont joints dans l'annexe. On remarque bien l'égalité entre le calcul manuel et automatique.

III.4 PROFIL EN LONG :

Le profil en long est la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

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

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

III.5.1 Eléments géométriques du profil en long :

- Pente : tronçon du profil où la variation des altitudes est positive dans le sens de circulation
- Rampe : tronçon du profil où la variation des altitudes est négative dans le sens de circulation
- Palier : tronçon du profil où la variation des altitudes est nulle
- Courbes de raccordement vertical : ce sont les arcs de cercles qui assure la liaison entre les éléments précédant

III.5.2 Règle à respecter dans le tracé du profil en long :

Afin d'avoir une meilleure conception du profil en long il faut tenir compte des règles suivantes (sauf dans des cas exceptionnels qu'il faut justifier) :

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

III.5.3 Coordination profil en long-trace en plan :

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les raccordements 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.
- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.

III.5.4 Déclivité maximale :

La déclivité (rampe et pente) d'une ligne affecte les possibilités de freinage et de démarrage, pour éviter ces deux problématiques il est nécessaire de déterminer des valeurs de pentes et de rampes limites maximales à appliquer sachant que la déclivité admise varie en fonction de sa longueur selon la norme SNTF qui stipule :

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

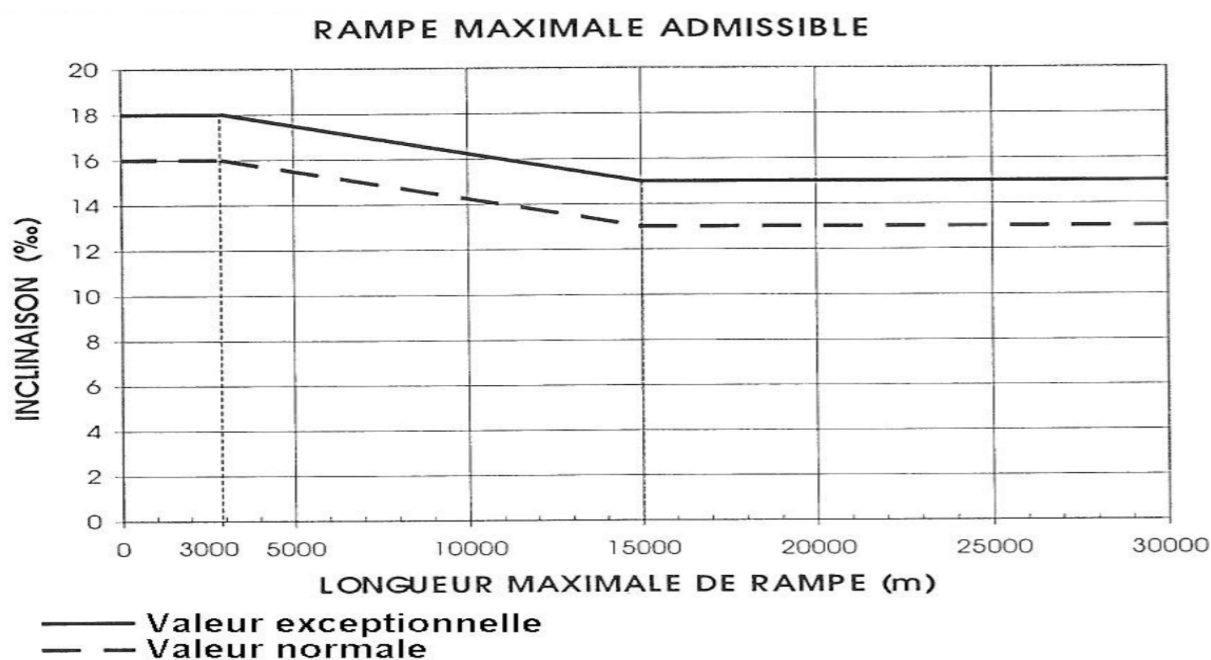


Figure III. 4 déclivité maximale en fonction de la longueur maximale de rampe

III.5.5 Rayon admissible en raccords de profil en long

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

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

$$\alpha_v = \frac{V_r^2}{R_v}$$

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

- b) Les raccords de profil en long sont définis par des raccords 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) :

Figure III. 5 les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil

Valeur normale	$0,35 V^2$
Valeur exceptionnelle	$0,25 V^2$

Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton)	0,15 V ²
---	---------------------

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

Au point de changement de la pente, lorsque la déférence algébrique des déclivités est inférieur à 2‰ (peut être porté à 4‰) , il est possible de ne pas raccorder les segments

III.5.6 Détermination de la longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil :

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 :

Tableau III. 9 longueur minimale des déclivités constantes

Valeur minimale normale	V / 2
Valeur minimale exceptionnelle	V / 2,5

(SNTF : Référentiel technique - Géométrie de la voie)

La longueur minimale des raccordements de déclivité est de 30m pour tenir compte des bases de nivellement des bourreuses.

III.5.7 Exemple du calcul

Point	Abscisse	Elévation
A	30550.00	1101.02
E	30763.07	1099.62
D	35144.23	1167.40

➤ Calcul des pentes

$$P1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1} = \frac{-0.57}{213.07} = -2.69\text{‰}$$

$$P2 = \frac{\Delta Z2}{\Delta S2} = \frac{67.78}{4381.16} = 15.47\text{‰}$$

➤ Calcul de la tangente

$$R=10\,000\text{ m}$$

$$T = \frac{R}{2} (P2-P1) = (10000/2) \cdot (15.47+2.69)/1000 = 90.80\text{ m}$$

➤ Calcul de la flèche F

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{90.80^2}{2 \times 10\,000} = 0.41\text{ m}$$

➤ **Calcul de la cote du point au milieu de raccordement circulaire**

$$ZG = ZE + F = 1099.62 + 0.41 = 1100.03 \text{ m}$$

➤ **Calcul des PK et des points du début et de la fin de raccordement circulaire**

$$PKA' = PKE - T = 30763.07 - 90.80 = 30672.27 \text{ m}$$

$$ZA' = ZE - P1.T = 1099.62 + 2.69 \times 90.80 / 1000 = 1099.86 \text{ m}$$

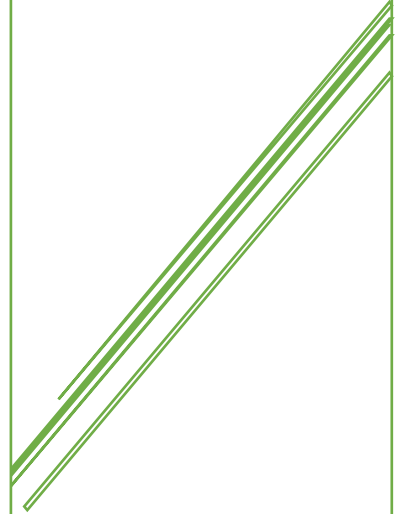
$$PKB' = PKE + T = 30763.07 + 90.80 = 30853.87 \text{ m}$$

$$ZB' = ZE + P2.T = 1099.62 + 15.47 \times 90.80 / 1000 = 1101.02 \text{ m}$$

III.5 CONCLUSION

La méthode du calcul et les résultats sont conformes aux UIC et au référentiel technique de l'SNTF.

CHAPITRE IV
ETUDE
GEOLOGIQUE ET
GEOTECHNIQUE



IV.1 INTRODUCTION

Ce chapitre illustre les caractéristiques géologiques et géotechniques des matériaux sur lesquels sera réalisée la nouvelle ligne ferroviaire Saida-Tiaret, le long de tronçon étudié. Initialement, on a décrit la géologie, la géomorphologie et l'hydrogéologie des formations présentes le long du tronçon pour donner une appréciation générale puis déterminer les propriétés géotechniques du sol, passant par interpréter les différents résultats des sondages et des essais en laboratoires, pour arriver à la fin à une classification du sol support.

IV.2 GEOLOGIE

IV.2.1 Campagne géologique

L'étude géologique de la zone où se place la ligne ferroviaire en projet se fonde principalement sur une recherche géologique à partir de la bibliographie disponible obtenue par les travaux effectués dans le nord de l'Algérie, sur l'observation directe in situ pendant les levés effectués, sur les données des campagnes géologiques et géotechniques de l'APD (Avant - Projet Détaillé) et de l'EDE (Etude D'Exécution). De tous les sondages qui se trouvent dans les tronçons du projet.

IV.2.2 Géologie schématique de la zone d'étude

La zone d'étude se place dans la zone structuro-sédimentaire, elle est délimitée au sud par l'Atlas Saharien et au nord par l'Atlas Tellien, La zone intéressée par le tracé de la future ligne ferroviaire entre les tronçons considérés est caractérisée par un vaste plateau formé de calcaires marneux et dolomies qui constituent la base aux formations grés-sableux et marno-argileux.

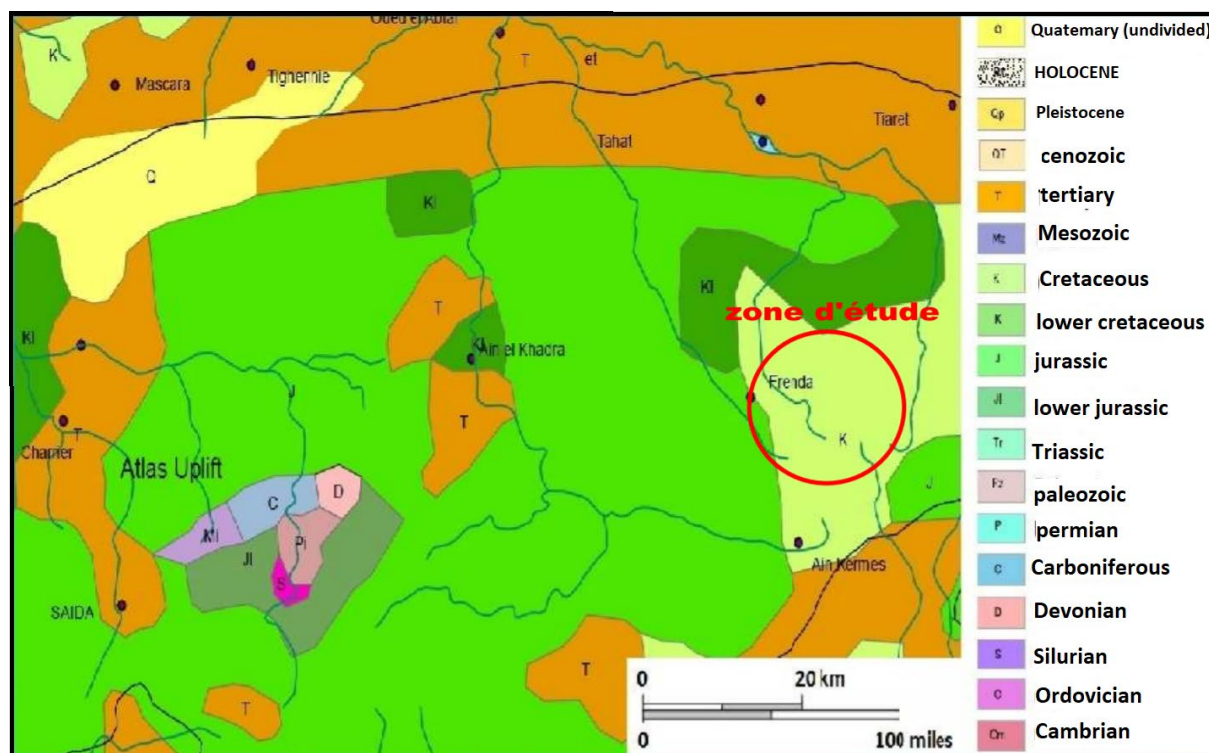


Figure IV. 1 Géologie générale de la zone d'étude

IV.2.3 Risques géologiques

Les types de risques qui pourraient affecter les alentours de la zone d'étude sont :

- Inondations et flux de boue. Ceux-ci sont dus au fait que les pluies interviennent de manière sporadique et ont un caractère torrentiel.
- Les cavités
- Glissement des terrains
- Chute des pierres

IV.2.4 Hydrogéologie

En particulier le tronçon compris entre le PK. 30+000 le PK. 50+000 se place dans le complexe crétacé. Pour ce qui concerne la présence des nappes éventuelles, dans le tracé d'intérêt, on a observé que les piézomètres colloqués dans les sondages situés dans le tronçon étudié montrent des profondeurs du niveau de nappe variable entre 6 et 8 mètres du niveau du sol. L'hydrographie superficielle dans la zone d'étude est peu développée à cause des terrains très perméables affleurant et du climat semi-désertique. Les cours d'eau (Oued) sont à régime hydrologique très irrégulier. Ils tirent leur source des rares et fortes précipitations tandis que dans les saisons chaudes ces sont le plus souvent secs. Le lot de projet est situé dans le bassin hydrographique de l'Oued « Tounkira-Hallouch ». Le cours d'eau principal coule en direction nord pour se jeter en mer dans la province de Mostaganem.

IV.2.5 Géomorphologie

Le tracé en objet se trouve à une altitude variable entre 1239 mètres et 1098 mètres. L'altitude minimum est atteinte au PK 30+720, tandis que l'altitude maximum est atteinte presque au PK 45+516. La morphologie générale de la zone d'étude est très douce, avec des basses pentes topographiques dues principalement à la nature des dépôts affleurants et à l'état de fracturation des massifs calcaires. En effet les pentes topographiques de l'ordre du 0 -10%

IV.3 GEOTECHNIQUE

IV.3.1 Programme géotechnique

L'analyse du tracé en plan, profil en long, et l'aperçu géologique du site ont permis d'établir un programme de reconnaissance, la liste des sondages qu'on propose est bien illustrée dans le tableau qui suit, la prise des échantillons pour les analyses en laboratoire est indispensable.

Tableau IV. 1 Programme géotechnique

LOT 01 : PLATFORME				
puits	PK	Ouvrage	Essai	Profondeur (m)
P1	31+115	Déblai	Puits	3
P2	33+400	Déblai	Puits	4
P3	35+850	Remblai	Puits	3
P4	39+775	Remblai	Puits	3

P5	43+275	Remblai	Puits	4
P6	47+150	Déblai	Puits	2.5
S1	48+560	Déblai	Sondage carotté	15
LOT 02 : OUVRAGE D'ART				
	PK	Ouvrage	Essai	Longueur (m)
PO1	31+660	Pont route	Sondage carotté	25
PO2	33+083	Pont route	Sondage carotté	20
PO3	35+305	Pont route	Sondage carotté	20
PO4	37+025	Viaduc	Sondage carotté	600
PO5	37+125		Sondage carotté	
PO6	37+225		Sondage carotté + SPT	
PO7	37+325		Sondage carotté	
PO8	37+425		Sondage carotté	
PO9	37+525		Sondage carotté	
PO10	37+625		Sondage carotté	
PO11	39+037	Pont route	Sondage carotté	20
PO12	41+512	Pont route	Sondage carotté	20
PO13	43+975	Pont route	Sondage carotté	20
PO14	45+183	Pont route	Sondage carotté	20
PO15	47+385	Pont route	Sondage carotté	25

Pour les essais en laboratoire, on propose de faire les essais suivants :

- essais d'identification du sol : analyse granulométrique, limites d'Atterberg, la teneur en eau naturel, masses volumiques
- essais mécaniques : essai triaxial, los angles, micro-deval, essai résistance à la compression.

N.B : dans le cadre d'un projet de fin d'études (PFE), on ne dispose pas les données exactes appropriées aux PK qu'on a choisi, donc on se révere aux données des essais qui ont été déjà faites dans l'APD et l'EXE, le petit écart entre notre tracé et le tracé au cours de réalisation justifie notre hypothèse.

IV.3.2 Programme géotechnique

- 20 sondages carottés dont la longueur totale est 387 m
- 4 puits de reconnaissances
- Des sondages piézométriques
- Un essai SPT et 24 essais pressiométriques
- Essais au laboratoire

- **Sondages carottés :**

Son but est de définir la stratification et les caractéristiques physico-mécaniques des terrains traversés par le tracé. En particulier dans le tronçon compris entre le PK. 29+275 et 49+418, on a réalisé 20 carottages continus allant à une profondeur comprise entre 10 et 25 mètres.

- **Puits de reconnaissances**

Les puits de reconnaissances qui ont été réalisés sur le couloir à différentes profondeurs permettent de donner une description lithologique des terrains traversés et leurs épaisseurs, et une prise d'échantillons pour leurs analyses en laboratoire.

- **Sondages piézométriques**

Tous les sondages réalisés dans le tronçon ont été équipés avec des piézomètres. Les lectures du niveau de la nappe dans les piézomètres placés en ce trait ont été réalisées seulement partiellement. Les données des lectures piézométriques montrent que la nappe est au 6 à 8 m au niveau du sol (date de lecture : 17/10/2011).

- **Essais in situ**

- SPT : l'essai au pénétromètre dynamique (Standard Penetration Test) est un sondage géotechnique fournissant les caractéristiques d'un sol.

Ce test consiste à faire pénétrer dans le sol un échantillonneur standard (échantillonneur Raymond) sous les coups d'un marteau-pilon d'un poids de 63,5 kg et d'une hauteur de 76 cm. Soit ce marteau, tombant en chute libre sur l'outil échantillonneur, trois mesures sont effectuées en comptant le nombre de coups nécessaire à chaque fois pour l'obtention d'une pénétration de l'outil de 15 cm.

La résistance à la pénétration du sol est définie comme la somme des coups de la deuxième et de la troisième pénétration.

Le test est effectué au fond d'un puits (éventuellement en modifiant le sol aussi peu que possible), creusé à la profondeur désirée.

Le long du tracé, on a effectué un seul essai au niveau du viaduc (PK 37+287) de 17.8 m à 18.35 m de profondeur, le résultat obtenu est de 84 coups

- Essai pressiométrique : L'essai pressiométrique est un essai de chargement in situ effectué au sein même du terrain grâce à la réalisation préalable d'un forage.

L'analyse des résultats permet d'obtenir, pour une profondeur donnée, les caractéristiques mécaniques du sol et d'effectuer les calculs de fondation. Trois caractéristiques du sol sont notamment déduites :

- Le module pressiométrique EM qui définit le comportement pseudo-élastique du sol
- La pression limite p_l qui caractérise la résistance de rupture du sol,
- La pression de fluage p_f qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique

• Essais au laboratoire

Les échantillons issus des puits de reconnaissance et des sondages carottés soit des échantillons intacts ou remaniés ont été soumis à différents essais mécaniques et d'identification des propriétés physiques, pour notre projet, les essais qui ont été réalisés sont :

- Analyse granulométrique (NFP 94-056/1996)
- Limites d'ATTERBERG. (NFP 94-051/1993)
- Masses volumiques (NFP 94-053/1991)
- Teneur en eau (NFP 94-050/1995)
- Résistance à la compression (NF EN 12-504/2000)

IV.3.3 Interprétation des résultats :

IV.3.2.1 Essais in situ :

Tableau IV. 2 Sondage / puits et échantillonnage

Sondage / Puit	PK	OUVRAGE	Echantillon	SPT (prof/Nspt)	Piézométrie (17/10/2011)
SC01	29+550	-	5.2 - 5.5 7.0 - 7.3	-	-
SC02	31+641	Pont route	7.70 - 8.00	-	-
SC03	33+074	Pont route	3.5 - 3.8 8.00 – 8.40	-	Sec
SC04	33+600	-	4.7 - 5.0 9.5 - 9.8 12.3 - 12.6 18.8 – 19.0 19.3 - 19.5	-	-
SC05	35+282	Pont route	4.7 – 5.0 9.6 – 10.0	-	6.23
SC06	37+040	Viaduc	1.0 - 1.2 8.5 – 8.8 10.0 – 10.3	-	-
SC07	37+124	Viaduc	14.7 -15.0	-	6.86
SC08	37+212	Viaduc	-	-	-

SC09	37+287	Viaduc	-	17.9-18.35m /84 coups	-
SC10	37+300	Viaduc	-	-	8.57
SC11	37+312	Viaduc	-	-	-
SC12	37+388	Viaduc	4.6 – 5.0 9.6 – 10.0 14.6 – 15.0	-	-
SC13	37+476	Viaduc	9.6 – 10.0 14.6 – 15.0	-	7.35
SC14	37+550	Viaduc	7.3 – 7.5 10.5 – 10.7 12.0 – 12.5	-	-
SC15	39+039	Pont route	12.0 – 12.4	-	-
SC16	41+523	Pont route	4.0 – 4.4	-	Sec
SC17	43+300	-	1.6 – 1.9 3.5 - 3.8 7.2 – 7.5 15.3 – 15.5	-	-
SC18	44+000	Pont route	4.4 – 5.0	-	Sec
SC19	45+244	Pont route	4.4 – 5.0	-	-
SC20	47+910	-	1.0 – 1.4 5.5 – 6.5 8.6 – 8.8 12.6 - 12.9	-	-
PT01	31+750	-	-	-	-
PT02	33+200	-	1.2- 1.5 2.0 – 2.4	-	-
PT03	38+950	-	-	-	-
PT04	47+600	-	-	-	-

Les sondages précédents ont permis de distinguer les unités suivantes :

➤ **Terrains de couverture :**

• **Unité TV**

Ils sont des terrains végétaux et matériaux de couverture dérivant de la désagrégation des formations qui se trouvent en bas, constituées d'argiles limoneuses peu consistantes, brunâtres et rougeâtres, avec galets calcaires noyés. Elle est aussi caractérisée par un haut contenu de matériaux organiques.

• **Unité T**

L'unité du tuf est caractérisée par la formation d'une croûte, plus ou moins épaisse et souvent très dure, au sommet du profil. La formation est caractérisée par des concrétions carbonatées Sableuse avec de faibles degrés cimentation, avec des épaisseurs jusqu'à 3 mètres.

Elle se trouve principalement au-dessus des terrains alluviaux argileux entre les PK. 32+800 et 34+400, et entre les PK. 37+000 et 38+000

• **Unité ALL C**

Cette unité est représentée par des dépôts alluvionnaires et éluvio-colluviales composés de argiles sableuse et sables argileuses calcaires. Ces dépôts ont un degré faible de cimentation due à la composante calcaire. Le long du tracé ces matériaux s'observent entre le PK. 33+200 et le PK. 35+700, au-dessus du substratum à une profondeur maximale de 20 mètres environ.



Figure IV. 2 Unité Alluvion et allivio-calcaire

➤ **Formation substratum**

• **Unité GC**

C'est la formation cohérente et dure des calcaires gréseux, calcaires marneuses et grès calcaires, de compactes à peu compactes, elles se trouvent entre PK. 36+000 et PK.49 +500.



Figure IV. 3 Unité calcaire gréseux

- **Unité MC**

Ces matériaux peuvent être considérés comme une roche cohérente et dure. Ils sont constitués de marne grésocalcaires avec intercalations du calcaire marneux dur et compact, de coloration grise. Ces matériaux se trouvent entre les PK. 36+500 et 38+000 environ, en position plus profonde que le grès calcaire de l'unité GC.



Figure IV. 4 Marne gréseux-calcaire

- **Unité MCA**

Cette unité est représentée par des formations marnes argileuses et gréseuses, de coloration variable rougeâtre, grisâtre et verdâtre, de tendre à compacte. Cette unité se trouve entre le PK 37+300 et le PK 37+550, et de PK. 45+000 jusqu'à PK. 49+500

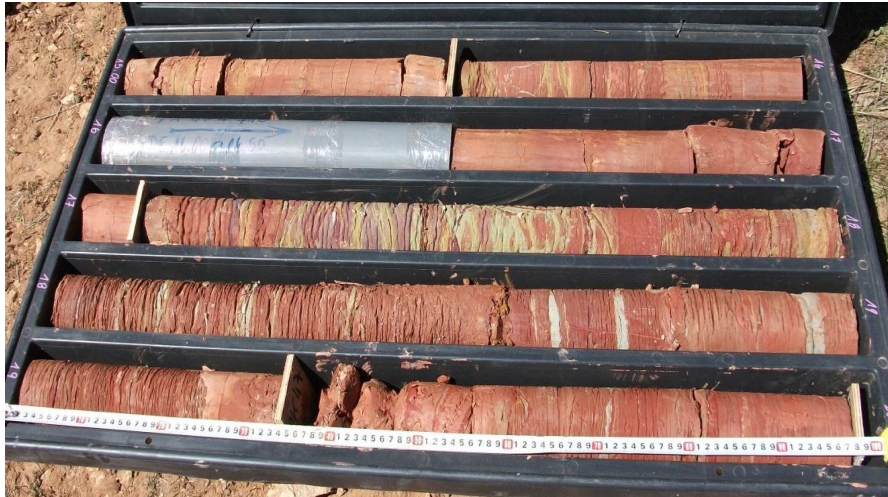


Figure IV. 5 marnes argileuses et gréseuses

- **Unités CB et CBf**

Cette unité est constituée du calcaire marneux bioclastiques, durs et compacts, avec alternance des marnes argileuses. On distingue deux sous-unités :

CB : Calcaires durs et compacts, avec intercalations faibles de matériaux argileux et marneux.

CBf : Calcaires hautement fracturés, altérés, avec intercalations abondantes de matériaux argileux et marneux.

Elle se trouve principalement entre les PK. 29+550 et 33+850, 35+100 et 37+124, et 37+850 et 48+428

IV.3.2.2 Essais en laboratoire :

➤ Humidité

Son but est de déterminer les différentes densités et teneurs en eau afin de caractériser un sol pour prévoir son comportement.

Tableau IV. 3 résultats des essais des masses volumiques et teneurs en eau

Unité	Paramètre	Désignation	Nombre des valeurs	Valeur moyenne	Interprétation (XP_P94-011)
T	Densité humide	γ_h (t/m ³)	3	2.04	Sol dense, non saturé
	Densité sèche	γ_d (t/m ³)	3	1.77	
	Teneur en eau	ω (%)	3	15.22	
	Degré de saturation	Sr (%)	3	75	
ALL C	Densité humide	γ_h (t/m ³)	4	2.10	

	Densité sèche	γ_d (t/m ³)	4	1.82	Sol très dense, non saturé
	Teneur en eau	ω (%)	4	16.5	
	Degré de saturation	Sr (%)	4	84	
MCA	Densité humide	γ_h (t/m ³)	3	2.08	Sol très dense, non saturé
	Densité sèche	γ_d (t/m ³)	3	2.21	
	Teneur en eau	ω (%)	3	10.88	
	Degré de saturation	Sr (%)	3	68	
CB (fracturé)	Densité humide	γ_h (t/m ³)	3	2.06	Sol dense, non saturé
	Densité sèche	γ_d (t/m ³)	3	1.66	
	Teneur en eau	ω (%)	3	24.07	
	Degré de saturation	Sr (%)	3	88	

➤ Granulométrie

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à **80 µm** et par sédimentation pour les grains **<80 µm**.

- sols grenus $50\% > 80 \mu m$
- sols fins $50\% < 80 \mu m$
- sols organiques $> 10\%$

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques

Tableau IV. 4 résultat de la granulométrie

Unité	Paramètre	Désignation	Nombre des valeurs	Valeur moyenne	Valeur max	Interprétation (XP_P94-011)
T	Passant à 2 mm	$< 2 \text{ mm}$ (%)	3	63.33	65	Sol à matrice fine
	Passant à 80 µm	$< 80 \mu m$ (%)	3	55.33	57	
ALL C	Passant à 2 mm	$< 2 \text{ mm}$ (%)	2	89.0	100	Sol à matrice fine
	Passant à 80 µm	$< 80 \mu m$ (%)	2	79.5	93.5	

MCA	Passant à 2 mm	< 2 mm (%)	3	53.2	72.4	Sol à matrice grenus
	Passant à 80 µm	< 80 µm (%)	3	41.9	63.6	
CB (fracturé)	Passant à 2 mm	< 2 mm (%)	3	96.1	100	Sol à matrice fine
	Passant à 80 µm	< 80 µm (%)	3	89.5	94	

➤ Limites d'Atterberg

Les limites d'ATTERBERG sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (fraction passant au tamis de 0,4 mm), car ils sont les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance du sol. L'essai consiste donc à faire varier la teneur en eau de cette fraction de sol et en observant sa consistance.

Les teneurs en eau qui correspondent au passage de l'un à l'autre de ces états sont respectivement :

- Limite de liquidité ω_l .
- Limite de plasticité ω_p .
- Indice de plasticité : $I_p = \omega_l - \omega_p$.
- Indice de consistance : $I_c = (\omega_l - \omega_n) / I_p$

Les résultats obtenus pour chaque unité :

Tableau IV. 5 résultats de limites d'Atterberg

Unité	Paramètre	Désignation	Nombre des valeurs	Valeur moyenne	Interprétation (XP_P94-011)
T	Limite liquide	WL (%)	3	26.60	Sol peu plastique très consistant
	Limite plastique	WP (%)	3	19.45	
	Indice de plasticité	I_p	3	7.15	
	Indice de consistance	I_c	3	1.61	
ALL C	Limite liquide	WL (%)	2	46.85	Sol plastique très consistant
	Limite plastique	WP (%)	2	22.81	
	Indice de plasticité	I_p	2	24.01	

	Indice de consistance	Ic	2	1.12	
MCA	Limite liquide	WL (%)	2	39.47	Sol peu plastique très consistant
	Limite plastique	WP (%)	2	26.82	
	Indice de plasticité	Ip	2	12.65	
	Indice de consistance	Ic	2	2.33	
CB (fracturé)	Limite liquide	WL (%)	3	51.6	Sol plastique très consistant
	Limite plastique	WP (%)	3	27.93	
	Indice de plasticité	Ip	3	23.67	
	Indice de consistance	Ic	3	1.03	

➤ **Essai de compression simple :**

L'essai consiste à comprimer un échantillon de roche de forme cylindrique entre deux plateaux parallèles d'une presse rigide.

Au cours de l'essai, un enregistreur permet de relever l'évolution de la contrainte axiale, ainsi que celle des déformations soit par des capteurs de déplacement soit par des jauges de déformation. Cet enregistrement permet de déterminer la résistance à la compression uniaxiale R_c :

Tableau IV. 6 Résultats de l'essai compression simple

Unité	Paramètre	Désignation	Nombre des valeurs	Valeur max	Valeur min	Valeur moyenne
GC	Résistance à la compression	RC (bars)	10	303.65	50.69	139.8
	Densité sèche	γ_d (t/m ³)	10	2.53	1.98	2.22
CB (Sein)	Résistance à la compression	RC (bars)	8	240	45	120
	Densité sèche	γ_d (t/m ³)	8	2.65	2.22	2.38

IV.3.2.3 Classification du sol support selon GTR et UIC

La classification du sol support basée sur la nature géotechnique de sol support. On distingue quatre classes de qualité du sol selon référentiel UIC719 :

- QS0 : sols impropres à la réalisation d'une plateforme correcte.
- QS1 : sols médiocres.
- QS2 : sols moyens.
- QS3 : bons sols.

D'autre part on s'intéresse à classer les sols selon la classification GTR pour la réalisation des remblais et des couches de forme celle-ci nous permis de diviser les sols selon leur nature géotechnique en six classes différentes, chaque classe se divise en sous classes définissant la nature et l'état hydrique des sols, les classes sont :

- Classe A : sols fins.
- Classe B : sols sableux et graveleux avec fines.
- Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments.
- Classe D : sols insensibles à l'eau.
- Classe R : matériaux rocheux
- Classe F : sols organiques sous-produits industriels.

Tableau IV. 7 classification GTR et UIC

Unité		Description	Classification	
			GTR	UIC
T		- $D_{max} < 50$ mm, passant à $80\ \mu\text{m} = 55.33\%$ (supérieure à 35%), $I_p < 12$ - Inorganique, sol comportant plus de 40 % des fines	A1	QS1
MC		- Roche sédimentaire, constituée de marne et du calcaire - Roche compact et dure	R2, R3	QS3
ALL C		- $D_{max} < 50$ mm, passant à $80\ \mu\text{m} = 79.5\%$ (supérieure à 35%) - Inorganique, sol comportant plus de 40 % des fines	A2, A3	QS1
MCA		- $D_{max} < 50$ mm, passant à $80\ \mu\text{m} = 41.9\%$ (supérieure à 35%) - Inorganique, sol comportant plus de 40 % des fines	A1, A2 R2, R3	QS1
GC		- Roche sédimentaire, constituée principalement du grès - Roche cohérente et dure	R4	QS3
CB	Fracturé	- $D_{max} < 50$ mm, passant à $80\ \mu\text{m} = 89.5\%$ (supérieure à 35%) - Inorganique, sol comportant plus de 40 % des fines	A2, A3	QS1

	Sein	- Roche sédimentaire, carbonaté constituée du calcaire - Roche cohérente et dure	R2	QS3
--	------	---	----	-----

Résultat : sur la base des résultats précédentes, on divise notre tracé en deux principales classes de portances :

QS1 : du PK 32+800 à 35+700, et du PK 45+000 jusqu'à la fin de tracé.

QS3 : du PK 30+550 à 32+800, et du PK 35+500 à 45+000.

IV.3.4 Obtention des paramètres « E, C et Φ »

IV.3.3.1 La méthode de Bieniawski

La classification de Bieniawski part du principe que le comportement d'un massif rocheux est conditionné par les propriétés de la roche intacte et celles des discontinuités. Et elle permet de classer le massif rocheux avec un indice appelé RMR (« Rock Mass Rating » qui traduit « l'évaluation du massif rocheux »)

Elle est basée sur 5 paramètres et un ajustement :

- La résistance à la compression uni-axiale.
- L'indice de Fracturation (RQD).
- L'espacement des discontinuités.
- La nature des discontinuités.
- Les venues d'eau.
- Un ajustement, fonction de l'orientation des discontinuités.

