République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Matériaux & Structures

Thème

Etude en APD de ligne minière EST-section 01 Nord ANNABA-BOUCHEGOUF tronçon PK 10+000 au PK 21+000 avec conception de la gare CHBAITA MOKHTAR

Présenté par :

CHOUH Mohamed
MEHAIA Youcef

Encadré par :

Ing. BENOUMECHIARA Salah
Pr. FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Sans la volonté d'Allah, ce travail n'aurait jamais été réalisé, car il nous a donné la santé, la force, le courage et la volonté jusqu'au dernier instant. Nous remercions ALLAH pour ça et tout le reste.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué et nous ont encouragés tout au long de ce projet. En particulier l’ingénieur Abderraouf Ouranader en raison de son accompagnement et de son soutien tout au long de la réalisation de cette tâche.

Nous remercions encore l’ingénieur Salim Alouache qui nous a transmis ses connaissances et ses compétences, ce qui nous a permis de présenter ce mémoire avec succès.

Les membres du jury, qui ont le privilège d'évaluer notre travail modeste et de nous donner leurs avis et conseils précieux.

Nous souhaitons profiter de cette opportunité pour exprimer notre gratitude et notre reconnaissance sincères envers nos parents, une source inépuisable d'amour et d'affection. Pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, de près ou de loin, et nous exprimons notre gratitude envers nos collègues et amis extraordinaires, qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de ces trois années de formation.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce document, et qui n'ont pas été mentionnés.

Dédicace

Je souhaite exprimer ma gratitude envers Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la santé, la force et la persévérance tout au long de mon parcours universitaire. Grâce à ses bénédictions, j'ai réussi à accomplir ce travail.

Je voulais exprimer ma sincère gratitude à mes parents pour le soutien émotionnel indéfectible que vous m'avez apporté. Votre gentillesse et votre empathie ont été une véritable source de force dans les moments difficiles et ont eu un impact extrêmement positif sur mon parcours.

À toute ma famille « Chouh » et « kaïdi » sans exception.

À tous mes meilleurs amis.

كلمة شكر

بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه اجمعين، اما بعد اول من يشكر ويحمد آناء الليل وأطراف النهار، هو العلي القهار الأول الاخر الظاهر الباطن، الذي اغرقنا بنعمه التي لا تحصى، وأغدق علينا برزقه الذي لا ينتهي، وانار دروبنا فله جزيل الحمد والثناء العظيم، هو الذي انعم علينا اذ أرسل فينا عبده ورسوله محمد عليه ازكى الصلوات وأطهر التسليم، ارسله بقرآنه المبين فعلمنا ما لم نعلم، وحثنا على طلب العلم أينما وجد.

لله الحمد كله والشكر كله ان وفقنا وألهمنا الصبر على المشاق التي واجهتنا لإنجاز هذا العمل المتواضع.

والشكر موصول ومن باب أولى الوالدين الذين هما السبب المباشر لما حصلناه ولما وصلنا اليه نسأل الله ان يحفظ الوالدة ويحسن خاتمتها ويسكنها العلى من الجنة ويرحم الوالد ويجعل قبره روضة من رياض الجنة.

وأيضا نتقدم بالشكر الى كل معلم افادنا بعلمه، من أولى المراحل الدراسية حتى هذه اللحظة

كما نشكر كل من ساعدنا في انجاز هذه المذكرة وخاصة المهندس "اورالنادر عبد الرؤوف"

وكل من ساهم ولو بحرف فنسال الله الكريم ان يعطيهم من الخير كله

ونتوجه بالتقدير والعرفان الى كل من مد لنا يد العون من قريب او بعيد وخاصة الأصدقاء " بن شيخ عبد الحق" و "فتاح اسلام "

وفي الاخير لا يسعنا الا ان ندعو الله عز وجل ان يرزقنا التوفيق والسداد، والغنى والعفاف وان يجعلنا هداة مهتدين.

وصلى الله وبارك على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه.

مهية يوسف
09جوان 2024
القبة -الجزائر-

ملخص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع (**APD**) لجزء من خط السكة الحديدية الرابط بين عنابة – بوشقوف (المقطع من PK10+000 الى PK21+000)، بسرعة قطارات تصل الى 120كم/س. مع تصميم محطة شبيطة مختار.

تم تنفيذ هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF). برامج النمذجة والحساب المستخدمة في المشروع هي:

Autocad2018-Covadis 16.0, Global mapper, Google Earth.

كلمات مفتاحية : تصميم ودراسة السكة الحديدية، توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF)، مشروع خط السكة الحديدية الجديد الرابط بين عنابة وبوشقوف.

Résumé

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (APD) d'un tronçon de la ligne minière Annaba - Boucheggouf (tronçon du Pk10+000 au Pk 21+000), avec une vitesse des trains de 120 km/h. et conception de la gare de Chebaita mokhtar.

Ce projet a été réalisé suivant les normes de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et les recommandations de la société nationale des transports ferroviaire (SNTF). Les logiciels de modélisation et de calcul utilisé dans le projet sont :
Autocad 2018- Covadis 16.0, Global Mapper, Google Earth.

Mots clés : conception et étude d'une ligne ferroviaire, recommandations de la SNTF, projet de réalisation da la nouvelle ligne ferroviaire entre Annaba et Bouchegouf.

Abstract

This project is mainly to study detailed design (APD) of a section of the new railway line Annaba-Bouchegouf (the section from Pk10+000 to Pk 21+000), with speed of train 120 km/h. and design of the Chebaita Mokhtar station.

This project was realized according to International Railway Union standards (UIC) and the Algerian national railway company recommendations of the (SNTF). Modeling softwares used in this project are:
Autocad 2018- Covadis 16.0, Global Mapper, Google Earth.

Key words : conception and study of railway line, SNTF recommendations, the new projectof railway line between Annaba and Bouchegouf .

Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
BIM	Building Information Modeling
RPOA	Règles Parasismiques applicables au domaine des Ouvrages d'Art
APS	Avant-Projet Sommaire
MOA	Maitre Ouvrage d'Art
APD	Avant-Projet Détaillé
PK	Point Kilométrique
UIC	Union International du Chemin de fer
BT	Ligne électrique à Basse Tension
MT	Ligne électrique à Moyenne Tension
THT	Ligne électrique à Très Haute Tension
OH	Ouvrage Hydraulique
RN	Route Nationale
VRD	Voirie et Réseaux Divers
EIE	Étude d'Impact sur l'Environnement
SNTF	Société Nationale du Transport Ferroviaire
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
BV	Bassin Versant
PU	Puit de reconnaissance
SC	Sondage Carotté
SP	Sondage Pressiométrique
PDL	Pénétromètre Dynamique Lourd
SPT	Standard Penetration Test
GTR	Guide des Terrassements Routiers
CBR	Californien Bearing Ratio
LT	Long Terme
CT	Court Terme
S^2	Cas sismique
FSR	Front Supérieur de Roulement
Vi	Voie numéro « i »
ADV	Appareil De Voie
DD	Déviation droite
DG	Déviation gauche
BAL	Block Automatique Lumineux
DC	Direct Curent
AC	Alternative Curent
LRS	Long Rail Soudé

Liste des symboles et leurs unités

Symbole	Désignation	Unité
P	Précipitation de pluie	mm
V_{max}	Vitesse des trains voyageurs	Km/h
V_{min}	Vitesse des trains marchandises	Km/h
R	Rayon de raccordement circulaire	m
R_{min}	Rayon minimal	m
L_{min}	Longueur minimale des éléments	m
d_{th}	Dévers théorique	mm
d_p	Dévers pratique	mm
d_{max}	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
I_{max}	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
E_{max}	Excès de dévers maximal	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clothoïde	m
L_{adp}	Longueur adopté	m
R_{vmin}	Rayon verticale minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
dI/dt	Variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
A	Superficie du bassin versant	Km^2
P	Périmètre du bassin versant	Km
L	Longueur de l'Oued principal	Km
H_{min}	Hauteur minimale du bassin versant (à l'exutoire)	m
H_{max}	Hauteur maximale du bassin versant	m
H_{moy}	Hauteur moyenne du bassin versant	m
ΔH	Différence de hauteur entre H_{max} et H_{min}	m
I	Pente moyenne du talweg principale	m/m

T_c	Temps de concentration	h
I	Intensité de la pluie	mm/h
a et b	Paramètres climatiques de Montana	-
Q_{100}	Débit de point de crue pour 100 ans	m^3/s
Q_a	Débit d'apport	m^3/s
Q_{sat}	Débit de saturation	m^3/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
K_s	Coefficient de rugosité	-
S_m	Section mouillée	m^2
P_m	Périmètre mouillé	m
R_h	Rayon hydraulique	m
I	Pente longitudinale de l'ouvrage	m/m
S_m	Section mouillée	m^2
b	Largeur de l'ouvrage	m
H_u	Hauteur utile	m
H_t	Hauteur totale de l'ouvrage	m
V	Vitesse d'écoulement à l'intérieur de l'ouvrage hydraulique	m/s
V_{ps}	Vitesse d'écoulement pleine section	m/s
R_V	Rayon verticale (rapport des vitesses)	-
Ø	Diamètre de la buse	m
H	Différence entre la cote moyenne et la cote minimale	m
L	Longueur du bassin versant	Km
Q_{ps}	Débit a pleine section	m^3/s
Q_{pf}	Débit évacué par la plateforme	m^3/s
Q_b	Débit évacué par la berme de talus	m^3/s
m	Pente du fossé	m/m
P_f	Pression de fluage nette	Mpa
E	Module de déformation	Mpa
P_L	Pression limite nette	Mpa
R_p	Résistance de pointe	-
ω	Teneur en eau naturel	%
γ_h	Poids volumique humide	KN/m^3
γ_d	Poids volumique sec	KN/m^3
S_r	Degré de saturation	%
W_P	Limite de plasticité	%

W_L	Limite de liquidité	%
I_P	Indice de plasticité	%
I_c	Indice de consistance	-
C'	Cohésion fictive du sol	Kpa
ϕ'	Angle de frottement interne fictif	Degré (°)
Pc	Pression de consolidation	Bars
Cc	Coefficient de compressibilité	%
Cs	Indice de gonflement	%
ρd	Masse volumique sèche	Kg/m^3
MO	Teneur en matière organique	%
VBS	Valeur de bleue en sol	g/100g
D_{max}	Diamètre maximale des grains	mm
W_{opt}	Teneur en eau optimale	%
γ_{opt}	Densité optimale	KN/m^3
R_c	Résistance à la compression	Mpa
DRG	Dureté globale	-
I_{CBR}	Indice CBR	%
Fs	Facteur de sécurité	-
A	Coefficient d'accélération de zone	-
Kh et Kv	Coefficients sismiques	-
LG	Longueur de glissement	m
GF	Garage franc	m
Lu	Longueur utile	m

Sommaire

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1 Introduction 2
I.2 Les avantages apportés par le BIM dans le domaine ferroviaire 2
I.3 Logiciels de modélisation BIM 3

Chapitre II : Présentation du projet

II.1 Introduction 4
II.2 Description de la région traversée : 4
II.2.1 Wilaya d'EL TAREF 5
II.3 Caractéristiques climatiques 5
II.3.1 Température 5
II.3.2 Humidité 5
II.3.3 Pluviométrie 5
II.4 Relief 6
II.5 La sismicité 6

Chapitre III : Tracé en plan

III.1 Introduction 7
III.2 Règles à respecter dans le tracé en plan 7
III.3 Paramètres de conception 8
III.4 Paramètres géométriques 8
III.4.1 Alignements droits 8
III.4.2 Courbes circulaires 9
III.4.3 Raccordements progressifs 9
III.5 Les dévers 9
III.5.1 Dévers théorique 9
III.5.2 Dévers pratique 9
III.6 Insuffisance de dévers 10
III.7 Excès de dévers 10
III.8 Recommandations SNTF 11
III.9 Application au projet 11
III.10 Interprétation des résultats 13

Chapitre IV : Profil en long

IV.1 Introduction 14
IV.2 Coordination tracé en plan – profil en long 14
IV.3 Éléments géométriques du profil en long 14
IV.4 Déclivité 15
IV.5 Recommandations SNTF 16

Chapitre V : Étude hydrologique et hydraulique

V.1 Introduction 17
V.2 Données pluviométriques 17
V.2.1 Pluies annuelles 17
V.2.2 Pluies journalières 18
V.3 Caractéristiques des bassins versants 18
V.3.1 Temps de concentration 20
V.3.2 Intensité de pluie 20
V.3.3 Calcul du débit des bassins versants 21
V.3.3.1 Méthode rationnelle (A < 10 km²) 21
V.3.3.2 Méthode crupidex (A > 50 Km2) 22
V.4 Calcul hydraulique et dimensionnement 22
V.4.1 Dimensionnement des dalots 23
V.4.2 Dimensionnement des buses 25
V.4.3 Vérifications des conditions d'auto curage 25
V.4.4 Ouvrage d'art 26
V.5 Dimensionnement des fossés 26

Chapitre VI : Étude géologique et géotechnique

VI.1 Introduction 29
VI.2 Aperçu géologique sur le tronçon 29
VI.3 Sismicité du site 30
VI.4 Étude géotechnique 32
VI.4.1 Sondages carottées 32
VI.4.1.1 Résultats de la reconnaissance par sondage carottées 32
VI.4.1.2 Niveau piézométrique dans les sondages carottés 34
VI.4.2 Puits de reconnaissance 34
VI.4.3 Les résultats des essais au laboratoire : 34

VI.4.3.1 Les Sondages Carottés : 35
VI.4.3.2 Les puits de reconnaissance : 38
VI.4.4 Risque d'agressivité chimique 40
VI.4.5 Synthèse des résultats géotechniques 41
VI.4.6 Gites d'emprunts 42
VI.4.7 Conclusion 42

Chapitre VII : Assise ferroviaire

VII.1 Introduction 43
VII.2 La couche de ballast 43
VII.3 Sous couche 43
VII.4 La plateforme 43
VII.5 Classe de portance de la plateforme 44
VII.6 Dimensionnement de la plateforme 44
VII.7 Conclusion 45

Chapitre VIII : Profil en travers

VIII.1 Introduction 46
VIII.1.1 Profil en travers type 46
VIII.1.2 Profil en travers courant 46
VIII.2 Éléments du profil en travers 46
VIII.3 Profil en travers type de notre projet 46

Chapitre IX : Terrassement

IX.1 Introduction 47
IX.2 Règles à respecter 47
IX.3 Stabilité des talus 47
IX.4 Réutilisation des matériaux excavés 48
IX.5 Calcul des cubatures 48
IX.6 Ouvrage d'art 49
IX.6.1 Types de croisements ferroviaires 49
IX.7 Conclusion 50

Chapitre X : Superstructure ferroviaire

X.1 Introduction 51
X.2 Types de voie 51

X.3 Technique du système ferroviaire 51
X.3.1 Principes fonctionnels fondamentaux 53
a) Fonctionnement en alignement droit : 53
b) Fonctionnement en courbe : 54
X.4 Éléments de la superstructure 54
X.4.1 Rails 54
X.4.1.1 Types de rails 55
X.4.1.2 Écartement des rails 57
X.4.1.3 Assemblage des rails 57
X.4.2 Traverses 58
X.4.2.1 Types de traverses 59
X.4.2.2 Travelage 60
X.4.3 Les accessoires de pose transversale 61
X.4.3.1 La Semelle 61
X.4.3.2 Les attaches 61
X.4.4 La superstructure pour notre projet 62
X.4.5 Appareils de voies 63
X.4.5.1 Types d'appareils de voie 63
X.4.6 Conclusion 65

Chapitre XI : Conception de la gare CHEBAITA MOKHTAR

XI.1 Introduction 66
XI.2 Types de gares 66
XI.3 Aménagement de la gare 67
XI.3.1 Installations d'une gare voyageurs 67
XI.3.2 Installations d'une gare marchandises 67
XI.4 Marge de glissement à l'aval des signaux 68
XI.5 Garage franc 68
XI.6 Caractéristiques géométriques des gares 69
XI.7 Application au projet 70
XI.8 Assainissement dans la gare 71
a) Transversalement 71
b) Longitudinalement 71
XI.9 Conclusion 71

Chapitre XII : Signalisation ferroviaire

XII.1 Introduction 72
XII.2 Principes de la signalisation ferroviaire 72
XII.3 Systèmes de signalisation 72
XII.4 Évolution des systèmes de signalisation 72
XII.5 Fonctions des signaux 73
XII.6 Implantation des signaux 73
XII.7 Types de signalisation 73
XII.8 Fonctionnement du système 74
XII.9 Pour notre projet 74
XII.10 Équipements fixés au sol 75
XII.11 Équipements ERTMS à bord des locomotives 76
XII.12 Conclusion 76

Chapitre XIII : Étude d'impact sur l'environnement

XIII.1 Introduction 77
XIII.2 Objectifs de l'étude 77
XIII.3 Analyse de l'état initiale 77
XIII.3.1 Milieu physique 77
a) Climat 77
b) Relief 77
c) Géologie - Géomorphologie - Géotechnique 78
d) Hydrologie - Hydrogéologie 78
XIII.3.2 Risque naturels 79
a) Météorologique 79
b) Sismique 79
c) Inondation 80
d) Mouvement de terrain 80
XIII.3.3 Milieu naturel 80
a) Faune 80
XIII.3.4 Cadre socio-économique 81
a) Population et habitat 81
b) Activités économiques 81
c) Activités agricoles 82
d) Déchets liés à l'exploitation de la ligne minière / section Nord 82
e) Transport de matière dangereuse 82

f) Paysage 83
g) Santé publique 84
XIII.4 Conclusion 84

Chapitre XIV : Devis estimatif et quantitatif

Chapitre XV : Conclusion générale

Références

Annexes

Liste des figures

Figure II - 1 Les communes traversées par le tracé. 4
Figure II – 2 Situation géographique de la wilaya d'EL TAREF 5
Figure II - 3 Carte des pentes de la région traversée..... 6
Figure II - 4 Carte sismique de l'Algérie. 6
Figure III - 1 Éléments géométriques de tracé en plan. 8
Figure IV - 1 Éléments géométriques du profil en long..... 15
Figure IV - 2 Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur 15
Figure V - 1 Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 Région Est. ……...17

Figure V - 2 Délimitation des bassins versants. 19
Figure V - 3 Délimitation des bassins versants. 19
Figure V - 4 Schéma du dalot (1.5*1.5). 24
Figure V - 5 Détail du fossé. 28
Figure VI - 1 Extrait de la carte géologique de L'Algérie au 1/500000ème. 29
Figure VI - 2 Projection du tracé sur la carte géologique. 30
Figure VI - 3 carte de zonage sismique de l'Algérie. 31
Figure VI – 3 Exécution de puits de reconnaissance à l'aide d'une tractopelle. 34
Figure VI – 3 Classes de qualité des sols selon le code UIC 719R. 41
Figure VI – 4 Indice de plasticité Ip (en %). 41
Figure VII - 1 Récapitulatif des couches constituant l'assise ferroviaire. 45
Figure IX - 1 Passage à niveau. 49
Figure IX - 2 Passage supérieure. 49
Figure IX - 3 Passage inférieur. 50
Figure X - 1 Coupe transversale d'un essieu monté. 52
Figure X - 2 Coupe transversale sur un contact roue-rail. 52
Figure X - 3 Installation de l'essieu en alignement droit. 53
Figure X - 4 Mouvement parasite de l'essieu (lacet). 53
Figure X - 5 Mouvement latérale d'un essieu en courbe. 54
Figure X - 6 Rail à double champignon. 55
Figure X - 7 Rail à gorge. 55
Figure X - 7 Rail Vignole. 56
Figure X - 7 Écartement entre les rails. 57
Figure X - 8 Assemblage par éclissage. 57
Figure X - 9 Assemblage par soudage. 58
Figure X - 10 Traverse en bois. 59
Figure X - 11 Traverse métallique. 59
Figure X - 12 Traverse bi-bloc. 60
Figure X - 13 Traverse monobloc. 60
Figure X - 14 Attache élastique nabla. 61
Figure X - 15 Attache élastique E-clip. 61
Figure X - 16 Liaison rail-traverse. 61
Figure X - 17 Les dimensions de la traverse. 63
Figure X - 18 Appareil de voie type branchement simple. 63
Figure X - 19 Appareil de voie type branchement double. 64

Figure X - 20 Mécanisme des appareils de voies. 64
Figure X - 20 Appareil de voie type traversées. 65
Figure XI – 1 Marge de glissement. 68
Figure XI – 2 Borne de garage franc. 68
Figure XI – 3 La longueur utile d'une voie de stationnement. 69
Figure XI – 4 Plan synoptique de la gare. 71
Figure XII - 1 le système de contrôle des trains ERTMS. 74
Figure XII - 2 Balises installées sur la voie. 75
Figure XII - 3 L'interface homme Machine ERTMS. 76
Figure XIII - 1 Coupe transversale d'un passage à faune inférieur. 81
Figure XIII - 2 Petit pont pour le passage des engins agricoles. 82

Liste des tableaux

Tableau III - 1 Paramètres de conception du projet 8
Tableau III - 2 Longueur minimum des éléments de tracé. 9
Tableau III - 3 Valeurs limite normales et exceptionnels des paramètres géométriques du tracé en plan (SNTF). 11
Tableau III - 4 Calcul des rayons de projet. 13
Tableau IV - 1 paramètres du profil en long. 16
Tableau V - 1 Valeurs des pluies annuelles. 18
Tableau V - 2 valeurs des pluies journalières. 18
Tableau V - 3 caractéristiques morphologiques des BV. 20
Tableau V - 3 Les paramètres de Montana pour les différentes fréquences. 21
Tableau V – 4 Valeur d'intensité de pluie en (mm/h). 21
Tableau V - 5 Récapitulatif des débits maximums des écoulements qui traversent le tracé pour une période de retour de 100 ans. 21
Tableau V - 6 Calcul des débits par la méthode crupidex. 22
Tableau V - 7 Récapitulatif des formules utilisées pour le dimensionnement. 23
Tableau V - 8 Calcul du débit de saturation et de pleine section. 24
Tableau V - 9 Récapitulatif des formules utilisées pour le dimensionnement. 25
Tableau V - 10 Calcul des dimensions des buses. 25
Tableau V - 11 Vérification des conditions d'auto curage. 26
Tableau V - 12 Calcul du Rayon hydraulique (section trapézoïdale). 26
Tableau V - 13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et de déblai. 28
Tableau V - 14 Dimensions du fossé proposé. 28
Tableau VI - 1 Zones de sismicité. 30
Tableau VI - 2 classification des ponts (selon le R.P.O.A 2008). 31
Tableau VI – 3 Valeurs du coefficient d'accélération A. 31
Tableau VI – 4 Niveau de la nappe phréatique par sondage. 34
Tableau VI – 5 Résultats des essaies physique et mécanique sur les sondages carottés. 36
Tableau VI – 6 Résultat des essaies physique et mécanique sur les puits de reconnaissance. 39
Tableau VI – 7 Résultats des essaies Analyses chimiques. 40
Tableau VI – 8 Gites proposées dans l'étude APD. 42
Tableau VII - 1 Épaisseur du ballast selon SNTF. 43
Tableau VII - 1 Les classes de portance de la plate-forme (UIC 719R). 44
Tableau IX - 1 Récapitulatif des volumes de terrassement. 48
Tableau IX - 2 Volumes des couches d'assise. 48
Tableau IX - 3 Liste des ouvrages d'art pour le projet. 50
Tableau X - 1 Caractéristiques géométriques et mécaniques du rail UIC 60 E1. 62
Tableau X - 2 Caractéristiques des traverses. 62
Tableau XI -1 Caractéristiques géométriques de quai. 70
Tableau XI - 2 Géométrie de la gare CHEBAITA. 70
Tableau XIII - 1 Classification de la marchandise transportée selon le **RID**. 83

Introduction générale

Introduction générale

La communication reste un élément essentiel dans le progrès et la croissance socio-économique de tout pays. Pour soutenir cette politique de croissance, il est nécessaire de construire, de rénover et de préserver ces infrastructures.

Devant les difficultés engendrées par l'augmentation démographique à travers le monde, les voies ferrées, qui étaient autrefois peu développées, sont de retour en tête pour renforcer les voies de communication. Les chemins de fer avec des lignes électrifiées et des tramways sont de plus en plus utilisés dans le transport urbain et des marchandises, car cela contribue à la préservation de l'environnement en réduisant la pollution par les gaz à effet de serre. C'est pourquoi nous nous intéressons à ce mode de transport respectueux de l'environnement.

L'Algérie n'échappe pas à la demande de croissance et de modernisation de son infrastructure de transport, ce qui a conduit à la mise en œuvre de plusieurs programmes visant à construire de nouvelles lignes et à moderniser les anciennes.

Dans le présent mémoire, on s'intéresse à l'étude en APD d'un tronçon ferroviaire du PK 10+000 au PK 21+000 de la ligne minière EST reliant ANNABA à BOUCHEGOUF avec la conception de la gare CHEBAITA MOKHTAR, passant par les différentes parties de l'étude commençant par la géométrie, la géologie, la géotechnique et l'assainissement.

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1 Introduction

Le BIM a émergé dans les années 2000, révolutionnant le secteur du BTP. Les maîtres d'œuvre y ont rapidement vu un outil essentiel pour réduire les erreurs d'interface et optimiser les phases de construction. Depuis lors, le BIM connaît une expansion mondiale et une adoption massive dans de nombreux pays. Cette croissance fulgurante est en grande partie due à l'essor rapide de la puissance informatique, qui ouvre la voie à des solutions jusqu'alors inaccessibles au grand public. De plus, des considérations écologiques et économiques ont également contribué à favoriser l'adoption généralisée du BIM.

Le BIM, abréviation de Building Information Modeling, se traduit par Modélisation des Informations (ou données) du Bâtiment. Le terme "bâtiment" est utilisé ici de manière générique et englobe également les infrastructures.

Le BIM, désormais reconnu comme la méthodologie la plus adaptée pour la réalisation de projets de construction et d'infrastructure, se distingue par l'utilisation d'une maquette numérique paramétrique 3D. Cette dernière intègre des données intelligentes et structurées, permettant un partage d'informations fiables tout au long de la vie d'un bâtiment ou d'infrastructures, de la conception jusqu'à la démolition.

I.2 Les avantages apportés par le BIM dans le domaine ferroviaire

Amélioration de la qualité : Il améliore l'analyse des contraintes entre différents métiers, réduisant les conflits, notamment entre le tracé de voie, les ouvrages d'art et la traction électrique. Grâce à la modélisation 3D et à une coordination plus efficace, il permet d'ajuster le dimensionnement des sections de voie aux besoins de la traction électrique dès la conception. Cela évite les erreurs d'interface lors de la réalisation des travaux.

Réduction des délais et des coûts : La gestion de projet traditionnelle implique de nombreux échanges entre différents intervenants (MOA, MOE, etc.) qui peuvent ralentir la phase de conception. Le BIM révolutionne ce processus grâce à une maquette numérique partagée. En conséquence, on réduit le nombre d'allers-retours et d'ajustements nécessaires, ce qui se traduit par une optimisation de la phase de conception et une diminution des reprises d'études.

Facilitation de l'acceptation sociale des projets : Des visualisations 3D accessibles aux parties prenantes non-techniques telles que les élus, les administrations et les riverains. Ces représentations leur offrent une vision claire du projet à chaque étape de sa construction.

Facilitation du travail de maintenance : Le BIM facilite l'identification des pièces d'usure ou soumises à des programmes de maintenance périodiques, en incluant dans le modèle toutes les informations nécessaires à leur entretien ou à leur remplacement. Cette approche permet d'éviter une visite préalable sur le terrain pour obtenir ces informations.

