

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique LAGHOUAT-GHARDAIA du PK 212+000 au PK 228+600 avec l'aménagement et la conception de la gare de METLILI.

Présenté par :

LABACHI Billel

SAOUD Wail

Encadré par :

Mr. GOUMETTRE Ahmed

Promotion 2022 / 2023

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir notre travail dans de bonnes conditions.

Nous tenons à remercier infiniment Mr. GOUMETTRE Ahmed notre encadreur pour leur aide et leur soutien et surtout leur conseil tout au long de ce travail.

Nous remercions également tout le personnel d'INFRA FER et SETI RAIL pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage.

Nos remerciements s'adressent, également, aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Nous tenons à remercier aussi toute l'équipe de la bibliothèque pour leurs soutiens et pour les nombreux ouvrages qu'ils ont mis à notre disposition.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers tous les Enseignants et le personnel administratif de l'ENSTP qui ont contribué à notre formation et à l'élaboration de ce présent travail.

Nous tenons à remercier vivement l'ensemble du personnel de scolarité DIB et en particulier Mme Makoudi et Mme Bourebia. et tout le personnel de L'ENSTP.

Dédicace

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont accompagné jour et nuit le long parcours de mon éducation qui m'ont donné une vie pleine de joie, d'appréciations et d'encouragements, qui m'ont toujours soutenu et cru en moi, merci d'être à mes côtés mes chers parents, que Dieu le tout-puissant vous protège.

A mes frères Abd erraouf, Seif eddine et mes chères sœurs, avec lesquels j'ai partagé le mal et le bien, merci d'être là pour moi. Je vous souhaite que du bonheur et de la réussite.

A toute la famille, mes chers oncles et mes chères tantes : Hanane, Samira, Monia, Salima, Fouzia, Samia, Walid, Hasin, Faysal, Ali, Abd elouahab.

A ma grand-mère maternelle qu'Allah prolonge sa vie et lui accorde la santé.

A mon cher binôme SAOUD Wail, à qui je souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

A mon encadreur et tous les enseignant qui contribuer à ma formation.

A mes chers amis Issam, Oussama, Abd elkarim, Farid, Abd elkader, Abd elmoumen, Walid.

A tous mes collègues de L'ENSTP de la promotion 2023.

LABAHCI Billel

Dédicace

Je dédie mon travail a :

À mes chers parents,

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de vos sacrifices, de l'amour et de soutien dont vous ne m'avez jamais cessé de donner tout le long de mes années d'études. J'espère que vous trouvez dans ce travail un vrai témoignage de mon profond amour et éternelle reconnaissance.

A mes chères frères Mohammed et Oussama et Mes chères sœurs Nassima et Siham
Et spécialement Ma sœur Chams Doha.

Votre aide était une raison pour laquelle je suis ici et une raison pour écrire ce mémoire.

A toute ma famille, merci pour votre soutien.

Et dédicace spéciale au Professeur Bennour Abd Elaziz, je prie Allah le tout puissant de lui accorder le sa sainte miséricorde.

A mon binôme et mon ami Billel, Je te souhaite bonne chance dans ta vie, et merci pour les moments merveilleux.

A mon encadreur et tous les enseignant que contribuer à ma formation.

A mes tous chers amis.

A tous mes collègues de l'ENSTP.

SAOUD Wail

ملخص

هذه المذكرة عبارة عن دراسة مفصلة لخط السكك الحديدية الجديد الرابط بين ولايتي الاغواط و غرداية يمتد المقطع المدروس من النقطة الكيلومترية 212+000 الى غاية 228+600 بطول 16+600 كلم مع تهيئة محطة متليلي.

صمم هذا المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية وبناءً على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية

تم تنفيذ النمذجة الهندسية للمشروع باستخدام برامج الهندسة النمذجية والحساب: CIVIL 3D 2022 .SLIDE 6.0 .GOOGLE EARTH PRO .AUTOCAD 2022

Résumé

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude d'avant-projet détaillé (A.P.D) de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique reliant LAGHOUAT à GHARDAIA du PK 212+000 jusqu'au PK 228+600 sur un linéaire de 16+600 Km, avec la conception de la gare de Metlili.

Le projet a été élaboré suivant les normes internationales 'UIC' (Union Internationale des chemins de fer), et les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire).

La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels : CIVIL 3D 2022. AUTOCAD 2022. GOOGLE EARTH PRO. SLIDE 6.0.

Abstract

This project essentially consists of the detailed preliminary design study (APD) of the new single-track railway line linking LAGHOUAT to GHARDAIA from PK 212+000 to PK 228+600 on a linear of 16+600 Km, with the design of the Metlili station.

The project was developed according to the international standards 'UIC' (International Union of Railways), and the Algerian recommendations of the 'SNTF' (National Railway Transport Company).

The geometric modeling of the project was carried out using software: CIVIL 3D 2022. AUTOCAD 2022. GOOGLE EARTH PRO. SLIDE 6.0.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I: RECHRCHE BIBLIOGRAPHYQUE	
I.1 Introduction :.....	2
I.2 Les facteurs de l'ensablement :	2
I.2.1 Vents forts :.....	2
I.2.2 Dégradation des sols :.....	2
I.2.3 Désertification :.....	2
I.2.4 Variation des précipitations :.....	2
I.2.5 Activités humaines :.....	3
I.3 Impact de l'ensablement sur les infrastructures de transports :.....	3
I.3.1 Impact sur les voies ferrées :.....	3
I.3.2 Impact sur les routes :.....	4
I.4 Techniques de lutte contre l'ensablement :	5
I.4.1 Technique de la palissade :.....	5
I.4.2 Technique du MULCH (Fixation physico-chimique) :.....	6
I.5 Conclusion :.....	8
CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET	
II.1 Introduction :.....	9
II.2 Présentation de la zone d'étude :.....	9
II.2.1 Relief :.....	10
II.3 Présentation du projet :.....	10
II.4 Caractéristiques de la ligne :	11
II.5 Objectifs du projet :.....	11
II.6 Utilité de la ligne :.....	11
CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE	
III.1 Introduction :.....	13
III.2 Les composantes de la voie :.....	13
III.2.1 Les rails :.....	13
III.2.2 Les traverses :.....	15
III.2.3 Les attaches :.....	17
III.3 Les longs rails soudés (LRS) :.....	18
III.3.1 Soudure des longs rails :.....	19
III.4 Libération des (LRS) :.....	21
CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN	
IV.1 Introduction :.....	23
IV.2 Tracé en plan :.....	23
IV.3 Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan :.....	24
IV.4 Paramètres géométriques du tracé :.....	24
IV.4.1 Longueur minimum des éléments du tracé :.....	24
IV.4.2 Longueur minimum de raccordement progressif :.....	24
IV.4.3 Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin) :.....	25
IV.5 Le Dévers :.....	25
IV.5.1 Dévers Théorique (dth) :.....	25
IV.5.2 Dévers Pratique (dP) :.....	26
IV.6 Application au projet :.....	27