Chaque paramètre reçoit une note (R), et à partir de ces notes on définit L'indice RMRbase :

$$\text{RMRbase} = \text{R1} + \text{R2} + \text{R3} + \text{R4} + \text{R5}$$

Puis, on ajoute un ajustement pour tenir compte de l'orientation des discontinuités :

$$\text{RMRcorrect} = (\text{R1} + \text{R2} + \text{R3} + \text{R4} + \text{R5}) + \text{R6}$$

L'indice RMR, compris entre 0 et 100, et La qualité du massif rocheux se répartit en 5 classes

Tableau IV. 8 classes des massifs rocheux

N° de classe	RMRcorrect	La qualité du massif rocheux
I	81 - 100	Très bonne qualité
II	61 – 80	Bonne qualité
III	41 – 60	Moyenne qualité
IV	21 – 40	Mauvaise qualité
V	< 20	Très mauvaise qualité

Tableau IV. 9 Classification des masses rocheuses selon la méthode de Bieniawski

Paramètres		Plages de valeurs							
	Paramètres de calcul de RMRbase								
1	Résistance à la Compression Uni-axiale		> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1-5	< 1
	Notation		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Notation		20	17	13	8	3		
3	Espacement des discontinuités		> 2 m	0.6 - 2m	200 - 600 mm	60 - 200mm	< 60 mm		
	Notation		20	15	10	8	5		
4	Nature des discontinuités		Surfaces très rugueuses non continues Epontes en contact Epontes non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1mm Epontes faiblement altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1mm Epontes fortement altérées	Remplissage < 5mm ou Epaisseur de 1 à 5mm Joint continu	Remplissage mou > 5mm ou Epaisseur > 5mm joints continus		
	Notation		30	25	20	10	0		
5	Eau	Débit sur 10m de longueur de tunnel (l/min)	Aucun	< 10	10 – 25	25 – 125	> 125		
		Pression eau/contr. Princ.	0 <	0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Conditions générales	Complètement sec	Humide	Mouillé	Suintant	Débitant		
	Notation		15	10	7	4	0		
	Ajustement de la valeur de RMRbase en fonction de l'orientation des discontinuités								
6	Direction et pendage		Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable		
	Notation		0	-5	-20	-50	-60		

➤ **Paramètre 1 : la résistance à la compression uni-axiale**

On a fait référence aux valeurs moyennes de la résistance à la compression uniaxiale déterminée directement au laboratoire par l'essai de compression simple effectué sur les échantillons prélevés des sondages ou obtenues indirectement in situ par des essais de « Point Load »

Les valeurs de R1 obtenues pour les unités géotechniques le long du tracé :

Unité	R1
T	0-2
ALL C	0-2
GC	2-4
MC	1-2
MCA	0-2
CB	4-8
CBf	2-5

➤ **Paramètre 2 : L'indice de Fracturation (RQD)**

L'Indice R.Q.D. (Rock Quality Designation), il est déterminé en mesurant le pourcentage de récupération de morceaux de carotte de forage dont la longueur est supérieure à 100 mm

$$RQD = \frac{\text{somme de la longueur des échantillons de forage supérieurs à 10 cm}}{\text{longueur totale du forage}} \times 100 \%$$

Les données analytiques indiquent les valeurs suivantes :

Unité	R2
T	0-3
ALL C	3-13
GC	17-20
MC	17-20
MCA	13-17
CB	13-20
CBf	2-8

➤ **Paramètre 3 : L'espacement des discontinuités**

Ce paramètre indique la distance moyenne entre deux discontinuités observées dans les formations concernées, on indique les valeurs de R3 obtenues pour les unités géotechniques le long du tracé :

Unité	R3
T	3-6
ALL C	4-10
GC	10-15
MC	10-15
MCA	4-10
CB	8-18
CBf	3-10

➤ Paramètre 4 : La nature des discontinuités

Ce paramètre est détaillé par cinq autres facteurs : la longueur de la trace des discontinuités, la rugosité des surfaces, l'ouverture de la discontinuité, le matériau de remplissage et l'altération des parois. À chaque coefficient est attribuée une valeur entre 0 et 6 dont la somme donne le paramètre R4

Unité	R4
T	5-15
ALL C	5-10
GC	10-20
MC	5-15
MCA	5-15
CB	5-15
CBf	4-15

➤ Paramètre 5 : Les venues d'eau

On considère que le massif rocheux se trouve dans un milieu parfois humide et parfois sec.

Unité	R5
T	4-15
ALL C	0-10
GC	7-10
MC	5-10
MCA	0-8
CB	0-10
CBf	0-12

➤ Paramètre 6 : L'orientation des discontinuités

La détermination de ce paramètre indique l'orientation des discontinuités par rapport aux talus des déblais. Il s'agit d'un coefficient qualitatif qui pénalise d'une valeur comprise entre (0) et (- 60) en rapport si l'orientation est très favorable ou très défavorable.

Unité	R6
T	-5
ALL C	-15
GC	-5
MC	-5
MCA	-5
CB	-5
CBf	-8

Après avoir les différentes notations correspondantes aux Paramètres de classification, on peut calculer l'indice RMR correct comme suit :

$$\text{RMR}_{\text{correct}} = (\text{R1} + \text{R2} + \text{R3} + \text{R4} + \text{R5}) + \text{R6}$$

Donc les valeurs de la rangée du RMR et les catégories de Bieniawski obtenues sont :

Tableau IV. 10 Résultat de classification Bieniawski

Unité	RMR	Bieniawski
T	12-34	IV-V
ALL C	0-18	V
GC	49-63	II-III
MC	14-32	IV -V
MCA	28 – 42	III - IV
CB	32-62	III-IV
CBf	10-38	IV-V

IV.3.3.2 Détermination des caractéristiques mécaniques

Pour obtenir les valeurs de l'angle de frottement, de la cohésion, et du module de Young, on utilise les formules suivantes :

$$C \text{ (KPa)} = 5 \times \text{RMR}_{\text{correct}} \text{ (cité par Bieniawski, 1989)}$$

$$\Phi = 5 + 0.5 \times \text{RMR}_{\text{correct}} \text{ (Trunck \& Hônish, 1989)}$$

$$E \text{ (GPa)} = 2 \text{ RMR} - 100 \text{ (Bieniawski, 1978) pour } \text{RMR} > 50$$

$$E \text{ (GPa)} = 10^{(\text{RMR} - 10)/40} \text{ (Serafin et Pereira, 1983) pour } 10 < \text{RMR} < 50$$

On trouve donc :

Tableau IV. 11 caractéristiques mécaniques des unités

Formation	Les catégories prévues par Bieniawski	Cohésion (KPa)	Angle de frottement	Module de Young (MPa)
ALL C	IV - V	90-190	15° - 24°	1000-3200
T	IV-V	80-180	14° - 23°	1200-4500
GC	II-III	250-330	31°-38°	10000-30000
MC	IV – V	220 – 340	26° - 38°	6300-20000
MCA	III - IV	140-240	19° - 28°	2800-6300
CB	III-IV	190 – 340	23° - 39°	3600-24000
CBf	IV-V	80 - 230	13° - 28°	1000-4400

IV.4 CONCLUSION

Les essais géotechniques nous ont permis les caractéristiques intrinsèques pour la classification GTR, en effet, nous avons obtenu des sol de classes varient entre A1, A2 et A3, à R2, R3 et R4, on aura besoin de cette classification pour la réutilisation des matériaux en terrassement.

La classification UIC nous a permis d'apprécier la qualité du sol de la zone étudiée et QS1 et en QS3 (comme indiqué précédemment), ce qui permettra de dimensionner les structures d'assises correspondantes à ces deux classes de qualités de sol.

CHAPITRE V

DIMENSIONNEMENT

D'ASSISE

V.1 INTRODUCTION

L'infrastructure de la voie ferrée ou la structure d'assise est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Elle sert à répartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure. De plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie. Elle permet donc pour une large part d'assurer par leur nature et leur épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

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

- Des caractéristiques globales des sols de la plateforme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel).
- Des conditions climatiques du site.
- Du trafic (tonnage, charges, vitesse).
- De l'armement (profil du rail, nature et espacement des traverses)

V.2 LES COUCHES D'ASSISES

V.2.1 Le ballast

C'est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure. Le ballast est un matériau granulaire qui doit avoir des qualités de haute résistance. Il est constitué par un granulat 25/50 (mm Ø) résultant du concassage des roches extraites de carrières de pierres dures (granit, porphyre, grès, gneiss, etc.).

Sa couche doit être compactée, lors de la mise en place de la voie, afin d'améliorer sa stabilité. L'épaisseur minimale de cette couche est de 30 cm.

V.2.1.1 Importance de la couche de ballast

- Transmission uniforme jusqu'à la plate-forme les charges induites par les véhicules ferroviaires.
- Participation à l'élasticité de la voie.
- Amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- Drainage efficace de la voie et limitation des problèmes du gel.

V.2.1.2 Caractéristique du ballast

- **Caractéristiques physiques**
- **Granulométrie** : on utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF).
- **Forme de granulats** (Angularité et rugosité) : Avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse. De plus le contact ballast/traverses doit pouvoir assurer une immobilisation de ces dernières.
- **Propreté des granulats** : les grains de ballast doivent être expurgés du sable, de la terre, des poussières, des débris et des fines.
- **Perméabilité** : sera d'autant plus grande pour les éléments de ballast car les vides existent entre les éléments assurant mieux l'écoulement de l'eau.

➤ **Caractéristiques mécaniques**

- **Résistance à l'attrition** : Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux, l'essai qui caractérise la résistance à l'attrition est appelé L'essai DEVAL (Effectué d'une part à l'état sec 'DS' et d'autre part à l'état humide 'DH').
 - DS > 14 (pierres durs) et DH > 6 (selon document SNTF).
 - DS > 12 (Pierres carbonatées)
- **Résistance aux chocs** : Sous l'effet de contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs, donc pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats on réalise l'essai LOS ANGELES. Pour un ballast acceptable le coefficient 'LA' doit être inférieur à 25%.
- **La dureté** : Afin de résister aux efforts reçus ainsi qu'à l'usure par abrasion du fait de vibrations engendrées par les charges roulantes. Elle est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs, elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale 'DRG', un ballast doit avoir pour notre cas, une DRG > 18 (il varie selon la nature des traverses et du trafic).
- **Résistance à la compression** : Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire. En Algérie (RC > 14KN/cm², Document SNTF).

V.2.2 La sous-couche

Élément de la structure d'assise constitué d'une couche de matériaux grenus bien gradués, insensibles à l'eau et placés sous le ballast. Elle peut comporter à sa base un géotextile de séparation, pour éviter sa contamination par des fines.

V.2.2.1 Importance de la sous-couche

- La protection des parties supérieures de la plate-forme contre l'érosion notamment des eaux zénithales.
- Protection de plate-forme contre les effets du gel.
- Meilleure répartition des charges la partie supérieure de la plate-forme des sollicitations de valeurs admissibles, eu égard à l'indice de portance du sol.

V.2.2.2 Constitution de la sous-couche

- **Sous-ballast** : Est une couche en grave propre bien graduée 0/31,5 mm comportant au moins 30 % de concassé, compactée à 100 % OPN, elle existe même sur les plates-formes rocheuses ou elle sert de couche d'égailisation et contribue à réduire la raideur de l'assise.
- **Couche de fondation** : Est une couche en grave propre bien graduée, compactée à 100 % OPN, et d'une épaisseur de 15 cm minimum, Cette couche permet la circulation des engins de chantier et elle n'est pas nécessaire sur le bon sol.
- **Couche anti-contaminant** : formée de sable propre et complété par une géomembrane (feuilles plastique étanches) ou géotextile. cette couche sert à protéger les sous couches supérieure de la remontée de particules fines de la plate-forme, elle est éventuelle.

V.2.3 La plate-forme

C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. 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 partie supérieure de la plateforme est aménagée en couche de forme, a une pente transversale de 4%. Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM. Parfois la couche de forme est traitée aux liants hydrauliques. Par contre dans le cas de déblais elle est obtenu par compactage à 95% OPM sur une épaisseur minimale de 30cm.

La couche de forme permet de garantir le bon fonctionnement de la structure en service en assurant les rôles suivants : protection au gel, drainage des eaux zénithales infiltrées, répartition des contraintes sur le sol support.

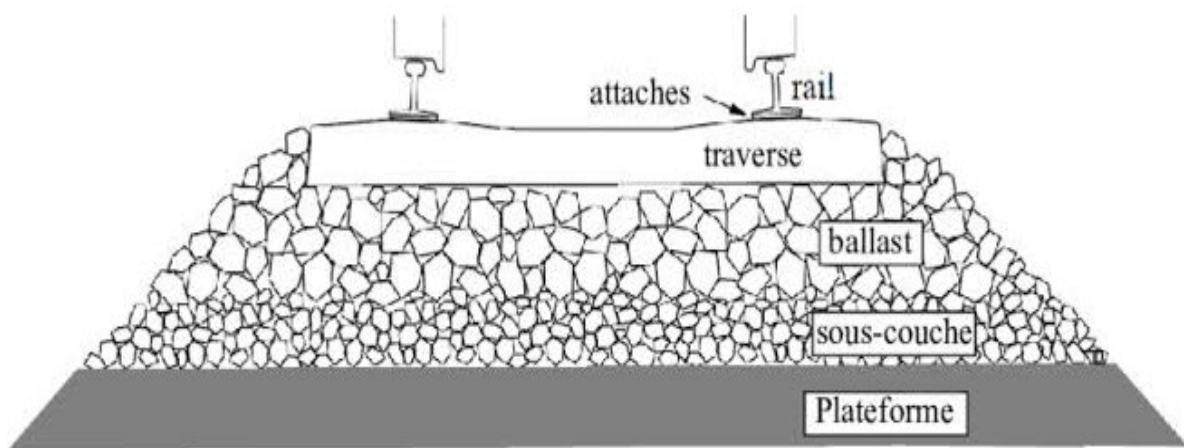


Figure V. 1 les couches d'assise.

V.3 DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES D'ASSISE

V.3.1 Classification de la plate-forme

On apprécie d'abord la qualité du sol de la plate-forme puis la classe de portance de la plateforme complète.

V.3.1.1 Classe de qualité du sol

On distingue quatre classes de qualité du sol selon le référentiel UIC 719 :

- QS0 : sols impropres.
- QS1 : sols médiocres.
- QS2 : sols moyens.
- QS3 : bons sols.

V.3.1.2 Classe de portance de la plate-forme

La portance d'une plate-forme dépend de :

- La qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place du fond de déblai,
- La qualité et l'épaisseur de la couche de forme (lorsqu'elle existe).

En fonction des paramètres ci-dessus, on classe la portance des plates-formes comme suit:

- P1 : mauvaise plate-forme.
- P2 : moyenne plate-forme.
- P3 : bonne plate-forme.

Tableau V. 1 Classes de portance de la plate-forme (normes UIC 719 R. 34).

Classe de qualité du sol	Classe de portance envisagée pour la plate-forme	Classe de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance.	
		Qualité	Épaisseur minimale (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.5
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

Note : pour obtenir une classe de plate-forme P3 (bonne plate-forme), de qualité QS3, envisagée par le maître d'ouvrage on prendra une épaisseur minimale de couche de forme égale à 50 cm.

V.3.2 Épaisseurs des couches d'assise « ballast + sous couche »

L'épaisseur de la couche d'assise « e » selon les normes (UIC 719 R p .57) est donnée par l'expression suivante :

$$e = \text{épaisseur ballast} + \text{épaisseur sous ballast} + \text{épaisseur couche de fondation}$$

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

- E : paramètre dépendant des classes de portance du sol.
- a : facteur dépendant de L'UIC groupe (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.
- f : facteur dépendant de la vitesse.
- g : facteur dépendant de l'installions de géotextiles.

Tableau V. 2 Les valeurs de ces paramètres sont données dans le tableau suivant

E	0.70	pour les plateformes de classe de portance P1
	0.55	pour les plateformes de classe de portance P2
	0.45	pour les plateformes de classe de portance P3
a	0	Pour les lignes de groupe UIC 1 et 2 ou ligne $V > 160$ km/h
	-0.05	Pour les lignes de groupe UIC 3,4
	-0.10	Pour les lignes de groupe UIC 5, 6, 7, 8, 9 avec voyageur
	-0.15	Pour les lignes de groupe UIC 7, 8, 9 sans voyageur
b	0	traverse en bois de longueur 2.6 m
	$(2.5-L)/2$	traverse en béton L
c	0	Pour un dimensionnement normal
	-0.05	titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7,8,9 sans voyageur
	-0.01	titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7, 8,9 sans voyageur
d	0	Lorsque la charge d'essieu < 200 KN
	0.05	Lorsque la charge d'essieu < 225 KN
	0.12	Lorsque la charge d'essieu < 250 KN
f	0	Pour les lignes de Vitesse ≤ 160 km/h et des plateformes de portance P3
	0.05	Pour les lignes de Vitesse > 160 km/h et des plateformes de portance P2
	0.10	Pour les lignes de Vitesse > 160 km/h et des plateformes de portance P1
g	0.01	géotextile lorsque la couche de forme en sol QS1 et QS2
	0	Pas géotextile lorsque la couche de forme en sol QS3

V.4 APPLICATION A NOTRE PROJET

Sur la base d'une étude géotechnique, faite dans le chapitre précédent, on distingue deux classe de qualité du sol différentes le long du tracé «QS1 et QS3 », d'où la nécessité de composer deux couches d'assises distinctes, on va les dimensionner comme suit :

V.4.1 Calcul de l'épaisseur minimale « e » des couches d'assises

➤ L'épaisseur de la couche de ballast :

Selon les recommandations SNTF :

⇒ L'épaisseur de la couche de ballast est 30 cm.

➤ **Paramètre E :**

- le sol support QS1 : d'après les exigences de maître d'ouvrage on doit prendre une épaisseur minimale de couche de forme égale à 50 cm pour obtenir la classe de portance P3 (bonne plate-forme). $QS1 + \text{couche de forme} \Rightarrow P3 \Rightarrow E = 0.45 \text{ m}$.
- le sol support QS3 : la classe de portance de la plate-forme est « P3 » avec l'absence de couche de forme. $QS3 \Rightarrow P3 \Rightarrow E = 0.45 \text{ m}$.

Donc pour les deux cas $E = 0.45 \text{ m}$.

➤ **Paramètre a :**

$a = -0.10 \text{ m}$ car la ligne est de groupe 5 (UIC 5).

➤ **Paramètre b :**

$b = (2.500 - 2.24) / 2 = 0.13 \text{ m}$: travers bi block en béton avec une longueur $L = 2.24 \text{ m}$.

➤ **Paramètre c :**

$c = 0 \text{ m}$: dimension normal.

➤ **Paramètre d :**

$d = 0.05 \text{ m}$ la charge nominale maximale d'essieu 225kN.

➤ **Paramètre f :**

$f = 0.00 \text{ m}$ notre ligne est conçue pour $V \leq 160 \text{ km/h}$.

➤ **Le géotextile :**

- Pour le sol support QS1 : $g = 0.01$.
- Pour le sol support QS3 : $g = 0$

V.4.2 L'épaisseur « e » des couches d'assises :

- Pour le sol support QS1 :

$QS1 + \text{couche de forme} \Rightarrow P3 \Rightarrow e + e_{cf} = 0.45 - 0.1 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 0.01 + 0.50 = 1.04 \text{ m}$.

On prend $e + e_{cf} = 1.05 \text{ m}$

- Pour le sol support QS3 :

$QS3 \Rightarrow P3 \Rightarrow e = 0.45 - 0.1 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 0 = 0.53 \text{ m}$

On prend $e = 0.55 \text{ m}$.

Proposition de la structure d'assise :

- Pour le sol support QS1 :

On a l'épaisseur minimale « e » des couches d'assises est : $e + e_{cf} = 1.05 \text{ m}$ donc les différentes épaisseurs de la couche d'assise est comme suit :

- Couche de ballast 30 cm (sous travers).
- Sous ballast 25 cm.
- Couche de forme 50 cm

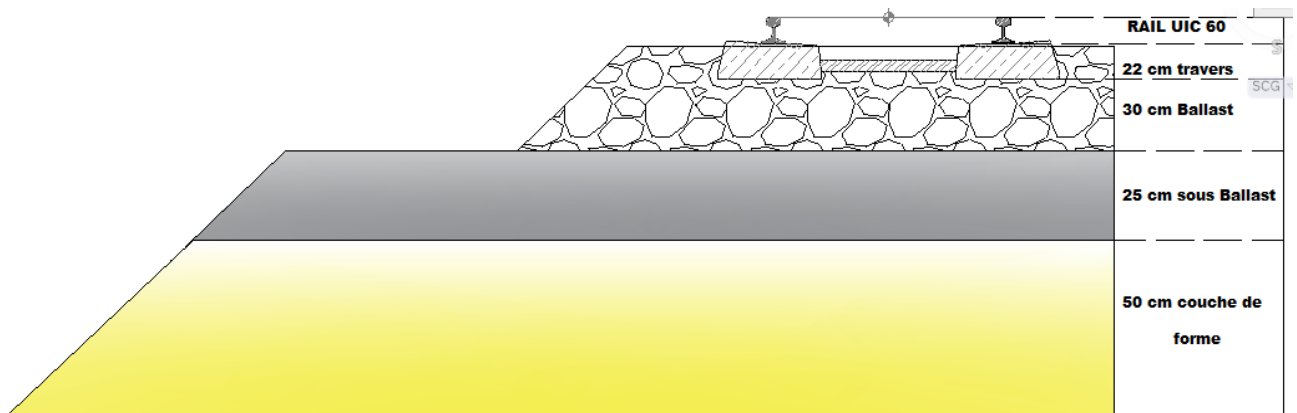


Figure V. 2 Les différentes épaisseurs de la couche d'assise.

- Pour le sol support QS3 :

On a l'épaisseur minimale « e » des couches d'assises est : $e = 0.55$ m donc les différentes épaisseurs de la couche d'assise est comme suit :

- Couche de ballast 30 cm (sous travers).
- Sous ballast 25 cm.

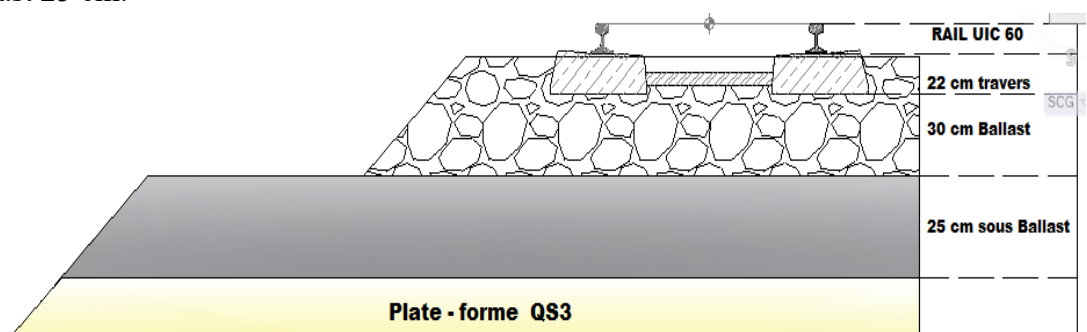


Figure V. 3 Les différentes épaisseurs de la couche d'assise.

V.5 CONCLUSION

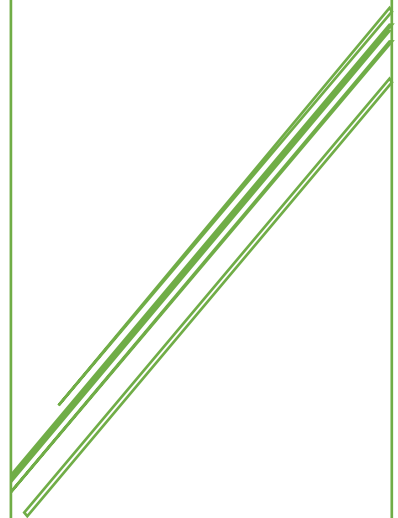
Le dimensionnement nous a permis de mettre en évidence les épaisseurs des différentes couches devant être présentes pour supporter et diffuser la charge transmise par le matériel roulant. Nous avons respecté les normes de l'UIC en vigueur en Algérie.

CHAPITRE VI

ETUDE

HYDRAULIQUE ET

ASSAINISSEMENT



VI.1 INTRODUCTION

L'Assainissement des infrastructures ferroviaires a pour objet d'assurer l'évacuation de toutes les eaux superficielles et souterraines pour éviter la submersion de la voie ferrée. Ceci se fait à l'aide des différents ouvrages de drainages (buses, dalots, fossés...). Le volet assainissement doit être traité avec précision et dans les normes.

L'objectif principal de la présente étude hydrologique est donc la détermination des débits de crues tout le long du nouveau tracé de cette voie ferrée afin d'éviter toute inondation de celle-ci, et de prévoir ainsi l'aménagement hydraulique de protection le plus approprié

VI.2 ETUDE HYDROLOGIQUE

VI.2.1 Climat :

Sur le plan climatologique, la wilaya de Tiaret traverse au cours de l'année deux périodes principales qui expriment le contraste important qui sévit durant l'année, le climat est continentale semi-aride : un hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige et un été chaud très sec.

VI.2.2 Pluviométrie

La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 300 mm/an, les pluies tombent en générale sous forme d'averses, durant le mois de septembre, novembre et jusqu'au avril. La région est réputée par les vents de sable qui soufflent durant l'année.

VI.2.3 Caractéristiques des bassins versants

Un certain nombre de paramètres caractérise un bassin versant et son réseau de drainage :

- Surface ;
- Périmètre ;
- Altitude minimale et maximale du bassin versant ;
- Longueur de l'oued principal ;
- Coefficient de compacité de Gravelius ;
- Pente brute de l'oued principal
- Indices de pente moyenne

La ligne ferroviaire de notre projet est traversée par 43 cours d'eau donc on délimite 43 bassins versants.

La plus grande surface de ces bassins versant est de 3.362 km², la plus petite est de 0.4 ha, la plus grande longueur de l'oued est de 2881 m et la plus petite est de 31.9 m.

Tableau VI. 1 Tableau récapitulatif des bassins versants de notre projet

BV	Pk	A(km ²)	P (km)	L(m)	Hmax	Hmin	Pente moyenne (%)
1	30+740	0.2315	2.429	175.19	1107	1102.13	2.78
2	31+543	1.12	5.989	1212.9414	1124.485	1108.27	1.34
3	31+980	0.1587	2.422	-	1127	1119	-

4	32+569	0.3402	3.378	696.153	1135.128	1123.59	1.66
5	33+026	0.1316	2.453	-	1131.253	1125.19	-
6	33+144	0.1578	2.35	229.61	1138.777	1132.8	2.60
7	33+264	0.004012	0.35954	-	1132.8	1130	-
8	33+644	0.1116	2.266	-	1150.423	1145.17	-
9	33+850	0.3071	3.124	434.83	1155.016	1146.65	1.93
10	34+043	0.01733	0.78809	-	1155.647	1151.36	-
11	34+520	0.4409	3.534	574.74	1174.557	1154.87	3.42
12	34+830	0.1004	2.284	-	1165.223	1158.86	-
13	35+111	0.1515	2.172	149.71	1164.343	1159.58	3.18
14	35+506	0.3836	4.042	779.1	1182.165	1160.89	2.73
15	35+660	0.3903	3.966	857.5	1184.066	1161.51	2.63
16	36+067	0.542	4.678	986.06	1181.599	1162.09	1.98
17	36+378	0.2574	2.48	173.25	1163.011	1161.4	0.93
18	36+521	0.00556	0.47783	-	-	-	-
19	36+831	0.3361	4.227	938.23	1180.511	1161.55	2.02
20	37+268	3.362	11.735	2448.7	1222.658	1153.98	2.80
21	38+558	0.1077	2.244	-	1209	1195.89	-
22	39+043	0.0612	1.16	-	1226.8	1211	-
23	39+468	0.2356	2.398	371.55	1222.36	1214.97	1.99
24	39+663	0.0885	1.514	-	1218	1215.1	-
25	40+017	0.3866	3.962	618.46	1234.466	1217.19	2.79
26	40+667	0.677	4.898	1095	1236.683	1216.21	1.86
27	40+882	0.2433	2.648	295.32	1220.127	1218.07	0.70
28	41+210	0.2517	2.932	354.93	1220.593	1219	0.45
29	42+097	0.651	5.165	1281.004	1230.229	1216.54	1.07
30	42+130	0.629	4.197	743.285	1224.9	1216.87	1.08
31	43+222	0.04362	1.067	-	-	-	-
32	44+042	0.3601	3.494	453.385	1233	1227.27	1.26
33	44+518	0.4667	3.604	372.808	1228.465	1226.37	0.56
34	44+850	0.082	1.596	-	1231.57	1230.31	-
35	45+135	0.2047	2.498	125.06	1232.73	1230.56	1.73
36	45+801	0.197	2.702	246.42	1238.498	1232.11	2.59
37	46+242	0.2801	2.989	410.57	1236.788	1227.44	2.28
38	46+473	0.2766	2.674	182.37	1228.314	1223.86	2.44
39	47+388	0.4135	3.576	703.65	1228.064	1214.43	1.94
40	47+599	0.03708	1.048	-	1213.862	1210.55	-
41	47+920	2.779	11.267	2881.126	1233.935	1205.96	0.97
42	48+207	0.1327	1.695	31.925	1214.375	1213.57	2.53
43	48+863	0.2833	3.1	330.85	1216.751	1211.92	1.46
44	49+423	0.907	5.107	1089.98	1220.105	1204.33	1.45

VI.2.4 Données pluviométriques

Plus que tout autre facteur, la pluie joue un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Elle influence ces derniers par :

- Sa hauteur totale annuelle,
- Sa répartition mensuelle et saisonnière
- Ses totaux journaliers.

Les données de la région d'étude ont été recueillies à partir du rapport hydrologique du projet et sont les suivantes : (Source : ANRH)

- Pluie moyenne journalière : $P_{jmoy} = 45.3 \text{ mm}$
- L'exposant climatique : $b = 0.31$
- Le coefficient de variation climatique : $CV = 0.3$

VI.2.5 Pluies annuelles

Les pluies annuelles de la station de Tiaret pour différentes fréquences sont résumées dans les tableaux ci-dessous.

Tableau VI. 2 Précipitations annuelles(mm) (source rapport hydrologique)

Période de retour	2	5	10	25	50
En L/ (s*ha)	187.5	250.9	292.3	345.1	384.0

VI.2.6 Précipitations mensuelles

La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 300 mm/an, les pluies tombent en générale sous forme d'averses, durant le mois de septembre, novembre et jusqu'au avril. La région est réputée par les vents de sable qui soufflent durant l'année

Tableau VI. 3 Précipitations mensuelles(mm)(source rapport hydrologique)

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	annuel
min	0.6	0	0	0	1.6	0	0	0.1	0.5	2.2	5.7	13.9	105
Max	117.4	152.2	118.6	130	66.6	41.3	29.6	54.9	87.8	85.3	105.8	79.2	543.2
P_{moy}	59	76.1	59.3	65	34.1	20.7	14.8	27.5	44.2	43.8	55.8	46.6	324.1

L'analyse de la variation des pluies moyennes mensuelles interannuelles pour la station de Tiaret montre que le mois de Février est le plus pluvieux avec une moyenne des précipitations supérieure à 76mm.

VI.2.7 Précipitations journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite la détermination exacte des pluies journalières maximales annuelles. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies maximales journalières des stations de la région pour différentes fréquences.

Tableau VI. 4: Pluies maximales journalières annuelles mm (source : rapport hydrologique)

Période de retour	2	5	10	25	50
En mm/24h	27.0	36.1	42.1	49.7	55.3

VI.2.8 Intensité de pluie

La détermination de l'intensité de la pluie, comprend différentes étapes de calcul qui sont :

VI.2.8.1 Hauteur de la pluie journalière maximale annuelle

$$P_j (\%) = \frac{P_j \text{ moy}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} e^{u \sqrt{\ln(Cv^2 + 1)}}$$

Avec : $P_j(\%)$ en mm

$P_j \text{ moy}$: pluie journalière moyenne (mm)

Cv : Coefficient de variation

u : Variable de Gauss

$\ln$: Log. Népérien

Tableau VI. 5: variable de gauss

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

Remarque :

- Les buses seront dimensionnées pour une période de retour 10 ans.
- Les ponceaux (dalots) seront dimensionnés pour une période de retour 50 ans.
- Les ponts seront dimensionnés pour une période de retour 100 ans.

VI.2.8.2 Calcul de la fréquence d'averse

La fréquence d'averse est donnée par la formule suivante :

$$P_t (\%) = P_j (\%) \cdot \left(\frac{tc}{24}\right)^b$$

Où : P_j : Hauteur de la pluie journalière maximale (mm).

b : Exposant climatique.

P_t : pluie journalière maximale annuelle (mm)

t_c : Temps de concentration (heure).

VI.2.8.3 Temps de concentration

La durée t de l'averse qui produit le débit maximum Q étant prise égale au temps de concentration.