I.3 Logiciels de modélisation BIM

Pour le BIM, la modélisation 3D revêt une importance capitale afin de permettre la visualisation et la représentation des bâtiments urbains. Il présente des bénéfices tels que la souplesse, la rapidité de l'impression, la précision photo-réaliste et la diminution des dépenses. Dès le début de la construction, les inspections de bâtiments font appel à des systèmes thermographiques afin d'évaluer rapidement l'isolation thermique et repérer les problèmes architecturaux, ce qui permet des réparations immédiates.

Dans un projet ferroviaire, l'utilisation des outils informatiques offre des avantages significatifs en termes de modélisation et de mise en œuvre du BIM. Dans cette étude, nous avons choisi d'utiliser les logiciels suivants :

A. Covadis

Développé par Geomedia est un logiciel fonctionnant sous AutoCAD. Il s'agit d'un applicatif de topographie et la conception d'infrastructures, il propose une variété étendue d'outils pour effectuer des études géométriques, des calculs de terrassement, des analyses hydrauliques, ainsi que la création de plans et de modèles numériques du terrain.

B. Google Earth

Un outil de cartographie sophistiqué qui permet de visualiser en 3D le globe terrestre en utilisant des images satellites et des photos aériennes. Il offre la possibilité d'explorer en ligne n'importe quel lieu sur Terre, avec des caractéristiques comme la mesure de distances et la création de parcours virtuels.

C. Global Mapper

Global Mapper est un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) à la fois polyvalent et performant, développé par Blue Marble Geographics. Il offre la possibilité de visualiser, étudier et gérer une grande variété de données géospatiales. Global Mapper propose des caractéristiques sophistiquées pour la conception de cartes, la gestion de données topographiques, la conversion de formats de fichiers et l'analyse spatiale, tout en étant compatible avec de nombreux formats de données géographiques.

Chapitre II : Présentation du projet

II.1 Introduction

La ligne ferroviaire Annaba Tébessa appelée ligne minière située à l'Est Algérien et qui traverse 5 wilayas : ANNABA – EL TAREF – GUELMA – SOUK AHRAS et TEBESSA a été conçue pour le transport du minerai de fer des mines de l'Ouenza et de BOUKHADRA pour être exporté au départ du port de ANNABA et le phosphate de la mine d'EL-KOUI.

Ce projet de fin d'études porte sur la modernisation et le dédoublement d'un tronçon de 11 KM de la ligne ferroviaire ANNABA – BOUCHEGOUF, réalisée initialement à l'époque coloniale française, L'étude est segmentée en deux parties : de PK 10 à 14, il s'agit essentiellement d'une modernisation du tracé, tandis que de 14 à 21, elle concerne le doublement de la voie existante.

Cette liaison stratégique joue un rôle vital dans le développement économique de la région en permettant le transfert efficace des produits miniers vers les centres industriels et les ports d'exportation, notamment le port d'ANNABA.

II.2 Description de la région traversée :

Ce tronçon touche la wilaya d'EL TAREF. Les communes traversées sont : CHEBAITA MOKHTAR, EL HADJAR.



Figure II - 1 Les communes traversées par le tracé.

II.3.1 Wilaya d'EL TAREF

La wilaya d'EL TAREF est située à l'extrême Nord-est du pays, limitrophe de la métropole d'Annaba dont elle dépendait jusqu'à sa promotion au rang de wilaya en janvier 1985, elle est réputée pour sa nature généreuse, ses zones humides et son environnement, et elle mérite bien son appellation de "wilaya verte". La wilaya s'étend sur une superficie de 3 339 km² et le Chef-lieu de la wilaya se situe à 650 km à l'Est de la capitale.

La wilaya d'EL TAREF est située à l'extrême nord-est de l'Algérie à la frontière tunisienne. Elle est délimitée :

- Au nord, par la mer Méditerranée.
- À l'est, par la Tunisie.
- Au sud, par la wilaya de SOUK AHRAS.
- Au sud-est, par la wilaya de GUELMA.
- À l'ouest par la wilaya d'ANNABA.



Figure II – 2 Situation géographique de la wilaya d'EL TAREF

II.3 Caractéristiques climatiques

II.3.1 Température

La région de l'étude est caractérisée par un climat méditerrané avec un été chaud et un hiver froid. La température moyenne annuelle au niveau de la station d'Annaba est estimée à 17,7°C pour la période de 1972 à 2005.

II.3.2 Humidité

La combinaison des précipitations et de la température détermine le climat à prédominance méditerranéenne de l'est de l'Algérie, caractérisé par des saisons distinctes : froide et humide contre chaude et sèche. Cette dernière s'intensifie vers le sud jusqu'à persister toute l'année dans les zones arides. Cette combinaison pluie-chaleur calculée localement permet de classer les domaines bioclimatiques. C'est grâce à un tracé sur un climagramme combinant Q (quotient pluviothermique d'Emberger) en ordonnée et m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) en abscisse, que sont définies les limites entre les quatre grands types de bioclimats méditerranéens.

II.3.3 Pluviométrie

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A.N.R.H). Il s'agit d'observations journalières, à partir desquelles, nous avons reconstitué les valeurs de pluies mensuelles et annuelles.

II.4 Relief

Le relief est composé de 3 ensembles : une bande littorale, une zone des plaines sub-littorale et une zone méridionale caractérisée par l'existence de reliefs montagneux. Le tracé passant dans le territoire de la wilaya d'EL TAREF, se trouve dans la zone de plaines et des bas-piémonts qui regroupe une superficie de 57 Ha soit 19% de la surface totale (ST) de la wilaya.

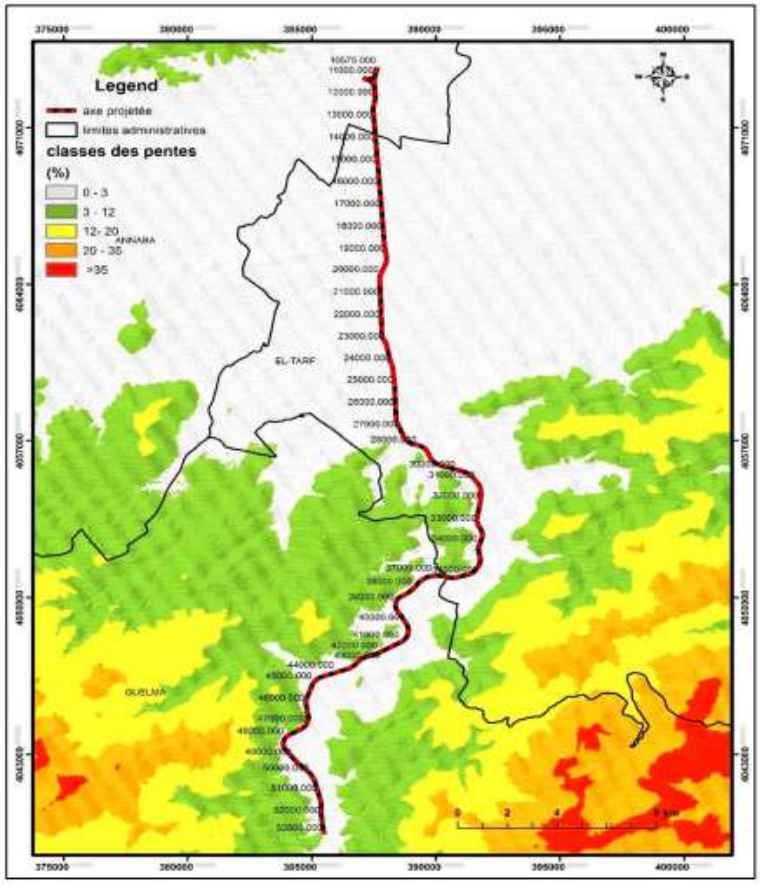


Figure II - 3 Carte des pentes de la région traversée.

II.5 La sismicité

Selon le règlement **R.P.O.A 2008**, et suite à l'analyse détaillée de la carte sismique de l'Algérie en dessous, la région étudiée est classée dans la zone sismique **II**, à Sismicité moyenne.

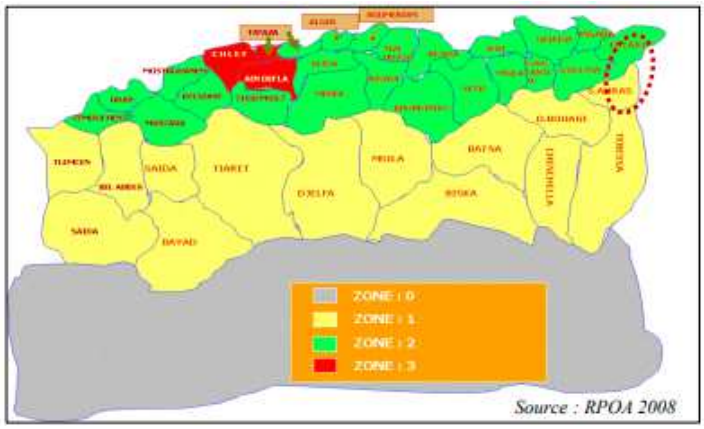


Figure II - 4 Carte sismique de l'Algérie.

Chapitre III :
Tracé en plan

III.1 Introduction

Le tracé en plan est une projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la voie ferrée. Il est constitué par une succession de segments de droites raccordés entre eux par des arcs de cercles.

En courbe circulaire de rayon R, tout point de masse m animé d'une vitesse constante subit une accélération perpendiculaire à la trajectoire, de valeur : $\Gamma = V2 / R$ (dirigée vers l'extérieur de la courbe).

L'établissement de tracé d'une voie ferrée, tant en plan qu'en profil, résulte de la nécessité de limiter les effets de cette accélération centrifuge produite lors du franchissement de ces courbe.

L'assimilation simplificatrice de toutes les parties du véhicule à un point se justifie par le fait que le rapport entre le rayon des courbes et les dimensions des véhicules est important.

III.2 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 :

- Effectuer une adaptation au relief (topographie) existant afin de respecter les territoires traversés.
- Réduire au maximum le croisement des cours d'eau et des routes pour limiter la nécessité de construire des infrastructures routières.
- Éviter le passage sur les terrains agricoles, zones forestières et les propriétés privées.
- Utiliser le maximum d'alignement droit.
- Éviter le passage sur les zones de grandes importances telles-que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Éviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.

III.3 Paramètres de conception

Les paramètres suivants mettent en évidence les décisions prises pour élaborer le tracé de la ligne.

Tableau III - 1 Paramètres de conception du projet

Paramètres	Caractéristiques
Vitesse de conception du tracé pour le Trafic voyageurs	120 km/h
Vitesse de conception du tracé pour le Trafic marchandise	80 km/h
Longueur maximale des trains marchandise	600 m
Longueur maximale des trains voyageurs	300 m
Charge à l'essieu de conception en pleine voie	22.5 t
Charge à l'essieu de conception pour les ouvrages	25 t
Écartement standard	1435 mm

III.4 Paramètres géométriques

La détermination des paramètres géométriques a été réalisée en respectant les normes techniques ferroviaires de la **SNTF**, tout en respectant les critères techniques de conception.

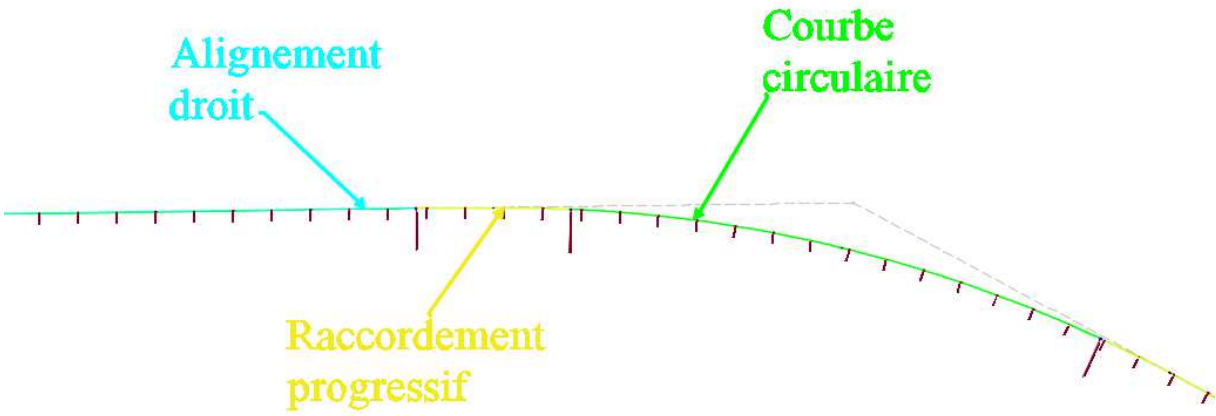


Figure III - 1 Éléments géométriques de tracé en plan.

III.4.1 Alignements droits

L'alignement droit est un tronçon de voie ferrée sans courbes, où les rails sont en trajectoire rectiligne. Cette configuration est vivement conseillée lorsqu'aucun obstacle n'est présent. En général, cette préférence est motivée par des facteurs tels que l'efficacité opérationnelle, la sécurité et le confort des passagers ou du fret.

III.4.2 Courbes circulaires

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 bie n déterminée.

Tableau III - 2 Longueur minimum des éléments de tracé.

Valeur maximale normale	V/2 = 60 m
Valeur maximale exceptionnelle	V/3 = 40 m

III.4.3 Raccordements progressifs

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort des voyageurs et pour l'inscription des véhicules dont l'inertie est importante.

III.5 Les dévers

Le dévers, qui est la différence d'altitude entre les deux rails de chemin de fer à un point donné de la ligne, joue un rôle essentiel en courbe. Effectivement, dans ce système, le rail extérieur est plus haut que le rail intérieur. L'inclinaison a pour effet de contrebalancer une partie de la force centrifuge qui tend à pousser les trains hors de la courbe.

III.5.1 Dévers théorique

Le dévers théorique est l'inclinaison idéale de la voie pour dissiper entièrement la force centrifuge dans une courbe et une vitesse spécifiques, s'écrit sous la formule suivante :

$$\boldsymbol{d_{th} = \frac{11.8 * V_{voy}^2}{R}}$$

- d_{th} = dévers théorique en (mm).
- V_{voy} = vitesse du train voyageurs en (km/h).
- R = rayon de courbe en (m).

III.5.2 Dévers pratique

En voie ferrée, le dévers pratique correspond à l'inclinaison réelle des rails telle qu'elle est établie sur le terrain. Cette pente est adaptée aux conditions particulières du site, telles que le relief et les exigences de conception.

$$\boldsymbol{d_p = 10^3 * \frac{C}{R}} \qquad \text{Où} \qquad \boldsymbol{C = 0.006 * V_{voy}^2}$$

- d_P = dévers pratique en (mm).
- R = rayon de courbe en (m).
- C = coefficient du dévers (doit être un multiple de 15).
- V_{voy} = vitesse du train voyageurs en (km/h).
- En général le dévers pratique est compris entre : $\boldsymbol{0.5d_{th} < d_p < 0.7d_{th}}$.

III.6 Insuffisance de dévers

L'insuffisance de dévers sur une ligne de chemin de fer survient lorsque la vitesse d'un train dépasse que ce que peut supporter le dévers de la voie. On calcule alors l'insuffisance de dévers (I) en mesurant la différence entre le dévers théorique (d_{th}) et le dévers pratique (d_p).

$$\boldsymbol{I = d_{th(voy)} - d_p}$$

- I = insuffisance de dévers en (mm).
- $d_{th(voy)}$ = dévers théorique des trains voyageurs en (mm).
- d_P = dévers pratique en (mm).

III.7 Excès de dévers

L'excès de dévers survient lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est inférieure à celle pour laquelle le dévers de la voie a été élaboré. Cela provoque une déformation excessive de la voie vers l'intérieur de la courbe, engendrant une force centripète non-compensée. On mesure cet excès en comparant le dévers pratique (d_p) au dévers théorique (d_{th}) pour les trains circulant à basse vitesse (marchandises).

$$\boldsymbol{E = d_P - d_{th(mar)}} \quad \text{Ou encore} \quad \boldsymbol{E = d_P - \frac{11.8 * V_{mar}^2}{R}}$$

- E = excès de dévers en (mm).
- $d_{th(mar)}$ = dévers théorique des trains marchandises en (mm).
- d_P = dévers pratique en (mm).
- V_{mar} = vitesse du train marchandises en (km/h).
- R = rayon de courbe en (m).

III.8 Recommandations SNTF

Après avoir calculé les autres paramètres, et conformément aux recommandations concernant les valeurs maximales admissibles, on obtient le tableau ci-dessous :

Tableau III - 3 Valeurs limite normales et exceptionnels des paramètres géométriques du tracé en plan (SNTF).

		Formule		Application	
		Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Dévers maximums	d (mm)	-	-	160	180
Rayon minimal	(m)	$\frac{11,8 * V_{voy}^2}{d_{max} + I_{max}}$		548	500
Longueurs minimales des alignements et des pleines courbes	(m)	$V_{voy}/2$	$V_{voy}/3$	60	40
Insuffisance de dévers admissible	I (mm)	-	-	150	160
Excès de dévers admissible	E (mm)	-	-	110	130
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur	dd/dl (mm/m)	$180/V_{voy}$	$216/V_{voy}$	1,5	1,8
Limite de la variation de dévers par rapport au temps	dd/dt (mm/s)	-	-	50	60
Limite de la variation d'insuffisance par rapport au temps	dI/dt (mm/s)	-	-	75	90

III.9 Application au projet

Pour une vitesse de 120 Km/h, le rayon minimal normal est de 548 m, correspondant à un dévers max de 160 mm, et d'insuffisance de dévers max de 150 mm.

Remarque

On doit toujours relier les courbes aux alignements par une transition en clothoïde sur toute la longueur de ce tronçon, car la valeur minimale de courbure est de :

$$\Delta c_{min} = \frac{10^3}{R_{max}} = \frac{10^3}{1020} = 0.98$$

Par ailleurs, selon les conditions d'obligation de l'ajout des Rp, lorsque la vitesse maximale est de : $100 < V_{voy} = 120 km/h \leq 160$ alors :

$$\Delta c_{min} = 0.98 > \frac{7000}{V_{voy}^2} = \frac{7000}{120^2} = 0.48$$

Le calcul des paramètres du tracé soit effectué avec un rayon de courbe de 1020 mètres donc :

- ✓ Dévers théorique : $\boldsymbol{d_{th} = \frac{11.8 * V_{voy}^2}{R} = \frac{11.8 * 120^2}{1020} = 166.59mm}$.
  Le coefficient de dévers : $\boldsymbol{C = 0.006 * V_{voy}^2 = 0.006 * 120^2 = 86.4}$.

  C doit être un multiple de 15 donc on prend **C = 90.**

- ✓ Le dévers pratique : $\boldsymbol{d_p = 10^3 * \frac{C}{R} = 10^3 * \frac{90}{1020} = 88.24}$.

  On prend $\mathbf{d_p}$ **= 100mm.**

- ✓ Insuffisance de dévers : $\boldsymbol{I = d_{th(voy)} - d_p = 166.59 - 100 = 66.59mm < 150mm}$.

- ✓ Excès de dévers : $\boldsymbol{E = d_P - \frac{11.8 * V_{mar}^2}{R} = 100 - \frac{11.8 * 80^2}{1020} = 25.96mm < 110mm}$.
- ✓ Longueur clothoïde : $\boldsymbol{L_{rp} = \frac{d_p}{\frac{dd}{dl}} = \frac{100}{\frac{180}{120}} = 66.67m}$.

  On prend $\mathbf{L_{rp}}$ **= 100m.**

- ✓ La variation de dévers en fonction du temps :

$$\boldsymbol{\frac{dd}{dt} = \frac{d_p * V_{voy}}{3.6 * L_{rp}} = \frac{100 * 120}{3.6 * 100} = 33.34mm/s < 50mm/s}.$$

- ✓ La variation de dévers en fonction de la longueur :

$$\boldsymbol{\frac{dd}{dl} = \frac{3.6 * \frac{dd}{dt}}{V_{voy}} = \frac{3.6 * 33.34}{120} = 1mm/m < 1.5mm/m}.$$

- ✓ La variation d'insuffisance de dévers en fonction du temps :

$$\boldsymbol{\frac{dI}{dt} = \frac{I * V_{voy}}{3.6 * L_{rp}} = \frac{66.59 * 120}{3.6 * 100} = 22.2mm/s < 75mm/s}.$$

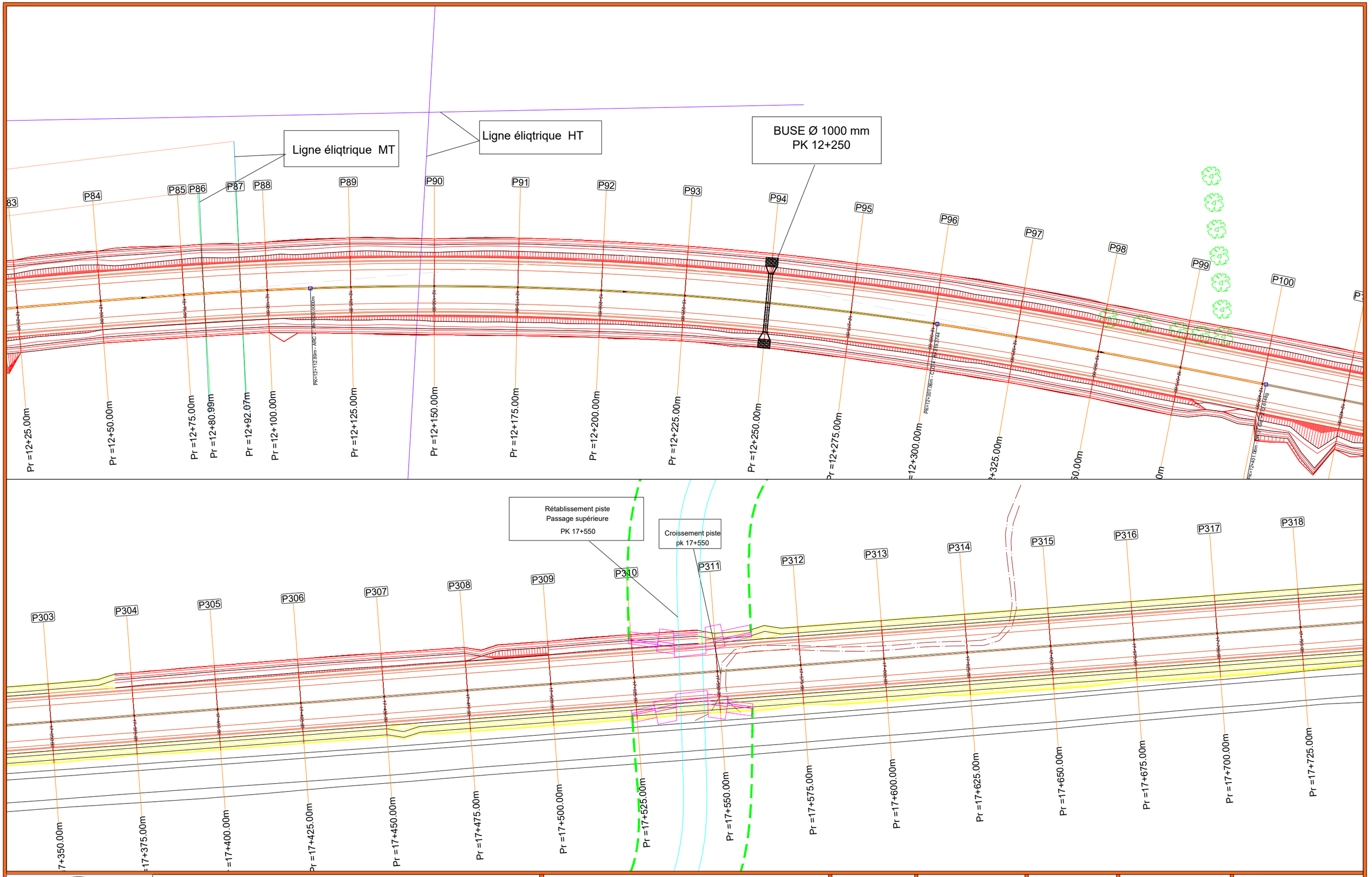
III.10 Interprétation des résultats

Tous les paramètres sont comparés et vérifiés par rapport aux valeurs limites normales établies dans le référentiel technique de la SNTF.

Tableau III - 4 Calcul des rayons de projet.

Rayons (m)	Obligation du Rp	dp (mm)	$d_{th(voy)}$ (mm)	$d_{th(mar)}$ (mm)	I (mm)	E (mm)	Lrp (m)
3*900	$\Delta c = 1,11 > 0,48$ Rp obligatoire	110	188,8	83,91	78,8	26,09	100
990	$\Delta c = 1,01 > 0,48$ Rp obligatoire	100	171,64	76,28	71,64	23,72	100
1020	$\Delta c = 0,98 > 0,48$ Rp obligatoire	100	166,59	74,04	66,59	25,96	100

Rayons (m)	dd/dt (mm/s)	dd/dl (mm/m)	dI/dt (mm/s)
3*900	36,67	1,1	26,27
990	33,34	1	23,88
1020	33,34	1	22,2



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de ligne minière EST-section 01 Nord ANNABA-BOUCHEGOUF tronçon : PK 10+000 au PK 21+000 avec conception de la gare Chebaita Mokhtar	MEHAIA .Y CHOUH .M	BENOUMECHIARA.S FEDGHOUCHE .F	1/1000	01	2023/2024

Chapitre IV :
Profil en long

IV.1 Introduction

Le profil ferroviaire est un dessin représentant l'altitude de l'axe de la voie tout au long de son tracé. Il illustre le niveau de la partie supérieure des rails sur un plan vertical qui coupe l'axe du tracé. En utilisant ce profil, il est possible de repérer les pentes, les paliers, les déclivités et les transitions entre eux, généralement représentées par des courbes circulaires.

Le profil en long est essentiel dans la conception d'un projet ferroviaire. Il permet d'évaluer à la fois les dimensions économiques, telles que les volumes de terrassement et les travaux d'art requis, et les dimensions techniques, telles que les déclivités, la cohérence entre le plan de tracé et le profil en long, ainsi que l'emplacement des gares.

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

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

IV.2 Coordination tracé en plan – profil en long

L'équilibre entre le plan de voie ferrée et le profil en long est un élément essentiel de la conception des infrastructures ferroviaires, dans le but d'assurer un système performant et sûr. À cet effet, il est nécessaire de respecter plusieurs conditions :

- Éviter de superposer les rayons du profil en long avec ceux du tracé en plan.
- Ne pas aligner une courbe dans le profil en long juste après une courbe dans le tracé en plan.
- Éviter de positionner les appareils de voie dans les courbes ou les déclivités.
- Éviter de confondre les sommets du profil en long avec les transitions en clothoïde du tracé en plan.

IV.3 Éléments géométriques du profil en long

Le profil en long est constitué de :

- **Pente :** une partie où l'altitude diminue dans le sens de la circulation (descente).
- **Rampe :** une partie où l'altitude augmente dans le sens de la circulation (montée).
- **Palier :** Une partie où la hauteur demeure constante sur une certaine distance.
- **Courbe de raccordement verticale :** c’est des arcs de cercle qui assurent la liaison entre deux éléments de la ligne rouge.