IV.6.1	Application au projet pour : R=3000m.....	27
--------	---	----

CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

V.1	Introduction :	31
V.2	Eléments géométriques du profil en long :	31
V.3	Règles à respecter dans le tracé du profil en long :	32
V.4	Paramètre du tracé à respecter :	32
V.4.1	Déclivité maximale :	32
V.4.2	Rayon admissible en raccords de profil en long :	32
V.4.3	La longueur minimale des déclivités :	33
V.5	Paramètres cinématiques du profil en long :	34
V.6	Coordination profil en long-trace en plan :	34

CHAPITRE VI : ETUDE DES CONTRAINTES

VI.1	Introduction :	35
VI.2	Les contraintes :	35
VI.2.1	Lignes électriques :	35
VI.2.2	Contraintes hydrologiques du tracé projeté :	36
VI.2.3	Routes et chemins :	37
VI.2.4	Les fibres optiques et pipeline :	37
VI.2.5	Ouvrages d'art prévues :	37
VI.3	Conclusion :	38

CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE ET GEOLOGIQUE

VII.1	Introduction :	39
VII.2	Étude géologique :	39
VII.2.1	Présentation de la zone d'étude :	39
VII.2.2	Géologie locale :	39
VII.2.3	La sismicité de la zone d'étude :	40
VII.2.4	Contraintes géologiques :	41
VII.3	Etude géotechnique :	42
VII.3.1	Sondage réalisé :	43
VII.3.2	Essai in situ :	45
VII.3.3	Essais en laboratoire :	46
VII.4	Conclusion :	49

CHAPITRE VIII : DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE FERROVIAIRE

VIII.1	Introduction :	50
VIII.2	Couche d'assise :	50
VIII.2.1	La couche de ballast :	51
VIII.2.2	La sous couche :	53
VIII.2.3	Le géotextile :	53
VIII.2.4	La couche de forme :	53
VIII.2.5	La plate-forme :	54
VIII.2.6	Classification de la plate-forme :	54
VIII.3	Dimensionnement des couches d'assise :	55
VIII.4	Application au projet :	57
VIII.5	Conclusion :	58

CHAPITRE IX : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROLIQUE

IX.1	Introduction :	59
------	----------------------	----

IX.2	Étude hydrologique :	59
IX.2.1	Caractéristique climatique :	59
IX.2.2	Bassin versant :	61
IX.2.3	Temps de concentration :	64
IX.2.4	Coefficient de ruissellement :	64
IX.2.5	L'intensité des pluies I :	65
IX.2.6	Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :	66
IX.2.7	Application au projet :	67
IX.2.7.2	Calcul des débits de projet par la méthode rationnelle :	67
IX.3	Etude Hydraulique :	69
IX.3.1	Introduction :	69
IX.3.2	Dimensionnement des ouvrages transversaux :	69
IX.3.3	Ouvrages d'assainissement longitudinaux :	74
IX.3.4	Dimensionnement des fossés :	74
IX.4	Conclusion :	76

CHAPITRE X : PROFIL EN TRAVERS

X.1	Introduction :	77
X.2	Profil en travers types :	77
X.3	Profil en travers courant :	77
X.4	Les éléments de profil en travers :	77
X.5	Profil type de notre projet :	78
X.5.1	Voie unique :	78
X.5.2	Viaducs :	78

CHAPITRE XI : TERRASSEMENTS

XI.1	Introduction :	79
XI.2	Section en déblai :	79
XI.3	Section en remblai :	79
XI.4	Etude de stabilité :	80
XI.4.1	Vérification de la stabilité des déblais et remblais (Logiciel Slide 6.0) :	80
XI.5	Remblais en zones inondable (ZI) :	82
XI.6	Calcul des volumes des terrassements :	83

CHAPITRE XII : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE DE LA GARE

XII.1	Introduction :	85
XII.2	Types des gares :	85
XII.3	Plan de mase d'une gare :	85
XII.4	Installations d'une gare voyageurs :	86
XII.5	Garage franc :	86
XII.6	La longueur utile d'une voie de stationnement :	87
XII.7	Heurtoir :	87
XII.8	Les Quais :	88
XII.9	Appareils de voie :	89
XII.10	Application au projet :	90
XII.11	Passage souterrain (PS) :	92
XII.12	Assainissement de la gare :	92

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XIII.1	Introduction :	93
XIII.2	Fonctions des signaux :	93
XIII.3	Différents types de signaux :	93
XIII.3.1	Signalisation lumineuse :	93

XIII.3.2	Signalisation mécanique :.....	94
XIII.4	Implantation des signaux :.....	94
XIII.5	Les systèmes d'espacement des trains « cantonnement » :.....	95
XIII.5.1	Les différents modes de cantonnement :.....	95
XIII.6	Les principaux signaux ferroviaires :.....	96
XIII.7	Compteur d'essieu :.....	97
XIII.8	Le système de signalisation ERTMS :.....	98
XIII.8.1	Les avantages d'ERTMS :.....	98

CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV.1	Introduction :.....	99
XIV.2	Objectifs de l'étude :.....	99
XIV.3	Description du milieu :.....	99
XIV.3.1	Milieu physique :.....	99
XIV.3.2	Milieu naturel :.....	100
XIV.3.3	Milieu humain :.....	101
XIV.3.4	Activité économique.....	101
XIV.4	Evaluation des impacts :.....	102
XIV.4.1	Milieu physique.....	102
XIV.4.2	Milieu biologique.....	103
XIV.4.3	Milieu humain.....	103
XIV.4.4	Nuisance sonore.....	103
XIV.5	Résumé des impacts positifs et négatifs des couloirs.....	104
XIV.5.1	Impacts positifs.....	104
XIV.5.2	Impacts négatifs et risques :.....	104
XIV.6	Mesures d'insertion et d'atténuation proposées :.....	104
XIV.6.1	Milieu physique :.....	105
XIV.6.2	Milieu biologique :.....	105
XIV.6.3	Milieu sonore :.....	106
XIV.7	Conclusion :.....	106

CHAPITRE XV : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CONCLUSION GENERALE	109
---------------------	-------	-----

LISTE DES FIGURES

Figure I:1 Accumulation des sables sur les rails	3
Figure I:2 Désensablement de la voie ferrée	4
Figure I:3 Visibilité réduite à cause de l'ensablement.....	5
Figure I:4 Palissade (d'arrêt /défilement).....	6
Figure I:5 Épandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra_ Touggourt) Fixation biologique.....	7
Figure I:6 Fixation biologique des sables.....	8
Figure II:1 Localisation de la Wilaya de Ghardaïa.....	9
Figure II:2 Localisation de projet.....	10
Figure III:1 Les constituant de la section transversal de rail /Profil rail du type UIC60E1	14
Figure III:2 Traverses en bois.....	15
Figure III:3 Traverses métalliques.....	16
Figure III:4 Traverses en béton (Traverses bi bloc /Traverses mono bloc)	17
Figure III:5 Attache type Nabla.....	18
Figure III:6 La machine mobile de soudage électrique	20
Figure III:7 Soudage aluminothermique	21
Figure IV:1 Les éléments de tracé en plan	23
Figure V:1 Eléments géométriques du profil en long.....	31
Figure VI:1 Exemple de réseau (Poteau électrique LHT)	36
Figure VII:1 Carte géologique d'Algérie 1/500 000(Wec Algérie, 2007).....	40
Figure VII:2 Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008).....	41
Figure VII:3Sable piégé dans les bassins versant et les lits d'oueds (Plateau de Ghardaïa) entre le Pk 216+500 et le Pk 218+600	42
Figure VII:4 Sondage S-PS	43
Figure VII:5 Puit - 40 - L -G	44
Figure VIII:1 Elément de la superstructure	50
Figure VIII:2 La forme du ballast	52
Figure VIII:3 Les composants de la structure d'assise.....	57
Figure IX:1 délimitation des bassins versants	61
Figure XI:1Calcul de la stabilité statique du déblais PK 216+750 (3.737 vérifié)	81
Figure XI:2 Calcul de la stabilité statique du remblais PK 217+475 (5.390 vérifié).....	82
Figure XI:3 Conception admise des remblais en zones inondable.....	83
Figure XII:1 Garage franc	87
Figure XII:2 Heurtoirs.....	88
Figure XII:3 Eléments constitutifs d'un appareil de voie	89
Figure XII:4 Appareil de voie UIC 60 500 1/12.....	90
Figure XII:5 Appareil de voie UIC 60 300 1 /9.....	91
Figure XIII:1 Implantation des signaux à gauche sur mat	94
Figure XIII:2 Implantation des signaux sur potence	95
Figure XIII:3 Cantonnement téléphonique.....	96
Figure XIII:4 Compteur d'essieux	97
Figure XIII:5Illustration du système ERTMS/ETCS	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III:1 Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1	14
Tableau IV:1 Valeurs minimales des éléments de tracé selon SNTF.....	24
Tableau IV:2 Paramètres géométriques de tracé en plan	27
Tableau IV:3 Récapitulatif des Paramètres du tracé.....	29
Tableau V:1 Les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil en long	33
Tableau V:2 Valeurs de la longueur minimale des déclivités	33
Tableau V:3 Valeurs des paramètres de profil en long	34
Tableau VI:1 Tableau récapitulatif des lignes électriques traversées par le tracé.....	35
Tableau VI:2 Réseau hydrographique rencontré le long du projet.....	36
Tableau VI:3 Récapitulatif de rétablissements des passages à niveaux	37
Tableau VI:4 Les fibres optiques et pipeline projetés sur la ligne.....	37
Tableau VI:5 les ouvrages d'art projetés sur le tronçon étudié pour franchir les voiries.....	38
Tableau VII:1 Zones à risque d'inondation	41
Tableau VII:2 Profondeur et description sur les sondages carottés.....	44
Tableau VII:3 Coordonnées de puits	44
Tableau VII:4 Position de pénétromètre dynamique	45
Tableau VII:5 Les résultats de l'essai SPT.....	45
Tableau VII:6 Classification UIC 719R	47
Tableau VII:7 récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages carottés	48
Tableau VII:8 paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance	48
Tableau VIII:1 La classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719).....	55
Tableau VIII:2 Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R)	56
Tableau IX:1 Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maxima et des minima pour les dix ans (2008-2018).....	60
Tableau IX:2 Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (1998- 2018).....	60
Tableau IX:3 pluies maximales journalières	61
Tableau IX:4 Caractéristiques morphologiques des bassins versants.....	62
Tableau IX:5 Coefficients partiels du coefficient de ruissellement.....	65
Tableau IX:6 Valeurs des paramètres « a » pour les différentes fréquences.....	66
Tableau IX:7 résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle.....	68
Tableau IX:8 Listing des ouvrages de drainages le long du tracé	73
Tableau IX:9 débit d'apport cas déblai.....	75
Tableau XI:1 section des déblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m.....	79
Tableau XI:2Section des remblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m	79
Tableau XI:3 Caractéristique mécanique des déblais	80
Tableau XI:4 Caractéristique mécanique des remblais.....	81
Tableau XI:5 Récapitulatif des quantités de déblais-remblais.....	83
Tableau XI:6Récapitulatif du volume des couches d'assises	84
Tableau XII:1 Caractéristique des appareils des voies	91
Tableau XII:2 Les longueurs utiles.....	91