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

- Lorsque $A < 5 \text{ km}^2$: $t_c = 0,127 \sqrt{\frac{A}{P}}$ (Ventura)
- Lorsque $5 \text{ km}^2 \leq A < 25 \text{ km}^2$: $t_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{A L}}{\sqrt{P}}$ (Giandotti)
- Lorsque $25 \text{ km}^2 \leq A < 200 \text{ km}^2$: $t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{(H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})}}$ (Passini)

Où : T_c : Temps de concentration (heure).

A : Superficie du bassin versant (km^2).

L : Longueur de cours d'eau (km).

P : Pente moyenne du bassin versant (m.p.m).

H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m).

VI.2.8.4 L'intensité horaire

$$I_t = \frac{P_t}{t_c}$$

Où : I_t : Intensité de la pluie (mm/h).

t_c : Temps de concentration (heure).

P_t : Hauteur de la pluie de durée t_c (mm)

VI.2.9 Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement c'est le rapport entre la précipitation utile et la précipitation totale ayant lieu dans un bassin. il dépend de :

- La nature du sol.
- La végétation.
- De la pente.

Tableau VI. 6 valeurs du coefficient de ruissèlement

Nature du bassin versant	Cr
Bois	0.1
Champs cultivé	0.2
Terrains nus	0.5
Rochers	0.7
Routes sans revêtements	0.7
Routes avec revêtements	0.9
Villages, toitures	0.9

Dans notre projet, le coefficient de ruissèlement varie **entre 0.55 à 0.8** selon la nature du sol, la pente du BV et sa végétation.

VI.2.10 Les crues

Les crues sont considérées comme des risques naturels contre lesquels il faut se protéger par la prévention et la prévision.

La prédétermination du débit maximum probable a un intérêt socio-économique évident en raison des effets destructifs de ces cataclysmes hydrologiques, et la nécessité de calculer certains ouvrages de protection dont les dimensions sont essentiellement déterminées par le maximum probable de la crue, auquel ces ouvrages doivent faire face.

Une crue est caractérisée par : Son débit Maximum, sa durée et son volume, pour estimer les débits de crue des différents bassins versant obtenus par délimitation, les formules de calcul des débits :

- **Rationnelle** : pour les surfaces des BV < 10 Km²

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

Où :

- Q_a = Débit des eaux pluviales (m³/s);
- I = Intensité maximales des prescriptions (mm/h) ;
- A = Superficie du bassin versant (km²) ;
- C = Coefficient de ruissèlement

Dans notre cas, tous les BV ont une surface < 10 Km², donc on utilise la formule rationnelle

Le calcul des débits des bassin versant est joint en annexe.

VI.3 HYDRAULIQUE

VI.3.1 Dimensionnement des buses

Le dimensionnement de la buse se fait par la formule de MANNING STRICKLER en écrivant l'égalité du débit d'apport et de saturation tel que :

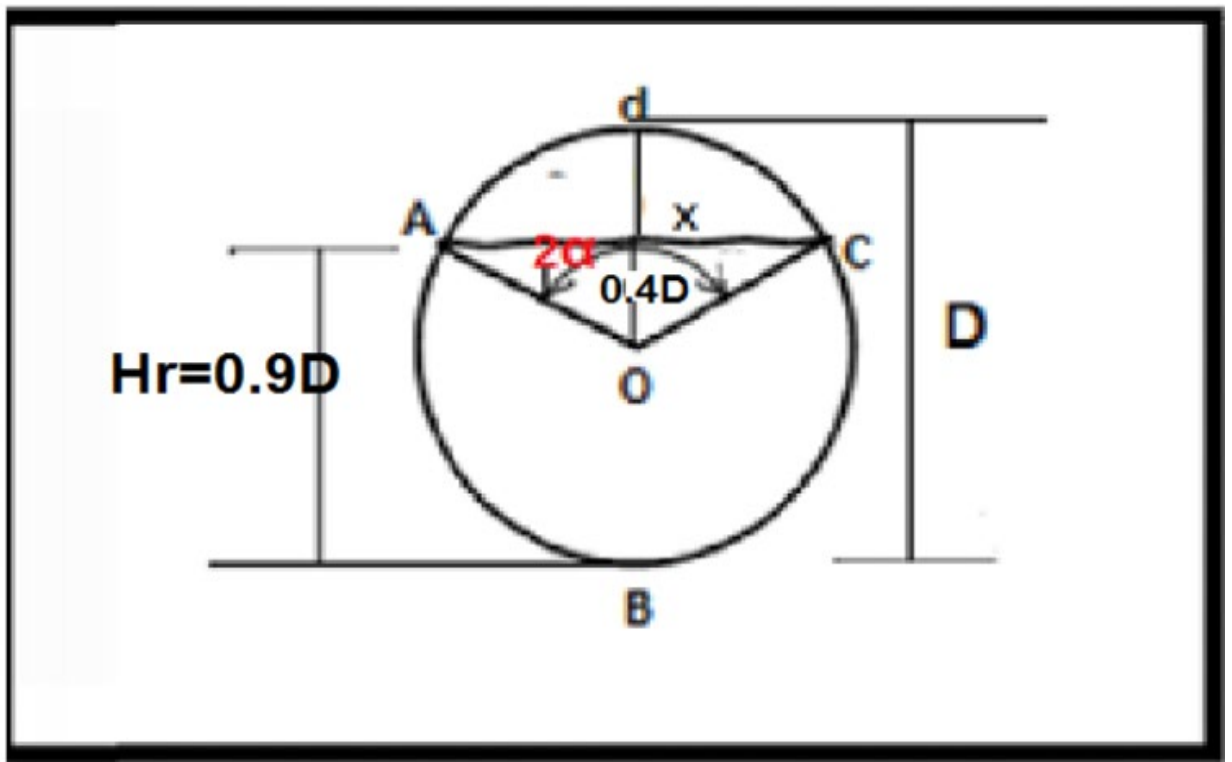


Figure VI. 1 une buse

$$Qa = Qs = K_s \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m$$

On a: (en pleine section)

$$S_m = \pi \times R^2$$

$$P_m = 2\pi \times R$$

Donc $R_H = \frac{R}{2}$

Avec Q_s : débit de saturation de la buse.

K_s : coefficient de Stikler, égale à 80 pour les buse

S_m : section mouillée.

P_m : périmètre mouillé.

R_h : Rayon hydraulique.

I : la pente de pose qui vérifie la condition de limitation de la vitesse maximale d'écoulement à 4 m/s ;

$$Q_s = Qa \Rightarrow 80 \times \left(\frac{\phi}{4}\right)^{2/3} \times \frac{\pi}{4} \times \phi^2 \times (I)^{1/2} = Qa$$

Après simplification, la formule avec laquelle le diamètre de la buse sera déterminé est la suivante :

$$\phi = \left(\frac{Qa}{24.94\sqrt{I}}\right)^{3/8}$$

Exemple de calcul :

PK	A(Km ²)	P(%)	Tc(h)	I (m/m)	C	Q(m ³ /s)
30+740	0.2315	2.429	0.37	0.01	0.7	2.89

$$\phi = \left(\frac{Qa}{24.94\sqrt{I}}\right)^{3/8} = \left(\frac{2.89}{24.94\sqrt{0.01}}\right)^{3/8} = 1.06\text{m, on va prendre } \phi \mathbf{1200}$$

Alors : **Sm= 1.13 m², Pm = 3.76 m, Rh = 0.3 m**

$$Q_{ps} = K_s \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times Sm = 80 \times 0.3^{2/3} \times 0.01^{1/2} \times 1.13 = 4.05 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ Vérification du condition d'auto curage :

- $V_{ps} = Q_{ps} / Sm = 4.05 / 1.13 = \mathbf{3.59 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}}$
- Pour $Qa/Q_{ps} = 0.1$, $rv = V/V_{ps} = 0.638$, $V = V_{ps} \times 0.638 = \mathbf{2.29 \text{ m/s} > 0.6 \text{ m/s}}$
- Pour $Qa/Q_{ps} = 0.01$, $rv = V/V_{ps} = 0.094$, $V = V_{ps} \times 0.094 = \mathbf{0.34 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s}}$

Les différentes valeurs des diamètres des buses correspond à chaque débit sont représentées dans l'annexe

VI.3.2 Dimensionnement des dalots

Le dimensionnement des dalots se fait par la formule de MANNING STRICKLER en écrivant l'égalité du débit d'apport et de saturation, on fixe la hauteur du dalot d'après la configuration du profil en long et on calcule la travée nécessaire et on fixe aussi la hauteur de remplissage à **0.8h**.

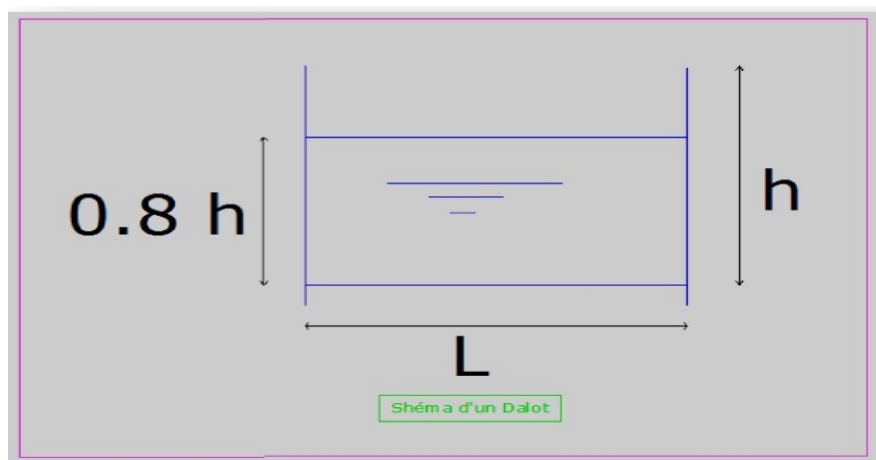


Figure VI. 2 un dalot

➤ **Prédimensionnement du dalot:**

$$Rh = \frac{Sm}{Pm} = \frac{0.80h \times L}{1.6h + L}$$

$$Qa = Qs = K_s \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times Sm = K_s \times I^{1/2} \times 0.8h \times L \times \left(\frac{0.80h \times L}{1.6h + L} \right)^{2/3}$$

Avec $K_s = 70$ (béton grossier avec coffrage en bois),

Après calcul itérative, on tire h :

$$h_{i+1} = \left[\frac{Qa}{K_s \times L \times I^{1/2}} \right]^{3/5} \left(\frac{1 + 1.6 \times \frac{h}{L}}{0.8} \right)^{2/5}$$

➤ **Vérification du régime d'écoulement :**

$$0.8h > h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Qa}{g L^2}} \text{ pour un régime d'écoulement fluvial}$$

➤ **Vérification du condition d'auto curage :**

- $V_{ps} < 4 \text{ m/s}$
- Pour $Qa/Q_{ps} = 0.1$, il faut que $V > 0.6 \text{ m/s}$
- Pour $Qa/Q_{ps} = 0.01$, il faut que $V > 0.3 \text{ m/s}$

Exemple de calcul :

PK	A(Km ²)	P(%)	Tc(h)	It(mm/h)	C	Q(m ³ /s)
47+920	2.78	0.97	2.15	18.92	0.7	10.23

On prend $L=2\text{m}$, $I= 0.005 \text{ m/m}$

$$h_{i+1} = \left[\frac{10.23}{70 \times 2 \times 0.005^{1/2}} \right]^{3/5} \left(\frac{1 + 1.6 \times \frac{h_i}{2}}{0.8} \right)^{2/5}$$

Après le calcul itérative on trouve $h=2.5 \text{ m}$.

Alors : $Sm = 5 \text{ m}^2$, $Pm = 7 \text{ m}$, $Rh = 0.71 \text{ m}$

$$Q_{ps} = K_s \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times Sm = 70 \times 0.71 \times 0.005^{1/2} \times 5 = 17.57 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ **Vérification du régime d'écoulement :**

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Qa}{g L^2}} = \sqrt[3]{\frac{10.23}{9.81 \times 2^2}} = 0.63 \text{ m} < 2.50 \times 0.8 = 2 \text{ m}, \text{ condition vérifiée.}$$

➤ **Vérification du condition d'auto curage :**

- $V_{ps} = Q_{ps} / Sm = 17.57 / 5 = 3.51 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$

- Pour $Q_a/Q_{ps} = 0.1$, $r_v = V/V_{ps} = 0.638$, $V = V_{ps} \times 0.638 = \mathbf{2.24\ m/s} > \mathbf{0.6\ m/s}$
- Pour $Q_a/Q_{ps} = 0.01$, $r_v = V/V_{ps} = 0.094$, $V = V_{ps} \times 0.094 = \mathbf{0.33\ m/s} > \mathbf{0.3\ m/s}$

Les conditions d'autocurage sont vérifiées.

Le calcul complet des débits de saturation et les vérifications des conditions d'autocurage est joint en annexe.

VI.3.3 Dimensionnement des fossés

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

- **Fossés de drainage** : Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.
- **Fossés de crête** : Pour ne pas surcharger le drainage des tronçons en déblai avec des eaux provenant d'aires voisines et dans le but de protéger les talus de déblai, on prévoit généralement l'installation de fossés de crête et de risbermes pour collecter et conduire ces eaux.
- **Fossé de pied de remblai** : Pour prévenir l'érosion des talus de remblai par les eaux écoulées d'aires voisines, ces eaux seront collectées et conduites par des fossés de pied de talus. Les fossés de pied de talus auront une section trapézoïdale.
- **Descente d'eau sur talus** : Elles servent à évacuer:
 - Les eaux de ruissellement provenant de plate-forme ferroviaire vers les pieds de talus de remblai
 - Les eaux récupérées depuis les fosses de crête des talus de déblai vers les avaloirs situés en bordure de plate-forme.

On a adopté les descentes de talus en fonction des situations, comme il est défini dans les plans du projet.

➤ Calcul des débits d'apports :

Le choix de type de fossé est en fonction débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus : $Q_a = Q_{pf} + Q_b + Q_t$.

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

➤ Surface des sous bassins versant :

Cas de déblai : gauche de la voie pk38+775 jusqu' à pk 39+575.

Cas de remblai : gauche de la voie pk35+975 jusqu' à pk 36+600.

Tableau VI. 7 surface des sous bassins versant

BV	déblai	remblai
	A (km ²)	A (km ²)
Talus	$0.008 \times 0.800 = 0.0064$	$0.007 \times 0.625 = 0.00437$
Plate-forme	$0.0068 \times 0.800 = 0.00544$	$0.0068 \times 0.625 = 0.00425$
Berne	$0.002 \times 0.800 = 0.0016$	$0.002 \times 0.625 = 0.00125$

➤ Temps de concentration :

Le temps de concentration du bassin versant considéré est calculé à l'aide de la formule de VENTURA ($A < 5 \text{ km}^2$)

Tableau VI. 8 temps de concentration

BV	déblai			remblai		
	A(km ²)	P(m/m)	tc (h)	A(km ²)	P(m/m)	tc (h)
talus	0.0064	2	0.023	0.00437	0.5	0.011
Plate-forme	0.00544	0.04	0.047	0.00425	0.04	0.041
berne	0.0016	0.04	0.025	0.00125	0.04	0.022

➤ Débit d'apport :**Cas de déblai :****Tableau VI. 9: debit d'apport en déblai**

BV	A (km ²)	I(mm/h)	Cr	Qa(m ³ /s)	Qat(m ³ /s)
talus	0.0064	318.69	0.7	0.40	0.56
Plate-forme	0.00544	194.63	0.4	0.12	
berne	0.0016	300.87	0.3	0.04	

Cas de remblai :**Tableau VI. 10: debit d'apport en remblai**

BV	A (km ²)	I(mm/h)	Cr	Qa(m ³ /s)	Qat(m ³ /s)
talus	0.00437	530.15	0.7	0.45	0.58
Plate-forme	0.00425	213.87	0.4	0.10	
berne	0.00125	328.62	0.3	0.03	

➤ **Débit de saturation :**

Pour le dimensionnement des fossés on calcule leur capacité hydraulique (débit de saturation) en utilisant la formule de « Manning Strickler »:

$$Q_s = K_s Rh^{2/3} i^{1/2} S_m$$

K_s : Coefficient rugosité dépend de la nature des parois internes de l'ouvrage (50 correspond aux fossés stabilisés / revêtement béton grossier)

i : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m), égale à 0.002 au minimum.

Rh : Rayon hydraulique (m).

$Rh = S_m / P_m$. Section mouillée / Périmètre mouillé.

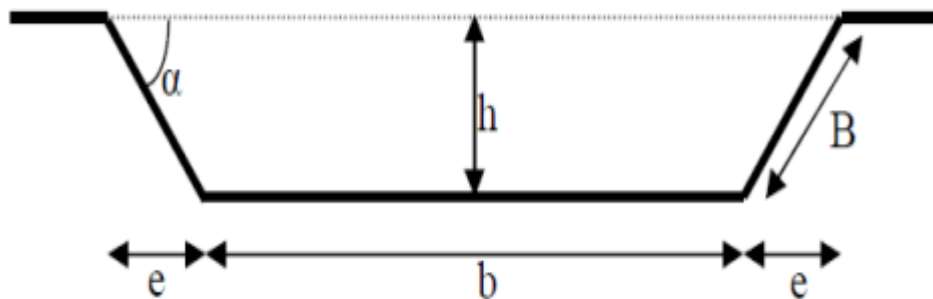


Figure VI. 3 schéma d'un fossé

➤ **Calcul de la surface mouillée :**

$$S_m = bh + 2 \frac{eh}{2} \quad \text{Avec} \quad \tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{m} \Rightarrow e = m \cdot h$$

$$s_m = b \cdot h + m \cdot h^2 = h \cdot (b + m \cdot h) \quad \Rightarrow s_m = h \cdot (b + m \cdot h)$$

➤ **Calcul du périmètre mouillé :**

$$P_m = b + 2 \cdot B$$

D'après PYTAGORE :

$$C = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + m^2 h^2} = h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad \text{Avec} \quad \tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{m} \Rightarrow e = m \cdot h$$

$$\Rightarrow P_m = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$$

➤ **Calcul le rayon hydraulique :**

$$Rh = \frac{S_m}{P_m} = \frac{(m \cdot h + b) \cdot h}{b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$$

A la saturation :

$$Q_{amax} = Q_s = K_s \cdot I^{1/2} \cdot S_m \cdot Rh^{2/3}$$

$$Q_a = Q_s = (K_s \cdot \sqrt{I}) \cdot h(b + m \cdot h) \cdot \left[\frac{h \cdot (b + m \cdot h)}{b + 2h\sqrt{1+m^2}} \right]^{2/3} \quad \text{avec } m = 1$$

$$\Rightarrow H_{i+1} = \left[\frac{Q_a}{K_s \times b \times I^{1/2}} \right]^{3/5} \frac{\left[1 + 2\sqrt{2} \times \frac{h_i}{b} \right]^{2/5}}{1 + \frac{h_i}{b}}$$

On prend $\begin{cases} b = 50 \text{ cm.} \\ K_s = 50. \\ I = 0,002. \end{cases}$

- En déblai : $H_{i+1} = \left[\frac{0.56}{50 \times 0.5 \times 0.002^{1/2}} \right]^{3/5} \frac{\left[1 + 2\sqrt{2} \times \frac{h_i}{0.5} \right]^{2/5}}{1 + \frac{h_i}{0.5}}$ après le calcul itératif on trouve $h = 0.55 \text{ m} \Rightarrow$ On prend $h = 60 \text{ cm}$.
- En remblai : $H_{i+1} = \left[\frac{0.58}{50 \times 0.5 \times 0.002^{1/2}} \right]^{3/5} \frac{\left[1 + 2\sqrt{2} \times \frac{h_i}{0.5} \right]^{2/5}}{1 + \frac{h_i}{0.5}}$ après le calcul itératif on trouve $h = 0.56 \text{ m} \Rightarrow$ On prend $h = 60 \text{ cm}$.

Donc les dimensions du fossé sont :

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$B = 1.7 \text{ m}$$

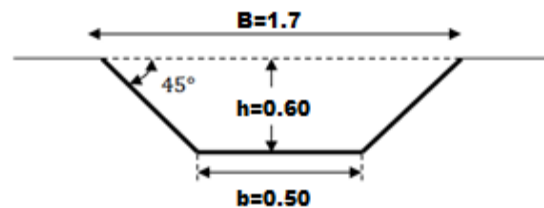


Figure VI. 4 dimensions d'un fossé

VI.4 CONCLUSION

L'étude hydraulique est très importante dans un projet ferroviaire car elle permet d'assurer la pérennité de la voie. En ce qui concerne l'assainissement, on a surdimensionné les ouvrages hydrauliques pour assurer un bon service à long terme et faire face à l'insuffisance d'entretiens dans notre pays.

CHAPITRE VII

PROFIL

EN TRAVERS

VII.1 INTRODUCTION

Le profil en travers est le levé perpendiculaire à l'axe de la voie sur un plan vertical il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement ferroviaire.

Pour l'échelle des profils en travers, on opte souvent pour 1/100. On distingue deux types de profil :

- Profil en travers type.
- Profil en travers courant.

VII.2 PROFIL EN TRAVERS TYPE

C'est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc...).

VII.3 PROFIL EN TRAVERS COURANT

S'applique au PK indiqué, prend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment la cote du terrain naturel, la cote de projet et le dévers de la plate-forme.

VII.4 LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE

V.4.1 La plateforme

La plateforme est une succession des couches de matériaux compactées, sur laquelle se reposera la voie. Elle reçoit les charges transmises par l'intermédiaire du ballast, elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.

V.4.2 L'Emprise

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

V.4.3 Assiette

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

V.4.4 La voie

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

V.4.5 La berme

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

V.4.6 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.

VII.5 ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE

Le profil en travers type doit indiquer tous les éléments suivants :

➤ **Eléments de superstructure :**

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.
- Le type de traverse utilisé.
- La valeur de devers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.

➤ **Eléments de l'infrastructure :**

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

➤ **Eléments du talus :**

- La pente de chaque talus.

➤ **Eléments d'assainissement :**

- Le type et dimension des ouvrages d'assainissements longitudinaux.

VII.6 PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET

Les spécifications techniques conforme au référentiel SNTF chapitre 6 sont :

- La largeur de la plate-forme en voie unique est fixée à 8 m.
- La plate-forme retenue est un profil en toit, avec une pente de 4%.
- l'infrastructure est constitué d'une sous couche réalisée avec une pente de 4%.
- La superstructure se compose de rail **UIC60**.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- Une bande de 70cm dite bande SES sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, télécommunication et électrification.
- Une piste de 70cm est implantée pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie.
- L'axe des poteaux caténaires est situé à 3.25 m de l'axe de voie.

NB : Les profils en travers types sont joints en annexe en format A3.

- **Profil type pour sol support QS1**

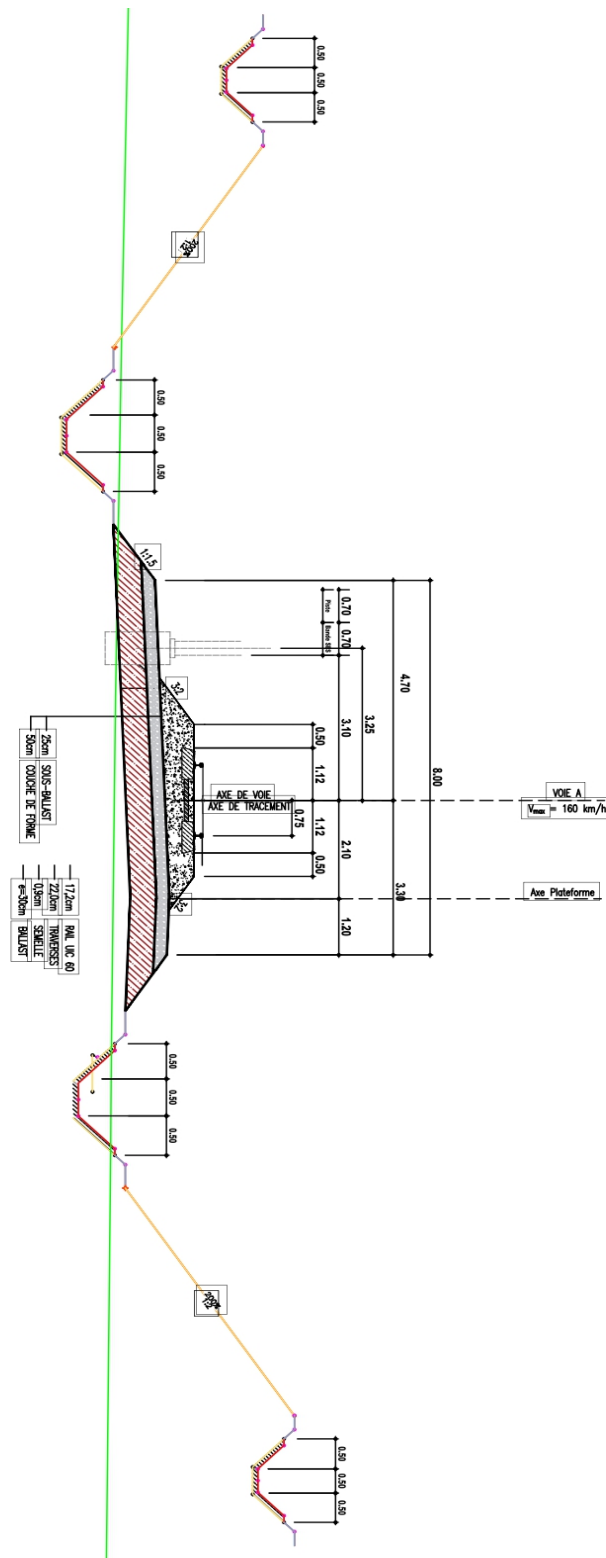


Figure VII. 1 Profil type de notre projet cas déblai

- **Profil type pour sol support QS3**

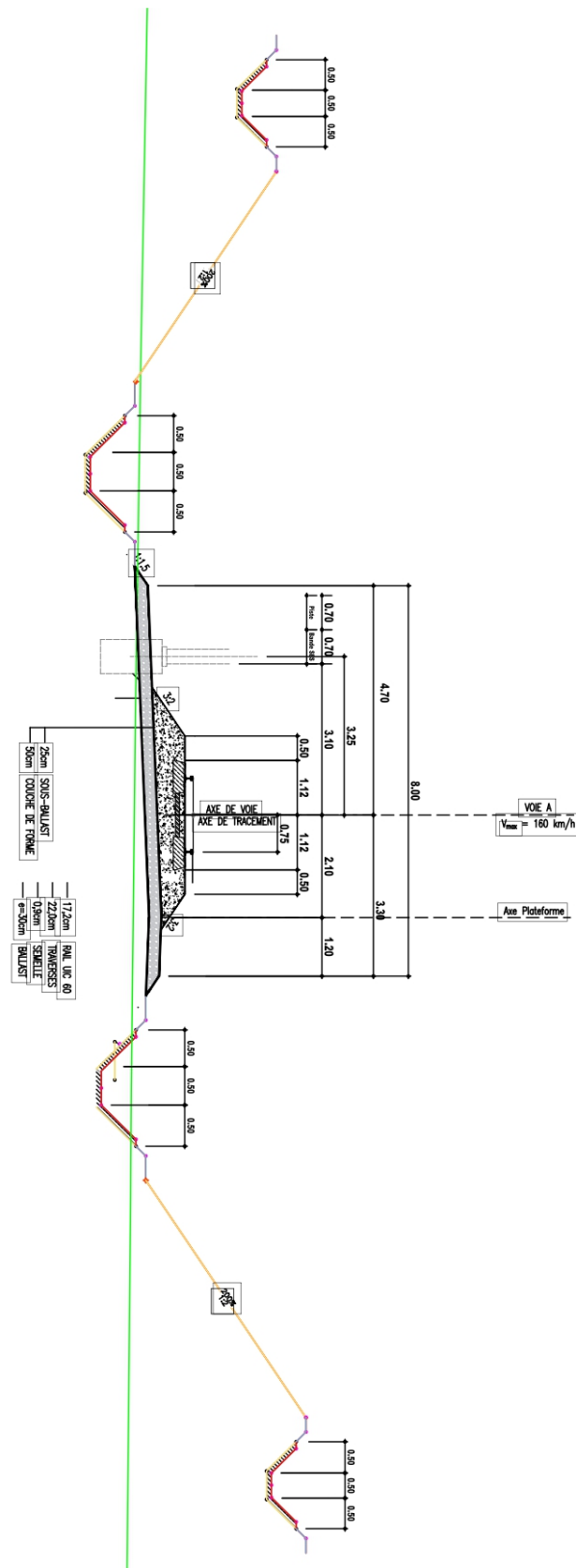


Figure VII. 4 Profil type de notre projet cas déblai

- **Profil type pour sol support QS1**

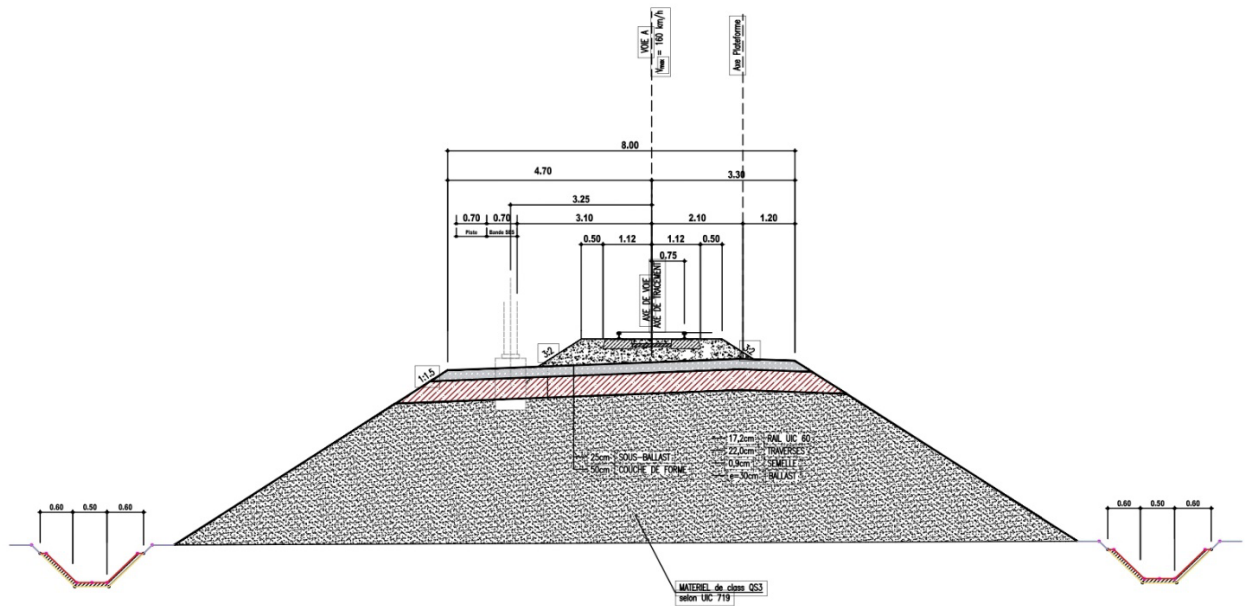


Figure VII. 5 Profil type de notre projet cas remblai

- **Profil type pour sol support QS3**

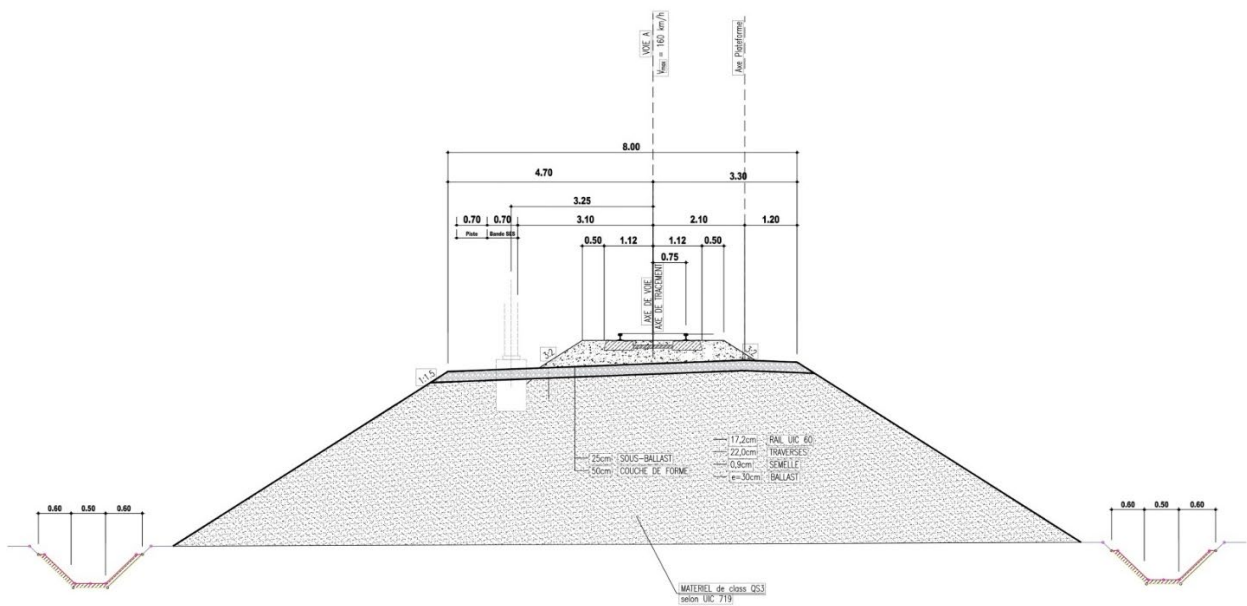


Figure VII. 6 Profil type de notre projet cas remblai

CHAPITRE VIII

TERRASSEMENT ET

OUVRAGES

VIII.1 INTRODUCTION

Les terrassements comprennent un ensemble d'opérations qui consistent en l'extraction des matériaux ou des sols naturels, leur réutilisation en remblai ou de leur mise en dépôt, en recourant à des techniques et des matériels spécifiques.