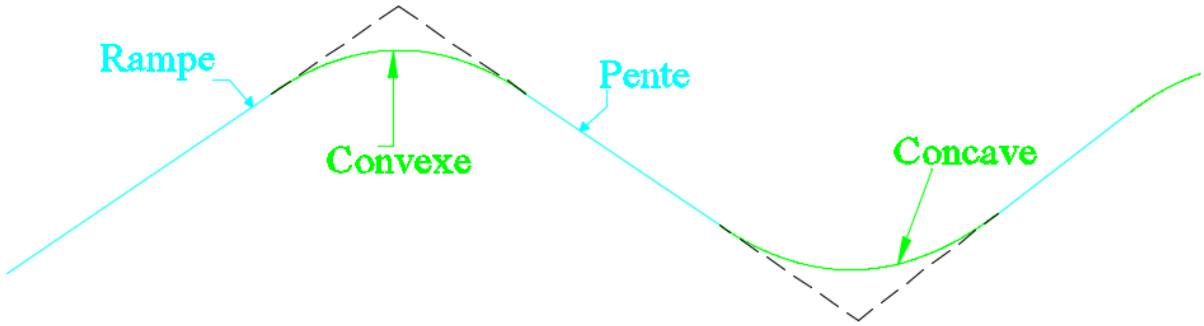


Figure IV - 1 Éléments géométriques du profil en long.

IV.4 Déclivité

La déclivité correspond à l'angle tangent à l'horizontale formé par le profil en long. Les sections où le profil en long descend sont appelées « pentes » et les sections où le profil en long monte sont appelées « rampes ».

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

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

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

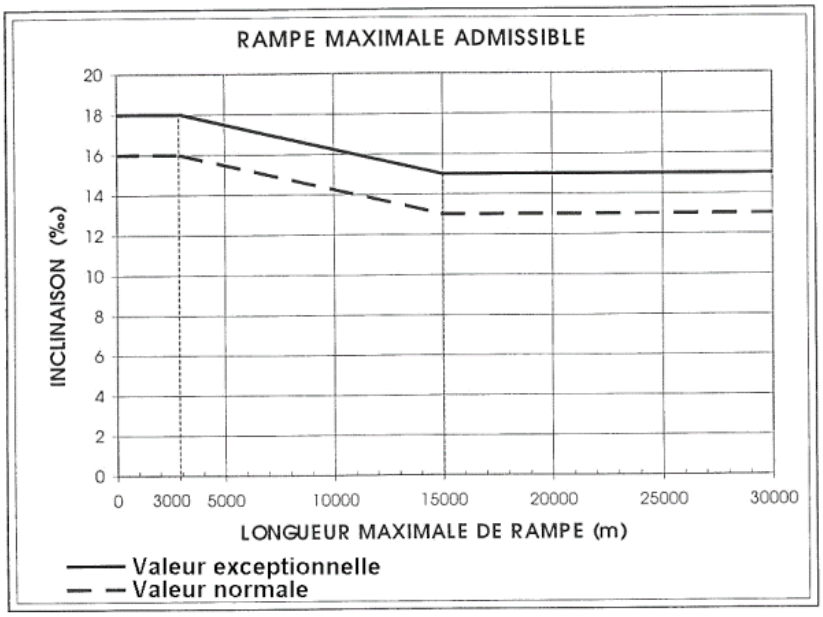


Figure IV - 2 Valeur de la déclivité en fonction de sa longueur

IV.5 Recommandations SNTF

Conformément aux recommandations concernant les valeurs normales et exceptionnelles des paramètres du profil en long, on obtient le tableau ci-dessous :

Tableau IV - 1 paramètres du profil en long.

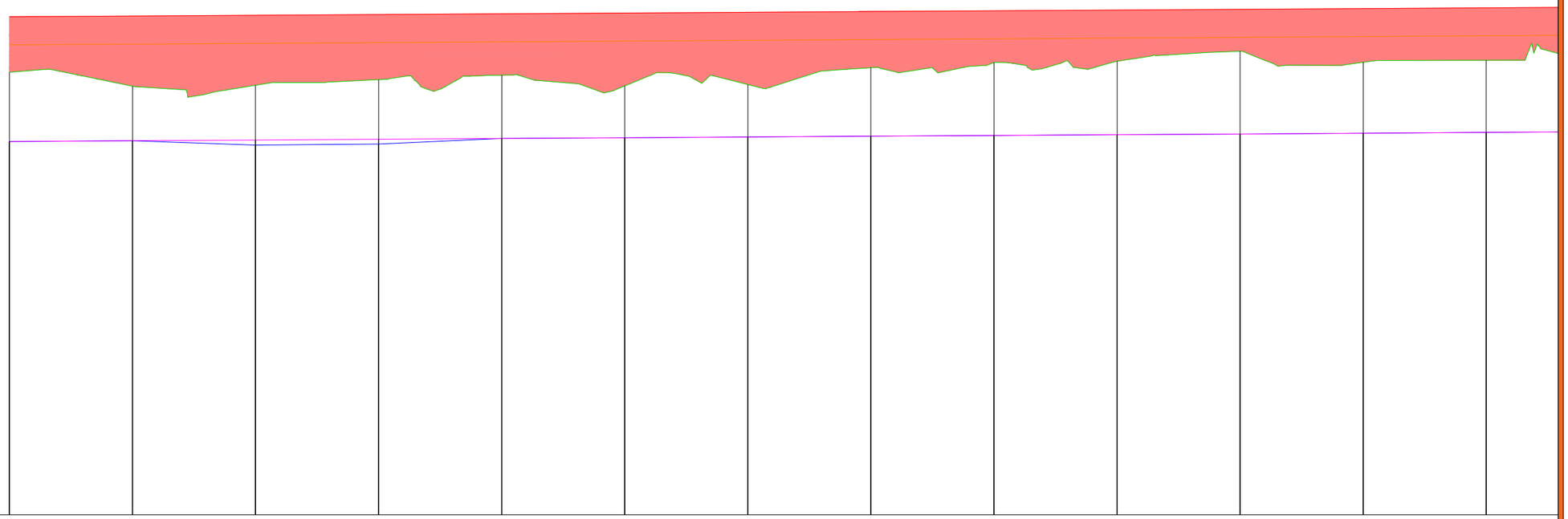
			Normal	Exceptionnel
Déclivité maximale	Voies générales	L < 3000m	16 ‰	18 ‰
		3000m < L < 15000	16 ‰ à 13 ‰	18 ‰ à 15 ‰
		L > 15000m	13 ‰	15 ‰
	Gares	-	0 ‰	0 ‰
Rayon minimal (m)		V_{voy} = 120 km/h	$0.35 * V_{voy}^2 = 5040$	$0.25 * V_{voy}^2 = 3600$
Longueur minimale des déclivités (m)		V_{voy} = 120 km/h	$\frac{V_{voy}}{2} = 60$	$\frac{V_{voy}}{2.5} = 48$

COVADIS
TOPOGRAPHIE ET INFRASTRUCTURE

Axe : Axe vf

Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/100



PC : 0.00 m

Numéro de profils en travers	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13
Altitudes TN	8.99	8.71	8.73	8.84	8.94	8.72	8.74	9.09	9.19	9.22	9.42	9.20	9.24
Altitudes Projet	10.12	10.14	10.15	10.17	10.18	10.20	10.21	10.23	10.24	10.26	10.27	10.29	10.30
altitudes cote platforme	9.55	9.57	9.58	9.60	9.61	9.63	9.64	9.66	9.67	9.69	9.70	9.72	9.74
Ecarts Projet - TN	1.13	1.43	1.42	1.32	1.24	1.48	1.47	1.14	1.05	1.04	0.85	1.09	1.07
Abcisses	9+1000.00	10+25.00	10+50.00	10+75.00	10+100.00	10+125.00	10+150.00	10+175.00	10+200.00	10+225.00	10+250.00	10+275.00	10+300.00
Distances partielles		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Pentes et rampes													
Alignements droits et courbes													
Altitude fossé gauche	7.59	7.60	7.62	7.63	7.65	7.66	7.68	7.69	7.71	7.73	7.74	7.76	7.77
Altitude fossé droite	7.59	7.60	7.51	7.54	7.65	7.66	7.68	7.69	7.71	7.73	7.74	7.76	7.77

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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
Etude en APD de ligne minière EST-section 01 Nord ANNABA-BOUCHEGOUF tronçon : PK 10+000 au PK 21+000 avec conception de la gare Chebaita Mokhtar	MEHAIA .Y CHOUH .M	BENOUMECHIARA.S FEDGHOUCHE .F	V=1/100 H=1/1000	02	2023/2024

Chapitre V :
Étude hydrologique et hydraulique

V.1 Introduction

La ligne de chemin de fer est une structure linéaire qui altère les écoulements naturels d'eau en raison des déblais et des remblais requis pour sa construction. Ces changements peuvent perturber les écoulements d'eau de la pluie et des affleurements d'eaux souterraines. De plus, afin de préserver la plateforme, il est primordial d'assurer un bon drainage et une évacuation efficace des eaux pluviales, en réalisant des ouvrages hydrauliques tels que les buses, les dalots et même des OA, afin d'éviter la submersion et la stagnation des eaux de ruissellement dans les zones basses après des précipitations.

V.2 Données pluviométriques

Le comportement hydrologique des cours d'eau est fortement influencé par la pluie, par sa quantité totale annuelle, par sa répartition mensuelle et saisonnière, et par ses taux quotidiens. Elle influence à la fois les débits de flux et la disponibilité de l'eau, ainsi que la gestion des risques d'inondation.

Les données de la région d’étude ont été recueillies auprès de l ’ Agence Nationale des Ressources en eau (A.N.R.H).

V.2.1 Pluies annuelles

D’après la carte pluviométrique de l’Algérie du Nord au 1/500 000 établie par l’A.N.R.H, les valeurs des précipitations varient entre 700 mm et 1000 mm pour la zone touchée par le projet de la Ligne Minière, Tronçon d’ANNABA – BOUCHEGOUF.

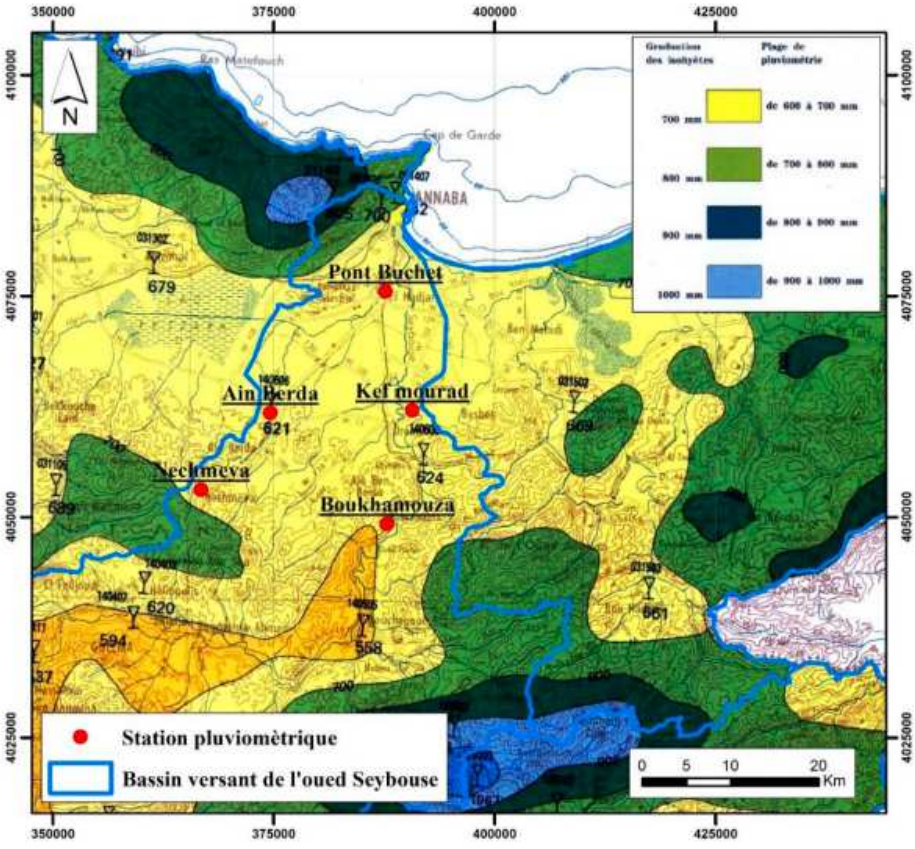


Figure V - 1 Extrait de la carte pluviométrique de l’Algérie du Nord au 1/500 000 Région Est.

Tableau V - 1 Valeurs des pluies annuelles.

Période de retour	Fréquence (hz)	P annuelle (mm)
10	0,9	818,78
20	0,95	889,53
50	0,98	969,15
100	0,99	1022,24

V.2.2 Pluies journalières

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles. Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes, en Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent à une loi de Gumbel. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies max journalières.

Tableau V - 2 valeurs des pluies journalières.

Période de retour	Fréquence (hz)	Pmax j (mm)
10	0,9	72,8
20	0,95	83,9
50	0,98	98,3
100	0,99	109

V.3 Caractéristiques des bassins versants

Un bassin versant correspond à une zone géographique définie par des lignes de crête, où toutes les précipitations et écoulements se dirigent vers un point commun de sortie, connu sous le nom «exutoire». C'est le point de convergence de toute l'eau de pluie et de ruissellement.

Les caractéristiques principales des bassins versants dans notre projet sont calculées à l'aide du logiciel **Global Mapper**. Elles comprennent : la surface, la longueur du talweg principal, l'altitude maximale, l'altitude minimale et la pente moyenne du talweg.

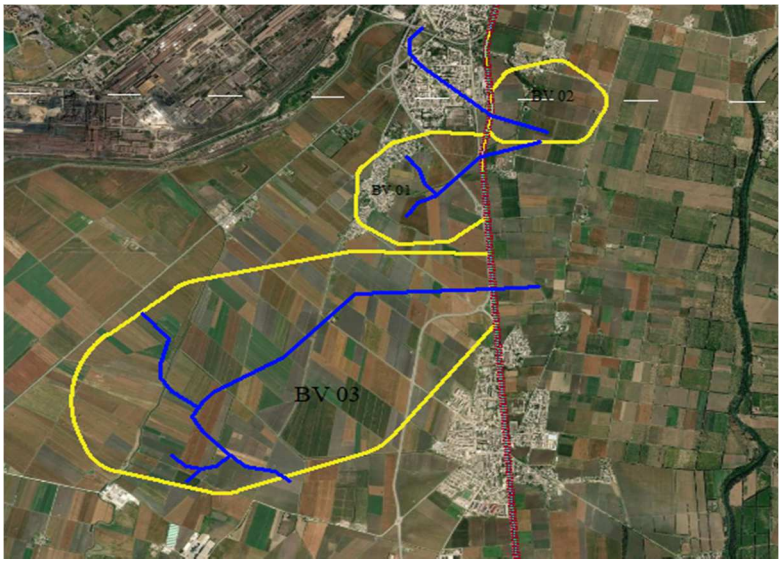


Figure V - 2 Délimitation des bassins versants.

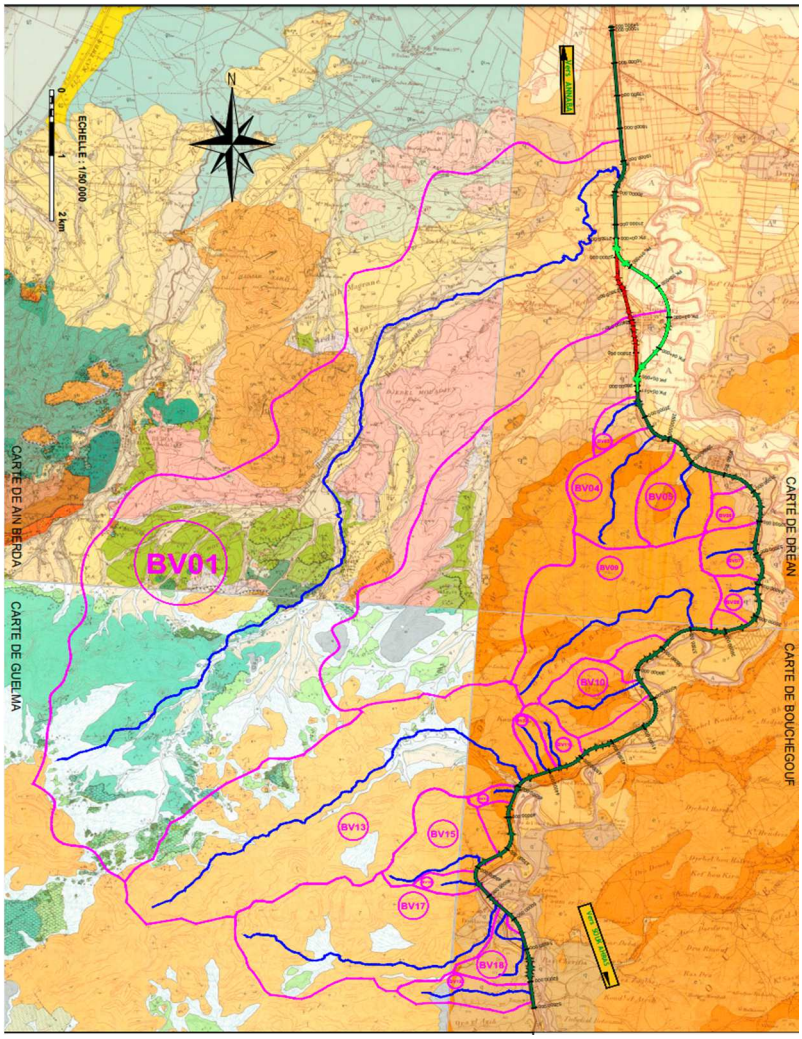


Figure V - 3 Délimitation des bassins versants.

Le tableau suivant représente les caractéristiques morphologiques des bassins versants :

Tableau V - 3 caractéristiques morphologiques des BV.

BV	PK	Surface	Périmètre	L	Hmax	Hmin	Hmoy	Pente	Kc
		km²	Km	Km	m	m	m	m/m	
1	12+250	0,5	3,2	0,8	13,0	8,0	10,5	0,0	1,3
2	12+700	0,6	3,9	1,3	14,0	7,0	10,5	0,0	1,4
3	14+275	6,2	9,9	4,8	15,0	9,0	12,0	0,0	1,1
4	19+850	142,2	66,3	29,7	620,0	15,0	318,0	0,0	1,6

V.3.1 Temps de concentration

Le calcul a été fait par les deux lois suivantes :

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

$$\mathbf{T_c = 0.127 * \sqrt{\frac{A}{I}}} \quad \text{AN BV 1:} \quad \mathbf{T_c = 0.127 * \sqrt{\frac{0.48}{0.009}} = 0.93\ h}$$

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

$$\mathbf{T_c = 0.11 * \frac{\sqrt[3]{A*L}}{\sqrt{I}}} \quad \text{AN BV 3:} \quad \mathbf{T_c = 0.11 * \frac{\sqrt[3]{6.2*4.82}}{\sqrt{0.0068}} = 4.14\ h}$$

Où:

- Tc [h] : temps de concentration.
- A [km^2] : surface du bassin versant.
- I [m/m] : pente moyenne du bassin.
- L [km] : longueur de l'oued principal.

V.3.2 Intensité de pluie

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques, avec une formule :

$$\mathbf{I_{(t,T)} = \frac{a_{(T)}}{t^b}}$$

- $I_{(t,T)}$: Intensité de pluie (mm/h).
- Tc : Temps de concentration (h).
- a et b : : Paramètres de Montana (ce sont sélectionnés pour une période de retour de 100 ans afin de garantir que la durabilité des ouvrages hydrauliques soit équivalente à celle de la voie ferrée).

Tableau V - 3 Les paramètres de Montana pour les différentes fréquences.

T	2	5	10	20	50	**100**
a	18,30	26,70	32,30	37,60	44,50	**49,70**
b	**0,60**					

Tableau V – 4 Valeur d'intensité de pluie en (mm/h).

BV	PK	I(t,T)	02 ans	05 ans	10 ans	20 ans	50 ans	**100 ans**
1	12+250	0,93	19,11	27,89	33,74	39,27	46,48	**51,91**
2	12+700	0,97	18,6	27,2	32,9	38,3	45,3	**50,6**
3	14+275	4,14	7,8	11,4	13,8	16,0	19,0	**21,2**
4	19+574	6,63	5,9	8,6	10,4	12,1	14,3	**16,0**

V.3.3 Calcul du débit des bassins versants

V.3.3.1 Méthode rationnelle (A < 10 km²)

$$\mathbf{Q_{max} = 0.278 * C_r * I * A}$$

- Q_{max} : débit de crue de période de retour voulue (m³/s).
- C_r : coefficient de ruissellement;
- I : Intensité de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h);
- A : superficie du bassin versant (Km²).

Tableau V - 5 Récapitulatif des débits maximums des écoulements qui traversent le tracé pour une période de retour de 100 ans.

BV	PK	Surface	I_{100ans}	C1	C2	C3	Cr	Q
		km²	mm/h					m3/s
1	12+250	0,5	51,9	0,03	0,10	0,05	0,2	1,2
2	12+700	0,6	50,6					1,5
3	14+275	6,2	21,2					6,6

V.3.3.2 Méthode crupidex (A > 50 Km2)

Le débit décennal de pointe de crue Q_d en m^3/s est donné par la relation :

$$\mathbf{Q_{10} = A^{0.8} * \left[\frac{P_{10}}{80}\right]^2 * R}$$

On obtient le débit centennal à partir de la corrélation :

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

Avec :

- A : la surface du bassin en km^2.
- P_{10} : la pluie journalière décennale en mm/j.
- R : un coefficient régional

  Le coefficient régional R varie selon la nature du sol :

  - R = 0,2 pour des terrains perméables.
  - R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
  - **R = 1** pour des terrains intermédiaires.

- $1,4 \leq b' \leq 4$ nous avons pris b'= 2 (source : rapport hydraulique).

Tableau V - 6 Calcul des débits par la méthode crupidex.

N° B.V	Surface	R	$P_{.jrnl}$	Coeff	Q_{10}	Q_{100}
	km^2	Km	mm	b'	m^3/s	m^3/s
4	142,16	1	97,50	2	78,35	156,70

V.4 Calcul hydraulique et dimensionnement

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un évènement pluvieux d'occurrence centennale. Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de **Manning Strickler**

$$\mathbf{Q_S = V * S_m} \quad \text{et} \quad \mathbf{V = K_{st} * I^{1/2} * R_h^{2/3}}$$

Le choix des dimensions pour ces ouvrages est celui qui répond à la condition suivante :

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

- Q_{100} : Débit de crue centennal en m^3/s.
- Q_S : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s.

Avec :

- V : Vitesse d'écoulement d'eau (m/s).

- S_m : Section mouillée de l'ouvrage (m^2).
- K_{st} : Coefficient rugosité dépend de la nature des parois internes d'ouvrage (K_{st}=70 dans le cas du béton).
- I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- H_u : hauteur utile (m).
- H_T : hauteur totale (m).
- R_h : Rayon hydraulique = section mouillée / périmètre mouillé.

Pour un dalot :

- Hu = 80% de la hauteur totale si Ht ≤ 2.5 m
- Hu = Ht-0.5 si Ht > 2.5 m :

Pour une buse :

- Hu = 0.8Ø si Ø ≤ 1m.
- Hu = 0.5Ø si Ø > 1m.

V.4.1 Dimensionnement des dalots

Ces constructions de formes rectangulaires ou carrées, placées sous le tracé, sont caractérisées par leur largeur (B) et leur hauteur (H). Les dalots en béton présentent un coefficient de rugosité de **70**.

Le seul dalot de cette section se trouve au point kilométrique **14+275**, où un débit de **6,75 m^3/s** s'écoule qui correspond au bassin versant 03.

Tableau V - 7 Récapitulatif des formules utilisées pour le dimensionnement.

Type d'ouvrage	Section mouillé	Périmètre mouillé	Rayon hydraulique	Vitesse d'écoulement	Débit
	S_m (m^2)	P_m (m^2)	Rh (m)	V (m/s)	Q_{100} (m^3/s)
Dalot	$\mathbf{H_u * B}$	$\mathbf{2H_u * b}$	$\mathbf{\frac{S_m}{P_m}}$	$\mathbf{K_s * R_h^{2/3} * I^{1/2}}$	$\mathbf{V * S_m}$

La hauteur H du dalot est calculée comme suit :

$$\mathbf{H = \left[\frac{Q_{100}}{k * \sqrt{I}}\right]^{3/5} * (2h + B)^{2/5} * \frac{1}{B}}$$

Après itérations et en imposant une largeur de 2 mètre afin de s'adapter au lit de l'oued, nous avons trouvé que :

H = 1.5 m

Donc on prend un dalot type B de dimensions 2m*1.5m.

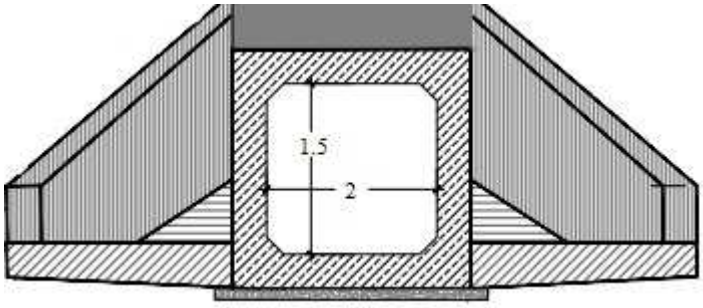


Figure V - 4 Schéma du dalot (2*1.5).

A la saturation :

$$\mathbf{Q_{max} = Q_s = K_s * \left[\frac{H_u * B}{B + 2H_u}\right]^{\frac{2}{3}} * H_u * B * I^{1/2}}$$

AN

$$\mathbf{Q_s = 70 * \left[\frac{2.4}{4.4}\right]^{\frac{2}{3}} * 2.4 * 0.0062^{\frac{1}{2}} = 8.83\ m^3/s.}$$

$$\mathbf{Q_s = 8.83\ m^3/s > Q_{100} = 6.57 m^3/s}$$

Tableau V - 8 Calcul du débit de saturation et de pleine section.

BV	PK	B	H	K	S_m	P_m	R_h	I	Q_s	Q_{ps}	$Q_s < Q_{ps}$
					m^2	m	m	m/m	m3/s	m3/s	
3	14+275	2	1,5	70	2.4	4.4	1,6	0,0062	8.83	11.76	vérifiée

La hauteur des dalots doit être supérieure à la hauteur critique c'est-à-dire le régime présenté est un régime fluvial.

$$\mathbf{H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_{100}^2}{g * B^2}}} \quad \text{AN} \quad \mathbf{H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{6.57^2}{9.8 * 2^2}} = 1.03m.}$$

$$\boldsymbol{H = 1.5m > H_{cr} = 1.03m}$$

Alors le régime d'écoulement dans le dalot est un régime fluvial.

V.4.2 Dimensionnement des buses

Ce sont des ouvrages de section circulaires, disposées sous le tracé, identifié par le diamètre (Ø), le calcul du diamètre se fait par la formule de **Manning Strickler.**

Tableau V - 9 Récapitulatif des formules utilisées pour le dimensionnement.

Type d'ouvrage	Section mouillé	Périmètre mouillé	Rayon hydraulique	Vitesse d'écoulement	Débit
	S_m (m^2)	P_m (m^2)	Rh (m)	V (m/s)	Q_{100} (m^3/s)
Buse	$\frac{\pi * D^2}{4}$	$\pi * D$	$\frac{D}{4}$	$K_s * R_h^{2/3} * I^{1/2}$	$V * S_m$

Calcul du diamètre D pour le bassin versant N°01, ayant un débit de 1.25 m3/s :

$$D = \left[\frac{Q_{100} * 4^{5/3}}{K * \pi * \sqrt{I}}\right]^{3/8} \quad \text{AN} \quad D = \left[\frac{1.25 * 4^{5/3}}{70 * 3.14 * \sqrt{0.013}}\right]^{3/8} = 0.77m.$$

Donc le diamètre commercial vaut **Ø = 1000mm.**

Tableau V - 10 Calcul des dimensions des buses.