Liste des symboles et abréviations

Symbole	Désignation	Unité
L_{\min}	Longueur minimale des alignements et des pleines courbes	m
R_{\min}	Rayon minimum de l'alignement circulaire	m
d_{th}	Dévers théorique	mm
d_p	Dévers pratique	mm
d_{\max}	Dévers maximum	mm
E	Excès de dévers	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
$\frac{\Delta d}{\Delta t}$	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dI}{dt}$	Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dd}{dl}$	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
A	Paramètre de la clothoïde	m
C	Coefficient de dévers	-
a_v	Accélération centrifuge verticale	m/s^2
$R_{v \min}$	Rayon vertical minimum	m
p	Déclivité Pente	-
GF	garage franc.	m
Lu	Longueur utile	m
W_p	Limite de plasticité	-
W_L	Limite de liquidité	-
I_p	Indice de plasticité	-
γh	Poids volumique humide	t/m^3
γd	Poids volumique sec	t/m^3
γ_{opt}	Poids volumique optimum	t/m^3
W_n	Teneur en eau naturel	-
ω_{opt}	Teneur en eau optimum	-
ϕ	Angle de frottement	°
C	Cohésion du sol	Bars
S_r	Degré de saturation	-
R_c	Résistance à la compression	Bars
$CaCO_3$	Carbonate de calcium	-
SO_4	Sulfate	-
T	Période de retour	ans
t_c	Temps de concentration	h
V	Vitesse d'écoulement	m/s
S_m	Section mouillée	m^2
P_m	Périmètre mouillé	m
R_h	Rayon Hydraulique	m
$P_{\max,j}$	Pluies maximales journalières	mm
i	L'intensité de pluie	mm/h
I	La pente moyenne	m/m
K_c	L'indice de compacité de GRAVELIUS	-
K_{St}	Coefficient de rugosité	-

Cr	Coefficient de ruissellement	-
Q	Débit de crue	m ³ /s
Qps	Débit a plein section	m ³ /s
Qa	Débit d'apport	m ³ /s

Abréviation désignation

SNTF : Société Nationale des Chemins de Fer.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

RPOA : Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art.

APD : Avant-Projet Détaillé.

FSR : Face supérieure de roulement.

ADV : Appareils de voie.

GF : Garage franc.

RN : Route nationale.

PST : Partie supérieure du terrassement.

GTR : Guide technique « Réalisation des remblais et descouches de forme ».

LA : Essai Los Angelos **MDE** : Essai Micro – deval. **CBR** : Essai de CBR.

BV : Bassin versant.

**CHAPITRE I : RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. L'ensablement

I.1 Introduction :

L'ensablement est un phénomène naturel qui se produit dans de nombreux pays, y compris l'Algérie, en raison de la présence de vastes zones désertiques. L'Algérie possède une grande partie de son territoire couverte par le Sahara, le plus grand désert chaud du monde.

L'ensablement est le processus par lequel le sable est déplacé par le vent ou l'eau et se dépose sur les terres environnantes. Les particules de sable peuvent être transportées sur de longues distances et s'accumuler dans diverses régions, y compris les zones agricoles, les villages, les routes et les infrastructures.

I.2 Les facteurs de l'ensablement :

L'ensablement en Algérie est influencé par plusieurs facteurs qui contribuent à la dispersion des particules de sable et à leur accumulation dans diverses régions du pays.

I.2.1 Vents forts :

Les vents forts sont l'un des principaux facteurs de l'ensablement. Lorsque les vents soufflent à grande vitesse, ils ont la capacité de soulever et de transporter des particules de sable sûres de longues distances, les déposant ensuite dans d'autres zones.

I.2.2 Dégradation des sols :

La dégradation des sols peut rendre les terres plus vulnérables à l'érosion éolienne. Des pratiques agricoles non durables, la déforestation, l'exploitation minière, l'urbanisation et d'autres activités humaines peuvent contribuer à la dégradation des sols, facilitant ainsi l'ensablement.

I.2.3 Désertification :

La désertification est un processus de dégradation des terres arides, semi-arides et subhumides sèches. Lorsque la désertification progresse, la végétation naturelle qui stabilise les sols diminue, exposant ainsi les terres à l'érosion éolienne et à l'accumulation de sable.

I.2.4 Variation des précipitations :

Les variations des régimes de précipitations peuvent avoir un impact significatif sur l'ensablement. Les périodes de sécheresse prolongées réduisent la végétation et la couverture végétale, augmentant ainsi la vulnérabilité des sols à l'érosion éolienne et à l'ensablement.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

I.2.5 Activités humaines :

Certaines activités humaines peuvent aggraver le phénomène d'ensablement. L'exploitation minière, la construction de routes et de bâtiments sans mesures de protection des sols adéquates, l'agriculture non durable et la surexploitation des terres peuvent contribuer à l'érosion éolienne et à l'accumulation de sable.

I.3 Impact de l'ensablement sur les infrastructures de transports :

Le phénomène d'ensablement peut avoir un impact significatif sur les infrastructures de transport, en particulier celles situées dans les régions désertiques, près des côtes ou dans les zones sujettes aux tempêtes de sable.

I.3.1 Impact sur les voies ferrées :

Le phénomène d'ensablement peut avoir plusieurs impacts sur les voies ferrées :

I.3.1.1 Accumulation de sable sur les voies :

Les tempêtes de sable peuvent entraîner l'accumulation de sable sur les voies ferrées. Cela peut obstruer les rails, perturber la géométrie de la voie et rendre la circulation des trains difficile voire impossible. L'accumulation de sable peut également entraîner une diminution de l'adhérence des roues des trains, ce qui peut augmenter les risques de déraillement.