Ils constituent les travaux de préparation de l'infrastructure, pour permettre l'établissement de la plate-forme des niveaux inférieurs d'un ouvrage.

Dans les terrassements on distingue :

- Des fouilles de plus ou moins grande ampleur.
- Des mouvements de terre, déblais et remblais, soit pour niveler un terrain, soit pour réaliser une substitution de sol.

VIII.2 DEBLAI

Près de 38% du tracé du tronçon (7.229 km) se situe à la cote du terrain ou en déblai par rapport à la topographie actuelle, Les principaux déblais présentent des hauteurs maximales de 6m à 8 m situées au niveau du Pk 38+650 à Pk 40+098 et Pk 48+080 à P 49+255.

La géométrie des talus en déblai choisie basée sur la géométrie de la plate-forme ferroviaire type de structure d'assise retenue et type de drainage. Tout en assurant la stabilité de l'ouvrage en respectant le coefficient globale de sécurité F :

- $F \geq 1.5$ pour la stabilité a cours terme.
- $F \geq 1.3$ pour la stabilité à long terme.
- $F \geq 1$ pour la stabilité à sous la sollicitation sismique.

VIII.3 REMBLAI

Un remblai est un ouvrage en terre qui provient de la mise en place de matériaux pour rehausser ou niveler le terrain naturel. Il doit pouvoir supporter les sollicitations ultérieures sans déformation préjudiciable (tassements, glissements...), environ 58% du tracé, soit approximativement 11.122 km, sera exécuté en remblai en appui sur le niveau actuel du terrain, les remblais en terre exécutés en matériau de qualité minimal QS1.

Si le terrain d'assiette est en pente ($> 15\%$) il y a lieu de créer des redans ou sillons horizontaux (20 cm de profondeur minimum), pour permettre l'accrochage des remblais.

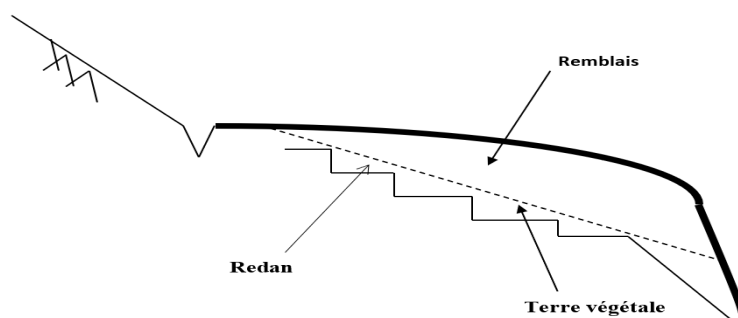


Figure VIII. 1 Remblai dans une grande pente

Les conditions sur les facteurs de sécurité précédents doivent être vérifiées pour assurer la stabilité des talus en remblai.

VIII.4 LE DECAPAGE

C'est une opération qui consiste à enlever la couche supérieure (0,2 -0,3 m) de la terre arable, pouvant-être réutilisée dans la végétalisation des talus ou à mettre en dépôts. Généralement, on recourt au bulldozer qui permet l'extraction par couches minces.

Sur la base de l'étude géologique et géotechnique, conduits le long du tracé, nous avons trouvé que l'épaisseur de décapage varie de 0,1 à 0,3m dans les lieux plus rocheux (calcaires) et de 0,5m à 0.7m dans les terrains marneux.

VIII.5 PENTE DE TALUS

Les pentes des talus principalement utilisées selon référentiel technique de SNTF chapitre 7, et exprimées en fraction base « H » sur la hauteur « V », sont :

- En déblai : 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2,5/1, 3/1.
- En remblai : 3/2, 2/1.

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage en fonction des caractéristiques géotechniques des terrains recoupés en déblais, ou du sol support et des matériaux mis en œuvre pour les remblais et de la hauteur de l'ouvrage et de la topographie de site et des risques naturelles.

VIII.6 VERIFICATIONS DE LA STABILITE DES DEBLAIS ET DES REMBLAIS

En référence à la classification de Bieniawski utilisée pour la caractérisation géotechnique des masses rocheuses, on définira et vérifiera les pentes des talus des déblais et des remblais les plus importants qu'on rencontrera le long du tracé.

VIII.6.1 Cas d'un Déblai

Déblai PK 48+088 A PK 49+255

- Hauteur max: 8 m.
- Couche : une seule couche d'unité géotechnique GC « calcaires gréseux ».
- Paramètres long terme : $C'=250$ kpa, $\phi' = 31^\circ$, $\gamma_d = 2.2$ t/m³.
- Pente proposé : 1H/2V.
- Sismicité : Zone I (faible sismicité) selon R.P.O.A. on a :
 - Accélération sismique : $\alpha = 0.15$.
 - coefficient sismique horizontal : $K_h = 0.5 * \alpha = 0.5 * 0.15 = 0.075$.
 - coefficient sismique vertical : $K_v = - 0.5 * 0.075 = - 0.0375$.

la méthode bishop n'est pas utilisable pour les roches, elle est limitée que pour les terrains meubles ;

la grande cohésion (250 KPa) assure la stabilité du terrain .

VIII.6.2 Cas d'un Remblai

Remblai Viaduc PK 37+025

- Hauteur : 10 m
- Couche : trois couches d'unité géotechnique **CBf** « calcaire bioclastiques fracturé » et **GC** « calcaires gréseux » et en plus du matériau du remblai.
- Surcharge :
 - $q=94.3$ kPa (pour la condition statique).
 - $q= 72,5$ kPa (pour la condition sismique).
- Pente proposé : 2H/1V, Risberme : 2 m, hauteur : 6 m.
- Sismicité : Zone I (faible sismicité) selon R.P.O.A. on a :
 - accélération sismique : $\alpha= 0.15$.
 - coefficient sismique horizontal : $K_h= 0.5 * \alpha =0.5*0.15=0.075$.
 - coefficient sismique vertical : $K_v= - 0.5*0.075= - 0.0375$.

Tableau VIII. 1 Paramètre géotechnique des couches du remblai.

Couche /paramètre	Long terme		
	C' (kpa)	ϕ' (°)	γ_d (t/m ³)
REMBLAI	12,5	35	2.0
CBf	80	13	2.2
GC	250	31	2.2

Résultats

Tableau VIII. 2 Résultat des facteurs de sécurité

PK 37+025	Long termes	Cas Sismique
F « facteur de sécurité »	2,375	1,651

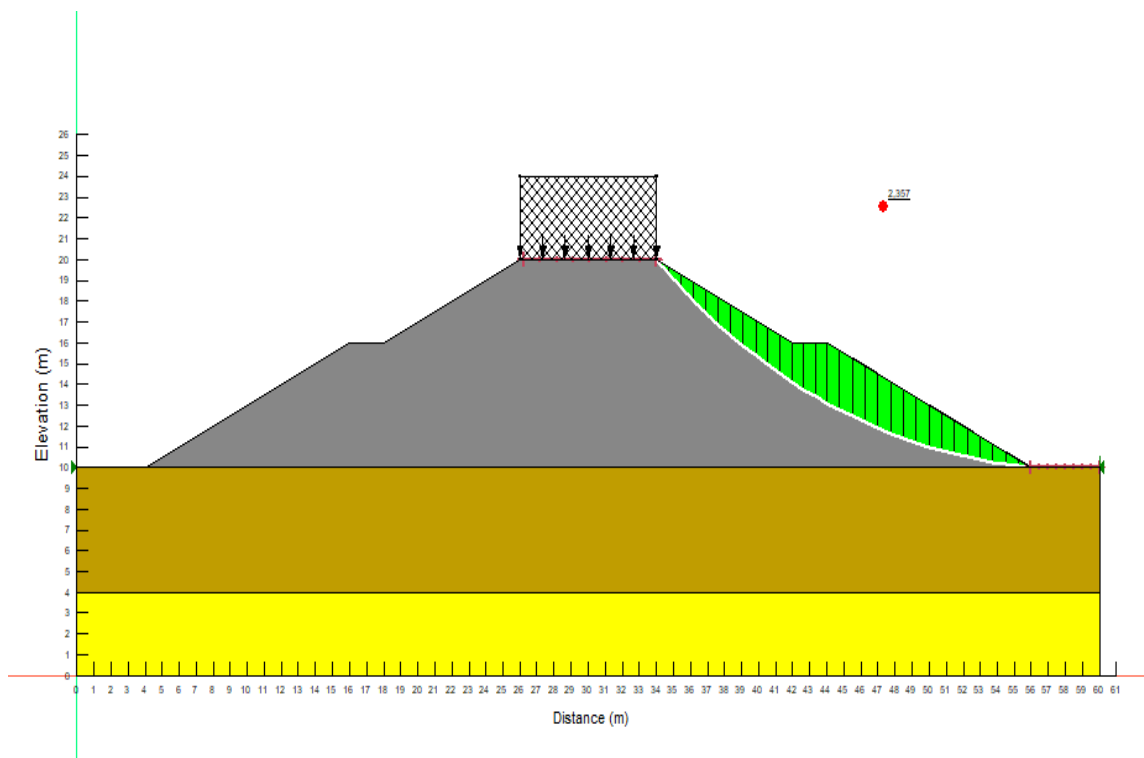


Figure VIII. 2 Vérification de la stabilité des remblais en condition statique.

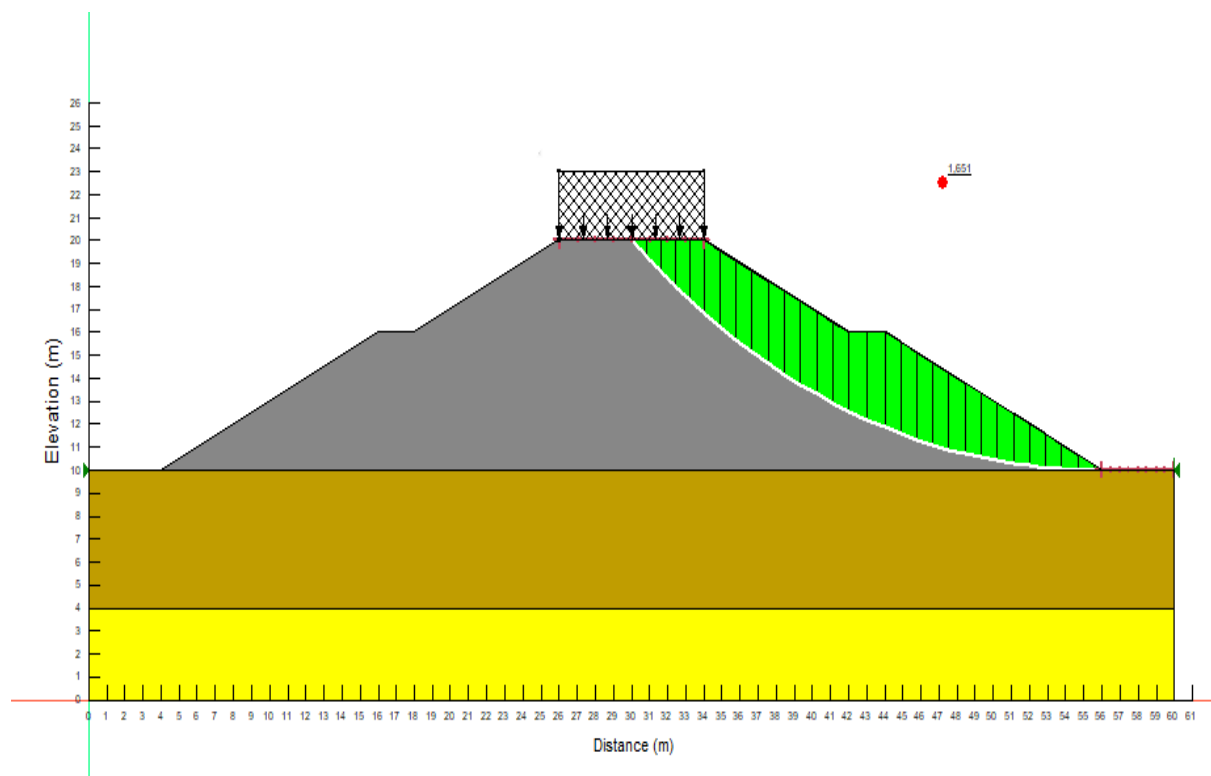


Figure VIII. 3 Vérification de la stabilité des remblais en condition sismique.

VIII.7 REUTILISATION DES SOLS EN REMBLAI :

On peut réutiliser les sols extraits des déblais pour mettre en remblai selon leur aptitude à la réutilisation ; pour cela en conformément à la norme NF-P 11.300 et aux conditions de réutilisation des matériaux définis par le GTR (Guide des Terrassement Routiers-SETRA). Les matériaux constituant le corps du remblai devront répondre aux spécifications suivantes:

- grave C1B3, C2B3, D2, D3 ou B3 ou R2 à l'état «m» ou «s»;
- insensibles à l'eau.
- granulométrie continue.
- dimension maximale de 500 mm;
- passant à 60 mm inférieur à 20 %.
- VBS inférieur à 0.2 avec aucune mesure supérieure à cette valeur.

Donc dans notre projet les unités géotechniques qui en peu réutiliser en remblai sont les suivants :

- MC « calcaire marneux » de la classe R2.
- GC « calcaires gréseux » de la classe R4.
- CB « calcaire bioclastiques » de la classe R2.

VIII.8 RECHERCHE DE GITES DE MATERIAUX

Plusieurs zones d'emprunt ont été révéler le long de tracé global, on note les zones situées à proximités du notre tronçon.

VII.8.1 Gite PK 24

Ce gite se situé à une distance approximative de 6.55 km du PK 30+550 « début de tracé étudié ». Et à partir des essais en laboratoire on a constaté que la classe du sol selon le GTR est « C1B3 », et selon les spéciations UIC 719R le sol appartient à la classe QS2.

Ce gite s'étend sur une surface de l'ordre de 5 Ha, avec une réserve d'environ 10 000 m3.

Le matériau identifié est destiné à la réalisation du corps de remblais.



Figure VIII. 4 Vue satellitaire du gite PK 24

VII.8.2 Gite TAGRARA

Ce gite est situé au lieu-dit « Tagrara », avec une distance approximative de 20 km du PK 49+458 « fin de tracé étudié », il s'agit d'un sol de classe C1B5 et selon les spécifications UIC 719R le sol appartient à la classe QS2.

Ce gite s'étend sur une surface de l'ordre de 10 Ha, avec une réserve d'environ 200 000 m³.

Le matériau identifié est destiné à la réalisation du corps de remblais.



Figure VIII. 5 Le gite TAGRARA

VIII.9 CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT

Les cubatures des terrassements sont calculées après la définition du terrain naturel, et du projet par le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

Tableau VIII. 3 résultats du calcul des cubature.

Matériaux	Ballast	Sous-ballast	Couche de fondation	Remblai	Déblai
Volume (m3)	44793	23370	24732	454984	429605

Note : Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel CIVIL 3D 2019. Les résultats de calcul présentés dans l'annexe de ce mémoire.

VIII.10 OUVRAGE D'ART

En général, Pour concevoir un meilleur tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire a projeté et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau.

Donc On prévoit en effet, trois solutions possibles :

- Pont rail.
- Passage inférieurs (Pont cadre).
- Ponts Routiers.
- Tunnel ferroviaire.

VIII.10.1 Les croisements avec la route

Le problème de croisement doit prendre en considération la nature et le débit de la voie afin d'analyser cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale.

On prévoit en effet, trois (03) solutions possibles :

- Passage inférieur : Si la vitesse de train est importante ≥ 100 km/h.
- Passage supérieur : C'est rarement envisagé, c'est lorsque la topographie ou bien la nature de site l'exige.
- Passage à niveau : pour les routes de faible débit surtout les routes de catégorie 5.

VIII.10.2 Franchissement d'écoulement d'eau

Les lignes ferroviaire coupent des cours d'eau permanent ou saisonniers (oueds , thalwegs) ses points d'intersection constituent les points les plus dangereux, ils conduisent souvent soit à la destruction de la voie, soit à sa submersion et dans des cas à l'interruption de la circulation, ou la diminution de la vitesse .

Donc On prévoit les ouvrages suivants :

- Pont hydraulique : pour franchir l'oued de grand débit.
- Dalot : Ouvrage hydraulique pour les moyens débits d'eau.

- Ouvrage buse : Ouvrage hydraulique pour les petits débits d'eau.

VIII.11 APPLICATION DE PROJET

Tableau IX.4. ouvrages traversant notre projet.

PK	Type d'ouvrage	Description	Longueur (m)
31+660	Passage supérieur	déviations du Route Cat.5.	25
33+083	Passage supérieur	déviations du Route CW06 (Cat.4)	20
35+305	Passage supérieur	déviations du Route Cat.5	20
37+025	viaduc	Traverse la vallée existante	600
39+037	Passage supérieur	déviations du Route Cat.5	20
41+512	Passage inférieur	déviations du Route Cat. 5	20
43+975	Passage inférieur	déviations du Route Cat. 5	25
45+183	Passage inférieur	déviations du Route Cat. 5	20
47+385	Passage supérieur	déviations du Route Cat. 5	25

CHAPITRE IX

L'APPARIEL

DE VOIE

IX.1 INTRODUCTION

L'exploitation des voies ferrées exige des moyens de liaison et de traversée des itinéraires : c'est la fonction assurée par les appareils de voie.

IX.2 DEFINITIONS DE L'APPAREIL DE VOIE

C'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre ou d'en traverses, en assurant la continuité des voies par extension, sont également appelés appareils de voie. Certains dispositifs dans un itinéraire assurant d'autres fonctions mécaniques par rapport aux véhicules (dérailleurs...).

On peut classer les appareils de voie en deux catégories :

- **Le branchement** : qui permet de créer une voie déviée à partir d'une voie directe ou d'assurer la communication entre deux voies.
- **La traversée** : c'est le croisement à niveau de deux voies, elle peut être combinée avec un ou plusieurs branchement c'est la traversée jonction simple ou double.

IX.3 TECHNOLOGIE DE BRANCHEMENT

A partir d'une direction, voie directe, en est créée une seconde, voie déviée, grâce à l'appareil de voie appelé branchement.

Le branchement comporte trois parties en générales :

- partie aiguillage (qui comprend essentiellement les aiguilles mobiles)
- partie intermédiaire (assimilable à la voie courante)
- partie croisement (qui comprend essentiellement le cœur de croisement)

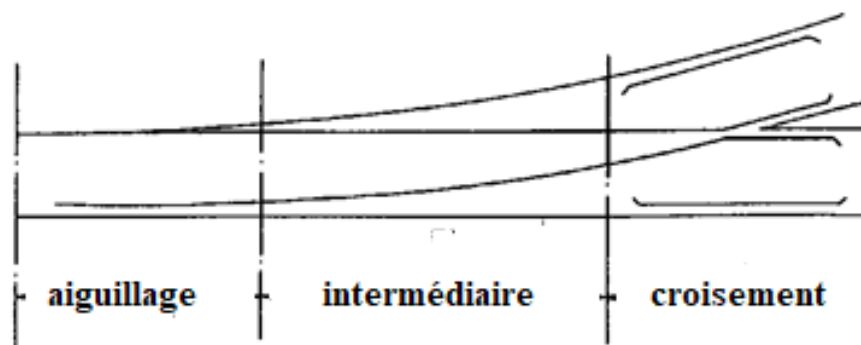


Figure IX. 1 les composants d'un branchement simple

IX.3.1 Aiguille

On appelle "aiguilles" ou "aiguillage" la partie de l'appareil de voie qui détermine la direction que prend le train. Cette partie est généralement composée de deux demi-aiguillages : un demi-

aiguillage de droite et un demi-aiguillage de gauche, la position de l'appareil lorsque l'on regarde l'appareil de la pointe vers le talon (voir aiguillage).

Chaque demi-aiguillage est composé d'une aiguille et d'une contre-aiguille. Les deux aiguilles sont reliées entre-elles au moyen d'un tringle d'écartement qui permet de connecter les deux aiguilles : lorsque l'une est ouverte, l'autre est plaquée. Les tringles de manœuvre assurent la transmission du mouvement du moteur ou de la boîte de manœuvre aux aiguilles.

Il existe trois catégories d'aiguilles :

- le branchement simple.
- le croisement, ou traversée simple, (dénommée aiguille fictive)
- la traversée jonction (qui peut être simple ou double), combinaison des deux précédentes.

Les aiguilles peuvent être commandées à pied d'œuvre ou à distance par un mécanisme électrique ou par transmission rigide.



Figure IX. 2 Commande à pied d'œuvre des aiguillages



Figure IX. 3 Commande électrique d'un aiguillage

IX.3.2 LE CROISEMENT DE BRANCHEMENT

Le croisement est l'ensemble constitué par un cœur avec deux contre-rails reliés entre eux par des entretoises de liaisons et deux rails extérieurs.

- **Le cœur de croisement** c'est la Partie centrale d'un branchement, est constitué d'une pointe et des pattes de lièvre qui assurent le soutien de la roue lors du passage de la lacune.
- **Le contre-rail** C'est un rail qui est placé en face du cœur, Légèrement rehaussé par rapport au plan de roulement. En assurant le guidage de la roue lors de son passage dans la lacune.
- **L'entretoise** sert à maintenir une distance correcte nommée « Cote de guidage » entre le contre-rail et la pointe du cœur.

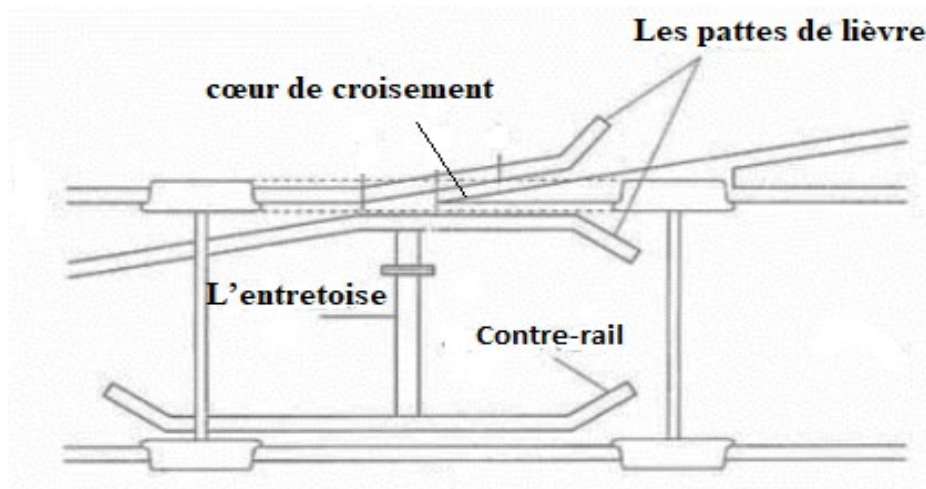


Figure IX. 4 schéma de croisement.

IX.4 LES TRAVERSEES DE LA VOIE

La traversée est un appareil de voie qui permet la traversée (l'intersection de 2 voies) au même niveau.

Les traversées-jonctions sont des combinaisons de branchements simples et traversées de voie sur un espace réduit. Elles permettent aux matériels roulants de passer d'une voie à l'autre sans interruption du roulement par un croisement.

On peut distinguer deux types de traversée :

IX.4.1 La traversée –jonction simple

La traversée jonction simple est une traversée oblique qui grâce à l'adjonction d'aiguillages, permet de relier entre elles les deux voies qui se croisent d'une seule côte, par rapport à l'axe longitudinal de la traversée oblique.

Elle est constituée de deux croisements, d'une traversée proprement dite, de deux aiguillages et de voie intermédiaire.

IX.4.2 La traversée –jonction double

La traversée jonction double a en plus des éléments de la traversée jonction simple, deux aiguillages permettant à cet appareil de relier les deux voies que croisent de deux côtés par rapport à l'axe de l'appareil.

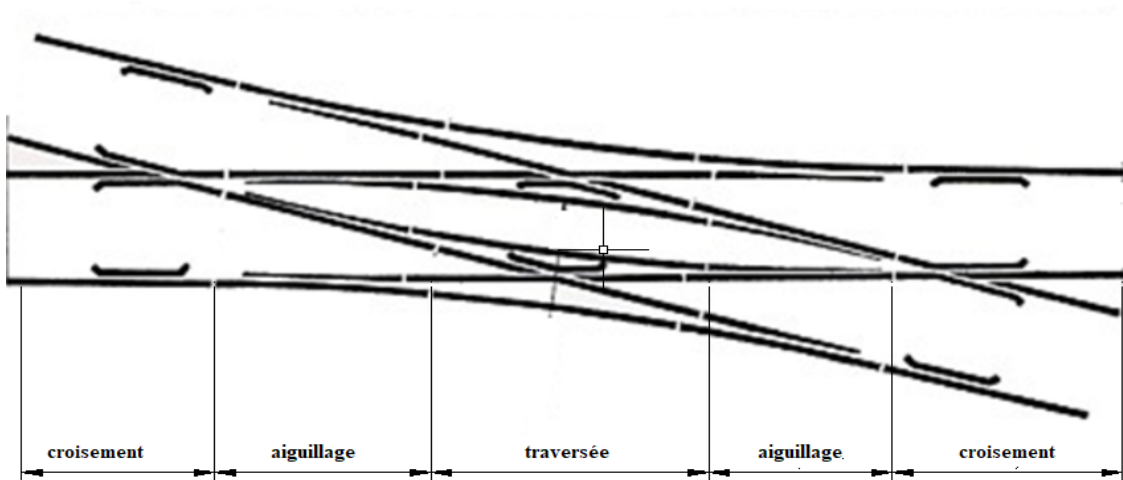


Figure IX. 5 Schéma de traversée- jonction double

IX.5 COMBINAISONS D'APPAREILS DE VOIE

Combinaison de deux branchements en déviation permettant de relier entre eux deux itinéraires principaux non convergents.

IX.5.1 La diagonale

Elle est constituée de deux branchements et permet selon le sens de circulation le passage d'une des voies sur l'autre.



Figure IX. 6 diagonale simple

IX.5.2 Le Bretelle

Afin de permettre le passage de n'importe quelle voie sur l'autre, une solution

consiste à placer deux diagonales de sens opposés l'une derrière l'autre, La bretelle assure la même fonctionnalité tout en nécessitant moins de place. Par contre, elle impose un croisement supplémentaire aux circulations.



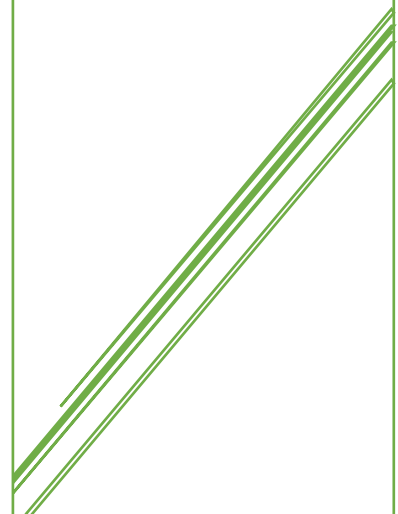
Figure IX. 7 Bretelle

CHAPITRE X

CONCEPTION DE

LA GARE DE

FREND A



X.1 INTRODUCTION

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses Installations qui ont une double fonction, permettant l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises.

X.2 GARES DES VOYAGEURS

Les gares de voyageurs, souvent perçues principalement comme des bâtiments, sont en fait des ensembles fonctionnels plus larges, conçus pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, elles sont de taille très variable, les gares peu importantes, qui constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel permanent, sont appelées « haltes » ou « points d'arrêt ».

Les gares principales situées dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les autres modes de transport urbains (bus, tramway, métro) ; on les appelle alors pôles d'échanges.

X.2.1 Les gares terminus

Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé symétriquement : un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivées.

X.2.2 Les gares de passage

Le bâtiment est généralement le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un souterrain. Il arrive qu'il soit placé au-dessus des quais. Les installations d'accueil des voyageurs peuvent aussi se trouver sous les quais.

X.2.3 Les gares de triage

Les gares de triage assurent la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

X.3 EQUIPEMENT DE LA GARE A VOYAGEURS

X.3.1 Les bâtiments à voyageurs (B.V)

Dans lesquels une partie au moins des locaux est accessible à la clientèle « voyageurs ». Ces bâtiments permettent notamment aux voyageurs de passer de la voie publique vers les quais à voyageurs.

X.3.2 Les bâtiments à usages divers (B.U.D)

Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des coulis, bureaux, etc.

X.3.3 Quais

Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement des voyageurs. Les quais peuvent être bas ou hauts. Le long des quais surélevés, lesquels se rencontrent le plus souvent sur les lignes électrifiées, des marches d'accès sont établies tous les 25 mètres afin de permettre au personnel se trouvant dans les voies de s'échapper sans difficulté à l'arrivée des trains.

X.3.4 Auvents et abris

Dans le but de protéger les voyageurs des intempéries, on prévoit des auvents dans les gares importantes et des abris dans les gares intermédiaires.

X.3.5 Passages souterrains et passerelles

Ils sont construits dans les gares pour permettre aux voyageurs de passer d'un quai à un autre en plein sécurité.

X.4 GARES DE MARCHANDISES

Aux débuts du chemin de fer, les gares de marchandises assuraient la totalité du traitement du trafic de marchandises. Elles étaient dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opérait le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires). Le fret se traite pour l'essentiel :

- Soit dans des chantiers multimodaux, dans lesquels sont manutentionnés les conteneurs et caisses mobiles utilisés dans le transport combiné rail/route.
- Soit dans des embranchements particuliers qui relient directement les installations industrielles (usines, mines, carrières, entrepôts...) au réseau ferré principal
- Soit dans les installations portuaires (voies ferrées desservant directement les quais maritimes ou fluviaux).

Ces embranchements sont de plus en plus très intégrés dans la logistique des entreprises clientes du chemin de fer ; elles peuvent englober diverses installations de manutention destinées à faciliter le transfert des marchandises : grues à portiques, bandes transporteuses, silos, etc. Les voies ferrées elles-mêmes peuvent dans certains cas représenter des longueurs considérables.

Un cas particulier est celui des gares de triage, dont la fonction est d'assurer la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les « wagons isolés ».

X.5 CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES

Les gares doivent répondre à un certain nombre de condition :

- L'étude du bâtiment de voyageurs (B.V) doit respecter le plan d'urbanisme.
- Il faut veiller à la séparation des flux de voyageurs entrant et sortants.

- Une grande gare centrale est préférable à la solution de plusieurs gares.
- Aménager aux abords des gares des parcs de stationnement de voitures.
- Analyser avec précision tous les mouvements et manœuvre qui comporte aussi l'exploitation de la gare aux heures de pointe.

X.6 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GARES

X.6.1 Marge de glissement à l'aval des signaux

C'est le tronçon de voie situé au prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge, qui, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation. Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsqu'un train n'a pas pu d'arrêter avant cette marge, faute de freinage ou rails glissants.

Longueurs de la marge de glissement :

- ✓ $50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.
- $LG = 200\text{m}$ pour $V \geq 60 \text{ km/h}$
- $LG = 100\text{m}$ pour $40\text{km/h} \leq V \leq 60 \text{ km/h}$
- $LG = 50 \text{ m}$ pour $V < 40 \text{ km/h}$.
- ✓ $LG = 50\text{m}$: à l'aval des signaux de blocs

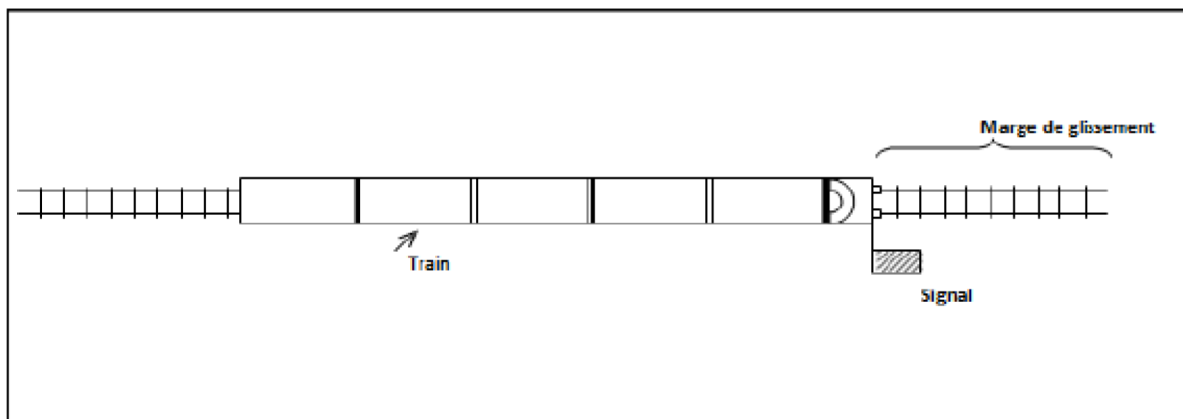


Figure X. 1 Schéma d'une marge de glissement

X.6.2 Garage franc

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Sur la position du garage franc théorique l'entraxe entre les deux voies est de 3,57 m, il assure qu'il y'aura pas de collision entre le train dévié et le train dans la voie principale

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

$$GF : GF = 3.57 \times N + 1$$

N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie. En raison de la sécurité, le garage franc sera installé à 1,0 m de distance du garage franc théorique. Ce dispositif est constitué d'une traverse en bois peinte en blanc.