BV	PK	Q_{100}	Q_s	Rh	K	I	D	Ø
						m/m	m	mm
1	12+250	1,25	1,37	0,25	70	0,013	0,77	1000
2	12+700	1,54	1,66	0,25		0,019	0,78	1000

V.4.3 Vérifications des conditions d'auto curage

La vérification s'effectue en se basant sur les conditions suivantes :

- $V > 0.6\, m/s$ Pour $Q = 0.1 Q_{PS}$.
- $V > 0.3\, m/s$ Pour $Q = 0.01 Q_{PS}$.
- $V_{ps} < 4\, m/s$.

Application au projet

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_{ps}} = \frac{11.76}{3} = 3.92m/s < 4m/s$$

Pour $\frac{Q_{100}}{Q_{ps}} = 0.1$ on a $\frac{V}{V_{PS}} = 0.64$ donc $V = 3.92 * 0.64 = 2.5m/s$.

Pour $\frac{Q_{100}}{Q_{ps}} = 00.1$ on a $\frac{V}{V_{PS}} = 0.32$ donc $V = 3.92 * 0.32 = 1.25m/s$.

Tableau V - 11 Vérification des conditions d'auto curage.

					Q = 0,1 Qs			Q = 0,01 Qs		
BV	PK	Ouvrages	Qps (m^3/s)	Vps (m/s)	Rq	Rv	V > 0,6	Rq	Rv	V > 0,3
1	12+250	Buse	2,49	3,17	0,1	0,64	2,03	0,01	0,32	1,01
2	12+700	Buse	3,01	3,83			2,45			1,23
3	14+275	Dalot	11,76	3,92			2,51			1,25

V.4.4 Ouvrage d'art

Le débit du quatrième bassin versant est de **156.7 m3/s**, et les installations hydrauliques ne sont pas assez puissantes pour évacuer ce débit. Cela nous a amené à penser à la création d'un ouvrage d'art.

Dans notre projet, un ancien pont est déjà présent à cet endroit et n'a jamais rencontré de problèmes pendant son existence. Nous envisageons donc de l'étendre.

V.5 Dimensionnement des fossés

Pour ces ouvrages, les dimensions choisies sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$\mathbf{Q_{10} \leq Q_s}$$

Q_{10} : Débit décennal (m^3/s.)

Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage (m^3/s).

- **Débit de saturation**

La capacité hydraulique de ces fossés est calculée à l'aide de la formule de Manning-Strickler :

$$\mathbf{Q_S = K_{st} * I^{1/2} * R_h^{2/3} * S_m}$$

Avec

K_{st} : Coefficient de rugosité.

I : Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m),

R_h : Rayon hydraulique (m) = Section mouillée / Périmètre mouillé.

Tableau V - 12 Calcul du Rayon hydraulique (section trapézoïdale).

Section mouillée (m2)	$\mathbf{(b + z * h)h}$	z : la pente des berges
périmètre mouillée (m)	$\mathbf{b + 2h\sqrt{(1 + z^2)}}$	

- **Débit à évacuer**

Le type de fossé est déterminé par le débit à évacuer, qui est influencée la plate-forme, les bermes et les talus.

$$\mathbf{Q_{10} = Q_{PF} + Q_B + Q_T}$$

- Q_{PF} : débit rapporté par la plate-forme.
- Q_B : débit rapporté par les bermes.
- Q_T : débit rapporté par les talus.

Le calcul des débits engendrés par les écoulements ruisselés sur les talus du terrain naturel et les plates-formes de la voie ferroviaire, a été effectué dans le cas le plus défavorable pour une période de retour de 10 ans. En appliquant la méthode Rationnelle :

$$\mathbf{Q_{10} = 0.278 * C_r * I * A}$$

Avec : -

- Q10 : Débit décennal (en m3 /s) ; -
- I10 : Intensité de pluie décennale (mm/h).
- A : Surface active de la Plate-forme de la voie ou talus (km^2).
- tc : temps de concentration (en heure).
- a et b : paramètres de Montana.
- Cr : Coefficient de ruissellement pondéré.

Pour la pondération du coefficient de ruissellement de la Plate-forme de la voie, les valeurs suivantes sont retenues :

- C = 0.95 pour la chaussée.
- C = 0.70 pour les talus.

Tableau V - 13 Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et de déblai.

		Remblai	Déblai
		Longueur : 2000 m H_{talus} : 2 m Largeur de la plateforme : 13,6m	Longueur : 2250 m H_{talus} : 1,5 m Largeur de la plateforme : 13,6m
Plateforme	Cr	0,95	0,95
	P (m/m)	0,04	0,04
	A (Km2)	0,027	0,031
	Tc (h)	0,10	0,11
	I (mm/h)	128,59	121,44
	Q_{PF} (m^3/s)	0,9	1,0
Talus	Cr	0,7	0,7
	P (m/m)	0,02	0,02
	A (Km2)	0,004	0,003
	Tc (h)	0,06	0,05
	I (mm/h)	137,0	194,9
	Q_T (m^3/s)	0,1	0,1
Q_a (m^3/s)		1,03	1,11

Tableau V - 14 Dimensions du fossé proposé.

B (m)	H (m)	Z	Sm (Km^2)	Pm (Km)	Rh	Kst	I (m/m)	Qs (m^3/s)
0,5	0,5	1,5	0,63	2,30	0,27	70,00	0,020	2,59

D'après le calcul des débits on a trouvé la condition est respectée :

$$\mathbf{Q_{10} = 2.14\ m^3/s < Q_S = 2.59\ m^3/s}.$$

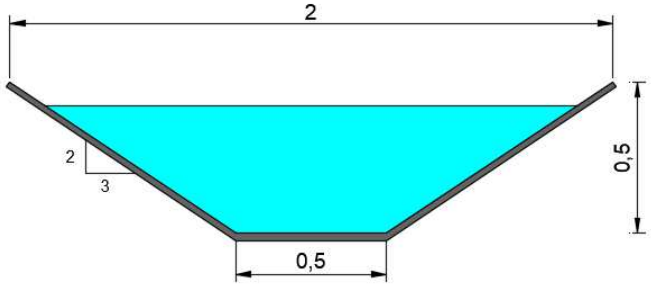


Figure V - 5 Détail du fossé.

Chapitre VI :
Étude géologique et géotechnique

VI.1 Introduction

Les études géologiques et géotechniques sont indispensables pour dédoubler une ligne ferroviaire existante afin de déterminer les obstacles des terrains traversés et d'évaluer la faisabilité des tronçons.

Ce chapitre, présente les caractéristiques géologiques et géotechniques de la ligne ferroviaire EST, section Nord ANNABA – BOUCHEGGOUF. Son objectif est d'évaluer les caractéristiques des sols qui permettront de supporter l'infrastructure ainsi que les risques naturels (glissements de terrain, inondations, sismicité, etc.) pouvant impacter la ligne. Il s'agit de garantir la stabilité et la durabilité de l'ouvrage en observant l'interaction entre le sol et la structure.

VI.2 Aperçu géologique sur le tronçon

La région d'étude se trouve dans la partie du domaine des nappes des Flysch ce domaine est composé de deux types d'unités différentes :

- ✓ Les nappes mauritaniennes et massyliennes.
- ✓ Les nappes numidiennes.

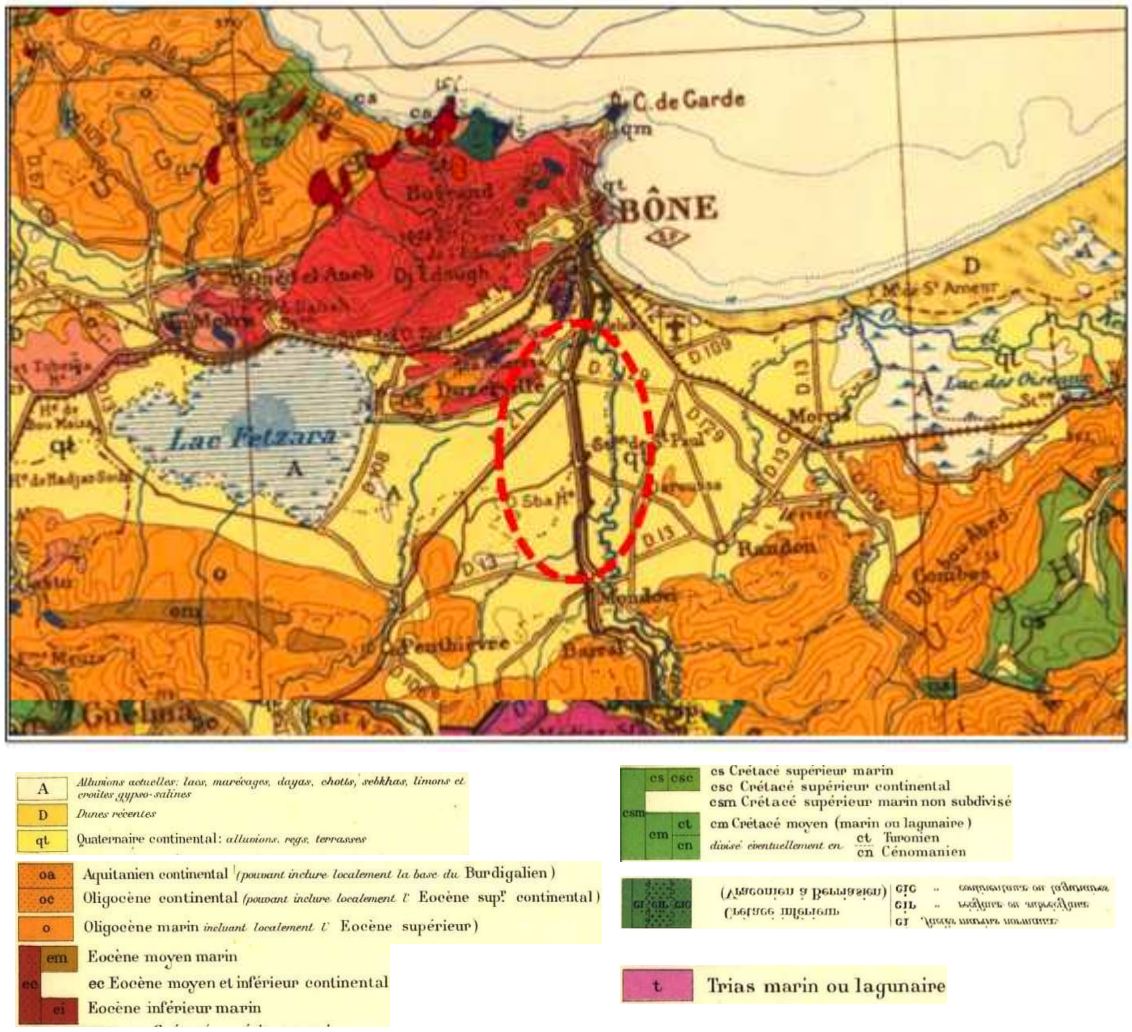


Figure VI - 1 Extrait de la carte géologique de L'Algérie au 1/500000ème.

Le tracé traverse la ville CHEBAITA MOKHTAR et la plaine de l'oued Seybouse, qui est essentiellement remplie par des formations quaternaires. Il s'agit des alluvions du lit de l'oued ainsi que des terrasses alluviales qui constituent la plaine de l'oued Seybouse.



Figure VI - 2 Projection du tracé sur la carte géologique.

Remarque

Le tracé traverse des formations d'âge Néopleistoène, constituées par des sable et argiles.

VI.3 Sismicité du site

La répartition du territoire national en cinq zones de sismicité croissante est établie à l'aide de la carte des zones de sismicité et du tableau correspondant, qui détaillent cette répartition par wilaya et commune.

Tableau VI - 1 Zones de sismicité.

Zone 0	Sismicité négligeable
Zone I	Sismicité faible
Zone II^a	Sismicité moyenne
Zone II^b	Sismicité élevée
Zone III	Sismicité très élevée

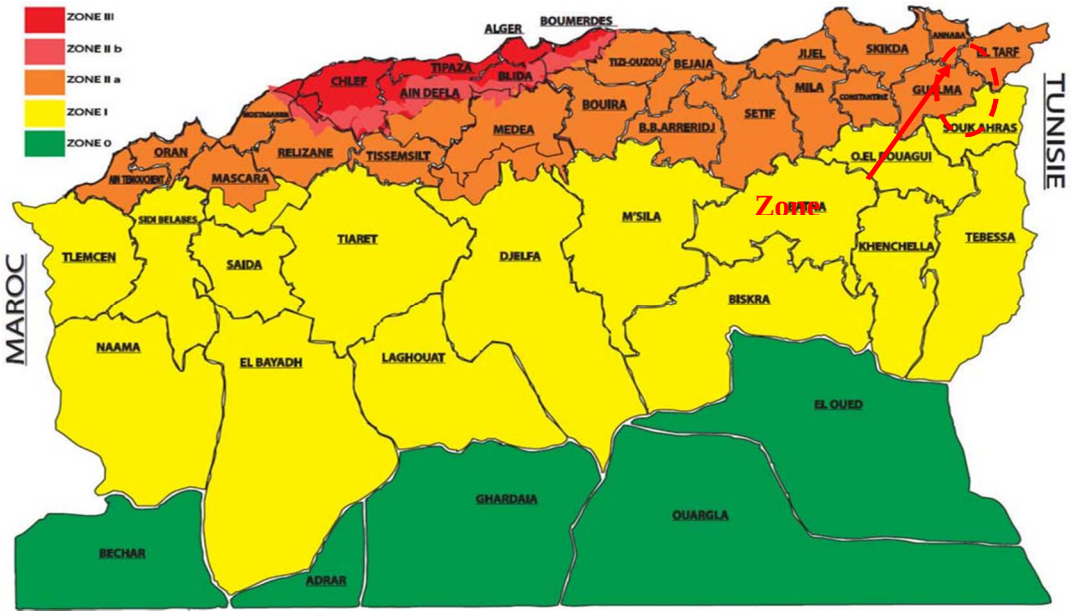


Figure VI - 3 carte de zonage sismique de l'Algérie.

Nous remarquons que le projet de la ligne entre EL HADJAR et CHEBAITA s'inscrit entièrement dans la « Zone II[a] », de sismicité moyenne.

Le R.P.O.A 2008 classe les ponts en trois (03) groupes selon leur importance :

Tableau VI - 2 classification des ponts (selon le R.P.O.A 2008).

Groupe	Importance
01	Pont stratégique
02	Pont important
03	Pont d'importance moyenne

Les ouvrages d'art de la ligne entre EL HADJAR et CHEBAITA sont à reporter au Groupe 01 vu que la liaison constitue une « Grand liaison d'aménagement du territoire ».

Tableau VI – 3 Valeurs du coefficient d'accélération A.

Groupe de pont	Zone sismique			
	I	II[a]	II[b]	III
01	0,15	**0,25**	0,3	0,4
02	0,12	0,2	0,25	0,3
03	0,1	0,15	0,2	0,25

Pour les besoins du projet, le coefficient d'accélération de zone "A" à prendre en considération dans les calculs est **A = 0,25**, qui est défini en fonction de la zone sismique et de l'importance du pont.

VI.4 Étude géotechnique

Les études géotechniques pour les chemins de fer peuvent englober des investigations telles que des forages, des essais de pénétration, des essais de laboratoire et des mesures in situ. Ces recherches offrent des informations sur les propriétés physiques et mécaniques du sol, comme sa densité, sa résistance, sa perméabilité et sa compressibilité, qui jouent un rôle essentiel dans la conception de la structure de la voie ferrée.

VI.4.1 Sondages carottées

Cinq (5) sondages carottés, d'une profondeur variante, ont été réalisés au cours de cette campagne de reconnaissances géotechniques et ont été équipés de tubes piézométriques.

Les différentes étapes et méthodes utilisées lors des investigations géotechniques sont :

- Les forages ont été réalisés à l'aide d'une machine de forage sur chenilles, en utilisant le système rotatif non destructif.
- L'échantillonnage des sols a été réalisé avec des carottiers afin d'évaluer le niveau de la nappe phréatique.
- Des essais de pénétration standard (SPT) simples et doubles ont été réalisés avec un diamètre de 101mm.
- Le roc a été broyé à l'aide d'un outil diamanté spécialement conçu pour les roches.
- Des échantillons de sol ont été paraffinés pour les essais de laboratoire.

VI.4.1.1 Résultats de la reconnaissance par sondage carottées

La lecture des coupes lithologiques des sondages carottés réalisés dans le cadre de la présente étude montre la lithologie suivante :

F-01-CCM-B (PK 11+234):

- **0,00m – 0,50m :** terre végétale.
- **0,50m – 3,00m :** argile limono-sableuse, beige.
- **3,00m – 12,00m :** argile limoneuse, brunâtre à verdâtre, moyennement ferme à moyennement molle.
- **12,00m – 14,75m :** argile limoneuse, verdâtre à grisâtre.

F-02-CCM-B (PK 14+425) :

- **0,00m – 0,20m :** terre végétale.
- **0,20m – 1,00m :** argile limoneuse grisâtre, ferme.
- **1,00m – 6,50m :** argile limoneuse beige, ferme.
- **6,50m – 13,30m :** argile sableuse beige, à quelques passages d'un sable argileux beige.
- **13,30m – 15,05m :** marne grisâtre, moyennement ferme.

F-01-CM-B (PK15+400) :

- **0,00m – 0,40m :** terre végétale.
- **0,40m – 0,75m :** argile graveleuse marron, avec un passage gréseux entre 0,60m et 0,75m.
- **0,75m – 2,50m :** argile limoneuse, marron foncé, finement sableuse.
- **2,50m – 7,00m :** alternance de niveaux d'argile sableuse à sable argileux beiges, avec des niveaux de grès fin à moyen et sable fin, beiges.
- **7,00m – 15,00m :** grès fin, fracturé, avec un passage d'argile sablo-graveleuse sable argileux beige entre 9,1m et 10,3m.

F-02-CM-B (PK 18+850) :

- **0,00m – 0,40m :** terre végétale.
- **0,40m – 3,30m :** argile limoneuse, à sablo-graveleuse, noirâtre.
- **3,30m – 7,00m :** grès fin, récupéré sous forme de carottés décimétriques, à cassures subverticales remplies d'argile, devenant un grès moyen à grossier en allant vers la base.
- **7,00m – 11,20m :** argile limono-graveleuse brunâtre, à quelques passages de grès fin brunâtre.
- **11,20m – 15,40m :** argile limono-graveleuse grisâtre.
- **15,40m – 20,00m :** marne grisâtre dure, fragmentée, à quelques passages de marne altérée.

F-03-CM-B (PK 20+500) :

- **0,00m – 0,60m :** terre végétale ;
- **0,60m – 1,60m :** argile limoneuse, marron foncé ;
- **1,60m – 3,80m :** argile limoneuse, brunâtre ;
- **3,80m – 4,20m :** passage d'un grès fin, fracturé ;
- **4,20m – 8,60m :** argile limoneuse, beige à brunâtre, à passées sablo-graveleuses et rares niveaux gréseux ;
- **8,60m – 13,80m :** argile limoneuse, rougeâtre ;
- **13,80m – 14,70m :** grès fin ;
- **14,70m – 15,25m :** argile limoneuse, rougeâtre.

VI.4.1.2 Niveau piézométrique dans les sondages carottés

Tous les sondages ont été équipés d'un piézomètre. Le tableau ci-après donne les résultats du niveau d'eau :

Tableau VI – 4 Niveau de la nappe phréatique par sondage.

Sondage	PK	Niveau d'eau (m)
F-01-CCM-B	11+234	Vandalisé
F-02-CCM-B	14+425	4
F-01-CM-B	15+400	1,5
F-03-CM-B	20+500	7,6

VI.4.2 Puits de reconnaissance

Les puits de contrôle ont été construits à l'aide d'une tractopelle et des échantillons de sol modifiés ont été prélevés de manière systématique pour les essais de laboratoire.



Figure VI – 3 Exécution de puits de reconnaissance à l'aide d'une tractopelle.

VI.4.3 Les résultats des essais au laboratoire :

Tous les échantillons prélevés à partir des puits (PR) et les sondages carottés réalisés ont été effectuées, en respectant les normes en vigueur, comme le montre le tableau ci-dessous. Le programme d'expérimentations en laboratoire a impliqué la réalisation des tests suivants :

- **Densité (poids volumique) :** C'est le rapport entre le poids et le volume **(**ɣh poid volumique humide, et ɣd poids sec sure le volume humide)
- **Le degré de saturation du sol :** C'est une mesure qui indique le pourcentage d'eau présent dans les vides ou les pores d'un sol par rapport à sa capacité maximale à retenir de l'eau. Il est souvent exprimé en pourcentage.
- **L'essai de cisaillement de sol :** L'essai a pour objet de mesurer les caractéristiques de rupture d'un échantillon de sol fin saturé soumis à un

cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse constante. On a utilisé les 02 type, drainer (CD) et non-drainer (CU).

- **L'essai d'œdomètre :** Le but est de mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l'application de différentes charges verticales constantes.
- **L'essai de granulométrie :** Consiste à déterminer les diamètres de chaque fraction granulaire
- **L'essai de valeur de bleu de méthylène (VBS) :** Evaluer la quantité et qualité de la fraction argileuse, à partir de la surface spécifique.
- **La teneur en eau (Wn) : Il** a le but de savoir la quantité de l'eau dans le sol naturel (échantillon).
- **Les limites d'Atterberg :** Cet essai est la détermination expérimentale de la limite de liquidité (WL) et de la limite de plasticité (WP).
- **L'essai Proctor :** Il s'agit d'identifier la teneur en eau optimale et la densité sèche maximal.
- **L'essai CBR (California Bearing Ratio) :** C'est un essaie de laboratoire pour déterminer la portance de sol dans les conditions optimale

VI.4.3.1 Les Sondages Carottés :

Les sondages carottés géotechniques sont une méthode fréquemment employée dans le domaine de la construction pour analyser en profondeur les caractéristiques du sol et de la roche, dans le but d'aider à la conception et à la réalisation des projets.

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

Tableau VI – 5 Résultats des essaies physique et mécanique sur les sondages carottés.

N° Forages	PK	Prof (m)		W	Densité		Limites d'Atterberg			Analyse granulométrique %			Cisaillement CD		Cisaillement UU		Œdomètre			Classification GTR/UIC	
							w_L	w_P	I_P	<2 mm	< 80µm	<2 µm	C	ϕ	C_U (bar)	ϕu	Pc (bar)	Cc %	C_g%	GTR	UIC
		De	A	(%)	δd(t/m3	δh(t/m3	(%)	(%)	-	(%)	(%)	(%)	(bar)	(°)	(bar)	(°)	(bar)	(%)	(%)		
F-01-CCM-B	11+234	1,2	1,6	12	1,95	2,18	32	17	15	81	62	34			1,61	11,9	1,71	16,6	2,4	A2	QS1
	11+234	5,6	6	24	1,64	2,04	69	10	59	100	100	74	0,75	12			3,85	27,9	6,3	A4	QS1
F-02-CCM-B	14+425	2,4	2,9	19	1,78	2,12	35	30	5	95	79	40	0,35	24			1,35	11	2,2	A1	QS1
	14+425	7,8	8,15	27	1,57	1,99	65	16	49	100	10	75								A4	QS1
F01 CM-B	15+400	3.5	4	14	1.85	2.13	25	13	12	96.1	67.6	16.1	0.405	23			0.96	0.17	0.04	A1	QS1
	15+400	7.5	8	18	1.78	2.11	26	12	14	94.1	65.6	18.5	/	/			0.92	0.11	0.01	A2	QS1
	15+400	9.5	12	21	1.7	2.07	37	22	15	100	95.7	35.5	/	/			1.27	0.15	0.05	A2	QS1

N° Forages	PK	Prof (m)		W	Densité		Limites d'Atterberg			Analyse granulométrique%			Cisaillement CD		Cisaillement UU		Œdomètre			Classification GTR/UIC	
							w_L	w_P	I_P	<2 mm	< 80µm	<2 µm	C	ϕ	C_U (bar)	ϕu	Pc (bar)	Cc %	C_g%	GTR	UIC
		De	A	(%)	δd(t/m3	δh(t/m3	(%)	(%)	-	(%)	(%)	(%)	(bar)	(°)	(bar)	(°)	(bar)	(%)	(%)		
F02 CM-B	18 + 850	1	1.8	22.8	1.91	1.91	51	29	22	95.8	87.5	1.74	0.142	20			1.23	0.28	0.04	A2	QS1
	18 + 850	2.5	3	25.4	2.06	2.06	54	25	29	83.6	76.2	1.50	/	/			/	/	/	A3	QS1
	18 + 850	6.6	7	15.5	2.16	2.16	25	9	16	98.7	79	1.56	/	/			0.915	0.10	0.03	A2	QS1
F03 CM-B	20 + 500	2.4	3	24.7	1.52	1.90	43.4	29.3	14.1	91.3	81.87	17.9	0.239	20			1.28	0.26	0.03	A2	QS1
	20 + 500	7	7.6	21.7	1.70	2.07	55.4	20.9	34.6	99.5	99.24	42.5	/	/			1.09	0.16	0.06	A3	QS1
	20 + 500	11	11	21.4	1.63	1.99	33.6	18.2	15.4	99.3	95.93	27.8	/	/			0.98	0.15	0.01	A2	QS1

VI.4.3.2 Les puits de reconnaissance :

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

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

Tableau VI – 6 Résultat des essaies physique et mécanique sur les puits de reconnaissance.

Sondage	PK	Profondeur (m)	Paramètres physiques				Analyse granulométrique			Limites d'Atterberg		Valeur du bleu de méthylène	Proctor normal		Classification GTR/UIC		
			W (%)	γ_s (τ/μ^3)	γ_h (t/m^3)	Sr (%)	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)	< 2 µm (%)	W_L (%)	I_P (%)	VBS	γd Max (τ/μ^3)	W_{Opt} (%)	Selon la nature	Selon l'état hydrique	UIC
PU-01-CCM-B	10+234	0,40 -2,50	15	1,81	2,08	84	87	69	33	40	24	3,52	1,75	11,5	A2	A2th	QS1
PU-02-CCM-B	12+917	00 -03	18.01	1,15	1,28	23	91.93	77.45	27	49	28	1.53	1.77	12.23	A3	A3th	QS1
PU-03-CCM-B	14+744	0,80 -2,20	12	1,81	2,03	71	91	71	41	33	21	1,13	1,8	12,2	A2	A2m	QS1
PU-01-RCM-B	15+850	0,50 -2,40	16	1,77	2,05	85	96	66	46	36	19	2,56	1,62	11,6	A2	A2th	QS1
PU-02-RCM-B	18+635	0,70 -1,40	13	1,87	2,11	83	99	83	41	36	23	1,4	1,74	13,68	A2	A2m	QS1

Application au projet

Classifications pour PUI-01 CCM-B au PK 10+234

- Selon **GTR :**

Classe de sol :

$\mathbf{D_{max}} < 50mm$ ⇨ donc classe de ce sol est **A** ou **B** ou **D**.

Le passant à **80µm** est de 69 % ⇨ alors la sous classe de sol sera : $\mathbf{A_i}$

$12 < \mathbf{I_p} = 24 < 25$ ⇨ donc la sous classe sera A_2.

Classification selon l'état hydrique : $\mathbf{W_n} = 15 \geq 1.3\mathbf{W_{opn}} = 1.3x11.5 = 14.95$ ➔ état très humide
Donc selon la classification **GTR** le sol est de classe : $\mathbf{A_2th}$

- Selon **UIC (719 R)** :

Le pourcentage des fines est égal à 69 % === Sols comportant plus de 40 % de fines

Alors le sol est de classe **QS1 (sols médiocres).**

VI.4.4 Risque d'agressivité chimique

Grâce à des analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés, qu'ils soient intacts ou modifiés, nous avons pu repérer les zones à risque d'attaque des sulfates sur le béton, ainsi que la teneur en matière organique et de CaCO3. Ces conclusions sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI – 7 Résultats des essaies Analyses chimiques.