Figure I:1 Accumulation des sables sur les rails

I.3.1.2 Obstruction des systèmes de signalisation :

Le sable soufflé par les tempêtes peut également obstruer les systèmes de signalisation le long des voies ferrées. Cela peut entraîner des problèmes de communication entre les trains et les signaux, augmentant ainsi les risques de collision ou de non-respect des signaux de sécurité.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

I.3.1.3 Réduction de la stabilité des voies :

L'accumulation de sable sur les voies peut altérer la stabilité du ballast, qui est le matériau utilisé pour soutenir les rails. Cela peut affaiblir la structure de la voie, entraînant une instabilité et une déformation de la voie, ce qui peut affecter la sécurité et la qualité du roulement des trains.

I.3.1.4 Augmentation des temps de maintenance :

En raison de l'ensablement, les opérateurs ferroviaires doivent consacrer davantage de temps et de ressources à la maintenance des voies ferrées. Cela peut inclure le nettoyage régulier des voies, le réalignement du ballast et la vérification des composants mécaniques des trains.



Figure I:2 Désensablement de la voie ferrée

I.3.2 Impact sur les routes :

Le phénomène d'ensablement peut avoir plusieurs impacts sur les routes :

I.3.2.1 Réduction de la visibilité :

Lorsque du sable est soufflé sur la chaussée, il peut réduire la visibilité des conducteurs, en particulier lors de tempêtes de sable. Une visibilité réduite augmente les risques des accidents,

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

car les conducteurs peuvent avoir du mal à distinguer les autres véhicules, les panneaux de signalisation et les obstacles sur la route.



Figure I:3 Visibilité réduite à cause de l'ensablement

I.3.2.2 Accumulation de sable dans les fossés et les caniveaux :

Lors de tempêtes de sable, le sable peut s'accumuler dans les fossés et les caniveaux le long des routes. Cela peut obstruer le drainage des eaux de pluie, augmentant ainsi les risques d'inondations et de débordements. L'accumulation de sable dans les systèmes de drainage peut également nécessiter un nettoyage régulier pour assurer un écoulement adéquat des eaux.

I.3.2.3 Risques pour la sécurité routière :

L'ensablement des routes peut rendre la conduite dangereuse, en particulier lorsque le sable n'est pas rapidement enlevé. Les véhicules peuvent perdre leur adhérence sur une surface sablonneuse, ce qui peut entraîner des dérapages et des pertes de contrôle. De plus, des accumulations importantes de sable peuvent créer des obstacles sur la route, augmentant le risque de collisions.

I.4 Techniques de lutte contre l'ensablement :

Il existe plusieurs techniques de lutte contre l'ensablement :

I.4.1 Technique de la palissade :

La palissade est un obstacle linéaire opposé au vent dominant pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation du sable en mouvement. Cette accumulation aboutit à

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

la formation d'une dune artificielle qui constitue la première phase de la lutte contre l'ensablement.

Suivant le positionnement de la palissade par rapport à la direction du vent dominant on distingue deux types de dunes artificielles :

- **La dune d'arrêt** : qui est destinée à arrêter la progression de sable. Elle se forme à partir d'une palissade orientée perpendiculairement à la direction du vent le plus dangereux.
- **La dune de défilement ou diversion** : utilisée pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant. Elle se forme à partir d'une palissade dont l'orientation fait un angle de 120 à 140° avec la direction moyenne du vent dominant. La disposition en défilement est recommandée pour le cas des routes à condition de s'assurer que le sable détourné ne risque pas d'envahir d'autre section située pas loin de la zone qui fait l'objet des travaux de protection.



Figure I:4 Palissade (d'arrêt /défilement)

Ces palissades sont réalisées le plus souvent à l'aide d'éléments Végétaux récoltés à proximité et disposés verticalement (palmes, branchages, pailles, etc., mais aussi en matériaux synthétiques. (Geogrille ou géotextile).

I.4.2 Technique du MULCH (Fixation physico-chimique) :

Cette technique consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice aussi uniforme que possible pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

- Paillage à l'aide de résidus agricoles, d'herbes, de sous-produits de l'industrie agro-alimentaire.
- Couverture en terre, cette technique utilise le tout venant des carrières pour l'étaler sur la dune.
- Couverture à base de matériaux synthétiques (films plastiques ou des mèches acryliques).
- Pulvérisation d'huiles minérales (asphalte, huile lourdes, huiles brutes) ou de latex. Stabilisation à l'aide de produits chimiques (Liants).



Figure I:5 Epannage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie ferrée contre l'ensablement (Biskra_ Touggourt) Fixation biologique

La fixation biologique est un processus durable qui permet de stabiliser définitivement l'avancée du sable. Cela nécessite de mettre en place une pépinière forestière avec un choix particulier des espèces adaptées avec un système racinaire assez développé permettant la stabilisation du sable.

Les espèces végétales utilisables doivent avoir les caractéristiques suivantes :

- Etre adaptées aux conditions locales.
- Etre rustiques et résistante à la sécheresse.
- Etre peu exigeantes en éléments nutritifs.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique

- Supporter de grands écarts de température entre le jour et la nuit.
- Etre résistantes aux vents violents, au déchaussement et à l'ensevelissement.

Les espèces locales doivent être utilisées en priorité. Lorsqu'il est impossible de trouver dans la flore locale des espèces capables d'une part de résister aux conditions difficiles de la dune et d'autre part de la fixer rapidement, le recours aux espèces exogènes pour la fixation initiale peut être envisagé. En plus de ces qualités d'ordre environnemental, d'autres d'ordre « socio - économique » sont recherchées.



Figure I:6 Fixation biologique des sables

I.5 Conclusion :

En conclusion, l'étude du phénomène d'ensablement et de ses impacts sur les infrastructures de transport (les routes, les voies ferrées), réduire la visibilité, endommager les composants mécaniques et entraîner des retards dans les opérations. Cependant, grâce à des techniques telles que les barrières physiques, la végétation adaptée, les systèmes de drainage et le nettoyage régulier, il est possible de réduire les effets de l'ensablement. De plus, une surveillance météorologique et une planification appropriée lors de la conception des infrastructures sont essentielles pour atténuer les risques liés à ce phénomène. En prenant en compte ces facteurs, nous pouvons garantir des infrastructures de transport résilientes face à l'ensablement et assurer une mobilité efficace et sûre pour les générations futures.