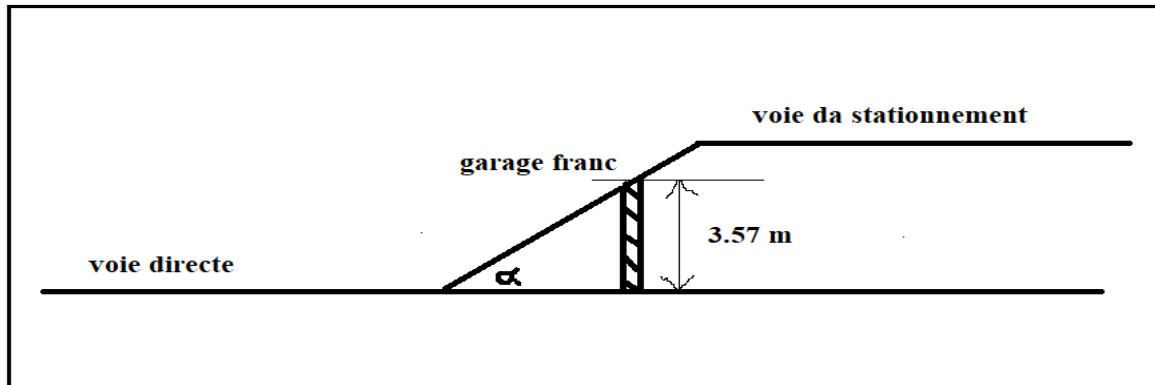


Figure X. 2 schéma d'un garage franc

X.6.3 La longueur utile d'une voie de stationnement

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

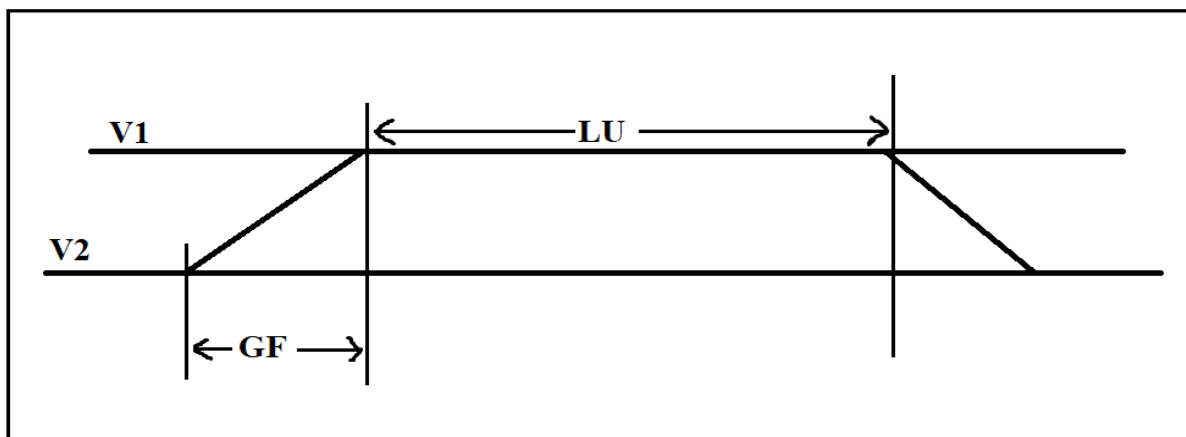


Figure X. 3 longueur utile d'une voie de stationnement

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

LU : Longueur de glissement

LS : Longueur de sécurité

LG : longueur de glissement.

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.

X.6.4 Les évitements

C'est un endroit sur une voie ferrée où cette dernière se divise en deux voies parallèles sur une longueur de quelques dizaines à quelques centaines de mètres pour se rejoindre à nouveau, afin de permettre à deux trains de se croiser ou de se dépasser ou dans le cas d'une voie destinée à l'arrêt prolongé d'un train, on parle de garage ou tiroir.

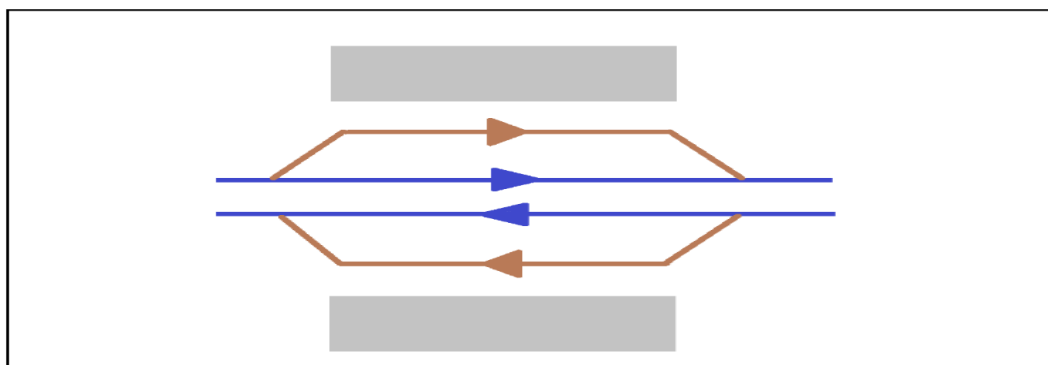


Figure X. 4 Schéma d'un évitement

X.6.5 Les heurtoirs

Ils matérialisent la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Ils sont placés aux extrémités des voies en cul-de-sac pour éviter que les véhicules en mouvement n'en franchissent les extrémités. En règle générale, les heurtoirs doivent être précédés à 10 m de distance, par des patins de freinage, qui après chaque déplacement doivent être remis en place. Il existe deux principaux types de heurtoirs :

- les heurtoirs fixes.
- les heurtoirs patinant, petit et grand modèle.



Figure X. 5 un heurtoir

X.6.6 La longueur de quai (normes SNTF)

- Grande ligne 450 m.
- Service régional 350 m.
- Banlieue 225 m

X.6.7 La largeur des quais

La largeur des quais est donnée par la formule suivante :

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

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.

X.6.8 Hauteur des quais

La hauteur du bord du quai devra être de 350, 550 ou de 760 mm au-dessus de la surface de roulement, et cela selon le type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.

X.6.9 La distance à l'axe de la voie

Pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à : $L \text{ (mm)} = 1650 + S$

La valeur de S est donnée par la formule : $S \text{ (mm)} = (3750/R) + ((I-1435)/2)$

R : le rayon de la voie (m).

I : l'écartement de la voie (mm).

X.6.10 L'entre axe des quais

- $e \text{ normal} > 11.3 \text{ m.}$
- $e \text{ minimal} > 9.3 \text{ m.}$

X.6.11 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.

X.6.12 Implantation des appareils de voie

Cas normal sans contraintes

- Distance entre fin de quai et garage franc $\geq 130 \text{ m}$;

- Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal ;
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h ;

Cas avec contraintes

- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥ 80 m ;
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h ;
- Distance appareil de voie / courbe ≥ 6 m ; il est prévu des rampes de dévers droite sans doucine.

X.7 APPLICATION AU PROJET

X.7.1 Localisation

La nouvelle gare de Frenda située à la fin de notre projet pk48+700, est en effet une gare intermédiaire conçue comme gare voyageurs composée de trois voies de quai. Les voies A (voie principale), B et C sont destinées à recevoir des trains d'une longueur maximale de 750m dont des séparations par des quais intermédiaires de 8m de large et de 300 m de long sont préconisées. Cette gare intermédiaire sera caractérisée par un trafic voyageur moyen.

X.7.2 Marge de glissement à l'aval des signaux

Pour notre projet, LG = 200 m

X.7.3 Les quais

Tableau X. 1 Calcul des quais

Quai	Norme SNTF	Valeurs retenues
Longueur	$L \geq 300$ m	300 m (4wagon de 75m)
Largeur	Quai intermédiaire $B > 6$ m Quai extérieur $B \geq 6$ m	$B = 8$ m
Hauteur	Quai bas $h = 35$ cm Quai mi-haute $h = 55$ cm Quai haute $76 \leq h \leq 100$ cm	On prend $h = 55$ cm
Entraxe des quais	e normal > 11.3 e minimal > 9.3	Pour la gare de Frenda : $e = 11.3$ m
Abris de quai	Norme SNTF	- 2 abris de largeur de 3m (2x 3m) - Longueur de chaque abris est de 12m - Entraxe des abris: 60m - Hauteur libre : 3.10m

X.7.4 Distance minimum entre l'axe de voie et l'obstacle

- Support, mats et piédroits : 3.25 m
- Bords de quai d'une distance de $L = 1650 + S$: $S = 0$ donc $L = 1.65$ m
- Objets fixe sur le quai : 3.30 m
- Escaliers au bout des quais : 2.40 m

X.7.5 Longueur utile de stationnement

Selon l'SNTF les longueurs utiles des voies de la gare sont :

- Voie A est de 1200 m
- Voie B : $L_u = 979$ m
- Voie C : $L_u = 573$ m (voie secondaire)

X.7.6 Longueur de garage de franc

Pour l'appareil de voie type 1/12 : $GF = 44$ m

X.7.7 Passerelle

Elle permet le franchissement sans risques des voies, ils existent :

Passerelle supérieure

Passerelle inférieure

Pour notre gare, un passage souterrain est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et les bâtiments des voyageurs dont les dimensions sont :

La largeur doit être : $B \geq 2.4$ m, donc on prend : $B = 3$ m

La hauteur doit être : $H \geq 2.4$ m, donc on prend : $H = 3$ m

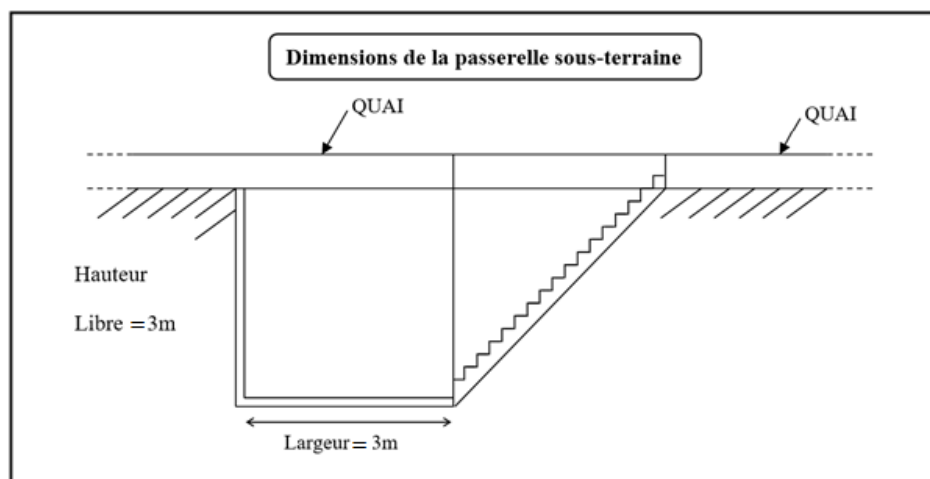


Figure X. 6 schéma d'une passerelle sous-terrainne

X.7.8 Assainissement de la gare

Assainissement longitudinal : Grâce aux drains, de longueur de 50m disposées longitudinalement avec des pentes de 3 ‰, elles permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballaste et la plateforme dans une gare et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

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 dirigées grâce aux pentes transversales des plates formes.

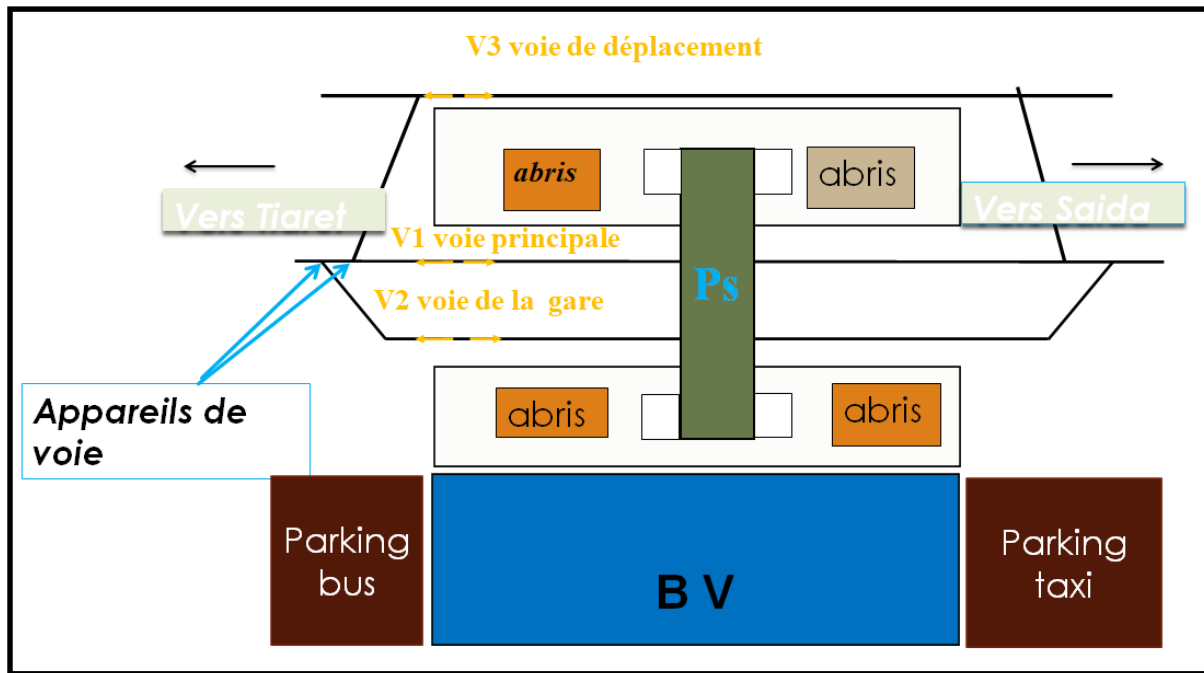


Figure X. 7 schéma représentatif de la gare intermédiaire de Frenda

X.8 CONCLUSION

La conception de la gare de Frenda est conforme aux normes en vigueur pour répondre aux exigences de sécurité et de confort, afin d'absorber la demande sur ce mode de transport qui ne cesse d'augmenter au cours du temps.

A decorative graphic consisting of a large rectangle with a thin green border. Inside this rectangle, on the right side, there are several parallel green lines of varying thicknesses that extend from the top right corner towards the center. At the bottom center of the rectangle, there is a single green line that extends from the bottom edge towards the right.

CHAPITRE XI

LA SIGNALISATION

XI.1 INTRODUCTION

La circulation ferroviaire met en jeu un grand nombre de convois de fort tonnage à vitesse élevée. L'arrêt d'un train exige une distance pour garantir la sécurité, qu'il soit programmé ou nécessité par la présence d'un obstacle.

Donc La SIGNALISATION est l'ensemble des installations permettant le déplacement des trains en toute SECURITE et de manière efficace.

XI.2 PRINCIPES DE SIGNALISATION

Le principe de la signalisation ferroviaire est de palier aux risques suivants :

- Collision nez à nez : il s'agit d'une collision frontale entre deux trains quand ils se retrouvent face à face sur la même voie.



- Collision par rattrapage : c'est le risque de collision par l'arrière lorsqu'un train percute un autre train qui se trouve devant lui.



- le conflit d'itinéraires : Deux trains sur deux itinéraires sécants.



- Le déraillement : incident ou accident dans lequel un véhicule ferroviaire sort des rails, totalement ou partiellement et dont l'origine peut être diverse (l'excès de vitesse, la manœuvre d'un appareil de voie au passage du train) ...
- La collision avec un obstacle : c'est le risque de rencontre avec non ferroviaire (rocher, animal, véhicule...)

XI.3 ROLE DE LA SIGNALISATION

Le rôle de la signalisation ferroviaire est d'assurer, soit :

- La protection des trains, des appareils de voie, des zones de stationnement ou des postes.
- Le cantonnement ou l'espacement des trains.

XI.4 TYPES DE SIGNALISATION

Les lignes ferroviaires sont équipées :

- soit d'une signalisation latérale :
- lignes classiques parcourues à une vitesse inférieure ou égale à 160km/h,

- lignes classiques aménagées spécialement pour être parcourues à une vitesse supérieure à 160km/h sans pour autant dépasser la vitesse de 220km/h,
- soit d'une signalisation de cabine: (lignes à grande vitesse).

XI.5 EVOLUTION DES SYSTEMES DE SIGNALISATION

XI.5.1 Système de signalisation blocks

Les lignes ferroviaires sont divisées en plusieurs sections "cantons". Chaque canton est alors précédé d'un signal indiquant si ce canton est libre ou occupé par un autre train.

Le cantonnement est le moyen généralement employé pour assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie.

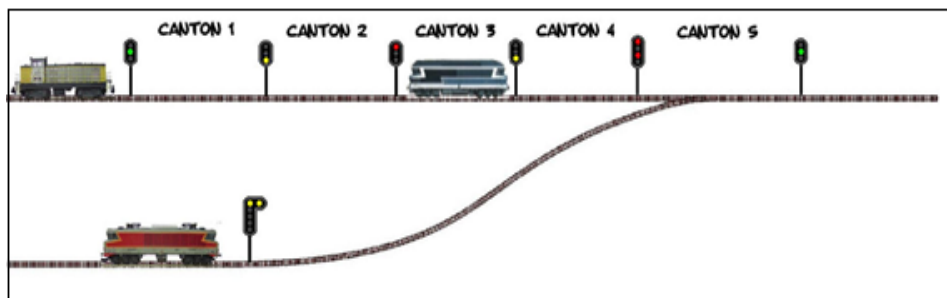


Figure XI. 1 Système de signalisation blocs

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux sont appelés "blocks", et selon la catégorie de ligne on utilisera l'un des trois types de blocks ci-dessous :

- Le block manuel (B.M.).
- Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R.).
- Le block automatique lumineux (B.A.L.).
- **Le block manuel** : 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, L'inconvénient ce type de block est qu'il ne permet pas un gros débit sur les lignes.
- **Le block automatique à permissivité restreinte** : est utilisé sur des lignes à trafic moyen. 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.
- **Le block automatique lumineux** : est utilisé sur les lignes principales. Ce système est automatique et permet un débit maximal sur une ligne, d'autre part il autorise également un espacement réduit des circulations puisque le franchissement des signaux d'espacements fermés en marche à vue est autorisé.

XI.5.2 Système ATP (Automatic Train Protection)

Le Système ATP est un ensemble d'équipements et de fonctionnalités participant à l'exploitation en sécurité d'une ligne ferroviaire en empêchant les collisions et déraillements suite à une erreur du conducteur (non observation d'un signal, non-respect d'une limitation de vitesse, ...). L'un des principes clés d'un système ATP est le concept de modèle de freinage, un modèle mathématique applicable à tout moyen de transport guidé.

L'ATP permet de prédire la vitesse sécuritaire maximale du train, à partir des données suivantes :

- Vitesse actuelle.
- Les caractéristiques physiques du train.
- Distance but.

Les fonctionnalités principales d'un système ATP sont:

- Assurer l'espacement des circulations pour éviter le rattrapage de l'une par rapport l'autre.
- Protéger les circulations.
- Contrôler la vitesse du train.

XI.5.3 Transition des systèmes ATP vers ETRMS

Au fil des années, un grand nombre de système ATP différents ont été développés et exploités, selon des exigences nationales, normes techniques et règles d'exploitation variées. Cela engendre de nombreuses incompatibilités techniques entre différents matériels surtout pour les circulations transnationales.

Suite à décision prise par le ministère **des transports Européens** en décembre 1989, l'union Européen a entrepris un projet pour adresser les problèmes d'interopérabilité liés à la signalisation ferroviaire et au contrôle et commande des trains.

En 1990, l'institut Européen de la Recherche Ferroviaire (**ERRI**) a considéré l'idée de développer un système commun aux pays Européens est appelés **ERTMS** (European Railways Traffic Management System).

XI.5.3.1 ERTMS :

C'est un système de contrôle, commande assurant un trafic ferroviaire standardisé et interopérable.

XI.5.3.2 L'interopérabilité

Capacité de plusieurs systèmes, ou bien organisme, dont les structures, les procédures et les relations respectives autorisent une aide mutuelle qui les rend aptes à opérer de conserve. Elle permet d'augmenter la capacité des lignes assurant une plus grande rentabilité pour les opérateurs Il est constitué deux composantes fondamentales :

- Le système **ETCS** (European Train Control System), qui permet de gérer le trafic ferroviaire;

- Le système **GSM-R** (Global System for Mobiles - Railways), qui permet aux trains de communiquer avec les postes de signalisation.

XI.5.3.3 ETCS (European Train Control System)

Pour rouler en ETCS, un train doit posséder une autorisation de mouvement (Movement Authority), correspondant à une certaine distance sur laquelle la voie est réservée au train. Au fur et à mesure de la progression du train, cette autorisation de mouvement est remise à jour. Sur la base de cette autorisation de mouvement, l'ordinateur embarqué construit une courbe de vitesse maximale autorisée, et supervise la vitesse du train par rapport à cette courbe, en tenant compte de la position du train, de sa vitesse et de sa capacité de freinage. Cette courbe matérialise la vitesse maximale permise à chaque instant de façon à respecter le profil de vitesse imposé : si le conducteur dépasse cette courbe de vitesse maximale, par exemple en ne freinant.

- **ETCS niveau 1** : le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol ; cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons.

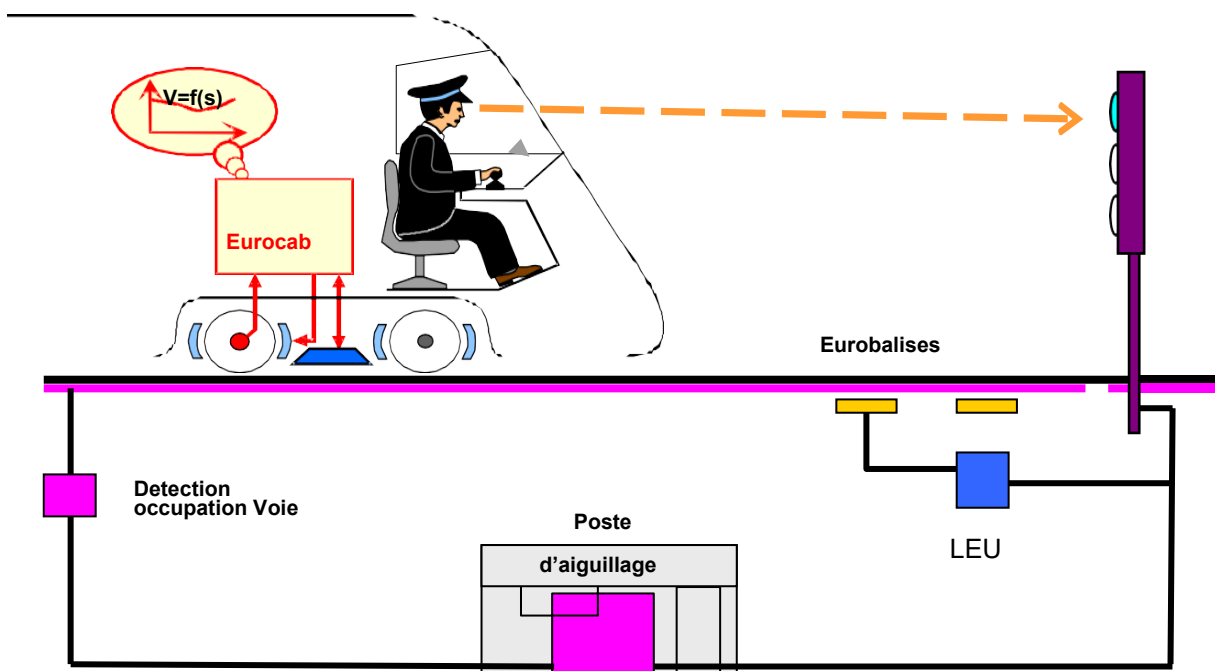


Figure XI. 2 Synoptique de fonctionnement de ce système de signalisation ETCS niveau 1

- **ETCS niveau 2** : le train se repère à l'aide des balises au sol, transmet sa position au centre de contrôle via le GSM-R, qui lui communique son autorisation de mouvement en fonction de l'occupation des autres cantons.
- **ETCS niveau 3** : le train se repère à l'aide des balises au sol, échange ses données avec le centre de contrôle et détermine lui-même son autorisation de mouvement en fonction de la position des autres trains.

XI.5.3.4 GSM-R (Global System for Mobiles – Railways)

Le GSM-R est le système de communication radio utilisé exclusivement dans le secteur ferroviaire. Grâce à celui-ci, l'infrastructure ferroviaire est équipée d'un système radio mobile qui peut répondre à d'une manière efficace et intégrée à tous les besoins de communication liés aux opérations ferroviaire.

Le système GSM-R est utilisé dans le cadre d'ETCS en niveau 2 ou 3, pour permettre l'échange d'information entre le train et le poste de signalisation.

XI.6 CONCLUSION

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

CHAPITRE XII

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.1 INTRODUCTION

Une étude d'impact sur l'environnement (EIE), parfois appelée étude d'incidence sur l'environnement, est à la fois une procédure administrative et une étude technique, préalables à la réalisation d'un projet important. Apparues au XXe siècle, ces études ont pour objectif d'estimer les conséquences de l'action humaine notamment sur l'environnement et la santé humaine et d'essayer d'en limiter les inconvénients.

XII.2 DEFINITION D'UNE ETUDE D'IMPACT

L'étude d'impact permet d'apprécier les effets naturel et humain. Elle s'inscrit dans l'enquête publique du projet. Sa réalisation et son contenu sont imposés par le code de l'environnement.

L'étude d'impact comprend notamment :

- Une analyse de l'état initial du site et de son environnement,
- Une analyse des effets directs et indirects du projet sur l'environnement,
- Les mesures envisagées pour supprimer, réduire, et, si possible, compenser les conséquences dommageables.

XII.3 OBJECTIFS ET UTILITES D'UNE ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

L'objet d'une étude d'impact sur l'environnement est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme d'un projet et de proposer les mesures adéquates pour limiter les effets négatifs du projet.

Elle a pour objectifs :

- Assurer l'intégration des contraintes et des opportunités inhérentes au milieu dans la démarche de conception de la nouvelle infrastructure ;
- Identifier et évaluer l'importance des impacts appréhendés du projet sur le milieu physique, biologique et humain, ainsi que sur le climat sonore et le paysage ;
- Proposer des mesures visant à atténuer les impacts identifiés afin d'optimiser l'intégration du projet dans le milieu récepteur.
- Les mesures envisagées pour réduire, compenser les conséquences dommageables du projet.

XII.4 IMPACT DES VOIES FERREES SUR L'ENVIRONNEMENT

La particularité de la voie ferrée est son caractère linéaire et son impact sur des milieux de natures totalement différentes. On peut les inventorier avec un minimum de bon sens. Le domaine foncier pris au sens large est le premier impacté.

Elle impacte l'environnement, au sens étymologique, donc des écosystèmes définis par leurs composants : eau, air, faune, flore, sol et sous-sol. Les exigences sociales ont peu à peu forgé des outils législatifs et réglementaires qui encadrent ces domaines.

Une nouvelle infrastructure modifiera le développement urbain, mais aussi le développement économique d'un territoire.

XII.4.1 Identification des impacts

L'identification des impacts d'un projet routier est basée sur l'analyse des relations conflictuelles possibles entre le milieu traversé et l'infrastructure à implanter. Cette analyse permet de mettre en relation les sources d'impact associées aux phases de pré- construction, de construction et d'exploitation de la nouvelle infrastructure et les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées. Pour la réalisation de cette tâche, on distingue deux niveaux de conséquences environnementales :

- Les impacts primaires résultant directement de la réalisation et du fonctionnement des ouvrages et affectant physiquement le patrimoine naturel et humain formant l'environnement des zones concernées ;
- Les impacts secondaires résultant des impacts primaires. Ils se manifestent sur le milieu naturel par la réduction du capital environnemental par destruction, prélèvement ou dégradation des 5 ressources principales : sol, eau, air, flore, faune.

Sur le plan humain, ces impacts sont ceux qui affecteront les conditions d'existence des populations sur 3 niveaux : activité économiques, activités socio- culturelles et qualité de vie.

XII.4.2 Évaluation des impacts

Les principales étapes menant à l'appréciation de l'importance des impacts sont l'évaluation de l'importance des impacts environnementaux fait appel à plusieurs paramètres, soit;

- la valeur environnementale du milieu affecté;
- le degré de perturbation ou de bonification (fort, moyen, faible);
- l'intensité de l'impact
- l'étendue (ponctuelle, locale, régional) ;
- la durée (momentané, temporaire, permanent) ;
- la mise en œuvre éventuelle de mesures d'atténuation.

XII.4.3 Les impacts que peut provoquer un projet ferroviaire sur le milieu naturel

Selon le milieu touché l'impact sera soit :

XII.4.3.1 Impact sur l'eau

la réalisation d'un tronçon ferroviaire peut provoquer la pollution et la perturbation des eaux souterraines et de surfaces pendant la phase de réalisation du projet, ainsi que pendant la phase d'exploitation

➤ **Phase de chantier :**

- Intervention d'engins de chantier provoque la pollution des eaux par les hydrocarbures (fuel, huiles) ;
- La pollution des eaux de surface et souterraine par le rejet des eaux de chantiers ;
- La modification du régime d'écoulement des eaux de surfaces et souterraine à cause des travaux de terrassement, et de remblaiement ;
- Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines.

➤ **Phase d'exploitation :**

Les eaux de ruissellement se chargent d'apports provenant des gaz d'échappement des anciens matériels roulant, pour les nouvelles lignes électrifiées, l'impact sur les eaux est négligeable.

XII.4.3.2 Pollution atmosphérique :

➤ **Pollution en phase de chantier**

à ce stade la pollution de l'aire est temporaire due essentiellement aux différents polluants des engins de chantier et des émissions de poussière.

➤ **Pollution en phase d'exploitation**

une partie de la pollution de l'aire est due à cause des gaz d'échappement des anciens matériels roulant, pour les nouvelles lignes électrifiées, l'impact sur les eaux est négligeable.

XII.4.3.3 Impact sur le bruit et les vibrations :

➤ **Phase de chantier**

- Nuisance sonore due aux émissions lors du fonctionnement d'engins de chantier (engins de terrassement, palplanche, engin de forage...) ;
- Emission de vibration à cause de l'intervention d'engins de chantier (engins de terrassement, marteaux piqueurs, palplanche, engin de fonçage...).

➤ **Phase d'exploitation**

il est lié exclusivement au Passage des trains qui sont l'origine du bruit émis par ses moteurs, ainsi que le bruit due au contact roue-rail.

XII.4.3.4 Impacts sur le milieu physique

Il est lié essentiellement à :

- Déracinement des arbres constitue de dangereuses ouvertures pour des parasites divers dans le sol ;
- Les terrassements du sol conduit à un déséquilibre dans l'aération des racines et empêche ainsi leur développement ;
- Désorganisation du territoire agricole ;
- Diminution du couvert végétal.

XII.4.3.5 Impacts sur le milieu urbain :

L'implantation d'un projet ferroviaire entraîne des perturbations au niveau de la zone traversée, ces perturbations qui sont essentiellement dus aux travaux de chantier (bruit, vibration, poussière, insécurité des personnels, boue...), ainsi que pendant la phase d'exploitation (augmentation de risque d'accidents) peuvent provoquer une modification des habitudes.

XII.5 IMPACT DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE SAIDA - TIARET SUR L'ENVIRONNEMENT

XII.5.1 Description du projet

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire Saida - Tiaret fait partie intégrante du programme de développement du réseau ferroviaire des hauts plateaux.

La ligne Tiaret-Saida est d'un linéaire de 153 kilomètres de voie unique pour un trafic mixte, le projet comporte quatre gares, dont deux de marchandise/voyageur à Tiaret et Saida et deux autres pour voyageur à Frenda et Ain Kermès, ainsi que neuf gares de croisement sur la ligne.

XII.5.2 Analyse de l'état initial

L'analyse de l'état initial est une phase indispensable et déterminante pour la qualité et l'utilité de l'étude d'impact. En effet, avant la mise en place du projet, il est nécessaire d'étudier les différentes composantes du milieu pouvant être affectées par le projet. Cette phase est la base des prévisions des impacts mais n'est jamais une fin en soi. Elle doit répondre à des critères de pertinence vis à vis du problème posé et non d'exhaustivité.

L'étude d'impact d'un projet ferroviaire nécessite une bonne analyse de l'état initial, du site et de son environnement.

XII.5.3 Description du milieu biologique :

- **Végétation**

La végétation caractérise la région des hauts plateaux. Se sont des forêts de chêne pins d'Alep et d'Alfa. Dans certains coins de la région on constate une désertification de la nature et la végétation n'est représentée que par des restes de plantes d'Alpha

➤ Faune

La Faune est variée. Elle est typique des zones sahariennes et des hauts plateaux : oiseaux, lézard, vipères, renards, fennecs, gazelles...