N° Forages	PK	Prof (m)		Analyse chimique					Observation
				Gypse	Chlorure	$CaCO_3$	MO	Sulfates SO_4^{2-}	
		De	A	$CaSO_4, 2H_2O$ (%)	Na Cl (%)	(%)	(%)	Mg/kg	
F-01-CCM-B	11+ 234	1,2	1,6		0,04	49,3	3,3	3584	Agressivité NULLE selon **NFP 18-011** & Sol non organique selon **P94-058**, **P94-055**, **XP P94-047**
	11+ 234	5,6	6						
F-02-CCM-B	14+ 425	2,4	2,9		0,18			2142	
	14+ 425	7,75	8,15						
F01 CM-B	15+ 400	3.50	4.00	Traces	0.06	37.27	2.20	/	
	15+ 400	7.50	8.00	Traces	0.00	31.37	3.60	/	
	15+ 400	9.50	12.00	Traces	0.00	24.50	3.80	/	
F02 CM-B	18+ 850	1.00	1.80	Traces	0.00	15.88	5.60	/	
	18+ 850	2.50	3.00	/	/	/	/	/	
	18+ 850	6.60	7.00	/	/	/	/	/	
F03 CM-B	20+ 500	2.40	3.00	Traces	0.29	22.05	5.60	/	
	20+ 500	7.00	7.60	/	/	/	/	/	
	20+ 500	11.00	11.3	/	/	/	/	/	

VI.4.5 Synthèse des résultats géotechniques

Les tableaux au-dessus présentent un résumé des essais de laboratoire sur les échantillons récupères des puits de reconnaissance et des sondages carottés.

D'après la classification **GTR**, la majorité des sols sont de classe **A3** et **A2**, c'est-à-dire des sols argileux marneux et des sables argileux, avec un diamètre maximal des grains **(D_{max})** inférieur à **50 mm** et un indice de finesse (passant à **80µm**) compris entre **35 %** et **100.** En général, ces sols ont une plasticité faible à moyenne. Ils sont particulièrement sensibles aux conditions météorologiques**%** (**VBS > 0.2** sol sensible à l'eau), pouvant interrompre rapidement le chantier en cas d'humidité excessive ou, au contraire, en présence d'un matériau sec difficile à compacter.

En ce qui concerne leur emploi, ces matériaux sont inadaptés à des états hydriques très secs ou très humides. Ils peuvent être utilisés dans d'autres états hydriques en fonction des solutions fournies par la **GTR** et des conditions météorologiques.

Pour les sols QS1, en prenant en considération le taux de particules fines, leur plasticité et leur sensibilité aux variations de l'humidité, on observe que la plupart sont de la sous-classe QS1(a). Il y a un risque important pour ces sols de passer à la classe QS0 en raison de conditions hydrologiques défavorables pendant les périodes de forte pluviosité.

Type de sol (classification géotechnique)	**Classe de qualité des sols**
-Sols organiques -Sols avec plus de 15% de fins, expansifs, humides, de haute plasticité et pas compactables ; - Sols contaminés avec déchets, matière organique ou résidus ; -Sols avec matériaux solubles (sel-gemme ou plâtre).	QS0
-Sols avec plus de 40% de fins (pas classifiables comme QS0); - Roches évolutives.	QS1 (a)
-Sols avec 15% à 40% de fins (pas classifiables comme QS0); -Roches friables; - Roches peu dures (MDE > 40 et LA >40%).	QS1 (b)*
- Sols avec 5% à 15% de fines; -Sols avec moins de 5% de fins mais uniformes (Cu ≤ 6); -Roches moyennement dures (25% < MDE ≤ 40% et 30% < LA ≤ 40%)	QS2
-Sols avec moins de 5% de fines; - Roches dures (MDE ≤ 25% et LA ≤ 30%)	QS3

Figure VI – 3 Classes de qualité des sols selon le code UIC 719R.

Indice de plasticité I_p (%)	Qualificatif
$I_p \leq 12$	Non plastique
$12 \leq I_p \leq 25$	Peu plastique
$25 \leq I_p \leq 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastiques

Figure VI – 4 Indice de plasticité Ip (en %).

VI.4.6 Gites d'emprunts

Aux abords du tracé, une recherche de matériaux d'emprunt a été effectuée en fonction de la géologie locale. Le tableau qui suit résume le détail technique de chaque gite.

Tableau VI – 8 Gites proposées dans l'étude APD.

Zone d'emprunt	PK	Profondeur estimée (m)	Superficie estimée (m2)	Volume estimée (m3)	Classe GTR	Classe UIC	Localisation	
							x	y
1	26+500	4	149432	597728	A2	QS1	390857	4058624
2	34+400	4	310272	1241088	C1B5h	QS2	391572	4051909

VI.4.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons identifié deux classifications de sol :

- Selon le classement **GTR** :

Généralement, les sols est argileux marneux et des sables argileux **(A2, A3)**

- Selon le classement **UIC719R** :

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

Le pourcentage de gypse est faible et ne présente pas de danger, nous n'avons pas besoin de protéger le sol.

Chapitre VII :
Assise ferroviaire

VII.1 Introduction

La couche d'assise garantit la solidité, la stabilité et le drainage de la voie ferrée, en incluant le ballast, le sous-ballast et la couche de fondation principale. Sa taille, définie par la fiche UIC-719R, est influencée par l'écartement des traverses, les caractéristiques du trafic (tonnage, charge à l'essieu, vitesse) et la classe de portance de la plateforme. En répartissant les charges des traverses et en amortissant les vibrations, elle favorise la durabilité et les performances de la voie ferrée.

VII.2 La couche de ballast

Le ballast est un matériau de support indispensable pour les chemins de fer ballastés, composé de matériaux granulaires de granulométrie **25/50 mm**, issus du concassage de roches dures telles que le granit, le quartzite et le gneiss.

La couche de ballast absorbe les forces transmises par les traverses et doit être compactée afin de garantir la stabilité de la voie. Il est nécessaire qu'elle respecte des critères de qualité géométrique et mécanique établis par des normes internationales, tels que la granulométrie, la forme des grains, la résistance mécanique et la résistance aux agents atmosphériques.

Tableau VII - 1 Épaisseur du ballast selon SNTF.

Épaisseur normale	0,3m
Cas des viaducs et tunnels	0,35m

VII.3 Sous couche

La sous-couche représente une couche d'adaptation entre le ballast et la plate-forme. Elle est constituée d'une ou de plusieurs couches. Elle comprend :

- Sous ballast : constitué de gravier propre bien gradué compris entre **0** et **31,5 mm**, permet la transmission et la distribution des charges sur la plateforme.
- Fondation : Si certaines conditions du sol ne sont pas respectées, une couche de fondation est utilisée, d'une épaisseur minimale de **15 cm**.

VII.4 La plateforme

La plate-forme ferroviaire constitue le niveau supérieur du terrassement qui accueille les couches inférieures, comme la couche de ballast et la sous-couche. La surface est composée de sols porteurs compactés au sommet afin de créer une surface stable, avec une pente transversale de 4 % pour garantir le drainage optimal.

Étant donné la majorité des sols de classe **QS1** sur le tracé, que ce soit en déblais ou en remblais, nous décidons, conformément aux exigences des **UIC**, de choisir une plateforme de type **P2** (plateforme moyenne). Ce choix nécessite l'application d'une couche de forme appropriée.

VII.5 Classe de portance de la plateforme

La portance d'une plateforme dépend de :

- Le type de sol qui forme le corps du remblai ou le sol situé au fond du déblai.
- La qualité et l'épaisseur de la couche de forme (s'il y en a).

En fonction de ces paramètres, Les plates-formes sont classées en trois classes de portance :

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

Tableau VII - 1 Les classes de portance de la plate-forme (UIC 719R).

Classe de portance de la plateforme	Classe de portance envisagées pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Classe de qualité	Épaisseur (m)
QS1	P1	QS2	-
	P2	**QS2**	**0,50**
	P2	QS3	0,35
	P3	QS2	0,50
QS2	P2	QS3	-
	P3	QS4	0,35
QS3	P3	QS5	-

VII.6 Dimensionnement de la plateforme

Conformément à la fiche **UIC 719 R** relative au dimensionnement des couches d'assise, l'épaisseur de la couche de ballast et des sous couches est calculée suivant la formule ci-dessous :

$$\mathbf{e = E + a + b + c + d + f + g}$$

e : étant l'épaisseur de la couche du ballast et des sous couche.

Avec :

- E = 0.55 m pour une plate-forme de classe de portance P2.
- a = 0 Pour les groupes UIC 1 et 2.
- b = 0,13 m pour les traverses en béton de longueur L = 2,24 m
- c = 00 pour un dimensionnement normal.
- d = 0,05 m (pour la charge nominal d'essieu de 22.5 ton/axe)

- f = 00 m pour toutes les lignes parcourues à V≤ 160km/h.
- g = +0.01 géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2

Donc

$$\mathbf{e = 0.55 + 0 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0.01 = 0.74m}$$

Une assise d'une épaisseur totale de 0,74 m sera donc constituée d'une couche de ballast de 0,3 m et d'une sous-couche de 0,44 m. Donc nous proposons les épaisseurs des couches d'assise pour une portance P2 comme ci-dessous :

- $e_{ballast}$ = 30 cm.
- $e_{sous\text{-}couche} = e - e_{ballast}$ = 74 – 30 = 44 cm.
- $e_{sous\text{-}ballast}$ = 25 cm.
- $e_{fondation}$ = 18 cm + 01cm (ajout d'un géotextile) = 19 cm.

Remarque

Un géotextile doit être disposé au contact de la plateforme, qui améliore la qualité anti-contaminante de la structure d'assise, il facilite également la mise en œuvre des couches d'assise en évitant l'orniérage de la couche de forme en sol QS2.

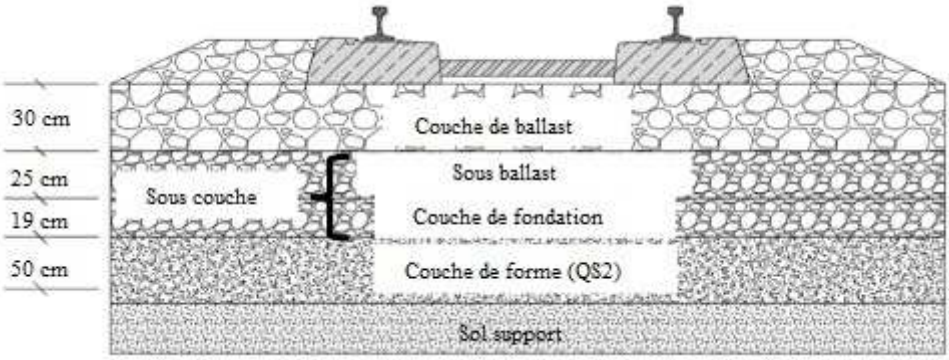


Figure VII - 1 Récapitulatif des couches constituant l'assise ferroviaire.

VII.7 Conclusion

Au sein de ce chapitre, nous avons établi l'épaisseur de la couche d'assise (30 cm de ballast, 25 cm de sous-ballast, 19 cm de couche de fondation) ainsi que la taille de la couche de forme (50 cm de CDF de qualité QS2) pour toutes les plateformes du projet.

Chapitre VIII :
Profil en travers

VIII.1 Introduction

Le profil en travers d'une voie ferrée est une section verticale perpendiculaire à l'axe de la voie, qui permet de visualiser sa structure et ses dévers. Il donne des détails sur la superstructure, l'infrastructure et les pentes des talus.

VIII.1.1 Profil en travers type

Le profil en travers type représente de manière détaillée et singulière chaque zone d'un projet ferroviaire. Fournissant une norme standardisée pour la construction et l'entretien.

VIII.1.2 Profil en travers courant

Le profil en travers courant expose en détail les caractéristiques de la section transversale au PK spécifié et permet de calculer les cubatures.

VIII.2 Éléments du profil en travers

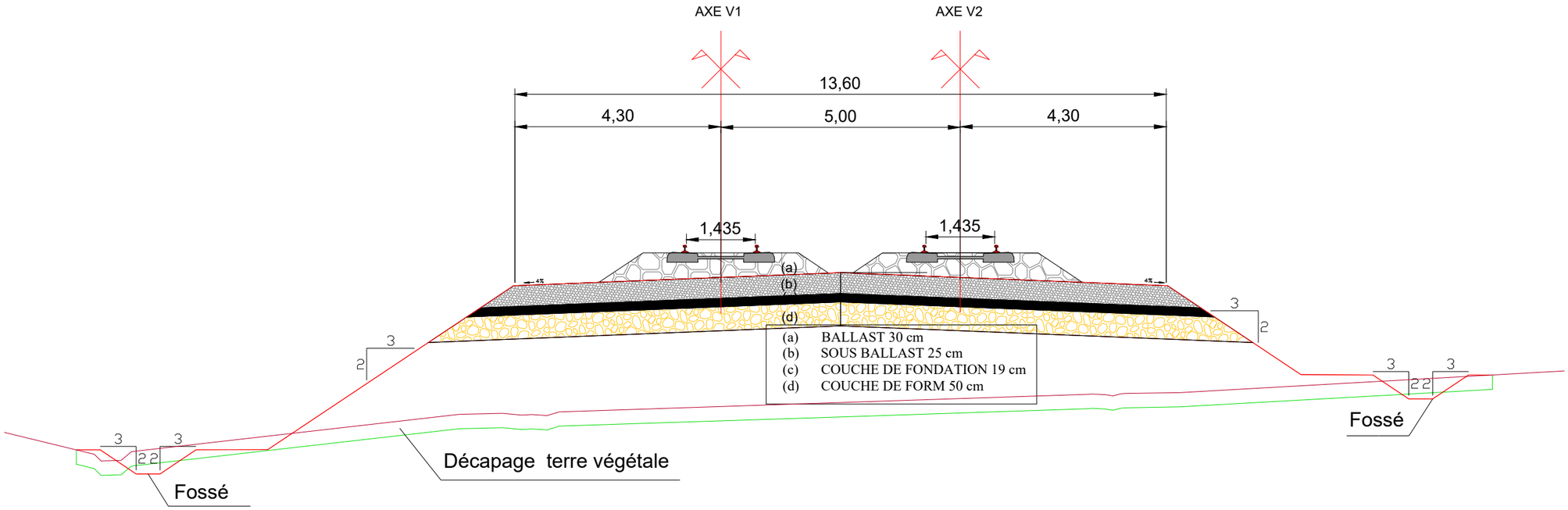
- **Emprise :** C'est la surface du terrain naturel affectée à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette :** C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme :** C'est la partie qui reçoit la voie et le ballast (face supérieure du sous ballast)
- **La voie :** C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **Le fossé :** C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux d'écoulement.

VIII.3 Profil en travers type de notre projet

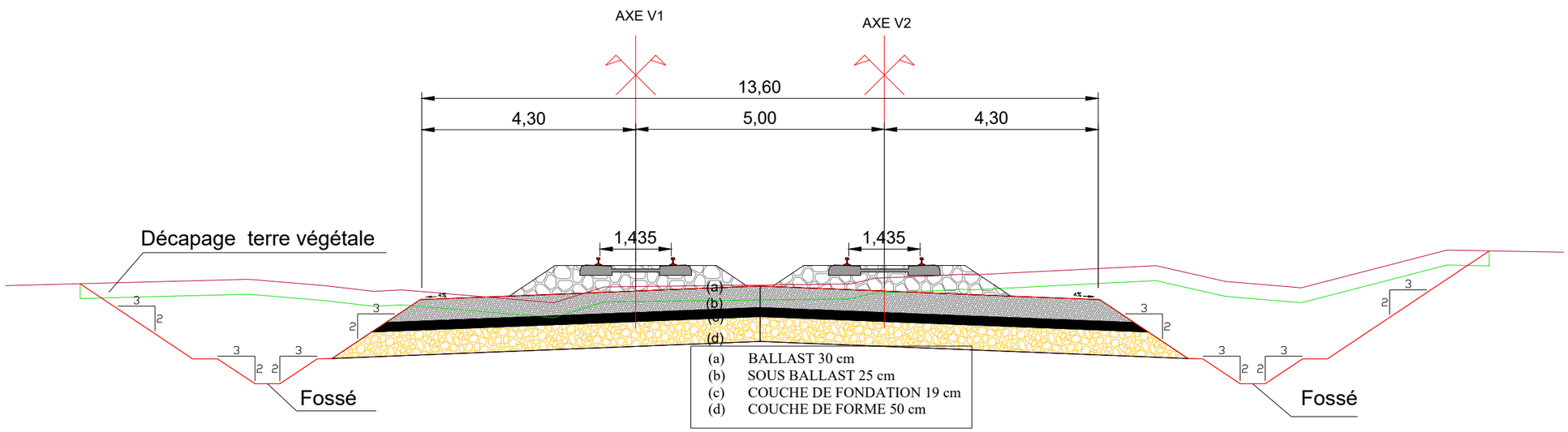
Le profil type utilisé pour notre projet a été choisi selon les exigences de la **SNTF (présentation) :**

- Largeurs de la plate-forme : 13.6 m (voies dédoublées).
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Épaisseur du ballast : 30 cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 25 cm.
- Épaisseur de la couche de fondation : 19 cm.
- L'épaisseur de la couche de forme est de 50 cm.
- Pente talus (3H/2V).

Profil en travers type remblai



Profil en travers type déblai



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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
étude en APD de ligne minière EST-section 01 Nord ANNABA-BOUCHEGOUF tronçon : PK 10+000 au PK 21+000 avec conception de la gare Chebaita Mokhtar	MEHAIA .Y CHOUH .M	BENOUMECHIARA.S FEDGHOUCHE .F	1/100	03	2023/2024

Chapitre IX : Terrassement

IX.1 Introduction

Le terrassement est le processus d'excavation, de déplacement, de nivellement et de compactage du sol dans le but de réutiliser les matériaux existants et d'équilibrer les mouvements de terre.

Le terrassement peut comporter les étapes suivantes :

- **Décapage :** Cette étape implique de retirer la végétation, les débris et les couches de sol non souhaitées de la surface du terrain.
- **Déblais :** Il s'agit de creuser le sol afin de former des tranchées, des fosses ou des excavations indispensables à la réalisation du projet.
- **Remblais :** Les espaces vides sont remplis de matériaux tels que le sable, le gravier ou le sol compacté, afin de créer une surface de travail stable.
- **Nivellement :** Cette phase nécessite l'emploi d'équipements de terrassement pour répartir et lisser le sol afin d'obtenir la pente et l'inclinaison appropriées conformément aux plans du projet.
- **Compactage :** Après avoir nivelé le sol, on procède à sa compaction afin d'accroître sa densité.

IX.2 Règles à respecter

- ✓ L'utilisation et l'adaptation aux matériaux disponibles sur le chantier ou provenant de la zone d'emprunt.
- ✓ Prendre en compte le profil du terrain naturel tout au long du projet et assurer une portance adéquate pour la construction des couches d'assise.

IX.3 Stabilité des talus

La stabilité d'un talus est déterminée par sa capacité à s'effondrer ou à glisser, ce qui est particulièrement important dans le cadre de grands travaux (remblais-déblais), qui se distinguent par des hauteurs importantes ($h \geq 6$ m). La réalisation de cette analyse de stabilité nécessite une évaluation de différents facteurs, tels que :

- Angle de pente.
- Cohésion du matériau.
- Friction interne (angle de Frottement).
- Le poids volumique de sol.

Remarque

Dans tout le tronçon étudié la hauteur maximale des talus (rembalis-deblais) ne dépasse pas les deux mètres, ce qui n'impose pas l'étude de la stabilité des talus (talus stable).

Pour les talus en remblais et en déblais, la pente proposée est de 3H/2V sur tout le tracé.

IX.4 Réutilisation des matériaux excavés

Selon les règles de réutilisation des matériaux en remblai (code **UIC 719R** et le guide technique du **GTR - LCPC / SETRA**), Les matériaux excavés le long du tracé ne présentent pas les caractéristiques minimales requises pour être réutilisés dans la construction des remblais en raison de leur qualité géotechnique très faible et de leur comportement difficile à contrôler dans les remblais.

Étant donné que les matériaux excavés ne peuvent pas être réutilisés, les remblais et la couche de forme seront remplis avec le matériau **QS2** en raison de ses bonnes caractéristiques mécaniques et granulométriques. Cette substance est issue du gîte d'emprunt numéro **2** (PK 34+400), comme mentionné dans le **tableau VI - 8**.

IX.5 Calcul des cubatures

Les cubatures sont utilisées pour évaluer les quantités de terre nécessaires pour la construction d'un projet ferroviaire (déblais/remblais). Ils sont indispensables pour évaluer les matériaux requis, estimer les dépenses et planifier les travaux.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

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

Le calcul des cubatures du terrassement ainsi que celui des couches d'assise a été effectué avec logiciel Covadis pour le projet étudié, voici les tableaux des résultats obtenues :

Tableau IX - 1 Récapitulatif des volumes de terrassement.

Cubatures	Volumes (m^3)
Décapages	92251.90
Remblais	121850.30
Déblais	69810.60

Tableau IX - 2 Volumes des couches d'assise.

Couches	Volumes (m**3**)
Couche de ballast	46739.90
Couche de sous ballast	69944.40
Couche de fondation	31138.70
Couche de forme	92625.00

IX.6 Ouvrage d’art

L'élaboration d'un tracé ferroviaire de qualité doit garantir la perméabilité transversale de la ligne, le passage des différents obstacles et infrastructures, tout en respectant les nécessités techniques et économiques. Nous devons alors équiper le projet avec des ouvrages d’art appropriés.

IX.6.1 Types de croisements ferroviaires

En règle générale, il est nécessaire de prendre en compte la nature et le débit de la voie lors des problèmes de croisement, et d'analyser individuellement chaque type de croisement en fonction de la vitesse maximale. Il est possible d'envisager trois types de croisements :

a) **Passage à niveau :** Ce type de croisement est conçu pour les routes à faible débit de circulation (faible trafic), permettant ainsi à la voie ferrée et à la route de se croiser au même niveau, sans surélévation ni sous-passage.



Figure IX - 1 Passage à niveau.

b) **Passage supérieur :** Proposé lorsque la vitesse du train dépasse 100 km/h et que la topographie et la nature de la zone le permettent. Dans ce cas, le chemin de fer est traversé par un pont ou un viaduc.



Figure IX - 2 Passage supérieure.

c) **Passage inférieur :** Réservé à des cas topographiques très particuliers, rarement envisagé. Dans cette configuration, la route passe sous la voie ferrée.



Figure IX - 3 Passage inférieur.

Tableau IX - 3 Liste des ouvrages d'art pour le projet.

PK	Type d'obstacle	Ouvrage d'art
11+523	Croisement route	Passage supérieure
12+884	Croisement route	Passage supérieure
17+550	Croisement piste	Passage supérieure
19+100	Croisement piste	Passage supérieure
19+575	Oued	Pont rails (passage inférieur)

IX.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons déterminés les volumes des terrassements et des couches d'assise ferroviaire. Nous avons également déterminés les croisements avec les différents obstacles rencontrés.

Chapitre X : Superstructure ferroviaire

X.1 Introduction

La superstructure du chemin de fer est composée d'un ensemble d'éléments présentant des caractéristiques physiques et mécaniques variées qui permettent de transférer les charges statiques et dynamiques des roues à la plate-forme.

Afin de faire face aux pressions verticaux, transversaux et longitudinaux, la superstructure est constituée de deux rangées de barres en acier appelées **rails** disposées en parallèle sur des supports transversaux en béton appelés **traverses**. Les traverses sont reliées aux rails grâce à des **attaches**.

Dans ce chapitre, nous allons examiner en détail chaque élément afin de saisir leur rôle et leur importance dans la superstructure ferroviaire.

X.2 Types de voie

Les voies sont réparties en différentes catégories principales, chacune ayant un objectif spécifique, on peut ainsi distinguer :

- **Voie principale :** affectée à la circulation des trains.
- **Voie de service :** affectée aux manœuvres, constituées en général par des anciennes voies principales déclassées.
- **Voie d'évitement :** voie doublant une voie principale sur une longueur appropriée pour permettre à un train de se garer en vue de son dépassement par un autre train.
- **Voie de garage :** Voie se détachant de la voie principale et servant au garage de trains ou de wagons.

X.3 Technique du système ferroviaire

Les deux composants techniques essentiels du transport ferroviaire sont **les roues du wagon** et **les rails**. En collaboration, ces deux éléments assurent un déplacement sécurisé et efficace des trains sur les voies ferrées.

L'essieu monté se compose de trois parties de base :

- **L'essieu** : Barre métallique supportant les roues.
- **Les roues :** Elles sont attachées aux extrémités de l'essieu et agissent sur les rails.
- **Les boites d'essieux :** Les roulements qui permettent la rotation des essieux.

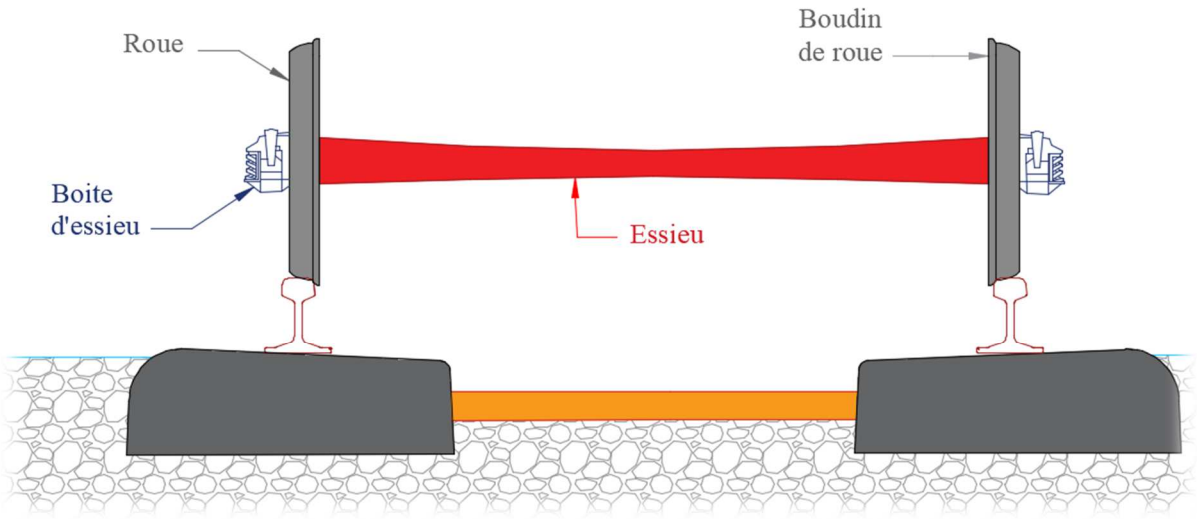


Figure X - 1 Coupe transversale d'un essieu monté.

Les roues des wagons sont constitués de :

- **La bande de roulement :** c'est la partie extérieure des roues qui permet le roulement sur les rails.
- **Les boudins :** Le boudin correspond à la partie interne d'une roue qui guide sur la voie ferrée, notamment dans les courbes et lors du passage sur les appareils de voie.

