



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**ETUDE APD DE LA NOUVELLE LIGNE
FERROVIAIRE EL AFFROUN - TIPAZA
DU PK10+000 AU PK19+000 AVEC
LA CONCEPTION DE LA GARE
DE BOURKIKI**

Présenté par :

MENOUKATE Oussama
ZAMIT Boubakeur

Encadré par :

Mr CHENANE Mouloud
Dr FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2018 /2019

بسم الله الرحمن الرحيم

" واعلم أنَّ الهندسة تفيد صاحبها إضاءة في عقله واستقامة في فكره لأنَّ براهينها كلّها بيّنة الانتظام جليّة الترتيب لا يكاد الغلط يدخل أقيستها لترتيبها وانتظامها فيبعد الفكر بممارستها عن الخطأ وينشأ لصاحبها عقل على ذلك المهيمن وقد زعموا أنَّه كان مكتوباً على باب أفلاطون: «من لم يكن مهندساً فلا يدخلنَّ منزلنا» وكان شيوخنا رحمهم الله يقولون : «ممارسة علم الهندسة للفكر بمثابة الصّابون للثوب الذي يغسل منه الأقدار وينقيه من الأوضار والأدران » وإنّما ذلك لما أشرنا إليه من ترتيبه وانتظامه "

عبد الرحمن بن محمد، ابن خلدون [المقدمة]

" والهندسة علم يعرف منه أحوال المقادير ولواحقها، وأوضاع بعضها عند بعض، ونسبتها وخواص أشكالها، والصريق إلى عمل ما سيبله أن يعمل بها "

محمد بن أبي بكر المرعشي ساجقلي زاده [ترتيب العلوم]

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH le tout puissant, qui nous a guidés et donné la force et la patience d'accomplir notre travail. Nous tenons à remercier l'organisme SETI RAIL, et tous les ingénieurs qui nous ont accompagnés notamment Mr. MALLAOUI Billal et Mr. Adam et Ibrahim, pour l'aide qu'ils nous ont apportés.

Nos remerciements s'adresse également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail

Nous tenons également à remercier l'ensemble des enseignants de l'ENSTP pour toutes les informations qu'ils nous ont prodigué durant notre formation.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'étude. Nous tenons à remercier notre encadreur Mr. CHENANE Mouloud et notre Co-Encadreur FEDGHOUCHE Ferhat Pour leur aide très précieuse.

إهداء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله أما بعد:

أهدي هذا العمل الذي تم بفضل الله علينا وبعد ثمرة مسيرة طويلة من طلب العلم والعمل إلى :
الوالدة الغالية العزيزة التي تعبت و كافحت وسهرت على تربيته و تعليمي والتي مهما فعلت لن
أقدر على مكافئتها

الوالد العزيز قدوتي في الحياة رحمه الله و أسكنه فسيح جنانه

أخواي إبراهيم و عباس حفظهما الله عز و جل

زميلي في العمل منوكات أسامة جزاه الله خيرا

عائلة زميت حفظهم الله جميعا

كل زملائي و أصدقائي وأحبائي بدون استثناء وكل من أحبنا و أحببناه في الله

كل من أسهم في إثراء هذا العمل

زميت بوبكر

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail a

*Mon père et ma mère, mes frères et mes
sœurs et À tous mes amis.*

MENOUKATE OUSSAMA

ملخص

هذه المذكرة تتمحور حول الدراسة التفصيلية لما قبل المشروع (APD) لخط السكة الحديدية الجديد الرابط بين مدينتي العفرون و تيبازة مع انشاء محطة بورقيقة.

المقطع المدروس يمتد على طول 9000م من النقطة الكيلومترية 10+000 إلى النقطة الكيلومترية 19+000 المشروع صمم وفق للمعايير الإتحاد الدولي للسكك (UIC) والشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) النمذجة الهندسية للمشروع أجريت بإستخدام برنامج CIVIL3D 2018

الكلمات المفتاحية: محطة, السكة الحديدية, UIC, CIVIL 3D 2018.

Résumé

Le présent mémoire synthétise l'étude en avant-projet détaillé (APD) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire EL-AFROUN –TIPAZA avec l'aménagement de la gare de Bourkika.

Le tronçon étudié démarre du PK 10+000 au PK 19+000 sur un linéaire de 9000 m. Le projet a été élaboré suivant les normes de l'Union International des Chemins de fer (UIC) et les recommandations Algériennes de la Société Nationale de Transport Ferroviaire (SNTF). La modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel CIVIL 3D 2018.

Mots clés : chemin de fer, gare, UIC, CIVIL 3D 2018.

Abstract

This memo summarizes the study in detailed design (APD) of the new railway line between the two cities EL-AFROUN-TIPAZA with realization of the station Bourkika.

The section studied starts at PK 10+000 to PK 19+000 over a length of 9000 m. The project was elaborated according to International Railway Union (UIC) and the Algerian recommendations of the National Railway Company (SNTF). Geometric modeling of the project was executed with software CIVIL3D 2018.

Key words: railway, station, UIC, CIVIL 3D 2018.

Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
TGV	Train a Grand Vitesse
IPCS	International Programme on Chemical Safety
CIACAD	Concise International Chemical Assessment
SNCF	Société nationale des chemins de fer français Société nationale des
SNTF	transports ferroviaires
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
UIC	Union Internationale des Chemins fer
ZIP	Zone Impact de Projet
SAT	Superficie Agricole Totale
SAU	Surface Agricoles Utiles
TRI	Taux de rentabilité interne
VAN	valeur actualisée nette
AEO	AutoRoute East Ouest
LRS	Long Rails Soudé
PK	Point kilométrique
R.P.O.A	Le Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art
PU	Puits de reconnaissance
SC	Sondage carotté
PDL	Pénétrromètre dynamique lourd
SP	Sondage pressiométrique
Em	Module pressiométrique Ménard
PL	Pression limite
Pf	Pression de fluage
VBS	valeur au bleu de méthylène
DS	Deval à sec
DH	Deval humide
MDE	Micro-Deval en eau
LA	Los Angeles
DRG	Dureté relative globale
RC	Résistance à la compression
OPN	Optimum PROCTOR Normal
GTR	Guide Terrassement Routier
GF	Garage franc
LU	Longueur utile
LG	Longueur de la marge de glissement
BV	Bâtiment Voyageur
BS	Bâtiment de service
BUD	Bâtiment à Usage divers

Liste des Symbole

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de la courbe	M
Dv	Devers d'équilibre	mm
dp	Devers prescrit	mm
C	Coefficient de devers	/
I	Insuffisance de devers	mm
E	Excès de devers	mm
A	Constante de raccordement progressif	m
$\Delta d/\Delta l$	Variation de devers	mm
$\Delta I/\Delta t$	Variation d'insuffisance de devers	mm/s
V	vitesse	Km/h
Vr	Vitesse du terrain le plus rapide	Km/h
Vl	Vitesse du train le plus lent	Km/h
Cu	Cohésion	KN/m ²
T _{moyen}	Température moyenne	°C
Tc	Temps de concentration	heure
Q	Débit	m ³ /s
Cr	Coefficient de ruissèlement	/
I	Intensité de pluies	mm/h
Kst	Coefficient de Strickler	/
Rh	Rayon hydraulique	m
Sm	Surface mouille	m ²
Pm	Périmètre mouillé	m
Qa	Débit d'apport	m ³ /s
Qs	Débit plein section	m ³ /s
D max	Diamètre maximal des granulats	mm
γ_d	Poids volumique sec	t/m ³
γ_d max	Poids volumique sec maximale	t/m ³
γ_h	Poids volumique humide	t/m ³
Sr	Degré de saturation	l , %
Rd	Résistance dynamique de pointe	MPa
Cc	Indice de compressibilité	%
Cg	Indice de gonflement	%
Qadm	Capacité Portant admissible	MPa
W	Teneur en eau naturel	%
W opt	Teneur en eau optimal	%
Cu	Cohésion non drainé	Bars
φ	Angle de frottement interne	°

Liste des figures

Figure I. 1 Traverse en bois.....	4
Figure I. 2 usure mécanique	5
Figure I. 3 formations des fentes.....	5
Figure I. 4 pourriture du bois	5
Figure I. 5 Cylindre d'imprégnation.....	6
Figure I. 6 Déchet des traverses toxiques.....	6
Figure I. 7 dimensions des traverses métalliques	7
Figure I. 8 traverse métallique.....	7
Figure I. 9 pose des traverse par des soldats	9
Figure I. 10 Traverses prismatiques monobloc	10
Figure I. 11 Traverse Type Orion.....	10
Figure I. 12 Essais pour traverse dans laboratoire de SNCF	12
Figure I. 13 Traverse en forme de Y	13
Figure I. 14 Traverse en échelle	13
Figure I. 15 Traverse en Plastique.....	13
Figure II. 1 Localisation de wilaya de Tipaza en Algérie.....	16
Figure II. 2 Différents ensembles morphologiques traversés par le tracé entre El Affroun et Cherchell	17
Figure II. 3 Situation géographique du grand bassin côtier Algérois.(Source Agence de bassin).....	18
Figure II. 4 Carte administrative de wilaya de Tipaza	20
Figure II. 5 Futur Port Centre de Cherchell	22
Figure III. 1 Zone d'influence directe du projet (ZIP)	25
Figure III. 2 Cartes des activités économique dans la zone d'influence du projet	29
Figure III. 3 Futur Port Centre de Cherchell	29
Figure IV. 1 Nomenclature des composantes de rail.....	33
Figure IV. 2 Le profil du rail 60 E1 (UIC 60).....	34
Figure IV. 3 différents Ecartement des rails	34
Figure IV. 4 Traverse bi-blocs	35
Figure IV. 5 Assemblage par soudure	38
Figure IV. 6 Assemblage par éclissage	38
Figure IV. 7 Attache type NABLA.....	39
Figure V. 1 Schéma de raccordement de progressif.....	42
Figure V. 2 Dévers	43
Figure V. 3 Schéma de raccordement de dévers	45
Figure V. 4 Paramètres du tracé en plan	48
Figure V. 5 Éléments géométriques du profil en long	49
Figure VI. 1 Éléments géométriques du profile en travers.....	53

Figure VII. 1 Carte géologique de la zone d'étude	56
Figure VII. 2 Situation du secteur d'étude sur la carte de zonage sismique du territoire national.	58
Figure VII. 3 Puit de reconnaissance 12 (00.00 à 03.50m)	59
Figure VII. 4 Sondage carotté 05 (00.00 à 15.00m).....	61
Figure VII. 5 Schéma de principe d'un pénétromètre dynamique	61
Figure VII. 6 Schéma de principe de l'essai Pressiométrique.....	63
Figure VIII. 1 Les différentes couches de la structure d'assise.....	67
Figure VIII. 2 La forme du ballast	69
Figure VIII. 3 L'épaisseur de la couche d'assise	73
Figure VIII. 4 L'épaisseur de différentes couches	76
Figure IX. 1 Situation géographique du grand bassin côtier Algérois.....	77
Figure IX. 2 cartes des bassins versant.....	78
Figure IX. 3 Schéma du fossé adopté.....	82
Figure X. 1 Equipement de la gare voyageur.....	87
Figure X. 2 Schématisation de la marge de glissement.....	89
Figure X. 3 Garage franc.....	89
Figure X. 4 Longueur utile	90
Figure X. 5 Plan de situation de la gare de Bourkika.....	91
Figure X. 6 Schéma de passerelle de la gare de Bourkika	93
Figure X. 7 Assainissement dans la gare.....	94

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Comparaison bi-blocs/monoblocs.....	10
Tableau I. 2 Avantages et inconvénients de travers en bois.....	13
Tableau I. 3 Avantages et inconvénients de travers Métallique.....	13
Tableau I. 4 Avantages et inconvénients de travers en Béton.....	14
Tableau I. 5 Tableau comparative	14
Tableau II. 1 Répartition mensuelles des précipitations en (mm) de l'année 2006.	18
Tableau II. 2 Répartition mensuelles de la température en (°C) de l'année 2006.....	18
Tableau IV. 1 Les principales caractéristiques et cotes des rails	34
Tableau V. 1 Valeur limite maximales des éléments de tracé.....	41
Tableau V. 2 Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur	45
Tableau V. 3 Taux de variation du dévers dd/dt	46
Tableau V. 4 Valeurs Limites	46
Tableau V. 5 Valeurs des rayons verticaux de raccordement minimaux à respecter.....	50
Tableau VI. 1 Volumes des terrassements	54
Tableau VI. 2 Volumes des couches d'assise ferroviaire.....	54
Tableau VII. 1 Localisation et description des puits de reconnaissance	59
Tableau VII. 2 Localisation et description des sondages carottés.....	60
Tableau VII. 3 Localisation et résultat de l'essai au pénétromètre dynamique	62
Tableau VII. 4 Localisation et résultat de l'essai pressiométrique.....	63
Tableau VII. 5 Résultats des essais d'identification issus des sondages carottés et des puits de reconnaissance.....	64
Tableau VII. 6 Résultats des paramètres physiques issus des sondages carottés.....	65
Tableau VII. 7 Résultats des essais mécaniques issus des sondages carottés	66
Tableau VIII. 1 Classification des sols du tracé selon les fiches UIC719R et GTR.....	71
Tableau VIII. 2 Détermination de la classe de portance de la plate-forme	71
Tableau VIII. 3 Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur.....	72
Tableau IX. 1 Paramètres de Montana	80
Tableau IX. 2 Désignation des Coefficient de ruissellement par zones	80
Tableau X. 1 La composition des réseaux selon leur destination.....	88
Tableau X. 2 Valeurs géométriques des quais proposé par la SNTF	92
Tableau X. 3 Valeurs géométriques des quais de la gare.....	92
Tableau X. 4 Dimensions de la toiture des quais	92
Tableau X. 5 Appareils de voies dans la gare	93
Tableau X. 6 Paramètres géométriques des voies	94

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENRALE	1
 CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : TRAVERES EN VOIE FERRE TECHNOLOGIE ET CHOIX ECONOMIQUE	
I.1. INTRODUCTION	2
I.2. PROBLEMATIQUE A POSER	3
I.3. TRAVERSE IDEALE ROLES ET FONCTIONS	3
I.3.1. Les fonctions principales des traverses	3
I.3.2. Exigences sur les traverses.....	3
I.3.2.1. Technique.....	3
I.3.2.2. Economique	4
I.4. LES DIFFERENT TYPES DES TRAVERSES	4
I.4.1. Traverse en bois	4
I.4.1.1. Les défauts des traverses en bois	5
I.4.1.2. L'imprégnation des traverses en bois	5
I.4.1.3. Le danger de créosote	6
I.4.1.4. Toxicité de la créosote	6
I.4.2. Les traverse métallique	7
I.4.3. Bois ou Métal ?	8
I.4.4. Traverses en béton arme	9
I.4.4.1. Historique.....	9
I.4.4.2. Types de traverse en béton arme.....	9
I.4.4.2.1. Traverses prismatiques monobloc en béton arme	9
I.4.4.2.2. Traverses mixtes en béton arme ordinaire	10
I.4.4.2.3. Traverses en béton précontraint	10
I.4.4.3. Comparaison bi-blocs/monoblocs.....	11
I.4.4.4. La normalisation et maintenance des traverses béton.....	11
I.4.4.5. Conclusions pour les traverse en béton.....	12
I.4.5. Autre types et modèle et recherche scientifique	13
Figure I. 11 Traverse en forme de Y	13
I.4.5.1. Traverse en forme de Y.....	13
I.4.5.2. Traverse jumeaux.....	13
I.4.5.3. Traverse en échelle.....	13
I.4.5.4. Traverse en Plastique	13
I.5. RESULTAT	14
I.5.1. Avantages et inconvénients des traverses en bois.....	14
I.5.2. Avantages et inconvénients des traverses Métallique	14
I.5.3. Avantages et Inconvénients des traverses en Béton	15
I.6. CONCLUSION.....	15
I.7. REFERENCES ET ARTICLES	16

CHAPITRE II : PRESENTATION DE PROJET

II.1. INTRODUCTION	17
II.2. PRESENTATION DE WILAYA DE TIPAZA	17
II.2.1. Situation Géographique et Relief	18
II.2.2. Contexte géomorphologie.....	18
II.2.3. Climat et contexte hydrologique.....	19
II.2.4. Contexte géologie	20
II.2.5. Evolution démographique.....	20
II.3. PRESENTATION GENERALE DE PROJET	20
II.4. BUT DE PROJET	23
II.5. OBJECTIF DE PROJET	23
II.6. DONNES DE PROJET	24

CHAPITRE III : ETUDE DE FAISABILITE

III.1. INTRODUCTION	25
III.2. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE	25
III.2.1. Zone d'influence indirecte :	25
III.2.2. Zone d'influence directe.....	25
III.3. FAISABILITE SUR LE PLAN TECHNIQUES	26
III.4. FAISABILITE SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTALE	27
III.5. FAISABILITE SUR LE PLAN SOCIO-ECONOMIQUES	27
III.5.1. Démographie De La Zone D'influence Du Projet	27
III.5.2. Emploi	27
III.5.3. Pôles générateurs des déplacements.....	28
III.5.3.1. Agriculture	28
III.5.3.2. Pêche	28
III.5.3.3. Tourisme.....	28
III.5.3.4. Industries Et Les Mines.....	28
III.5.4. Impacts Socio-économiques Du Projet	28
III.6. FAISABILITE SUR LE PLAN ECONOMIQUES	29
III.6.1. Pôles Générateurs Des Déplacements	30
III.6.2. Estimation De La Demande	31
III.6.2.1. Trafic Passager	31
III.6.2.2. Trafic Marchandises	31
III.6.3. Analyse Financière Et Economique	31
III.6.4. Coût Du Projet.....	31
III.6.4.1. Cout D'investissement	32
III.6.4.2. Cout D'entretien.....	32
III.6.4.3. Cout D'exploitation.....	32
III.6.5. Evaluation Des Avantages	32
III.6.6. Calcul De La Rentabilité	32
III.6.7. Analyse Financière.....	32
III.7. CONCLUSION	33

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

IV.1. INTRODUCTION	34
IV.2. CATEGORIES DE VOIES.....	34
IV.3. CARACTERISTIQUES DE LA VOIE	34
IV.4. COMPOSANTES DE LA VOIE	34
IV.4.1. Les rails	34
IV.4.2. Ecartement des rails	35
IV.4.3. Inclinaison des rails.....	36
IV.4.4. Les travers	36
IV.4.5. Le ballast.....	36
IV.4.6. Les Types des appareils de voies	36
IV.5. ASSEMBLAGE DES RAILS	38
IV.6. SYSTEMES DE FIXATION	39
IV.6.1. Attaches et semelles	40
IV.6.2. Types d'attaches.....	40
IV.7. CONCLUSION	40

CHAPITRE V : ETUDE GEOMETRIQUE

V.1. INTRODUCTION	41
V.2. TRACE EN PLAN	41
V.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan	41
V.2.1.1. Les conditions de raccordement	41
V.2.1.2. Quantification des Paramètres.....	42
V.2.2. Les éléments de tracé en plan.....	43
V.2.2.1. Les alignements ($R=\infty$)	43
V.2.2.2. Les courbes circulaires ($R= \text{Constant}$)	43
V.2.2.3. Les courbes de raccordement($R= \text{Variable}$)	43
V.2.3. Les Paramètres Géométrique.....	43
V.2.3.1. Dévers théorique (d_r)	43
V.2.3.2. Dévers pratique (d_p)	44
V.2.3.3. Le coefficient de dévers (C)	45
V.2.3.4. Notion d'insuffisance et de l'excès de dévers	45
V.2.3.5. Raccordement de dévers.....	46
V.2.3.6. Variation en l'insuffisance de dévers ($\Delta d/\Delta t$)	46
V.2.3.7. Variation de dévers.....	46
V.2.4. Calcul de clothoïde	47
V.2.5. Application numérique pour le calcul des devers	47
V.2.5.1. Détermination du Rayon minimale normale ($R_{\min}$).....	48
V.2.5.2. Calcul du coefficient de dévers (C)	48
V.2.5.3. Détermination de dévers pratique (d_p).....	48
V.2.5.4. Calcul de l'insuffisance (I) et l'excès de dévers (E)	48
V.2.5.5. Calcul de la longueur de clothoïde	49
V.2.6. Application sur projet.....	49
V.3. PROFILE EN LONG	50
V.3.1. Introduction	50
V.3.2. Règles à respecter dans le Profile en Long.....	50
V.3.3. Eléments géométriques du profil en long.....	50
V.3.4. Longueur minimale des éléments du profil en long	51

V.3.5. Le raccordement en profil en long.....	51
V.3.6. Coordinations profil en long-tracé en plan.....	51
V.4. CONCLUSION.....	51

CHAPITRE VI : PROFILS EN TRAVERS

VI.1. INTRODUCTION	52
VI.1.1. Profil en travers type :	52
VI.1.2. Profil en travers courant :	52
VI.2. ETABLISSEMENT DE PROFILE TYPES	52
VI.2.1. Elément de la superstructure	52
VI.2.2. Eléments de l'infrastructure	52
VI.2.3. Eléments de talus	52
VI.2.4. Eléments d'assainissement.....	52
VI.2.5. Les éléments de protection de la voie	52
VI.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS.....	53
VI.4. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET	53
VI.5. CALCUL DES CUBATURES	54
VI.6. CONCLUSION	55

CHAPITRE VII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VII.1. INTRODUCTION	56
VII.2. ETUDE GEOLOGIQUE	56
VII.2.1. Contexte géomorphologique.....	56
VII.2.2. Contexte géologique	56
VII.2.3. Contexte sismique.....	58
VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE	59
VII.3.1. Les puits de reconnaissance	60
VII.3.2. Les sondages carottés	61
VII.3.3. Les essais in-situ	62
VII.3.3.1. Essai au pénétromètre dynamique	62
VII.3.3.2. Essai pressiométrique	63
VII.3.4. Essais au laboratoire	64
VII.3.4.1. Essais d'identification physico-chimique	64
VII.3.4.2. Essais mécaniques	66
VII.4. Classification des matériaux par unité lithologique.....	67
VII.5. CONCLUSION.....	67

CHAPITRE VIII : DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE

VIII.1. INTRODUCTION	68
VIII.2. ETABLISSEMENT DE STRUCTURE D'ASSISE	68
VIII.3. CARACTERISTIQUES ET ROLES DES DEVERS COUCHES D'ASSISE	68
VIII.3.1. La couche de ballast	69
VIII.3.1.1. Rôle de ballast	69
VIII.3.1.2. Caractéristiques du ballast.....	69
VIII.3.2. La sous couche	70
VIII.3.2.1. Rôle de sous-couche	70
VIII.4. STRUCTURE D'ASSISE	71

VIII.4.1. Classification de la plate-forme	71
VIII.4.1.1. Classe de qualité des sols	71
VIII.4.1.2. Classe de portance de la plate-forme	72
VIII.4.2. Calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise.....	73
VIII.5. APPLICATION AU PROJET	74
VIII.5.1. Plate-forme	74
VIII.5.2. Exigences sur les constituants de l'assise.....	74
VIII.5.3. Méthode de dimensionnement adoptée	75
VIII.5.3.1. Couche de forme	75
VIII.5.3.2. Détermination de l'épaisseur des couches.....	76
VIII.6. CONCLUSION	77

CHAPITRE IX : ETUDE HYDRAULIQUES ET ASSAINISSEMENT

IX.1. INTRODUCTION	78
IX.2. DESCRIPTION DE LA REGION D'ETUDE.....	78
IX.2.1. Le Réseau Hydrographique.....	78
IX.3. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	78
IX.3.1. La Pluviométrie.....	79
IX.4. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	79
IX.4.1. Caractéristiques des bassins versants.....	79
IX.4.2. Etude des Crues.....	80
IX.4.2.1. Temps de concentration:	80
IX.4.2.2. Estimation des débits d'apport (Qa).....	81
IX.4.3. Assainissement Transversale.....	82
IX.4.3.1. Dimensionnement des Dalot	82
IX.4.4. Assainissement longitudinale.....	83
IX.4.4.1. Dimensionnement des fossés	83
IX.4.5. Application Numérique sur le projet.....	84
IX.4.5.1. Le débit apporté par la plateforme	84
IX.4.5.2. Le débit apporté par la berme.....	84
IX.4.5.3. Le débit apporté par le talus	84
IX.4.5.4. Le débit Total	85

CHAPITRE X : AMENAGEMENT DE LA GARE

X.1. INTRODUCTION	86
X.2. LES DIFFERENTS TYPES DES GARES	86
X.3. CONCEPTION GENERALE DES GARES	86
X.3.1. Plan de masse d'une gare	86
X.3.2. Installations de base d'une gare.....	86
X.4. GARES DE VOYAGEURS.....	87
X.4.1. Types de gares de voyageurs.....	87
X.4.2. Equipements de gares de voyageurs.....	87
X.5. GARES DE MARCHANDISES	88
X.5.1. Equipements de gares de marchandises	88
X.6. RESEAU DE VOIE.....	89
X.6.1. Marge de glissement à l'aval des signaux	89
X.6.1.1. Les longueurs de la marge de glissement.....	89
X.6.2. Garage franc	90

X.6.3. Longueur utile	91
X.6.4. Les appareils de voie	91
X.7. APPLICATION AU PROJET	92
X.7.1. Situation de gare	92
X.7.2. Caractéristiques géométriques de la gare	93
X.7.2.1. Déclivité	93
X.7.2.2. Les quais	93
X.7.2.3. Réseau de voie	94
X.7.3. Assainissement dans la gare	95
X.8. CONCLUSION	95

CHAPITRE XI : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.1. INTRODUCTION	96
XI.2. REGLEMENTATION	96
XI.3. ETAPES D'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	97
XI.4. LA DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE	97
XI.5. IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT	97
XI.5.1. Impacts de la phase de réalisation	97
XI.5.2. Impacts de la phase exploitation	99
XI.5.2.1. Impacts positifs	99
XI.5.2.2. Impacts négatifs	100
XI.6. MESURES ENVISAGEES	100
XI.6.1. Mesures de maximisation des impacts positifs	100
XI.6.2. Mesures de compensation des impacts négatifs en phase chantier	101
XI.6.3. Mesures de compensation des impacts négatifs en phase exploitation	102
XI.6.3.1. Qualité de l'air	102
XI.6.3.2. Protection des ressources en eaux	102
XI.7. CONCLUSION	102

CHAPITRE XII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF.....103

CONCLUSION GENRALE104



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux d'infrastructures de transport sont la colonne vertébrale du développement économique des pays. Ils sont porteur de croissance économique, créateur d'emplois et permet de redonner une dynamique à des secteurs économiques

Le transport ferroviaire a bien trouvé sa place dans le secteur du transport. Avec d'autant d'avantages par rapport au transport routier pour les usagers et aussi par les avantages apportés pour l'environnement.

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. Ce réseau sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire.

Le projet de la ligne ferroviaire entre dans le programme de raccordement de port -centre d'El Hamdania-Cherchell-, classé parmi les 30 plus grandes infrastructures portuaires au monde- au réseau ferroviaire national ce qui permet également de l'habilité un rôle prépondérant dans le trafic commercial mondial, dont notamment les régions du Nord, Centre et Ouest du continent africain.

Dans le cadre de ce projet on présente notre travail qui consiste à faire une conception et étude de la nouvelle ligne ferroviaire sur une linéaire de 9 Km.

La structure de ce mémoire comporte principalement 11 chapitres plus un chapitre réservé au volet master répartis comme suit :

Un chapitre master consacré à une recherche bibliographique intitulé « RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : TRAVERES EN VOIE FERRE TECHNOLOGIE ET CHOIX ECONOMIQUE »

Pour le Projet de Fin d'Etude, Nous aborderons dans le premier chapitre des généralités sur la wilaya de Tipaza zone de projet et la présentation du projet.

Le deuxième chapitre comprendra l'étude de faisabilité de ce projet.

Dans chapitre V, nous présentons les définitions des paramètres du tracé retenu, le tracé en plan adopté définitif et ses éléments ainsi que le profil en long du tracé retenus et le profil en travers types avec ses éléments.

Une fois le tracé fini, nous faisons une étude géotechnique

Dans les chapitres suivant, nous dimensionnons la couche de forme et la plateforme ferroviaire, le système d'assainissement et le calcul hydraulique, et les équipements de la voie.

Dans le reste du mémoire, nous abordons une conception de la gare de BOURKIKI, et l'impact sur l'environnement et devis quantitatif et estimatif de notre projet.

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : TRAVERES EN VOIE FERREE TECHNOLOGIE ET CHOIX ECONOMIQUE

- I. 1. Introduction
- I. 2. Problématique à poser
- I. 3. Traverse idéale : rôles et fonctions
 - I. 3. 1. Les fonctions principales des traverses
 - I. 3. 2. Exigences sur les traverses
- I. 4. Méthodologie
 - I. 4. 1. Traverse en bois
 - I. 4. 2. Les traverse métallique
 - I. 4. 3. Bois ou Métal ?
 - I. 4. 4. Traverses en béton arme
 - I. 4. 5. Autre types et modèle et recherche scientifique
- I. 5. Résultat
- I. 6. Conclusion
- I. 7. Références et article



CHAPITRE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : TRAVERSES EN VOIE FERREE TECHNOLOGIE ET CHOIX ECONOMIQUE

I.1.INTRODUCTION

L'invention de la roue est datée 3 500 ans avant notre ère. Son roulement sur le sol, si elle est une avancée considérable de l'activité humaine, présente néanmoins une contrainte importante du fait de sa très faible surface de contact. Les Romains pallièrent cet inconvénient en construisant des voies en matériaux durs et même, en aménageant des ornières pour éviter le dérapage transversal. Deux notions fondamentales prennent ainsi corps : le support réparti de la charge et son guidage.

Le XVI^e siècle apporte une solution à cette problématique : deux roues associées, formant un essieu, roulent sur une voie constituée par deux profils parallèles en bois ; la charge est ainsi répartie sur le sol pour éviter l'enlèvement. Les deux profils assurent le guidage de l'essieu. La plus ancienne reproduction de voie date de 1550 montrant un wagonnet poussé par un mineur dans la mine alsacienne de Leberthal.

En 1738, dans les mines de Whitehaven en Grande-Bretagne, la voie se perfectionne, les profils de bois sont recouverts de plaques métalliques. Reynolds introduit les premiers « rails » entièrement en fonte en 1763. En 1804, Trevithick construit la première « locomotive » sur voie ferrée, appliquant la théorie de l'énergie de la vapeur de Denis Papin (1671). L'énergie humaine et animale est alors remplacée par celle de la vapeur et permet ainsi la traction de lourdes charges à des vitesses bien supérieures.

Le chemin de fer devient ainsi le premier système de transport terrestre à grande capacité. La technologie de la voie, assurant la répartition de la charge et son guidage, autorise la constitution de véritables convois de nombreux véhicules, attelés les uns aux autres et appelés « trains ».

Du système ferroviaire, l'infrastructure en est la composante fondamentale au sens propre du terme, comme l'eau pour le transport maritime ou l'air pour le transport aérien. La voie ferrée en est l'acteur principal. Elle autorise l'accroissement permanent des capacités de transport qui passent de 100 à 3 000 tonnes ; la charge sur chaque essieu est portée à 20, voire 30 tonnes ; en dernières années, la vitesse de 331 km/h sur rail est atteinte. Mais, elle en subit également toutes les contraintes : relief et climat, notamment. Cette infrastructure reste cependant l'interface essentielle entre sol et matériel roulant dont elle doit garantir les performances et la sécurité de circulation.

Notons que les développements et progrès relatifs à la voie sont au moins aussi importants que ceux qui ont permis celui du matériel roulant. Les deux sont d'ailleurs liés de sorte qu'un dialogue permanent est indispensable entre les acteurs de ces deux composantes du transport ferroviaire.

Le chemin de fer prend ainsi une importance majeure sur le plan économique et social, mais aussi militaire, en réduisant considérablement la durée des mobilisations et le temps de transport des troupes. Il intéresse ainsi les États, qui exercent tous à des degrés divers une tutelle ou un contrôle sur les réseaux nationaux.

Parallèlement à ces progrès, l'industrie ferroviaire ne cesse d'améliorer les conditions de vitesse et de confort en particulier pour le transport de voyageurs. Dans l'après-guerre, cette tendance aboutit à la disparition de la locomotive à vapeur dans tous les réseaux modernes, et au déploiement commercial de la traction électrique, qui permet d'obtenir des vitesses élevées, et qui donne lieu à la création de réseaux à grande vitesse sur lesquels circulent des trains dédiés.

I.2.PROBLEMATIQUE A POSER

Vu tout le progrès et le développement des chemins ferre les ingénieurs ont été toujours face à une mission non terminable d'apporté des solutions techniques et économiques, et de développée nouveau technologies des composantes de la voie, qui doit satisfaire plus les exigences techniques suivant :

- Sécurité des voyageurs ; des marchandises et de matérielle lors de transport
- La demande sur des vitesses élevées pour des raisons d'efficacité économique et de temps notamment sur les lignes de TGV
- La capacité de transporter des tonnages important
- Des solutions rentables et économiques pour masse production.
- Confort des utilisateurs

I.3.TRAVERSE IDEALE ROLES ET FONCTIONS

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, Le rôle des traverses est de maintenir les rails à l'écartement normal et de répartir la charge que les rails reçoivent des essieux sur une étendue suffisante de ballast pour ne pas dépasser une certaine charge unitaire.

Sous quelles conditions les traverses rempliront-elles convenablement cet office ?

I.3.1. Les fonctions principales des traverses

1. Maintenu les rails dans leur alignement.
2. une rigidité et support aux rails.
3. Transfer les charges de rails vers une large surface de ballast
4. Jouer un rôle d'un intermédiaire élastique entre le ballast et les rails pour absorber les vibrations causé par les charges mobiles
5. Assurer une stabilité longitudinale pour le chemin permanent
6. Contribuer à la rectification de la géométrie du châssis de voie durant leur vie de service

I.3.2. Exigences sur les traverses

I.3.2.1. Technique

C'est à la fois une question de surface et une question de résistance, Il faut :

1. Que par leurs dimensions en longueur et en largeur, elles fournissent une surface d'appui suffisante pour que la pression unitaire reste dans certaines limites
2. Que leur épaisseur leur donne la rigidité nécessaire tout en leur laissant une certaine élasticité.

Il convient encore :

1. Que leur longueur soit telle qu'elle contribue à la stabilité de la voie.
2. Que par leur forme, les traverses s'opposent efficacement aux déplacements longitudinaux et transversaux.
3. Qu'elles résistent aux agents atmosphériques.
4. Qu'elles se prêtent au « bourrage » de la voie.
5. Qu'elles permettent l'emploi d'un système d'attaches du rail qui soit solide sans toutefois être trop rigide.

6. Qu'elles donnent éventuellement l'inclinaison de 1/20 aux rails.

En ce qui concerne la longueur des traverses remarquons que l'écartement des rails (points d'application de la charge) étant invariable.

- Une traverse trop longue à une tendance à se cintrer vers le bas et son milieu vient porter sur le ballast en la rendant dangereuse.
- Une traverse trop courte tend à se cintrer vers le haut et ses deux extrémités, ayant une surface d'appui insuffisante, ont tendance à s'enfoncer.

I.3.2.2. Economique

Appart les fonctions principales, une traverse idéal doit aussi voir les caractéristiques suivant :

1. Un prix initial et cout de maintenance minimum.
2. Un poids modéré pour un transport/pose aisé.
3. Les traverses doit prévoir anti-sabotage et anti-vole précaution.
4. La traverse doit être conçue de façon que possède la possibilité d'ajuster le gauge proprement.
5. Le matériau de traverse et ça forme doit être conçue de façon que ne pas endommagé durant leur transport.
6. La traverse doit être conçue de façon qu'elle résiste les vibrations de train.

I.4.LES DIFFERENTS TYPES DES TRAVERSESES

I.4.1. Traverse en bois

La traverse en bois est le type de la traverse le plus idéal et son utilité n'a pas diminué avec le passage du temps.

Historiquement, les traverses de chemin de fer en bois étaient fabriquées à la hache, appelées traverses de hache ou sciées pour obtenir au moins deux côtés plats. Une variété de bois résineux et de bois feuillus sont utilisés comme liens, le chêne, le jarrah et le karri étant des bois durs populaires, bien que de plus en plus difficiles à obtenir, en particulier de sources durables.

Les problèmes avec les attaches en bois incluent la pourriture, le fendage, l'infestation par les insectes, le découpage des plaques, également connu sous le nom de chair shuffle au Royaume-Uni (endommagement abrasif de l'attache causé par le mouvement latéral de la plaque d'attache) et la traction par piquage (où le picot se desserre progressivement de la cravate).

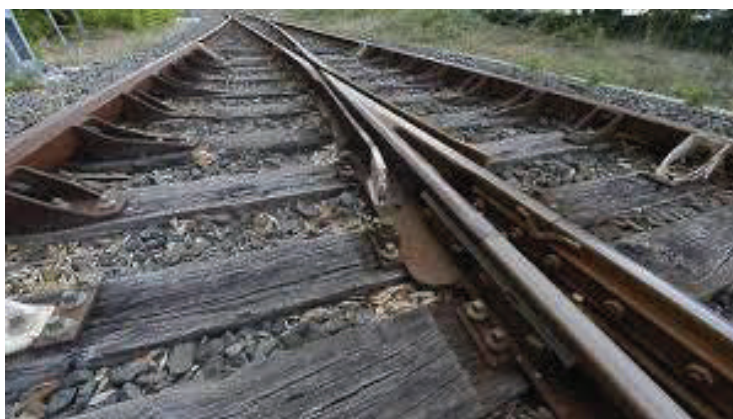


Figure I. 1 Traverse en bois

I.4.1.1. Les défauts des traverses en bois

Les causes essentielles de détérioration des traverses en bois sont :

1. d'ordre mécanique

Lorsque le rail repose directement sur la traverse la surface d'appui est soumise, au passage des charges, à une pression moyenne de l'ordre de 100 daN/ cm

Pour lutter contre l'usure mécanique, on utilise des selles métalliques ou des attaches élastiques combinées avec l'emploi de semelles en caoutchouc de quelques millimètres d'épaisseur interposées entre le patin du rail et la traverse.