XII.5.4 Description du milieu humain

➤ Population

La Wilaya de Tiaret est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 851 426 habitants sur une superficie de 13 480 km². La densité de population de la Wilaya de Tiaret est donc de 63,2 habitants par km². (données de l'année 2008)

Tiaret, Sougueur et Frenda sont les plus grandes villes de la Wilaya de Tiaret parmi les 42 villes qui la compose.

➤ Agriculture

L'agriculture dans la wilaya de Tiaret contribue à hauteur de 3% à l'économie nationale, et de 24% à l'économie locale, elle occupe la 1ère place au niveau national dans la production céréalière, elle est connue aussi comme toutes les régions des hauts plateaux par le pastoralisme.

➤ Patrimoine archéologique et bâti

La wilaya de Tiaret compte plus de 422 sites archéologiques, dont 05 sites archéologiques sont classés au patrimoine national. Ces sites archéologiques sont sous la tutelle de la direction de la culture et sont utilisés comme destination touristique.

XII.5.5 Identification et description des impacts :

L'analyse des effets du projet sur l'environnement est la phase centrale de toute étude d'impact. Cette analyse est faite par superposition des actions du projet sur les milieux affectés et projection des effets possibles sur les caractéristiques de ces milieux. Cette tâche comprendra :

- L'identification des impacts directs et indirects sur le milieu naturel et le milieu créé afin de définir les mesures de limitation nécessaires;
- L'évaluation quantitative et/ou qualitative de ces effets afin de définir la gravité des impacts et le niveau de priorité à donner aux mesures correspondantes.

La réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Saida - Tiaret, engendrera des effets sur l'environnement aussi bien positifs que négatifs.

XII.5.6 Les impacts positifs du projet

La réalisation de cette nouvelle ligne, emmènera à la wilaya de Tiaret un développement sur le plan sécuritaire, économique, et touristique. Les retombées de cette voie :

- Le développement du réseau ferroviaire de la wilaya;
- Une réponse aux besoins de confort, et de la sécurité dans le déplacement ;
- Une contribution au développement touristique de la wilaya,
- Le développement et la croissance économiques des régions traversées par le projet.

XII.5.7 Les impacts négatifs du tronçon étudié:

➤ Impacts sur le milieu physique

- La pollution atmosphérique ;
- Le déboisement qui peut déclencher des glissements de terrain ;
- Diminution de la surface agricole ;

➤ Impacts sur l'hydrologie et l'hydrogéologie

La qualité de l'eau de surface et souterraine sera touchée pendant la phase de réalisation et d'exploitation de la voie, puisque l'érosion génère des matières en suspension dans l'eau de surface, et le déversement accidentel d'hydrocarbures ou des matières dangereuses contamine l'eau souterraine. Les principaux impacts sont :

- La construction des ponts et viaducs au niveau des oueds nécessite la construction des batardeaux qui modifiera le profil hydraulique des lits d'oueds ;
- Les travaux de terrassements nécessitent le rabattement du niveau de la nappe ;
- Diminution du coefficient d'infiltration dû au passage de la machinerie et les véhicules lourds pendant la phase de chantier.

➤ Impacts sur le cadre humain

- Pour la santé publique et la sécurité, on a un risque d'accidents routiers engendrés par la circulation de la machinerie pendant la phase de construction, et par les trains pendant la phase d'exploitation ;

XII.5.8 Les mesures prises pour minimiser les impacts :

Il est important de définir de manière détaillée et opérationnelle les mesures qui seront prises pour prévenir, atténuer ou réparer les conséquences dommageables du projet sur l'environnement. Les mesures que ces impacts sont susceptibles d'entraîner sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau XII. 1 les mesures prises pour minimiser les impacts

Impacts	Mesures
Eaux	Éviter le nettoyage des engins de chantier aux bords d'Oued et rejet des déchets
Sécurité	Rétablissement des cheminements Installation des clôtures
Bruit	Les zones d'habitation sont loins, pas de mesures à prendre
Patrimoine naturel	Installation de clôture de limitation de chantier Rétablissement des cheminements de la faune, à côtés des forêts et des zones d'habitation des animaux
Patrimoine archéologique	Périmètre de protection
Forêt	Reboisements

XII.6 CONCLUSION

Le réseau routier connaît et connaîtra un développement dont l'impact sur le paysage et l'environnement s'accroîtra sans cesse. La prise en charge de cette préoccupation passe obligatoirement par la maîtrise des nuisances et des impacts de cette infrastructure, il faut donc étudier les impacts que peut provoquer le projet sur le milieu naturel avant de passer à l'étape de réalisation.

CHAPITRE XIII

DEVIS ESTIMATIF ET

QUANTITATIF

Tableau XIII. 1 Devis estimatif et quantitatif

N°	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT (DA)	Montant HT (DA)
1-INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	100,000,000.00	100,000,000.00
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	30,000,000.00	30,000,000.00
1.3	Étude d'exécution	F	1.00	150,000,000.00	150,000,000.00
TOTAL 1					280,000,000.00
2-TERRASSEMENTS GENERAUX					
2.1	Décapage de terre végétale	M3	151,256.80	250.00	37,814,200.00
2.2	Déblai mis en remblai	M3	257,763.00	350.00	90,217,050.00
2.3	Déblai mis en dépôt	M3	171,842.00	200.00	34,368,400.00
2.4	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	M3	454,984.00	500.00	227,492,000.00
2.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	24,732.00	1,950	48,227,400.00
2.6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	M3	23,370.00	1,950	45,571,500.00
2.7	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	38,828.17	1,200.00	46,593,799.20
TOTAL 2					530,282,349.2
3-OUVRAGE D'ART					
3.1	PONT ROUTE PK 31+660	U	1.00	65,000,000.00	65,000,000.00
3.2	PONT ROUTE PK 31+083	U	1.00	65,000,000.00	65,000,000.00
3.3	PONT ROUTE PK 35+305	U	1.00	65,000,000.00	65,000,000.00
3.4	VIADUC	M²	14,796.00	20,000.00	2,959,20,000.00
3.5	PONT ROUTE PK 39+037	U	1.00	65,000,000.00	65,000,000.00
3.6	PONT RAIL PK 41+512	U	1.00	35,000,000.00	35,000,000.00
3.7	PONT RAIL PK 43+975	U	1.00	35,000,000.00	35,000,000.00
3.8	PONT RAIL PK 45+183	U	1.00	35,000,000.00	35,000,000.00
3.9	PONT ROUTE PK 47+385	U	1.00	65,000,000.00	65,000,000.00
TOTAL 3					725920,000.00

4-OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	18,909.00	6,500.00	122,908,500.00
4.2	Buses en Béton Armé Ø 500	ML	80.00	35,000.00	2,800,000.00
4.3	Buses en Béton Armé Ø 600	ML	20.00	35,000.00	700,000.00
4.4	Buses en Béton Armé Ø 800	ML	100.00	35,000.00	3,500,000.00
4.5	Buses en Béton Armé Ø 1000	ML	200.00	35,000.00	7,000,000.00
4.6	Buses en Béton Armé Ø 1200	ML	240.00	35,000.00	8,400,000.00
4.7	Buses en Béton Armé Ø 1500	ML	200.00	50,000.00	10,000,000.00
4.8	DALOT 2,5*2	M3	105.00	35,000.00	3,675,000.00
TOTAL 4					158,983,500.00
5-TRAVAUX DE VOIE					
N°	Désignations des travaux	U	Quantités	Prix unitaire DA	Montant Total DA
5.1	Fourniture et pose ballast sur épaisseur de 0,30 m	M3	44,793.05	7,000.00	313,551,364.00
5.2	Pose de voie UIC 60	ML	18,908.00	6,500.00	122,902,000.00
5.3	Soudage Aluminothermique	U	1,060.00	9,500.00	10,070,000.00
5.4	Soudage électrique	U	1,306.00	9,500.00	12,407,000.00
TOTAL 5					458,930,364.00
6-FOURNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE					
6.1	Fourniture des rails Neufs UIC 60 (60,34 kg/m)	T	2,281.82	125,000.00	285,227,500.00
6.2	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	31,501.00	5,700.00	179,555,700.00
6.3	Attache Nabla	U	126,003.00	850.00	107,102,550.00
6.4	Pose d'un appareil de voie simple type				
	a) UIC 60-300-1/9 DD	U	4.00	620,000.00	2,480,000.00
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	4.00	620,000.00	2,480,000.00
6.5	Fourniture d'un branchement simple type				
	a) UIC 60-300-1/9 DD	U	4.00	14,200,000.00	56,800,000.00
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	4.00	14,200,000.00	56,800,000.00
TOTAL 6					690,445,750.00
7-BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING					

7.1	Voiries + parking	m ²	9,645.00	5,000.00	48,225,000.00
7.2	Bâtiments de Voyageurs	m ²	30,000.00	30,000.00	900,000,000.00
7.3	Quais y compris aménagement annexe	m ²	12,841.00	5,000.00	64,205,000.00
TOTAL 7					1,012,430,000.00
8-SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION					
SIGNALISATION FERROVIAIRE				TOTAL 8	4,454,620.00

Tableau XIII. 2 Récapitulation des prix sur les lots

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot N°01	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION	280,000,000.00
Lot N°02	TERRASSEMENTS GENERAUX	530,282,349.2
Lot N°03	OUVRAGE D'ART	725920,000.00
Lot N°04	OUVRAGES HYDRAULIQUE	158,983,500.00
Lot N°05	TRAVAUX DE VOIE	458,930,364.00
Lot N°06	FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE	690,445,750.00
Lot N°07	BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING	1,012,430,000.00
Lot N°08	SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION	4,454,620.00

Tableau XIII. 3 Prix total en TTC

TOTAL	
MONTANT DU PROJET H T	3,861,446,583
MONTANT DU PROJET EN T T C	4 595 121 434
MONTANT TTC ARRONDI A	4 600 000 000

Montant total en TTC :

Quatre milliards cinq cent quatre-vingt-quinze millions cent vingt et un mille quatre cent trente-quatre Dinars Algériens

CONCLUSION GENERALE

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

En Algérie, au lancement de grands projets d'infrastructures de transport, entrant dans le cadre de la relance économique et du développement des différents réseaux. L'autoroute EstOuest, les voies ferrées, le tramway d'Alger, d'Oran et de Constantine, le métro d'Alger...etc. Des grands projets qui auront, sans doute, des répercussions positives sur le développement régional des différentes wilayas concernées.

Notre étude de ce tracé ferroviaire et la conception de la nouvelle gare de FRENDA sont bien spécifiques, du fait de son positionnement stratégique. En effet, la gare de FRENDA se trouve sur la grande ligne ferroviaire SAIDA-TIARET, et située à proximité de la ville cela permet le développement de région.

Dans notre démarche d'étude nous avons essayé de respecter tout les normes existantes qu'on ne peut pas les négliger et on prend en considération le confort, la sécurité des usagers ainsi bien que l'économie et l'environnement afin de faire un bon travail.

Ce projet de fin d'étude nous a permis d'enrichir nos connaissances, et de cerner tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter dans un projet de chemin fer.

Une telle étude a été une occasion pour nous de profiter de l'expérience pratique des personnes du domaine d'une part et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle, et le plus occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels : Civil3D, Global mapper, Géostudio, et AUTOCAD...

LA BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALIAS. J, *La voie ferrée, Techniques de construction et d'entretien*, 1984 2ème édition.
- [2] CHAPAS .P, *Cours de traction ferroviaire*, 2001 1ème édition.
- [3] Ecole de Hassania de travaux publique, *Cours de chemin de fer L'infrastructure ferroviaire*, Novembre 2006.
- [4] GOUMETTRE, KALLI, *Manuel de projet routier* ,2012.
- [5] M. MORSLI, *Cours de voie ferrée*.2019.
- [6] Y. Noblet, *Tracé de la voie – notions fondamentales*.
- [7] M. RAHMANI, *cour hydraulique appliquée*, 2014.
- [8] SNTF, *Référentiel technique, chapitre 06 géométrie de la voie*, version 2005.
- [9] SNTF, *Référentiel technique, ouvrage en terre pour plateforme ferroviaire* ,2005 version 2.
- [10] SNTF, *chapitre 7.2.3-hydraulique drainage*, 2005 versions 2.
- [11] Code UIC 703R, *caractéristiques des voies parcourues par des trains*, 1989 2ème édition.
- [12] Code UIC 719R, *ouvrage en terre et couches d'assise ferroviaires*, 1994 2ème édition.
- [13] Sétra, *Guide technique assainissement routiers*, octobre 2006.
- [14] GTR, *Guide technique, conception et réalisation des terrassements*, 2007.
- [15] ASTALDI, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [16] ASTALDI, « Rapport géologique et géotechnique entre le pk.29+275.000 et le pk 49+418.000 ».
- [17] WIKIPEDIA , www.wikipedia.com, visité plusieurs fois.

ANNEXE 1 Listing axe en plan

LISTING DE LA GEOMETRIE DE L'AXE EN PLAN			
Axe en plan : APD Saida- Tiaret PK 30+550 – PK 49+458			
<u>Tangent Data</u>			
Length:	461.916	Course:	S 06° 59' 17.8657" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 06° 40' 11.9528" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	07° 42' 03.1371"	Type:	LEFT
Radius:	3000		
Length:	403.217	Tangent:	201.912
Mid-Ord:	6.772	External:	6.787
Chord:	402.913	Course:	S 02° 10' 58.5504" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 02° 18' 14.8521" E
<u>Tangent Data</u>			
Length:	325.637	Course:	S 02° 37' 20.7650" E
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	130	L Tan:	86.671
Radius:	2000	S Tan:	43.338
Theta:	01° 51' 43.6062"	P:	0.352
X:	129.986	K:	64.998
Y:	1.408	A:	509.902
Chord:	129.994	Course:	S 02° 00' 06.2495" E

<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	17° 01' 39.9568"	Type:	RIGHT
Radius:	2000		
Length:	594.381	Tangent:	299.397
Mid-Ord:	22.04	External:	22.286
Chord:	592.196	Course:	S 07° 45' 12.8196" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	130	L Tan:	86.671
Radius:	2000	S Tan:	43.338
Theta:	01° 51' 43.6062"	P:	0.352
X:	129.986	K:	64.998
Y:	1.408	A:	509.902
Chord:	129.994	Course:	S 17° 30' 31.8888" W
<u>Tangent Data</u>			
Length:	336.45	Course:	S 18° 07' 46.4042" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 18° 26' 52.3171" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	30° 19' 14.5974"	Type:	RIGHT
Radius:	3000		
Length:	1587.589	Tangent:	812.854
Mid-Ord:	104.407	External:	108.172
Chord:	1569.129	Course:	S 34° 14' 41.4497" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 50° 02' 30.5823" W
<u>Tangent Data</u>			
Length:	687.876	Course:	S 50° 21' 36.4952" W

<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 50° 02' 30.5823" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	55° 01' 28.4000"	Type:	LEFT
Radius:	3000		
Length:	2881.079	Tangent:	1562.518
Mid-Ord:	339.264	External:	382.523
Chord:	2771.632	Course:	S 21° 53' 34.5484" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 06° 15' 21.4854" E
<u>Tangent Data</u>			
Length:	1668.335	Course:	S 06° 34' 27.3983" E
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 06° 15' 21.4854" E
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	33° 11' 51.3792"	Type:	RIGHT
Radius:	3000		
Length:	1738.223	Tangent:	894.271
Mid-Ord:	125.014	External:	130.45
Chord:	1714.01	Course:	S 10° 58' 46.0380" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			

Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 28° 12' 53.5615" W
<u>Tangent Data</u>			
Length:	556.3	Course:	S 28° 31' 59.4744" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 28° 51' 05.3873" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	01° 46' 14.9881"	Type:	RIGHT
Radius:	3000		
Length:	92.72	Tangent:	46.364
Mid-Ord:	0.358	External:	0.358
Chord:	92.717	Course:	S 30° 22' 24.7152" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	100	L Tan:	66.668
Radius:	3000	S Tan:	33.334
Theta:	00° 57' 17.7468"	P:	0.139
X:	99.997	K:	50
Y:	0.556	A:	547.723
Chord:	99.999	Course:	S 31° 53' 44.0432" W
<u>Tangent Data</u>			
Length:	3013.163	Course:	S 32° 12' 49.9561" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	80	L Tan:	53.334
Radius:	3500	S Tan:	26.667
Theta:	00° 39' 17.3121"	P:	0.076
X:	79.999	K:	40
Y:	0.305	A:	529.15
Chord:	80	Course:	S 31° 59' 44.1863" W

<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	20° 22' 21.9743"	Type:	LEFT
Radius:	3500		
Length:	1244.502	Tangent:	628.891
Mid-Ord:	55.168	External:	56.052
Chord:	1237.956	Course:	S 21° 22' 21.6568" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Length:	80	L Tan:	53.334
Radius:	3500	S Tan:	26.667
Theta:	00° 39' 17.3121"	P:	0.076
X:	79.999	K:	40
Y:	0.305	A:	529.15
Chord:	80	Course:	S 10° 44' 59.1274" W
<u>Tangent Data</u>			
Length:	1896.69	Course:	S 10° 31' 53.3576" W

ANNEXE 2 Listing profil en long

LISTING PROFIL EN LONG				
Début : PK 30+550 , Fin : PK 49+458.				
Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			30550,00	1100,19
Droite 1	Pente = -2.7 ‰	122,28		
			30672,28	1099,86
Parabole 1	S=30699,15 Z=1099,82			
	R=10000	181,57		
			30853,85	1101,02
Droite 2	Pente = 15.5 ‰	4163,87		
			35017,72	1165,44
Parabole 2	S=35143,56 Z=1167,11			
	R=20000	253,05		
			35270,77	1167,75
Droite 3	Pente = 2.8 ‰	899,35		
			36170,12	1170,28
Parabole 3	S=36215,20 Z=1170,35			
	R=16000	89,19		
			36259,31	1170,29
Droite 4	Pente = -2.8 ‰	350,08		
			36609,39	1169,32
Parabole 4	S=36653,50 Z=1169,26			
	R=16000	284,27		

			36893,66	1171,07
Droite 5	Pente = 15.0 ‰	3171,15		
			40064,81	1218,67
Parabole 5	S=40160,73 Z=1219,91			
	R=18000	190,74		
			40255,56	1220,52
Droite 6	Pente = 4.4 ‰	1472,37		
			41727,93	1227,02
Parabole 6	S=41780,88 Z=1227,137			
	R=12000	80,84		
			41808,76	1227,1
Droite 7	Pente = -2.3 ‰	439,39		
			42248,15	1226,08
Parabole 7	S=42285,33 Z=1226,04			
	R=16000	239,86		
			42488	1227,32
Droite 8	Pente = 12.7 ‰	595,05		
			43083,05	1234,86
Parabole 8	S=43178,33 Z=1235,78			
	R=16000	190,20		
			43273,25	1236,14
Droite 9	Pente = 0.8 ‰	523,00		
			43796,25	1236,55
Parabole 9	S=43808,73 Z=1236,55			
	R=16000	191,28		
			43987,53	1235,55
Droite 10	Pente = -11.2 ‰	322,11		
			44309,64	1231,95
Parabole 10	S=44466,09 Z=1231,081			
	R=14000	260,27		
			44569,92	1231,47
Droite 11	Pente = -11.2 ‰	753,35		
			45323,27	1237,05
Parabole 11	S=45441,93 Z=1237,493			
	R=16000	313,45		
			45636,72	1236,31
Droite 12	Pente = -12.2 ‰	1865,89		
			47502,61	1213,59
Parabole 12	S=47600,01 Z=1212,701			
	R=16000	194,79		
			47697,4	1212,4
Droite 13	Pente = 0.00 ‰	1760,68		
			49458,08	1212,4

ANNEXE 3 Cubatures

Abscisse curviligne de départ: 30+550,00

Abscisse curviligne de fin: 49+458,08

Abscisse curviligne	Surface de déblai (m²)	Volume de déblai (m³)	Surface de remblai (m²)	Volume de remblai (m³)	Vol, déblai cum, (m³)	Vol, remblai cum, (m³)
30+550,00	0	0	0	0	0	0
31+050,00	43,74	18789,15	0	5,32	18789,15	5,32
31+550,00	0	13101,63	64,22	1868,28	31890,78	1873,6
32+050,00	0	13313,2	26,46	3175,12	45203,98	5048,72
32+550,00	0	0	24,09	8614,82	45203,98	13663,54
33+050,00	0	0	38,04	20150,53	45203,98	33814,07
33+550,00	58,68	14223,24	0	4216,64	59427,22	38030,71
34+050,00	49,18	19134,28	0	618,66	78561,5	38649,37
34+550,00	0	26600,26	17,26	864,42	105161,76	39513,79
35+050,00	0	1438,31	20,84	408672,53	106600,07	448186,32
35+550,00	0	0	102,75	370899,97	106600,07	77286,35
36+050,00	0	259,4	109,07	23338,12	106859,47	100624,47
36+550,00	0	0	49,54	51763,84	106859,47	152388,31
37+050,00	0	19,04	0	42598,27	106878,51	194986,58
38+050,00	44,76	1795,89	0	59295,54	108674,4	254282,12
38+550,00	0	15538,49	41,17	682,16	124212,89	254964,28
39+050,00	151,58	52780,22	0	1783,3	176993,11	256747,58
39+550,00	84,49	64307,49	0	2765,51	241300,6	259513,09
40+050,00	30,57	32983,4	0	0	274284	259513,09
40+550,00	0	1718,38	43,39	0	276002,38	259513,09
41+050,00	0	0	44,3	5127,23	276002,38	264640,32
41+550,00	0	0	44,17	46829,03	276002,38	311469,35
42+050,00	0	343,68	150,21	13703,2	276346,06	325172,55
42+550,00	0	73,59	1,88	27519,25	276419,65	352691,8
43+050,00	21,55	6236,55	0	221,27	282656,2	352913,07
43+550,00	0	6432,16	9,25	524,79	289088,36	353437,86
44+050,00	0	0	154,79	21667,87	289088,36	375105,73
44+550,00	0	0	74,07	32924,99	289088,36	408030,72
45+050,00	0	352,9	10,45	13857,85	289441,26	421888,57
45+550,00	34,44	3973,4	0	8306,95	293414,66	430195,52
46+050,00	5,38	8198,87	0	1761,32	301613,53	431956,84
46+550,00	12,05	4786,99	0	1145,79	306400,52	433102,63
47+050,00	42,15	11956,5	0	0	318357,02	433102,63
47+550,00	51,65	20404,66	0	0	338761,68	433102,63
48+050,00	0	10051,67	1,15	14710,52	348813,35	447813,15
48+550,00	163,67	31568,75	0	14,38	380382,1	447827,53

49+050,00	55,34	41502,28	0	0	421884,38	447827,53
49+458,08	0	7720,26	0	7156,73	429604,64	454984,26

ANNEXE 4 Calcul des débits d'apport

Pj(%) (mm)			Pt(%) (mm)		
10 ans	50 ans	100 ans	10 ans	50 ans	100 ans
63.22	70.32	85.91	17.29	19.24	23.50

PK	Cr	Aire A(km²)	Tc heures	Intensité horaire (mm/h)			Qmax (%) rationnelle (m³/s)		
				10 ans	50 ans	100 ans	10 ans	50 ans	100 ans
30+740	0.7	0.2315	0.37	47.17	52.48	64.11	2.13	2.36	2.89
31+543	0.7	1.12	1.16	21.28	23.67	28.92	4.64	5.16	6.30
31+980	0.75	0.1587	-	21.28	23.67	28.92	0.70	0.78	0.96
32+569	0.7	0.3402	0.58	34.56	38.45	46.97	2.29	2.55	3.11
33+026	0.6	0.1316	-	34.56	38.45	46.97	0.76	0.84	1.03
33+144	0.6	0.1578	0.31	52.63	58.55	71.53	1.39	1.54	1.88
33+264	0.55	0.00401	-	52.63	58.55	71.53	0.03	0.04	0.04
33+644	0.6	0.1116	-	52.63	58.55	71.53	0.98	1.09	1.33
33+850	0.7	0.3071	0.51	37.70	41.94	51.24	2.25	2.51	3.06
34+043	0.7	0.01733	-	37.70	41.94	51.24	0.13	0.14	0.17
34+520	0.6	0.4409	0.46	40.60	45.16	55.17	2.99	3.32	4.06
34+830	0.6	0.1004	-	40.60	45.16	55.17	0.68	0.76	0.92
35+111	0.6	0.1515	0.28	57.22	63.66	77.77	1.45	1.61	1.97
35+506	0.65	0.3836	0.48	39.39	43.82	53.53	2.73	3.04	3.71
35+660	0.7	0.3903	0.49	38.65	43.00	52.53	2.94	3.27	3.99
36+067	0.6	0.542	0.66	31.29	34.80	42.52	2.83	3.15	3.84
36+378	0.7	0.2574	0.67	31.18	34.69	42.38	1.56	1.74	2.12
36+521	0.7	0.00556	-	31.18	34.69	42.38	0.03	0.04	0.05
36+831	0.75	0.3361	0.52	37.16	41.34	50.50	2.60	2.90	3.54
37+268	0.7	3.362	1.39	18.80	20.92	25.55	12.30	13.6 8	16.72
38+558	0.7	0.1077	-	18.80	20.92	25.55	0.39	0.44	0.54
39+043	0.8	0.0612	-	18.80	20.92	25.55	0.26	0.28	0.35
39+468	0.8	0.2356	0.44	41.79	46.49	56.79	2.19	2.44	2.98
39+663	0.7	0.0885	-	41.79	46.49	56.79	0.72	0.80	0.98
40+017	0.7	0.3866	0.47	39.60	44.05	53.81	2.98	3.31	4.05
40+667	0.75	0.677	0.76	28.41	31.61	38.62	4.01	4.46	5.45
40+882	0.7	0.2433	0.75	28.75	31.98	39.07	1.36	1.51	1.85
41+210	0.65	0.2517	0.95	24.43	27.18	33.21	1.11	1.24	1.51
42+097	0.7	0.651	0.99	23.75	26.42	32.27	3.01	3.35	4.09
42+130	0.65	0.629	0.97	24.12	26.83	32.78	2.74	3.05	3.73

43+222	0.8	0.04362	-	24.12	26.83	32.78	0.23	0.26	0.32
44+042	0.8	0.3601	0.68	30.87	34.34	41.95	2.47	2.75	3.36
44+518	0.7	0.4667	1.16	21.34	23.74	29.00	1.94	2.16	2.63
44+850	0.7	0.082	-	21.34	23.74	29.00	0.34	0.38	0.46
45+135	0.65	0.2047	0.44	41.84	46.54	56.86	1.55	1.72	2.10
45+801	0.65	0.197	0.35	48.68	54.16	66.16	1.73	1.93	2.36
46+242	0.6	0.2801	0.45	41.24	45.88	56.05	1.93	2.14	2.62
46+473	0.7	0.2766	0.43	42.44	47.21	57.68	2.28	2.54	3.10
47+388	0.6	0.4135	0.59	34.10	37.93	46.34	2.35	2.62	3.20
47+599	0.6	0.03708	-	34.10	37.93	46.34	0.21	0.23	0.29
47+920	0.7	2.779	2.15	13.92	15.49	18.92	7.53	8.38	10.23
48+207	0.7	0.1327	0.29	55.37	61.60	75.25	1.43	1.59	1.94
48+863	0.8	0.2833	0.56	35.24	39.20	47.89	2.22	2.47	3.02
49+423	0.8	0.907	1.01	23.52	26.16	31.96	4.74	5.28	6.45

ANNEXE 5 Dimensions des ouvrages hydrauliques

PK	ouvrage	Φ (mm)	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Q (m ³ /s)	Qps (m ³ /s)
30+740	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	2.89	4.05
31+543	buse	1500	1.77	4.71	0.38	80	0.008	6.30	6.58
31+980	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	0.96	2.49
32+569	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.11	4.05
33+026	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.03	2.49
33+144	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.88	2.49
33+264	buse	500	0.20	1.57	0.13	80	0.030	0.04	0.68
33+644	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.33	2.49
33+850	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.06	4.05
34+043	buse	500	0.20	1.57	0.13	80	0.030	0.17	0.68
34+520	buse	1500	1.77	4.71	0.38	80	0.008	4.06	6.58
34+830	buse	800	0.50	2.51	0.20	80	0.015	0.92	1.68
35+111	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.97	2.49
35+506	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.71	4.05
35+660	buse	1500	1.77	4.71	0.38	80	0.008	3.99	6.58
36+067	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.84	4.05
36+378	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	2.12	2.49
36+521	buse	500	0.20	1.57	0.13	80	0.030	0.05	0.68
36+831	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.54	4.05
37+268	Viaduc								
38+558	buse	800	0.50	2.51	0.20	80	0.015	0.54	1.68
39+043	buse	500	0.20	1.57	0.13	80	0.030	0.35	0.68
39+468	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	2.98	4.05
39+663	buse	800	0.50	2.51	0.20	80	0.015	0.98	1.68
40+017	buse	1500	1.77	4.71	0.38	80	0.008	4.05	6.58

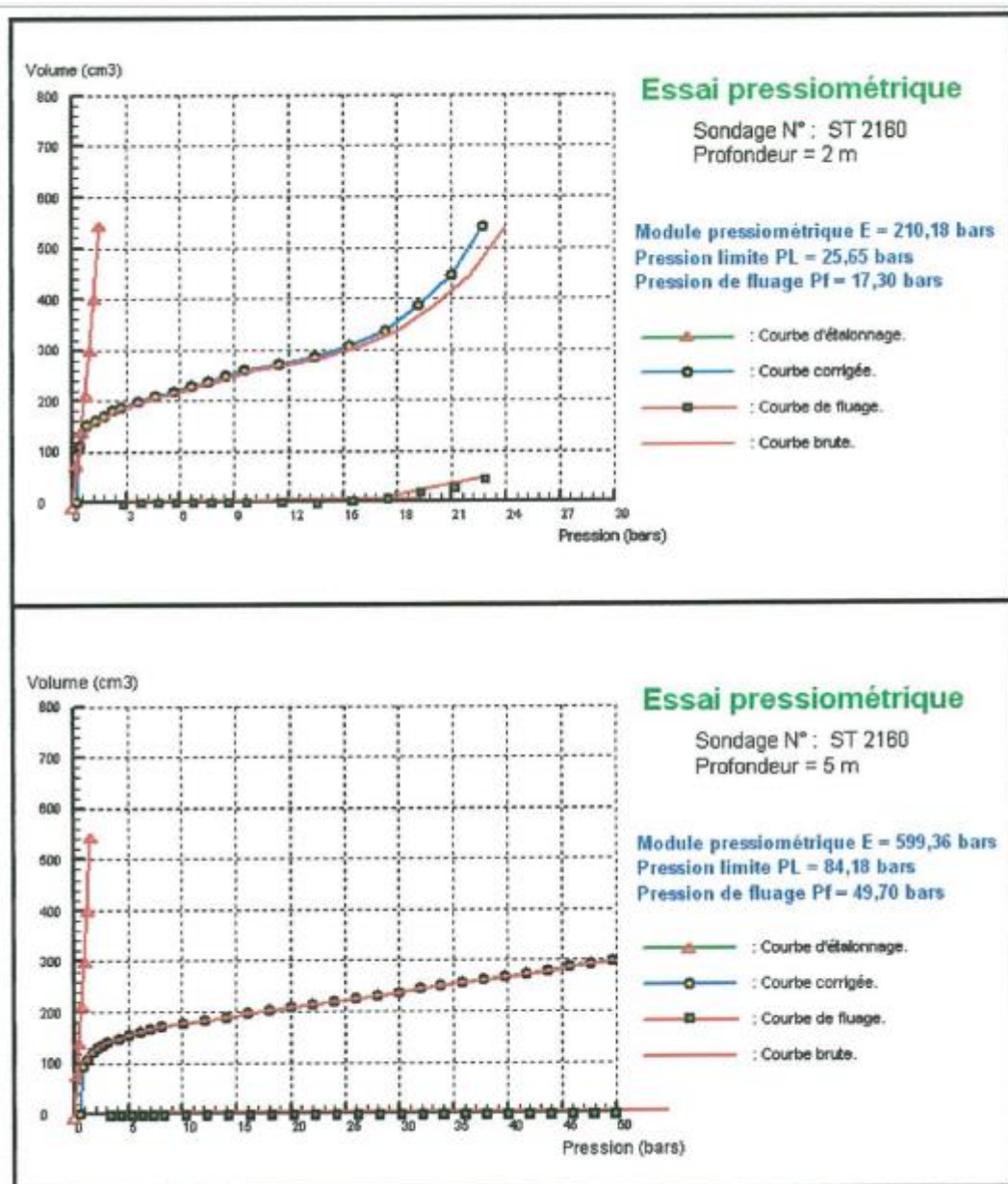
40+667	DALOT	2.5× 2 m	5.00	7.00	0.71	70	0.005	5.45	19.78
40+882	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.85	2.49
41+210	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.51	2.49
42+097	buse	1500	1.77	4.71	0.38	80	0.008	4.09	6.58
42+130	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.73	4.05
43+222	buse	600	0.28	1.88	0.15	80	0.020	0.32	0.90
44+042	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.36	4.05
44+518	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	2.63	4.05
44+850	buse	800	0.50	2.51	0.20	80	0.015	0.46	1.68
45+135	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	2.10	2.49
45+801	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	2.36	4.05
46+242	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	2.62	4.05
46+473	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.10	4.05
47+388	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.20	4.05
47+599	buse	800	0.50	2.51	0.20	80	0.015	0.29	1.68
47+920	DALOT	2.5× 2 m	5.00	7.00	0.71	70	0.005	10.23	19.78
48+207	buse	1000	0.79	3.14	0.25	80	0.010	1.94	2.49
48+863	buse	1200	1.13	3.77	0.30	80	0.010	3.02	4.05
49+423	DALOT	2.5× 2m	5.00	7.00	0.71	70	0.005	6.45	19.78