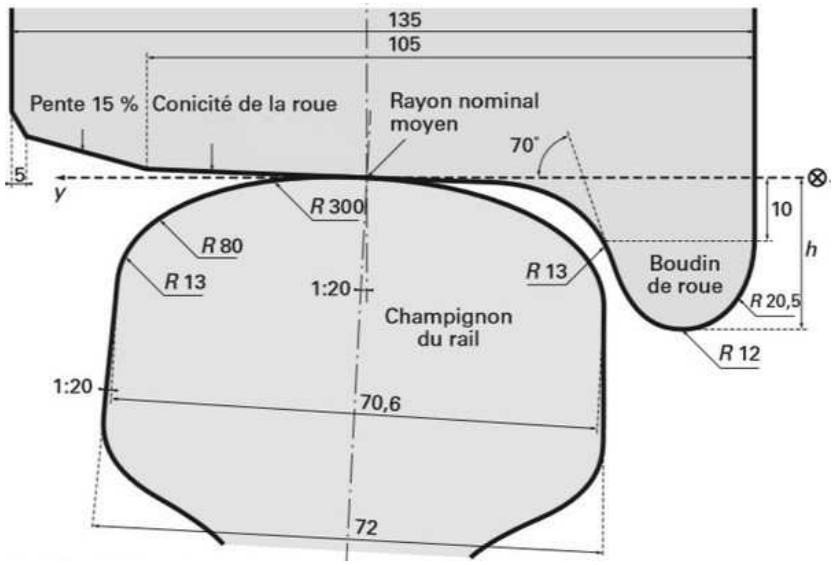


Figure X - 2 Coupe transversale sur un contact roue-rail.

X.3.1 Principes fonctionnels fondamentaux

Lorsque la roue progresse, elle exerce des forces élastiques sur la surface de contact, qui sont à la fois le résultat du fluage et des forces gravitationnelles. Dans des conditions de conduite optimales, ces forces assurent la stabilité et un guidage précis des véhicules, que ce soit en ligne droite ou en courbe.

a) Fonctionnement en alignement droit :

Nous considérons une paire de roues de chemin de fer conventionnelles, constituée de deux roues alignées sur un même essieu. Les deux roues sont reliées par cet essieu, ce qui leur permet de tourner ensemble. Les roues sont parallèles à la voie, l'essieu est situé au milieu des rails. Le train circule en ligne droite à une vitesse constante V. Le diamètre nominal D des roues théoriques est le même pour les deux roues, ce qui assure qu'elles parcourent la même distance, évitant ainsi toute différence de parcours entre elles.

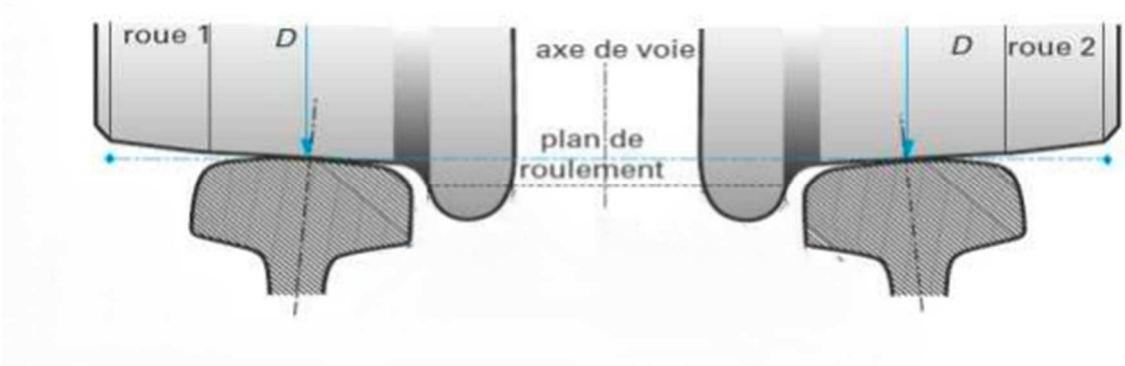


Figure X - 3 Installation de l'essieu en alignement droit.

Les déséquilibres de force sur les roues des wagons, due à une répartition verticale inégale de la charge ou à des irrégularités horizontales sur la voie, provoquent un mouvement oscillant connu sous le nom de **lacet**. On compense ce mouvement par des rayons de roues différents (r1 ≠ r2), ce qui restreint le déplacement en raison du contact entre les boudins des roues et les champignons de rails.

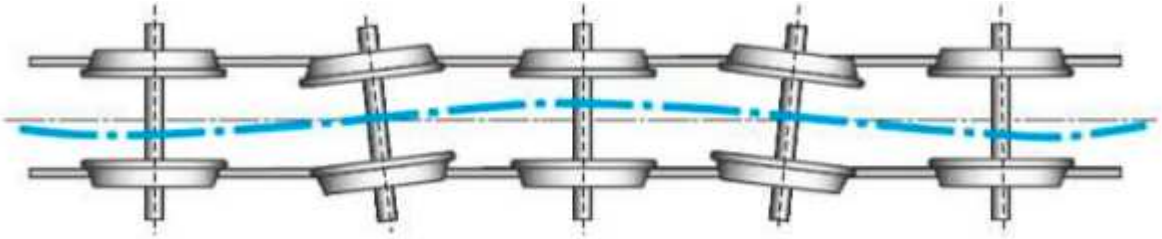


Figure X - 4 Mouvement parasite de l'essieu (lacet).

b) Fonctionnement en courbe :

Quand un train traverse une courbe, ses roues se déplacent latéralement vers l'extérieur de celle-ci. En raison de leur forme conique, les roues n'ont plus le même rayon de roulement **($R_{éxterieur} > R_{intérieur}$)**, ce qui entraîne des vitesses relatives différentes entre elles **($V_{éxterieur} > V_{intérieur}$)**. La différence de rayons de roulement entraîne des trajectoires différentes, la roue extérieure parcourt une distance supérieure à celle de la roue intérieure. Quand le déplacement latéral des roues dépasse un certain seuil, le contact avec les rails est assuré par des boudins qui sont placés sur ces derniers.

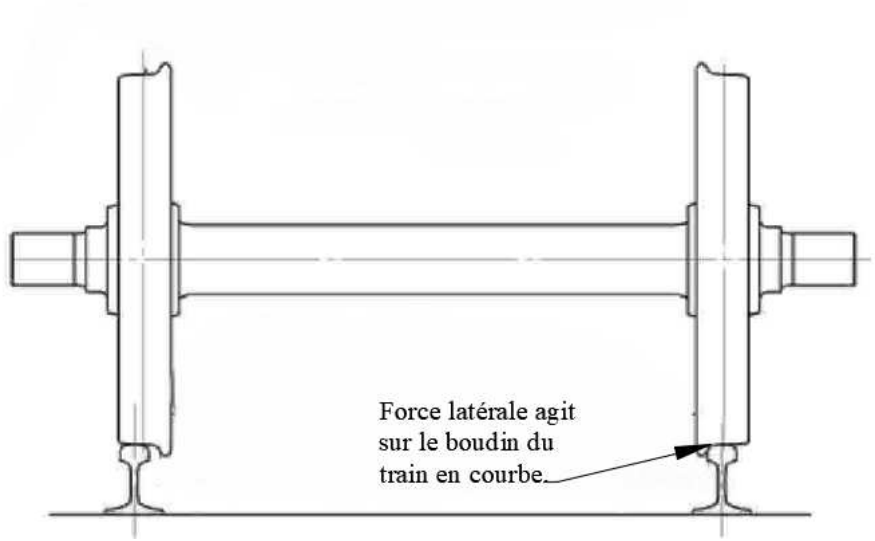


Figure X - 5 Mouvement latérale d'un essieu en courbe.

X.4 Éléments de la superstructure

X.4.1 Rails

Les rails ferroviaires sont des rails en acier profilés, destinés à former des voies ferrées lorsqu'ils sont disposés en lignes parallèles et reliés entre elles. Ces voies sont utilisées pour guider et soutenir les véhicules roulants, comme les trains et les tramways. Attachés à des traverses (en métal, bois ou béton), les rails maintiennent un écartement constant entre les deux files, assurant ainsi la stabilité du réseau ferroviaire.

X.4.1.1 Types de rails

a) Rail à double champignon :

Relativement rare, il peut être symétrique ou dissymétrique et a été employé dans certains anciens réseaux ferroviaires.



Figure X - 6 Rail à double champignon.

b) Rail à gorge :

Parmi les voies encastrées dans des chaussées routières, il est principalement utilisé pour les tramways.



Figure X - 7 Rail à gorge.

c) Rail à patin (Vignole) :

Un rail à patin ou rail Vignole est un rail ferroviaire dont la base est élargie, ce qui facilite sa fixation sur les traverses. Il s'attache directement aux traverses ou à l'aide de selles métalliques. La forme de ce rail dépend en grande partie de la nécessité d'assemblage des rails entre eux, en particulier du problème de l'éclissage, ce qui peut parfois donner une forme qui ne résiste pas bien aux efforts mécaniques. Néanmoins, l'emploi répandu de rails soudés de longueur importante **(LRS)** pourrait permettre de modifier cette forme afin d'améliorer la résistance du profil.

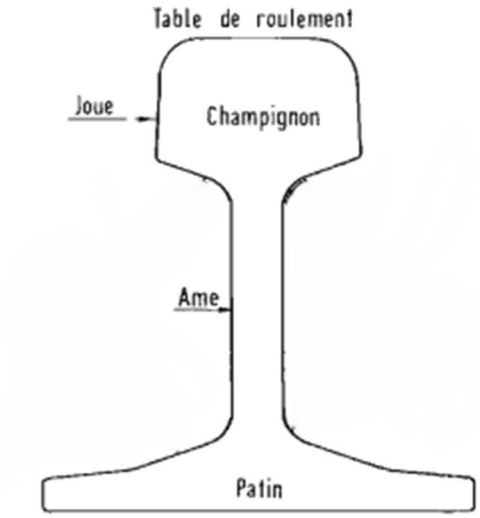


Figure X - 7 Rail Vignole.

Comme le montre la figure, un rail Vignole est constitué de trois éléments principaux :

- **Le champignon** : La partie supérieure du rail qui assure le contact avec les roues des véhicules.
- **Le patin** : La partie basse qui s'appuie sur les traverses et permet de fixer le rail à celles-ci.
- **L'âme** : La partie centrale qui relie le champignon au patin.

X.4.1.2 Écartement des rails

La distance entre les bords intérieurs des champignons des rails d'une voie ferrée est appelée écartement des rails, mesuré entre les bords internes des deux files de rails et située à 14 mm sous le plan de roulement. Nous avons établi cet écartement à 1435 mm dans notre projet, avec une erreur de +/- 2 mm.



Figure X - 7 Écartement entre les rails.

X.4.1.3 Assemblage des rails

a) L'éclissage :

L'éclissage ferroviaire consiste à assembler deux rails successifs à l'aide de deux éclisses. Les éclisses se composent de deux plaques laminées qui s'insèrent entre le dessus du patin des rails en respectant les diamètres des trous de perçage et leurs distances.

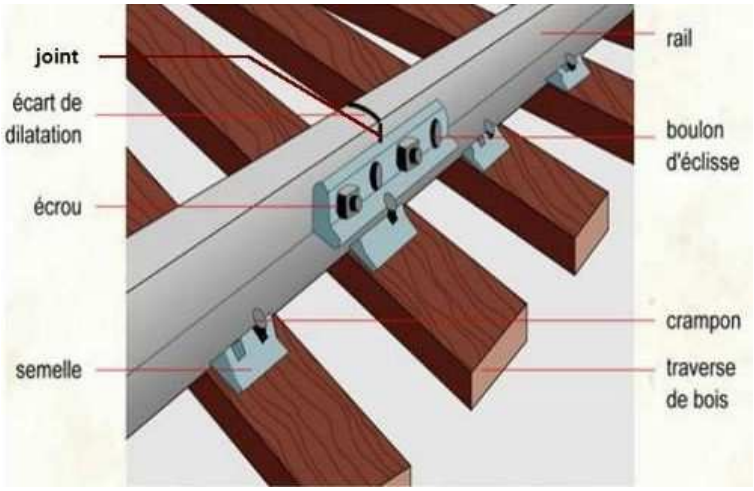


Figure X - 8 Assemblage par éclissage.

b) Soudage :

L'assemblage par soudage des rails de voie ferrée est une technique de pose moderne des voies ferrées, appelée Longs Rails Soudés **(LRS)**. À la différence de l'installation ancienne qui impliquait l'assemblage des barres par éclissage boulonné, les LRS offrent la possibilité de souder les rails sur plusieurs dizaines de kilomètres sans avoir besoin de joint de dilatation.

Les principaux bénéfices des **LRS** incluent une diminution des dépenses liées à l'entretien de la voie et une amélioration de la qualité de roulement, ce qui offre un confort accru aux voyageurs. Cependant, il faut souligner qu'en période de grand froid, il y a un risque plus élevé de rupture des rails en raison de la tension des barres.

En règle générale, les LRS ne sont pas employées sur les voies sinueuses ou sur les terrains à mauvaise stabilité afin de réduire le risque de déformations de la voie.



Figure X - 9 Assemblage par soudage.

X.4.2 Traverses

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

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

X.4.2.1 Types de traverses

a) En bois :

Elles garantissent la flexibilité et l'isolation électrique, cependant, leur désavantage réside dans leur sensibilité aux attaques atmosphériques, ce qui entraîne des frais d'entretien assez élevés.



Figure X - 10 Traverse en bois.

b) Métallique :

Profil laminé en forme de U renversé, embouti aux extrémités pour assurer la résistance latérale de la voie. L'inconvénient de ce type de traverses ce résume dans : La corrosion, conductibilité électrique, dilatation due aux écarts de température et un coût élevé.



Figure X - 11 Traverse métallique.

c) En béton :

La durée de vie des travers en béton est plus longue et leur coût est moins élevé, ce qui a entraîné leur utilisation à l'échelle mondiale. De plus, leur poids élevé garantit un bon ancrage de la voie dans le ballast. Il en existe deux types de traverses en béton :

- **Bi-bloc :** formées de deux blocs de béton reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.



Figure X - 12 Traverse bi-bloc.

- **Monobloc :** Formée en un seul bloc En béton précontraint, amincie dans sa partie centrale, armée de fils à haute résistance



Figure X - 13 Traverse monobloc.

X.4.2.2 Travelage

C'est le nombre de traverses par kilomètre. D'une manière générale le travelage est entre 1600 à 2000 traverses / Km

En Algérie 1666 traverses/Km, avec entraxe entre les traverses de 0,60 m et une marge de +/- 2 cm.

X.4.3 Les accessoires de pose transversale

X.4.3.1 La Semelle

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

X.4.3.2 Les attaches

Les attaches ferroviaires sont des équipements indispensables pour accrocher les rails aux traverses, évitant ainsi toute rotation des rails. En général, elles se composent d'un crapaud tenant un écrou fixé dans la traverse. Il y a divers types d'attaches qui conviennent aux matériaux des traverses.

Les fixations rigides comprennent les **tirefonds** et les **crampons**, principalement destinés aux traverses en bois. Les **boulons** sont employés pour les traverses métalliques et accrochent les crapauds au patin du rail de manière solide.

Les connexions élastiques, comme les **types nabla**, **E-clip**, etc., sont principalement employées pour les traverses en béton et les longs rails soudés. Ces attaches offrent une résistance élastique aux mouvements verticaux du rail, en particulier vers le haut, en absorbant les déplacements sans jeu ni chocs.

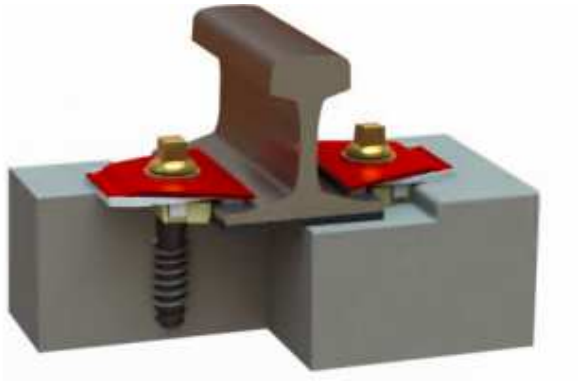


Figure X - 14 Attache élastique nabla.

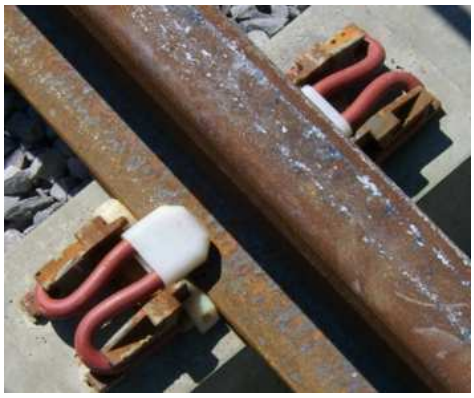


Figure X - 15 Attache élastique E-clip.



Figure X - 16 Liaison rail-traverse.

X.4.4 La superstructure pour notre projet

Pour notre projet, nous avons opté pour l'utilisation du rail Vignole **UIC 60 (60 kg/ml de rail)**, car il est largement utilisé. Les rails neufs sont installés à l'aide de longs rails soudés **(LRS).**

Tableau X - 1 Caractéristiques géométriques et mécaniques du rail UIC 60 E1.

Caractéristique	Valeur
Masse	60.34 kg/ml
Surface de la section	76,7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Épaisseur âme	16.5 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm4
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm4
Résistance à la traction	R ≥ 880 N/mm2
Allongement	R ≥ 10%
Dressage	Classe A.
Nuance	260 (carbone-manganèse)

Les traverses employées sont des traverses **V.A.X bi-blocs de type U31 NAT**, composées de deux blochets en béton armé reliés par une entretoise métallique.

Tableau X - 2 Caractéristiques des traverses.

Caractéristique	Valeur
Le poids minimum	185 kg
Charge supportée	45 000 t/jours
Durée d'utilisation espérée	50 ans
Longueur totale	2244 mm
Longueur de blochets	680 mm
Épaisseur sous rail	220 mm
Largeur à la base des blochets	290 mm

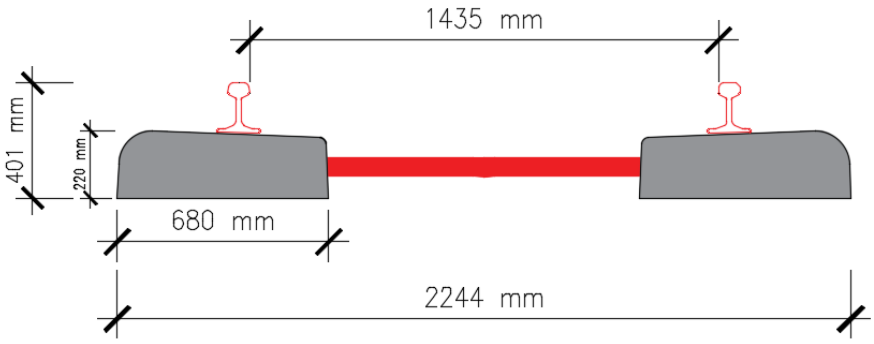


Figure X - 17 Les dimensions de la traverse.

Notre projet procède une longueur de tracé de 11 Km, donc le nombre de traverses nécessaire est environ : 18 326 traverses.

X.4.5 Appareils de voies

Les appareils de voie sont des appareils qui permettent aux trains de passer d'une voie à une autre ou de traverser une voie. Conçus à partir de rails spéciaux et d'éléments mobiles tels que les aiguilles, ils nécessitent des investissements et un entretien élevés. Conçus avec soin, ils réduisent au minimum les perturbations du trafic. Ils ont environ 30 ans de vie avec des traverses en béton.

X.4.5.1 Types d'appareils de voie

a) Branchement simple :

Comporte deux pièces mobiles terminées en pointe, sur un appareil de voie de type branchement simple on distingue trois parties :

- ✓ La partie aiguillage qui comprend les aiguilles mobiles et les contre aiguilles.
- ✓ La partie intermédiaire qui est assimilable à de la voie courante.
- ✓ La partie croisement qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails.

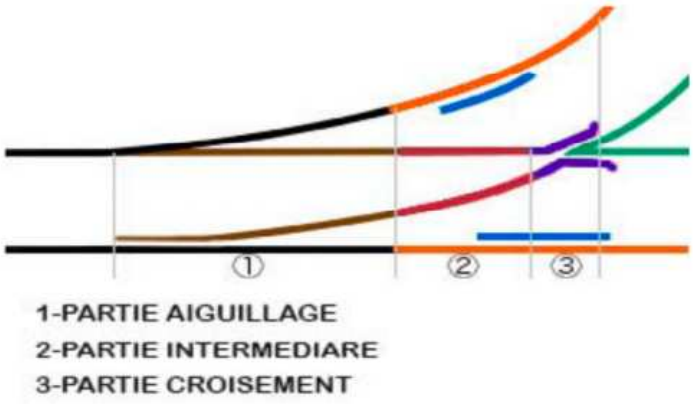


Figure X - 18 Appareil de voie type branchement simple.

a) Branchement double :

Ils sont composés de deux connexions simples intercalées. Ils peuvent être unilatéraux lorsque deux passages en déviation sont autorisés d'un côté de la voie directe, ou bilatéraux lorsque deux passages en déviation sont autorisés de chaque côté. Ils ne sont employés que lorsque la place est restreinte.

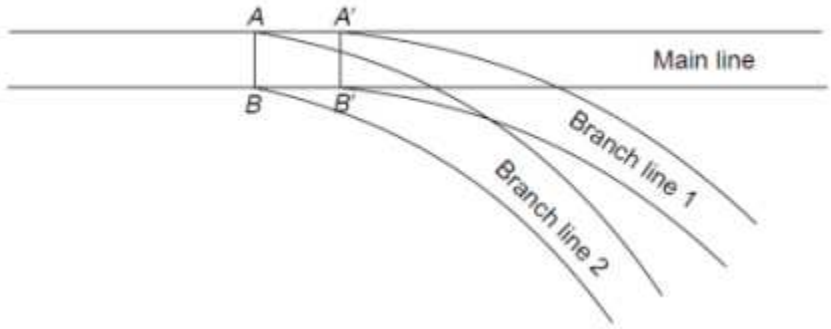


Figure X - 19 Appareil de voie type branchement double.

Mécanisme des ADV :

Les quatre étapes principales du passage d'un train à travers un appareil de voie sont les lames d'aiguillage qui déterminent la direction, le cœur où les rails se croisent, les contre-rails qui assurent la stabilité et enfin la voie courante où le train continue son parcours.

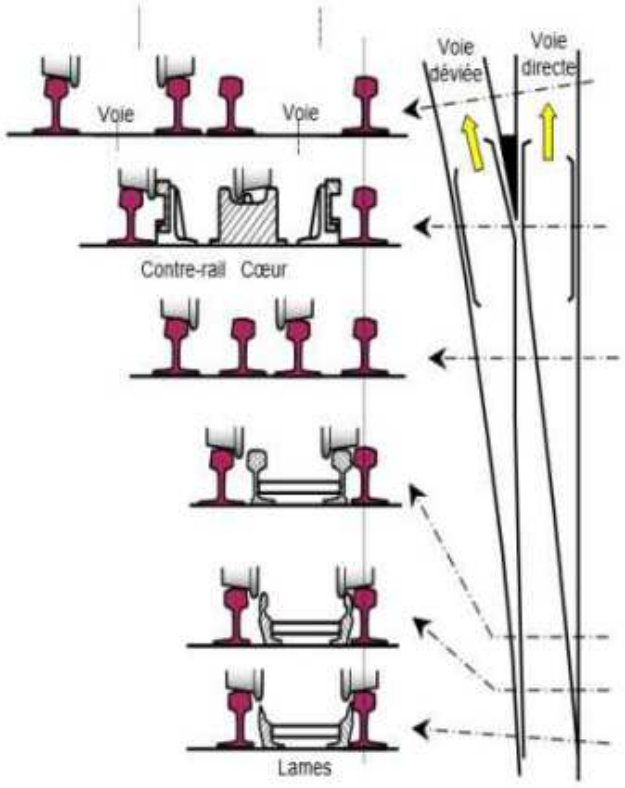


Figure X - 20 Mécanisme des appareils de voies.

b) Les traversées :

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

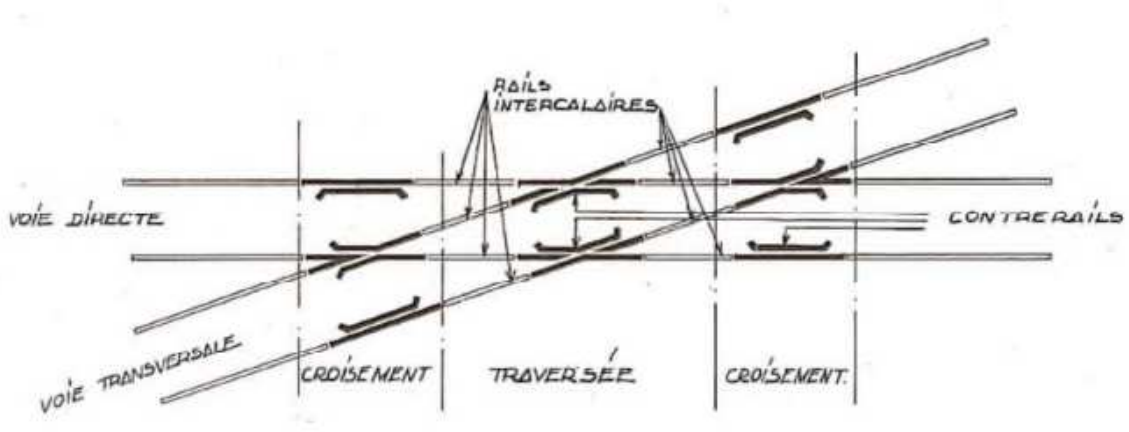


Figure X - 20 Appareil de voie type traversées.

X.4.6 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les composantes constituant la superstructure de chaque élément, ainsi que les systèmes présents à l'échelle mondiale, ainsi que le système sélectionné pour notre projet.

Rail type	UIC 60
Écartement de voie	1435 mm
Type de traverse	V.A.X bi-blocs de type U31 NAT
Système d'attache	Type NABLA

Chapitre XI : Conception de la gare CHEBAITA MOKHTAR

XI.1 Introduction

La gare de chemin de fer joue un rôle essentiel pour les voyageurs et les marchandises, ayant vu le jour avec l'expansion du chemin de fer au XIXe siècle. Les gares ne sont pas seulement des points d'arrêt, mais des lieux d'échanges économiques et sociaux. Dans ce chapitre, nous examinons les principes de conception des gares ferroviaires, en examinant leurs caractéristiques architecturales et fonctionnelles, ainsi que les tendances actuelles qui influencent leur évolution.

XI.2 Types de gares

On distingue plusieurs types de gares :

a) Gare voyageur :

- Collecte toutes les activités liées à l'accès au train.
- Donne des renseignements concernant le voyage.
- Permet l'acquisition des titres de voyage.
- Offre une variété de services commerciaux concernant les voyages.

b) Gare marchandise :

- Elles se trouvent dans des endroits industriels, agricoles et commerciaux majeurs.
- À proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des laboratoires de grande envergure.
- Réservées exclusivement au commerce de marchandises.
- Ils disposent d'entrepôts et de larges cours de débord pour le déchargement des marchandises entre les wagons et les véhicules de circulation.

c) Gare de croisement :

- Une des gares les plus petites.
- On les trouve généralement sur les chemins de fer à voie unique.
- Responsabilisées de la réception sécurisée des trains des deux côtés de la gare après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

d) Gare de triage :

- Recompose les trains dits du lotissement (qui acheminent les wagons isolés).
- Les rames de marchandises détachées de leur rame d'origine sont classées afin d'être intégrées dans de nouveaux trains de marchandises.
- Elle ne reçoit pas de voyageurs, mais seulement le personnel de la compagnie ferroviaire.

XI.3 Aménagement de la gare

XI.3.1 Installations d'une gare voyageurs

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

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

XI.3.2 Installations d'une gare marchandises

Les équipements de base d'une gare de marchandises comprennent :

- Un bâtiment de service **(BS)** pour effectuer les démarches nécessaires à l'acte commercial.
- Des cours d'embarquement et de débarquement pour les marchandises.
- Quais de débordement.
- Halle de stockage.
- Place de stationnement pour les véhicules.

XI.4 Marge de glissement à l'aval des signaux

Il s'agit du tronçon de voie qui se prolonge d'un parcours de train avec un signal fermé, et il n'est pas autorisé d'autres trains à circuler dans cette zone afin de réduire les accidents.