Figure I. 2 usure mécanique

2. dues à la formation des fentes

Ces fentes sont la conséquence de l'anisotropie du bois d'une part et de la constante recherche d'équilibre hygroscopique avec l'air ambiant de ce matériau d'autre part. Les variations du degré hygrométrique du bois provoquent des variations dimensionnelles et des contraintes dépassant la force de cohésion des fibres et aboutissant à la formation de ces fentes. , Le fretage remédie très partiellement à ces désordres.



Figure I. 3 formations des fentes

3. dues à des attaques biologiques

Elles sont causées essentiellement par des champignons. Des attaques biologiques peuvent se développer sur du bois insuffisamment protégé : notamment cœur de chêne mis à nu par l'ouverture de fentes par exemple.



Figure I. 4 pourriture du bois

4. dues à des attaques chimiques

Il s'agit principalement de l'action du fer sur le bois se traduisant par une désagrégation du bois dans les entailles. Cette interaction s'observe surtout sur le chêne.

I.4.1.2. L'imprégnation des traverses en bois

La pourriture du bois est due essentiellement à l'action de champignons qui se nourrissent des tissus ligneux et les détruisent. Or, pour vivre et se développer, ces parasites du bois demandent une température favorable et certaines quantités d'air, d'humidité et de nourriture. Pour rendre les bois imputrescibles, il faut donc supprimer l'une des quatre conditions nécessaires à la croissance des champignons.

Pour les traverses, partiellement enfouies dans le ballast et exposées aux intempéries, il n'est pas possible d'empêcher la pourriture en agissant sur l'air ou sur la température ou sur l'humidité il ne reste qu'à chercher à empoisonner la nourriture. Dans ce but, on imprègne les traverses d'un produit chimique qui fait du bois un produit toxique pour les champignons.

Mais il faut nécessairement encore que la matière injectée dans le bois puisse y pénétrer assez facilement et qu'en même temps, cette matière ne se volatilise pas et ne se délaye pas.

Les procédés d'imprégnation des traverses diffèrent les uns des autres, soit par la nature de la substance employée, soit par les moyens mis en œuvre pour la faire pénétrer dans le bois.

Résumées ci-après :

- pouvoir insecticide et fongicide maximal et constant dans Le temps malgré de fréquents délavages.
- injection aisée et diffusion homogène dans les bois imprenables.
- neutralité en ce qui concède :
 - les propriétés mécaniques du bois.
 - Le petit matériel de voie (semelles en caoutchouc, tirefonds, selles, etc...).
- conservation du caractère isolant électrique du bois.
- absence de toxicité pour le personnel charge de la manipulation.
- des traverses tant en atelier qu'en voie.
- prix acceptable.

Seule la créosote, huile lourde provenant de la distillation du goudron de houille possède la plupart de ces qualités. Il peut seulement lui être reprochée une action corrosive sur certaines semelles en caoutchouc ; il convient donc, pour cette raison et indépendamment des économies qui résultent de la réduction de la consommation, de limiter la quantité de créosote introduite dans les traverses notamment dans les traverses en hêtre.

I.4.1.3. Le danger de créosote

La créosote de goudron de houille est obtenue par distillation fractionnée de goudrons de houille bruts et se présente sous la forme d'un liquide huileux doté d'une odeur caractéristique. La composition chimique de la créosote est très dépendante de l'origine de la houille et du mode de distillation. Il en résulte une grande diversité de la nature et de la concentration des constituants de la créosote.

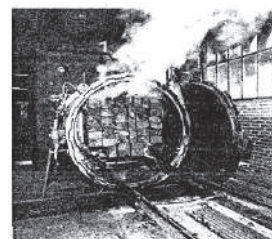


Figure I. 5 Cylindre d'imprégnation.

I.4.1.4. Toxicité de la créosote

Dans le cadre des travaux de l'« International Programme on Chemical Safety » (IPCS), une étude a été menée sur la créosote de goudron de houille. Ses résultats ont été repris dans le N° 62 de la série des CICAD (*Concise International Chemical Assessment*). La version définitive a été approuvée au cours de la réunion du Comité d'évaluation finale qui s'est tenue à Varna (Bulgarie) du 8 au 11 septembre 2003.



Figure I. 6 Déchet des traverses toxiques

Les synthèses et recommandations affirme que La créosote est donc une substance cancérigène, en ce sens que les études menées sur l'Homme fournissent des données concordantes selon lesquelles ce produit provoque des cancers. La toxicité de la créosote se retrouve dans les bois en ayant été imprégnés.

Sur le plan plus général de la mise sur le marché de l'occasion des traverses en fin de vie, on ne peut que souligner les dangers que peuvent représenter pour la santé et l'environnement la dispersion de ces déchets dangereux auprès d'utilisateurs disséminé.

Les traverses traitées à la créosote deviennent un déchet dangereux ; en Europe, dès le moment où elles sont abandonnées, démontées pour être abandonnées ou promises à un autre usage. Depuis 1993, la circulation en Europe, et l'entrée et la sortie de ces déchets aux frontières de la Communauté européenne sont soumises à une réglementation particulière.

Plus récemment L'utilisation des bois traités à la créosote a été interdit à compter du 23 avril 2019 par un arrêté interministériel paru le 11 janvier au Journal officiel en France L'interdiction porte sur la mise sur le marché et l'installation des bois traités, qu'ils soient importés ou non, qu'ils soient neufs ou d'occasion. Elle concerne les bois traités à la créosote ou avec d'autres substances, comme les distillats de goudron. "Cette interdiction concerne en priorité les 46 millions de traverses en bois créosoté qui soutiennent aujourd'hui le réseau ferroviaire français. 600.000 traverses usagées sont retirées des voies chaque année. Dans l'attente d'un substitut efficace, la SNCF remplace sous rail 300.000 traverses créosotées par ans, explique l'association Robin des bois.

I.4.2. Les traverses métalliques

La traverse en acier qui a pris naissance en 1880 en Allemagne vu la grande pénurie de traverses en bois, des traverses en acier ont été utilisées développées par les chemins de fer. Les traverses métalliques sont formées d'acier pressé et ont une section en forme de cuvette. Les extrémités du lien sont façonnées pour former une "bêche" qui augmente la résistance latérale de la traverse. Les logements destinés à recevoir le système de fixation sont soudés à la surface supérieure du lien. Les traverses en acier sont maintenant largement utilisées sur les lignes secondaires ou à basse vitesse au Royaume-Uni, où leur installation a été jugée économique en raison de leur capacité d'installation sur le lit de ballast existant. Les traverses en acier sont



Figure I. 8 traverse métallique

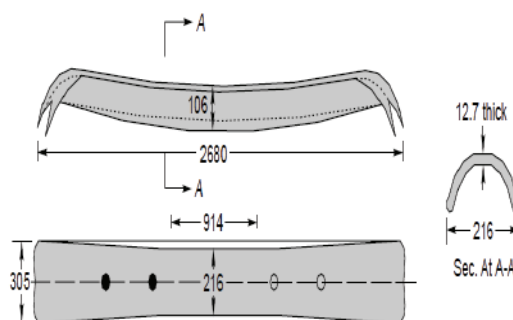


Figure I. 7 dimensions des traverses métalliques

plus légères que le béton et peuvent s'empiler en paquets compacts, contrairement au bois. Des traverses en acier peuvent être installées sur le ballast existant, à la différence des traverses en béton qui nécessitent une nouvelle profondeur de ballast. Les traverses en acier sont recyclables à 100% et nécessitent jusqu'à 60% moins de ballast que les traverses en béton et jusqu'à 45% moins que les traverses en bois.

Historiquement, les tirants en acier ont souffert d'une mauvaise conception et de charges de trafic accrues au cours de leur longue durée de vie. Ces conceptions anciennes et souvent obsolètes limitent la charge et la capacité de vitesse, mais sont encore disponibles dans de nombreux endroits dans le monde et offrent des performances adéquates malgré des décennies de service.

Il existe un grand nombre de traverses en acier ayant plus de 50 ans de service et, dans certains cas, elles peuvent et ont été réhabilitées et continuent à bien fonctionner. Les cravates

en acier étaient également utilisées dans des situations particulières, telles que le chemin de fer du Hejaz dans la péninsule arabique, où les bédouins étaient toujours confrontés à des problèmes de vol, qui volaient des traverses en bois pour les feux de camp.

Les traverses en acier modernes supportent des charges lourdes, ont fait leurs preuves sur les pistes signalées et traitent des conditions de piste défavorables. Les attaches en acier sont plus économiques à installer dans les nouvelles constructions que les attaches en bois.

Les traverses en acier sont utilisées dans presque tous les secteurs des systèmes ferroviaires mondiaux, y compris les transports lourds, de classe 1, régionale, des lignes secondaires, des mines, des lignes électrifiées de transport de passagers et dans toutes sortes d'industries. Notamment, les traverses en acier (supports) se sont avérées avantageuses au cours des dernières décennies pour les aiguillages et apportaient la solution au problème sans cesse croissant des longues traverses en bois destinées à cet usage.

Cependant, bien qu'elle exige un investissement initial plus élevé que la traverse en bois, elle donne des résultats satisfaisants techniquement et économiquement, particulièrement dans les pays où les bois de qualité sont chers.

1.4.3. Bois ou Métal ?

La valeur technique s'exprime par la capacité de résistance que la voie oppose aux efforts dynamiques du matériel roulant ainsi qu'aux influences atmosphériques.

La valeur d'une traverse peut s'estimer encore par la façon dont elle maintient l'écartement de la voie.

Le choix entre une traverses en bois ou traverses métalliques revient à :

- aux conditions locales.
- aux raisons économiques.

1. Conditions locales : On donnera la préférence à la traverse en bois

- dans les tunnels humides.
- dans les tranchées profondes et humides, où la voie est peu ou pas atteinte par le soleil.
- à la traversée des terrains marécageux.
- sur les ponts dépourvus de ballast, à cause de l'élasticité du bois.
- au bord de la mer à cause de l'humidité de l'air salin.
- dans les parages des usines ou des fabriques de produits chimiques dégageant des vapeurs acides.
- sur les lignes de voie électrifier afin d'assurer l'isolement des circuits électriques.

2. raisons économiques : l'utilisation des traverses métalliques devient intéressante par le soutien qu'elle donne à l'industrie nationale et par le trafic qu'elle apporte au chemin de fer lui-même (charbon, coke, minerais). Remarquons qu'une traverse métallique à selle soudée ne convient que pour le profil de rail pour lequel elle a été fabriquée ; une traverse métallique équipée pour le rail de 50 kg/m, par exemple, ne pourrait être réemployée en voie accessoire en rails de 40 kg. Pour la même raison, les occasions de vendre des traverses métalliques comme traverses industrielles sont rares. Mais la traverse métallique hors service conserve une valeur mitraille intéressante.

I.4.4. Traverses en béton armé

I.4.4.1. Historique

Le besoin de traverses en béton a été ressenti principalement en raison de considérations économiques couplé avec l'évolution des modèles de trafic. Aux débuts des chemins de fer mondiaux, le bois était le seul matériau utilisé pour fabriquer des traverses en Europe. Même à cette époque, les pénuries occasionnelles de traverses en bois et leur prix croissant ont posé certains problèmes et cela a donné un coup de fouet à la recherche d'un matériau alternatif pour les traverses.

Avec le développement de la technologie du béton au XIXe siècle, le béton avait acquis sa place en tant que matériau de construction polyvalent et pouvait être adopté de manière appropriée pour répondre aux exigences d'une voie ferrée. En 1877, M. Monnier, jardinier français et inventeur du béton armé, a suggéré ce béton de ciment pourrait être utilisé pour la fabrication de traverses de voies ferrées. Monnier en fait conçu une traverse en béton et obtenu un brevet pour cela, mais sa conception n'a pas fonctionné pas avec succès.



Figure I. 9 pose des traverse par des soldats

C'est vers 1907 que commencèrent des essais sérieux de traverses en béton armé où la conception a été perfectionnée et les chemins de fer autrichiens et l'Italie ont produit les premières traverses en béton au design prometteur autour du tournant du XIXe siècle. Cela a été suivi de près par les autres chemins de fer européens, où des essais à grande échelle de traverses en béton ont été effectués principalement en raison de considérations économique.

Cependant, il n'y a pas eu beaucoup de progrès avant la seconde guerre mondiale, lorsque les traverses en bois ont pratiquement disparu du marché européen et que leurs prix ont monté en flèche. Presque au même moment, à la suite de recherches approfondies menées des chemins de fer français et d'autres chemins de fer européens, la voie moderne était née.

Des sections de rail plus lourdes et de longs rails soudés ont vu le jour. La nécessité d'un type de traverse plus lourd et mieux adapté à la voie moderne a été ressenti. Celles-ci conditions ont donné un coup de fouet au développement de traverses en béton et de pays tels comme la France, l'Allemagne et la Grande-Bretagne ont beaucoup contribué au développement de traverses en béton à la perfection.

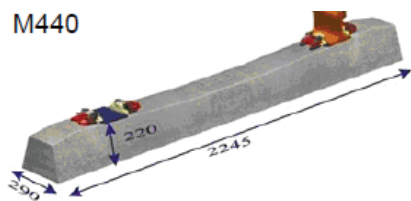
I.4.4.2. Types de traverse en béton armé

Les très nombreux types peuvent se rattacher à trois conceptions bien distinctes :

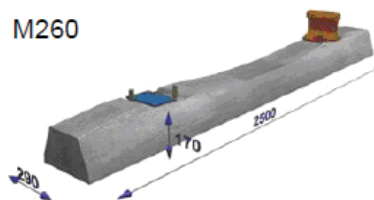
I.4.4.2.1. Traverses prismatiques monobloc en béton armé

La traverse est une poutre qui rappelle par sa forme la traverse prismatique en béton armé. Ce sont les traverses *Calot*, *Orion*,

M440



M260



La désignation de la traverse est codée. La première lettre correspond au type de traverse, les trois chiffres suivants donnent des indications sur les dimensions (largeur, hauteur sous rail). Plus la voie est noble, plus les dimensions de la traverse seront importantes sauf cas particuliers (tunnels, voie en quais, etc...) ou des traverses plus courtes, mais épaisses ou de type différent peuvent être requises

Traverses Type Calot ; Traverse Type Orion

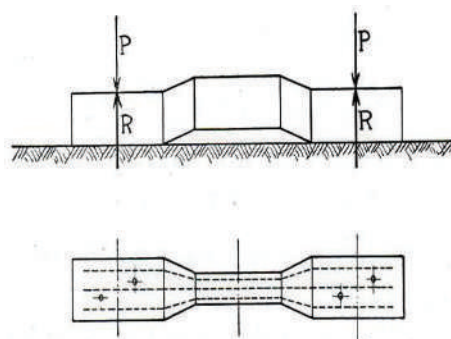


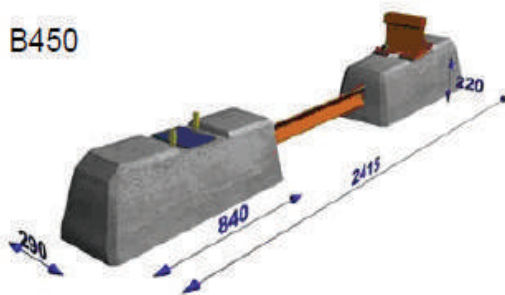
Figure I. 11 Traverse Type Orion

I.4.4.2.2. Traverses mixtes en béton armé ordinaire

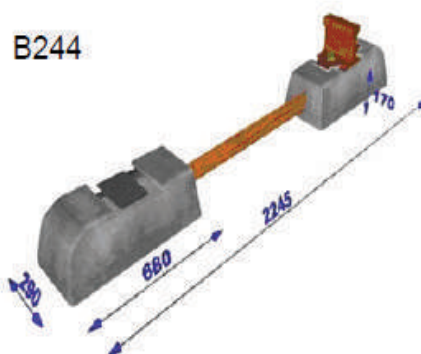
La traverse est constituée de deux appuis à large empattement, dont l'écartement est maintenu par une entretoise. Ce sont les traverses *Vagneux*, *S. N. C. B.*, *Sonneville*,

Traverses béton bi-blocs

B450



B244



I.4.4.2.3. Traverses en béton précontraint

Le béton armé pare à l'insuffisance de résistance à la traction du béton ordinaire par la présence de barres d'acier dans les régions soumises à l'extension. Mais, par suite de l'adhérence du béton à l'acier de l'armature, le béton suit les allongements que subissent les armatures sous les forces d'extension qui les sollicitent et, comme la capacité d'allongement du béton est très limitée, dès que la tension de l'acier dépasse quelque 10 kg/mm², le béton se fissure.

La tension des tirants se transmet au béton sous forme d'une compression égale à cette tension de sorte que la résistance à la fissuration est, en principe, égale à la tension de précontrainte.

Le retrait du béton et le fluage diminuent la tension du tirant d'où une perte de précontrainte mais si l'on constitue les tirants de fils d'acier de faible section et à haute résistance, on peut escompter que la perte de précontrainte ne dépassera pas 15 %.

Appliquée aux traverses de chemin de fer, la précontrainte a pour but principal de combattre la fissuration du béton. Beaucoup de réseaux s'intéressent à la question, mais on en est toujours au stade expérimental.

Les expériences statiques et dynamiques effectuées dans les laboratoires de l'Université de Liège sur des traverses en béton précontraint belges et britanniques attestent l'élasticité des fissures du béton précontraint c.-à-d. qu'elles se referment lors de l'enlèvement de la surcharge qui les produit.

I.4.4.3. Comparaison bi-blocs/monoblocs

Tableau I. 1 Comparaison bi-blocs/monoblocs

	Bi-blocs	Monoblocs
Liaison entre files de rail	Risque corrosion entretoise (-)	Risque fissuration au centre (-)
Résistance latérale	Butée transversale au centre (+)	Masse plus importante (+)
Pose et tenue de nivellement	Pose provisoire possible sur plateforme sans ballast (+)	Meilleure portance et donc nivellement moins fréquent (+)
Cout fabrication	Moins de matériaux (+)	Processus fabrication plus contraignant (-)

I.4.4.4. La normalisation et maintenance des traverses en béton

La traverse est un composant central de la voie ferrée on compte environ 350 000 pour 100 km de ligne à deux voies, la qualité et durabilité de ce composant est un enjeu technique et économique majeur. c'est pour ces raisons un composant très normé et contrôlé.

Les normes européennes de la série EN 13230 définissent la conception et les contrôles à faire sur les traverses :

- Essais de performance en laboratoire du produit fini : flexion statique et dynamique et contrôle fissuration.
- Spécifications à fournir par le client (dimensions, moments résistants et facteurs dynamiques).

Elles ne nécessitent pas de maintenance hors surveillance générale et leur durée de vie espérée est de 50 ans



Figure I. 12 Essais pour traverse dans laboratoire de SNCF

I.4.4.5. Conclusion pour les traverses en béton

Le poids de la traverse en béton est au moins double et parfois triple de celui d'une traverse en bois de chêne (80 kg) ce qui rend sa manutention plus difficile. La fragilité relative du béton exige que la traverse soit traitée avec plus de ménagement que la traverse en bois. Par suite de son poids élevé, la traverse en béton assure une meilleure stabilité de la voie ; mais elle donne une voie plus rigide car elle ne possède pas l'élasticité de la traverse en bois. Par contre, elle procure une économie de ballast et elle est peu sensible aux agents atmosphériques.

La traverse en béton est particulièrement intéressante pour les Colonies où les traverses en bois sont attaquées par les termites et où les traverses métalliques doivent généralement être importées ce qui en relève le prix, alors qu'il est souvent possible de trouver sur place les matériaux nécessaires à la fabrication de la traverse en béton, l'armature en acier exceptée.

La traverse en béton trouvera aussi son emploi là où les traverses en bois périment par pourriture, c'est-à-dire sur les lignes secondaires. Ici, en effet, la destruction organique précède la destruction mécanique.

L'emploi des traverses en béton précontrainte est encore très limité. Leur comportement sur les lignes à trafic *lourd et rapide* n'a pas été satisfaisant. Pour cette raison, sur certains réseaux, leur emploi a été limité aux lignes secondaires à trafic faible ou aux voies de garage.

L'intérêt se concentre sur les traverses précontraintes. Compte tenu des résultats réalisés lors des essais en laboratoire, on peut espérer que les traverses précontraintes donneront des résultats satisfaisants sur les lignes à trafic lourd et rapide, surtout si elles sont équipées d'attaches élastiques.

Enfin, pour que l'emploi des traverses en béton armé, précontraint ou non, puisse présenter de réels avantages économiques par rapport à celui des traverses en bois et métalliques, il est nécessaire que leur coût de fabrication subisse une réduction importante par rapport au prix actuel d'autres types de traverses.

I.4.5. Autre types et modèle et recherche scientifique

I.4.5.1. Traverse en forme de Y

Une forme inhabituelle d'attache est l'attache en forme de Y, développée pour la première fois en 1983. Par rapport aux attaches classiques, le volume de ballast nécessaire est réduit en raison des caractéristiques de répartition de la charge de l'attache en Y. En 2006, moins de 1 000 km (621 mi) de voies en Y-Tie avaient été construits, dont environ 90% en Allemagne.

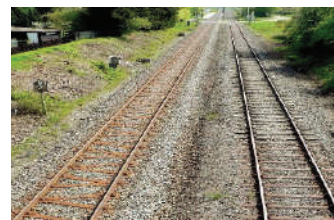


Figure I. 13 Traverse en forme de Y

I.4.5.2. Traverse jumeaux

La liaison ZSX Twin est fabriquée par la société Leonhard Moll Betonwerke GmbH & Co. KG et consiste en une paire de deux liaisons en béton précontraint reliées longitudinalement par quatre tiges en acier. On dit que la conception convient aux voies avec des virages serrés, soumises à des contraintes thermiques, telles que celles actionnées par des trains avec freins de Foucault, et des ponts, et comme voie de transition entre voie traditionnelle et voie en dalle ou ponts

I.4.5.3. Traverse en échelle

Sur les rails en échelle, les traverses sont posées parallèlement aux rails et mesurent plusieurs mètres de long. La structure est similaire à la piste de baulk de Brunel; ces attaches longitudinales peuvent être utilisées avec du ballast ou avec des supports en élastomère sur un support solide non lesté



Figure I. 14 Traverse en échelle

I.4.5.4. Traverse en Plastique

Plus récemment, un certain nombre de sociétés vendent des traverses de chemin de fer composites fabriquées à partir de résines plastiques recyclées et de caoutchouc recyclé. Les fabricants déclarent avoir une durée de vie supérieure à celle des attaches en bois, dont la durée de vie prévue est comprise entre 30 et 80 ans,

Outre les avantages environnementaux liés à l'utilisation de matériaux recyclés, les liens en plastique remplacent généralement les liens en bois imbibés de créosote, ce dernier étant un produit chimique toxique et étant eux-mêmes recyclables. Les traverses de voies ferrées hybrides en plastique et composites sont utilisées dans d'autres applications ferroviaires telles que les opérations minières souterraines, les zones industrielles, les environnements humides et les zones à forte densité de population.



Figure I. 15 Traverse en Plastique

I.5.RESULTATS

I.5.1. Avantages et inconvénients des traverses en bois

Tableau I. 2 Avantages et inconvénients de travers en bois

Avantages	Inconvénients
• Facile à fabriquer • Absorbe les chocs et supporte une bonne capacité à amortir les vibrations; donc, conserve bien l'emballage • Manipulation facile sans dommage • Convient aux sections à circuit de voie • Convient aux zones comportant des formations de béton • L'alignement peut être facilement corrigé • Plus adapté aux méthodes de maintenance modernes • Peut être utilisé avec ou sans ballast en pierre • Peut être utilisé sur les ponts et les cendriers	• Vie moins longue en raison d'usure, de pourriture et d'attaque de vermine • Dure à l'usure mécanique due à l'emballage du batteur • Difficile de maintenir la jauge • Sensible aux risques d'incendie • Valeur de chute négligeable

I.5.2. Avantages et inconvénients des traverses Métalliques

Tableau I. 3 Avantages et inconvénients de travers Métallique

Avantages	inconvénients
• Une longue vie • Jauge facile à entretenir et moins de problèmes de maintenance • bonne rigidité latérale • Moins de dégâts lors de la manutention et du transport • Procédé de fabrication simple • Très bonne valeur de rebut • Exempt de pourriture et d'attaque de vermine • Non sensible aux risques d'incendie	• susceptible de se corroder • Ne convient pas aux zones à circuit suivi • Possibilité de devenir centré à cause des pentes aux deux extrémités • Développer des fissures sur les rails de train pendant le service • La conception est spécifique au rail

I.5.3. Avantages et inconvénients des traverses en Béton

Tableau I. 4 Avantages et inconvénients de travers en Béton

Avantages	Inconvénients
- Les traverses en béton, étant lourdes, donnent plus de force et de stabilité à la voie et sont spécialement adaptés aux LRS en raison de leur grande résistance au flambement de piste. - Des traverses en béton avec attaches élastiques permettent à la voie de mieux se maintenir jauge, niveau transversal et alignement - Les traverses en béton, en raison de leur fond plat, conviennent mieux aux travaux modernes. Méthodes de maintenance de la voie telles que MSP et maintenance mécanique, qui ont leurs propres avantages. - Les traverses en béton peuvent être utilisées dans les zones à circuit électrique, car elles sont pauvres conducteurs d'électricité. - Les traverses en béton ne sont ni inflammables ni endommagées par des organismes nuisibles ou la corrosion dans des circonstances normales. - Les traverses en béton ont une durée de vie très longue, probablement de 50 à 60 ans. En tant que telles renouvellements de trains et de traverses peuvent être assortis, ce qui est un enjeu économique majeur avantage. - Les traverses en béton peuvent généralement être produites en série en utilisant des ressources locales.	- Il est difficile de manipuler et de poser des traverses en béton en raison de leur poids important. - Les méthodes mécaniques, qui impliquent des dépenses initiales considérables, ont être adopté pour les manipuler. - Les traverses en béton sont fortement endommagées au moment du déraillement. - Les traverses en béton n'ont pas de valeur de rebut. - Les traverses en béton ne conviennent pas à l'emballage des batteurs. - Les traverses en béton devraient de préférence être entretenues par des moyens lourds

I.6.CONCLUSION

Comparaison entre différents types de la traverse.

Tableau I. 5 Tableau comparative entre différents Types des traverses

Caractéristique	Type des traverses		
	Bois	Métallique	Béton armé
Duré de vie [ans]	12-15	40-50	50-60
Poids [kg]	83	79	200
Manipulation	Manuelle non endommagement lors de manipulation	Manuelle non endommagement lors de manipulation	Pas de manipulation manuelle, risque d'endommagement lors de manipulation
Type de maintenance	Manuelle ou mécanique	Manuelle ou mécanique	Mécanique
Cout de maintenance	élevé	Moyen	Bas
réglage de la jauge	Difficile	Facile	Pas possibilité d'ajustement
Domages causés par les fourmis blanches et la corrosion	Possibilité d'être endommagé par fourmi blanche	Possibilité d'être endommagé par corrosion	Pas de risque
Aptitude à la fixation	Convient à fixation conventionnelle et fixation élastique	Convient à fixation conventionnelle et fixation élastique	Convient à fixation seulement à la fixation élastique
l'élasticité de voie	Bien	Bien	Meilleur
glissement	Excessive	Moins	Minimum
Valeur de chute	Bas	Plus haut qu'en bois	Rien

I.7.REFERENCES ET ARTICLES

- [1]. Christopher A. Bolin¹, Stephen T., ***“Life Cycle Assessment of Creosote-Treated Wooden Railroad Cross ties in the US with Comparisons to Concrete and Plastic Composite Railroad Cross ties”***, Journal of Transportation Technologies, Published Online April 2013 (<http://www.scirp.org/journal/jtts>), 13 page.
- [2]. Olga Smirnova ***“OBTAINING THE HIGH-PERFORMANCE CONCRETE FOR RAILWAY SLEEPERS IN RUSSIA”***, Academic research paper on "Materials engineering",
- [3]. Jabbar Ali Zakeri Javad Sadeghi, ***Field investigation on load distribution and deflections of railway track sleepers, ”***, Published in India by Oxford University Press 2007
- [4]. Ibrahim Lotfy, Maen Farhat, Mohsen A Issa, Mustafa Al-Obaidi ***Flexural behavior of high-density polyethylene railroad cross ties***
- [5]. AI El-Ghandour, CD Foster ***Coupled finite element and multibody systems dynamics modelling for the investigation of the bridge approach problem***
- [6]. Jian Dai, Kok Keng Ang, Dongqi Jiang, Van Hai Luong and Minh Thi Tran ***Dynamic Response of High-Speed Train-Track System Due to Unsupported Sleepers***
- [7]. Kodai Matsuoka and Tsutomu Watanabe ***Application of a Frequency-Based Detection Method for Evaluating Damaged Concrete Sleepers***
- [8]. Laura Montalbán Domingo, Clara Zamorano Martín, Cristina Palenzuela Avilés, and Julia I. Real Herráiz, ***Analysis of the Influence of Cracked Sleepers under***
- [9]. ***Static Loading on Ballasted Railway Tracks***, The *Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 363547, 10 pages, 2014.
- [10]. Richard Lampo, ***“Development, Testing, and Applications of Recycled Plastic Composite Cross Ties”***, <https://www.researchgate.net>, 21 October 2014, 14 pages.
- [11]. Hailing Yu¹, David Jeong, John Choros and Ted Sussmann ***“Finite element modeling of prestressed concrete cross ties with ballast and subgrade support”***, 2011 International Design Engineering Technical Conferences, August 28-31, 2011, Washington, DC, USA, 10 pages.
- [12]. Kaewunruen, S, Gamage, EK & Remennikov, A 2016, 'Modelling railway prestressed concrete sleepers (cross ties) with holes and web openings' *Procedia Engineering*, vol. 161, pp. 1240-1246. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.556>
- [13]. Hameed, A.S., Shashikala, A.P., ***Suitability of Rubber Concrete for Railway Sleepers***, *Perspectives in Science* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.01.011>
- [14]. Yin Gao, Shushu Liu, Hai Huang, Shelley Stoffels, ***“The Movement of Railroad Ties: Simulation and Field Validation”***, Conference Paper, April 2016, <https://www.researchgate.net/publication/303446678>
- [15]. Satish chandra, m. agarwal, ***“RAILWAY ENGINEERING”***, Published in India by Oxford University Press 2007
- [16]. Philip POULGNY, ***« COURS d'Exploitation des chemins de fer, Ulysse Lamalle, Tome III, LA VOIE, Fascicule I »*** Ecole Paris Tech, *cours de chemin de ferré*.

PRESENTATION DE PROJET

II.1. INTRODUCTION

II.2. PRESENTATION DE WILAYA DE TIPAZA

II.2.1. Situation Géographique et Relief

II.2.2. Contexte géomorphologie

II.2.3. Climat et contexte hydrologique

II.2.4. Contexte géologie

II.2.5. Sismicité

II.2.6. Evolution démographique

II.3. PRESENTATION GENERALE DE PROJET

II.4. BUT DE PROJET

II.5. OBJECTIF DE PROJET

II.6. DONNES DE PROJET



II.1.INTRODUCTION

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire d'Algérie, l'état a projeté plusieurs projets parmi lesquels la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire à double voie électrifiée D'EL AFFROUN –TIPAZA.

Cette nouvelle infrastructure devra permettre en premier lieu de diminuer la charge sur la route et canaliser le surplus de voyageurs et les étudiants notamment en période estivale où les difficultés de circulation sont enregistrées quotidiennement.

La voie ferroviaire étudiée débute à EL AFFROUN et passe par les villes AHMER EL AIN, BOURKIKI, HAJOUT et prend fin à la ville de TIPAZA.

Le thème du Projet Fin Etude consiste à faire l'Etude de Avant-Projet Détaillé d'un tronçon de PK 10+000 Au PK 19+000 de la nouvelle ligne ferroviaire entre la ville de TIPAZA est la ville de EL AFROUN avec L'aménagement de la gare de BOURKIKI.

II.2.PRESENTATION DE WILAYA DE TIPAZA

La wilaya de Tipaza, est une wilaya algérienne située à 68 km à l'ouest de la capitale Alger. Le chef-lieu de la wilaya est Tipaza.

La présence de la mer, des reliefs du Chenoua et du Dahra donnent un paysage particulier et d'un intérêt touristique. De nombreux vestiges puniques, romains, chrétiens et musulmans attestent de la richesse de l'histoire de cette région.

La Wilaya de Tipaza est située sur la côte au pied du mont Chenoua, à l'extrémité des collines du Sahel.

Tipaza a le charme que confère la proximité de la montagne et de la mer. Bien abritée par le Chenoua, cette ville-port, fut un site idéal, choisi par les Phéniciens sur la route des Colonnes d'Hercule (Gibraltar), pour établir un de leurs fameux comptoirs. Les vestiges de l'époque démontrent l'importance de Tipaza qui connut un essor remarquable sous le règne du souverain numide Juba II.

Tipaza devint le prolongement de Césarée, et il y fut créé un véritable foyer d'Art et de Culture gréco-latine, où fleurirent aussi des éléments de la culture numide.

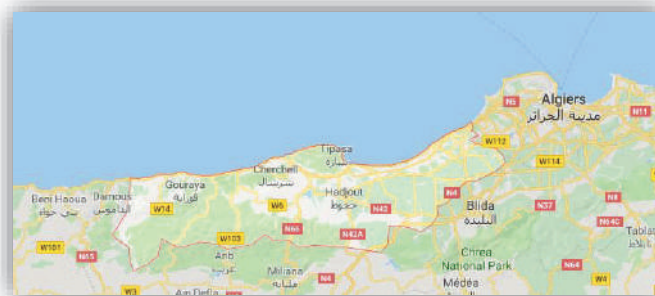


Figure II. 1 Localisation de wilaya de Tipaza en Algérie

II.2.1. Situation Géographique et Relief

Le territoire de la wilaya de Tipasa couvre une superficie de 1707 Km², est limitée géographiquement par :

- Au Nord : la Mer Méditerranée
- A l'Ouest : La wilaya de Chlef
- Au Sud-Ouest : La wilaya de Ain-Defla
- Au Sud Est : La Wilaya de Blida
- A l'Est : La Wilaya d'Alger.

La wilaya de Tipasa est composée de 10 Daïras, 28 Communes. Le territoire de la wilaya de Tipasa qui se répartit en quatre grands ensembles :

- Montagnes : 336 km² soit 19.6 % de la superficie de la Wilaya.
- Piémonts et collines : 577 Km², soit 33.8 % de la superficie.
- Plaines de 611 Km², soit 35.7 % du territoire de la Wilaya.
- Autres : 183 Km², soit 10.8 % de la superficie de la Wilaya.

Au nord-ouest de la Wilaya, la chaîne de montagnes comprenant l'Atlas blidièn laisse la place à deux importants ensembles:

- Les Monts du Dahre et du Zaccar.
- Les Monts du Chenoua.

Au nord-est, la Mitidja s'étend essentiellement sur la wilaya de Blida et se trouve limitée au niveau de la wilaya de Tipasa par le bourrelet constitué par le Sahel (Altitude Moyenne 230m).

II.2.2. Contexte géomorphologie

Les formes géomorphologiques existantes présentent en général des structures nettes liées à la tectonique et à l'accumulation des sédiments pendant le Mio-pliocène et le Quaternaire, par l'effet de l'érosion superficielle du matériel existant dans la région limitrophe. Le relief de la zone d'étude peut être divisé, selon les formes et les caractéristiques.

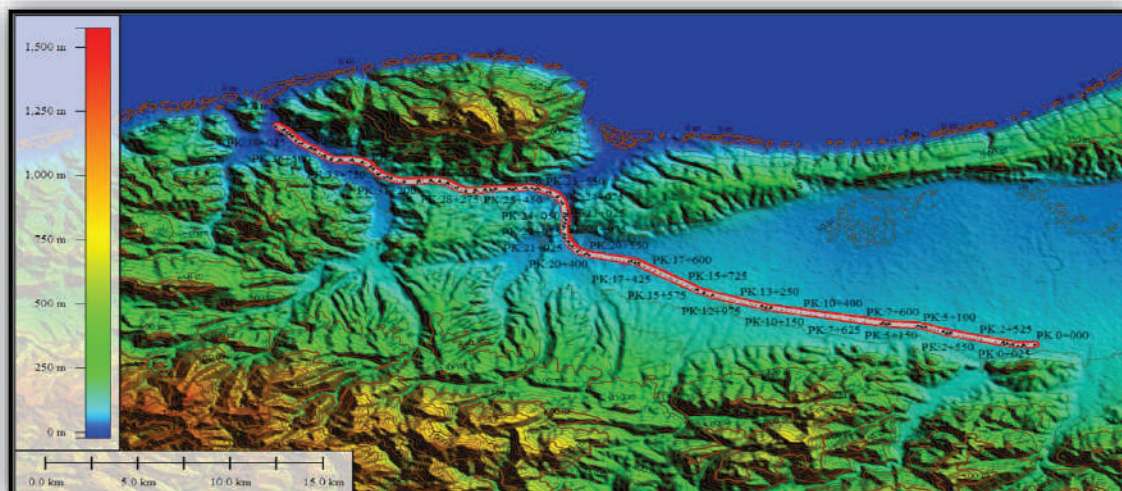


Figure II. 2 Différents ensembles morphologiques traversés par le tracé entre El Affroun et Cherchell

II.2.3.Climat et contexte hydrologique

La zone d'étude reliant la ville d'El Affroun (W. de Blida) a celle de Tipaza (Nord Centre) traverse les sous bassins versant 10 ; 04 et 03 du grand bassin hydrographique du Côtier Algérois codé 02a par l'ANRH.