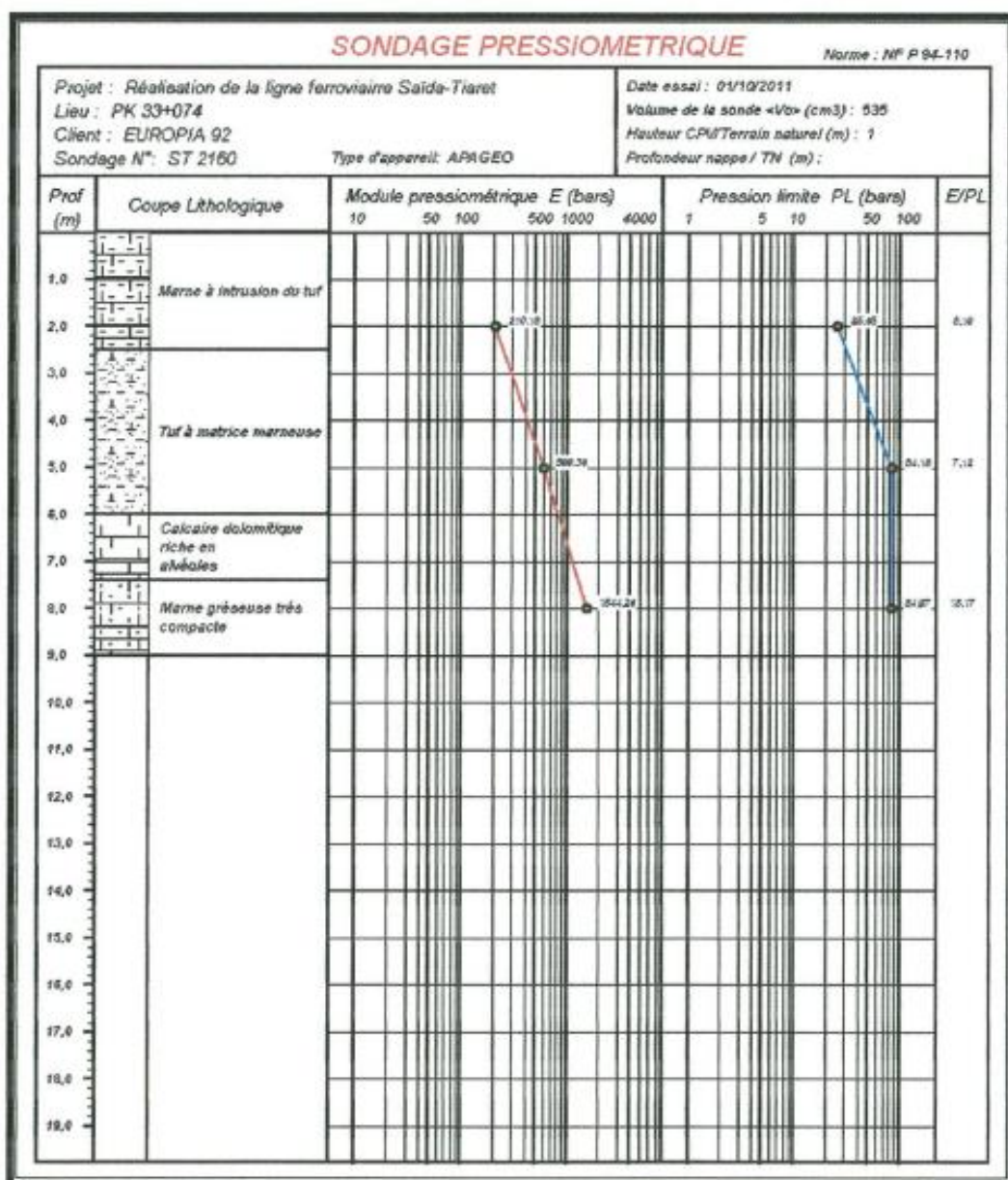
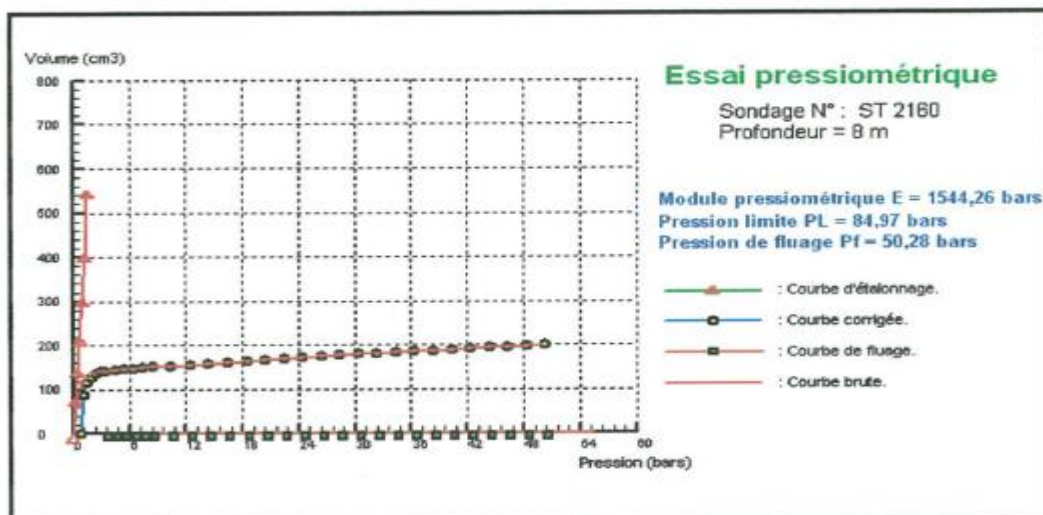
ANNEXE 6 Vérification des conditions d'autocurage

PK	ouvrage	Qps (m ³ /s)	Qs > Q	Vps (m/s)	Vps < 4	V rq=0.1 (m/s)	V > 0.6	V rq=00.1 (m/s)	V > 0.3
30+740	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
31+543	buse	6.58	vérifié	3.72	vérifié	2.37	vérifié	0.352	vérifié
31+980	buse	2.49	Vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
32+569	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
33+026	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
33+144	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
33+264	buse	0.68	vérifié	3.46	vérifié	2.21	vérifié	0.327	vérifié
33+644	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
33+850	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
34+043	buse	0.68	vérifié	3.46	vérifié	2.21	vérifié	0.327	vérifié
34+520	buse	6.58	vérifié	3.72	vérifié	2.37	vérifié	0.352	vérifié
34+830	buse	1.68	vérifié	3.35	vérifié	2.14	vérifié	0.317	vérifié
35+111	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
35+506	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
35+660	buse	6.58	vérifié	3.72	vérifié	2.37	vérifié	0.352	vérifié
36+067	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
36+378	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
36+521	buse	0.68	vérifié	3.46	vérifié	2.21	vérifié	0.327	vérifié

36+831	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
37+268	Viaduc								
38+558	buse	1.68	vérifié	3.35	vérifié	2.14	vérifié	0.317	vérifié
39+043	buse	0.68	vérifié	3.46	vérifié	2.21	vérifié	0.327	vérifié
39+468	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
39+663	buse	1.68	vérifié	3.35	vérifié	2.14	vérifié	0.317	vérifié
40+017	buse	6.58	vérifié	3.72	vérifié	2.37	vérifié	0.352	vérifié
40+667	DALOT	19.78	vérifié	3.96	vérifié	2.52	vérifié	0.374	vérifié
40+882	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
41+210	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
42+097	buse	6.58	vérifié	3.72	vérifié	2.37	vérifié	0.352	vérifié
42+130	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
43+222	buse	0.90	vérifié	3.19	vérifié	2.04	vérifié	0.302	vérifié
44+042	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
44+518	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
44+850	buse	1.68	vérifié	3.35	vérifié	2.14	vérifié	0.317	vérifié
45+135	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
45+801	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
46+242	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
46+473	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
47+388	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
47+599	buse	1.68	vérifié	3.35	vérifié	2.14	vérifié	0.317	vérifié
47+920	DALOT	19.78	vérifié	3.96	vérifié	2.52	vérifié	0.374	vérifié
48+207	buse	2.49	vérifié	3.17	vérifié	2.03	vérifié	0.300	vérifié
48+863	buse	4.05	vérifié	3.59	vérifié	2.29	vérifié	0.339	vérifié
49+423	DALOT	19.78	vérifié	3.96	vérifié	2.52	vérifié	0.374	vérifié

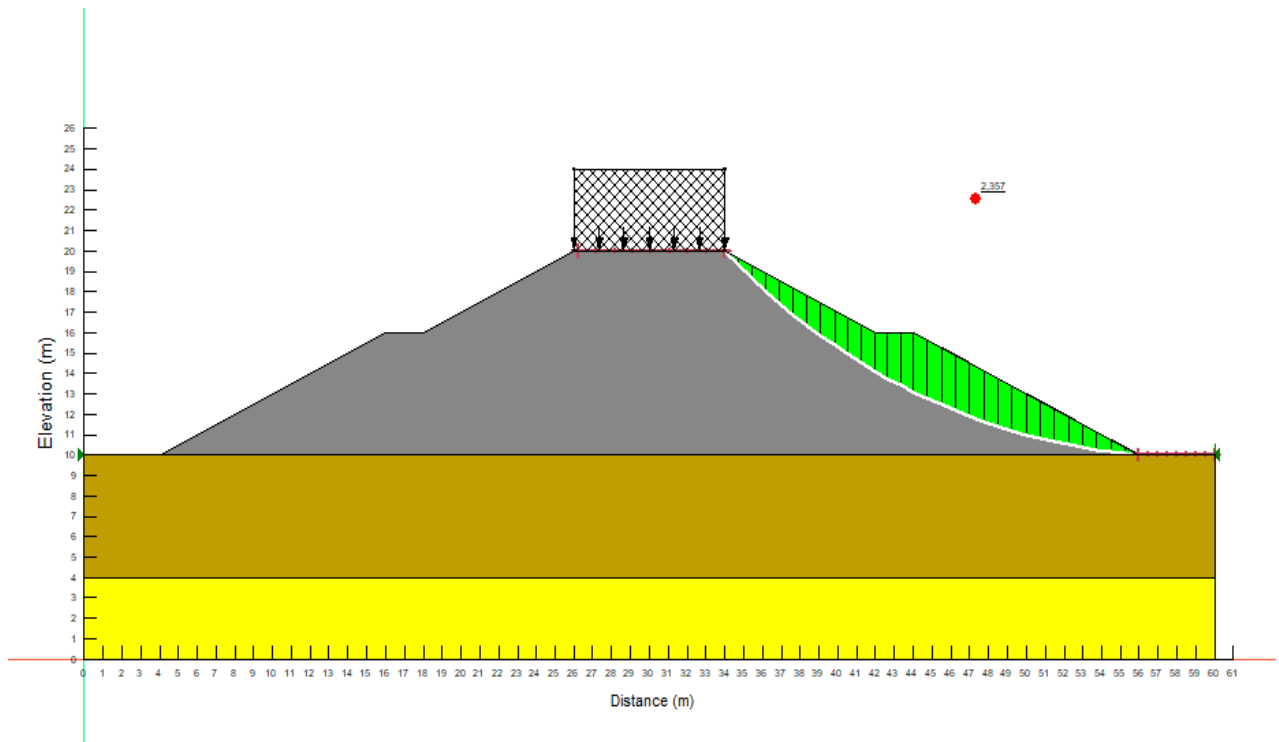
ANNEXE 7 Exemple d'un essai pressiométrique



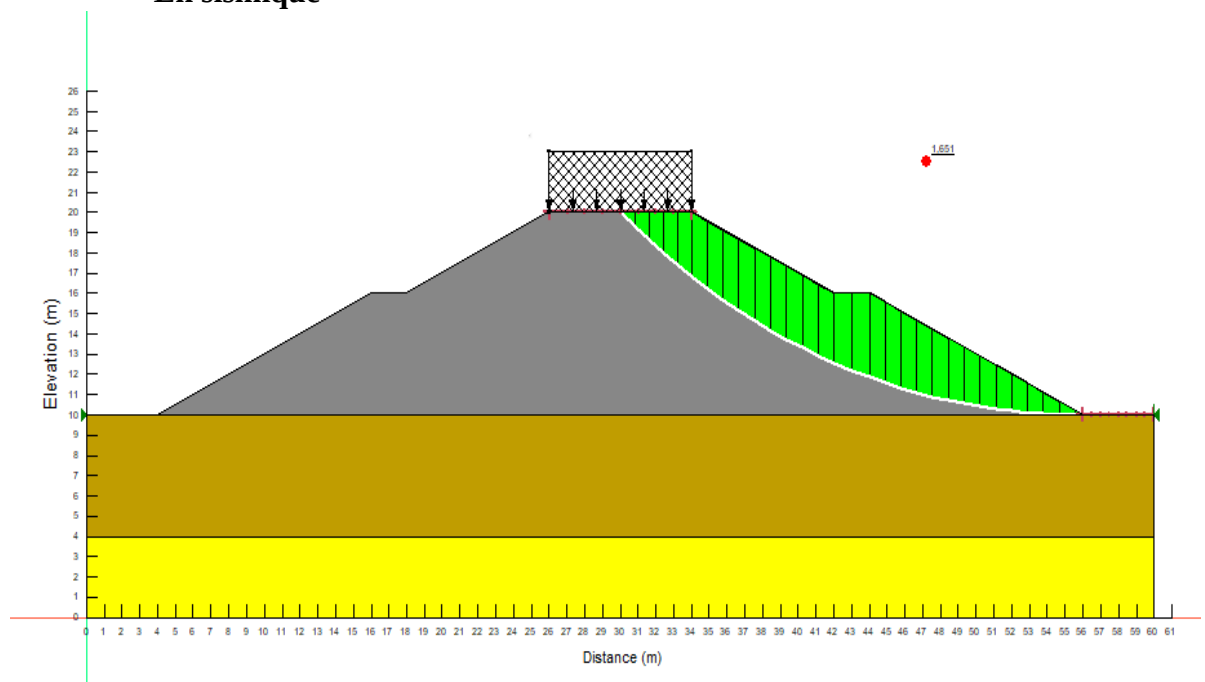


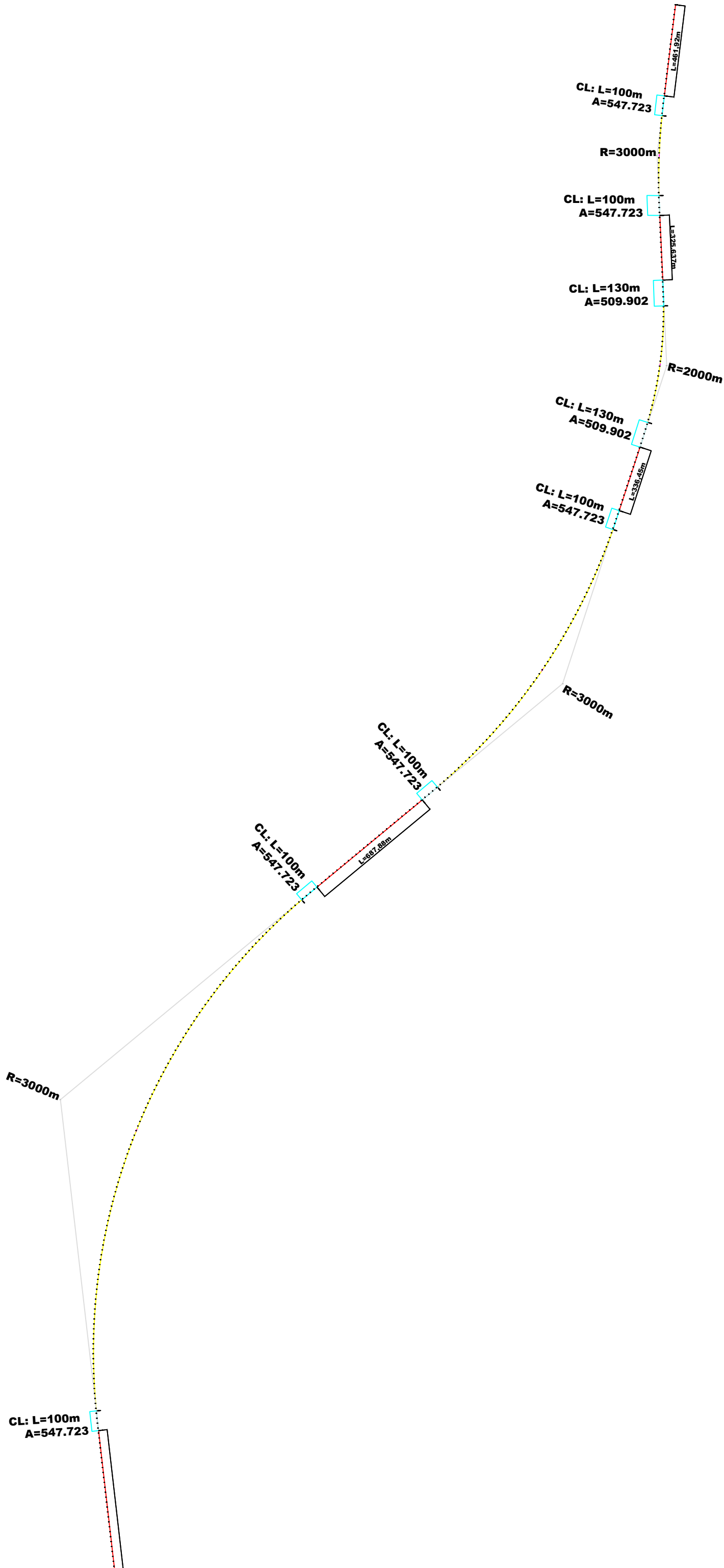
➤ **Cas de remblai :**

- **A long terme**

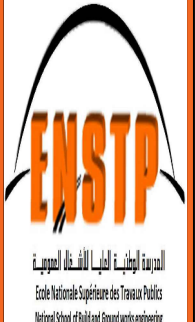


- **En sismique**

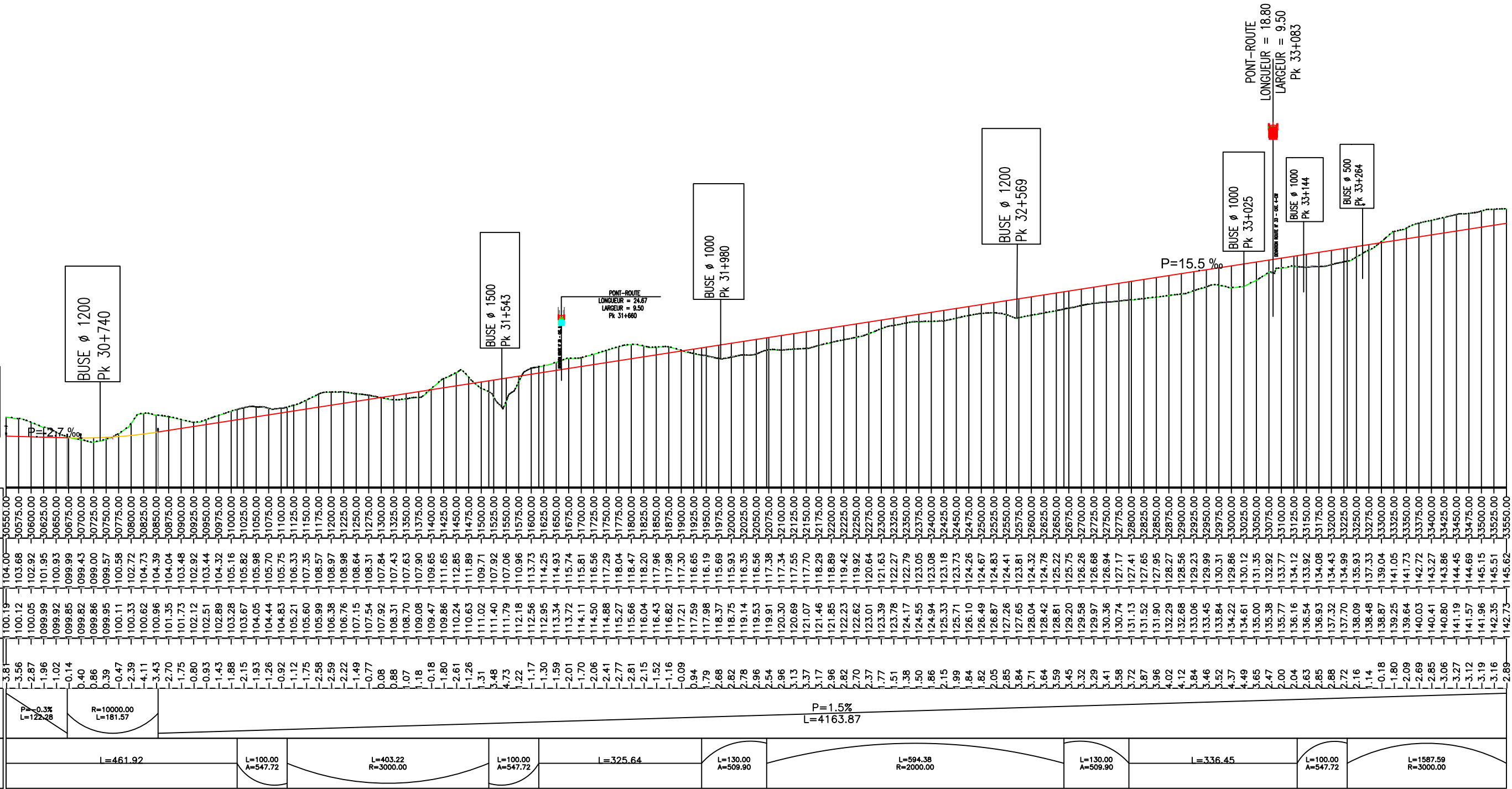




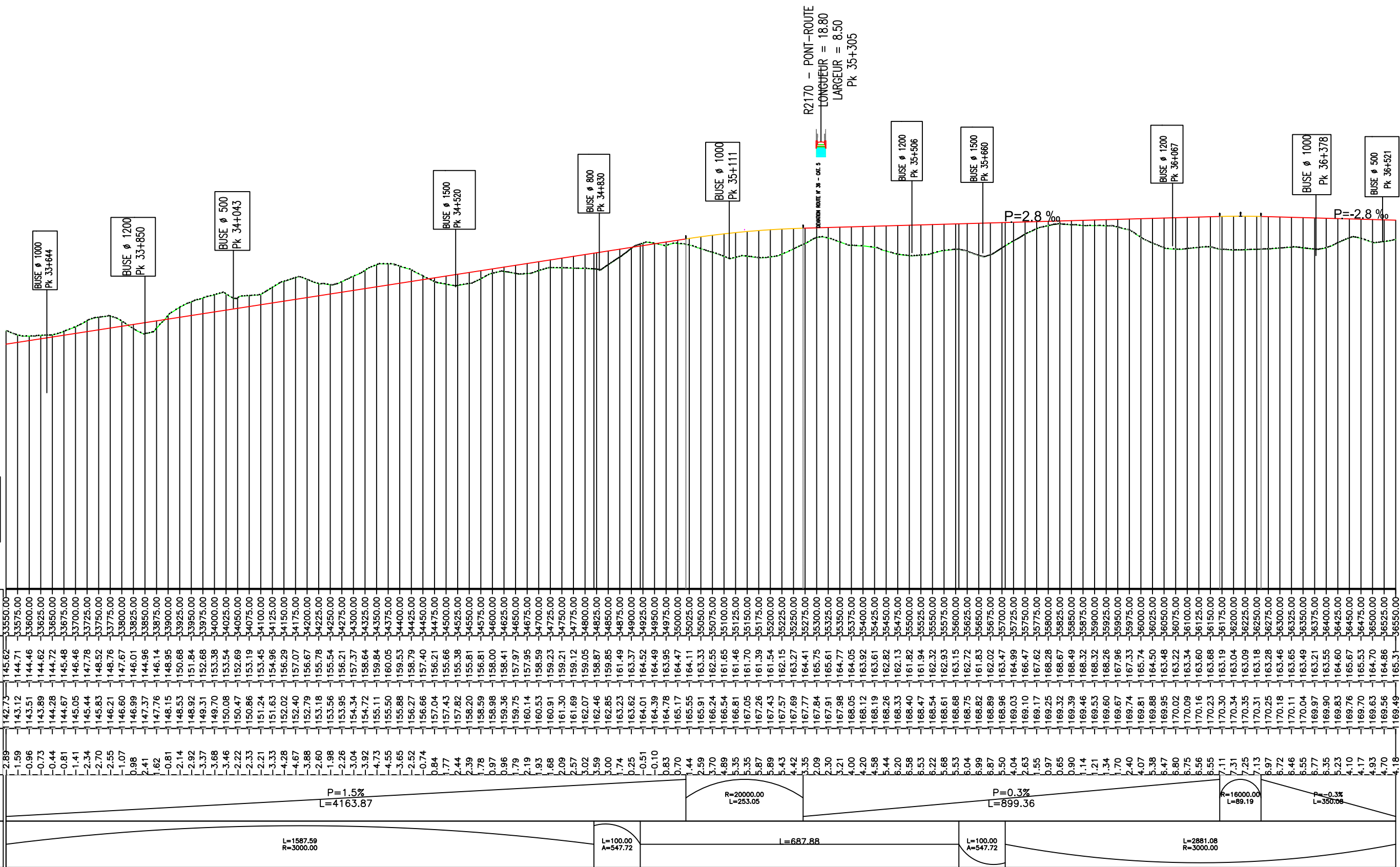
PROJET DE FIN D'ETUDES					Année universitaire	2019 / 2020
ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE DU PK 30+550 AU PK 49+458 AVEC CONCEPTION DE LA GARE FRINDA					Planche	Du PK 30+550 Au PK 39+375
					Echelle	ECH : 1/200
					Encadré par	AZRINE
					Réalisé par	MAOUCHI LEMTOUCHE
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz						



Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000



Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000



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

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE DU PK 30+550 AU PK 49+458 AVEC CONCEPTION DE LA GARE FRINDA

Réalisé par

MAOUCHI
LEMTUCHE

Encadré par

AZZRINE

Echelle

ECH V : 1/200
ECH H :1/20

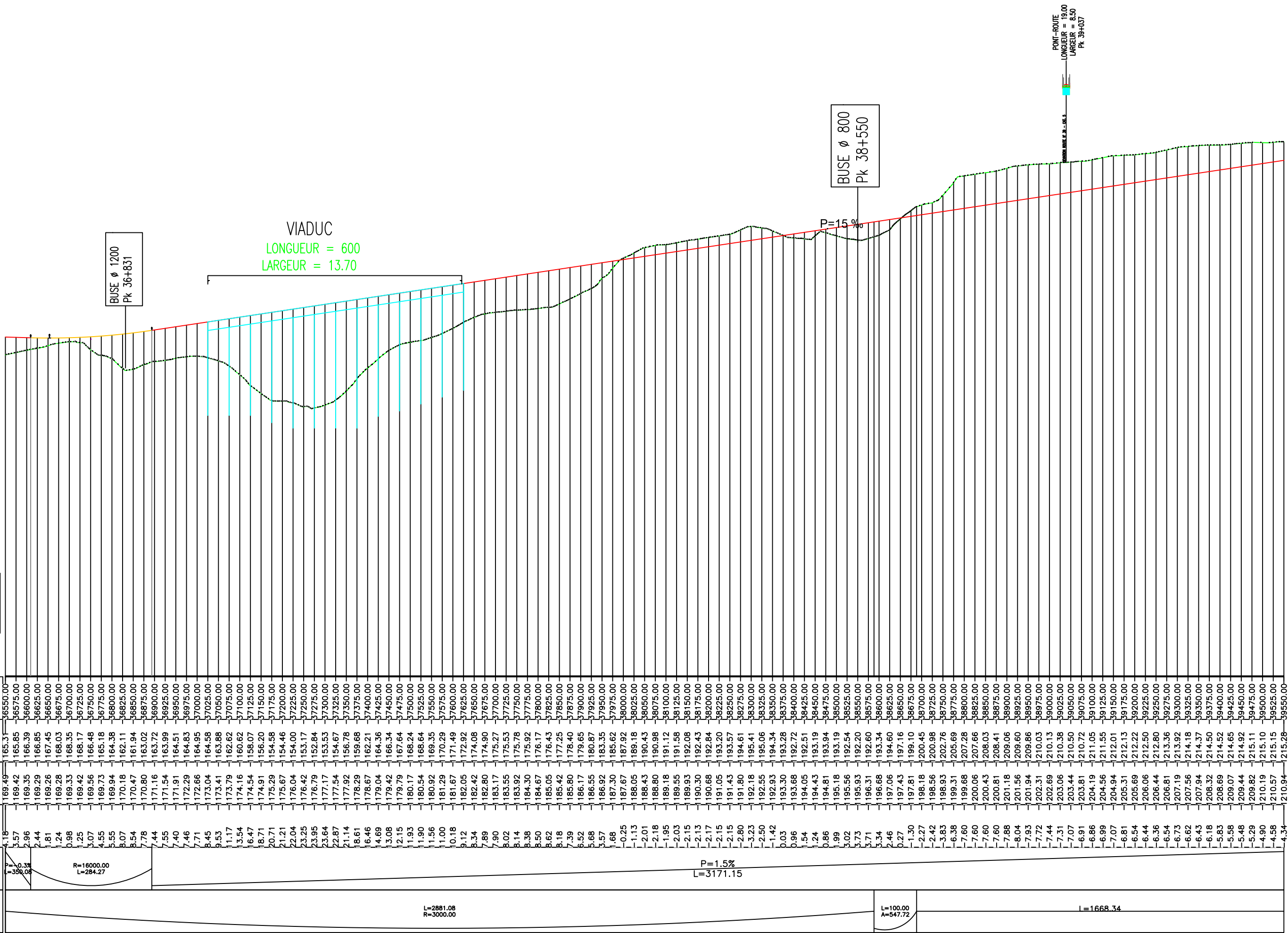
Planche

Du PK 33+550
Au Pk 36+550

Année universitaire

2019 / 2020

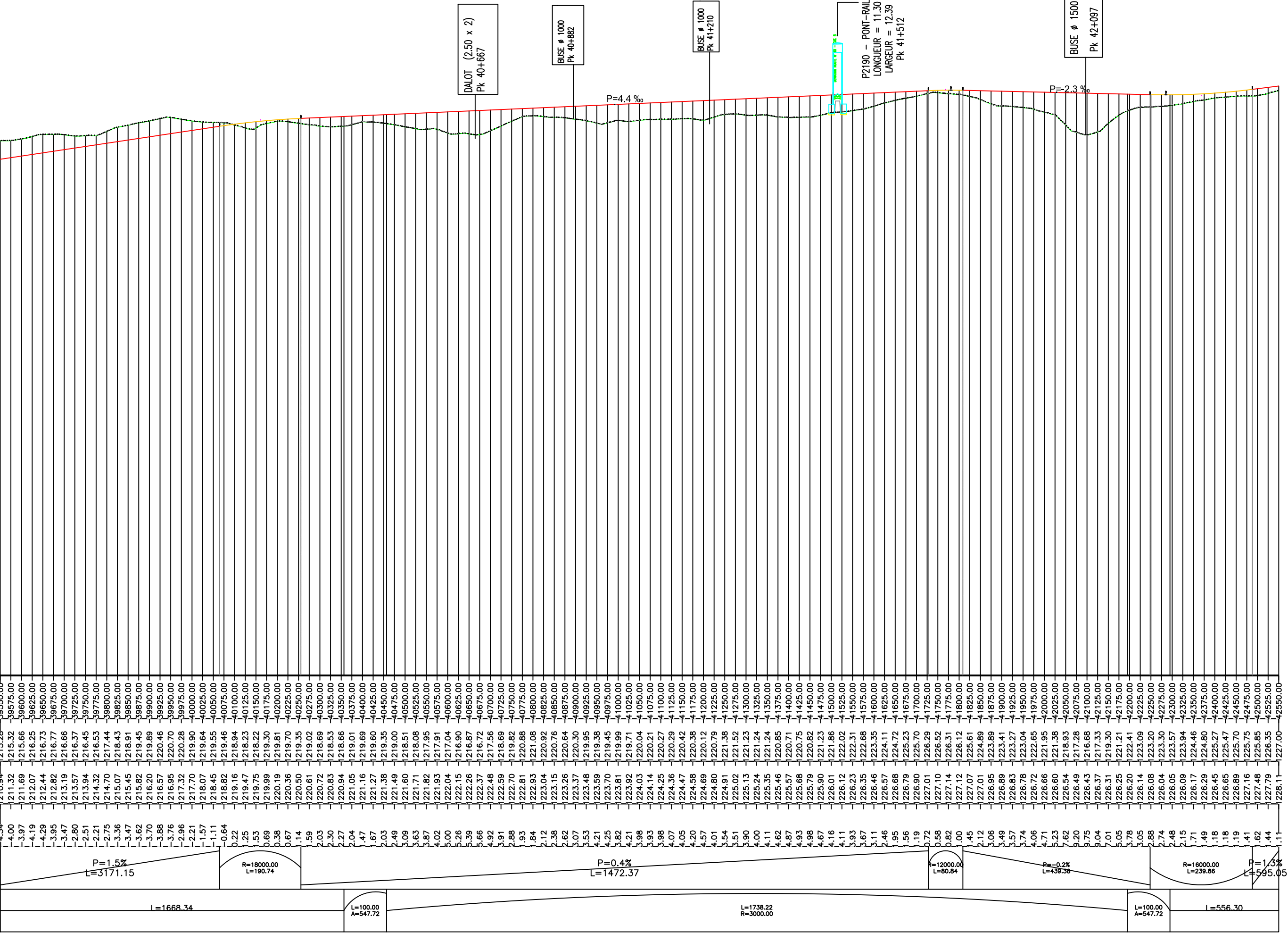
Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000