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II. Présentation du projet

II.1 Introduction :

La construction des nouvelles lignes, considérée dans le **Schéma Directeur Sectoriel Ferroviaire (SDSF)**, inclue la Rocade des Hauts Plateaux et leurs connexions avec la Rocade Nord et la Boucle du Sud, en plus des certaines connexions régionales.

II.2 Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude se situe au sud-Est Algérien dans la wilaya de Ghardaïa qui est située au centre de la partie Nord du Sahara algérien, elle est délimitée :

- Au nord par la wilaya de Laghouat .
- Au nord-est par la wilaya de Djelfa .
- À l'est par la wilaya de Ouargla .
- Au sud par la wilaya de Tamanrasset .
- Au sud-ouest par la wilaya d'Adrar .
- À l'ouest par la wilaya d'El Bayadh.

La population de la wilaya est concentrée dans les grandes agglomérations, chefs-lieux des communes. La vallée du Mzab regroupe plus de la moitié de la population. La population de la wilaya de Ghardaïa était de 363 598 habitants. La wilaya de Ghardaïa compte 9 daïras est compte 10 communes.



Figure II:1 Localisation de la Wilaya de Ghardaïa

CHAPITRE II : Présentation du projet

II.2.1 Relief :

Le projet se situe dans une région très peu accidentée et tectoniquement stable.

La région se distingue :

- Le grand Erg oriental : vaste dépôt de sable éolien, à l'Est et au Sud.
- Au centre : régions de vallées, où prédominent les dépôts d'alluvions
- Le plateau du M'Zab à l'Ouest
- La Hamada et Plaines.

II.3 Présentation du projet :

Le projet consiste en la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa qui entre dans le cadre de la boucle ferroviaire sud est pour le développement de l'axe de la rocade sud, Le présent projet a pour objet l'étude d'APD (Avant-projet détaillé) de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa entre les points kilométriques Pk 212+000 jusqu'à Pk 228+600 avec l'aménagement de la gare de Metlili dans le cadre de la réalisation de la ligne ferroviaire Nord-Sud.

Le tracé constitue une nouvelle liaison ferroviaire entre Laghouat et Ghardaïa avec une longueur d'environ 229 km, Cette ligne sera établie avec les normes techniques permettant une vitesse voyageur de 220km/h et une vitesse marchandises de 100 km/h.

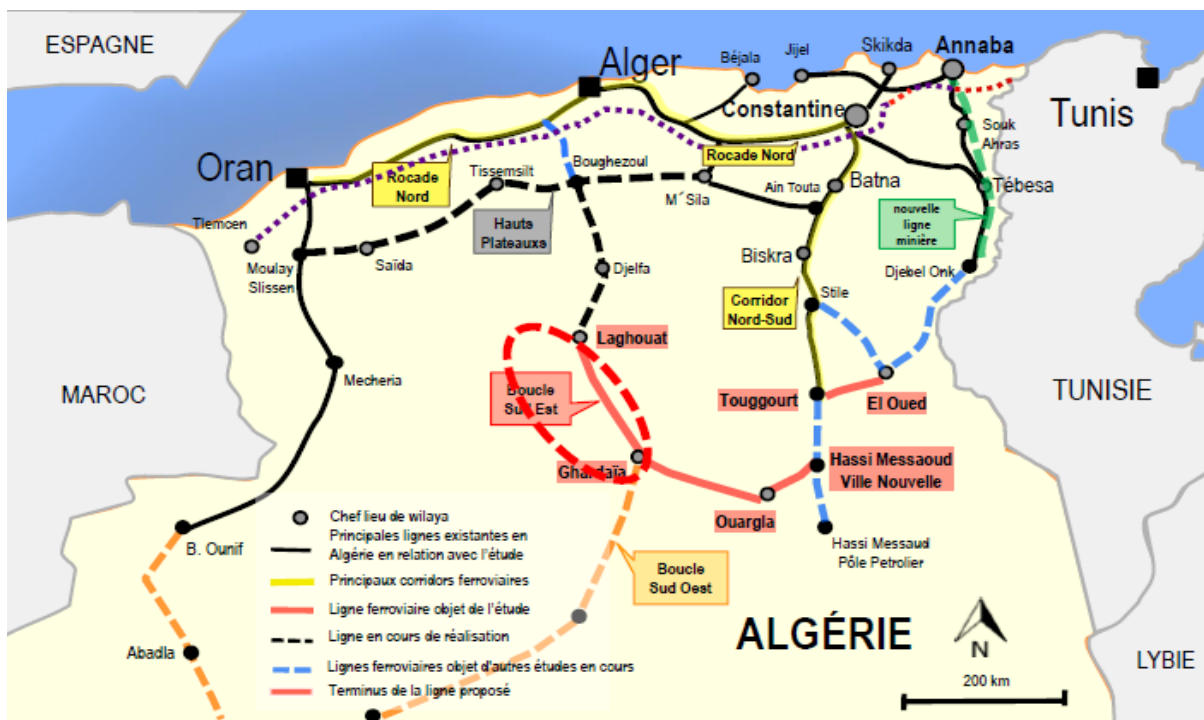


Figure II:2 Localisation de projet

CHAPITRE II : Présentation du projet

II.4 Caractéristiques de la ligne :

La nouvelle ligne est conçue comme suit :

- Caractéristiques géométriques selon SNTF et les standards UIC.
- Caractéristique de la voie : ligne mixte (voyageurs et marchandises).
- Longueur du tracé 16 600 km.
- Mode de traction prévue : Diesel, avec prévision d'une électrification future.
- Vitesse max des trains de voyageurs : 220 km/h.
- Vitesse max des trains de marchandises : 100 km/h
- Type de traverse : MONO-BLOC .
- Ecartement de la voie (standard) : 1435mm.
- Rampes et pentes : en pleine voie : maximale 16 ‰ au niveau des gares : 00 ‰
- Logiciel a utilisé dans l'étude « CIVIL3D 2022 ».
- Électrification en 25KV / 50 Hz.
- Charges à l'essieu pour la superstructure de 22.5 tonnes.
- Charges à l'essieu pour les ouvrages d'arts de 25 tonnes.
- Largeur de la plateforme : 8m.