La zone d'étude est limitée à l'Est par la wilaya d'Alger ; à l'ouest par la W.de Chelf ; au Nord la mer méditerranée et au sud Est par la W.de Médéa et Sud-Ouest par la W.d'Ain Defla



Figure II. 3 Situation géographique du grand bassin côtier Algérois.(Source Agence de bassin)

Sur le plan climatique, la wilaya de Tipasa se situe dans un seul étage bioclimatique. Les précipitations moyennes enregistrées font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm

La wilaya de Tipaza dispose d'un réseau hydraulique important. D'est en ouest :

- Oued Mazafran.
- Oued El Hachem.
- Oued Djer.
- Oued Damous.

Tableau II. 1 Répartition mensuelles des précipitations en (mm) de l'année 2006.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Tot	80,0	32,7	13,4	14,9	35,2	8,1	4,1	0	4,8	4,8	3,6	90,2	291,8
Nbj	11	14	5	5	9	2	4	0	3	2	4	20	79

Tableau II. 2 Répartition mensuelles de la température en (°C) de

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année	Eca
TM	12,6	12,7	15,4	17,7	19,4	21,7	25,2	25,2	23,7	21,9	18,7	14,7	19,1	0,4
TX	15,2	15,5	18,2	20,0	21,5	23,6	27,5	27,0	25,8	24,7	21,5	17,1	21,5	-

II.2.4.Contexte géologie

La zone d'étude fait partie de l'Atlas tellien, elle se situe entre les piémonts de l'Atlas Blidièn et les massifs de Meliana au Sud et le littoral au Nord. Le tracé traverse la partie occidentale de la plaine de la Mitidja, la plaine alluviale d'Oued Nador, la ride du Sahel et la vallée de l'Oued Hachem

La couverture géologique du territoire de la région d'étude, a été identifiée à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 de Tipaza et El Hadjout (ex. Marengo). Le terrain en question chevauche sur diverses formations géologiques, on y trouve du Sud au Nord :

- La partie orientale de l'Atlas Mitidjien, correspondant à un abaissement général de la chaîne, resserrée entre les deux massifs importants de Blida à l'Est, et de Miliana à l'Ouest.
- La partie occidentale de la plaine de la Mitidja, à remplissage Mio-plio-quaternaire.
- La ride du Sahel.
- Une bande étroite du littoral, dominée par le Sahel et constituée par une ancienne terrasse étroite et faible.

II.2.5.Evolution démographique

La population totale de la wilaya de Tipaza était de 591 010 habitants selon les résultats du recensement de 2008, selon les estimations en 2013 la population s'élevait à 640 356 habitants, soit une densité de 375 habitants par Km².

Évolution démographique

1977	1987	1998	2008
450 598	620 151	506 053	591 010

Source : DPSB de la wilaya annuelle 2014, ANDI 2013

II.3.PRESENTATION GENERALE DE PROJET

Notre projet intitulé « ETUDE APD DE TRONÇON AFROUN –TIPAZA (Du pk 10+000 au pk 19+000) DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE DOUBLE VOIE ELÉCTRIFIÉE EL AFROUN / TIPAZA SUR UN LINEAIRE DE 40 KM AVEC L'AMENAGEMENT DE LA GARE DE BOURKIKI »

Le maître d'ouvrage est L'agence nationale d'étude et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires ANESRIF, L'étude de la nouvelle ligne ferroviaire est faite par un Groupement des bureaux d'études SETIRAIL- SETS « maîtrise d'œuvre » ce groupement est chargé de l'étude de cette ligne.

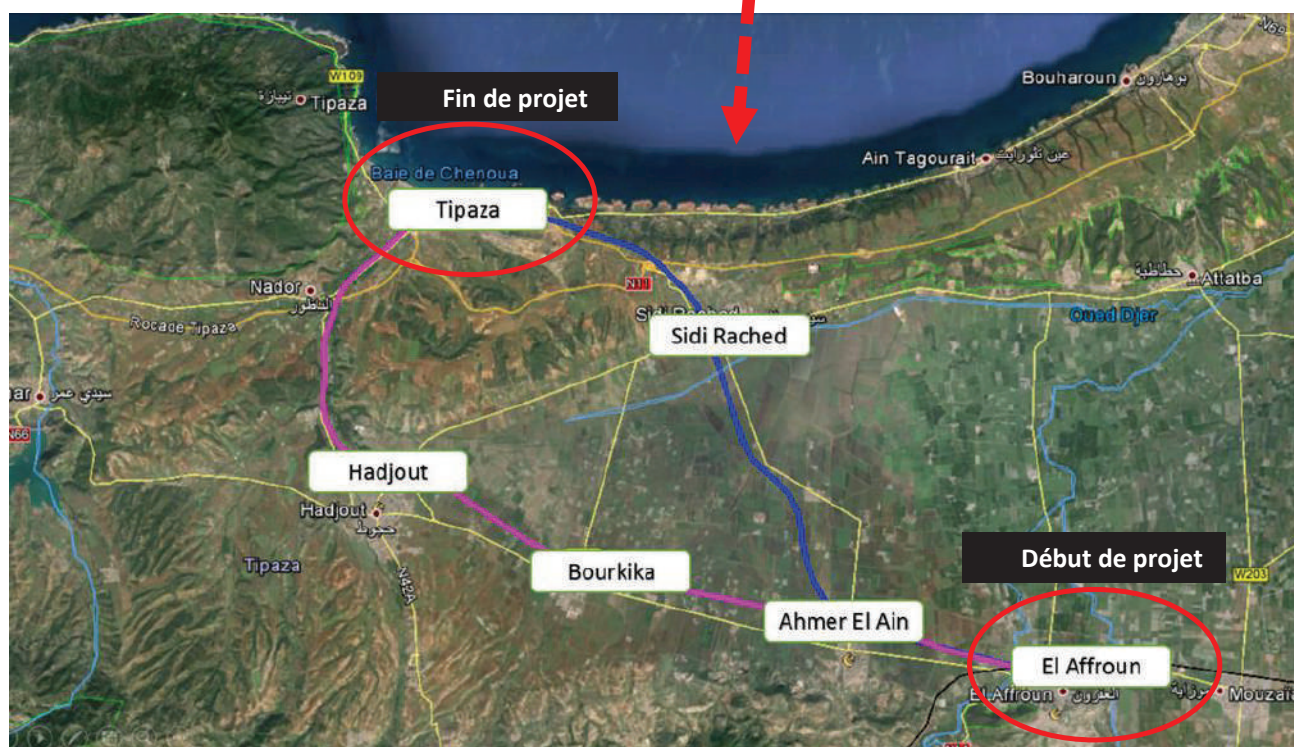
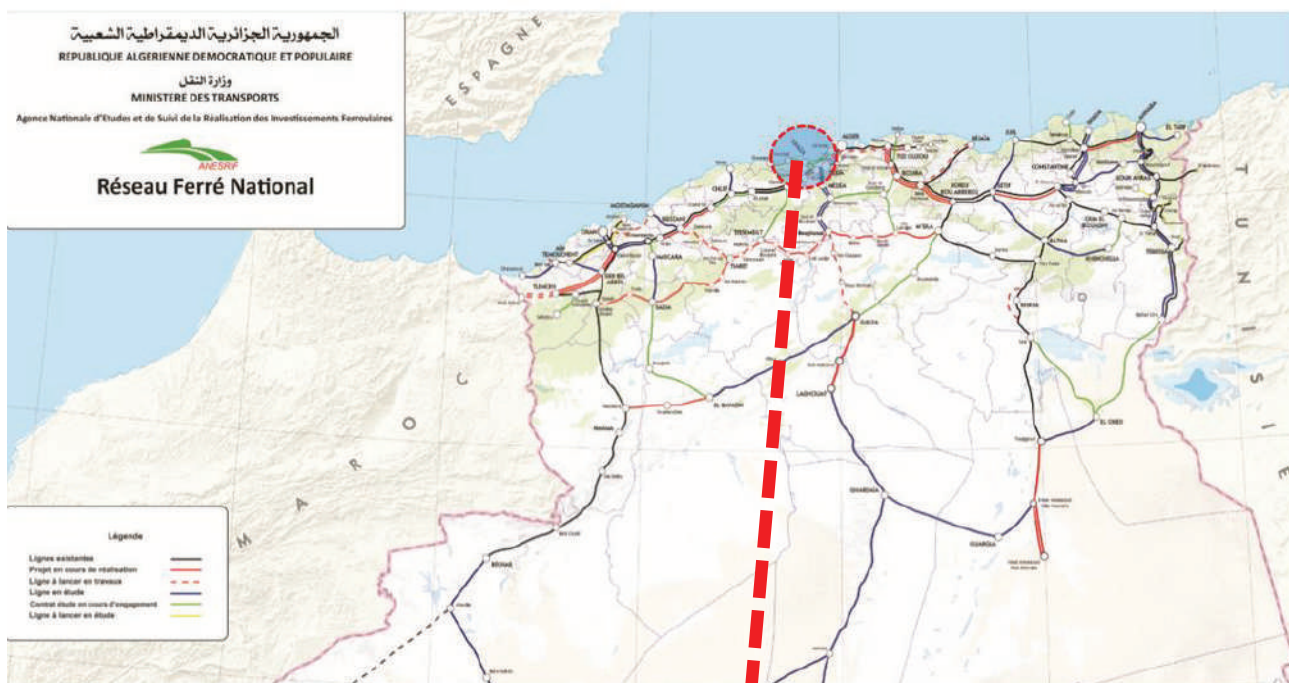
Le tracé constitue une nouvelle desserte ferroviaire EL AFROUN à TIPAZA avec implantation des gares ferroviaire, cette nouvelle ligne est destinée au transport de marchandises et des voyageurs

La longueur de tracé complet est d' environ 40 Km et se situe au nord (centre) du pays la voie ferrée reliant El Affroun a Tipaza, fait partie du plan de liaison des villes principales de la willaya de Tipaza au réseau ferroviaire existant.



Figure II. 4 Carte administrative de wilaya de Tipaza

Vue synoptique



Synoptique de tracé



- Longueur trace : 38.750Km
- Temps de parcours : 30 Minutes

II.4.BUT DE PROJET

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

II.5.OBJECTIF DE PROJET

L'objectif principal derrière la mise en œuvre de la ligne ferroviaire El Affroun – Tipaza est de relier le futur port centre d'El Hamdania, cette infrastructure portuaire figure parmi les 30 ports commerciaux les plus importants au monde et parmi les plus importantes infrastructures maritimes de la région méditerranéenne et du continent africain.

Le projet de la ligne ferroviaire entre dans le programme de raccordement de ce port au réseau ferroviaire national ce qui permet également de l'habilité un rôle prépondérant dans le trafic commercial mondial, dont notamment les régions du Nord, Centre et Ouest du continent africain.



Figure II. 5 Futur Port Centre de Cherchell

II.6.DONNES DE PROJET

- Ligne à double voie de 40 km
- Vitesse Train Voyageur : 160 km/h
- Vitesse Train Marchandise : 80 km/h
- Rayon minimal : 1000 m
- Voie en rail UIC 60 posée sur traverse en béton
- Ecartement standard : 1435mm
- Charges à l'essieu pour la superstructure de 20 tonnes
- Charges à l'essieu pour les ouvrages d'art de 25 tonnes.
- Entraxe des voies principales : 4.20m
- Entraxe des voies secondaires : 4.50m
- Appareil de voie UIC-60 500 - 1/12 tg (0.083).
UIC-60 300 - 1/9 tg (0.111).

ETUDE DE FAISABILITE

III.1. INTRODUCTION

III.2. DELIMITATION DE LA ZONE D' ETUDE

III.2.1. Zone d' influence indirecte

III.2.2. Zone d' influence directe

III.3. FAISABILITE SUR LE PLAN TECHNIQUES

III.4. FAISABILITE SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTALE

III.5. FAISABILITE SUR LE PLAN SOCIO-ECONOMIQUES

III.5.1. Démographie De La Zone D' influence Du Projet

III.5.2. Emploi

III.5.3. Pôles générateurs des déplacements

III.5.4. Impacts Socio-économiques Du Projet

III.6. FAISABILITE SUR LE PLAN ECONOMIQUES

III.6.1. Pôles Générateurs Des Déplacements

III.6.2. Estimation De La Demande

III.6.3. Analyse Financière Et Economique

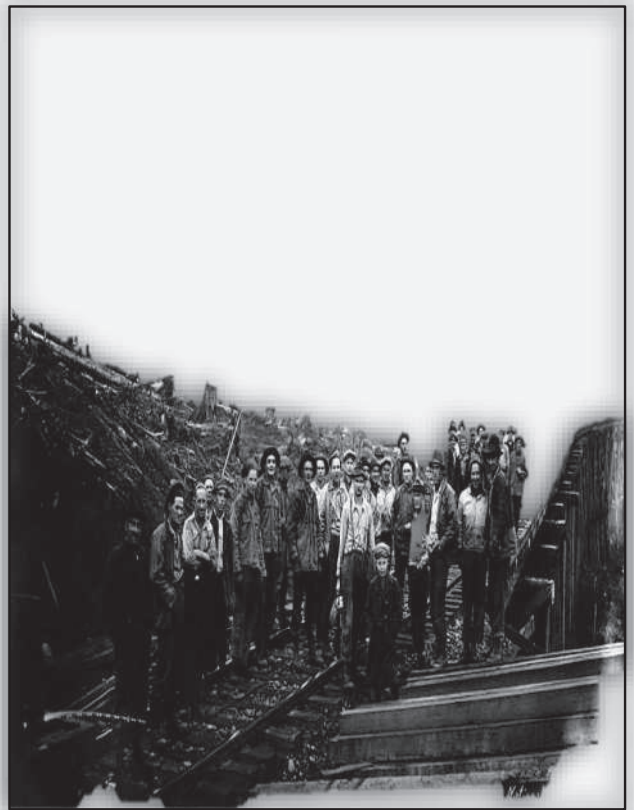
III.6.4. Coût Du Projet

III.6.5. Evaluation Des Avantages

III.6.6. Calcul De La Rentabilité

III.6.7. Analyse Financière

III.7. CONCLUSION



III.1.INTRODUCTION

Pour déterminer les exigences pour réaliser une nouvelle ligne de voie ferrée de la ville d'EL AFROUN à la ville de TIPAZA ainsi que sa rentabilité. On fait une étude de faisabilité sur ce projet.

Pour faire une étude de faisabilité, il faut faire une analyse et un traitement de l'ensemble des données démographiques et économiques de la zone d'étude ainsi que l'actualisation des paramètres du trafic routier urbain et périphérique L'étude de faisabilité s'articule autour des ²

- Analyse aux études d'identification
- Evaluation des contraintes
- Optimisation des solutions proposées
- Géotechnique
- Plan du transport
- Elaboration des études techniques d'avant-projet sommaire
- Elaboration des études détaillées de la clientèle
- Analyse détaillée sur le plan financier et économique
- Evolution des impacts environnementaux et sociaux
- Rapport d'ensemble sur la faisabilité du projet

L'étude de faisabilité est une étape très importante pour avoir une idée claire sur le futur projet et pour vérifier que le projet soit techniquement faisable et économiquement viable Il y a plusieurs volets dans une étude de faisabilité : étude technique, commerciale, économique, juridique et d'organisation.

III.2.DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.2.1. Zone d'influence indirecte :

La zone d'influence indirecte est partagée entre les deux Wilayas de Tipaza et Blida, elle est composée des communes suivantes :

- *Wilaya de Blida* : El Affroun.
- *Wilaya de Tipaza*: Ahmer El Ain, Bourkika, Hadjout, Nador, El Hamdania, Cherchell, Tipaza.

III.2.2. Zone d'influence directe

C'est la zone composée d'une bande d'environ 01 km (500 m de part et d'autre de l'axe de la ligne ferroviaire), c'est la zone qui subit le plus d'impacts positifs et/ou négatifs

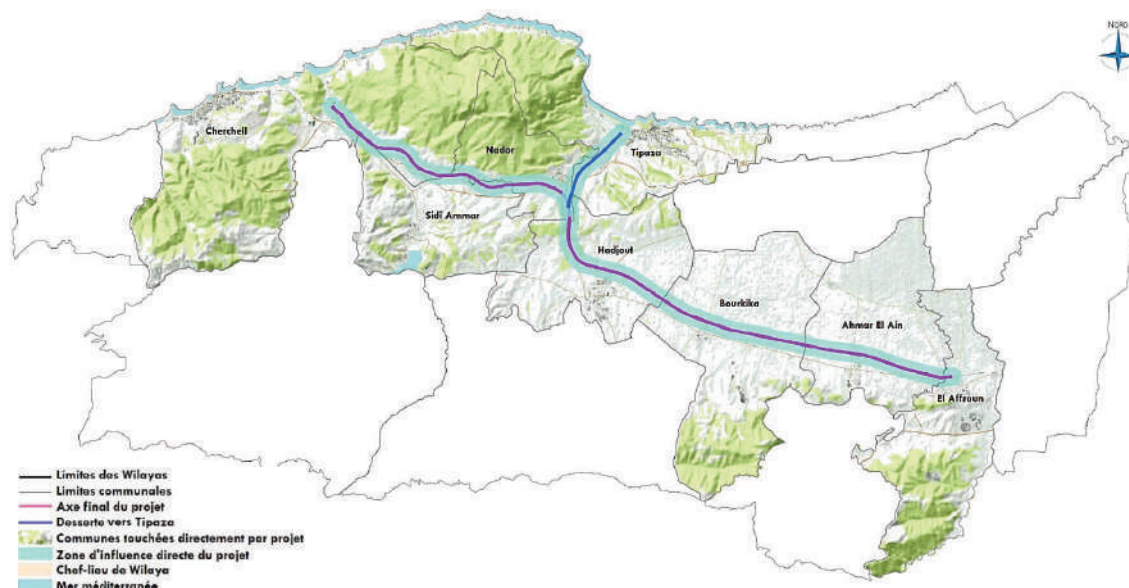


Figure III. 1 Zone d'influence directe du projet (ZIP)

III.3.FAISABILITE SUR LE PLAN TECHNIQUES

La mission de l'étude technique a comme objectif de définir les premières tâches à entreprendre sur les couloirs de tracé, envisagés en fonction des besoins et conditions fonctionnels exigés par le maître d'ouvrage. C'est une phase de reconnaissance du milieu en termes de morphologie de terrain, de géologie, de géotechnique, et d'hydraulique

Pouvant exercer une action déterminante sur la conception géométrique du couloir du tracé et par conséquent sur le coût du projet et sur sa phase d'exploitation.

Le but recherché est d'optimiser l'infrastructure ferroviaire avec un meilleur respect des normes techniques, et fonctionnalités recherchées. Ce critère est décomposé en six (06) sous-critères :

- Linéaire des tunnels et/ou complexité
- Nombre d'ouvrages d'art
- Envergure et complexité des ouvrages d'art
- Surface totale des grands ouvrages d'art
- Géologie et géotechnique
- Géométrie en plan

Une fois la meilleure variante du corridor dégagée, une étude de recherche du tracé, au stade d'avant-projet sommaire, a été élaborée. La recherche du tracé sur la base de la topographie générale de la région, les besoins des produits à transporter entre ces points et aussi les études d'identifications déjà déposées et approuvées par le maître de l'ouvrage.

Une variante de trace la plus adéquate a été présentée dans cette phase d'étude de faisabilité, Avec le tracé en plan, profil en long et aussi l'implanter des ouvrages d'art.

Cette géométrie du tracé a permis de raffiner les coûts de construction pour la variante choisie

- **Section 01 (AFFROUN/NADOR) :**

La variante prend la naissance de la gare existante d'El Afroun, dont l'emplacement se situe au côté Nord de la ville. Elle se trouve dans sa totalité à l'intérieur d'une plaine sur des terrains d'une richesse Agricole très important Elle évite systématiquement les agglomérations urbaines ou rurales tel que Ahmer El Ain et Hadjout. Les impacts en termes de déplacement de population sont donc peu importants.

- **Section 02 (NADOR/CHERCHEL) :**

Cette zone est caractérisée par un relief plat au début et à la fin, et moyennement vallonnée Au reste de la section. Après le passage de la ligne au sud de la ville de NADOR, elle se dirige vers le haut colin eau nord et parallèlement cette fois à la rocade de TIPAZA jusqu'à se termine l'intersection avec CW 109 au PK 38+760 ou l'accès au Port Centre n'été pas encore identifie.

III.4.FAISABILITE SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTALE

L'Environnement est essentiel à l'atteinte des objectifs du projet, Le but recherché est de Minimiser au maximum les impacts environnementaux négatifs Ce critère est décomposé en Cinq (05) sous-critères

- Habitations à exproprier
- Sites archéologiques
- Perte et morcellement des terres agricoles
- Superficies à déboisé
- Cours d'eau a traversé

(Voir chapitre XI Etude Impact sur Environnement)

III.5.FAISABILITE SUR LE PLAN SOCIO-ECONOMIQUES

Le but recherché est de faire ressortir la solution qui présente le maximum d'avantages pour les usagers de cette voie ferrée, et une meilleure perspective de croissance économique. Ce critère est décomposée en Cinq (05) sous-critères :

- Temps de parcours
- Population nouvellement desservie par le couloir
- Accessibilité aux pôles économiques
- Proximité des villes au Gares

III.5.1. Démographie De La Zone D'influence Du Projet

Au niveau de la démographie, le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire traverse des communes très peuplées (denses), que ça soit au niveau de la wilaya de Tipaza que de la wilaya de Blida.

III.5.2. Emploi

L'emploi est un facteur significatif qui permet d'apprécier la situation sociale et économique d'une population quelconque dans une région donnée. En 2014, la population

active de la wilaya de Tipaza a atteint 216 381 individus, alors que la population occupée était de 200 417, soit un taux d'activité de 92 %.

III.5.3. Pôles générateurs des déplacements

III.5.3.1. Agriculture

Le potentiel en sol de la Wilaya de Tipaza est de 72.500 HA en Superficie Agricole Totale(SAT) dont 64.311 HA de Surface Agricoles Utiles (SAU) soit 89% de la SAT

III.5.3.2. Pêche

Le secteur de la pêche emploi plus de 4.355 individus en fin 2013, la production des pêches maritimes de l'année 2014 atteint les 5.160 tonnes

III.5.3.3. Tourisme

La wilaya de Tipaza est réputée par son secteur touristique, elle enregistre chaque année une affluence considérable qui dépasse les 3 millions de visiteurs durant la saison estivale.

III.5.3.4. Industries Et Les Mines

La wilaya de Tipaza compte de 11 zones d'activités avec un niveau de disponibilité Au niveau de la wilaya de Blida, la zone industrielle intercommunale de Blida et OuledYaich

- **Industrie Alimentaire** : Nombre d'unités : 2 Effectif total : 272
- **Industrie Des Matériaux De Construction** Nombre d'unités : 2 Effectif total : 576
- **Industrie Métallique Et Electronique** : Nombre d'unités : 3 Effectif total : 426
- **Industrie Chimique, Textile, Tabac Et Bois** : Nombre d'unités : 5 Effectif total : 631

III.5.4. Impacts Socio-économiques Du Projet

Il ressort de l'analyse socio-économique de la région d'étude que l'accroissement naturel de la population est un facteur susceptible de générer une demande appréciable de transport ferroviaire puisqu'il en résultera un accroissement des activités économiques.

En plus du transport terrestre assez développé où la région sera desservie prochainement par la pénétrante Tipaza - Autoroute Est Ouest, le transport ferroviaire se révèle aujourd'hui un des moyens du désenclavement de la région d'étude pour le développement dynamique et harmonieux de l'activité économique. Ceci permettra d'atteindre de nouveaux marchés dans de bonnes conditions.

La région du projet située dans une zone à grande potentiel agricole et maritime, sera un élément essentiel de l'essor économique régional, les effets d'entraînement sur divers plans connaîtront une ampleur considérable, puisque ce projet pourrait permettre d'accroître la mobilité de larges couches de la population pour un ensemble très ouvert d'activités sociales, sans toucher au dynamisme du secteur routier qui a ses propres atouts.

En effet, les infrastructures de transport doivent assurer aux deux wilayas des liaisons rapides avec les pôles industriels et économiques du pays. Or il s'avère que les infrastructures terrestres même développées ne parviendront pas à répondre aux exigences d'un tel développement, ce qui justifie la nécessité d'une liaison ferroviaire pour la relier au réseau

ferroviaire national, qui jouera sans doute un rôle efficace dans le transport des passagers et des marchandises.

Autre paramètre à prendre en considération, est celui du futur méga port qui sera construit à Tipaza, ce méga port commercial dispose d'une assiette de 2 000 hectares et pourrait abriter plus de quatre millions de conteneurs par an.

Il constituerait un immense apport socioéconomique pour toute la région et l'ensemble de l'Algérie. Avec le présent projet de la ligne ferroviaire, la finalité serait de parvenir à réaliser un véritable maillage du réseau ferroviaire existant et de le relier au mégaprojet de port commercial de Tipaza.

Il est bien évident que le futur méga port générera un trafic supplémentaire qu'il faudra prendre en considération dans l'élaboration des prévisions.

III.6.FAISABILITE SUR LE PLAN ECONOMIQUES

Le but recherché est d'opter pour la solution la plus rentable, Le critère de la rentabilité économique est le plus décisif dans le choix du couloir de la voie ferroviaire. Ce critère est décomposé en Cinq (03) sous-critères :

- Taux de rentabilité interne (TRI)
- Cout de construction
- Trafic Passager/j

En va mettre en évidence les indicateurs économiques et financiers de la faisabilité du projet d'un côté et les prévisions du trafic passager et fret, et de l'autre côté, les coûts de construction, entretien et d'exploitation.

III.6.1. Pôles Générateurs Des Déplacements

Afin d'identifier les pôles générateurs de déplacement dans la zone d'influence du projet, nous devons prendre en considération les activités socio-économiques dans la ZIP ainsi que les infrastructures de transport offerts pour les déplacements.

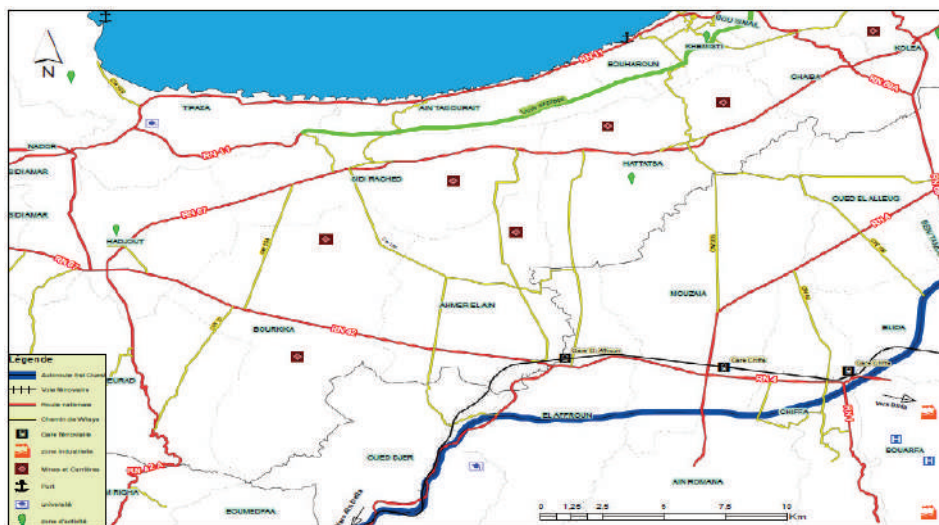


Figure III. 2 Cartes des activités économiques dans la zone d'influence du projet

Dans la zone d'influence du projet, les produits susceptibles d'échange entre les communes, constituant ainsi le trafic marchandise, sont :

- Des produits d'alimentation générale: produits laitiers, boissons...
- Des produits de bois et dérivés
- Matériaux de construction (fer, ciments,...)
- Des produits agricoles (céréales, blé, fruits, légumes, viandes...)

Actuellement, le réseau routier des 2 wilayas traversées par le projet est de plus de 2 500km, La wilaya est favorisée par cinq ports localisée à : Gouraya, Cherchell, Bouharoune, Khemisti et Tipaza. Le port de Gouraya, par son aménagement et son extension est appelé à jouer un rôle moteur de développement dans toute la zone ouest de la wilaya.

Le projet de réalisation d'un méga port commerciale au niveau de Cherchell constitue un réel essor pour l'économie régionale mais aussi nationale



Figure III. 3 Futur Port Centre de Cherchell

III.6.2. Estimation De La Demande

La demande potentielle de transport dans la zone d'influence de la nouvelle ligne ferroviaire entre Tipaza et El Affroun, est déterminée, du fait de la difficulté d'organiser des enquêtes OD en cette période (période de vacances), par l'actualisation du modèle d'estimation et prévision construit en phase d'identification.

Pour cela, nous avons cherché à déterminer la demande potentielle à partir d'une étude socio-économique de la région ainsi que les liaisons de transport (bus) existant entre les 2 wilayas.

III.6.2.1. Trafic Passager

Le réseau de transports modélisé à l'année de référence de la zone d'influence du projet se compose de tous les modes (routes, ferroviaires) servant de relais entre les différents moyens de transport ou desservant des zones de trafic.

Dans le modèle à horizon futur, nous avons pris en compte les aménagements futurs prévus sur les principaux axes influents sur le projet (Pénétrante Tipaza – AEO, le tramway Zeralda Gouraya, la 3ème rocade reliant Tipaza à Tizi Ouzou, la desserte routière desservant le port centre de Cherchell)

Un autre trafic est à prendre en considération est le trafic induit, qui résulte de la réduction des coûts de transport engendrée par l'amélioration de l'offre de transport par rapport à la situation sans projet (de référence).

III.6.2.2. Trafic Marchandises

Pour le trafic de marchandises (fret), la nouvelle ligne ferroviaire attirera :

- o Un trafic détourné de l'axe de la voie express Alger – Bousmail – Tipaza, un trafic d'approvisionnement de la wilaya de Tipaza
- o Un trafic détourné de la pénétrante autoroutière, c'est un trafic d'expédition vers Alger et l'ouest du pays.
- o Autre trafic à prendre en considération, serait un trafic induit, lié aux activités

III.6.3. Analyse Financière Et Economique

L'évaluation financière et économique du projet a pour but d'examiner l'opportunité financière et économique et de fournir des indicateurs de rentabilité.

Elle s'effectuera selon la méthode coûts-avantages en établissant un bilan pour calculer ensuite les critères de rentabilité usuels TRI (taux de rentabilité interne), VAN (valeur actualisée nette), Taux de rentabilité immédiate à comparer, durant une période d'analyse de 20 à 40 ans.

III.6.4. Coût Du Projet

Le coût d'investissement du projet comporte les coûts de construction de l'infrastructure, les coûts d'entretien courant et périodique, comportent des coûts annuels des tâches récurrentes de maintenance et de réparation et les coûts de renouvellement périodiques

III.6.4.1. Coût D'investissement

Le coût est estimé à partir des quantités de travaux déterminés par l'étude technique et il est présenté par rubrique

- Installation de chantier et études d'exécution
- Terrassements généraux
- Drainage et assainissements
- Travaux voie
- Ouvrages d'art
- Bâtiments voyageurs

III.6.4.2. Coût D'entretien

La durée de vie d'une infrastructure de transport dépend entre autres de l'entretien qui lui est accordé, il est donc indispensable de mettre en place une gestion rigoureuse de l'entretien.

III.6.4.3. Coût D'exploitation

Les coûts d'exploitation d'une voie ferrée comprennent l'ensemble des coûts qui incombent aux différents intervenants, l'exploitation et la gestion des installations des gares.

L'accroissement de ces coûts est étroitement lié à l'évolution de la demande de transport, ce qui suit la même tendance.

Les coûts d'exploitation consistent dans les coûts de :

- Carburants et lubrifiants
- Personnel de conduite
- L'entretien du matériel
- L'exploitation des gares

III.6.5. Evaluation Des Avantages

Les avantages du trafic passager procurés résulteront de la réduction des coûts de transport et notamment du temps de parcours pour le trafic passager. A l'inverse du trafic marchandises (fret), les avantages résulteront principalement de la réduction des coûts de transport.

Les coûts de transport sont évalués dans les situations « sans et avec projet ». Le mode de transport concurrent au train, est bien évidemment le mode routier où la majorité des déplacements générés dans la zone d'influence du projet sont effectués par route. Le mode routier constitue alors la situation de référence, dite sans projet.

Le transport ferroviaire présente aussi un certain nombre d'avantages incontestables, si le premier est bien évidemment le gain de temps, l'autre avantage du transport ferroviaire est sa sécurité et son confort qu'il offre aux passagers par rapport au transport terrestre.

III.6.6. Calcul De La Rentabilité

L'opportunité économique du projet de la construction de la nouvelle ligne ferroviaire Tipaza– El Affroun, a été examinée à partir d'un bilan économique comparant les avantages Générés et les coûts d'investissement du projet.

Le bilan économique est établi sur une période d'analyse s'étalant de 2019 à 2061, au terme de laquelle le projet garde une valeur résiduelle.

La valeur résiduelle prise en compte à la dernière année d'analyse est estimée à 25 % de l'investissement initial L'année de mise en service est fixée à 2022. Le résultat de la rentabilité économique du projet, est mis en évidence par le calculer des indicateurs de rentabilité usuels le taux de rentabilité interne (TRI 12.2 %) et la valeur nette actuelle (VAN 8 %).

III.6.7. Analyse Financière

Le bilan financier a pour objet de déterminer les flux monétaires qu'il implique pour l'institution chargée de la construction et de l'exploitation du projet et d'apprécier la capacité de cette institution à mettre en œuvre un schéma de financement soutenable, assurant la disponibilité des fonds nécessaires à la construction et au fonctionnement du projet et sauvegardant la viabilité financière et la pérennité de ses activités.

L'analyse financière permettra de déterminer la valeur actuelle financière nette du projet et Son taux de rentabilité financière interne, en comparant les recettes générées par le projet et Les dépenses de d'investissement, d'entretien et d'exploitation.

Tableau III. 1 Résultats du bilan financier

Unité : Millions de DA TTC

Ligne	Dépenses			Recettes de la 1 ^{ère} année: 2022		Cash Flow	Indicateurs de rentabilité	
	Construction	Charge Entretien	Charge Exploitation	Trafic passager	Trafic Fret		VAN (à 4%)	TRI
LF El Affroun - Port	-35 639,9	-114,2	-71,4	329,1	4 051,3	4 194,8	101 716	13,7%

Nous pouvons dire que le projet est financièrement rentable, avec une VAN positive et un TRI égal à 13,7%, le projet peut supporter un tel investissement.

III.7.CONCLUSION

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire El Affroun-Port centre d'El Hamdania (Cherchell, W. Tipaza) est une liaison stratégique sur le plan socio-économique national et régional, il sert à une liaison vers le port centre d'El Hamdania qui est un mégaprojet classé parmi les 30 grands ports commerciaux au monde, figurera parmi les plus importantes infrastructures maritimes de la région méditerranéenne et du continent africain.

Ce projet vient de renforcer le réseau ferroviaire national, comme il sera une source d'apaisement du réseau routier et des utilisateurs de la route par absorption d'un taux important du poids lourd dédié au transport des marchandises.

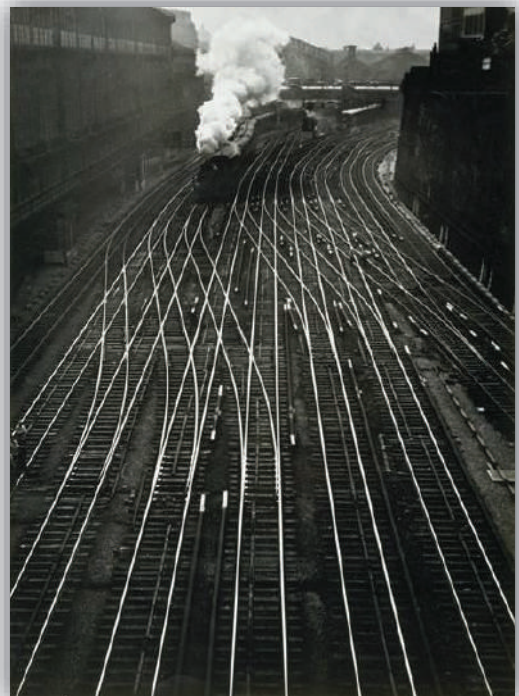
Les indicateurs économiques montrent clairement que le projet est rentable avec un TRI (12,2%) supérieur au taux d'actualisation et une valeur actuelle nette positive (18 592 MDA).

Le projet servira aussi à la diminution du temps de parcours, taux d'accidents de la circulation, diminution des émissions de polluants (ligne électrifiée), réduction des niveaux de bruit généré par les lignes traditionnelles (en fioul) ...etc.

Les nombreux impacts positifs justifient à eux seuls la mise en œuvre de ce projet. Cependant, comme tout projet similaire, pendant sa construction, il aura des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement, ces travaux vont entraîner inévitablement des perturbations sur le fonctionnement naturel et urbain (circulation routière, déplacements d'agriculteurs et d'animaux, rétablissements des chemins et cours d'eau) et sur le cadre de vie des riverains. Mais l'application des Bonnes Pratiques Environnementales (BPE) vont jouer un rôle prépondérant dans la compensation des dégâts sur toutes les composantes de l'environnement.

SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

- IV.1. Introduction
- IV.2. Catégories de voies
- IV.3. Caractéristiques de la voie
- IV.4. Composantes de la voie
 - IV.4.1. Les rails
 - IV.4.2. Ecartement des rails
 - IV.4.3. Inclinaison des rails
 - IV.4.4. Les travers
 - IV.4.5. Le ballast
 - IV.4.6. Les Types des appareils de voies
- IV.5. Assemblage des rails
- IV.6. Systèmes de fixation
 - IV.6.1. Attaches et semelles
 - IV.6.2. Types d' attaches
- IV.7. Conclusion



SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

- IV.1. Introduction
- IV.2. Catégories de voies
- IV.3. Caractéristiques de la voie
- IV.4. Composantes de la voie
 - IV.4.1. Les rails
 - IV.4.2. Ecartement des rails
 - IV.4.3. Inclinaison des rails
 - IV.4.4. Les travers
 - IV.4.5. Le ballast
 - IV.4.6. Les Types des appareils de voies
- IV.5. Assemblage des rails
- IV.6. Systèmes de fixation
 - IV.6.1. Attaches et semelles
 - IV.6.2. Types d' attaches
- IV.7. Conclusion



IV.1. INTRODUCTION

La voie ferrée est un système multicouche constitué d'un assemblage des éléments de différents caractéristiques physiques et mécaniques (élasticités et amortissements variable) qui transmettent à la plateforme, la charge statique et dynamique des roues, ces éléments sont essentiellement constitué de : ballast, les traverses, les rails et les attaches,

Dans ce chapitre nous allons voir des notions sur la superstructure des voie ferre et leur composante.

IV.2. CATEGORIES DE VOIES

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

- **Les voies principales**, affectées à la circulation des trains.
- **Les voies de circulation**, affectées à desserte interne des grands complexes ferroviaires
- **Les voies de service**, affectées aux manœuvres, qui sont généralement déclassées après qu'elles étaient des voies principales.
- **Les voies d'évitement**, qui permettent à deux trains circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- **Les voies de garage**, qui sont des voies de service affectées au stationnement du matériel

IV.3. CARACTERISTIQUES DE LA VOIE

Pour construire une voie moderne qui répond aux normes internationale on adopte (d'après la SNTF) les éléments constructifs suivants :

- Les longs rails soudés LRS
- Les traverses en bi-blocs
- Les attaches élastiques de type NABLA
- L'écartement de la voie est de 1.435 m (écartement normal)

IV.4. COMPOSANTES DE LA VOIE

IV.4.1. Les rails

Sont des longues barres d'acier profiler qui sont mise bout à bout, ils servent à former Un chemin de fer, elles servent à la fois de guide et de support pour les trains.

En générale les rails possèdent a la partie supérieur les champignons qui supporte le contacte des roues, lame partie médiane amincit, et le patin qui assure la fixation à la traverse.

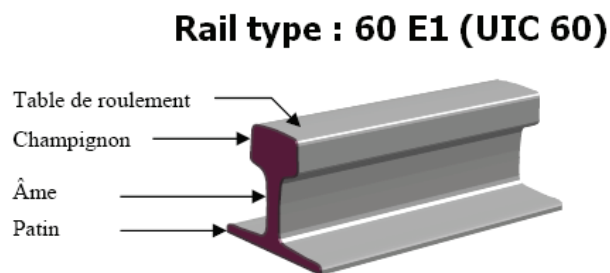


Figure IV. 1 Nomenclature des composantes de rail

Rail modèle 60E1 (UIC60) fabriqué selon la norme européenne EN 13674-1, largement utilisé pour la construction de voies ferrées. Il traite d'un rail de section type T (*rails plats*) avec une masse de 60,21kg par mètre. Pour une jauge standard, il est courant d'utiliser la **voie 60E1 / UIC60** pour le trafic de charges moyennes et lourdes.

Type de rail	Standard	Dimensions mm					Section S	Masse m
		H	B	C	D	E	cm²	kg / m
Norme européenne EN 13674-1								
60E1 (UIC60)	EN 13674 - 1	172.00	150.00	72.00	51.00	16.50	76,70	60,21

Tableau IV. 1 Les principales caractéristiques et cotes des rails

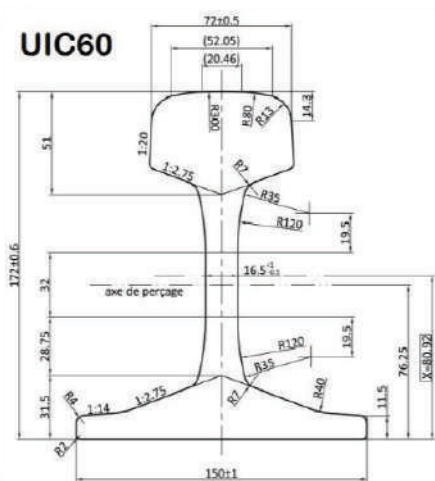


Figure IV. 2 Le profil du rail 60 E1 (UIC 60)

IV.4.2. Ecartement des rails

L'écartement normal est de 1.435 m il a été déterminé pour la première fois en Angleterre, il varie depuis dans de faible proportion.

L'établissement de ces normes découle des considérations suivantes :

- En alignement l'écartement doit être aussi faible que possible de manière à réduire l'amplitude du mouvement des trains
- En courbe l'écartement est augmenté pour permettre l'inscription des véhicules ou des trains sur les voies en exploitation

L'écartement est toujours compris entre 1.432 m et 1.470 m qui sont des limites de sécurité En Algérie en adopte un écartement de 1.435 m

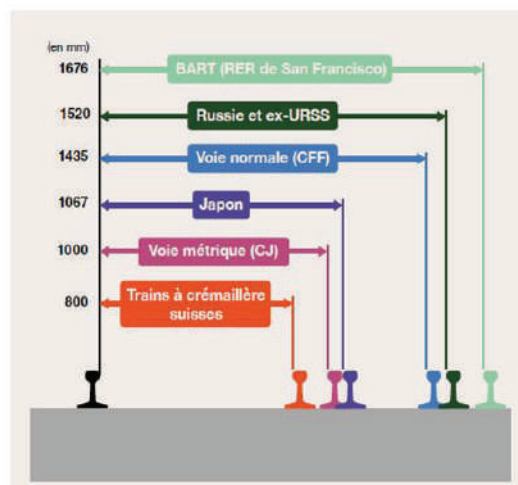


Figure IV. 3 différents Ecartement des rails

IV.4.3. Inclinaison des rails

Les rails sont posés avec une inclinaison de 1/20 sur l'horizontal cette inclinaison assure un meilleur guidage des essieux et a tendance à ramener constamment les trains dans l'axe de la voie.

IV.4.4. Les traverses

Les traverses assurent la transmission de la charge au ballast et le maintien de l'inclinaison des rails, elles peuvent être en bois soit en acier soit en béton il existe deux types

- bi-bloc : relier par une barre métallique.
- mono-bloc : en béton précontraint.

Les traverses sont posées à raison de 1667 unités au kilomètre (le travelage de 1667/km).



Figure IV. 4 Traverse bi-blocs

(Voir chapitre Master)

IV.4.5. Le ballast

C'est le lit de pierres ou de gravier de classe 25/50 sur laquelle repose une voie ferrée son rôle est de transmettre les efforts engendrés par le passage des trains au sol sans que celui-ci ne se déforme par tassement, son rôle aussi est de renforcer les traverses afin d'assurer une résistance à la déformation longitudinale.

La couche de ballast est disposée sous les traverses, son épaisseur est de 300 mm à l'aplomb du rail en pleine voie.

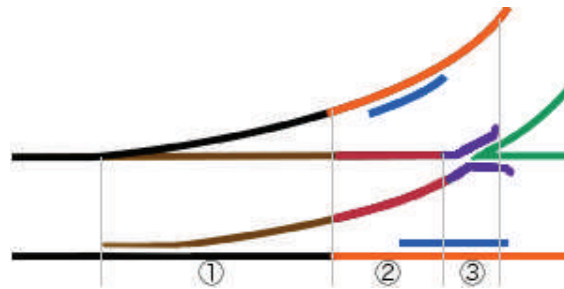
L'inclinaison de talus de ballast (pente entre le bord inférieur et le bord supérieur de la couche de ballast) est d'environ $33,7^\circ$ (2/3).

IV.4.6. Les Types des appareils de voies

L'exploitation des voies ferrées nécessite des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires que l'on désigne par appareils de voie c'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension.

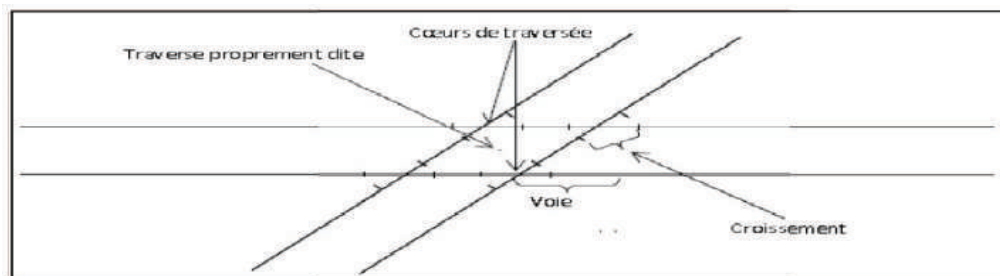
Les appareils de voie ou branchements sont des dispositifs permettant au matériel roulant, soit de passer d'une voie sur une autre, soit de traverser une voie.

- **les branchements** : permettent à l'itinéraire de se ramifier en deux ou exceptionnellement en trois



- 1 : partie aiguillage
- 2 : partie intermédiaire
- 3 : partie croisement

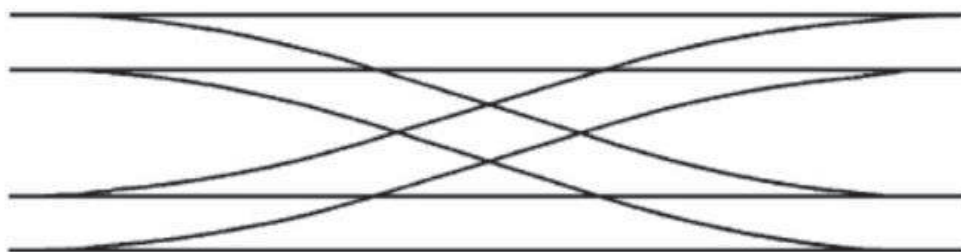
- **les traverses:** les traverses ordinaires : permettent l'intersection de deux itinéraires



- **les communications** : combinaison de deux branchements permettant de relier entre eux deux itinéraires principaux non convergents



- **les communications croisés** : ensemble de deux communications qui se coupent.



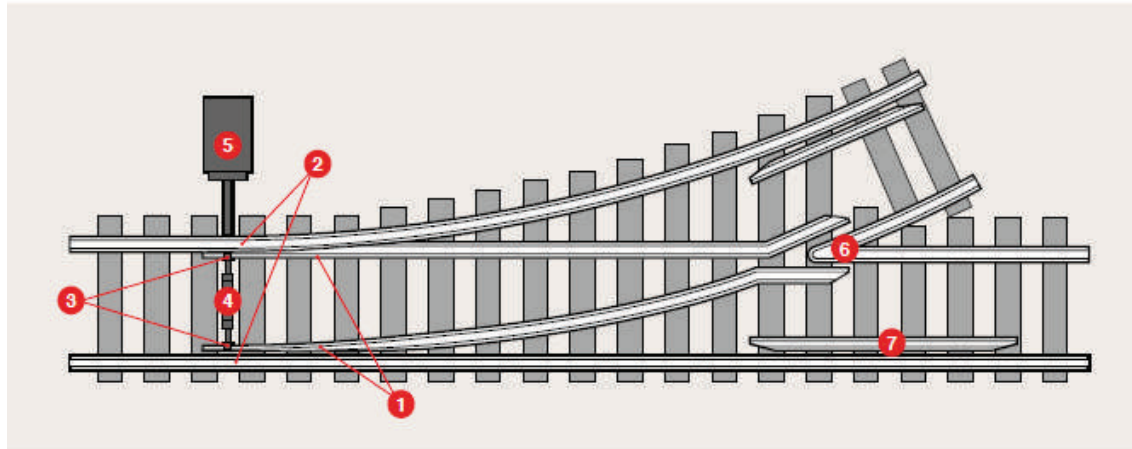
- **les bifurcations** : combinaison de deux branchements et une traverse permettant à partir de deux itinéraires principaux le départ de deux itinéraires divergents

IV.4.7. Les aiguillages

On distingue deux types d'aiguillage :

- aiguillage à l'âme articulée
- aiguillage à l'âme flexible

Il assure dédoublement des files de roulement par des pièces mobiles qui peuvent venir en contact les rails adjacents ou sont écartés pour laisser le passage libre d'un boudin de roues.



1. **L'aiguille** ou **lame** est l'élément le plus important d'un aiguillage : c'est la partie flexible qui vient se plaquer contre le rail la voie directe pour dévier le train sur une autre voie.
2. **Le contre-aiguille** est la partie fixe du rail, sur laquelle l'aiguille vient buter.
3. **Le verrou** ou **griffe d'aiguille** maintient l'aiguille en place dans la position ouverte ou fermée.
4. **La tringle** est la tige qui actionne l'aiguillage et qui maintient le bon écartement entre les aiguilles.
5. **Le moteur d'actionnement** fait bouger la tringle et les aiguilles.
6. **Le cœur de croisement** est la partie où les rails se croisent.
7. **Le contre-rail** sert à guider et à assurer l'essieu durant le franchissement du croisement.

IV.5. ASSEMBLAGE DES RAILS

La dilatation des rails a été une source de désagrément 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, et les assembler entre eux par une méthode parmi les deux suivantes :

- **L'éclissage**

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

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

- **La Soudure**

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

Les grands avantages qu'elle offre cette méthode sont :

Les avantages :

- suppression de l'éclissage boulonné
- réduction des dépenses d'entretien
- amélioration du confort
- réduction de l'usure de la superstructure

Inconvénients :

- imperfection initial
- défauts de soudure
- résistance latéral affaiblie

Pour lutter contre ce phénomène il faut suivre les recommandations de la fiche UIC :

- la technique de pose
- la technique de soudure
- la technique de maintenance



Figure IV. 6 Assemblage par éclissage



Figure IV. 5 Assemblage par soudure

IV.6.SYSTEMES DE FIXATION

Il existe deux systèmes de fixation :

- **Systèmes rigides** : Pas d'éléments élastiques
- **Systèmes élastiques** : consiste à la Présence d'au moins un élément élastique (Semelle et/ou attache) il existe de types de fixation élastique :
 - **Système de fixation directe**, Le rail est fixé directement dans la traverse avec ou Sans interposition de semelle ou de selle.
 - **Système de fixation indirecte** ; Le rail est n'est pas fixé directement à la traverse Interposition d'une selle.

IV.6.1. Attaches et semelles

Les attaches rail-traverse assurent la fixation du rail sur la traverse. Elles assurent à la fois une élasticité dans le sens vertical et horizontal. Ces constituants permettent de régler la progression de l'effort en fonction du déplacement.

Une semelle d'élastomère cannelée de 9mm d'épaisseur est posée entre le rail et la traverse afin de permettre l'absorption des vibrations nées dans le rail.

IV.6.2. Types d'attaches

- 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
- Le développement technologique a permis de concevoir et mettre en œuvre des attaches élastiques qui peuvent résister d'une manière élastique aux mouvements. On distingue deux types L'attache NABLA et L'attache de type E-clip.

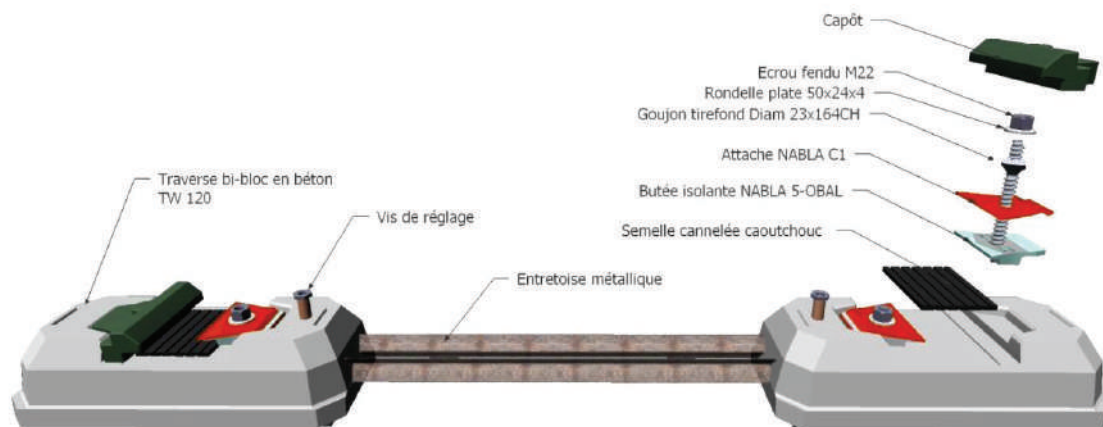


Figure IV. 7 Attache type NABLA

IV.7.CONCLUSION

La précision lors de l'exécution et la réalisation des couches d'assise et la pose de la voie est Indispensable pour la sécurité de circulations et de confort.

ETUDE GEOMETRIQUE

V.1. INTRODUCTION

V.2. TRACE EN PLAN

V.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan

V.2.2. Les éléments de tracé en plan.

V.2.3. Les Paramètres Géométrique

V.2.4. Calcul de clothoïde

V.2.5. Application numérique pour le calcul des devers

V.2.6. Application sur projet

V.3. PROFILE EN LONG

V.3.1. Introduction

V.3.2. Règles à respecter dans le Profile en Long

V.3.3. Eléments géométriques du profil en long

V.3.4. Longueur minimale des éléments du profil en long

V.3.5. Le raccordement en profil en long

V.3.6. Coordinations profil en long-tracé en plan

V.4. CONCLUSION



V.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.

V.2.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)

V.2.1. Règles à respecter dans le tracé en plan

Pour la bonne conception de notre nouveau tracé ferré qui doit assurer un compromis économique entre les coûts de maintenance de la voie, ceux du matériel, le confort des voyageurs et les performances, traduites en temps de parcours. On doit respecter les règles suivantes :

- Comme c'est une étude en APD, on ne doit pas sortir du couloir choisi.
- Raccordement à la voie existante au début et fin du projet.
- Utiliser le maximum d'alignement.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les terrassements.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible pour éviter les travaux d'ouvrages d'art, dans le cas où on ne peut pas éviter ça, il est préférable que le franchissement se fait perpendiculairement à la ligne d'écoulement des oueds ou bien dans les endroits les plus étroits.
- Eviter les problèmes des talus :
 - Talus en déblai (éviter la présence de nappe, terrains plastiques et la présence de roches fissurées).
 - Talus en remblai (éviter les terrains instables et les sols compressibles).

V.2.1.1. Les conditions de raccordement

Il existe trois conditions de raccordement :

- **Condition de gauchissement :**

Une limitation est obligatoire, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

- **Condition du confort optique :**

Pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

- **Condition du confort dynamique:**

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

V.2.1.2. Quantification des Paramètres

Pour chacun des paramètres, selon référentiel technique SNTF chapitre 6 géométrie de la voie version 2 deux types distincts de valeurs limites sont définis :

- **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.

Qui peut avoir deux significations différentes :

a) **Pour les paramètres relevant de la sécurité**, elle doit être considérée comme la limite maximale absolue pour ce paramètre; cette limite maximum peut dépendre de l'état mécanique et géométrique réel de la voie.

b) **Pour les paramètres ne relevant pas de la sécurité**, ces valeurs doivent être considérées comme la limite au-delà de laquelle le confort du passager peut être affecté et la maintenance de la voie significativement accrue; cependant, en regard de situations particulières, les opérateurs pourront choisir des valeurs excédant ces valeurs spécifiées, mais sans dépasser les limites de sécurité.

<u>Paramètres relevant la sécurité</u>	<u>Paramètres relevant le confort</u>
• Le rayon de la courbe • La variation de courbure • L'insuffisance de dévers • Le dévers et le taux de variation	• Excès de dévers • Variation de l'insuffisance de dévers • Longueur des éléments de tracé

V.2.1.2.1. Longueur minimale des éléments de tracé

Afin d'amortir suffisamment le roulis de la caisse des véhicules, des longueurs minimales ont été fixées pour les éléments de tracé

Ont des longueurs normales comprises entre 30 et 40 mètres, exceptionnellement 20 mètres. Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après (la vitesse V est exprimée en km/h)

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

Tableau V. 1 Valeur limite maximales des éléments de tracé

V.2.1.2.2. Le rayon minimal d'alignement circulaire

Le rayon minimal autorisé est calculé selon la formule suivante (XP ENV 13803-1)

$$R_{min} = \frac{11.8 \times V_p^2}{d_{max} + l_{max}}$$

(5.1)

V.2.2. Les éléments de tracé en plan.

L'axe du tracé en plan est constitué par des alignements et des courbes circulaires, et on utilise des raccordements progressifs.

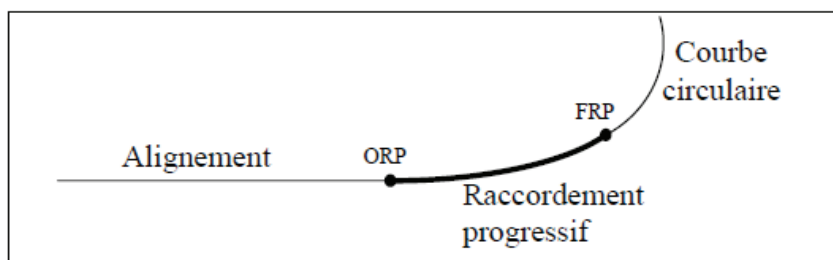


Figure V. 1 Schéma de raccordement de progressif

V.2.2.1. Les alignements ($R=\infty$)

C'est un tracé droit, il est considéré comme étant le meilleur tracé pour le confort et la sécurité qu'il offre aux voyageurs.

V.2.2.2. Les courbes circulaires ($R= \text{Constant}$)

Dans les zones où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on fait recours aux raccordements circulaires avec le plus grand rayon possible qui est fonction de la vitesse de circulation des trains dans la courbe. Une courbe circulaire est une courbe de rayon bien déterminée.

V.2.2.3. Les courbes de raccordement ($R= \text{Variable}$)

Le raccordement entre l'alignement droit et le cercle de raccordement doit être fait avec des courbes de raccordement progressives. La courbe de raccordement la plus utilisée est la clothoïde dont la courbure est Proportionnelle à l'abscisse curviligne ; dont sa nomination comme courbe curviligne. On utilise ce type de raccordement afin de :

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

V.2.3. Les Paramètres Géométrique

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 le renverser à l'extérieur du virage.

Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et le matériel roulant, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieure de la voie par rapport au rail intérieur de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

V.2.3.1. Dévers théorique (d_r)

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est telle que la résultante du poids du véhicule et de la force centrifuge est perpendiculaire au plan de roulement, l'action de l'accélération transversale est entièrement compensée.

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Mécaniquement la résultante doit être perpendiculaire à la surface de roulement

Pour la force centrifuge : $F = \frac{m.v^2}{R}$
 Pour le poids de véhicule : $P = m.g$

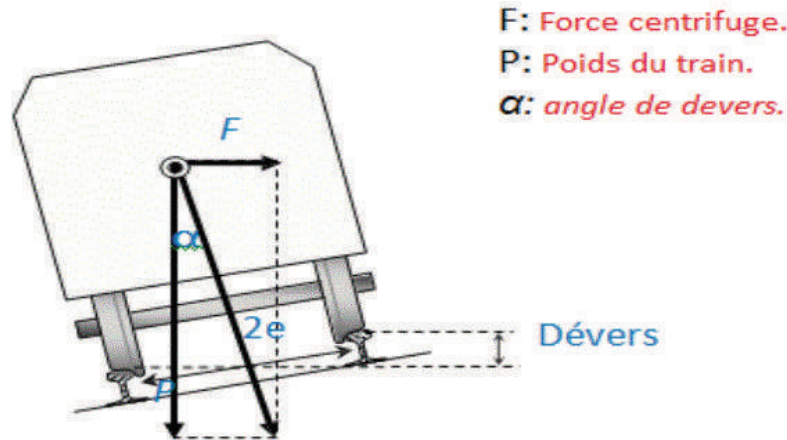


Figure V. 2 Dévers

Hypothèse de calcul : $\cos \alpha = 1$ et $\sin \alpha = \tan \alpha = \frac{P}{F} = \frac{d}{l}$

En effet le dévers maximale autorisé $d_{max} = 150\text{mm}$ pour l'écartement normale, l'angle α ne dépasse pas 6°

$d = e. \sin \alpha$ Donc : $d = e. \tan \alpha = \frac{e.V^2}{R.g}$ (V en m/s)

Pour la voir normale les variables prennent les valeurs suivant

$e = 1435\text{mm}$ $V = [\text{m/s}] = \frac{V_R}{3.6} [\text{Km/h}]$
 $I = 1500\text{mm}$ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

D'ou: A.N: $e = 1.5\text{m}$, $g = 9.81\text{m/s}^2$ et $V (\text{m/s}) = (1/3.6) * V (\text{km/h})$

On aura $D_{th} = \frac{11.8 \times V^2 (\frac{\text{km}}{\text{h}})}{R(\text{m})} [\text{mm}]$ (5.2)

V.2.3.2. Dévers pratique (dp)

Le choix du devers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret. Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique (dévers prescrit).

Sa valeur doit ainsi satisfaire aux conditions suivantes :

- Assurer la sécurité, en compensant suffisamment la force centrifuge,
- Eviter l'usure excessive de la voie par les trains,
- Limiter le déport du matériel roulant,

- Assurer un confort satisfaisant des voyageurs.

Dans la formule du dévers théorique, on remarque que ce dernier est inversement proportionnel au rayon de la courbe. Ceci conduit à définir, pour un tronçon de voie donné englobant plusieurs courbes, un coefficient commun.

Le dévers pratique est : $d_p = 1000 \times \frac{c}{R}$ (d en mm, R en m).

V.2.3.3. Le coefficient de dévers (C)

Le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers pratique et la courbure. On peut calculer le coefficient de dévers par la méthode de (SNCF)

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

$$C = 0.006 \times V_{max}^2 \quad (5.3)$$

V.2.3.4. Notion d'insuffisance et de l'excès de dévers

En réalité, les dévers nécessaires pour le train rapide des voyageurs est plus importants que celui du train de marchandise. Pour une vitesse V_R des trains rapides, un dévers rend difficile sinon impossible, le démarrage des trains de marchandise à cause de la traction, de plus, les surcharges entraînent l'écartement des champignons et la formation des bavures. Pour une vitesse V_L des trains de marchandises correspond un dévers d_L , le voyageur ressent un confort marqué, un chan freinage de la file supérieure et la fatigue de ses attaches.

Ce phénomène nécessite la recherche d'un dévers réel (pratique), une solution de compromis donnant une insuffisance I pour les trains rapides et un excès E pour les trains lents. L'insuffisance ou l'excès du dévers sera appliqué progressivement jusqu'à atteindre la valeur prévue en plein courbe.

V.2.3.4.1. 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.

$$I = \frac{11.8 \times V_v^2}{R} - D_p [mm] \quad (5.4)$$

- Valeur maximale normale 150mm
- Valeur maximale exceptionnelle 160mm

V.2.3.4.2. 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.

$$E = D_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} [mm] \quad (5.5)$$

- Valeur maximale normale 110mm
- Valeur maximale exceptionnelle 130mm

V.2.3.5. Raccordement de dévers

Le passage d'un dévers nul en alignement à un dévers prévu en pleine courbe doit se faire d'une façon progressive. Cette progression se fait sur une longueur appelée « rampe de dévers ». La variation de dévers par unité de longueur est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie, cette variation est accompagnée aussi de la variation de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Son exécution se fait par la surélévation progressive du rail extérieur par rapport au rail intérieur

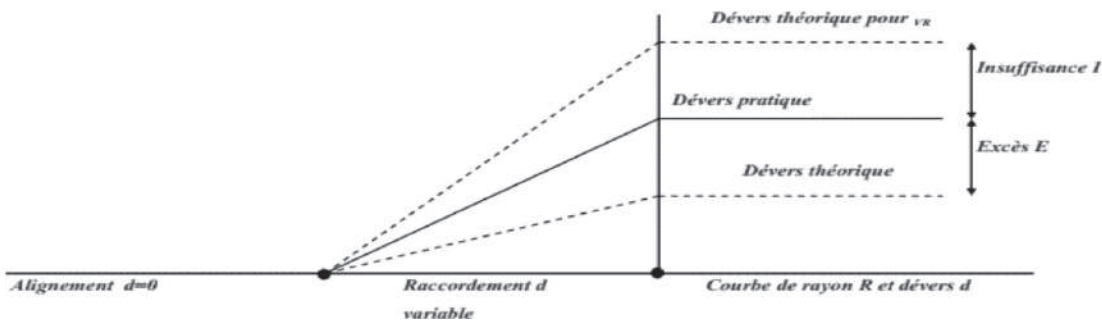


Figure V. 3 Schéma de raccordement de dévers

Taux exprimé en mm/s suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une circulation circulant à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_r}{3.6 \times L_{RP}} \quad (5.6)$$

- Valeur maximale normale 50 mm/s
- Valeur maximale maximal 90 mm/s

V.2.3.7. Variation de dévers

V.2.3.7.1. Variation en fonction de la longueur $\frac{dD}{dl}$

Taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur

$$\frac{dD}{dl} = \frac{3.6}{V_v} \times \frac{dD}{dt} = \frac{d_p}{L} \quad (5.7)$$

Valeurs limite normal	180/v
Valeur limite exceptionnelle	216/v

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

Selon la prénorme (XP ENV 13803-1)

- valeur limite recommandée : 2,25 mm/m ;
- valeur limite maximum : 2,5 mm/m.

V.I.1.1.1. Variation en fonction de temps $\frac{dD}{dt}$

Une limite de la variation de dévers (dd/dt) dans les courbes de translation est nécessaire pour que la vitesse de rotation des véhicules ne nuise pas à leur stabilité

$$\frac{dD}{dt} = \frac{D \times V_v}{3.6 \times L_R} \quad (5.8)$$

D'après référentielle **SNTF Chapitre 6 Géométrie V2**

Tableau V. 3 Taux de variation du dévers dd/dt

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

Calcul de clothoïde

Cet élément permet également la transition entre deux dévers transversaux différents (condition de gauchissement) et permet d'intégrer dans le temps les variations d'accélération transversale (condition de confort dynamique). Le respect des longueurs ci-dessus permet un respect de ces deux conditions

$$\frac{dD}{dt} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L} \leq \left(\frac{dd}{dt}\right)_{rec} \Rightarrow L \frac{(d \times V_{max})}{3.6 \times \left(\frac{dd}{dt}\right)_{rec}} \quad (5.9)$$

Le paramètre de clothoïde est calculé selon l'équation suivante : $A = \sqrt{R \times L}$

V.2.4. Application numérique pour le calcul des dévers

D'après la référentielle **SNTF** on a les données suivantes :

Tableau V. 4 Valeurs Limites

Paramètre et symbole	Valeur normale	Valeur exceptionnelle
Devers maximal (dmax)	160 mm	180 mm
Insuffisance de dévers voyageur (I)	150 mm	160 mm
Excès de dévers (E)	110 mm	130 mm
Variation de dévers (dd/dl)	180 / V	216 / V
Limite de variation de dévers (di/dt)	75 mm/s	90 mm/s

V.2.4.1. Détermination du Rayon minimale normale (R_{min})

$$D_{R_{min}} = \frac{V_v^2 E_{max} + V_m^2 I_{max}}{V_v^2 - V_m^2}$$

$$= \frac{160^2 \times 100 + 80^2 \times 150}{160^2 - 80^2}$$

$$= 183.33 \text{ mm} > 160 \text{ } \text{donc on prend } D_{R_{min}} = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Et la formule donnant le rayon minimale : } R_{min} = \frac{11.8 \times V_v^2}{(D_{R_{min}} + I_{max})}$$

$$\text{Avec : } D_{R_{min}} = 160 \text{ mm.}$$

$$I_{max} = 150 \text{ mm.}$$

$$\text{A.N: } R_{min} = \frac{11.8 \times 160^2}{(160 + 150)}$$

$$R_{min} = 974.452$$

$$\text{Donc } R_{min} \approx 1000 \text{ m.}$$

V.2.4.2. Calcul du coefficient de dévers (C)

$$C = 0.006 * V_m^2$$

$$\text{AN: } C = 0.006 * 160^2 = 153.6 \text{ on prend } C=165$$

V.2.4.3. Détermination de dévers pratique (dp)

$$\text{D'après la formule : } d_p = 1000 \cdot \frac{C}{R}$$

$$= 1000 \times \frac{165}{1000} \quad d_p = 165 \text{ mm}$$

V.2.4.4. Calcul de l'insuffisance (I) et l'excès de dévers (E)**V.2.4.4.1. L'insuffisance (I)**

$$\text{On a: } I = d_{TR} - d_p$$

$$\text{Avec : } d_{TR} \text{ dévers théorique et } d_p \text{ dévers pratique}$$

$$\text{A.N: } I = \frac{11.8 \times 160^2}{1000} - 165 = 137.08 \text{ mm}$$

$$\text{D'après IN 0272 } I = 137.08 \leq 150 \text{ mm C'est Vérifie}$$

V.2.4.4.2. L'excès de dévers (E)

$$\text{On a: } E = d_p - d_m$$

Avec : D_m : dévers marchandise et d_p : dévers pratique

$$E = 165 - \frac{11.8 \times 80^2}{1000} = \mathbf{91.48 \text{ mm}}$$

D'après IN 0272 $E = 91.48 \leq 110 \text{ mm}$ **C'est Vérifié**

V.I.5.5. Calcul de la longueur de clothoïde

On détermine la longueur de clothoïde par itération sachant qu'il faut que les trois conditions soient justifiées :

On a trouvé que $L_R = 140$.

$$\begin{aligned} & \bullet \frac{dd}{dt} = \frac{d_p \times V_{max}}{3.6 \times L_R} \leq 50 \\ \text{AN: } \frac{150 \times 160}{3.6 \times 140} &= \mathbf{48.76 \leq 50} \rightarrow \text{vérifié} \\ & \bullet \frac{dl}{dt} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_R} \leq 75 \\ \text{AN: } \frac{148 \times 160}{3.6 \times 140} &= \mathbf{47.13 \leq 75} \rightarrow \text{vérifié} \\ & \bullet \frac{dd}{dl} = \frac{d_p}{L_R} \leq 1.125 \\ \text{AN: } \frac{150}{140} &= \mathbf{1.091 \leq 1.125} \rightarrow \text{vérifié} \end{aligned}$$

Paramètre de clothoïde (A)

On fait le calcul pour $R_{min} = 1000 \text{ m}$ Le paramètre de clothoïde est donné par la formule suivante

$$A = \sqrt{R \times L} = \sqrt{1000 \times 140} = 347.16 \text{ m}$$

Pour ramener les valeurs des paramètres de clothoïde et du devers à des chiffres pratiques, on fait un arrondissement de 10m pour la longueur de clothoïde, et 5 mm pour le devers pratique.

V.2.5. Application sur projet

Tableau V. 5 Paramètres du tracé en plan

V. 4 Rayon	D_{th}		d_p	I	E	$L_{adopté}$	A
	d_{tr}	d_{tm}					
2000	151.04	37.76	76.8	74.24	39.04	150	547.723
1200	251.73	62.93	128	123.73	65.06	130	394.968
4000	75.52	18.88	38.4	37.12	19.52	200	894.427
2000	151.04	37.76	76.8	74.24	39.04	200	632.456

V.3.PROFILE EN LONG

V.3.1. Introduction

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. Cette ligne doit respecter les conditions suivantes :

- Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé.
- Respecté la déclivité maximale qui est de 16‰.
- Minimiser les quantités de déblai et remblai et les équilibrés.
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux.
- Assuré la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

V.3.2. Règles à respecter dans le Profil en Long

Le profil en long est établi sur l'axe de l'ouvrage dans la zone souterraine, et prolongé de telles façons qu'on assure la même pente de la sortie du tunnel vers la zone aérienne. Et pour le bon tracé du profil en long il faut respecter les règles suivantes :

- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à certaines règles.
- Ne pas dépasser les déclivités maximales.
- Respecter les pentes minimales pour assurer un bon écoulement des eaux.
- Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
- Eviter les hauteurs excessives en remblai et respecter les hauteurs maximales en déblai.
- En voie ferrée, on recherche toujours à avoir les paliers dans le tracé pour faciliter la traction du train.

V.3.3. Eléments géométriques du profil en long

- **Pente** : C'est la partie du tracé qui donne le sens de la ligne rouge qui est en descente.
- **Rampe** : C'est la partie du tracé qui définit la montée.

Ces deux éléments géométriques doivent assurer une variation d'altitude qui ne dépasse pas 16 pour mille maximum.

- **Pallier** : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Courbe de raccordement verticale** : c'est des arcs de cercle qui assurent la liaison entre deux éléments de la ligne rouge.

Ces différents éléments sont représentés dans la figure suivante :

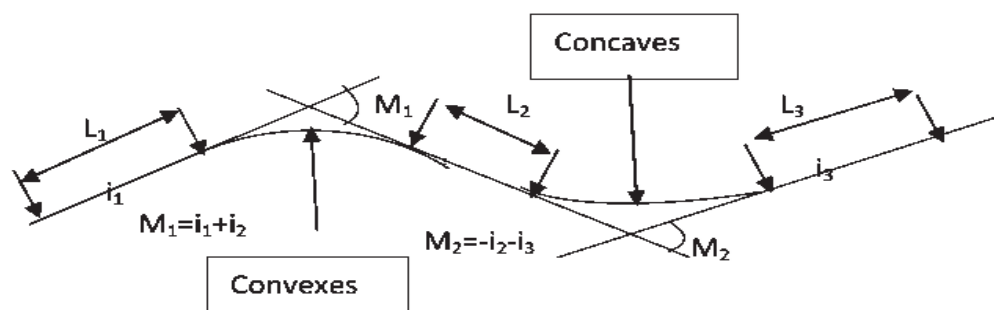


Figure V. 5 Eléments géométriques du profil en long

V.3.4. Longueur minimale des éléments du profil en long

Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importantes aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails.

$$L_{\min} = V/2 = 80 \text{ m}$$

$$L_{\min} = 80 \text{ m}$$

V.3.5. Le raccordement en profil en long

En théorie, et par analogie avec le raccordement en plan, la courbe de raccordement devrait être constituée d'un arc de cercle et de deux clothoïdes.