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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE DU PK 30+550 AU PK 49+458 AVEC CONCEPTION DE LA GARE FRINDA	MAOUCHI LEMTOCHE	AZRINE	ECH V : 1/200 ECH H :1/20	Du PK 36+550 Au Pk 39+550	2019 / 2020

Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38
Tel : (023) 70 19 04

Site web : www.enstp.edu.dz
E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE
A VOIE UNIQUE DU PK 30+550 AU PK 49+458
AVEC CONCEPTION DE LA GARE FRINDA

Réalisé par

MAOUCHI
LEMTOUCHE

Encadré par

AZRINE

Echelle

ECH V : 1/200
ECH H : 1/20

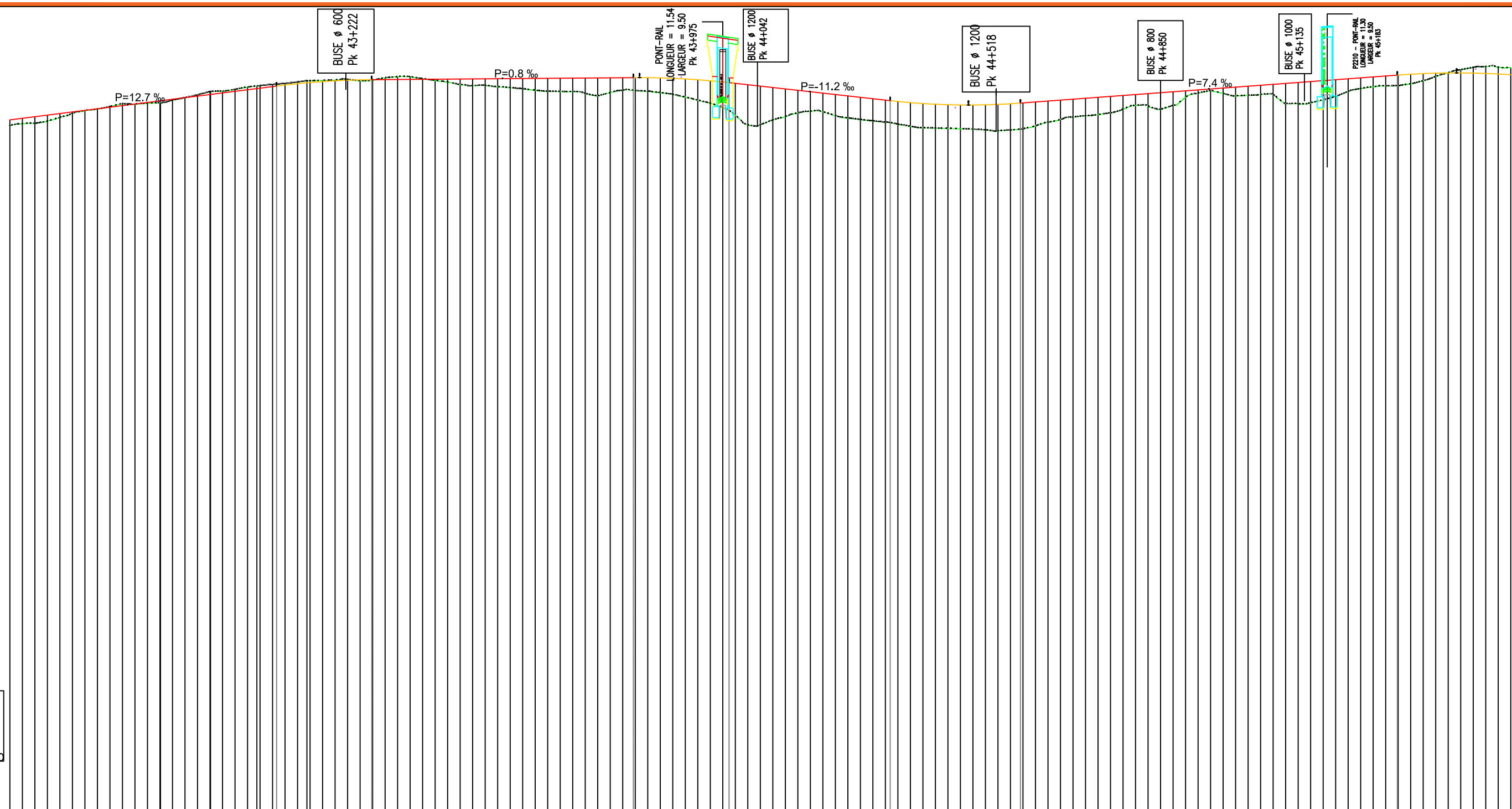
Planche

Du PK 39+550
Au Pk 42+550

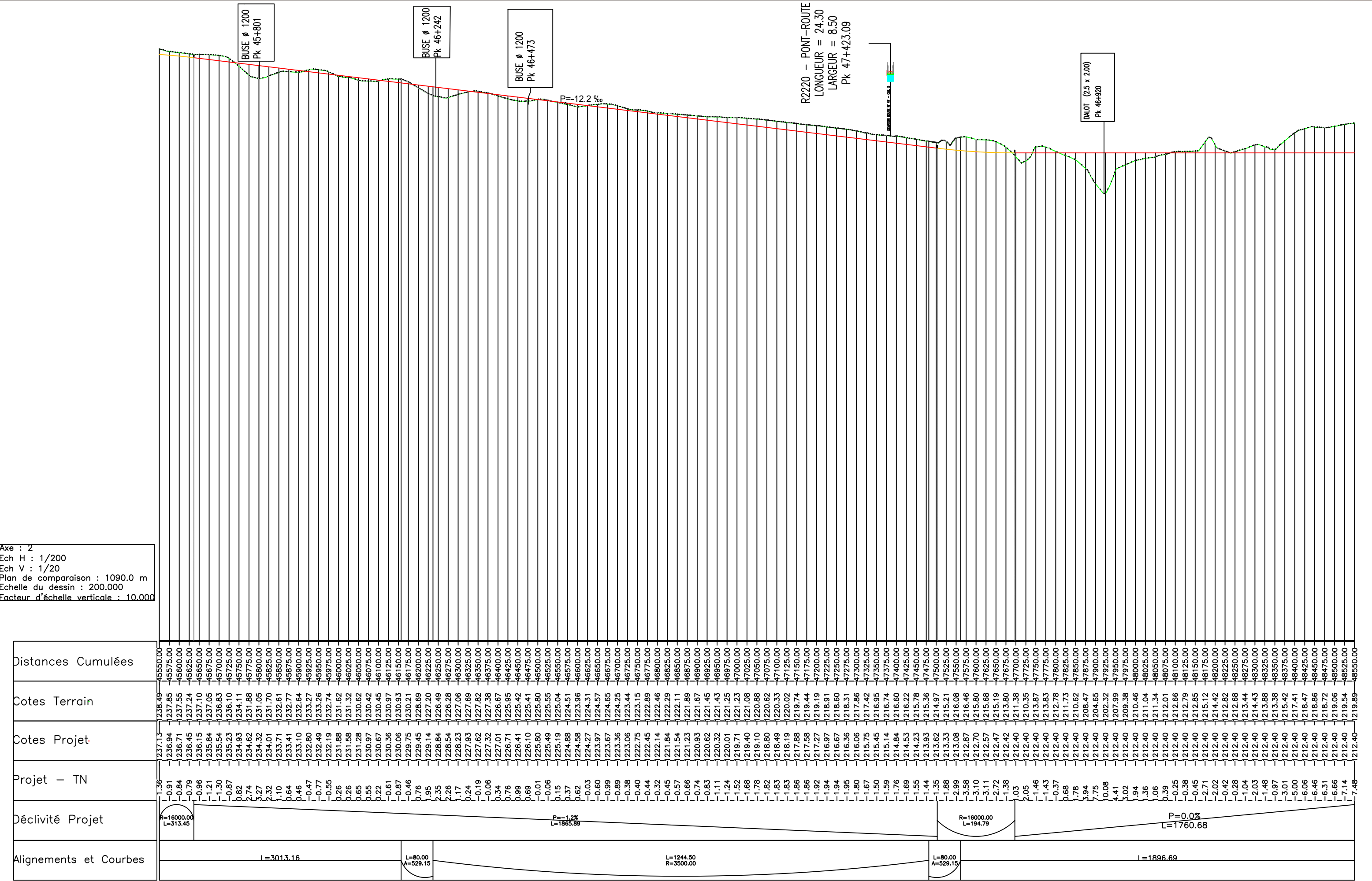
Année universitaire

2019 / 2020

Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000

[illegible]

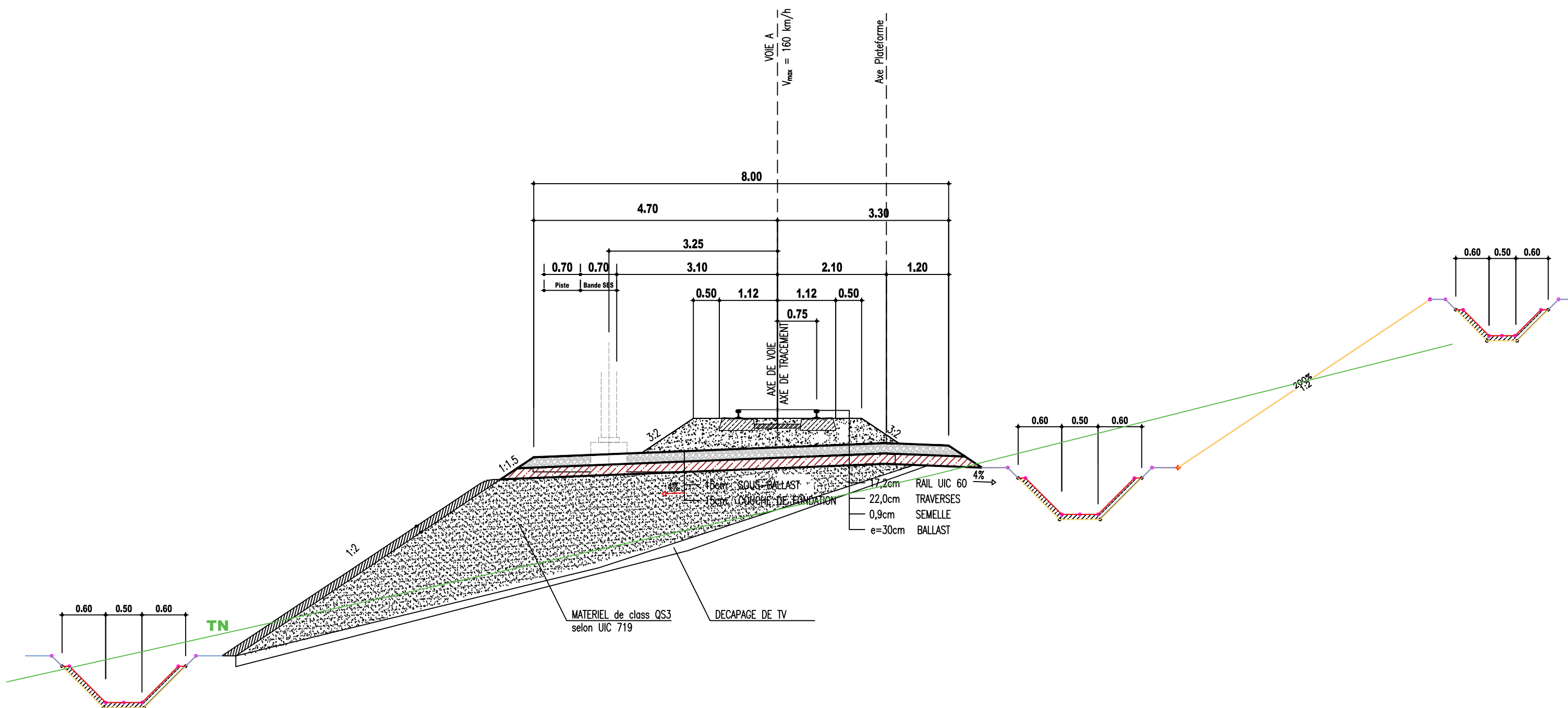
Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000



La gare de Frenda

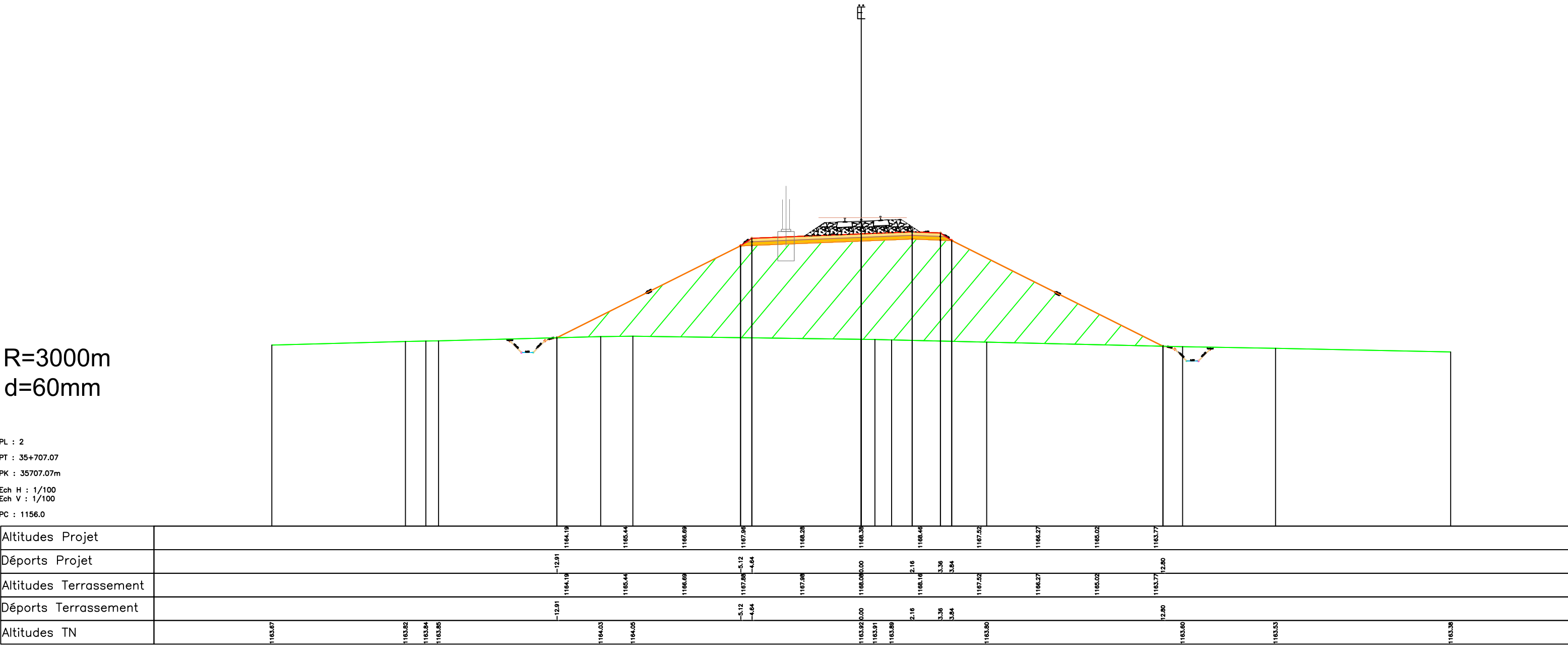
Axe : 2
Ech H : 1/200
Ech V : 1/20
Plan de comparaison : 1090.0 m
Echelle du dessin : 200.000
Facteur d'échelle verticale : 10.000

Distances Cumulées	46550.00 46575.00 46600.00 46625.00 46650.00 46675.00 46700.00 46725.00 46750.00 46775.00 46800.00 46825.00 46850.00 46875.00 46900.00 46925.00 46950.00 46975.00 47000.00 47025.00 47050.00 47075.00 47100.00 47125.00 47150.00 47175.00 47200.00 47225.00 47250.00 47275.00 47300.00 47325.00 47350.00 47375.00 47400.00 47425.00 47450.00 47475.00 47500.00 47525.00 47550.00 47575.00 47600.00 47625.00 47650.00 47675.00 47700.00 47725.00 47750.00 47775.00 47800.00 47825.00 47850.00 47875.00 47900.00 47925.00 47950.00 48000.00 48050.00 48100.00 48125.00 48150.00 48175.00 48200.00 48225.00 48250.00 48275.00 48300.00 48325.00 48350.00 48375.00 48400.00 48425.00 48450.00 48475.00 48500.00 48525.00 48550.00 48575.00 48600.00 48625.00 48650.00 48675.00 48700.00 48725.00 48750.00 48775.00 48800.00 48825.00 48850.00 48875.00 48900.00 48925.00 48950.00 48975.00 49000.00 49025.00 49050.00 49075.00 49100.00 49125.00 49150.00 49175.00 49200.00 49225.00 49250.00 49275.00 49300.00 49325.00 49350.00 49375.00 49400.00 49425.00 49450.00 49475.00 49500.00
Cotes Terrain	225.04 224.51 223.96 223.41 222.87 222.34 221.81 221.28 220.75 220.22 219.69 219.16 218.63 218.10 217.57 217.04 216.51 215.98 215.45 214.92 214.39 213.86 213.33 212.80 212.27 211.74 211.21 210.68 210.15 209.62 209.09 208.56 208.03 207.50 206.97 206.44 205.91 205.38 204.85 204.32 203.79 203.26 202.73 202.20 201.67 201.14 200.61 200.08 199.55 199.02 198.49 197.96 197.43 196.90 196.37 195.84 195.31 194.78 194.25 193.72 193.19 192.66 192.13 191.60 191.07 190.54 189.99 189.45 188.91 188.37 187.83 187.29 186.75 186.21 185.67 185.13 184.59 184.05 183.51 182.97 182.43 181.89 181.35 180.81 180.27 179.73 179.19 178.65 178.11 177.57 177.03 176.49 175.95 175.41 174.87 174.33 173.79 173.25 172.71 172.17 171.63 171.09 170.55 169.99 169.44 168.89 168.34 167.79 167.24 166.69 166.14 165.59 165.04 164.49 163.94 163.39 162.84 162.29 161.74 161.19 160.64 160.09 159.54 158.99 158.44 157.89 157.34 156.79 156.24 155.69 155.14 154.59 154.04 153.49 152.94 152.39 151.84 151.29 150.74 150.19 149.64 149.09 148.54 147.99 147.44 146.89 146.34 145.79 145.24 144.69 144.14 143.59 143.04 142.49 141.94 141.39 140.84 140.29 139.74 139.19 138.64 138.09 137.54 136.99 136.44 135.89 135.34 134.79 134.24 133.69 133.14 132.59 132.04 131.49 130.94 130.39 129.84 129.29 128.74 128.19 127.64 127.09 126.54 125.99 125.44 124.89 124.34 123.79 123.24 122.69 122.14 121.59 121.04 120.49 119.94 119.39 118.84 118.29 117.74 117.19 116.64 116.09 115.54 114.99 114.44 113.89 113.34 112.79 112.24 111.69 111.14 110.59 109.99 109.44 108.89 108.34 107.79 107.24 106.69 106.14 105.59 105.04 104.49 103.94 103.39 102.84 102.29 101.74 101.19 100.64 100.09 99.54 98.99 98.44 97.89 97.34 96.79 96.24 95.69 95.14 94.59 94.04 93.49 92.94 92.39 91.84 91.29 90.74 90.19 89.64 89.09 88.54 87.99 87.44 86.89 86.34 85.79 85.24 84.69 84.14 83.59 83.04 82.49 81.94 81.39 80.84 80.29 79.74 79.19 78.64 78.09 77.54 76.99 76.44 75.89 75.34 74.79 74.24 73.69 73.14 72.59 72.04 71.49 70.94 70.39 69.84 69.29 68.74 68.19 67.64 67.09 66.54 65.99 65.44 64.89 64.34 63.79 63.24 62.69 62.14 61.59 61.04 60.49 59.94 59.39 58.84 58.29 57.74 57.19 56.64 56.09 55.54 54.99 54.44 53.89 53.34 52.79 52.24 51.69 51.14 50.59 50.04 49.49 48.94 48.39 47.84 47.29 46.74 46.19 45.64 45.09 44.54 43.99 43.44 42.89 42.34 41.79 41.24 40.69 40.14 39.59 39.04 38.49 37.94 37.39 36.84 36.29 35.74 35.19 34.64 34.09 33.54 32.99 32.44 31.89 31.34 30.79 30.24 29.69 29.14 28.59 28.04 27.49 26.94 26.39 25.84 25.29 24.74 24.19 23.64 23.09 22.54 21.99 21.44 20.89 20.34 19.79 19.24 18.69 18.14 17.59 17.04 16.49 15.94 15.39 14.84 14.29 13.74 13.19 12.64 12.09 11.54 10.99 10.44 9.89 9.34 8.79 8.24 7.69 7.14 6.59 6.04 5.49 4.94 4.39 3.84 3.29 2.74 2.19 1.64 1.09 0.54 0.00 -0.45 -0.90 -1.35 -1.80 -2.25 -2.70 -3.15 -3.60 -4.05 -4.50 -4.95 -5.40 -5.85 -6.30 -6.75 -7.20 -7.65 -8.10 -8.55 -9.00 -9.45 -9.90 -10.35 -10.80 -11.25 -11.70 -12.15 -12.60 -13.05 -13.50 -13.95 -14.40 -14.85 -15.30 -15.75 -16.20 -16.65 -17.10 -17.55 -18.00 -18.45 -18.90 -19.35 -19.80 -20.25 -20.70 -21.15 -21.60 -22.05 -22.50 -22.95 -23.40 -23.85 -24.30 -24.75 -25.20 -25.65 -26.10 -26.55 -27.00 -27.45 -27.90 -28.35 -28.80 -29.25 -29.70 -30.15 -30.60 -31.05 -31.50 -31.95 -32.40 -32.85 -33.30 -33.75 -34.20 -34.65 -35.10 -35.55 -36.00 -36.45 -36.90 -37.35 -37.80 -38.25 -38.70 -39.15 -39.60 -40.05 -40.50 -40.95 -41.40 -41.85 -42.30 -42.75 -43.20 -43.65 -44.10 -44.55 -45.00 -45.45 -45.90 -46.35 -46.80 -47.25 -47.70 -48.15 -48.60 -49.05 -49.50 -49.95 -50.40 -50.85 -51.30 -51.75 -52.20 -52.65 -53.10 -53.55 -54.00 -54.45 -54.90 -55.35 -55.80 -56.25 -56.70 -57.15 -57.60 -58.05 -58.50 -58.95 -59.40 -59.85 -60.30 -60.75 -61.20 -61.65 -62.10 -62.55 -63.00 -63.45 -63.90 -64.35 -64.80 -65.25 -65.70 -66.15 -66.60 -67.05 -67.50 -67.95 -68.40 -68.85 -69.30 -69.75 -70.20 -70.65 -71.10 -71.55 -72.00 -72.45 -72.90 -73.35 -73.80 -74.25 -74.70 -75.15 -75.60 -76.05 -76.50 -76.95 -77.40 -77.85 -78.30 -78.75 -79.20 -79.65 -80.10 -80.55 -81.00 -81.45 -81.90 -82.35 -82.80 -83.25 -83.70 -84.15 -84.60 -85.05 -85.50 -85.95 -86.40 -86.85 -87.30 -87.75 -88.20 -88.65 -89.10 -89.55 -90.00 -90.45 -90.90 -91.35 -91.80 -92.25 -92.70 -93.15 -93.60 -94.05 -94.50 -94.95 -95.40 -95.85 -96.30 -96.75 -97.20 -97.65 -98.10 -98.55 -99.00 -99.45 -99.90 -100.35 -100.80 -101.25 -101.70 -102.15 -102.60 -103.05 -103.50 -103.95 -104.40 -104.85 -105.30 -105.75 -106.20 -106.65 -107.10 -107.55 -108.00 -108.45 -108.90 -109.35 -109.80 -110.25 -110.70 -111.15 -111.60 -112.05 -112.50 -112.95 -113.40 -113.85 -114.30 -114.75 -115.20 -115.65 -116.10 -116.55 -117.00 -117.45 -117.90 -118.35 -118.80 -119.25 -119.70 -120.15 -120.60 -121.05 -121.50 -121.95 -122.40 -122.85 -123.30 -123.75 -124.20 -124.65 -125.10 -125.55 -126.00 -126.45 -126.90 -127.35 -127.80 -128.25 -128.70 -129.15 -129.60 -130.05 -130.50 -130.95 -131.40 -131.85 -132.30 -132.75 -133.20 -133.65 -134.10 -134.55 -135.00 -135.45 -135.90 -136.35 -136.80 -137.25 -137.70 -138.15 -138.60 -139.05 -139.50 -139.95 -140.40 -140.85 -141.30 -141.75 -142.20 -142.65 -143.10 -143.55 -144.00 -144.45 -144.90 -145.35 -145.80 -146.25 -146.70 -147.15 -147.60 -148.05 -148.50 -148.95 -149.40 -149.85 -150.30 -150.75 -151.20 -151.65 -152.10 -152.55 -153.00 -153.45 -153.90 -154.35 -154.80 -155.25 -155.70 -156.15 -156.60 -157.05 -157.50 -157.95 -158.40 -158.85 -159.30 -159.75 -160.20 -160.65 -161.10 -161.55 -162.00 -162.45 -162.90 -163.35 -163.80 -164.25 -164.70 -165.15 -165.60 -166.05 -166.50 -166.95 -167.40 -167.85 -168.30 -168.75 -169.20 -169.65 -170.10 -170.55 -171.00 -171.45 -171.90 -172.35 -172.80 -173.25 -173.70 -174.15 -174.60 -175.05 -175.50 -175.95 -176.40 -176.85 -177.30 -177.75 -178.20 -178.65 -179.10 -179.55 -180.00 -180.45 -180.90 -181.35 -181.80 -182.25 -182.70 -183.15 -183.60 -184.05 -184.50 -184.95 -185.40 -185.85 -186.30 -186.75 -187.20 -187.65 -188.10 -188.55 -189.00 -189.45 -189.90 -190.35 -190.80 -191.25 -191.70 -192.15 -192.60 -193.05 -193.50 -193.95 -194.40 -194.85 -195.30 -195.75 -196.20 -196.65 -197.10 -197.55 -198.00 -198.45 -198.90 -199.35 -199.80 -200.25 -200.70 -201.15 -201.60 -202.05 -202.50 -202.95 -203.40 -203.85 -204.30 -204.75 -205.20 -205.65 -206.10 -206.55 -207.00 -207.45 -207.90 -208.35 -208.80 -209.25 -209.70 -210.15 -210.60 -211.05 -211.50 -211.95 -212.40 -212.85 -213.30 -213.75 -214.20 -214.65 -215.10 -215.55 -216.00 -216.45 -216.90 -217.35 -217.80 -218.25 -218.70 -219.15 -219.60 -220.05 -220.50 -220.95 -221.40 -221.85 -222.30 -222.75 -223.20 -223.65 -224.10 -224.55 -225.00 -225.45 -225.90 -226.35 -226.80 -227.25 -227.70 -228.15 -228.60 -229.05 -229.50 -229.95 -230.40 -230.85 -231.30 -231.75 -232.20 -232.65 -233.10 -233.55 -234.00 -234.45 -234.90 -235.35 -235.80 -236.25 -236.70 -237.15 -237.60 -238.05 -238.50 -238.95 -239.40 -239.85 -240.30 -240.75 -241.20 -241.65 -242.10 -242.55 -243.00 -243.45 -243.90 -244.35 -244.80 -245.25 -245.70 -246.15 -246.60 -247.05 -247.50 -247.95 -248.40 -248.85 -249.30 -249.75 -250.20 -250.65 -251.10 -251.55 -252.00 -252.45 -252.90 -253.35 -253.80 -254.25 -254.70 -255.15 -255.60 -256.05 -256.50 -256.95 -257.40 -257.85 -258.30 -258.75 -259.20 -259.65 -260.10 -260.55 -261.00 -261.45 -261.90 -262.35 -262.80 -263.25 -263.70 -264.15 -264.60 -265.05 -265.50 -265.95 -266.40 -266.85 -267.30 -267.75 -268.20 -268.65 -269.10 -269.55 -270.00 -270.45 -270.90 -271.35 -271.80 -272.25 -272.70 -273.15 -273.60 -274.05 -274.50 -274.95 -275.40 -275.85 -276.30 -276.75 -277.20 -277.65 -278.10 -278.55 -279.00 -279.45 -279.90 -280.35 -280.80 -281.25 -281.70 -282.15 -282.60 -283.05 -283.50 -283.95 -284.40 -284.85 -285.30 -285.75 -286.20 -286.65 -287.10 -287.55 -288.00 -288.45 -288.90 -289.35 -289.80 -290.25 -290.70 -291.15 -291.60 -292.05 -292.50 -292.95 -293.40 -293.85 -294.30 -294.75 -295.20 -295.65 -296.10 -296.55 -297.00 -297.45 -297.90 -298.35 -298.80 -299.25 -299.70 -300.15 -300.60 -301.05 -301.50 -301.95 -302.40 -302.85 -303.30 -303.75 -304.20 -304.65 -305.10 -305.55 -306.00 -306.45 -306.90 -307.35 -307.80 -308.25 -308.70 -309.15 -309.60 -310.05 -310.50 -310.95 -311.40 -311.85 -312.30 -312.75 -313.20 -313.65 -314.10 -314.55 -315.00 -315.45 -315.90 -316.35 -316.80 -317.25 -317.70 -318.15 -318.60 -319.05 -319.50 -319.95 -320.40 -320.85 -321.30 -321.75 -322.20 -322.65 -323.10 -323.55 -324.00 -324.45 -324.90 -325.35 -325.80 -326.25 -326.70 -327.15 -327.60 -328.05 -328.50 -328.95 -329.40 -329.85 -330.30 -330.75 -331.20 -331.65 -332.10 -332.55 -333.00 -333.45 -333.90 -334.35 -334.80 -335.25 -335.70 -336.15 -336.60 -337.05 -337.50 -337.95 -338.40 -338.85 -339.30 -339.75 -340.20 -340.65 -341.10 -341.55 -342.00 -342.45 -342.90 -343.35 -343.80 -344.25 -344.70 -345.15 -345.60 -346.05 -346.50 -346.95 -347.40 -347.85 -348.30 -348.75 -349.20 -349.65 -350.10 -350.55 -351.00 -351.45 -351.90 -352.35 -352.80 -353.25 -353.70 -354.15 -354.60 -355.05 -355.50 -355.95 -356.40 -356.85 -357.30 -357.75 -358.20 -358.65 -359.10 -359.55 -360.00 -360.45 -360.90 -361.35 -361.80 -362.25 -362.70 -363.15 -363.60 -364.05 -364.50 -364.95 -365.40 -365.85 -366.30 -366.75 -367.20 -367.65 -368.10 -368.55 -369.00 -369.45 -369.90 -370.35 -370.80 -371.25 -371.70 -372.15 -372.60 -373.05 -373.50 -373.95 -374.40 -374.85 -375.30 -375.75 -376.20 -376.65 -377.10 -377.55 -378.00 -378.45 -378.90 -379.35 -379.80 -380.25 -380.70 -381.15 -381.60 -382.05 -382.50 -382.95 -383.40 -383.85 -384.30 -384.75 -385.20 -385.65 -386.10 -386.55 -387.00 -387.45 -387.90 -388.35 -388.80 -389.25 -389.70 -390.15 -390.60 -391.05 -391.50 -391.95 -392.40 -392.85 -393.30 -393.75 -394.20 -394.65 -395.10 -395.55 -396.00 -396.45 -396.90 -397.35 -397.80 -398.25 -398.70 -399.15 -399.60 -400.05 -400.50 -400.95 -401.40 -401.85 -402.30 -402.75 -403.20 -403.65 -404.10 -404.55 -405.00 -405.45 -405.90 -406.35 -406.80 -407.25 -407.70 -408.15 -4



R=3000m
d=60mm

PL : 2
PT : 35+707.07
PK : 35707.07m
Ech H : 1/100
Ech V : 1/100
PC : 1156.0



Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger

Fax : (023) 70 19 38
Tel : (023) 70 19 04

Site web : www.enstp.edu.dz
E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE
A VOIE UNIQUE DU PK 30+550 AU PK 49+458
AVEC CONCEPTION DE LA GARE FRINDA

Réalisé par

MAOUCHI
LEMTUCHE

Encadré par

AZRINE

Echelle

ECH V : 1/100
ECH H : 1/10

Planche

PROFIL COURANT
PK 35+707

Année universitaire

2019 / 2020