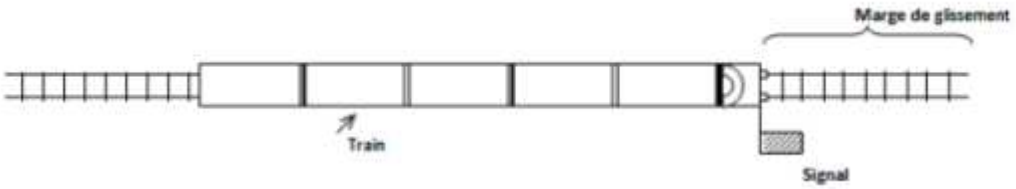


Figure XI – 1 Marge de glissement.

On utilise cette marge en fonction de la vitesse de la ligne pour l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

- ✓ LG = 200 m pour V ≥ 60 km/h (cas de notre projet).
- ✓ LG = 100 m pour 40 km/h ≤ V ≤ 60 km.
- ✓ LG = 50 m pour V < 40 km/h.

XI.5 Garage franc

Un garage franc ferroviaire est un espace de sécurité entre deux voies convergentes à un aiguillage. La limite de garage franc est une limite au sol qui limite la capacité d'un train à s'arrêter sans risquer de collision avec un autre transport. Pour éviter les collisions, il est nécessaire d'avoir une distance entre les deux voies de 3,57 mètres.

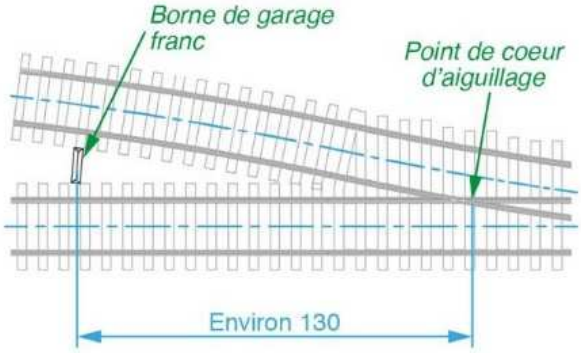


Figure XI – 2 Borne de garage franc.

Il est donné par la relation suivante :

$$\mathbf{GF} = (\mathbf{3.57} * \mathbf{N}) + \mathbf{1}$$

N = 1 / tan (α) Où α : dépend de Louverture de l'appareil de voie.

XI.6 Caractéristiques géométriques des gares

a) La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la distance dont le train doit disposer pour stationner sur la voie de dépassement sans perturber la circulation sur la voie principale ni sur les autres voies de dépassement adjacentes.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Les valeurs de la longueur utile sont représentées dans la norme **SNTF.**

- La longueur utile minimale pour les **trains voyageurs** est : **426 m**

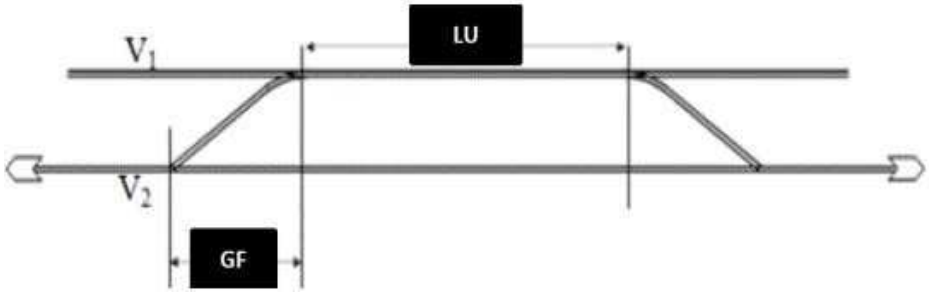


Figure XI – 3 La longueur utile d'une voie de stationnement.

b) Déclivité dans les gares : En gare, il est nécessaire de réduire la déclivité en fonction des activités qui y sont organisées. Dans notre projet, la déclivité est de 0‰ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

c) Types des appareils de voie pour notre projet :

Nous utilisons différents types d'appareils de voies dans notre projet pour concevoir la gare CHEBAITA MOKHTAR.

- **UIC 60 E1-500- 1/12 :** Nous l'avons employé de deux côtés pour rejoindre la gare, afin de garantir une vitesse adéquate aux trains qui circulent (70 km/h).
- **UIC 60 E1-300- 1/9 :** On l'utilise dans les têtes des Faisceaux pour garantir une vitesse moyenne (50 km/h) d'un côté et pour économiser de l'autre.

d) Dimensionnement du quai

Tableau XI -1 Caractéristiques géométriques de quai.

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

XI.7 Application au projet

Tableau XI - 2 Géométrie de la gare CHEBAITA.

-	Description	Gare voyageur
Longueurs de la marge de glissement	Comme V ≥ 60 km/h	LG = 200m
La longueur du quai	/	225 m
Largeur des quais	Quais A	6 m
	Quais B	6 m
Hauteur des quais	/	0.55 m
Entraxe des quais	/	14.3 m
Entraxe des voies	Vérifiant la condition	5 m (coté ADV 1/12)
	L > 0.1 V > 6 m	5 m (coté ADV 1/9)
La distance (quais/ l'axe de la voie)	/	1.65 m
La longueur utile des voies	V1	Lu =1200 m
	V2	Lu =1200 m
	V3	Lu = 484 m
	V5	Lu = 484 m
Longueur de garage de franc	Type ADV 1/9	GF = 34 m
	Type ADV 1/12	GF = 44 m

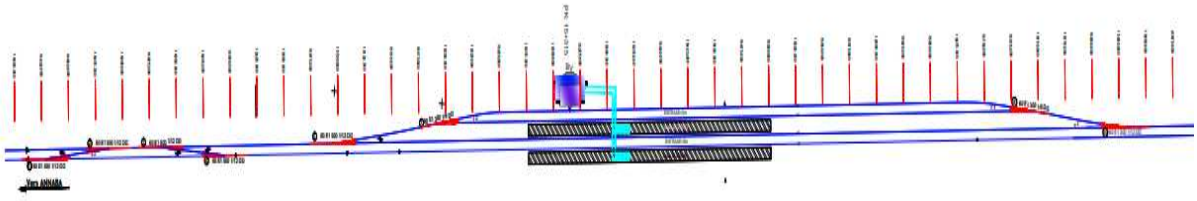


Figure XI – 4 Plan synoptique de la gare.

XI.8 Assainissement dans la gare

a) Transversalement

Afin de garantir un drainage efficace des eaux pluviales dans la gare, il est nécessaire que les quais présentent une pente de **2 %** en toit, avec une inclinaison transversale des plates-formes de **4 %**.

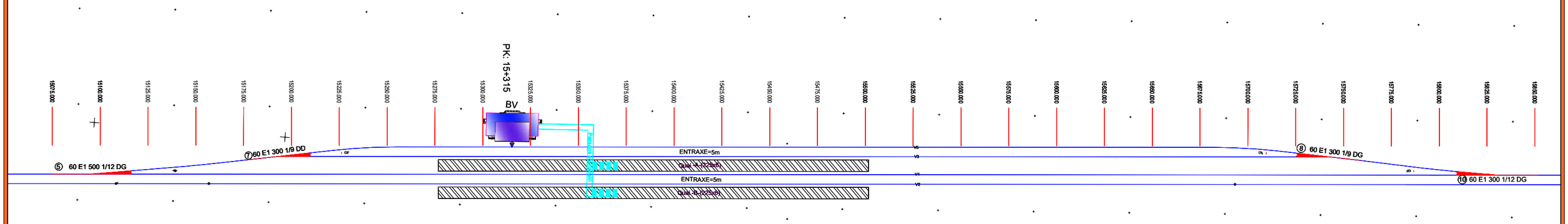
b) Longitudinalement

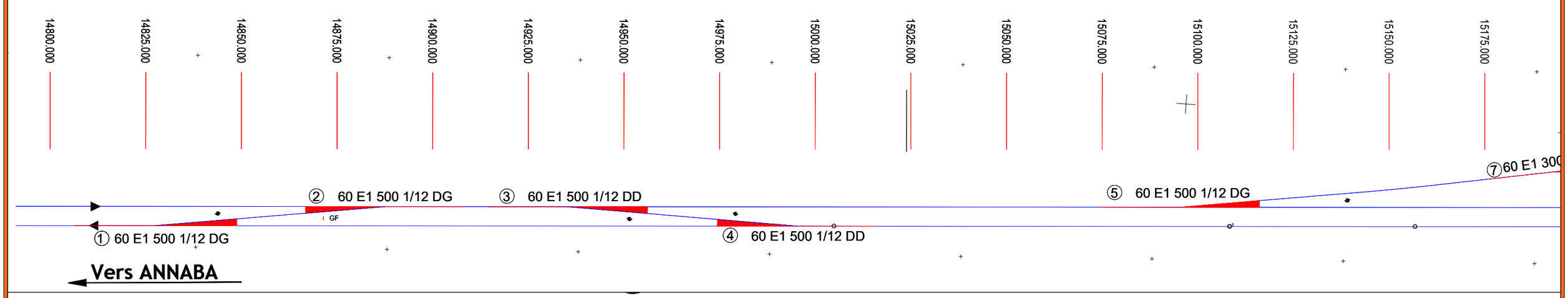
Avec des pentes de **4‰**, les drains longitudinaux sont placés pour collecter les eaux de ruissellement qui pénètrent dans le ballast et la plate-forme, puis les évacuer vers le réseau d'assainissement par les regards de visite.

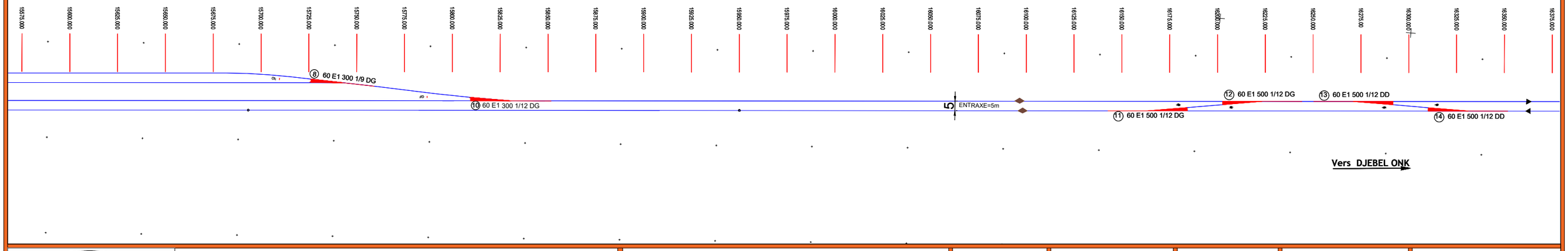
XI.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons établi la conception de la gare de CHEBAITA MOKHTAR. Les principaux éléments d'une gare peuvent être résumés dans le plan de l'image **(présentation).**

La Gare ferroviaire de Chebaita Mokhtar







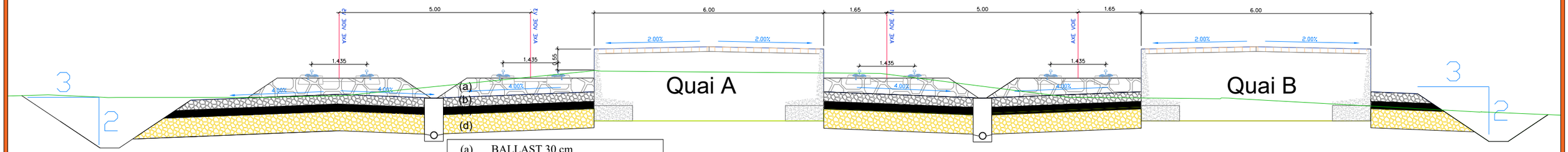
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
étude en APD de ligne minière EST-section 01 Nord ANNABA-BOUCHEGOUF tronçon : PK 10+000 au PK 21+000 avec conception de la gare Chebaita Mokhtar	MEHAIA .Y CHOUH .M	BENOUMECHIARA.S FEDGHOUCHE .F	1/1000 1/2000	04	2023/2024

Profil en travers de la gare voyageur

V5 V3 V1 V2



(a) BALLAST 30 cm
(b) SOUS BALLAST 25 cm
(c) COUCHE DE FONDATION 19 cm
(d) COUCHE DE FORM 50 cm

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

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
étude en APD de ligne minière EST-section 01 Nord ANNABA-BOUCHEGOUF tronçon : PK 10+000 au PK 21+000 avec conception de la gare Chebaita Mokhtar	MEHAIA .Y CHOUH .M	BENOUMECHIARA.S FEDGHOUCHE .F	1/100	05	2023/2024

Chapitre XII : Signalisation ferroviaire

XII.1 Introduction

La signalisation, qui est un élément essentiel de la sécurité et de l'efficacité ferroviaires, oriente les conducteurs de trains en utilisant un langage visuel précis. Elle impose, à travers des codes lumineux et des panneaux, les limites de vitesse, les arrêts obligatoires, les modifications de direction et les instructions électriques. La capacité et les performances du réseau ferroviaire sont directement influencées par ce système orchestré qui contrôle le ballet des trains et leur aiguillage.

Le progrès technologique et l'augmentation rapide des vitesses des trains ont transformé la signalisation en un système sophistiqué. L'ERTMS (Système de gestion du trafic ferroviaire européen) est issu de cette exigence d'uniformisation. L'objectif de ce système harmonisé, mis en place à travers l'Europe, est de standardiser les signalisations, ce qui renforce la sécurité et optimise la gestion du trafic ferroviaire.

XII.2 Principes de la signalisation ferroviaire

Les agents concernés, notamment les conducteurs, reçoivent des ordres ou des informations concernant la sécurité de la circulation à l'aide de signaux.

La signalisation et la sécurité des trains devront respecter les principes fondamentaux suivants:

- ✓ Garantir que les trains atteignent leur destination prévue en commandant les itinéraires.
- ✓ Garantir la sécurité de chaque circulation ferroviaire en évitant tout accident ou déraillement.
- ✓ Garantir les performances spécifiques en ce qui concerne le flux de trafic et les objectifs à atteindre.
- ✓ Garantir la circulation dans les deux directions sur une voie commune (face à face).
- ✓ La préservation des flux dans les gares (confluence, cisaillement...). Son but est de signaler.

XII.3 Systèmes de signalisation

Depuis l'apparition des chemins de fer, tous les systèmes de signalisation ferroviaire, y compris les systèmes très sophistiqués utilisés aujourd'hui, ont un concept fondamental commun : les trains ne peuvent pas se rencontrer s'ils ne sont pas autorisés à occuper la même section de voie en même temps.

XII.4 Évolution des systèmes de signalisation

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

XII.5 Fonctions des signaux

On demande aux signaux de répondre aux exigences suivantes :

a) Signaux d'arrêt :

On peut classer la catégorie des signaux d'arrêt en trois catégories :

- Signal de protection : protège l'accès à une aiguille, une zone de manœuvres et un passage à niveau.
- Signal de block : protège l'accès à une ligne séparant deux établissements.
- Signal de cantonnement (d'espacement) : protège l'accès à une section de ligne.

b) Signaux à distance :

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

XII.6 Implantation des signaux

Avant le signal d'arrêt ou afin de respecter la limite de vitesse dans la zone réglementée, il est nécessaire d'alerter le mécanicien à une distance adéquate pour appliquer les freins. C'est le rôle du signal d'annonce à distance

Ces distances sont appelées respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

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

- Du profil moyen de la partie de la voie intéressée (déclivité moyenne).
- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- Des caractéristiques de freinage des circulations.

XII.7 Types de signalisation

- **Signalisation mécanique :** Les signaux sont utilisés à l'aide d'une aile ou d'une cocarde de couleur.
- **Signalisation lumineuse :** On y emploie des panneaux à un ou plusieurs feux de couleur, habituellement placés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc circulaire.
- **Signaux à main/mobiles** (lampes, drapeaux).
- **Signaux acoustiques** (pétards, coups de klaxon).

XII.8 Fonctionnement du système

Dans les grands centres ferroviaires tels que sur les lignes, la gestion optimale de la circulation est assurée grâce à un système automatique informatisé et centralisé. Les numéros des trains sont affichés sur un écran et/ou sur un tableau de contrôle optique traditionnel à la périphérie d'une zone équipée. Lorsque les trains avancent, des localisateurs sont activés sur le terrain, ce qui permet de déplacer les numéros sur le support de visualisation. En fonction de leur avancement, des signaux sont déclenchés sur le trajet.

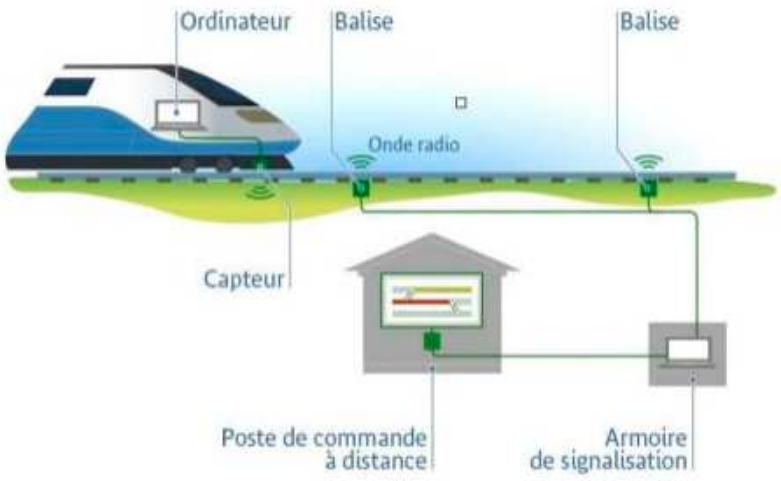


Figure XII - 1 le système de contrôle des trains ERTMS.

XII.9 Pour notre projet

Le client a opté pour le système de signalisation ERTMS Niveau 1 pour la ligne minière Est ANNABA - BOUCHEGGOUF afin de garantir le contrôle et la surveillance de la sécurité des trains trafic.

- **ERTMS Niveau 1 :** Le train obtient sa permission de circuler grâce à des balises au sol, cette permission est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres trains.

XII.10 Équipements fixés au sol

Une transmission ponctuelle est utilisée dans ce niveau, avec des balises placées au pied des signaux et en amont. Les données de signalisation sont transmises par ces balises au train. La structure du système de transmission ponctuelle est la suivante :

- **LINE – SIDE ELECTRONIC UNIT (LEU) :**

Le LEU offre la possibilité de convertir les données de signalisation au format ERTMS. Il assure la liaison entre les dispositifs de signalisation latérale et la balise. L'interface avec la balise est unifiée au niveau européen, tandis que l'interface avec la signalisation est définie au niveau national.

- **Les balises :**

Les balises ferroviaires ont un rôle important dans l'infrastructure ferroviaire contemporaine. Elles utilisent principalement la radiofréquence pour fonctionner. Un échange d'informations se produit lorsque le train traverse une balise. Cela peut englober la transmission de données concernant la vitesse autorisée, la distance jusqu'au prochain signal, ou des consignes particulières pour le conducteur.

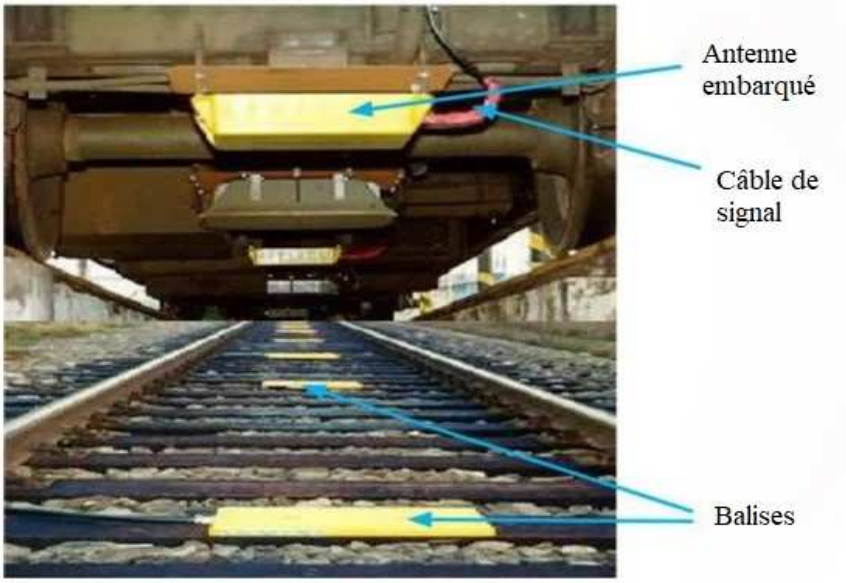


Figure XII - 2 Balises installées sur la voie.

XII.11 Équipements ERTMS à bord des locomotives

Le conducteur doit être en mesure de prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du train grâce à l'interface ERTMS. Il est question de données concernant les déplacements des trains, la vitesse, les courbes de freinage, des données auxiliaires de REFERENCE, des données sur l'itinéraire parcouru et la possibilité de saisir des données. La représentation graphique suivante illustre un exemple de configuration de l'interface homme-machine ERTMS.

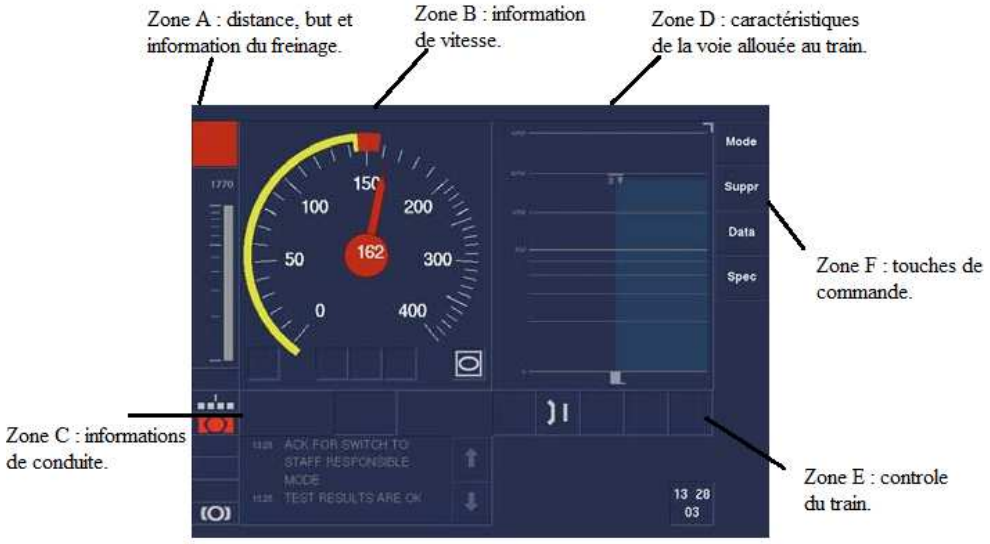


Figure XII - 3 L'interface homme Machine ERTMS.

XII.12 Conclusion

En raison de l'émergence d'outils informatiques de plus en plus performants, le secteur de la signalisation ferroviaire a connu un développement considérable ces dernières années, ce qui a joué un rôle majeur dans la réduction des accidents et la facilité de circulation du matériel roulant.

Chapitre XIII : Étude d'impact sur l'environnement

XIII.1 Introduction

En raison de la négligence des êtres humains et de l'absence de prise en compte des enjeux écologiques, la détérioration de notre planète est arrivée à un point de non-retour où les dommages causés à nos écosystèmes sont devenus irréversibles.

XIII.2 Objectifs de l'étude

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

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

XIII.3 Analyse de l'état initiale

XIII.3.1 Milieu physique

a) Climat

- **Effets directs :**

L'impact direct sur le climat est très faible. En effet, cette section du projet de la ligne minière bénéficie d'un climat méditerranéen, les conditions météorologiques varient peu au cours de l'année.

- **Effets indirects :**

L'effet indirect significatif sur le climat est bénéfique. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) seront réduites par la mise en service de la ligne, qui réduira le transport de marchandises par voie routière et favorisera l'utilisation des transports en commun au détriment des voitures individuelles. Cela aidera à diminuer les charges, à combattre la pollution et à réduire la consommation d'énergie.

- **Mesures :**

Comme il n'y a pas d'effet résiduel négatif sur le climat, il n'est pas nécessaire de supprimer, de réduire ou de compenser les effets négatifs.

b) Relief

- **Effets directs :**

Les impacts potentiels du présent tronçon de la ligne minière sont principalement fonction de la topographie locale et de la position de la ligne par rapport au terrain naturel. La topographie générale ne sera pas fortement modifiée par les aménagements, puisqu'ils se traduisent par un déboulement de la voie existante. D'autres infrastructures ont été installées pour réduire les risques de collisions et de déraillement. Au niveau des courbes, on pourra observer les travaux de terrassement, à l'endroit où le tracé dépasse le couloir de la voie existante.

- **Effets indirects :**

Le dédoublement de la voie sans amélioration du profil en long sur la plupart du tracé aura un effet positif sur le plan paysager.

- **Mesures :**

Si aucun effet résiduel permanent significatif n'est présent, il n'est pas nécessaire de prendre des mesures de suppression ou de compensation des effets négatifs. L'impact visuel des changements locaux de la topographie sera indirectement réduit par les aménagements paysagers prévus, qui peuvent être perçus comme des mesures d'atténuation.

c) Géologie - Géomorphologie - Géotechnique

- **Effets directs :**

La plupart des travaux seront effectués sur des plateformes déjà existantes, sans avoir d'incidence sur les formations géologiques existantes, en particulier sur les couches géologiques superficielles.

- **Mesures :**

Les caractéristiques des sous-sols et les mesures de confortement requises pour garantir la stabilité du milieu seront déterminées par des études géotechniques. Les actions entreprises pendant les travaux assureront la stabilité de la plateforme et des structures, sans avoir d'incidence sur la stabilité des sols environnants. Si des anomalies se produisent, des mesures compensatoires seront prises. Les eaux seront gérées par l'assainissement prévu afin de préserver la stabilité de la plateforme et des aménagements établis.

d) Hydrologie - Hydrogéologie

- **Effets quantitatifs directs :**

Plusieurs cours d'eau et affluents sont interceptés par la ligne, ce qui entraîne l'agrandissement des ouvrages de drainage afin de maintenir les écoulements.

- **Mesures :**

Il n'y a pas de recommandations en phase d'exploitation.

- **Effets qualitatifs indirects :**

En utilisant l'énergie électrique, le projet entraînera une faible émission de polluants et diminuera la circulation des camions, des voitures et des bus, ce qui contribuera indirectement à réduire les émissions de polluants. Le centre de maintenance d'Annaba, spécialisé dans le lavage et l'entretien des rames, mettra en œuvre des actions visant à emprisonner les substances polluantes et à traiter les eaux de lavage avant leur évacuation, afin d'éviter tout impact négatif sur la qualité des eaux de surface.

- **Mesures :**

Si un déversement accidentel de matières polluantes se produit, des mesures traditionnelles seront mises en place afin de préserver les réseaux et l'environnement naturel. Un plan d'action sera établi en collaboration avec les services concernés. Le centre de maintenance d'Annaba collectera les eaux de ruissellement, les purifiera (débourbage, déshuilage) avant de les rejeter dans le réseau public d'eaux pluviales.

XIII.3.2 Risque naturels

a) Météorologique

- **Effets directs :**

Le projet n'aura pas d'impact direct sur le risque météorologique.

- **Effets indirects :**

Le projet a un impact globalement bénéfique sur le climat. Cela fait partie d'une initiative de développement durable qui vise à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, qui peuvent entraîner le réchauffement climatique et entraîner une augmentation des événements climatiques extrêmes tels que les tempêtes, les orages violents, les températures extrêmes et les incendies.