Selon l'UIC le rayon minimal des courbes de raccordement ne doit pas être inférieur à 2000m.

Selon la Norme IN0272 le rayon minimal se calcule suivant le tableau ci-dessous :

Valeur normale	$0.35 V^2$
Valeur exceptionnelle	$0.25 V^2$

Tableau V. 6 Valeurs des rayons verticaux de raccordement minimaux à respecter

A.N :

$$R_{v_{\min}} = 0,35V^2 = 8960 \text{ m.}$$

$$R_{v_{\min}} = 8960 \text{ m.}$$

V.3.6. Coordinations profil en long-tracé en plan

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

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

Le respect de ces conditions a pour but de :

- Distinguer clairement les dispositions des points singuliers.
- Prévoir de loin l'évolution du tracé et assurer une bonne visibilité.
- Garantir la sécurité des voyageurs et du matériel roulant.
- Offrir du confort aux voyageurs.

V.4.CONCLUSION

En respectant les recommandations et les limites des normes, le tracé en plan et le profil en long et donc conçue d'une manière satisfaisante les exigences et de la sécurité et du confort

Note : Listing de tracé en plan et le profil en long sont dans l'annexe A.

PROFILE EN TRAVERS

VI.1. INTRODUCTION

VI.1.1. Profil en travers type

VI.1.2. Profil en travers courant

VI.2. ETABLISSEMENT DE PROFILE TYPES

VI.2.1. Elément de la superstructure

VI.2.2. Eléments de l'infrastructure

VI.2.3. Eléments de talus

VI.2.4. Eléments d'assainissement

VI.2.5. Les éléments de protection de la voie

VI.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS

VI.4. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET

VI.5. CALCUL DES CUBATURES

VI.6. CONCLUSION



VI.1.INTRODUCTION

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

L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

On distingue deux types de profil :

VI.1.1. Profil en travers type :

Est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

VI.1.2. Profil en travers courant :

Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet .devers de la plate-forme.

VI.2.ETABLISSEMENT DE PROFILE TYPES

VI.2.1. Elément de la superstructure

- La valeur de l'écartement de la voie
- La distance entre les axes
- Le type de traverse utilisé
- Poteaux Quatemère
- La valeur du devers en courbe
- L'épaisseur de la couche de ballaste

VI.2.2. Eléments de l'infrastructure

- Les épaisseurs de chaque couche
- Les pentes transversales de chaque couche
- La pente latérale de la plateforme

VI.2.3. Eléments de talus

- La pente de chaque talus
- Les ouvrages de consolidation

VI.2.4. Eléments d'assainissement

- Type et dimension du drainage longitudinal

VI.2.5. Les éléments de protection de la voie

- Butées en terre en cas d'ensablement
- Système de protection contre la chute de pierres

VI.3.LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS

- **Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **La voie** : C'est le chemin de roulement des trains.
- **La berme** : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations..). Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **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

VI.4.PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET

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

- Type de ligne : double voies mixte électrifiée.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Entraxe : 4,20 m
- Distance axe voie – axe Poteau caténaire a la face extérieur du rail : 3.25 m
- Largeurs de la plate-forme :13.60 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
- Pente (déblai : 2/3 et remblai : 2 / 3).
- Fossé trapézoïdale (b= 0.5 m ; h= 0.8 m)

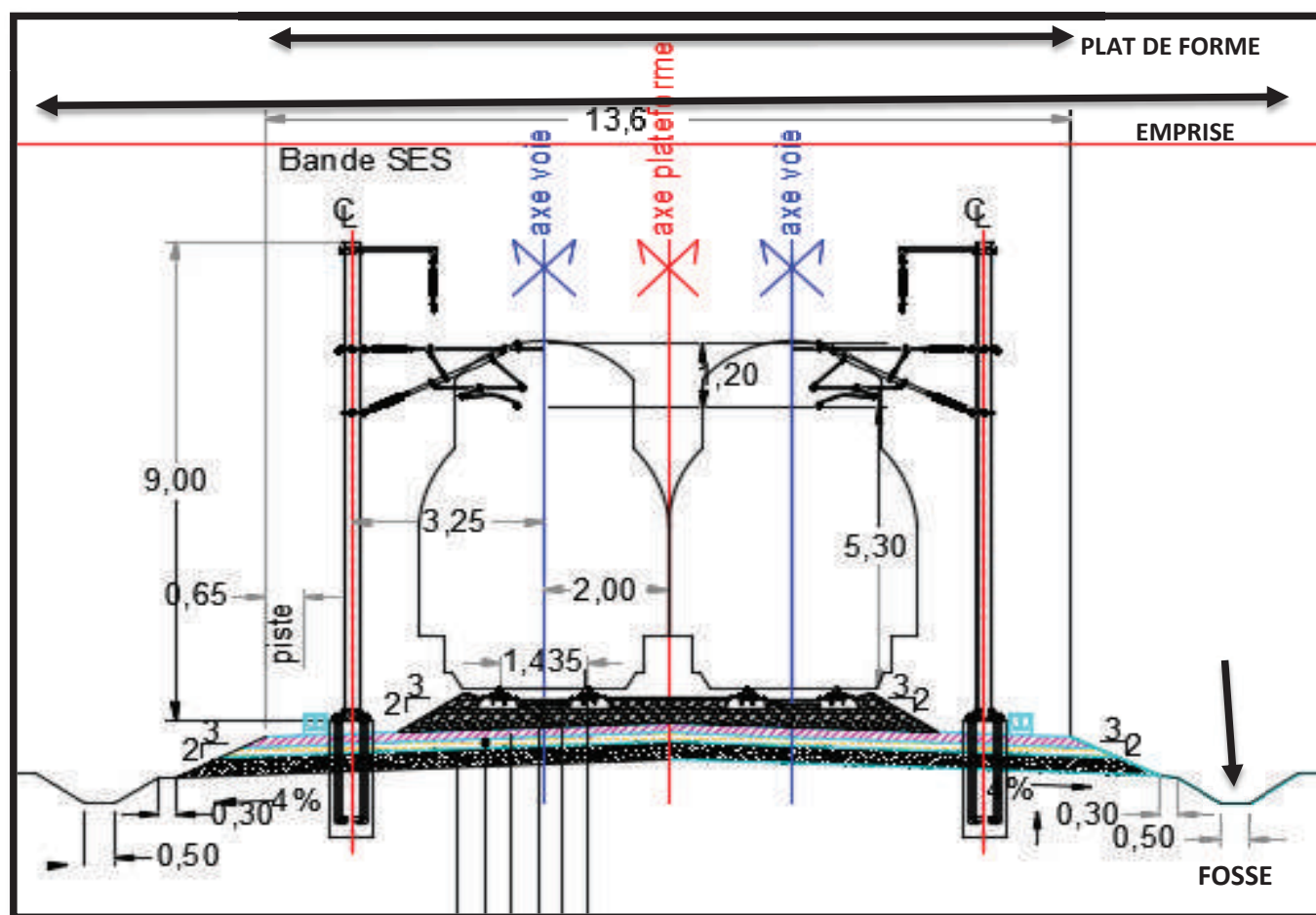


Figure XI. 1 Éléments géométriques du profil en travers

VI.5.CALCUL DES CUBATURES

Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet. Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.
- Les profils en travers.
- Les distances entre les profils.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux, on peut citer :

- Méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).
- Méthode de l'aire moyenne (méthode par défaut).
- Méthode de la longueur applicable.
- Méthode approchée.

Aucune de ces méthodes donnent de résultats exactes, pour rapprocher de l'exactitude on doit majorer les résultats avec une certaine marge d'erreur (selon l'appréciation ingénieur), Les résultats obtenus seront utilisés pour l'estimation du coût de projet.

Pour le projet étudié, le calcul des cubatures de terrassement ainsi que celui des couches d'assise a été effectué avec le logiciel CIVIL3D2018

Les résultats obtenus sont indiqué dans les tableaux suivants :

Tableau VI. 1 Volumes des terrassements

Terrassement	Remblais	Déblais	Net
Volume (m3)	398845.99	18823.255	380022.735

Tableau VI. 2 Volumes des couches d'assise ferroviaire

Assise ferroviaire	Ballast	Sous ballast	Couche de forme	Couche de fondation
Volume (m3)	43286.42	22632.72	43786.21	20733.95

VI.6.CONCLUSION

Le profil en travers est indispensable lors d'une étude, donc dans ce chapitre nous permis d'énumérer les éléments du profil en travers ainsi que c'est la détermination des volumes des terrassements et de la couche d'assise de la voie ferrée

ETUDE DE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIE

VII.1. INTRODUCTION

VII.2. ETUDE GEOLOGIQUE

VII.2.1. Contexte géomorphologique

VII.2.2. Contexte géologique

VII.2.3. Contexte sismique

VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE

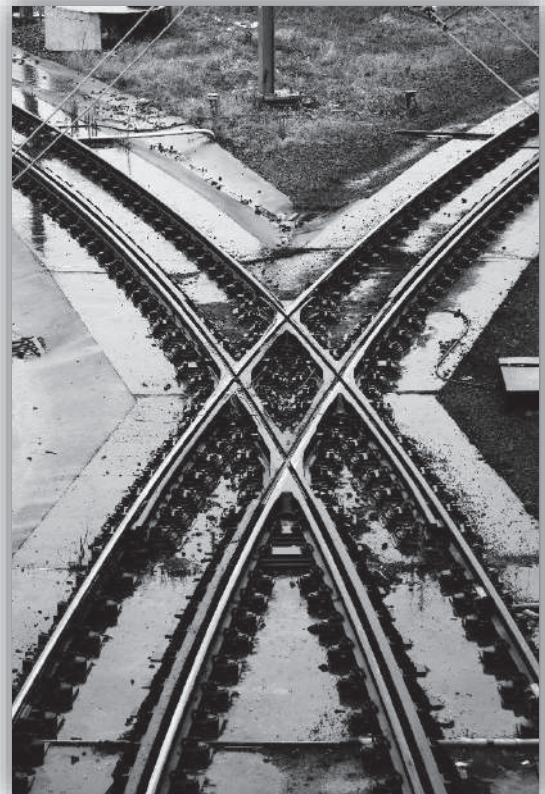
VII.3.1. Les puits de reconnaissance

VII.3.2. Les sondages carottés

VII.3.4. Essais au laboratoire

VII.4. Classification des matériaux par unité lithologique

VII.5. CONCLUSION



VII.1. INTRODUCTION

Les études géologiques et géotechniques sont des éléments indispensables dont dépend en grande partie la qualité de projet.

En premier lieu on détermine la nature et les propriétés des sols en place avec la classification des matériaux et on formule des recommandations d'ordre géotechnique devant leur permettre de concevoir et de réaliser l'ouvrage projeté.

Ce chapitre traite deux parties, la première étant l'étude géologique définissant les contextes géologiques et sismiques, et la seconde traite l'étude géotechnique où sont résumés tous les essais in-situ et les essais au laboratoire.

VII.2. ETUDE GEOLOGIQUE

VII.2.1. Contexte géomorphologique

Voir chapitre II (Présentation de projet).

VII.2.2. Contexte géologique

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire devant relier Tipaza et El-Affroun s'inscrit presque entièrement dans la plaine de Mitidja. Les unités géologiques qui constituent la région d'étude sont :

- **Le socle cristallin :**

Il se manifeste très intensivement par les plissements métamorphiques à plusieurs reprises. Le soulèvement de la montagne s'est déroulé au cours du Miocène.

- **La dorsale d'âge jurassique:**

Les chaînons de la région de Tipaza d'ossature calcaire d'âge liasique, considérés comme la continuité orientale des unités de la dorsale Kabyle. Elle est marquée par une tectonique récente induisant des soulèvements le long de la côte ainsi que par la sismicité enregistrée dans cette zone.

- **Série de flysch d'âge Crétacé et Eocène:**

Se présente comme une unité charriée en nappes de recouvrement et reposant en partie sur le cristallin et en partie sur les unités telliennes qui sont développées en profondeur. Au-dessous des flysch. Cette unité et les unités telliennes sous-jacentes sont bien plissées.

- **Oglio-miocène :**

Matériaux flysch appartenant à la nappe numidienne. Cette nappe est caractérisée ; par la superposition de deux sous unités : Unité sous-numidienne renferme des argiles versicolores de teintes vertes ou rouge violacé. Unité numidienne renferme des grès quartziques avec ciment siliceux sous forme de bancs métriques de grains hétérogènes. Ces grès sont en alternance d'argiles verdâtres et rougeâtres.

- **Mio-Pliocène:**

Il débute par un niveau à glauconie séparant l'Asti en et le Plaisancien, surmonté par une épaisse série de calcaires à Lithothamnées et de calcaire gréseux, des marnes grises ou bleues, parfois jaunes du Plaisancien, est une séquence épaisse et uniforme sur laquelle repose la majeure partie de la plaine.

- **Pliocène-Quaternaire Supérieur:**

Dépôts continentaux de conglomérats détritiques grossiers ferrugineux, parfois calcaires Pélito-morphiques et tufs calcaires. La puissance ne dépasse pas 20 mètres.

- **Quaternaire :**

Au quaternaire récent le fossé d'effondrement va connaître un remplissage par les marnes. Puis par des matériaux détritiques au Paléo-Quaternaire il est représenté par des alluvions, sables et conglomérats visibles surtout le long des oueds. La puissance est de 10 mètres.

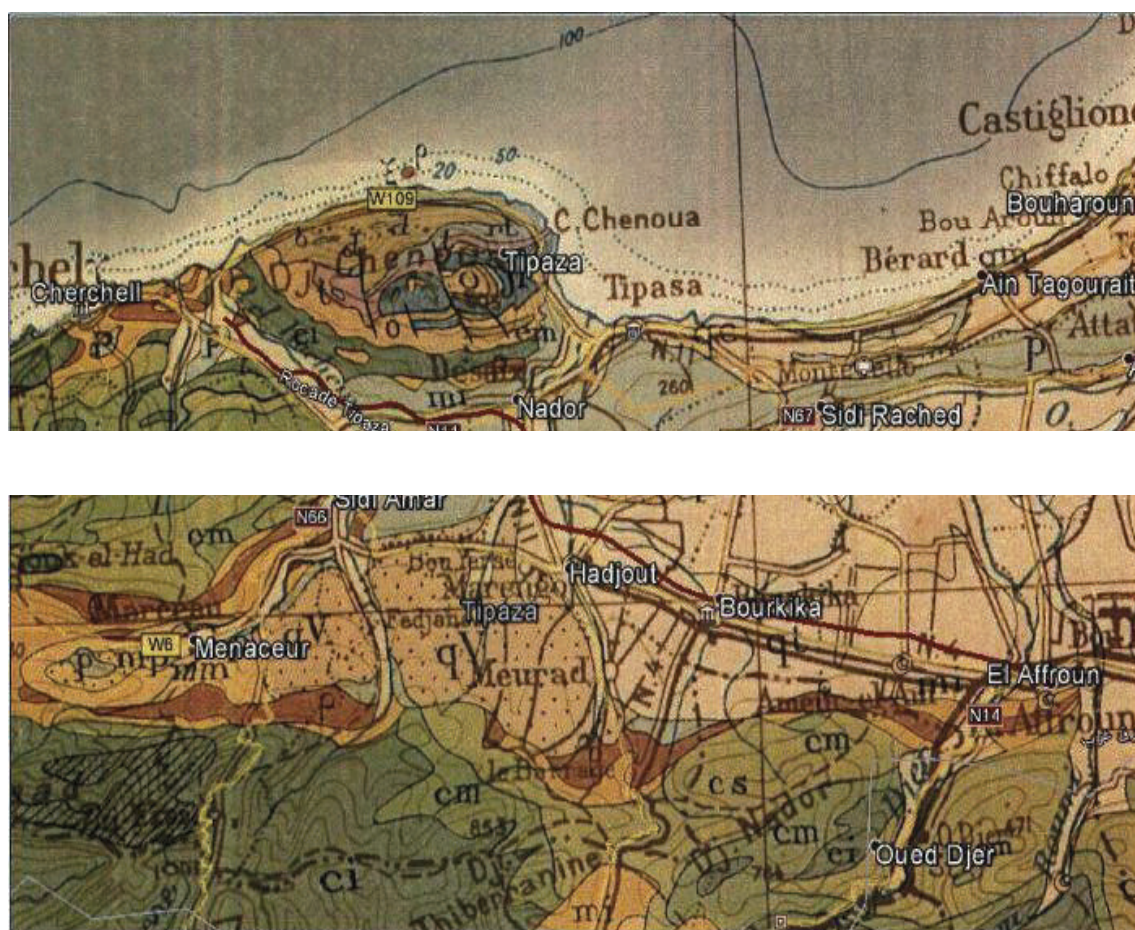
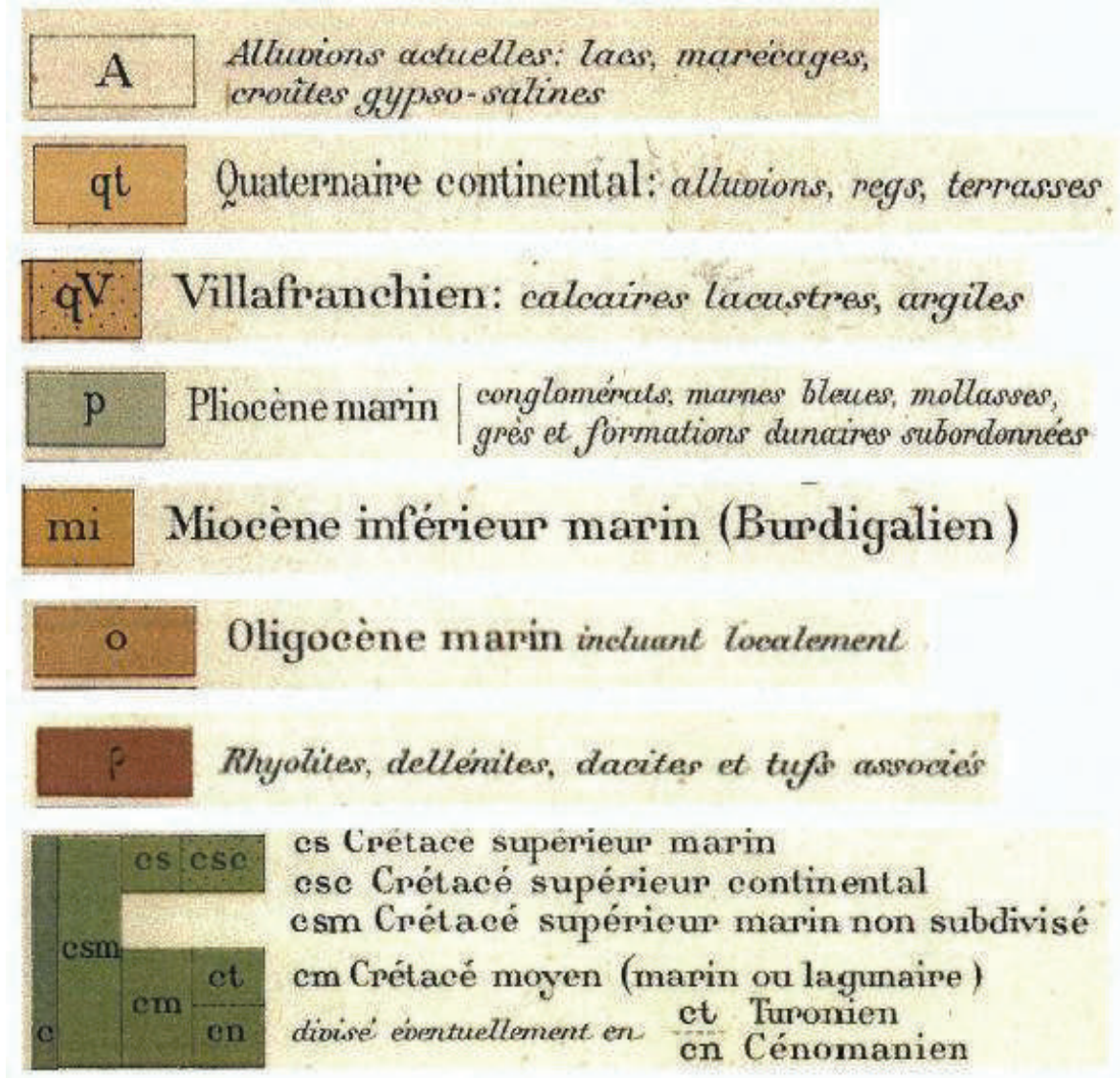


Figure VII. 1 Carte géologique de la zone d'étude

• Légende



VII.2.3. Contexte sismique

Le Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art (R.P.O.A 2008) a établi des règles, qui sont fonctions de l'intensité de l'action sismique d'une région, pour tenir compte de la probabilité d'occurrence d'un séisme dans une région d'étude. Ces règles divisent le territoire algérien en cinq (05) zones sismiques :

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

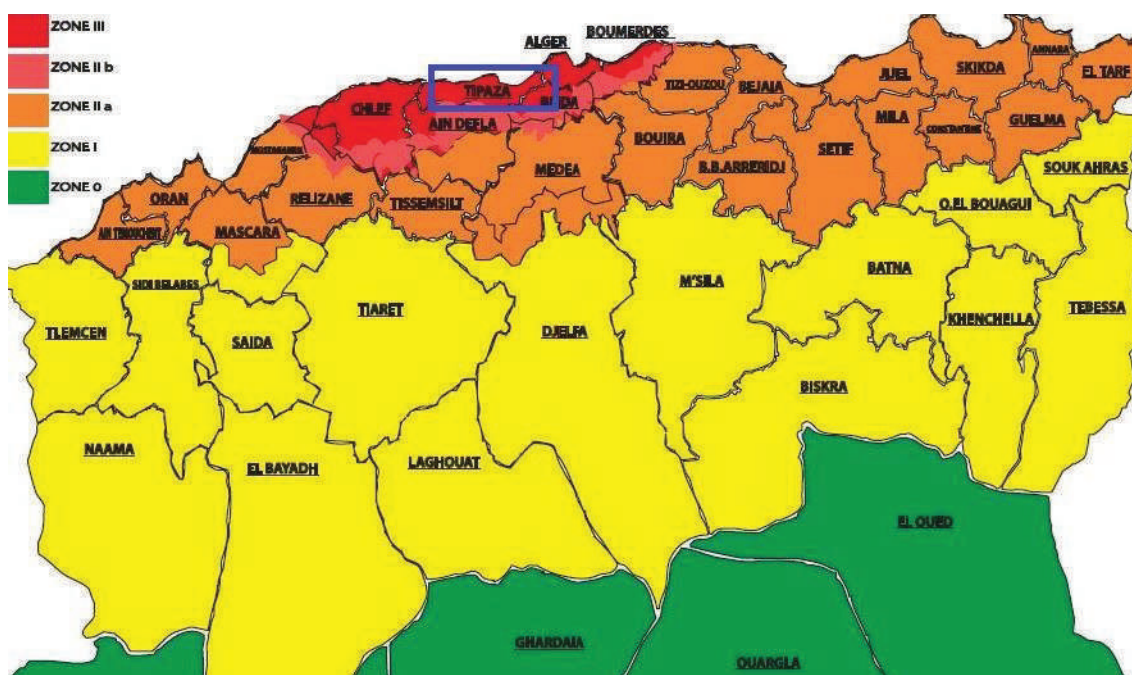


Figure VII. 2 Situation du secteur d'étude sur la carte de zonage sismique du territoire national.

Le site peut être considéré comme à sismicité élevée classé en **ZONE III**. Les caractéristiques sismiques pourront être prises en compte dans les calculs éventuels de vérification de la sécurité et la stabilité vis-à-vis des séismes. Ces données peuvent être retenues pour les calculs sismiques de la structure des ouvrages d'art et les grands déblais et remblais.

VII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE

Le programme de la campagne d'investigation géotechnique exécuté au niveau du tronçon objet de notre projet allant du PK 10+000 au PK 19+000, a consisté en réalisation des travaux suivants :

- 07 Puits de reconnaissance (PU).
- 04 Sondages carottés (SC).
- 03 Sondages pressiométriques (SP).
- 04 Essais au pénétromètre dynamique lourd TYPE B (PDL).
- Essais de laboratoire sur les échantillons originaires des puits et des sondages.

Les sondages carottés et les puits de reconnaissance permettent de :

- ✓ Déterminer la nature du sous-sol.
- ✓ visualiser l'homogénéité et le pendage des couches.
- ✓ Prélever des échantillons intacts pour réaliser des essais de laboratoire.

VII.3.1. Les puits de reconnaissance

Tableau VII. 1 Localisation et description des puits de reconnaissance

Puits	PK	Coordonnées (UTM)		Profondeur(m)	Description
		X	Y		
PU-08-AT	10+150	456553	4038665	0.00 à 0.80 0.80 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur beige.
PU-09-AT	10+950	455757	4038835	0.00 à 0.50 0.50 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur beige.
PU-10-AT	12+600	454143	4039223	0.00 à 0.50 0.50 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur beige.
PU-11-AT	13+650	453176	4039564	0.00 à 0.50 0.50 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur beige.
PU-12-AT	14+950	451975	4040068	0.00 à 0.50 0.50 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur brune.
PU-13-AT	16+975	450278	4041198	0.00 à 0.50 0.50 à 1.20 1.20 à 1.30 1.30 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur rouge. -nappe. -Argile de couleur rouge.
PU-14-AT	18+200	449235	4041877	0.00 à 0.50 0.50 à 3.50	-Terre végétale. -Argile de couleur brune.



Figure VII. 3 Puit de reconnaissance 12 (00.00 à 03.50m)

VII.3.2. Les sondages carottés

Tableau VII. 2 Localisation et description des sondages carottés

Sondages carottés	PK	Coordonnées (UTM)		Profondeur (m)	Description
		X	Y		
SC04-2AT	11+310	455406	4038909	0.00 à 1.50 1.50 à 4.30 4.30 à 4.50 4.50 à 6.50 6.50 à 8.00 8.00 à 12.00 12.00 à 12.50 12.50 à 15.00	-Terre végétale. -Argile sableuse. -Passage sable graveleux. -Argile sableuse. - Passage sable graveleux. -Argile sableuse peu graveleuse. -Passage sable graveleux. -Argile limoneuse.
SC05-AT	13+425	453376	4039497	0.00 à 0.50 0.50 à 6.60 6.60 à 12.80 12.80 à 15.00	-Terre végétale. -Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre. -Dépôt alluvionnaire constitué de sable moyen à grossier avec graviers et peu de galets dans une matrice argileuse. -Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
SC06-AT	14+075	452769	4039723	0.00 à 1.50 1.50 à 6.00 6.00 à 12.50 12.50 à 20.30 20.30 à 20.70 20.70 à 21.00	-Terre végétale. -Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre. -Dépôt alluvionnaire constitué de sable moyen à grossier avec graviers et galets dans une matrice argileuse. -Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre. -Dépôt alluvionnaire constitué de sable moyen à grossier avec graviers et galets dans une matrice argileuse. -Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
SC07-AT	16+225	450905	4040778	0.00 à 1.50 1.50 à 2.00 2.00 à 6.60 6.60 à 15.00	- Argile limoneuse brunâtre à vert jaunâtre. - Argile limoneuse graveleuse brunâtre à vert jaunâtre. - Dépôt alluvionnaire constituer de sable moyen à grossier avec graviers et peu de galets dans une matrice argileuse. - Argile limoneuse brunâtre à vert jaunâtre



Figure VII. 4 Sondage carotté 05 (00.00 à 15.00m)

VII.3.3. Les essais in-situ

VII.3.3.1. Essai au pénétromètre dynamique

L'essai pénétromètre effectué est de type (B) conformément à la norme NF P 94 - 115 (ne comporte pas de dispositif d'injection de bentonite), il permet d'apprécier :

- La succession des différentes couches du terrain.
- L'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies.
- La position d'une couche résistante dont l'existence est connue.

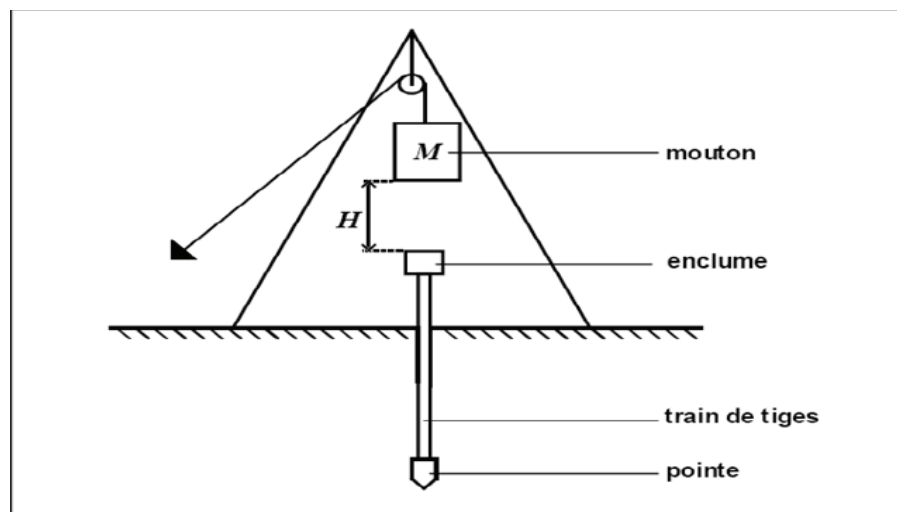


Figure VII. 5 Schéma de principe d'un pénétromètre dynamique

• Principe de l'essai

Un pénétromètre dynamique est un appareil constitué essentiellement par un train de tiges, ayant une pointe conique à son extrémité. L'ensemble est enfoncé dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée sous l'action de chocs répétés, exercés sur la tête du train de tiges par une masse (mouton de battage) tombant en chute libre d'une hauteur constante.

La résistance dynamique de pointe donnée par le sol (R_d) est estimée en fonction de ce nombre de coups par la formule dite « des Hollandais ».

$$R_d = \frac{M^2 \times H}{A \times \frac{e}{N} \times (M + \sum M')} \quad (7.1)$$

Tableau VII. 3 Localisation et résultat de l'essai au pénétromètre dynamique

PDL	PK	Profondeur ou refus (m)	Rd(MPa)			Qadm (MPa)
			Min	Max	Moy	
PDL05-AT	10+150	14.5 sans refus	0,8	7,5	4,28	0,17
PDL06-AT	10+950	14.5 sans refus	1,6	7,2	4,65	0,18
PDL07-AT	12+600	Refus à 11.8	0,8	14,5	5,50	0,22
PDL08-AT	18+200	13.6 sans refus	0,8	12,4	5,60	0,22

0,17 < Qadm < 0,22 $\longrightarrow$ Le sol représente une moyenne portance

Les pénétrogrammes des essais présentent dans l'annexe B

VII.3.3.2. Essai pressiométrique

L'essai pressiométrique effectué conformément à la norme **NF P 94 – 110**, il s'agit d'un essai de chargement statique du terrain en place, effectué grâce à une sonde cylindrique dilatable radialement introduite dans un forage exécuté au préalable, la sonde utilisée est en gaine toilée ou caoutchouc, de diamètre ϕ 60 mm.

L'essai permet d'obtenir une courbe de variation volumétrique du sol en fonction de la contrainte appliquée, et de définir une relation contrainte-déformation du sol en place dans l'hypothèse d'une déformation plane.

• But de l'essai

L'essai est réalisé par « pas » de 1 m afin de connaître :

- ✓ Les déformations du sous-sol selon les paliers de contrainte.
- ✓ La nature des couches traversées par la tarière hélicoïdale.

L'essai pressiométrique met en évidence les caractéristiques suivantes :

- Module pressiométrique Ménard (E_m).
- Pression limite (PL).
- Pression de fluage (Pf).

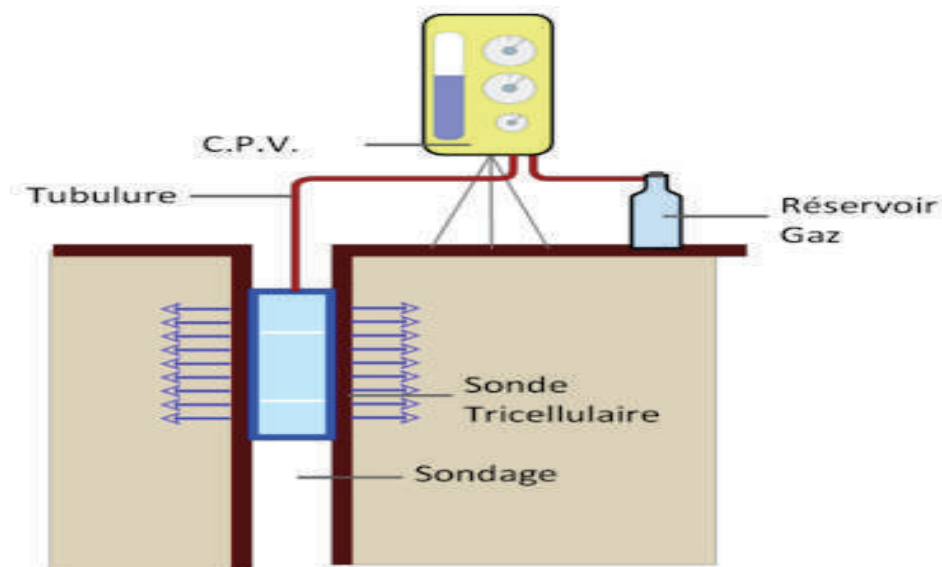


Figure VII. 6 Schéma de principe de l'essai Pressiométrique

Trois (03) sondages pressiométriques ont été réalisés le long de notre tracé, dont leurs profondeurs et 20 m.

Les résultats des essais pressiométriques sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau VII. 4 Localisation et résultat de l'essai pressiométrique

SP	PK	Profondeur max (m)	Module pressiométrique et pression limite (Mpa)	Min (Mpa)	Max (Mpa)	Moy (Mpa)
SP-04-AT	11+310	20	E	6,41	34,4	22,95
			PL	0,54	1,32	0,97
SP-05-AT	13+430	20	E	19,3	131	56,22
			PL	0,43	2,49	1,24
SP-06-AT	16+220	20	E	12,4	44,1	23,63
			PL	0,45	1,54	0,81

Les résultats détaillés des essais pressiométriques sont dans l'annexe **B**

VII.3.4. Essais au laboratoire

Les échantillons intacts paraffinés ou remaniés prélevés dans les sondages et les puits ont été soumis à différents essais d'identifications des propriétés physiques ainsi que des essais mécaniques.

VII.3.4.1. Essais d'identification physico-chimique

Les essais d'identification qui ont été réalisés lors de cette campagne géotechnique sont les suivants :

- Détermination de la teneur en eau selon la norme **NF P94-050**.
- Valeur au bleu de méthylène selon la norme **NF P94-068**.
- Analyse granulométrique et sédimentométrique selon **NF P94-056 /NF P94-057**.
- Essai Proctor modifié selon la norme **NF P94-093** (Essai mécanique).

Tableau VII. 5 Résultats des essais d'identification issus des sondages carottés et des puits de reconnaissance

	Type	PK	Profondeur (m)		Teneur en eau W (%)	Analyses granulométriques			Essai Proctor		VBS
			de	à		D max (mm)	< 2mm (%)	< 80µm (%)	γ _d max (t/m ³)	W opt (%)	
Sondages carottés	SC04-2AT	11+310	04.50	04.90	20,13	/	/	/	/	/	/
			12.70	13.00	16,55	/	/	/	/	/	/
	SC05-AT	13+425	04.00	04.40	21,47	/	/	/	/	/	/
			06.10	06.50	16,28	/	/	/	/	/	/
	SC06-AT	14+075	04.50	04.90	14,70	/	/	/	/	/	/
			12.70	13.00	19,53	/	95,51	88,12	/	/	/
	SC07-AT	16+225	07.30	07.80	24,14	/	/	/	/	/	/
			09.00	09.50	17,13	/	98,12	89,02	/	/	/
Puits de reconnaissance	PU-08-AT	10+150	02.00	02.90	13,19	6,3	88,93	74,13	1,69	16,00	3,00
	PU-09-AT	10+950	02.00	02.90	19,37	6,3	84,97	70,49	1,50	17,80	3,00
	PU-10-AT	12+600	02.00	02.90	18,55	6,3	93,65	82,79	1,64	19,1	2,12
	PU-11-AT	13+650	02.00	02.90	22,25	6,3	91,65	80,79	1,65	19,4	3,95
	PU-12-AT	14+950	02.00	02.90	25,09	6,3	90,12	83,14	1,52	22,9	4,04
	PU-13-AT	16+975	02.00	02.90	23,88	6,3	88,65	80,23	1,65	18,2	2,21
	PU-14-AT	18+200	02.00	02.90	17,41	6,3	84,65	79,11	1,69	17,8	3,60

• Interprétation

- L'essai de granulométrie montre un pourcentage en fines très élevé ce qui signifie que le sol prélevé est **fin**.
- L'essai de valeur au bleu de méthylène montre que le sol est **sensible à l'eau** (VBS>0,2).