II.5 Objectifs du projet :

Elle a pour objectif de désenclaver les zones traversées.

Contribuer à la promotion de l'investissement industriel et surtout agricole dans la Région Sud-Est du pays.

L'amélioration les performances du chemin de fer.

Relier les villes de la zone d'étude au réseau ferré.

II.6 Utilité de la ligne :

Notre ligne fait partie de la liaison Ouargla - Ghardaïa - Laghouat – Rocade Nord (Ligne Khemis-Meliana (Boumedfaâ)-Djelfa, ligne en étude) / ports du littoral a des potentialités pour le transport des marchandises industriels, miniers, et dérivées du secteur d'exploitation du secteur gazière vers le reste du pays (voir exportation).

La région dispose d'un considérable potentiel de développement industriel et de production d'énergie, et l'expression de ce potentiel serait clairement favorisée par une liaison ferroviaire

CHAPITRE II : Présentation du projet

de qualité, notamment avec les Ports (Alger et Oran) mais aussi avec la Rocade des Hauts Plateaux et la Rocade Nord.

Les énormes distances entre les lieux de production et les et lieux de destination (les grandes villes et les ports) le service ferroviaire peut être concourant à la route. Ainsi, les relations commerciales lourdes de la région avec le reste du pays vont au-delà de 200-300 km et, par conséquence, même considérant qu'aujourd'hui les produits sont essentiellement agricoles, le chemin de fer a un sens pour l'évacuation de ces marchandises.

CHAPITRE III : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

III. Superstructure de la voie

III.1 Introduction :

Une structure de voie ferrée est conçue pour fournir un transport sécurisé s'inscrivant dans une démarche de développement durable. Ceci exige que la voie supporte la masse roulante et sa répartition sur le sol en plus d'assurer le guidage des roues des véhicules par les deux files de rails, Pour obtenir ce résultat, les différents composants du système doivent assurer des fonctions spécifiques dans la structure de la voie.

Les éléments constitutifs de la superstructure de la voie sont : le ballast, les traverses, les rails Ainsi que leurs accessoires.

III.2 Les composantes de la voie :

III.2.1 Les rails :

Le rail est le premier élément entre le train et la voie, La caractéristique essentielle d'un rail est son poids au mètre linéaire. Constitue un chemin de roulement et de guidage ; ils sont également conducteurs électriques du retour traction et servent de support au courant de signalisation. La longueur des rails est de 18m et 36m.

III.2.1.1 Le rôle du rail :

- La transmission et la redistribution des charges verticales des roues aux traverses.
- Le guidage latéral des roues, donc la reprise des forces transversales et leur transmission aux traverses.
- Une surface de roulement lisse et la distribution des forces de freinage et d'accélération.
- Le retour du courant de traction sur les lignes électrifiées, ainsi que la conduction du courant des circuits de voie pour les appareils de sécurité.
- Le guidage des roues afin que les matériels roulants ne soient pas déraillés.

III.2.1.1.1 Le rail Vignole :

Le rail moderne est généralement du type « Vignole » ; dans une section transversale, on distingue le patin qui s'appuie sur la traverse, le champignon qui constitue le chemin de roulement, et l'âme, filet vertical qui relie le champignon au patin.

CHAPITRE III : Superstructure de la voie

III.2.2 Les 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. On utilise principalement des traverses en bois ou en béton.

Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre (travelage) est généralement de 1666 traverses/Km selon la SNTF, Dans le cas de notre projet les traverse sont espacé de 0.6m.

III.2.2.1 Le rôle des traverses :

- Transmission des charges au ballast.
- Maintien de l'écartement de deux files de rails.
- Maintien de l'inclinaison de 1/20 de rail Vignole.

III.2.2.2 Les différents types de traverses :

III.2.2.2.1 Traverses en bois :

Les traverses en bois constituent encore la très grande majorité des traverses utilisées dans le monde. Traditionnellement elles sont en bois dur (chêne ou plus rarement en hêtre). Le bois est apprécié pour sa résistance et sa flexibilité, pour sa facilité de mise en œuvre. Mais de durée de vie réduite (20 à 30 ans) car putrescible, il doit alors - pour cet usage - être imprégné sous pression d'un pesticide (puissant insecticide et fongicide), la créosote de goudron de houille. Pour éviter l'apparition de fentes, liées aux successions de périodes humides et sèches, on peut cercler les têtes de traverses à l'aide de feuillards métalliques, c'est le frettage.



Figure III:2 Traverses en bois

CHAPITRE III : Superstructure de la voie

III.2.2.2 Traverses métalliques :

La traverse métallique est un produit industriel de fabrication simple. Elle est constituée d'un laminé en forme de U renversé, embouti à ses extrémités, pour former des bèches qui s'enfoncent dans le ballast et s'opposent au déplacement transversal de la voie. Le rail est fixé au moyen de crapauds qui appuient sur le bord du patin. Ces crapauds sont serrés par des écrous vissés sur des boulons et la combinaison de deux ou trois modèles permet de réaliser une gamme progressive d'écartement de la voie.



Figure III:3 Traverses métalliques

III.2.2.3 Traverses en béton :

La traverse en béton, qui a une durée de vie plus importante (50 ans), fut introduite il y a plusieurs décennies pour pallier les inconvénients du vieillissement naturel du bois. Son utilisation fut appliquée alors aux lignes faiblement chargées.

L'utilisation des traverses en béton est en nette augmentation, tant à cause de leur qualité intrinsèque que pour le prix élevé des traverses en bois. Les traverses en béton, par leur poids important, assurent un bon ancrage de la voie dans le ballast. Elles sont en particulier utilisées pour les lignes nouvelles à grande vitesse. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositifs isolants en caoutchouc.