- **Mesures :**

Aucune mesure n'est préconisée.

b) Sismique

- **Effets directs et indirects :**

Le projet s'inscrit en zone sismique de niveau **IIa** : sismicité moyenne.

- **Mesures :**

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa situation et de son importance vis-à-vis des objectifs fixés. Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des règles parasismiques algériennes RPA 99/2003 doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci-après :

- Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale ;
- Groupe 1B : Ouvrages de grande importance ;
- Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne ;
- Groupe 3 : Ouvrages de faible importance

Les ouvrages projetés ont été établis selon les règles parasismiques citées précédemment pour éviter tout dommage des composants de l'infrastructure.

c) Inondation

- **Effets directs :**

Des solutions adaptées ont été mises en place pour les zones inondables, sans qu'il soit nécessaire de prendre des mesures constructives supplémentaires pour ce risque. Le projet sera conforme à la législation en matière de gestion et de préservation des eaux et des milieux aquatiques, et ne doit pas accroître le risque d'inondation.

- **Mesures :**

L'assainissement et les ouvrages dédiés à la transparence hydraulique mis en place sera une composante du projet. Il peut être considéré comme une mesure d'évitement des impacts négatifs.

d) Mouvement de terrain

- **Effets directs et indirects :**

Les mesures prises en phase travaux permettront de ne pas aggraver le risque de mouvement de terrain en phase exploitation.

- **Mesures :**

Aucune mesure n'est donc à prévoir en phase d'exploitation.

XIII.3.3 Milieu naturel

Cette section englobe plusieurs zones à intérêt écologique, ainsi que les parcelles agricoles à culture maraichère

a) Faune

- **Effets directs :**

Le dédoublement de la voie existante, la réalisation des grands Ouvrages d'arts, l'installation des sous stations électriques, impliqueront la perte d'habitat boisé et humide favorable à la Reproduction et l'alimentation de la faune locale. Cette perte concerne essentiellement les oiseaux, les mammifères tels que les chauves-souris et le Hérisson d'Europe (Erinaceus europaeus), l'étourneau (Sturnus vulgaris), la Sigogne blanche (Ciconia), le Canard colvert (Anas platyrhynchos) et la Grenouille tigré africaine (Pyxicephalus adspersus).

- **Mesures :**

- Afin de préserver l'équilibre écologique des espèces présentes dans cette section, plusieurs échanges avec la faune seront prévus.
- En installant des barrières de sécurité, les populations animales seront interdites ou limitées de part et d'autre de la plateforme, ce qui réduira les risques de collisions des rames avec la faune, ce qui pourrait entraîner des dommages considérables pour le matériel, l'économie et l'environnement.

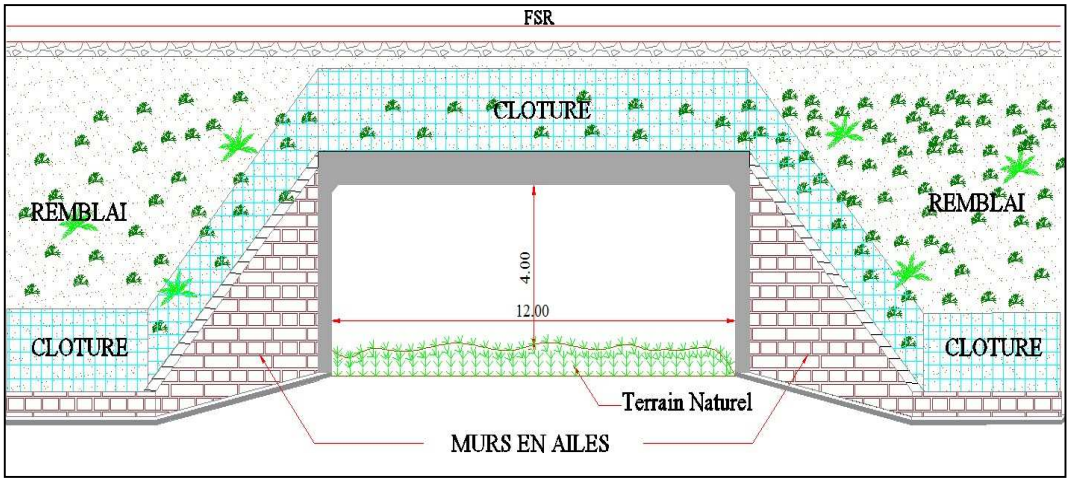


Figure XIII - 1 Coupe transversale d'un passage à faune inférieur.

XIII.3.4 Cadre socio-économique

a) Population et habitat

- **Effets directs :**

L'expropriation de quelques habitations a un impact négatif permanent.

- **Effets indirects :**

Augmentation de l'attrait du secteur minier et des autres secteurs desservis par l'amélioration de l'offre de transport de marchandises et de voyageurs, ainsi que du cadre de vie. Cela favorisera l'expansion de l'économie locale, régionale et nationale et jouera un rôle crucial dans le développement ultérieur de la démographie.

- **Mesures :**

Le code de l'expropriation prévoit une indemnisation des propriétaires dont les biens sont inclus dans les emprises définitives. La compensation peut être accordée par voie amiable ou, en cas de divergence, par l'arbitrage du juge d'expropriation. Il n'est pas nécessaire de prendre d'autres mesures, le projet ayant un effet globalement bénéfique.

b) Activités économiques

- **Effets directs :**

Facilitation des déplacements vers les pôles d'activités, augmentation du transport de marchandises vers le port d'Annaba.

- **Mesures :**

Aucun impact négatif, aucune mesure nécessaire.

c) Activités agricoles

- **Effets directs :**

Impact sur les espaces agricoles traversés, modification de la structure et fonctionnement des exploitations, déboisements permanents.

- **Mesures :**

Mise en place de passages à usage mixte (faunique-agricole) pour minimiser l'effet de coupure et maintenir l'exploitation agricole.



Figure XIII - 2 Petit pont pour le passage des engins agricoles.

d) Déchets liés à l'exploitation de la ligne minière / section Nord

- **Effets directs :**

Les gares et le centre de maintenance d'Annaba produisent des déchets, ce qui entraîne une pollution indirecte.

- **Mesures :**

  - Création d'un système de tri sélectif des déchets dans les gares et le centre de maintenance.
  - Érection de conteneurs destinés aux déchets recyclables et non recyclables.
  - Gestion et élimination des déchets à l'aide des filières d'élimination adéquates.

e) Transport de matière dangereuse

- **Effets directs :**

  - Il existe un risque d'accidents graves ayant des répercussions graves sur les individus, le matériel et l'environnement.

- Parmi les effets potentiels, on peut citer la surpression, la chaleur, la toxicité, l'infection, la radioactivité et la pollution accidentelle.
- La portée de l'effet varie en fonction de la quantité de matière dangereuse, du scénario d'accident et des caractéristiques naturelles

Mesures :

Le matériel roulant transportant des matières dangereuses doit être sécurisé conformément au RID (Règlement sur le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses).

Tableau XIII - 1 Classification de la marchandise transportée selon le **RID**.

Classes	Type de marchandise	Marchandise transporté
1	Matières et objets explosifs	-
2	gaz	Gaz de pétrole liquéfié
3	Matières liquide inflammables	Gasoil
4.1	Matière solide inflammable	Soufre
4.2	Matières sujettes à inflammation spontanée	Exemple : Coprah
4.3	Matière, qui au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables	Exemple : Potassium
5.1	Matières comburantes	Exemple : Nitrate d'ammonium
5.2	Peroxydes organiques	Exemple : Peroxyde dibenzoyle
6	Matières toxiques et matières infectieuses	Exemple : Chloroforme
7	Matières radioactives	-
8	Matières corrosives	Acide phosphorique, Fer, Phosphate, ammoniac
9	Matières et objets dangereux divers	Exemple : Polymères expansibles en granulés

f) Paysage

Effets directs :

- Les impacts en phases exploitation sont très réduits après réalisation des managements et mesures proposés dans le chapitre précédent.
- Les impacts les plus visible et dont l'effet est à long terme avant la cicatrisation paysagère sont les têtes de tunnels et la tranchée couverte.

Mesures :

Dans le cadre de la présente étude, plusieurs mesures ont été mises en évidence afin de recréer et ou compenser les milieux naturels impactés par le projet.

g) Santé publique

i. Qualité de l'air :

- **Effets directs :**

Dans le cadre de la mise en service de cette section de la ligne minière, les GES (gaz à effet de serre) vont diminuer d'une manière significatif vue que le transport des minerais sera 100 % par voie ferroviaire (arrêt du transport routier par camion) ainsi que la traction ferroviaire deviendra 100% électrique (arrêt des locomotive diésel).

- **Mesures :**

Compte tenu des impacts positifs du projet sur la qualité de l'air, aucune mesure complémentaire n'est à prévoir.

ii. Bruit :

- **Effets directs :**

La prévision des niveaux sonores sont calculées uniquement pour les voies à grande vitesse (vitesse > 220Km/h). Sauf que le bruit actuel sera diminué systématiquement du fait que :

- La vitesse max projetée pour les trains voyageurs est de : 120Km/h.
- La vitesse max projetée pour les trains marchandises est de : 80Km/h.
- Traction ferroviaire projetée : électrifiée.
- À 500 m avant les gares projetées, la vitesse max d'exploitation (Voyageur / marchandise) sera diminuée pour la sécurité des individus.
- La rugosité des roues/rail est systématiquement diminuée avec la conception de la nouvelle voie.
- Le choix de la pose de voie sur ballast et traverse en béton, diminue d'une manière significative les vibrations et les nuisances sonores.
- Les moteurs du nouveau matériel roulant sont conçus pour limiter les nuisances sonores.

- **Mesures :**

Aucune mesure n'est à prévoir.

XIII.4 Conclusion

L'étude d'impact sur l'environnement a montré que n'importe quel projet linéaire touche d'une manière ou d'une autre l'environnement, même si on est au milieu de désert.

La ligne ferroviaire certes influe et abimes-en quelque sorte l'environnement, mais elle donne d'autre part des avantages présentés essentiellement dans le gain du temps énorme qu'un individu gagne tout en diminuant la pollution des carburants de la voiture et l'insécurité routière.

Chapitre XIII :
Devis estimatif et quantitatif

N°DES PRIX	DESIGNATIONS	UNITE	PRIX UNITAIRE	QUANTITÉ	MONTANT
1 - INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1-1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1 397 357 255,66	1,00	1 397 357 255,66
1-2	Repli du matériel et des installations du chantier	F	52 400 897,09	1,00	52 400 897,09
1-3A	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	262 004 485,43	1,00	262 004 485,43
1-3B	Repliement du laboratoire de chantier	F	34 933 931,39	1,00	34 933 931,39
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					**1 746 696 569,57**
2 - ETUDES D'EXECTION					
2-1	Études d'exécution des terrassements généraux	F	125 713 535,22	1,00	125 713 535,22
TOTAL ETUDES D'EXECTION					**125 713 535,22**
3 - TERRASSEMENT GENEREAUX					
3-1	Décapage de terre végétale	M3	527,00	92 251,90	48 616 751,30
3-2	Fourniture et pose géotextile anti-contaminant	M3	1 160,00	149 600,00	173 536 000,00
3-3	Déblais mise en dépôt	M3	569,00	69810,6	39 722 231,40
3-4	Traitement des surfaces d'assise des remblais	M2	263,00	125 107,69	32 903 322,47
3-5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M3	3 375,00	31138,7	105 093 112,50
3-6	Mise en remblai de terrain meuble issu de lieux d'emprunt	M3	1 100,00	121850,3	134 035 330,00
3-7	Couche de forme	M3	1 400,00	92625	129 675 000,00
3-8	Sous ballast	M3	3 375,00	69944,4	236 062 350,00
TOTAL TERRASSEMENT GENEREAUX					**899 644 097,67**
4 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					
3-1	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1000mm	ML	150 000,00	54,00	8 100 000,00
3-2	Fossé au pied de talus en béton armé	ML	11 400,00	22 000,00	250 800 000,00
3-3	Dalot en béton armé type 1; coupe transversale 2,00 X 1,00 m/2 cellule	M3	10 135,83	38 112,78	386 304 658,91
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT					**645 204 658,91**
5 - TRAVAUX DE VOIE					

5-1	Fourniture et pose ballast	M3	7 547,68	46739,9	352 777 808,43
5-2	Fourniture des traverses bi-bloc VAX U 31	U	15 000,00	18 326	274 890 000,00
5-3	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	330 000,00	1 327,48	438 068 400,00
5-4	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	1 400,00	73 304,00	102 625 600,00
5-5	Dépose de la voie existante.	ML	2 342,00	11 000,00	25 762 000,00
5-6	Pose de voie ferrée UIC 60	ML	7 000,00	22 000,00	154 000 000,00
5-7	Fourniture d'un branchement simple	U	15 899 976,16	12,00	190 799 713,92
5-8	Dépose d'appareils de voie existants	U	553 627,50	12,00	6 643 530,00
5-9	Traverses de Garage Franc	U	40 891,56	12,00	490 698,72
TOTAL TRAVAUX DE VOIE					**1 546 057 751,07**
6 - BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					
6-1	Réalisation du bâtiment Voyageurs de la gare de CHEBAITA MOKHTAR	M2	122 732,04	378,00	46 392 711,12
6-2	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare de CHEBAITA MOKHTAR	M2	51 523,86	21 080,00	1 086 122 968,80
TOTAL BATIMENTS GARES ET AMENAGEMENT EXTERIEUR					**1 132 515 679,92**
TOTAL GENERAL (DA) HT					**6 095 832 292,36**

Montant total en (DA) HT :

Six milliard quatre-vingt-quinze million huit cent trente-deux mille deux cent quatre-vingt-douze dinars et trente-six centimes.

XV. Conclusion générale

La croissance économique et l'aménagement territorial reposent sur le développement des infrastructures de transport. Un développement harmonieux et efficace des ressources naturelles et humaines est essentiel pour assurer une répartition optimale des activités économiques, grâce à une infrastructure de transport bien développée. D'entre elles, le transport ferroviaire se démarque comme une réponse durable aux nombreux défis auxquels font face les autres modes de transport, tels que la congestion routière, les émissions de gaz à effet de serre et la sécurité des déplacements.

Pour faire face à ces difficultés, l'État a fait des investissements importants dans le secteur ferroviaire, avec des programmes de modernisation des lignes existantes et la construction de nouvelles lignes. L'étude de la ligne minière Est – section 01 Nord Annaba – Bouchegouf, du PK 10+000 au PK 21+000, fait partie de cette initiative d'amélioration et de développement.

Grâce à l'analyse approfondie de ce segment, il a été possible de contrôler et de mettre en œuvre les normes et les conditions particulières du terrain, tout en utilisant différents logiciels techniques tels qu'AUTOCAD, COVADIS, Excel, Global Mapper et Google Earth. Ces instruments ont joué un rôle crucial dans la création optimale du plan, des profils en long et en travers, ainsi que dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et des couches d'assise.

Ce travail a aussi donné l'occasion de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises pendant les années de formation, tout en les confrontant aux exigences réelles du terrain. En outre, cela a renforcé notre expertise professionnelle et amélioré notre compréhension des outils informatiques et des logiciels spécialisés, ce qui a facilité notre intégration dans le domaine des travaux publics.

Globalement, cette étude joue un rôle essentiel dans le développement des infrastructures ferroviaires, mettant en évidence l'importance d'investir constamment dans des solutions de transport durable afin de soutenir le développement économique et d'améliorer la qualité de vie des habitants.

Références

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

[2] : M.Bouabdelli, ÉTUDE EN APD DE LA NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE A VOIE UNIQUE TIARET – SAIDA.

[3] : Le bim une rupture pour le ferroviaire site web (https://assets.kpmg.co).

[4] : Site web (Geniecivilettravauxpublics.blogspot.com).

[5] : M.Saim, Thème étude du tracé de la voie ferrée Thénia Tizi Ouzou tronçon Thénia Naciria du PK 0+000 au PK 26+200.

[6] : SNCF, "Conception du tracé de la voie courante V<220km/h IN 0272.

[7] : SNTF, "Constituants de la voie," Référentiel technique. Chapitre 9 : SNTF, ed.,2005.

[8] : SNTF, "GEOMETRIIE DE LA VOIE," REFERENTIEL TECHNIQUE, 2005.

[9] : UIC, "ouvrage en terre et couche assise ferroviaire " 719 R, DE-Consult, ed., 1995

[10] : ANESRIF. "Agence nationale et de suivi de la réalisation des investissement ferroviaires,"

[11] : Cour voie ferrée de Mr.Morsli "enseignent à ENSTP".

[12] : Site web Chat GPT "chat.openai.com".

[13] : Site web Wikipédia "www.wikipedia.org".

[14] : M.EL FEKAIR, Conception et Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire Ain Beida-Khenchela du PK 00+000 au PK 10+345 à voie unique électrifie avec réaménagement de la gare Ain Beida en utilisant la technologie du BIM.

Annexe A : Listing de la géométrie de l'axe en plan .

Client : ENSTP — Préparé par : MEHAIA/CHOUH
LOGICIEL : COVADIS — Date : '06/06/2024 à 18:12:05
Nom de l'axe : — 'chemin de fer - Axe vf

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	213.83gr	1260,479	10+000.000	387823,791	4074535,748
Clothoïde 1	Paramètre	314,643	100,000	11+260.479	387552,164	4073304,885
Arc 1	Rayon	990.000 m	198,557	11+360.479	387532,263	4073206,896
	Centre X	388508.541 m				
	Centre Y	4073042.633 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-314,643	100,000	11+559.036	387519,108	4073009,109
Droite 2	Gisement	194.63gr	353,850	11+659.036	387525,856	4072909,348
Clothoïde 3	Paramètre	-319,374	100,000	12+012.886	387555,677	4072556,757
Arc 2	Rayon	-1020.000 m	188,178	12+112.886	387562,474	4072456,999
	Centre X	386543.111 m				
	Centre Y	4072420.945 m				
Clothoïde 4	Paramètre	319,374	100,000	12+301.064	387551,790	4072269,392
Droite 3	Gisement	212.61gr	141,425	12+401.064	387533,710	4072171,051
Clothoïde 5	Paramètre	328,634	120,000	12+542.489	387505,869	4072032,393
Arc 3	Rayon	900.000 m	126,439	12+662.489	387484,870	4071914,269
	Centre X	388377.102 m				
	Centre Y	4071796.271 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-328,634	120,000	12+788.928	387477,138	4071788,171
Droite 4	Gisement	195.18gr	6484,149	12+908.928	387483,547	4071668,366
Clothoïde 7	Paramètre	-300,000	100,000	19+393.076	387973,717	4065202,771
Arc 4	Rayon	-900.000 m	354,183	19+493.076	387979,428	4065102,948
	Centre X	387079.610 m				
	Centre Y	4065084.849 m				
Clothoïde 8	Paramètre	300,000	100,000	19+847.260	387917,585	4064756,522
Droite 5	Gisement	227.31gr	92,797	19+947.260	387877,687	4064664,841
Clothoïde 9	Paramètre	282,843	100,000	20+040.056	387839,089	4064580,453
Arc 5	Rayon	800.000 m	268,433	20+140.056	387799,404	4064488,683
	Centre X	388546.280 m				
	Centre Y	4064202.017 m				
Clothoïde 10	Paramètre	-282,843	100,000	20+408.489	387746,663	4064226,765
Droite 6	Gisement	197.99gr	769,463	20+508.489	387747,735	4064126,788
				21+277.953	387772,015	4063357,708
Longueur totale de l'axe 11277.953 mètre(s)						

Annexe B : Listing de la géométrie de profil en long .

Client : ENSTP
LOGICIEL : COVADIS
Nom de l'axe :

Préparé par : MEHAIA/CHOUH
Date : '06/06/2024 à 18:12:05
'chemin de fer - Axe vf

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	0.06 %	3439,051	10+000.000	10,121
Cercle 1	Rayon	80000.000 m	63,441	13+439.051	12,231
	Sommet Absc.	13+389.968 m			
	Sommet Alt.	12.216 m			
Pente 2	Pente	0.14 %	1223,414	13+502.492	12,295
Cercle 2	Rayon	-50000.000 m	70,327	14+725.905	14,015
	Sommet Absc.	14+796.233 m			
	Sommet Alt.	14.065 m			
Pente 3	Pente	-0.00 %	1554,314	14+796.233	14,065
Cercle 3	Rayon	30000.000 m	61,205	16+350.547	14,065
	Sommet Absc.	16+350.547 m			
	Sommet Alt.	14.065 m			
Pente 4	Pente	0.20 %	1340,349	16+411.752	14,127
Cercle 4	Rayon	-40000.000 m	114,082	17+752.101	16,862
	Sommet Absc.	17+833.707 m			
	Sommet Alt.	16.945 m			
Pente 5	Pente	-0.08 %	2086,181	17+866.183	16,932
Cercle 5	Rayon	7000.000 m	83,208	19+952.364	15,238
	Sommet Absc.	19+958.047 m			
	Sommet Alt.	15.236 m			
Pente 6	Pente	1.11 %	185,080	20+035.572	15,665
Cercle 6	Rayon	-30000.000 m	156,977	20+220.653	17,715
	Sommet Absc.	20+552.904 m			
	Sommet Alt.	19.555 m			
Pente 7	Pente	0.58 %	298,431	20+377.630	19,043
Cercle 7	Rayon	-50000.000 m	215,076	20+676.061	20,787
	Sommet Absc.	20+968.184 m			
	Sommet Alt.	21.640 m			
Pente 8	Pente	0.15 %	386,816	20+891.137	21,581
				21+277.953	22,177
Longueur totale de l'axe 11277.953 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 11277.984 mètre(s)					

Annexe C : Cubatures récapitulatif des cubatures des matériaux

Client : ENSTP
LOGICIEL : COVADIS
Nom de l'axe : 'chemin de fer - Axe vf

Préparé par : MEHAIA/CHOUH
Date : '06/06/2024 à 18:12:05

Matériau	Volume cumulé
BALLAST	46739,9
COUCHE DE FONDATION	31138,7
COUCHE DE FORME	92625,0
RAIL	287,0
SOUS BALLAST	69944,4
TRAVERSE	6782,1

Annexe D : Canalisation circulaires partiellement remplie

Q / Q p s	V / V p s	h /D	Q / Q p s	V / V p s	h /D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 6	1, 0 8	0, 6 2
0, 0 4 2	0, 5 0	0,1 4	0, 7 4 0	1, 0 9	0, 6 4
0, 0 5 6	0, 5 4	0,1 6	0, 7 7 3	1, 1 0	0, 6 6
0, 0 7 1	0, 5 8	0,1 8	0, 8 0 6	1, 1 1	0, 6 8
0, 0 8 8	0, 6 2	0,2 0	0, 8 3 7	1, 1 2	0, 7 0
0, 1 0 6	0, 6 5	0,2 2	0, 8 6 8	1, 1 3	0, 7 2
0, 1 2 6	0, 6 8	0,2 4	0, 8 9 8	1, 1 3	0, 7 4
0, 1 4 8	0, 7 2	0,2 6	0, 9 2 6	1, 1 4	0, 7 6
0, 1 7 1	0, 7 5	0,2 8	0, 9 5 3	1, 1 4	0, 7 8
0, 1 9 6	0, 7 8	0,3 0	0, 9 7 7	1, 1 4	0, 8 0
0, 2 2 2	0, 8 0	0,3 2	1, 0 0 0	1, 1 4	0, 8 2
0, 2 4 9	0, 8 3	0,3 4	1, 0 2 1	1, 1 4	0, 8 4
0, 2 7 7	0, 8 6	0,3 6	1, 0 3 9	1, 1 4	0, 8 6
0, 3 0 7	0, 8 8	0,3 8	1, 0 5 4	1, 1 3	0, 8 8
0, 3 3 7	0, 9 0	0,4 0	1, 0 6 6	1, 1 2	0, 9 0
0, 3 6 8	0, 9 2	0,4 2	1, 0 7 3	1, 1 2	0, 9 2
0, 4 0 0	0, 9 4	0,4 4	1, 0 7 6	1, 1 0	0, 9 4
0, 4 3 3	0, 9 6	0,4 6	1, 0 7 1	1, 0 9	0, 9 6
0, 4 6 6	0, 9 8	0,4 8	1, 0 5 7	1, 0 6	0, 9 8
0, 5 0 0	1, 0 0	0,5 0	1, 0 0 0	1, 0 0	1, 0 0

Annexe E : Classifications des sols selon UIC.

Classe de qualité des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe F : Classes de qualité des sols selon le code UIC 719R .

Type de sol (Classification géotechnique)	Classe de qualité des sols
- Sols organiques; - Sols avec plus de 15% de fins, expansifs, humides, de haute plasticité et pas compactables ; - Sols contaminés avec déchets, matière organique où residues; - Sols avec matériaux solubles (sel-gemme ou plâtre).	QS0
- Sols avec plus de 40% de fins (pas classifiables comme QS0); - Roches évolutives.	QS1 (a)
- Sols avec 15% à 40% de fins (pas classifiables comme QS0) ; - Roches friables ; - Roches peu dures (MDE > 40 et LA >40%).	QS1 (b)*
- Sols avec 5% à 15% de fins ; - Sols avec moins de 5% de fins mais uniformes (Cu ≤ 6) ; - Roches moyennement dures (25% < MDE ≤ 40% et 30% < LA ≤ 40%)	QS2
- Sols avec moins de 5% de fins ; - Roches dures (MDE ≤ 25% et LA ≤ 30%)	QS3

ANNEXE G : classification de l'agressivité selon la norme :

Classe d'agressivité	Spécifications [%]	environnement - niveau de protection
A0	0,0 - 0,24	non agressif
A1	0,24 - 0,60	faiblement agressif
A2	0,60 - 1,20	moyennement agressif
A3	1,20 - 2,40	fortement agressif
A4	> 2,40	très fortement agressif

Tableau 10 : Classification des environnements agressifs (NF P 18-011, 1992)

ANNEXE H : Qualificatif selon la teneur en matières organiques (Selon les normes P 94-058, NF P 94-055, XP P 94-047)

Teneur en matières organiques (%)	**Qualificatif**	
$C_{MO} \leq 3$	non organique	
$3 < C_{MO} \leq 10$	faiblement organique	
$10 < C_{MO} \leq 30$	moyennement organique	— *à matière organique amorphe* — *à matière organique semi-fibreuse* — *à matière organique fibreuse*
$C_{MO} > 30$	très organique	— *à matière organique amorphe* — *à matière organique semi-fibreuse* — *à matière organique fibreuse*

ANNEXE I : Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g

E	= 0.70 m = 0.55 m = 0.45 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 Pour les plates-formes de classe de portance P2 Pour les plates-formes de classe de portance P3
a	= 0 = -0.05 m = -0.10 m = -0.15 m	- Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h quel que soit le - groupeUIC) -Pour les groupes UIC 3 et 4 -Pour les groupes UIC 5, 6 et 7, 8, 9 avec voyageurs -Pour les groupes UIC 7, 8, 9 sans voyageur
b	= 0 = (2,50 – L) /2	-pour les traverses bois de longueur 2,60 m - avec L est la longueur des traverses (b en m. L en m, b peut être négatif siL > 2,50 m)
c	= 0 = -0.10 m = -0.05 m	-pour un dimensionne ment normal - à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes degroupe UIC "7, 8, 9 sans voyageur" -à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de Groupe UIC autre que"7, 8, 9 sans voyageur"
d	= 0 = +0.05 m = +0.12 m	- Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas200 KN - Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN -Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	= 0 = +0.05 m = +0.10 m	- Pour toutes les lignes à V ≤ 1 60 km/h et pour les plates-formes de portancePF3 des lignes à grande vitesse. -Pour les plates-formes de classe de portance PF2 des lignes à grande vitesse. -Pour les plates-formes de classe de portance PF1 des lignes à grande vitesse
g	= + = 0	- géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2 - (Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3