Tableau VII. 6 Résultats des paramètres physiques issus des sondages carottés

	Type	PK	Profondeur (m)		Poids Volumique sec	Poids Volumique humide	Degré de saturation
			de	à	γ_d (t/m ³)	γ_h (t/m ³)	Sr (%)
Sondages carottés	SC04-2AT	11+310	04,50	04,90	1,72	2,09	103,15
			12,70	13,00	1,82	2,13	100,22
	SC05-AT	13+425	04.00	04.40	1,69	2,05	100,16
			06.10	06.50	1,83	2,13	96,28
	SC06-AT	14+075	04.50	04.90	1,58	1,81	57,52
			12.70	13.00	1,77	2,11	104,10
	SC07-AT	16+225	07.30	07.80	1,63	2,02	102,23
			09.00	09.50	1,82	2,13	99,54

- **Interprétation**

- La moyenne de la densité sèche est de 1,73 t/m³ ce qui signifie que ce sol est **très dense**.
- Le degré de saturation étant très élevé (>95%), nous concluons que ce sol est **très humide**.

VII.3.4.2. Essais mécaniques

Les essais mécaniques qui ont été réalisés lors de cette campagne géotechnique sont les suivants :

- Essai de cisaillement rectiligne non consolidé et non drainé UU selon la norme **NF P94-071-1**.
- Essai de compressibilité à l'œdomètre selon la norme **NF P94-090-1**.

Tableau VII. 7 Résultats des essais mécaniques issus des sondages carottés

	Type	PK	Profondeur (m)		Cisaillement rectiligne		Essai œdométrique	
			de	à	Cu (bars)	φ (°)	Cc (%)	Cg (%)
Sondages carottés	SC04-2AT	11+310	04,50	04,90	0,38	22,80	20,55	0,66
			12,70	13,00	0,98	6,90	11,20	1,99
	SC05-AT	13+425	04.00	04.40	0,42	16,30	15,61	2,99
			06.10	06.50	0,43	20,30	12,96	0,66
	SC06-AT	14+075	04.50	04.90	0,14	23,15	24,91	0,66
			12.70	13.00	1,10	5,60	9,97	1,99
	SC07-AT	16+225	07.30	07.80	0,58	4,00	10,96	0,66
			09.00	09.50	0,41	19,80	11,96	0,66

- **Interprétation**

- Le coefficient de compressibilité Cc varie entre 9.97 et 20.55% ce qui signifie que ce sol prélevé est **moyennement compressible**.
- Le coefficient de gonflement Cg varie entre de 0.66% et 1.99% ce qui signifie que ce sol prélevé est **peu gonflant**.

VII.4. Classification des matériaux par unité lithologique

Le tracé passe par un terrain argileux (Argile sableuse, Argile limoneuse ...etc.).

Les résultats obtenus lors des essais réalisés sur cette unité sont mentionné dans les tableaux Tableau VII. 5, Tableau VII. 6, Tableau VII. 7.

Pour la classification on opte toujours pour des valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres géotechniques obtenues.

VII.5. CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis d'identifier les couches constituant le sol de ce tronçon (PK10+000 au PK19+000), de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques afin de prendre connaissance de la nature du terrain qui sera porteur de l'infrastructure ferroviaire.

DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D' ASSISE

VIII.1. INTRODUCTION

VIII.2. ETABLISSEMENT DE STRUCTURE D' ASSISE

VIII.3. CARACTERISTIQUES ET ROLES DES DEVERS COUCHES D' ASSISE

VIII.3.1. La couche de ballast

VIII.3.2. La sous couche

VIII.4. STRUCTURE D' ASSISE

VIII.4.1. Classification de la plate-forme

VIII.4.2. Calcul de l' épaisseur minimale des couches d' assise

VIII.5. APPLICATION AU PROJET

VIII.5.1. Plate-forme

VIII.5.2. Exigences sur les constituants de l' assise

VIII.5.3. Méthode de dimensionnement adoptée

VIII.6. CONCLUSION



VIII.1.INTRODUCTION

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

La structure d'assise permet d'assurer le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage, en assurant les fonctions suivantes :

- Répartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses (charges reçues).
- Amortir les vibrations de la superstructure.
- Détournement des eaux de pluies.
- Protection contre la contamination du ballast.

De plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie.

VIII.2.ETABLISSEMENT DE STRUCTURE D'ASSISE

Le projet d'une nouvelle ligne ferroviaire ne peut aboutir de façon économique et avec des garanties techniques suffisantes sans une bonne connaissance des sols et roches rencontrés (nécessité des essais in situ et au laboratoire). Il faut également assurer de la compatibilité des exigences techniques et de celle des contraintes d'environnement.

Donc, l'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent des facteurs suivants :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature portance, sensibilité à l'eau et au gel).
- Des caractéristiques globales de la plate-forme qui dépend non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site.
- Des conditions climatiques du site.
- Du trafic (tonnages, charges, vitesses).
- De l'armement (Profil des rails nature et espacement des traverses).

VIII.3.CARACTERISTIQUES ET ROLES DES DEVERS COUCHES D'ASSISE

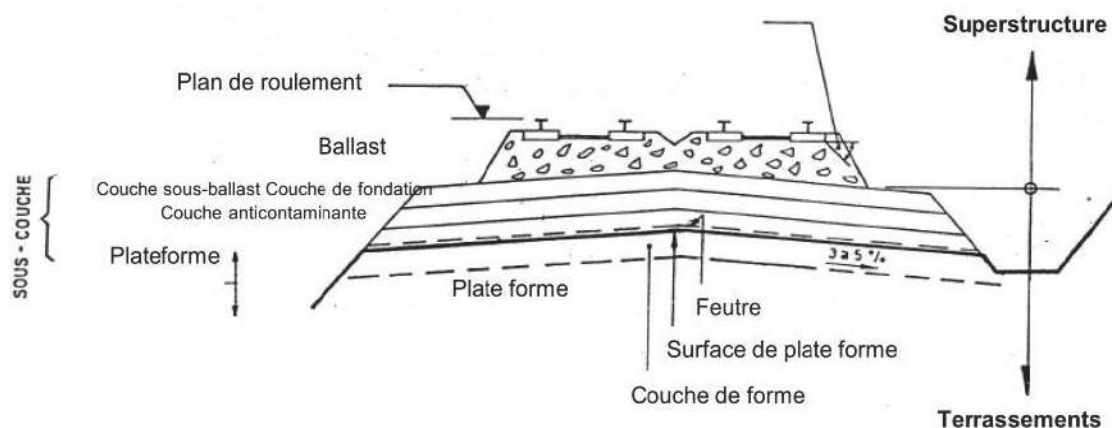


Figure VIII. 1 Les différentes couches de la structure d'assise

VIII.3.1. La couche de ballast

Le ballast est le lit de pierre ou de gravier sur lequel repose une voie de chemin de fer, il est issu du concassage de roches dures (granite, quartzite, diorite,.....etc.), sa granulométrie varie entre 25 et 50 mm.

VIII.3.1.1. Rôle de ballast

Le ballast joue des rôles primordiaux, on peut citer :

- Répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses.
- Amortir des vibrations grâce à ces propriétés rhéologiques.
- Assurer en raison de sa granulométrie, le drainage et l'évacuation rapide des eaux.
- Le maintien d'une position stable des traverses.

Son choix est conditionné par :

- Les ressources locales.
- Le prix qu'il faut payer pour un bon ballast.

VIII.3.1.2. Caractéristiques du ballast

➤ Caractéristiques physiques :

- **Granulométrie** : on utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF).
- **Forme de granulats (Angularité et rugosité)** : Elle doit être poly hydrique avec des éléments d'arêtes vives, les granulats ne doivent être ni trop longs ni trop plats.
- **Homogénéité des granulats** : Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement.
- **Propreté des granulats** : le ballast doit être exempt des éléments fins et débris, pour obtenir un ballast propre la masse relative des éléments passant au tamis de 1.6mm doit être inférieure à 0.5%.
- **Perméabilité** : Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie.

➤ Caractéristiques mécaniques :

- **Résistance à l'attrition** : Déterminé à l'aide d'un essai au laboratoire nommé l'essai «Deval » et il existe 3 méthodes qui sont: le Deval à sec **DS**, le Deval humide **DH** ou bien le micro-Deval **MDE**.

Pour le ballast :

- $DS > 14$ (pierres durs) et $DH > 6$ (selon document SNTF)
- $DS > 12$ (Pierres carbonatées)

Ou bien : Coefficient Micro Deval $MDE \leq 15$

- **Résistance aux chocs** : Déterminé à l'aide d'un essai **LOS ANGELES**, Pour un ballast acceptable le coefficient '**LA**' doit être inférieur à 25%.

- **La dureté** : 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**', (il varie selon la nature des traverses et du trafic).
- **Résistance à la compression** : elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire, En Algérie : $RC > 1200 \text{ Kg/cm}^2$.

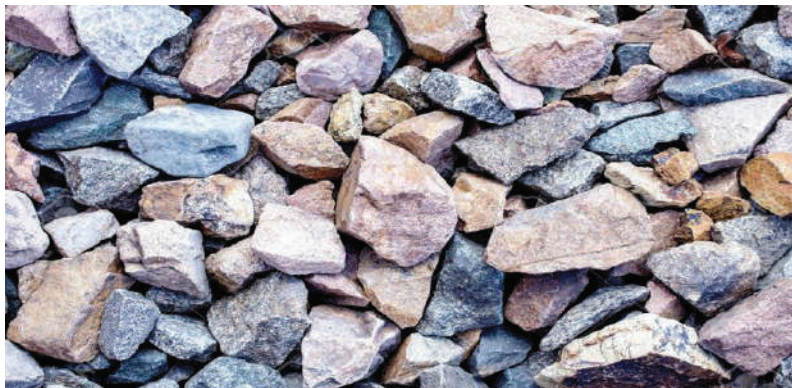


Figure VIII. 2 La forme du ballast

VIII.3.2. La sous couche

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, elle peut être mono ou multicouche.

Elle constitue de :

- **La couche sous-ballast** : elle est en grave propre bien graduée (0/31.5mm) comportant au moins 30 % de grave concassé, compacté à 100 % OPN et ayant une $DRG \geq 12$.
- **La couche de fondation** : elle est en grave propre bien graduée d'une épaisseur d'au moins de 15 cm, compacté à 100% OPN et ayant une $DRG \geq 10$.
- **La couche anti-contaminante**: elle est en sable propre d'une épaisseur minimal de 15 cm.
- **Le géotextile** : il est de géo-synthétique perméable à l'eau et à l'air peut être utilisé comme séparateur et anti contaminant, filtre drainage et armature.

VIII.3.2.1. Rôle de sous-couche

La sous-couche a des rôles multiples, on peut citer parmi eux les suivants :

- Protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.
- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- L'anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- La contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- L'évacuation des eaux de pluies.

VIII.4.STRUCTURE D'ASSISE

La couche de forme : Elle représente la partie supérieure compactée de la plate-forme et elle est constituée du même matériau (remblai/déblai) ou d'un matériau de qualité meilleure.

La plate-forme : c'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre, elle est constituée de sol rapporté en remblai ou en place en déblai.

Le sol constituant la plate-forme doit remplir plusieurs fonctions :

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

VIII.4.1. Classification de la plate-forme

Pour classer les plateformes, il convient :

- Apprécier la classe de qualité de chaque sol comportant la plate-forme.
- Apprécier la classe portance de la plate-forme complète (couche de forme + sol sous-jacent).

VIII.4.1.1. Classe de qualité des sols

La classification élaborée par l'Union International des Chemins de fer (UIC) a été adoptée pour la classification du sol support le long du tracé, elle se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi que sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques locales.

Quatre classes de terrains sont identifiées :

- QS0 : Sol impropre à toute utilisation.
- QS1 : Sol médiocre.
- QS2 : Sol de qualité moyenne.
- QS3 : Sol de bonne qualité.

L'UIC permet l'établissement d'une classification spécifique répondant à une nécessité impérieuse en matière de construction d'ouvrages en terre.

La classification de sol de tracé étudié est donnée dans le tableau présenté ci-dessous :

Tableau VIII. 1 Classification des sols du tracé selon les fiches UIC719R et GTR

Type D'ouvrage	PK	Nature des sols	Classification GTR	Classe de qualité des sols
Plateforme	10+150	Limon argileux	A2th	QS0
Plateforme	10+950	Limon argileux	A2s	QS1
Plateforme	12+600	Limon argilo sableux	A1m	QS1
Plateforme	13+650	Limon argileux	A2h	QS0
Plateforme	14+950	Limon argileux	A2m	QS1
Plateforme	16+975	Limon argilo sableux	A1h	QS0
Plateforme	18+200	Limon argileux	A2s	QS1

VIII.4.1.2. Classe de portance de la plate-forme

La définition de la classe de la plate-forme suppose la classification préalable aussi bien de la qualité du sol support que de celle des matériaux constituant la couche de forme elle-même.

On distingue les trois classes suivantes :

- P1 : Plate-forme médiocre.
- P2 : Plate-forme moyenne.
- P3 : Plate-forme bonne.

Tableau VIII. 2 Détermination de la classe de portance de la plate-forme

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

VIII.4.2. Calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assise

L'épaisseur de l'ensemble ballast+sous-couche (couche d'assise) est donné par l'expression suivante :

$$e = E + a + b + c + d + f + g \quad (8.1)$$

Tableau VIII. 3 Les valeurs des différents paramètres pour le calcul de l'épaisseur

Paramètre	Epaisseur (m)	Caractéristiques
E	0,7	Pour les plateformes de classe P1
	0,55	Pour les plateformes de classe P2
	0,45	Pour les plateformes de classe P3
a	0	Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou les lignes à vitesse ≥ 160 km/h quelque soit le groupe UIC)
	-0,05	Pour les groupes UIC 3 et 4
	-0,1	Pour les groupes UIC 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs
	-0,15	Pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
b	0	Pour les travers bois de longueur $L=2,60$ m
	$(2,5-L)/2$	Pour les travers en béton de longueur L (L en mètre), b peut être négatif si $L \geq 2,5$ m
c	0	Pour un dimensionnement normal
	-0,10	A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur des lignes existantes de groupe UIC autre que "7,8,9 sans voyageurs"
	-0,05	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur des lignes existantes de groupe UIC "7,8,9 sans voyageurs"
d	0	Quand la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN
	0,05	Quand la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN
	0,12	Quand la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	0	Pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plateformes P3, des lignes parcourues à grande vitesse
	0,05	Pour les plateformes P2 des lignes parcourues à grande vitesse
	0,1	Pour les plateformes P1 des lignes parcourues à grande vitesse
g	+géotextile	Lorsque la couche de forme est en sol QS1 et QS2
	0 (pas de géotextile)	Lorsque la couche de forme est en sol QS3

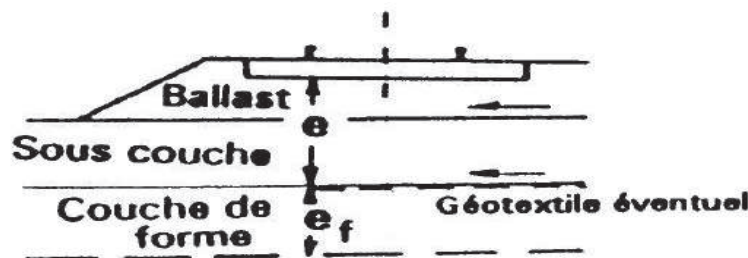


Figure VIII. 3 L'épaisseur de la couche d'assise

Avec : **ef** épaisseur de la couche de forme figurant dans le tableau VIII. 2

VIII.5.APPLICATION AU PROJET

VIII.5.1. Plate-forme

Notamment que la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité **QS1**, ainsi que les prescriptions données par les UIC on opte pour une plate-forme de type **P2** (Plateforme moyenne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (**QS1**).

NOTE :

Les matériaux de classe **QS0** ne peuvent être utilisés en aucun cas en raison de leur très faible portance, ces sols doivent être transformés en sols de meilleures qualités (**QS1** au minimum).

VIII.5.2. Exigences sur les constituants de l'assise

- **Ballast**

Le ballast sera constitué par de la roche concassée. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695) :

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles : $\leq 19 \%$.
- Résistance à l'usure Micro deval : $\leq 6 \%$.
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie " A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast.
- Résistance à la compression : $RC \geq 1200 \text{ kg/cm}^2$.
- Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives.
- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre, la masse relative des éléments passant au tamis à maille de 1.6mm ne doit pas $> 0.5 \%$.

- **Couche de sous ballast**

Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques **(ST590B)** il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0/31,5mm), bien graduée avec une valeur de propreté $V_{bg} \leq 1$ et un coefficient de forme $A \leq 25$.

- **Couche de fondation**

La couche de fondation conformément au document des spécifications techniques **(ST590B)** est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté $V_{bg} \leq 1$ et un coefficient de forme $A \leq 25$ et $LA + MDE \leq 50$.

Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued.

- **Couche de forme de qualité S3**

Conformément au document des spécifications techniques **(ST590B)** elle est exécutée en grave 0/D, avec une résistance $LA + MDE \leq 60$ et une valeur de propreté $V_{bg} \leq 2$.

Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont :

$$\gamma_d \geq 100\% \text{ de l'OPN, } EV_2 \geq 80 \text{ MN/m}^2.$$

VIII.5.3. Méthode de dimensionnement adoptée

Le dimensionnement de la couche d'assise et de l'épaisseur de la couche de forme a été effectué en suivant les indications de la fiche UIC-719R.

VIII.5.3.1. Couche de forme

La couche de forme servira de support aux structures d'assise et devra permettre la mise en œuvre de la sous-couche.

La couche de forme sera composée de matériaux granulaires conformes à la norme **ST590B** constitué par des sols de meilleures caractéristiques géotechniques avec matériaux passant à $80\mu\text{m} \leq 12\%$.

La couche de forme devra présenter un compactage supérieur à 95 % d'essai Proctor modifié, un module de déformabilité Ev_2 supérieur à 80 MPa et une relation Ev_2/Ev_1 inférieure à 2,2.

Les résultats des travaux du terrain et les résultats montre que si on envisage pour une classe **QS1**, une plate-forme moyenne c'est-à-dire de classe **P2**, on aura :

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

VIII.5.3.2. Détermination de l'épaisseur des couches

Basés sur l'analyse des résultats de l'investigation géotechnique et dans le cadre des recommandations de la fiche UIC-719R, la couche de sous ballast devra prendre en compte les aspects suivants :

- Capacité de sol support.
- Effet de glace.

On a :

1-Le climat de la zone de la voie n'est pas sous l'effet de la glace.

2-Du point de vue de capacité de sol support, l'épaisseur du ballast avec sous-couche « e » est en fonction des facteurs suivants :

- Classe de portance de la plate-forme.
- Type et espacement de la traverse.
- Caractéristiques du trafic (tonnage supporté, charge d'essieu, vitesse).

L'épaisseur de l'ensemble ballast+sous-couche (couches d'assise) est donné par l'expression suivante :

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

D'où :

- $E = 0,55\text{m}$ pour la plate-forme P2.
- $a = -0,05\text{m}$ pour groupe 3 et $V \leq 160 \text{ Km/h}$.
- $b = (2,50 - L)/2$ (L : est la longueur du traverse 2,24 m pour ce projet VAX U31) soit $b = 0,13\text{m}$.
- $c = 0,00$ pour un dimensionnement normal.
- $d = 0,05\text{m}$ pour charge essieu 225 KN.
- $f = 0$ pour la vitesse $V \leq 160 \text{ Km/h}$.
- $g = 0$ géotextile puisque la couche de forme est en sol QS3.

Donc : $e = 0,55 - 0,05 + 0,13 + 0 + 0,05 + 0 + 0 = 0,68 \text{ m}$

En synthèse pour la structure d'assise proposée, ainsi, on peut répartir la structure sur différentes sections selon la classification des sols basés sur l'analyse des résultats de laboratoire pour une plate-forme de type P2 nécessite la mise en place d'une couche de forme de type QS3, avec une épaisseur minimale de 35cm.

Les épaisseurs des différentes couches seront ainsi :

- Épaisseur de ballast : 30 cm
- Épaisseur de sous- ballast : 20 cm.
- Épaisseur de couche de fondation : 18 cm.
- Épaisseur de couche de forme de type S3 : 35 cm.

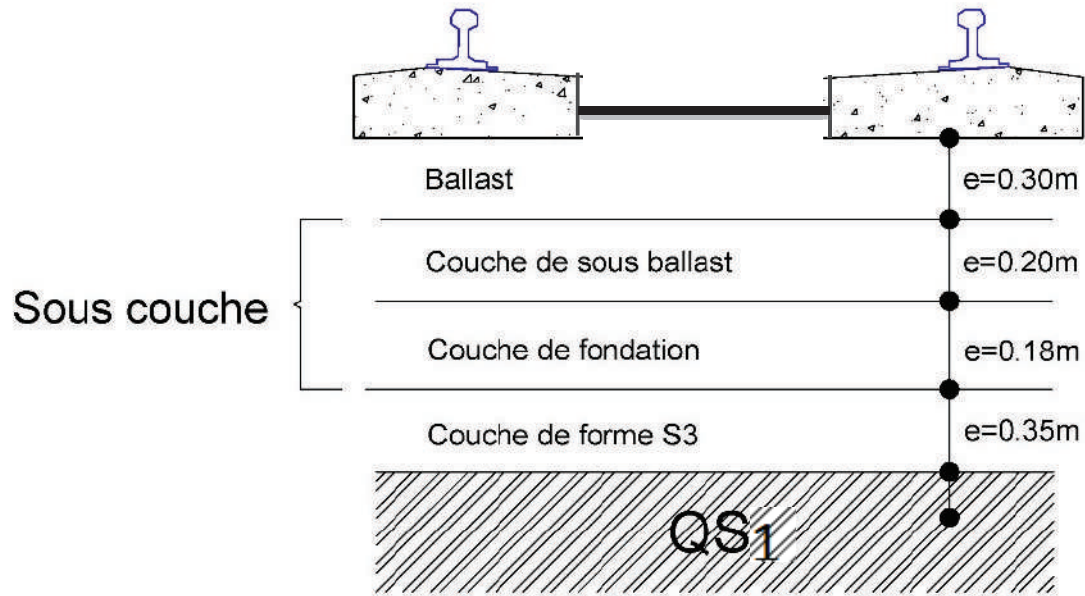


Figure VIII. 4 L'épaisseur de différentes couches

VIII.6.CONCLUSION

La classification de la plate-forme du tracé et le dimensionnement nous ont permis de mettre en évidence les épaisseurs des différentes couches qui supporteront et transmettront la charge du matériel roulant au sol.

ETUDE HYDRAULIQUES ET ASSAINISSEMENT

IX. 1. INTRODUCTION

IX. 2. DESCRIPTION DE LA REGION D' ETUDE

IX. 2.1. Le Réseau Hydrographique

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

IX. 3.1. Etude Des Températures

IX. 3.2. Humidité De L' air

IX. 3.3. La Pluviométrie

IX. 3.4. Vent

IX. 4. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

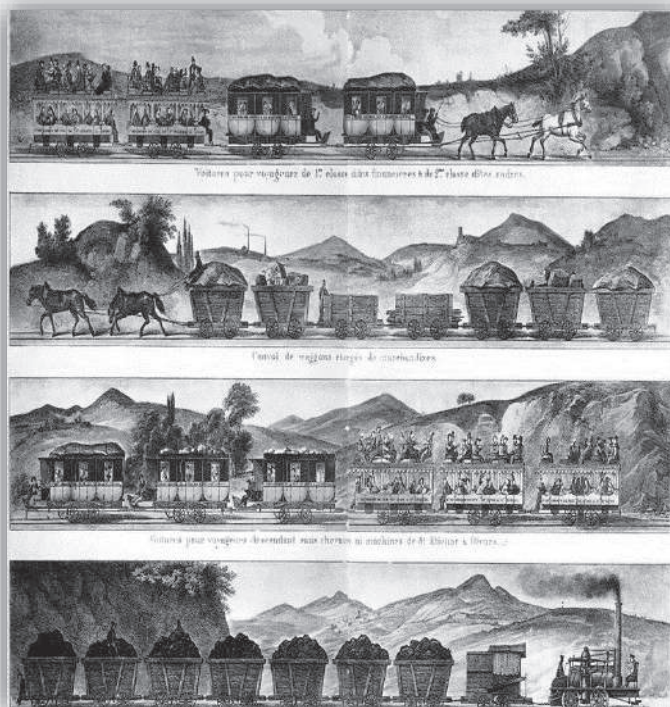
IX. 4.1. Caractéristiques des bassins versants

IX. 4.2. Etude des Crues

IX. 4.3. Assainissement Transversale

IX. 4.4. Assainissement longitudinale

IX. 4.5. Application Numérique sur le projet



IX.1.INTRODUCTION

Une création d'une nouvelle ligne perturbe l'écoulement hydraulique. Donc, il faut assurer la continuité des débits des cours d'eau en dimensionnant suffisamment les ouvrages hydrauliques. Et aussi, la protection de la plate-forme nécessite un bon drainage.

Le tracé de la nouvelle voie ferrée reliant EL AFROUN – TIPAZA traverse les bassins versants des côtières Algérois

L'objectif de l'étude hydrologique est donc la prédétermination 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 adéquate.

IX.2.DESCRPTION DE LA REGION D'ETUDE

La zone d'étude est limitée à l'Est par la wilaya d'Alger ; à l'ouest par la W.de Chelf ; au Nord la mer méditerranée et au sud Est par la W.de Médéa et Sud-Ouest par la Willaya D'Ain Defla.



Figure IX. 1 Situation géographique du grand bassin côtier Algérois.
(Source : Agence de bassin hydrographique)

- Oued Mazafran.
- Oued El Hachem.
- Oued Djer.
- Oued Damous.

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

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

Les données climatiques considérées dans le cadre de cette étude concernent essentiellement les précipitations, les variations de la température ainsi que d'autres phénomènes climatiques

tels que ; la vitesse de vent, l'humidité, etc...). Les stations météorologiques retenues comme étant représentative de la zone d'étude (El Affroun–Tipaza).

IX.3.1. La Pluviométrie

Les précipitations moyennes enregistrées par la station de Merad font ressortir une Pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm durant la période 1978-2004.

IX.4.ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

IX.4.1. Caractéristiques des bassins versants

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

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

Les paramètres suivants :

- Surface (A)
- Périmètre (P)
- L'indice de compacité KC (paramètre de forme du bassin)
- Longueur de l'oued (L)
- Altitude max (Hmax)
- Altitude min (Hmin)
- Longueur du rectangle équivalent (Lr)

Sont évalués et calculés pour chaque Oued qui traverse la voie ferrée à partir des cartes D'état-major.

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des Oueds traversant la nouvelle voie ferrée sont données par le tableau récapitulatif suivant :

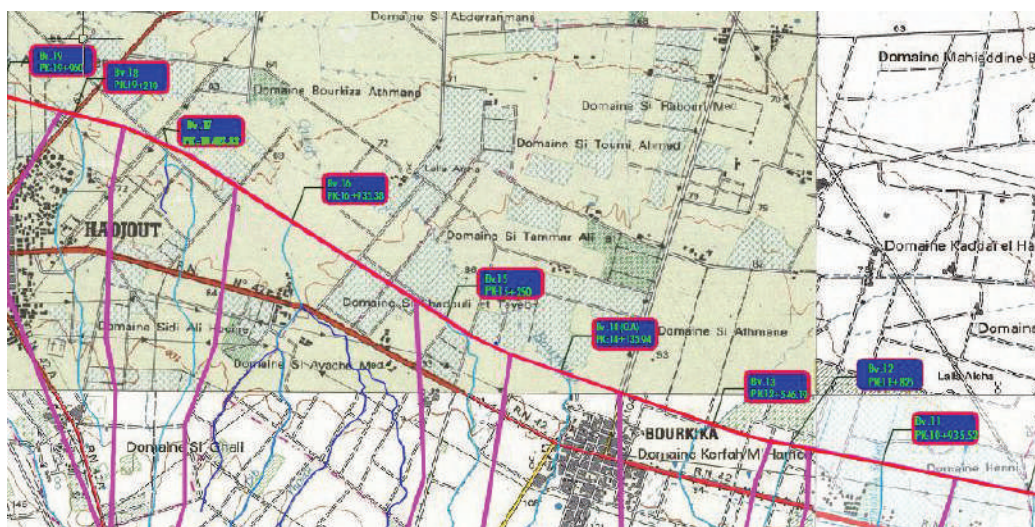


Figure IX. 2 cartes des bassins versant

IX.4.2. Etude des Crues

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A N R H), Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T C M), Nous avons travaillé sur les stations représentatives de la région de Blida et Tipaza,

IX.4.2.1. Temps de concentration:

Le calcul des débits de projet requiert l'évaluation du temps de concentration du bassin versant (T_c) soit le temps le plus long que met une goutte d'eau du bassin versant pour atteindre l'exutoire, Le temps de concentration peut être estimé selon plusieurs formules comme celles de Ventura, Passini, Giandotti, chacune ayant son propre domaine de validité d'application.

Les formules de détermination du temps de concentration sont utilisées suivant la superficie du bassin versant :

- **Superficie inférieure à 5 Km²**

Il est calculé par la formule de VENTURA

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}} \quad (9.1)$$

T_c : Temps de concentration en heure

A : Surface du bassin versant en km²

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

- **Superficie comprise entre 5 et 25 Km²**

T_c est calculé par la formule de PASSINI :

$$T_c = \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{\frac{H}{L}}} \quad (9.2)$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

A : Surface du bassin versant en km².

H : Différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin (m)

- **Superficie comprise entre 25 et 200 km²**

T_c est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4. \sqrt{A} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{h}} \quad (9.3)$$

IX.4.2.2. Estimation des débits d'apport (Qa)

Par Méthode rationnelle $Q_a = 0.278 \times C_r \times I \times A$ (9.4)

Où:

Q= débit (m3/s)

C_r= Coefficient de ruissellement

I= Intensité de pluie (mm/h) ;

A= Superficie du bassin versant (Km²).

La loi Intensité-Durée-Fréquence (IDF) est une exponentielle décroissante dont les Coefficients a et b sont dits paramètres de Montana $I(t, T) = \frac{a(T)}{t^b}$

I(t,T) : Intensité de pluie exprimée en mm/h

T : période de retour exprimée en années

t: temps exprimé en heures,

«a» et «b» : paramètres de Montana,

Tableau IX. 1 Paramètres de Montana

Période de retour	a	b
10	45.1	0.66
20	52.7	0.66
50	62.6	0.66
100	70	0.66

Coefficient de ruissellement :

Tableau IX. 2 Désignation des Coefficient de ruissellement par zones

Valeurs du coefficient C					
Couverture	Morphologie	Pente	S. gros. (1)	Ar.-limon (2)	Argile (3)
Bois (1)	Presq. plat	0 - 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.25	0.35	0.50
	Montagne	10 - 30	0.30	0.50	0.60
Pâturage (2)	Presq. plat	0 - 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.15	0.36	0.55
	Montagne	10 - 30	0.22	0.42	0.60
Culture (3)	Presq. plat	0 - 5	0.30	0.50	0.60
	Ondulé	5 - 10	0.40	0.60	0.70
	Montagne	10 - 30	0.52	0.72	0.82

Le ruissellement superficiel correspond à l'eau provenant de la pluie, qui circule par la superficie et qui se concentre dans les lits, Cela représente par conséquent, le reste de pluie qui reste dans la superficie après avoir décompté les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration, de stockage et d'infiltration dans les couches inférieures,

IX.4.3. Assainissement Transversale**IX.4.3.1. Dimensionnement des Dalot**

Par la Méthode de MANNING STRICKLER

$$Q_s = K_{ST} \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m \quad (9.6)$$

Ou

K_{st} : Coefficient de STRICKLER qui dépend de la nature de parois de l'ouvrage (entre 75 et 95)

R_h : Rayon hydraulique (m)

I : Pente longitudinale du canal ($I=0,01$ m/m)

S_m : Section mouillée (à la hauteur de remplissage)

Pour le dimensionnement des buses on prend $Q_a = Q_s$

On a: $S_m = \pi \times R^2$

$$P_m = 2\pi R$$

Donc

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \Rightarrow R_h = \frac{R}{2}$$

$$Q_a = K_{ST} \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m \Rightarrow Q_a = K_{ST} \times \left(\frac{R}{2}\right)^{2/3} \times I^{1/2} \times \pi R^2$$

$$\Rightarrow \frac{R^{2/3}}{2^{2/3}} R^2 = \frac{Q_a}{\pi \times K_{st} \times \sqrt{I}} \Rightarrow R^{8/3} = \frac{Q_a \times 2^{2/3}}{\pi \times K_{st} \times \sqrt{I}}$$

$$\Rightarrow D = 2 \left(\frac{Q_a \times 2^{2/3}}{\pi \times K_{st} \times \sqrt{I}} \right)^{3/8}$$

$K_{st} = 75$ (pour les buses)

Après le calcul de diamètre on doit vérifier les conditions d'auto-curage qui sont :

- $V > 0.6$ m/s pour $Q_a = 0.1 Q_{ps}$
- $V > 0.3$ m/s pour $Q_a = 0.01 Q_{ps}$

Les résultats de calcul sont dans le tableau. De l'ANNEXE C

Dimensionnement

Les dalots sont constitués par deux murettes verticales au pied droit sur lesquelles repose une dalle ou une série de dalles accolées.

Pour notre projet les dalots sont en béton armé, donc le coefficient de rugosité est égal $K_{st}=70$.

On fixe la hauteur d après la configuration du profil en long et on calcul la travée nécessaire et on fixe aussi la hauteur de remplissage $h_r = 0.8 \times h$

Surface mouillée : $S_m = 0.8h \times b$

Périmètre mouillé : $P_m = 1.6h + b$

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0.8h \times b}{1.6h + b}$$

$$Q_a = K_{ST} \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m \Rightarrow Q_a = K_{ST} \times \frac{0.8h \times b^{2/3}}{1.6h + b} \times I^{1/2} \times (0.8h \times b)$$

On tire la valeur de h qui vérifie cette inégalité

$$h = \frac{1}{0.8 \times b} \left(\frac{Q_a}{K_{st} \times \sqrt{I}} \right)^{3/5} (1.6h + b)^{2/5}$$

Les résultats de calcul des (Temps de concentration, débit et les dalots avec leurs vérifications) sont dans le tableau. De l'annexe Assainissement.

IX.4.4. Assainissement longitudinale

IX.4.4.1. Dimensionnement des fossés

Les fossés récupèrent les eaux de ruissellement venant de la plateforme et les talus, est sont en fonction des pentes du fossé et la nature du sol support. La forme de profil en travers du fossé est donnée dans la figure ci-dessous

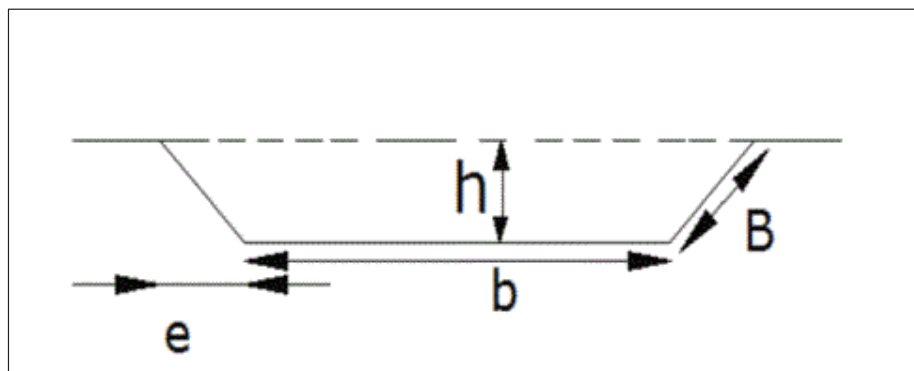


Figure IX. 3 Schéma du fossé adopté

surface mouillée	$S_m = b.h + e.h = h(e + b)$ Ou bien $S_m = h(b + nh) \quad \text{avec: } e = n.h$ Et $\tan \alpha = \frac{1}{n}$
périmètre mouillé	$P_m = b + 2B$ $P_m = b + h\sqrt{n^2 + 1}$
Calcul de rayon hydraulique	$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h(b + nh)}{b + h\sqrt{n^2 + 1}}$

IX.4.5. Application Numérique sur le projet

Calcul de la surface du bassin versant :

Surface de la plate-forme : $Ap = 6.8 \times 5950 = 0.04046 \text{ Km}^2$

Surface de la berme : $Ab = 2 \times 5950 = 0.0119 \text{ Km}^2$

Surface du talus : $At = 5950 \times 4 \times 1.5 = 0.0357 \text{ Km}^2$

IX.4.5.1. Le débit apporté par la plateforme

$C = 0.9$; $P = 4\%$, $A = 0.04046 \text{ Km}^2$, $b = 0.66$, $a = 45.1$, $T = 10 \text{ ans}$.

$$T_c = 0.127 \sqrt{\frac{0.04046}{4}} = \mathbf{0.0127}$$

$$I(t, T) = \frac{45.1}{0.0127^{0.66}} = \mathbf{175.4 \text{ mm/h}}$$

$$Qp = (1/3.6) \times C \times A \times I = 0.9 \times 0.04046 \times 175.4 = \mathbf{1.776 \text{ mm}^3/\text{s}}$$

IX.4.5.2. Le débit apporté par la berme

$C = 0.9$; $P = 4\%$; $A = 0.0119 \text{ Km}^2$; $b = 0.6$; $a = 70$; $T = 10 \text{ ans}$.

$$T_c = 0.127 \sqrt{\frac{0.0119}{4}} = \mathbf{0.0693}$$

$$I(t, T) = \frac{45.1}{0.0693^{0.66}} = \mathbf{262.7 \text{ mm/h.}}$$

$$Qb = (1/3.6) \times 0.9 \times 0.0119 \times 262.7 = \mathbf{0.782 \text{ mm}^3/\text{s}}$$

IX.4.5.3. Le débit apporté par le talus

$C = 0.7$; $P = 66.67 \%$; $A = 0.0357 \text{ Km}^2$; $b = 0.66$; $a = 45.1$; $T = 10 \text{ ans}$.

$$T_c = 0.127 \sqrt{\frac{0.0357}{66.67}} = \mathbf{0.029}$$

$$I(t, T) = \frac{45.1}{0.029^{0.66}} = \mathbf{462.6 \text{ mm/h.}} \quad Qt = (1/3.6) \times 0.7 \times 0.03555 \times 462.6 = \mathbf{4.27 \text{ mm}^3/\text{s}}$$

IX.4.5.4. Le débit Total

$$Q_a = Q_p + Q_b + Q_t$$

$$= 1.776 + 0.782 + 4.27 = 6.828 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir des résultats obtenus précédemment ; en remplace dans la formule suivante et par itération en détermine la valeur de (h) ;

Par la Méthode de MANNING STRICKLER

$$Q_s = K_{ST} \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S_m$$

Ou

K_{ST} : Coefficient de STRICKLER qui dépend de la nature de parois de l'ouvrage (75)

R_h : Rayon hydraulique (m)

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h(b + nh)}{b + h\sqrt{n^2 + 1}}$$

I : Pente longitudinale du canal ($I=0,01$ m/m)

S_m : Section mouillée (à la hauteur de remplissage)

$$S_m = h(b + nh)$$

On a :

$$Q_a = Q_s$$

$$Q_a = K_{ST} \times \frac{h(b + nh)^{2/3}}{b + h\sqrt{n^2 + 1}} \times I^{1/2} \times h(b + nh)$$

Après développement on obtient

$$h_{i+1} = \left(\frac{Q_a}{K_{ST} \times I^{1/2}} \times \frac{(b + h_i\sqrt{n^2 + 1})^{2/3}}{((b + nh_i))^{5/3}} \right)^{3/5}$$

A partir des résultats obtenus précédemment ; en remplace dans la formule suivante et par itération en détermine la valeur de (h) ;

On a ; $I=1\%$; $K_{st} = 70$; $n = 1,5$

En prend $b=0.5$ m et en cherche h

Et en trouve après itération : $h=0.76$

Pour des raisons de sécurité on choisit un fossé pour tout le projet, de dimensions :

$$H=0.8 \text{ et } b=0.5$$

AMENAGEMENT DE LA GARE

X. 1. INTRODUCTION

X. 2. LES DIFFERENTS TYPES DES GARES

X. 3. CONCEPTION GENERALE DES GARES

X. 3.1. Plan de masse d' une gare

X. 3.2. Installations de base d' une gare

X. 4. GARES DE VOYAGEURS

X. 4.1. Types de gares de voyageurs

X. 4.2. Equipements de gares de voyageurs

X. 5. GARES DE MARCHANDISES

X. 5.1. Equipements de gares de marchandises

X. 6. RESEAU DE VOIE

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

X. 6.2. Garage franc

X. 6.3. Longueur utile

X. 6.4. Les appareils de voie

X. 7. APPLICATION AU PROJET

X. 7.1. Situation de gare

X. 7.2. Caractéristiques géométriques de la gare

X. 7.3. Assainissement dans la gare

X. 8. CONCLUSION



X.1.INTRODUCTION

Une gare ferroviaire est un lieu d'arrêt des trains comprenant diverses installations qui ont une double fonction :

- Permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises et pour certaines d'entre elles.
- Assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

X.2.LES DIFFERENTS TYPES DES GARES

On distingue 3 types des gares :

- **Gares de voyageurs** : qui permet l'embarquement et/ou le débarquement des voyageurs.
- **Gares de marchandises** : qui permet l'embarquement et/ou le débarquement des marchandises.
- **Gares de triage** : assurent la reconstitution des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.

X.3.CONCEPTION GENERALE DES GARES

X.3.1. Plan de masse d'une gare

Pour établir le plan de masse d'une gare ferroviaire on doit tenir compte à trois (03) éléments indispensables dans l'étude de ce premier qui sont :

- **La catégorie de la gare** : pour déterminer le rôle et les constituants de la gare.
- **Le trafic** : pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin d'aménager cette dernière d'une façon convenable.
- **L'emplacement de la gare** : pour définir et déterminer les deux éléments précédents.

X.3.2. Installations de base d'une gare

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

- Bâtiment de voyageurs ou de services (gare voyageurs/gare marchandises).
- Quais d'embarquement et de débarquement.
- Hangar destiné à recevoir et stocker les marchandises.
- Hangar de maintenance des voies.
- Atelier d'entretien des véhicules.
- Réseau de voie.
- Les heurtoirs.
- Autre éléments (passerelles, signalisation etc.)

X.4.GARES DE VOYAGEURS

Ce sont des ensembles fonctionnels conçus pour regrouper toutes les informations centrées sur l'accès au train (l'information sur le voyage, l'achat des titres de transport, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage).

Les gares de voyageurs sont de tailles variables :

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 divers modes de transport urbains (bus, tramway, métro) ; on les appelle alors « Pôles d'échanges ».

X.4.1. Types de gares de voyageurs

On distingue deux types de gare de voyageurs selon l'emplacement du bâtiment :

- **Les gares terminus** : Le bâtiment se situe tout au bout des quais et comprend un côté pour les départs et un autre pour les arrivées.
- **Les gares de passage** : Le bâtiment est situé le long de la voie orientée vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un passage souterrain.

X.4.2. Equipements de gares de voyageurs

- ✚ **Bâtiment à voyageurs (BV)** : C'est un lieu accessible aux voyageurs qui permet le passage de la voie publique vers les quais.
- ✚ **Bâtiment à usage divers (B.U.D)** : Il comprend des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer.
- ✚ **Quais** : C'est un espace parallèle à la voie ferrée où les passagers attendent le train, les gares possèdent généralement au moins un quai.
- ✚ **Auvent et abris** : Il protège les usagers en cas d'intempéries lors de l'attente du train. On prévoit des auvents dans les gares importantes et des abris dans les gares intermédiaires.
- ✚ **Passages sous terrain** : Permet de passer par-dessous de voies en toute sécurité, on les trouve dans les gares importantes (plusieurs quais) et dans les gares situées sur les lignes électrifiées.
- ✚ **Traversée de voies (Passerelle)** : Construite entre deux quais, elle permet de passer par-dessus de voies en toute sécurité.



Figure X. 1 Equipement de la gare voyageur

X.5. GARES DE MARCHANDISES

Les gares de marchandises assurent la totalité du traitement du trafic marchandises.

Elles sont dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opèrent le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires).

X.5.1. Equipements de gares de marchandises

- **Bâtiment de service (BS)** : pour accomplir les formalités de l'acte commercial.
- **Des cours de débord** : pour embarquement et débarquement des marchandises.
- **Quais de débord.**
- **Hall de stockage.**
- **Parking** : pour stationnement des véhicules.

L'emplacement de chacun de ces éléments doit tenir compte de l'autre pour permettre un fonctionnement souple et ordonné.

X.6. RESEAU DE VOIE

Selon l'importance des gares, le nombre de voies de chaque réseau est variable, chaque voie à sa fonction spécifique, mais elle peut éventuellement servir pour une autre, à condition que celle-ci n'ait pas de priorité sur la fonction spécifique.

Le tableau suivant indique la composition des réseaux selon leurs destinations :

Tableau X. 1 La composition des réseaux selon leur destination

<i>Réseau de voies</i>	<i>Voies composant le réseau</i>
● <i>Destiné au transport de voyageurs</i>	➤ <i>Voie principale</i> ➤ <i>Voie de déplacement</i> ➤ <i>Voie de gare</i>
● <i>Destiné aux ateliers d'entretien des véhicules</i>	➤ <i>Voie de liaison</i> ➤ <i>Voie d'entretien</i>
● <i>Destiné à l'aire d'approvisionnement en carburant</i>	➤ <i>Voie d'approvisionnement</i>
● <i>Destiné au service de la maintenance de la voie</i>	➤ <i>Voie d'acheminement vers le hangar de maintenance</i> ➤ <i>Voie de hangar</i>

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, pour certains réseaux elle 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).

X.6.1.1. Les longueurs de la marge de glissement

- 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 = 200m pour $V \geq 60$ km/h**
- **LG = 100m pour $40\text{km/h} \leq V \leq 60$ km/h**
- **LG = 50 m pour $V < 40$ km/h.**

- à l'aval des signaux de blocs :

- $LG = 50m$

Une réduction de la longueur prescrite est admissible sur la ligne où l'on circule à faible vitesse ou dans des conditions d'exploitation très simples.

NOTE : Lorsqu'on ne peut pas réaliser cette marge, on doit systématiquement réduire la vitesse d'entrée avant le signal.

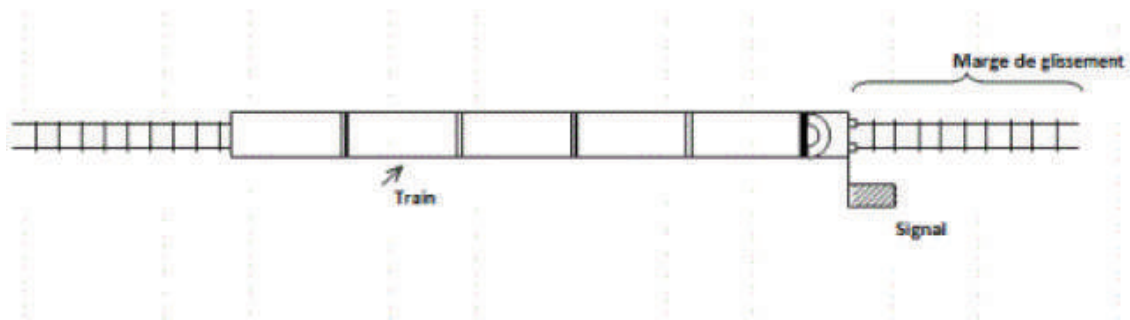


Figure X. 2 Schématisation de la marge de glissement

X.6.2. Garage franc

Le garage franc marque la limite de la partie de la voie à occuper par les trains sans engager le gabarit de la voie convergente, au delà de cette limite il y'a risque de prise en écharpe par un autre train.

Il est implanté à une distance d par rapport au cœur de l'appareil de voie, et cette distance est obtenue en assurant un entraxe de 3.57m entre la voie directe et le garage franc sur la voie déviée du branchement.

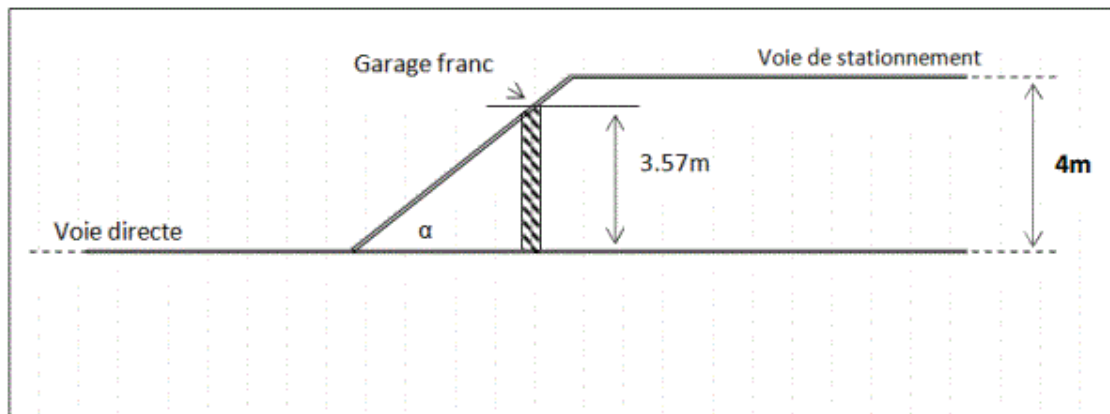


Figure X. 3 Garage franc

La distance à laquelle est implanté l'élément GF est déterminé comme suit :

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

Avec :

N : représente le nombre se trouvant au dénominateur d'une fraction ordinaire qui définit la tangente de l'angle formé par les deux voies (1/71/12...etc.).

Exemple : pour un appareil UIC 54 1/12 – 500

$$N = 12$$

$$GF = (3.57 \times 12) + 1$$

$$GF = 43.84m.$$

X.6.3. Longueur utile

C'est la longueur nécessaire est 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. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs.

L_u minimale est de 1200m pour la voie principale (selon SNTF).

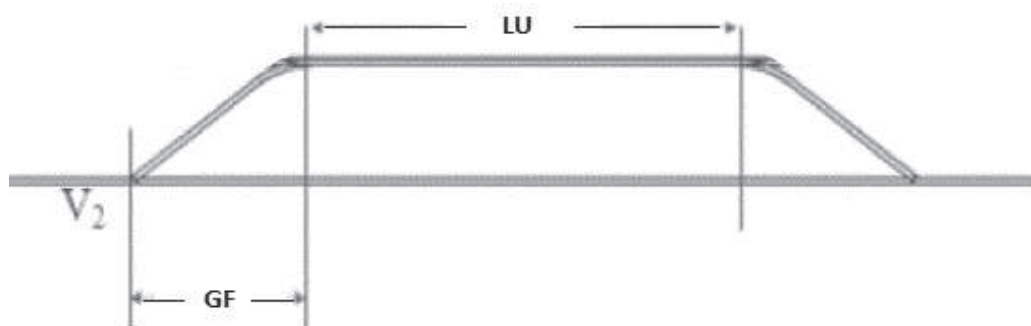


Figure X. 4 Longueur utile

X.6.4. Les appareils de voie

Les appareils de voie sont un moyen de franchissement ou de passage d'un train (de voyageur ou de marchandise) d'une voie principale à une voie service ou de franchissement d'une voie de croisement.

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

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions.

Les appareils de voie se distinguent par :

- **Leur type** : aiguillage simple, branchement double, traversé-jonction simple, traversé jonction double, branchement cintré, branchement cintré vers l'extérieur, Etc.
- **Le type de rail.**
- **Le rayon.**
- **La tangente** : c'est-à-dire l'angle formé par la tangente dans l'axe de la courbe, au talon d'aiguille et l'axe de la voie directe, exprimé par le rapport d'inclinaison des deux axes l'un par rapport à l'autre (1 :9, 1 :12, 1 :18. 5, Etc.).
- **Le type de lame** (articulé, élastique ou flexible).
- **Le type de traverses** (en bois, acier ou béton).
- **Le type de cœur de croisement** (pointe élastique).

X.7.APPLICATION AU PROJET

X.7.1. Situation de gare

Pour le tronçon étudié, nous envisageons l'aménagement d'une gare de voyageurs dans la commune de Bourkika.

Cette gare sera implantée entre les PK 13+400 et PK 14+600, elle est située à la sortie Nord de la commune de Bourkika, wilaya de Tipaza. Elle longe le CW104 qui va se raccorder sur la RN67 et elle sera composée de 04 voies, de 02 quais, d'une passerelle et d'un bâtiment voyageurs (BV).



Figure X. 5 Plan de situation de la gare de Bourkika

X.7.2. Caractéristiques géométriques de la gare

X.7.2.1. Déclivité

En gare, la déclivité est limitée en fonction des activités qui y sont prévues. Elle est de 0‰ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

X.7.2.2. Les quais

Selon les normes de la SNTF, les caractéristiques géométriques recommandées pour le dimensionnement des quais sont comme suit :

Tableau X. 2 Valeurs géométriques des quais proposé par la SNTF

	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (cm)	Entre axe (m)
Caractéristiques	-Grande ligne : 450 -service régionale : 350 -Banlieue : 225	-Quai intermédiaire > 8 -Quai extérieur ≥ 6	- Quai bas : 35 -Quai mi- haut : 55 - Quai haut : 76-100	-Normal > 11,3 -Minimal > 9,3

Pour l'aménagement des quais de la gare de Bourkika les dimensions choisies sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau X. 3 Valeurs géométriques des quais de la gare

Nombre de quais	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (cm)	Entre axe (m)
2	300,00	8,00	55,00	15,50

- Les abris (toitures)

Nous envisageons un abri pour chaque quai ayant les dimensions citées dans le tableau suivant :

Tableau X. 4 Dimensions de la toiture des quais

Largeur de la toiture (m)	Longueur (m)	Hauteur (m)
7,00	12,00	3,10

- **La passerelle :**

Elle permet le franchissement sans risque des voies pour accéder au quai .On a opté à utiliser une passerelle supérieure.

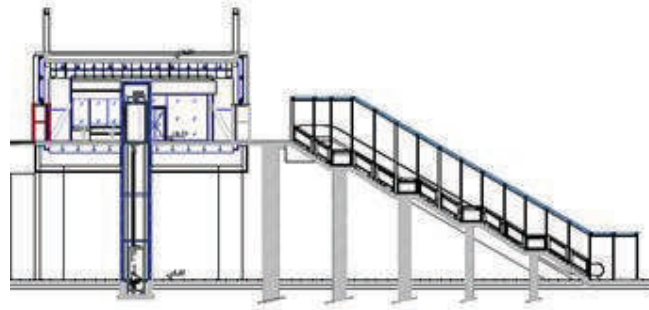


Figure X. 6 Schéma de passerelle de la gare de Bourkika

X.7.2.3. Réseau de voie

- **Appareils de voie**

Tableau X. 5appareils de voies dans la gare

Appareils	Vitesse (km/h)	Type	Direction	Tangente
1	60	UIC 500 1/12	DD	0.083
2	60	UIC 500 1/12	DD	0.083
3	60	UIC 500 1/12	DG	0.083
4	60	UIC 500 1/12	DG	0.083
5	60	UIC 500 1/12	DD	0.083
6	60	UIC 500 1/12	DG	0.083
7	40	UIC 300 1/9	DG	0.111
8	40	UIC 300 1/9	DG	0.111
9	60	UIC 500 1/12	DG	0.083
10	60	UIC 500 1/12	DD	0.083
11	40	UIC 300 1/9	DD	0.111
12	40	UIC 300 1/9	DD	0.111
13	60	UIC 500 1/12	DD	0.083
14	60	UIC 500 1/12	DD	0.083
15	60	UIC 500 1/12	DG	0.083
16	60	UIC 500 1/12	DG	0.083

- **Caractéristiques géométriques**

Les caractéristiques géométriques de la gare Bourkika sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau X. 6 Paramètres géométriques des voies

Voies	Vitesse (km/h)	Longueur utile (m)	Rayon (m)
Voie 1	60	1200	/
Voie 2	60	1200	/
Voie 3	40	635	500
Voie 5	40	580	300

X.7.3. Assainissement dans la gare

- **Assainissement transversale :**

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

- **Assainissement longitudinale :**

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

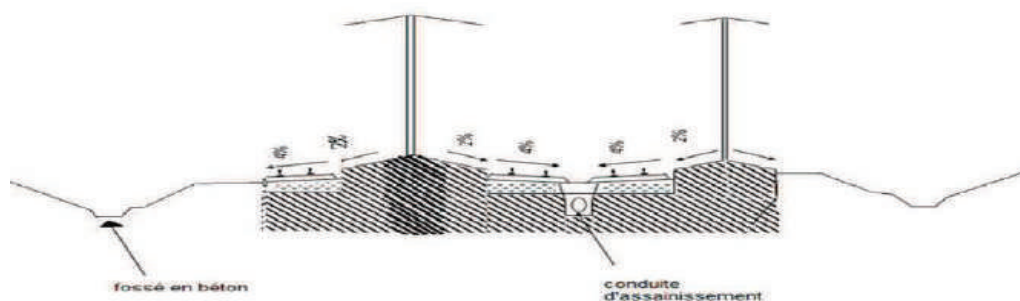


Figure X. 7 Assainissement dans la gare

X.8.CONCLUSION

La gare de Bourkika est aménagée d'une manière satisfaisante aux besoins des usagers de cette région et aux besoins commerciaux et économiques de cette région et du pays en termes de déplacement et de communication avec d'autres régions.

Note : Les coupes de la gare de Bourkika sont dans l'annexe D.

ETUDE D' IMPACT SUR L' ENVIRONNEMENT

XI.1. INTRODUCTION

XI.2. REGLEMENTATION

XI.3. ETAPES D' ETUDE D' IMPACT SUR
L' ENVIRONNEMENT

XI.4. LA DELIMITATION DE LA ZONE D' ETUDE

XI.5. IMPACTS DU PROJET SUR L' ENVIRONNEMENT

XI.5.1. Impacts de la phase de
réalisation

XI.5.2. Impacts de la phase exploitation

XI.6. MESURES ENVISAGEES

XI.6.1. Mesures de maximisation des
impacts positifs

XI.6.2. Mesures de compensation des
impacts négatifs en phase chantier

XI.6.3. Mesures de compensation des
impacts négatifs en phase exploitation

XI.7. CONCLUSION



XI.1.INTRODUCTION

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) est une étude détaillée à caractère analytique et prospectif aux fins de l'identification et l'évaluation des incidences d'un projet sur l'environnement.

La présente étude consiste à rassembler les informations pertinentes sur la réalisation du projet, ainsi que sur les composantes des milieux physiques, biologiques et humains, de façon à permettre l'identification et l'analyse des impacts potentiels des activités de construction et d'exploitation de la ligne ferroviaire sur les composantes environnementales.

L'EIE vise trois objectifs fondamentaux :

- Concevoir un meilleur projet respectueux de l'environnement.
- Éclairer l'autorité administrative compétente sur la décision à prendre.
- Fournir au public une information fiable sur les risques susceptibles de porter atteinte à sa qualité de vie et favoriser sa participation à la prise de décision.

XI.2.REGLEMENTATION

La réalisation d'un projet ferroviaire tel que présenté la section précédente est régie par un ensemble de lois et décrets définissant les permis et autorisations à obtenir et encadrant les activités de réalisation et d'opération.

Le contexte réglementaire relié à l'environnement est :

- Loi n°3-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre de développement durable.
- Décret exécutif n° 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif n° 07-144 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif n° 07-145 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Loi n° 2002-02 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- Décret exécutif n°09-88 du 21 Safar 1430 correspondant au 17 février 2009 relatif au classement des zones critiques du littoral.
- Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relatif à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- Décret exécutif n°06-198 du 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.

XI.3.ETAPES D'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement comprend les principales étapes suivantes :

- La délimitation de la zone d'étude.
- Analyse de l'état initial.
- Evaluation des impacts.
- Mesures d'insertion.
- Suivi et bilan environnementale.

XI.4.LA DELIMITATION DE LA ZONED'ETUDE

Voir chapitre III (Etude de faisabilité).

XI.5.IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

XI.5.1. Impacts de la phase de réalisation

Les impacts de cette phase sont généralement limités dans le temps, et d'une influence directe ou indirecte sur la santé de la population et sur l'Environnement naturel.

XI.1.Impacts sur la population

Les impacts négatifs du projet sur la population en phase de travaux portent sur l'expropriation des biens (bâti, équipements et terrains agricoles), ainsi que des nuisances (émissions atmosphériques et bruits) générées par les travaux (terrassements, transports de matériaux, installation des équipements...etc.).

L'impact d'expropriation des populations est direct et permanent.

XI.2.Effet de coupure

Le chantier de construction provoquera des gênes à la circulation (coupure de routes, limitation des possibilités de liaison entre les deux côtés du tracé), notamment en ce qui concerne le déplacement de la population, les accès aux propriétés (champs, serres et terres Agricoles, fermes...), déplacement des troupeaux, etc. La région est caractérisée par une intense activité agricole, le phénomène de coupure au cours de cette phase sera très remarquable.

L'impact est direct et permanent.

XI.3.Risque d'accidents

L'accroissement de la circulation liée à la présence d'engins de chantiers et de camions de transport accroît les risques d'accident pour les travailleurs sur chantier surtout dans les zones de rétablissement des routes et des chemins où les travaux s'interfèrent avec la circulation routière sur les axes à rétablir, et même pour les habitants situés à proximité des voies d'accès au chantier.

L'impact est direct et temporaire.

XI.4.Impacts sonores

Les nuisances générées par les travaux sont :

- ✓ Les nuisances sonores liées à la présence d'engins de terrassements et au trafic des camions transportant les déblais, les remblais, matériaux et équipements de construction, ces bruits pouvant atteindre plus de 92décibels (DB).
- ✓ Le trafic des engins à proximité des zones d'habitats provoque une gêne notable à la population proche de l'emprise du projet. Ces nuisances seront significatives pour les habitations situées à proximité de l'emprise du chantier (dans une bande de 50 m à 100 m de part et d'autre de l'axe du projet).

L'impact est direct et temporaire.

XI.5.Impacts sur la qualité de l'air

Le chantier peut avoir différents impacts sur la qualité de l'air, liés à :

- ✓ Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins et des camions, dont les principaux gaz échappés sont les CO, HC, CH₄, CO₂, NO_x, SO₂.
- ✓ Des émissions de poussières dues au transport de matériaux par les camions ;
- ✓ Une dispersion accidentelle de produits chimiques gazeux.
- ✓ Sans omettre les COV, PM₁₀ (particules à un diamètre inférieur à 10 µm).

Ces impacts sont directs et temporaires.

XI.6.Impacts sur les ressources en eau

- Impact sur les eaux superficielles :
 - ✓ Une pollution par les déversements des produits chimiques et des hydrocarbures (Fuel, Huiles, graisses...) peut être enregistrée par des effets accidentels, ou par Malveillance.
 - ✓ Une augmentation de la turbidité des eaux de surface par le rejet des eaux de chantiers (chargées en M.E.S) ;
 - ✓ La modification du régime d'écoulement des eaux de surfaces à cause des mauvais travaux de terrassements, et de remblaiement.
- Impact sur les eaux souterraines :
 - ✓ Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, ce qui laisse présager un risque de contamination des eaux souterraines par infiltration lors d'un accident de versement de ces dernier dans la nature.
 - ✓ Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines

L'impact est direct et temporaire.

XI.7.Impacts sur les activités agricoles

La zone d'étude est connue par sa vocation agricole, qui s'insère dans sa quasi-totalité dans l'importante plaine de la Mitidja, caractérisée par ces terres de très haute fertilité.

Une perte significative en superficies agricoles utiles (SAU) suite à la mise en œuvre du projet, environ 134,19(ha) seront perdus, cela aura des conséquences dommageables sur les revenus des exploitants agricoles locaux, et sur la productivité agricole de la zone étudiée par diminution des taux de production.

L'impact est direct et permanent.

Avec tous ces impacts on peut citer d'autre comme (**Impact sur la géomorphologie, Impact sur les sols, Impact sur la faune et la flore, Impact des déchets solides, Impact des rejets liquides, Impacts sur le patrimoine historique et archéologique**), qui sont directs et permanents.

XI.5.2. Impacts de la phase exploitation

XI.5.2.1. Impacts positifs

XI.8.Impacts sur le plan socio-économique

De nombreux emplois directs et indirects seront créés de façon temporaire pendant les travaux de construction/ électrification et durablement après leur achèvement des travaux et l'entrée en exploitation.

Mais le plus important c'est que ce projet sert à une liaison stratégique vers le futur port centre d'el Hamdania (W. Tipaza) qui est l'un des 30grands projets d'infrastructures portuaires au monde, et le plus grand en Algérie.

L'impact est direct et permanent.

XI.9.Impacts positifs pour les usagers du mode ferroviaire

Les principaux avantages sont les gains de temps (diminution des temps de parcours combinée à l'augmentation de la fréquence des trains), la sécurité et l'amélioration des transports ferroviaires inter urbains.

L'impact est direct et permanent.

XI.10.Impacts positifs pour la SNTF

Pour la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), ce projet permettra notamment l'augmentation de linéaire de réseaux électrifiée aussi une meilleure attractivité et une meilleure rentabilité de la ligne.

L'impact est direct et permanent.

XI.5.2.2. Impacts négatifs

XI.11. Bruit et effets visuels

Les engins électriques sont réputés silencieux, toute fois, un moteur électrique et les engrenages de la transmission génèrent du bruit (leur niveau est acceptable : 75db en comparaison avec des engins thermiques), mais les dispositifs de ventilation et les compresseurs ou pompes à vide peuvent créer des nuisances sonores qui peuvent nuire aux riverains habitant à proximité de la ligne.

L'impact est direct et permanent.

XI.12. Surtensions atmosphériques (la foudre)

Les effets de la foudre qui concerne tous les équipements électriques par les éléments métalliques et leurs conducteurs, supports et isolateurs peuvent aller à la mise à terre instantanée de très courte durée, insensible pour les machines mais susceptible de perturber les équipements électroniques et informatiques, voir la destruction de certaines pièces sous des impacts intenses d'énergie.

L'impact est direct et permanent.

XI.13. Impact des déversements accidentels

Lors d'exploitation de la ligne ferroviaire, le transport des produits chimiques et des hydrocarbures peut constituer un risque de déversement de ces derniers dans la nature suite à un accident de déraillement des wagons de la ligne ferroviaire. L'impact est direct et permanent.

XI.6. MESURES ENVISAGEES

XI.6.1. Mesures de maximisation des impacts positifs

Des mesures de maximisation des impacts positifs peuvent être prises, notamment dans le domaine économique :

- ✓ Emplois pendant la phase des travaux : privilégier l'embauche de main d'œuvre locale
- ✓ Signalisation sur les sites du patrimoine culturels et historiques remarquables situés à proximité, par désignation des itinéraires touristiques vers les sites archéologiques proches.

Les effets positifs du projet sont nombreux :

- ✓ Une liaison ferroviaire stratégique vers le port centre d'El Hamdania (Cherchell), qui permettra une évolution très positive du contexte socio-économique, tant au niveau national que régional.
- ✓ Gains de temps (diminution des temps de parcours combinée à l'augmentation de la fréquence des trains).
- ✓ Amélioration de la sécurité et des transports ferroviaires inter urbains.

XI.6.2. Mesures de compensation des impacts négatifs en phase chantier

XI.14. Mesures d'atténuation des impacts négatifs sur la population

- ✓ La création des chemins latéraux à l'emprise envisagée va permettre de faciliter le déplacement des populations.
- ✓ Des signalisations claires des chantiers et pistes d'accès seront mises en place afin de limiter les risques d'accident.
- ✓ Arrosage des pistes lors des travaux afin d'éviter l'envol des poussières qui sont une source de nuisance pour la santé des travailleurs et des populations riveraines.

XI.15. Mesures d'atténuation des impacts des terrassements

La principale mesure de réduction de ces impacts consiste à optimiser le tracé de la ligne nouvelle ferroviaire, et plus particulièrement son profil en long, pour minimiser les hauteurs des terrassements ainsi que les volumes de matériaux à déplacer. Il s'agit alors d'insérer au mieux le projet dans son environnement, au gré de la topographie traversée, en limitant les terrassements nécessaires.

XI.16. Mesures d'atténuation des négatifs sur la faune et la flore

- ✓ Prendre les mesures adéquates pour limiter les risques de mortalité de la faune sauvage par collision et écrasement.
- ✓ Sensibilisation du personnel du chantier sur l'importance de la flore et des faunes locale surtout les espèces protégées et celle en voie de disparition.
- ✓ Clôturer la zone des travaux pour éviter les risques d'intrusion faunique.

XI.17. Mesures d'atténuation des impacts du bruit

Le bruit figure parmi les préoccupations fortes de la majorité des habitants riverains des infrastructures de transport et reste l'une des atteintes majeures à leur qualité de vie, pour cela on doit mettre :

- ✓ Des Murs antibruit.
- ✓ Des Merlons (buts de terre végétalisées).
- ✓ Ecran végétal Antibruit

XI.18. Mesures de prévention de la pollution des ressources en eau

Les oueds, les plans d'eau naturels, la multitude de puits domestiques, forages et réseaux d'assainissement situés en contre bas du projet sont les milieux hydriques récepteurs de pollution.

Dans la phase chantier :

- ✓ La mise en place de sanitaires raccordés à une fosse étanche à vidange régulière.
- ✓ Le nettoyage du matériel de chantier doit être effectué loin des lits d'Oueds ou cours d'eaux.

- ✓ Un suivi régulier (analyses physico-chimiques et bactériologiques) des ressources en eau -oueds, puits, forages, nappe phréatique-, à proximité du projet (avant, au cours et après réalisation du projet).

XI.6.3. Mesures de compensation des impacts négatifs en phase exploitation

XI.6.3.1. Qualité de l'air

- ✓ L'électrification de la ligne ferroviaire permet de diminuer considérablement le taux d'émission des particules polluants dans l'atmosphère si on la compare avec une ligne utilisant le fuel.
- ✓ La dispersion des polluants peut également être limitée.

XI.6.3.2. Protection des ressources en eaux

- ✓ Interdiction d'implanter des installations potentiellement polluantes.
- ✓ Mise au point d'un plan de circulation pour organiser et sécuriser les déplacements.
- ✓ Mise en place d'une collecte des eaux ruisselant sur le long de la ligne et rejet à l'aval des captages après traitement.
- ✓ Mise en place d'un plan d'alerte et de secours pour les risques de pollution accidentelle.

XI.7.CONCLUSION

Tout projet doit faire l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement bien avant sa réalisation, et ce pour cerner et évaluer les risques d'incidences environnementales et les contrer ou pour les réduire à des niveaux acceptables au préalable.

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF



CHAPITRE XII DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Lot N°01 : Installation de chantier et étude d'exécution				
Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	61 000 000.00	61 000 000.00
Repli du matériel et des installations du chantier	F	1.00	10 000 000.00	10 000 000.00
Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	5 500 000.00	5 500 000.00
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER				76 500 000.00

Lot N°02 : Terrassement				
Décapage de terre végétale 0,50 m	M3	142 200.000	500	71 100 000.000
Déblai	M3	18823.255	600	11 293 953.000
Remblai	M3	398845.99	3200	1 276 307 168.000
Sous ballast	M3	22632.72	3800	86 004 336.000
couche de fondation	M3	20733.95	2900	60 128 455.000
couche de forme	M3	43786.21	3800	166 387 598.000
TOTAL TERRASSEMENT				1 671 221 510.000

Lot N°03 : Travaux de la voie				
Rail UIC 60	T	2837.48	173880	493 381 022.400
Ballastage	M3	43286.42	4200	181 802 964.000
Traverses bi-bloc	U	30006	9200	276 055 200.000
Pose d'une appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	12	620000	7 440 000.000
Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	12	16500000	198 000 000.000
Pose d'une appareil de voie UIC 60 1/9 300	U	4	267 317.44	1 069 269.760
Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60 1/9 300	U	4	12 626 324.23	50 505 296.920
Pose de la voie UIC 60	ML	18000	6300	113 400 000.000
Attache NABLA	U	60012	1200	72 014 400.000
TOTAL TRAVEAUX DE LA VOIE				1 393 668 153.080

Lot N°04 : Assainissement généraux				
Fossé trapézoïdaux en béton armé	ML	9000	6 800.00	61 200 000.000
Dalot en béton armé (3x2)	M3	298.08	35000	10 432 800.000
Dalot en béton armé (4x2)	M3	386.4	35000	13 524 000.000
TOTAL ASSINISSEMENT GENERAUX				85 156 800.000

Lot N°05 : Gare et ouvrages d'arts				
Bâtiment voyageur	U	1	201 048 524.60	201 048 524.600
Ouvrage d'art	M2	1554	2 500 000.00	3 885 000 000.000
Quai	M2	4800	40 000.00	192 000 000.000
Abris de quais	M2	559.2	92000	51 446 400.000
TOTAL GARE ET OUVRAGES D'ARTS				4 329 494 924.600

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants
Lot N°01	Installation de chantier et étude d'exécution	76 500 000.00
Lot N°02	Terrassement	1 671 221 510.000
Lot N°03	Travaux de la voie	1 393 668 153.080
Lot N°04	Assainissement généraux	85 156 800.000
Lot N°05	Gare et ouvrages d'arts	4 329 494 924.600
Montant total hors taxe		7 556 041 387.680
Montant /Km HT		839 560 154.19
MONTANT DE LA TVA (19%)		1 435 647 863.66
MONTANT EN TTC		8 991 689 251.34

Le cout de projet est de :

Huit milliard neuf cents quatre-vingt-onze millions six mille quatre-vingt-neuf mille deux-cent cinquante et un dinars et trente-quatre centimes



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce projet, nous avons fait une étude détaillée d'un tronçon d'une nouvelle ligne ferroviaire qui s'intègre dans ce réseau. Cette étude a été guidée par les normes et les spécifications techniques adéquates au domaine ferroviaire en prenant en considération la sécurité et le confort des usagers en premier point et en second point l'aspect économique, tout en essayant de contourner les différentes contraintes et problèmes rencontrés.

Ce projet de fin d'étude a été une grande opportunité pour nous afin de mettre en application nos connaissances acquises durant tout notre cursus pour résoudre des problèmes concrets dans le monde professionnel des infrastructures ferroviaires.

Dans le cadre de ce projet, nous avons eu l'occasion de mieux maîtriser les outils informatiques de calcul et de conception tels que les logiciels : CIVIL 3D, AUTOCAD, GLOBAL MAPPER, grâce à l'exploitation de ces derniers, nous avons pu arriver à concevoir un meilleur tracé, vu leur traitement rapide et la précision de leurs résultats.

Il était pour nous d'une part l'occasion de profiter de l'expérience des personnes du domaine qu'on a rencontrés lors de notre stage chez la Société D'Etudes Techniques et de L'Ingénierie Du RAIL (SETI-RAIL), qui ont donné énormément de soutien avec les remarques précises sur le domaine, et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet complexe des travaux publics.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOUGRIRES Toudert, *Etude en APD de la mise à double voie et modernisation des installations de la ligne ferroviaire Annaba-Ramdan Djamal du PK 67+030 au PK 75+250 avec la conception de la gare d'Azzaba*, projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en travaux publics, TIGHIOUART Azeddine, ENSTP, 2018.
- [2] CHENOUI Zakarya, *Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire à Double Voie Électrifiée (KHEMIS MILIANA- EL AFROUN) (Du pk 116+000 au pk 123+000) Avec L'aménagement de la gare de KHEMIS MILIANA*, projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en travaux publics, BENINAL ABD ELAZIZ, ENSTP, 2014.
- [3] Cours voie ferrée, M.ASRI, ENSTP, 2017.
- [4] Cours voie ferrée, M.KADI, ENSTP, 2018.
- [5] Cours mécanique des sols, Mme. BADAoui, ENSTP, 2016.
- [6] Cours hydraulique appliquée, M. RAHMANI, ENSTP, 2017.
- [7] Jean ALIAS, *LA VOIE FERREE*, 61, boulevard Saint-Germain - 75005 Paris, deuxième édition, 514 pages, (1984).
- [8] GTR, *Réalisation des remblais et des couches de forme*, deuxième édition, Juillet 2000.
- [9] SETIRAIL, « *Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique* ».
- [10] SETIRAIL, « *Rapport de synthèse géotechnique* ».
- [11] SETIRAIL, « *Rapport de l'étude d'ouvrages d'art* ».
- [12] SETIRAIL, « *Rapport de l'étude environnementale* ».
- [13] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : <https://www.sntf.dz/>, consulté en ligne le 05 Mai 2019.
- [14] SNTF, *Référentiel technique*, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.
- [15] SNTF, *Référentiel technique*, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires, 22/12/2005.
- [16] SNTF, *Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies*, 3e édition, Juin 1985.
- [17] UIC719 R, *Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire*, 2e Edition, 01/01/1994.
- [18] XP ENV 13803-1 Juillet 2003 PRÉ NORME EUROPÉENNE

ANNXE A

RAPPORT TRACE EN PLAN

Project Name: Nouvelle ligne ferroviaire EL AFFROUN -TIPAZA

Project Description: Du PK 10+000 Au PK 19+000

Préparé par : MENOUKATE / ZAMIT.

<u>Segment Droit</u>			
Longeur:	1899.556	Course:	N 79° 47' 41.8560" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	150.000	L Tan:	100.007
Rayon:	2000.000	S Tan:	50.007
Theta:	02° 08' 54.9302"	P:	0.469
X:	149.979	K:	74.996
Y:	1.875	A:	547.723
Chord:	149.991	Course:	N 79° 04' 43.5766" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	15° 34' 20.8585"	Type:	RIGHT
Rayon:	2000.000		
Longeur:	543.581	Tangent:	273.476
Mid-Ord:	18.439	External:	18.611
Chord:	541.910	Course:	N 69° 51' 36.4965" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	150.000	L Tan:	100.007
Rayon:	2000.000	S Tan:	50.007
Theta:	02° 08' 54.9302"	P:	0.469
X:	149.979	K:	74.996
Y:	1.875	A:	547.723
Chord:	149.991	Course:	N 60° 38' 29.4164" W
<u>Segment Droit</u>			
Longeur:	268.349	Course:	N 59° 55' 31.1370" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	130.000	L Tan:	86.680
Rayon:	1200.000	S Tan:	43.345

Theta:	03° 06' 12.6770"	P:	0.587
X:	129.962	K:	64.994
Y:	2.347	A:	394.968
Chord:	129.983	Course:	N 60° 57' 35.2702" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	07° 13' 40.4059"	Type:	LEFT
Rayon:	1200.000		
Longeur:	151.381	Tangent:	75.791
Mid-Ord:	2.386	External:	2.391
Chord:	151.280	Course:	N 66° 38' 34.0170" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	130.000	L Tan:	86.680
Rayon:	1200.000	S Tan:	43.345
Theta:	03° 06' 12.6770"	P:	0.587
X:	129.962	K:	64.994
Y:	2.347	A:	394.968
Chord:	129.983	Course:	N 72° 19' 32.7637" W
<u>Segment Droit</u>			
Longeur:	654.867	Course:	N 73° 21' 36.8969" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	200.000	L Tan:	133.338
Rayon:	4000.000	S Tan:	66.671
Theta:	01° 25' 56.6202"	P:	0.417
X:	199.988	K:	99.998
Y:	1.667	A:	894.427
Chord:	199.994	Course:	N 72° 52' 58.0326" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	15° 58' 36.6665"	Type:	RIGHT
Rayon:	4000.000		
Longeur:	1115.395	Tangent:	561.339
Mid-Ord:	38.815	External:	39.196
Chord:	1111.784	Course:	N 63° 56' 21.9435" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	200.000	L Tan:	133.338
Rayon:	4000.000	S Tan:	66.671
Theta:	01° 25' 56.6202"	P:	0.417

X:	199.988	K:	99.998
Y:	1.667	A:	894.427
Chord:	199.994	Course:	N 54° 59' 45.8544" W
<u>Segment Droit</u>			
Longeur:	2359.583	Course:	N 54° 31' 06.9901" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	200.000	L Tan:	133.351
Rayon:	2000.000	S Tan:	66.683
Theta:	02° 51' 53.2403"	P:	0.833
X:	199.950	K:	99.992
Y:	3.333	A:	632.456
Chord:	199.978	Course:	N 55° 28' 24.6641" W
<u>Circular Curve Data</u>			
Delta:	16° 39' 07.1709"	Type:	LEFT
Rayon:	2000.000		
Longeur:	581.264	Tangent:	292.695
Mid-Ord:	21.080	External:	21.304
Chord:	579.221	Course:	N 65° 42' 33.8159" W
<u>Spiral Curve Data: clothoid</u>			
Longeur:	150.000	L Tan:	100.007
Rayon:	2000.000	S Tan:	50.007
Theta:	02° 08' 54.9302"	P:	0.469
X:	149.979	K:	74.996
Y:	1.875	A:	547.723
Chord:	149.991	Course:	N 75° 28' 04.0522" W
<u>Segment Droit</u>			
Longeur:	143.793	Course:	N 76° 11' 02.3316" W

Longueur totale : 9027.769

LISTING DE PROFIL EN LONG

No.	Type	Profile Curve Type	Longeur	Grade	Start Station	Start Elevation	End Station	End Elevation	Profile Curve Rayon	Grade In	Grade Out	Grade Change
1	Tangent		703.715m	1.07%	10+001.3m	82.679m	10+705.0m	90.241m				
2	Symmetric Parabola	Concave	337.128m		10+705.0m	90.241m	11+042.1m	91.970m	30000.000m	1.07%	-0.05%	-1.12%
3	Tangent		1237.328m	-0.05%	11+042.1m	91.970m	12+279.5m	91.362m				
4	Symmetric Parabola	Convexe	262.582m		12+279.5m	91.362m	12+542.0m	92.354m	30737.819m	-0.05%	0.81%	0.85%
5	Tangent		604.054m	0.81%	12+542.0m	92.354m	13+146.1m	97.217m				
6	Symmetric Parabola	Concave	139.995m		13+146.1m	97.217m	13+286.1m	97.781m	17388.402m	0.81%	0.00%	-0.81%
7	Tangent		1382.013m	0.00%	13+286.1m	97.781m	14+668.1m	97.781m				
8	Symmetric Parabola	Concave	251.521m		14+668.1m	97.781m	14+919.6m	96.199m	20000.000m	0.00%	-1.26%	-1.26%
9	Tangent		1218.121m	-1.26%	14+919.6m	96.199m	16+137.8m	80.880m				
10	Symmetric Parabola	Convexe	164.492m		16+137.8m	80.880m	16+302.2m	79.488m	20000.000m	-1.26%	-0.44%	0.82%
11	Tangent		1117.680m	-0.44%	16+302.2m	79.488m	17+419.9m	74.624m				
12	Symmetric Parabola	Concave	95.000m		17+419.9m	74.624m	17+514.9m	73.934m	16316.347m	-0.44%	-1.02%	-0.58%
13	Tangent		1512.942m	-1.02%	17+514.9m	73.934m	19+027.9m	58.542m				

ANNXE B

LES PENETROGRAMMES

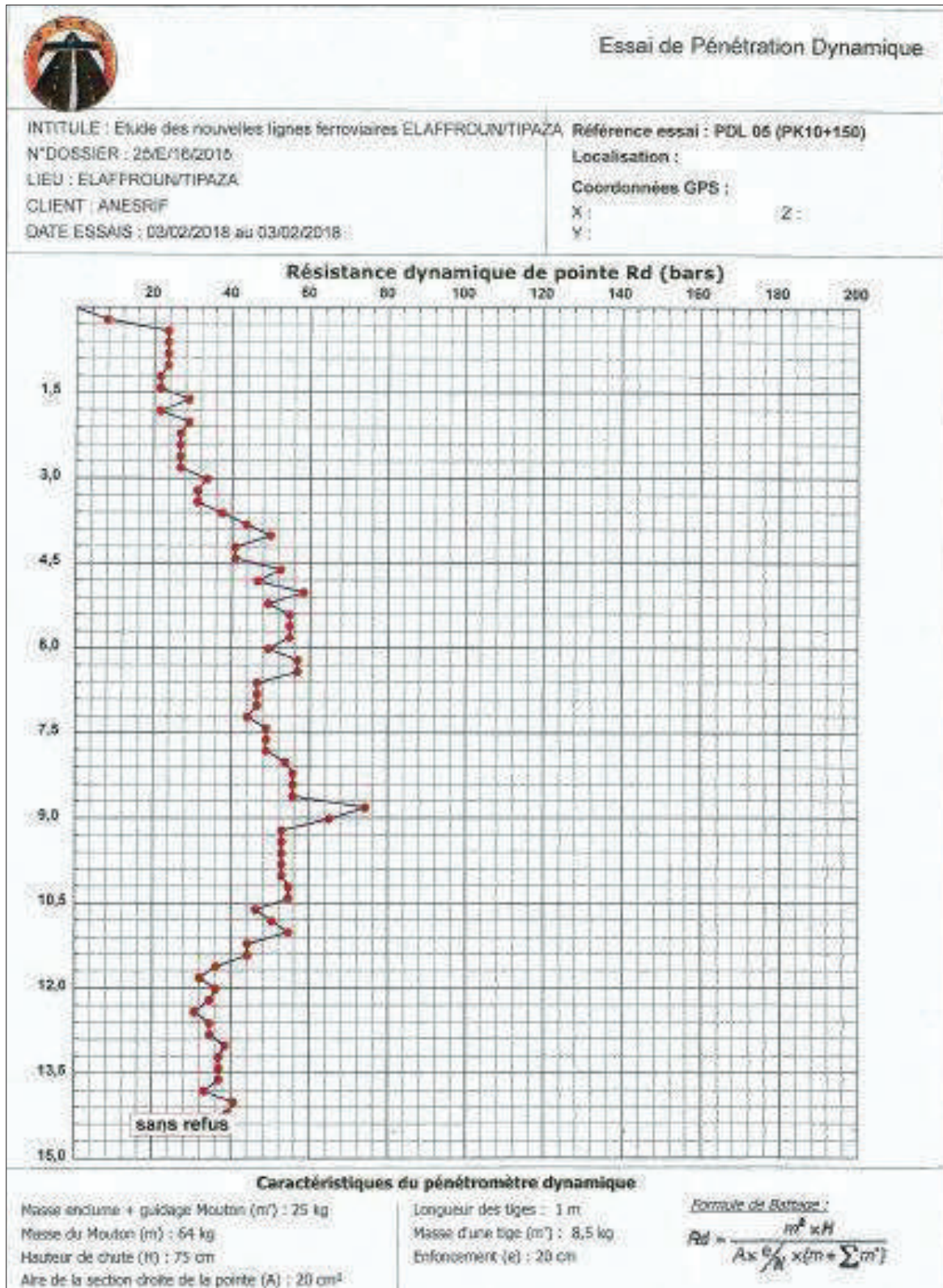


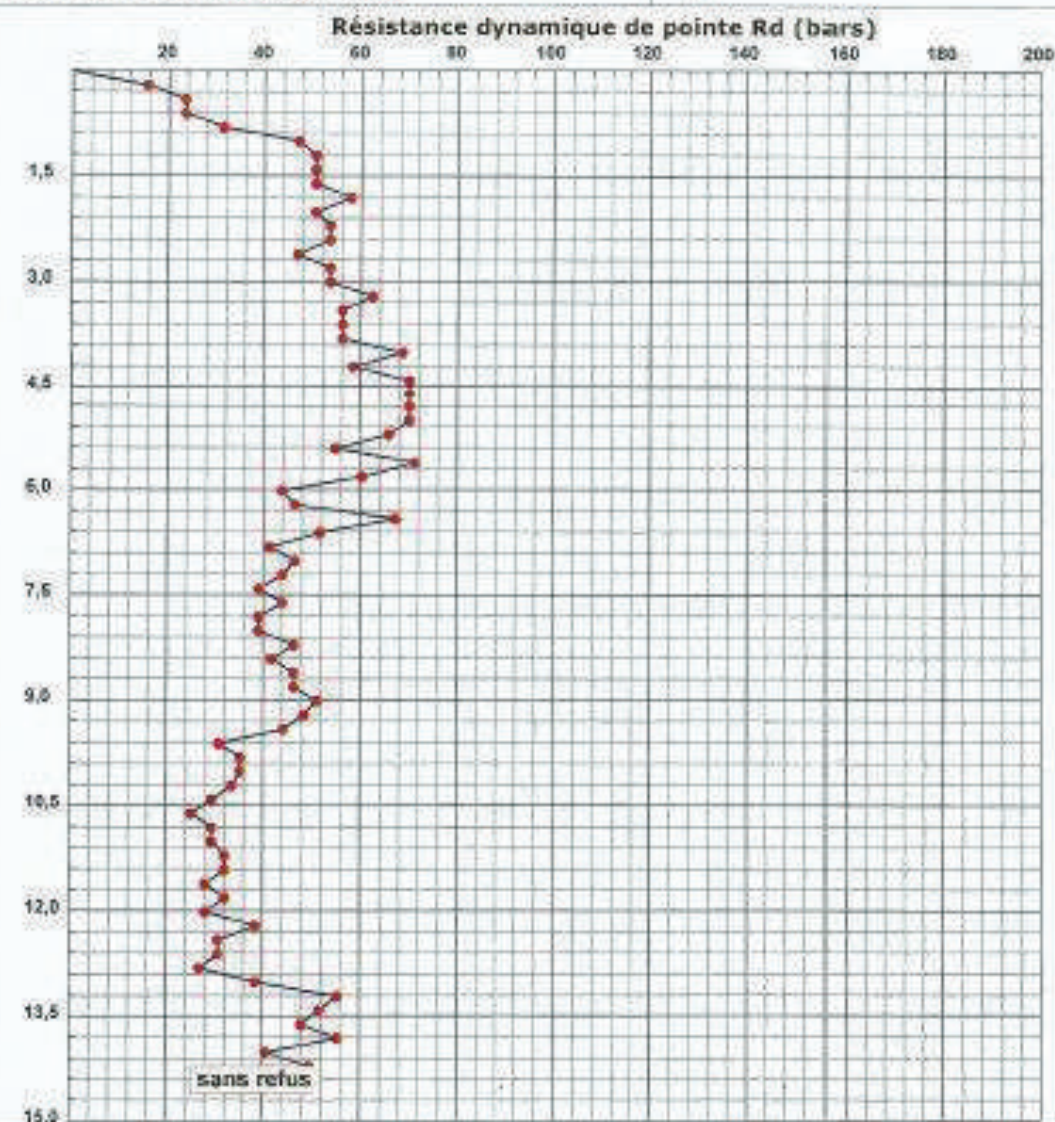
Figure I. Pénétrogramme d'essai au PK10+000



Essai de Pénétration Dynamique NF P 94-115

INTITULE : Etude des nouvelles lignes ferroviaires ELAÏFFROUNTIPAZA
N°DOSSIER : 25/E/15/2015
LIEU : ELAÏFFROUNTIPAZA
CLIENT : ANESRIF
DATE ESSAIS : 03/02/2018 au 03/02/2018

Référence essai : PDL 05 (PK10+950)
Localisation :
Coordonnées GPS :
X :
Y :
Z :



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Mouton (m') : 25 kg
Masse du Mouton (m) : 64 kg
Hauteur de chute (H) : 0.75 m
Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m
Masse d'une tige (m') : 8,5 kg
Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Ballast :

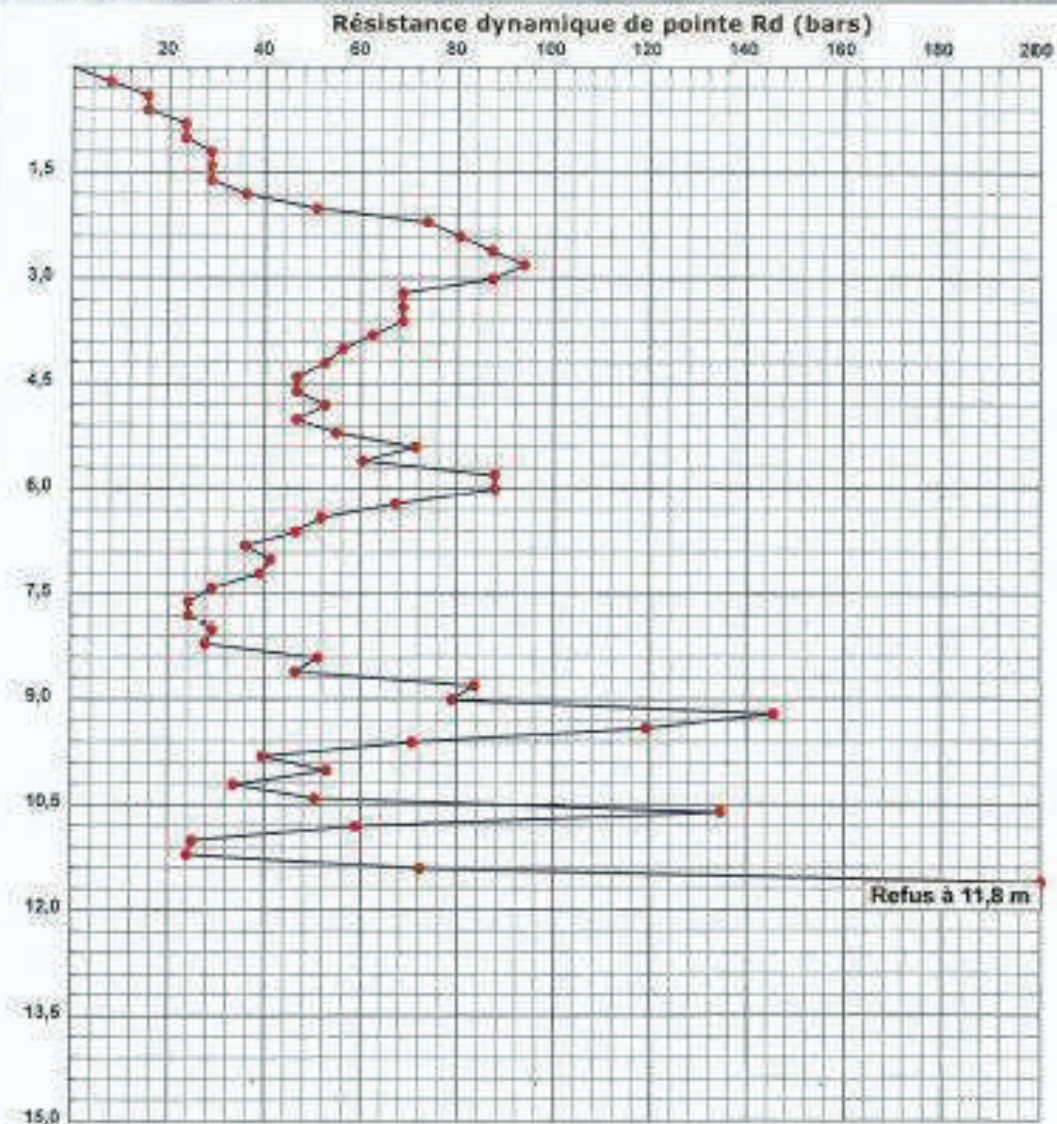
$$R_d = \frac{m^2 \times H}{A \times \frac{e}{K} \times (m + \sum m')}$$

Figure II. Pénétrogramme d'essai au PK10+950



Essai de Pénétration Dynamique NF P 94-115

INTITULE : Etude des nouvelles lignes ferroviaires ELAFFROUN/TIPAZA Référence essai : PDL 07 (PK 12+600)
N°DOSSIER : 25/E/16/2015 Localisation :
LIEU : ELAFFROUN/TIPAZA Coordonnées GPS :
CLIENT : ANESRIF X : Z :
DATE ESSAIS : 03/02/2018 au 05/02/2018 Y :



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Mouton (m) : 25 kg
Masse du Mouton (m) : 64 kg
Hauteur de chute (H) : 0.75 m
Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m
Masse d'une tige (m) : 8,5 kg
Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Battage :

$$R_d = \frac{m^2 \times H}{A \times \frac{e}{N} \times (m + \sum m_i)}$$

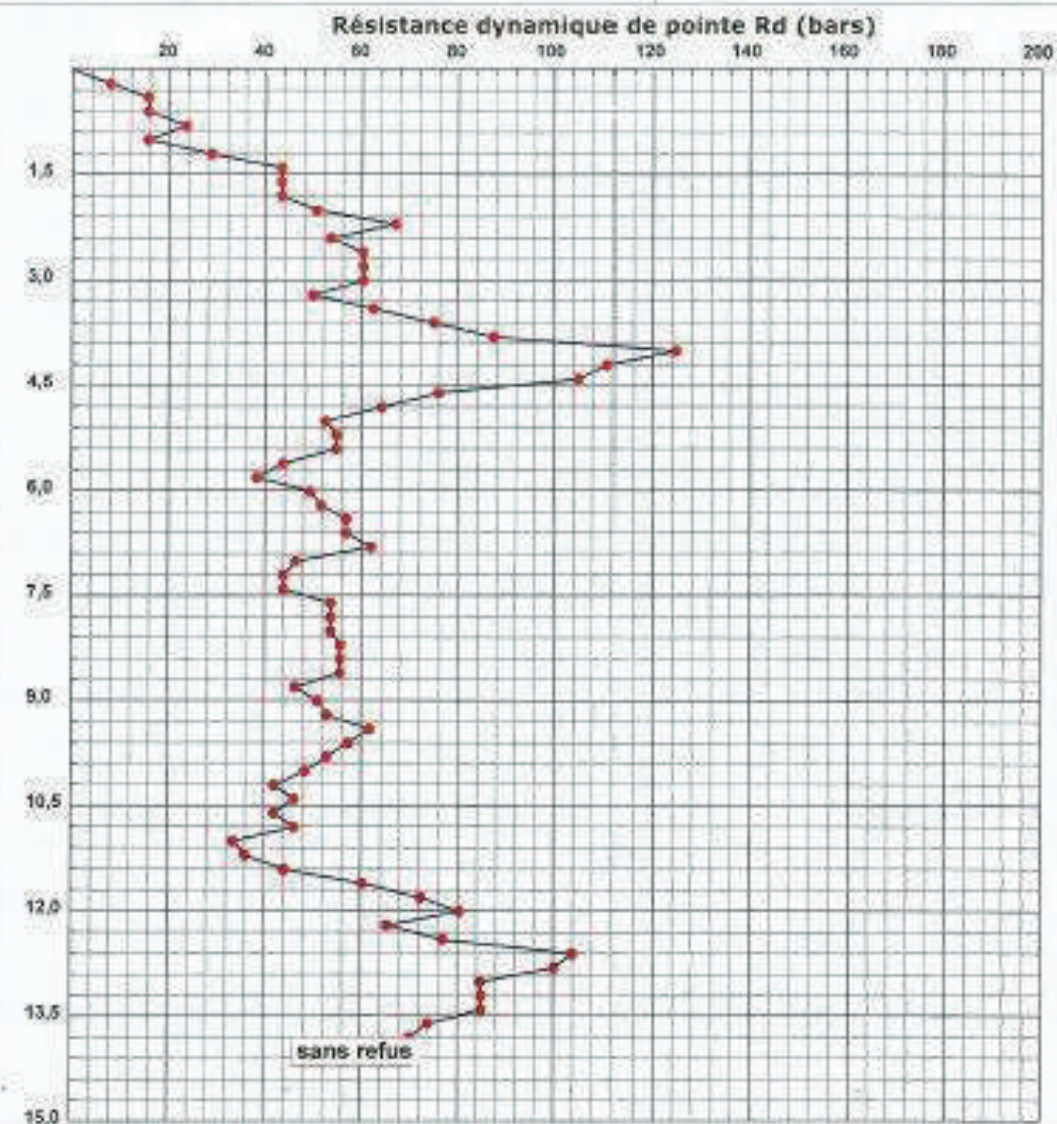
Figure III. Pénétrogramme d'essai au PK12+600



Essai de Pénétration Dynamique NF P 94-115

INTITULE : Etude des nouvelles lignes ferroviaires ELAFFROUNTIPAZA
N°DOSSIER : 25/E/15/2015
LIEU : ELAFFROUNTIPAZA
CLIENT : ANESRIF
DATE ESSAIS : 03/02/2018 au 03/02/2018

Référence essai : PDL 08 (PK 18+200)
Localisation :
Coordonnées GPS :
X :
Y :
Z :



Caractéristiques du pénétromètre dynamique

Masse enclume + guidage Houton (m) : 25 kg
Masse du Houton (m) : 64 kg
Hauteur de chute (H) : 0.75 m
Aire de la section droite de la pointe (A) : 20 cm²

Longueur des tiges : 1 m
Masse d'une tige (m) : 8,5 kg
Enfoncement (e) : 20 cm

Formule de Battage :

$$R_d = \frac{m^2 \times H}{A \times \sum \frac{1}{N} \times (m + \sum m')}$$

Figure IV. Pénétrogramme d'essai au PK18+200

RESULTATS DES ESSAIS PRESSIOMETRIQUES

Tableau 1. Résultats d'essai pressiométrique au PK11+310

SP PK 11+310				
Profondeurs (m)	Module Préssiométriques (E) en BARS	Pression limite Nette (PL) en BARS	Pression de fluage (Pf) en BARS	E/PL
01.00	64,1	5,37	3,18	12
02.00	197	8,77	4,34	22
03.00	229	9,01	5,13	25
04.00	314	8,99	5,06	35
05.00	311	9,79	6,78	32
06.00	302	8,56	4,69	35
07.00	266	8,12	4,37	33
08.00	217	11,8	6,50	18
09.00	309	12,1	4,24	26
10.00	344	11,2	7,00	31
11.00	200	7,19	4,37	28
12.00	213	7,81	2,03	27
13.00	197	10,2	5,46	19
14.00	301	9,78	6,30	31
15.00	160	9,25	4,57	17
16.00	210	10,6	6,91	20
17.00	212	10,6	7,75	20
18.00	157	9,43	5,43	17
19.00	164	11,7	6,31	14
20.00	222	13,2	3,00	17

Tableau 2 Résultats d'essai pressiométrique au PK13+430

SP PK 13+430				
Profondeurs (m)	Module Préssiométriques (E) en BARS	Pression limite Nette (PL) en BARS	Pression de fluage (Pf) en BARS	E/PL
01.00	496	12,30	7,18	40
02.00	956	10,80	6,22	89
03.00	653	14,90	8,61	44
04.00	436	10,20	8,61	43
05.00	414	4,26	5,78	97
06.00	523	4,76	2,22	110
07.00	605	11,80	2,45	51
08.00	551	8,20	6,53	67
09.00	568	16,30	0,94	35
10.00	494	8,26	9,04	60
11.00	677	15,20	4,00	45
12.00	769	15,50	8,32	50
13.00	1310	22,00	12,20	60
14.00	742	24,90	13,00	30
15.00	625	21,10	11,50	30
16.00	406	13,80	7,22	29
17.00	348	9,32	4,50	37
18.00	244	8,81	4,15	28
19.00	234	7,00	3,02	33
20.00	193	7,79	3,43	25

Tableau 3 Résultats d'essai pressiométrique au PK16+220

SP PK 16+220				
Profondeurs (m)	Module Préssiométriques (E) en BARS	Pression limite Nette (PL) en BARS	Pression de fluage (Pf) en BARS	E/PL
01.00	153	4,65	2,67	33
02.00	124	4,51	2,54	27
03.00	242	8,09	4,59	30
04.00	189	7,04	3,91	27
05.00	227	6,24	2,79	36
06.00	189	6,89	3,71	27
07.00	214	5,68	2,55	38
08.00	199	5,89	3,00	34
09.00	187	6,83	3,50	27
10.00	441	7,52	3,80	59
11.00	177	6,40	3,13	28
12.00	142	6,70	3,25	21
13.00	244	7,42	3,61	33
14.00	336	10,70	5,50	31
15.00	273	15,40	8,22	18
16.00	239	7,17	0,50	33
17.00	255	9,78	4,77	26
18.00	326	10,40	5,07	31
19.00	278	11,60	5,75	24
20.00	291	12,60	6,27	23

ANNXE C

Tableau 4 CALCULE DES BASSINS VERSANTS

N° BV	Surface	Long	Cote max	Cote min	cote moy	Z	pente talweg	pente bassin
	Km²	km	m	m	m	m	m/m	m/m
10	3.567	3.72	246	78	162	168	0.045	0.0451
11	6.46	6.65	636	81	358.5	555	0.083	0.0834
12	0.42	0.83	100	85	92.5	15	0.018	0.0181
13	14.28	9.58	626	85	355.5	541	0.056	0.0565
14	48.225	19.79	852	89	470.5	763	0.039	0.0385
15	9.695	9.93	482	82	282	400	0.04	0.0403
16	9.319	5.32	206	68	137	138	0.026	0.0259
17	3.72	4.88	167	56	111.5	111	0.023	0.0228
18	2.68	3.42	150	54	102	96	0.028	0.0281
19	0.99	1.16	96	55	75.5	41	0.035	0.0353
20	36.145	19.78	1018	54	536	964	0.049	0.0487

Tableau 5 L'EVALUATION DU TEMPS DE CONCENTRATION DU BASSIN VERSANT (TC)

N° BV	S	L	Hmax	Hmin	Hmoy	pente	Tc (h)
10	3.567	3.72	246	78	162	0.045	1.129
11	6.46	6.65	636	81	358.5	0.083	1.117
12	0.42	0.83	100	85	92.5	0.018	0.612
13	14.28	9.58	626	85	355.5	0.056	2.020
14	48.225	19.79	852	89	470.5	0.039	4.492
15	9.695	9.93	482	82	282	0.040	1.970
16	9.319	5.32	206	68	137	0.026	2.407
17	3.72	4.88	167	56	111.5	0.023	1.624
18	2.68	3.42	150	54	102	0.028	1.374
19	0.99	1.16	96	55	75.5	0.035	0.672
20	36.145	19.78	1018	54	536	0.049	4.455

Tableau 6 TABLEAU RECAPITULATIF DES DEBITS CALCULE

N° BV	S	L	pente	Tc (h)	pente (%)	a(100)	Cr	I(100)	Q(100)
10	3.567	3.72	0.045	1.129	4.5	70	0.29	64.62	18.6
11	6.46	6.65	0.083	1.117	8.3	70	0.29	65.06	33.9
12	0.42	0.83	0.018	0.612	1.8	70	0.29	96.77	3.3
13	14.28	9.58	0.056	2.020	5.6	70	0.29	44.02	50.7
14	48.225	19.79	0.039	4.492	3.9	70	0.29	25.97	101.0
15	9.695	9.93	0.040	1.970	4.0	70	0.29	44.74	35.0
16	9.319	5.32	0.026	2.407	2.6	70	0.29	39.20	29.5
17	3.72	4.88	0.023	1.624	2.3	70	0.29	50.83	15.2
18	2.68	3.42	0.028	1.374	2.8	70	0.29	56.76	12.3
19	0.99	1.16	0.035	0.672	3.5	70	0.29	90.99	7.3
20	36.145	19.78	0.049	4.455	4.9	70	0.29	26.11	76.1

Tableau 7 LES RESULTATS DE CALCUL ET VERIFICATIONS DE DIMENSIONNEMENT DES DALOTS

	pk	Q (m3/s)	B	K	i	HF	Qps (m3/s)		HU	V(m/s)< 5 m/s	0.1*Q (m3/s)	RQ	RV	Vps (m/s)	SM	V(0.1)>0.6 m/s	00.1*Q	RQ	RV	VPS	SM	V(0.01)>0.3 m/s
1	10+935.52	33.900	4	70	0.005	3	50.35546945	vérifier	2.4	5.245	3.390	0.067	0.646	5.245	9.600	vérifier	0.339	0.007	0.315	5.245	9.600	vérifier
2	11+825.00	3.300	1.5	70	0.005	1.5	5.321010869	vérifier	1.2	2.956	0.330	0.062	0.554	2.956	1.800	vérifier	0.033	0.006	0.278	2.956	1.800	vérifier
3	12+546.19	50.700	4	70	0.005	4	72.76302828	Vérifier	3.2	5.685	5.070	0.070	0.636	5.685	12.800	vérifier	0.507	0.007	0.315	5.685	12.800	vérifier
4	14+135.94	101.000	2*4	70	0.003	2*4	2*56.36199935	vérifier	3.2	4.403	10.100	0.179	0.739	4.403	12.800	vérifier	1.010	0.018	0.375	4.403	12.800	vérifier
5	15+250.00	35.000	4	70	0.005	3	50.35546945	vérifier	2.4	5.245	3.500	0.070	0.631	5.245	9.600	vérifier	0.350	0.007	0.315	5.245	9.600	vérifier
6	16+935.38	15.200	3	70	0.005	3	33.786313	vérifier	2.4	4.693	1.520	0.045	0.670	4.693	7.200	vérifier	0.152	0.004	0.337	4.693	7.200	vérifier
7	18 423.32	12.300	3	70	0.005	2	20.03198462	vérifier	1.6	4.173	1.230	0.061	0.674	4.173	4.800	vérifier	0.123	0.006	0.337	4.173	4.800	vérifier

ANNXE D

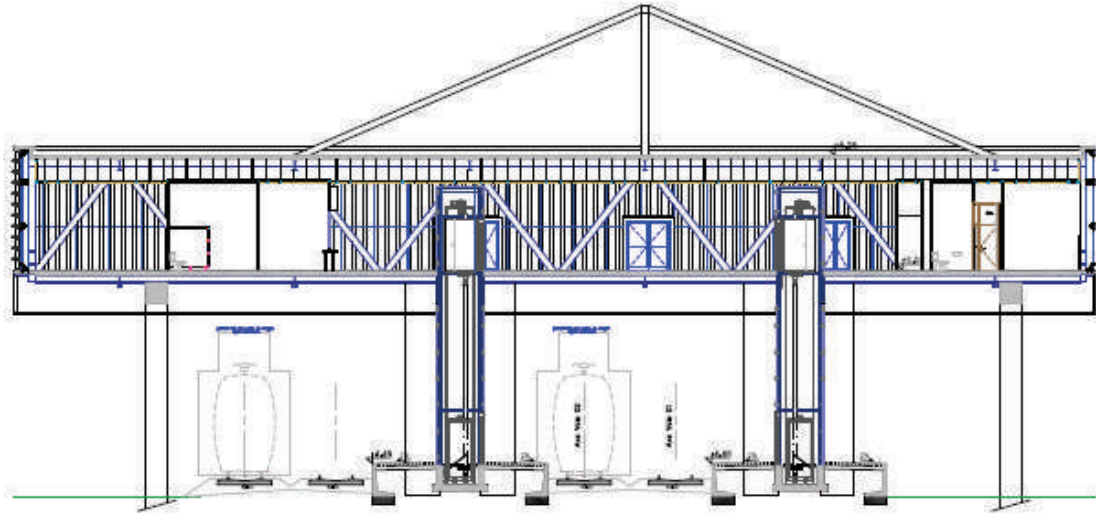


Figure V. Coupe transversale de la gare

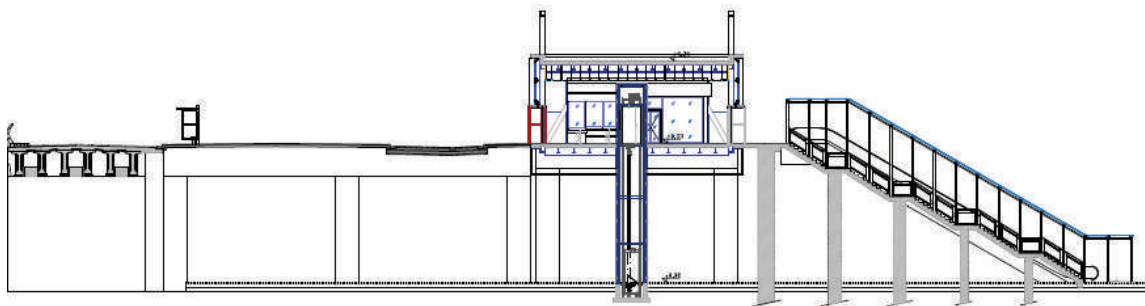


Figure VI. Coupe Longitudinale de la gare

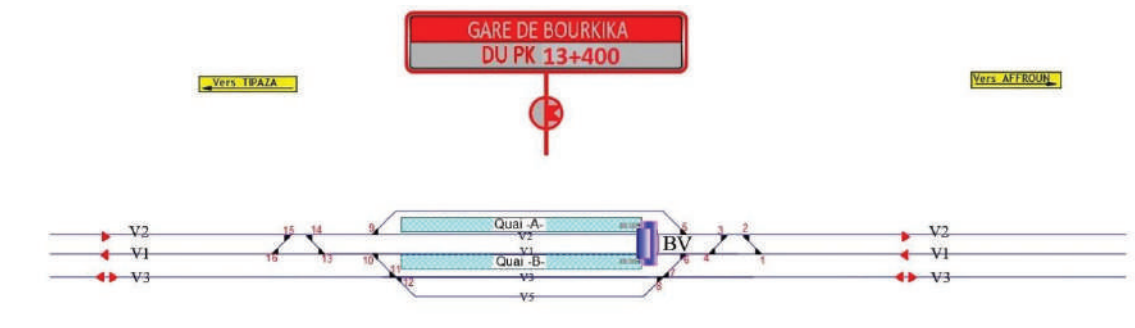


Figure VII. Schéma de Principe de la gare