Il existe de deux types, la traverse bi-bloc et la traverse monobloc.

Dans notre projet Les types de traverses utiliser sont du type monobloc en béton précontraint pour la pleine voie. et pour les voies de service, des traverses bi-bloc de type VAX U31.



Figure III:4 Traverses en béton (Traverses bi bloc / Traverses mono bloc)

III.2.3 Les attaches :

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

III.2.3.1 Rôle des attaches :

Les attaches des rails maintiennent l'écartement et transmettent les efforts agissant sur et dans les rails aux éléments sous traverses (longrines transversales, longrines longitudinales, plaques en béton, etc.).

Dans le cas des traverses en béton, l'une des fonctions essentielles du système de fixation est l'isolation électrique du rail et du reste du châssis de voie, afin de minimiser les pertes de signaux des circuits de voie, dues à la mauvaise isolation du rail par rapport au sol support. L'isolation électrique doit, bien entendu, être garantie même pour des conditions atmosphériques pluvieuses et humides.

III.2.3.2 Le type d'attaches utiliser dans notre projet :

Les attaches élastiques employé sont de type NABLA, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre rail et le traverse « semelle », et une Butée en plastique ; Pour assurer le maintien latéral du rail.



Figure III:5 Attache type Nabla

III.3 Les longs rails soudés (LRS) :

Les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs dizaines de kilomètres. C'est la méthode de pose adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.

Depuis les origines du chemin de fer, la dilatation des rails a été source de désagrément pour les exploitants ferroviaires. Comme, de toute façon, la technologie alors disponible ne permettait pas d'avoir de longs rails, ce problème fut résolu en laissant, aux joints entre les rails, un espace suffisant à leur libre dilatation. Une voie posée selon cette méthode est dite en « barres normales ».

Cependant, les joints, du fait de cette discontinuité du roulement, entraînent des chocs au passage des roues. Outre l'inconfort ressenti par les passagers, ces chocs entraînent une usure des constituants du joint ainsi que du ballast sous les traverses supportant le joint et nécessitent un entretien très régulier.

Les exploitants ont donc toujours cherché une solution pour supprimer les joints. C'est ainsi que, dès les années 1930, fut théorisé le fonctionnement des LRS. Mais les matériaux de l'époque, en particulier les attaches rigides, n'assuraient pas un maintien suffisant et ne permettaient donc pas une mise en œuvre aisée de cette nouvelle technique. Il fallut attendre la mise au point des attaches élastiques pour reprendre l'expérimentation puis passer à la généralisation du procédé.

CHAPITRE III : Superstructure de la voie

III.3.1 Soudure des longs rails :

Les rails doivent être soudés bout à bout pour éviter les chocs au passage des joints, ainsi que la détérioration des galets et des pièces mécaniques des engins roulants.

On a deux types de soudure sont employés le soudage(électrique)et le soudage aluminothermique :

III.3.1.1 Soudage électrique :

Le soudage par électrique est réalisé à poste fixe ou à l'aide de machines mobiles. Le matériau à rails est chauffé et soudé par le courant électrique, aussi le cordon de soudure est-il réalisé dans le même matériau que les rails.

Principe :

- Dressage et encastrement des extrémités des rails.
- Brulage des extrémités des rails et réchauffement par le passage du courant.
- Réalisation du joint par refoulement (forgeage).
- Réchauffement supplémentaire avec des impulsions de courant, ou refroidissement selon des gradients de température prédéfinis (pour obtenir une structure cristalline optimale).
- Ébavurage mécanique.
- Meulage du joint de soudure.

III.3.1.1.1 Soudure avec la machine mobile de soudage par étincelage-forgeage :

La machine mobile de soudage par étincelage-forgeage permet de souder des rails déjà posés en voie ; de nombreux réseaux l'utilisent donc pour réaliser des voies constituées de longs rails soudés.



Figure III:6 La machine mobile de soudage électrique

III.3.1.2 Soudage aluminothermique :

Le soudage par aluminothermie est un procédé de soudage des rails bout à bout.

Le produit utilisé est un mélange d'oxydes métalliques, d'éléments d'alliages et d'additifs particuliers. Ceux-ci réagissent pour former le métal simultanément à une réaction exothermique pour produire l'acier fondu qui formera la soudure.

Les rails à souder sont alignés en laissant un espace précis entre leurs extrémités.

Procédure :

- **Préchauffage :** Avec un bruleur spécialement conçu, les moules et les bouts de rails sont préchauffés pendant un temps précis, en fonction de la section du rail, pour atteindre la température correcte pour le soudage.
- **Mise à feu :** Lorsque la température de préchauffage correcte est atteinte, la réaction est amorcée dans le creuset à l'aide d'un tison spécial.
- **Soudage :** Au moment adéquat, le bouchon fusible au bas du creuset libère l'acier en fusion dans le moule par le passage prévu.
- **Tranchage du rail :** Le tranchage est réalisé lorsque la soudure a pris et avant qu'elle ne soit refroidie. Le tranchage se fait sur la surface de roulement, les côtés de la tête du rail et les pipes restantes.
- **Moulage du rail :** Immédiatement après le tranchage, un meulage rapide est effectué sur la tête du rail est meulée et ramenée aux dimensions précises du profil.



Figure III:7 Soudage aluminothermique

III.4 Libération des (LRS) :

Pour limiter les contraintes, la pose des barres longues devrait idéalement se faire à une température moyenne entre les extrêmes attendus appelée « température de référence ». Cette température de référence est, par exemple, en général de 25 °C.

Pour ce faire, la pose de rails est suivie d'une opération appelée « libération des contraintes » visant à homogénéiser les contraintes à l'intérieur du rail et à le fixer ensuite conformément à la température de référence souhaitée.

L'homogénéisation des contraintes est obtenue de la façon suivante :

- On détache le rail des traverses ;
- On insère des rouleaux sous le rail afin qu'il puisse librement se déplacer dans le sens longitudinal ;
- On le met en vibration en le frappant à l'aide de masses caoutchoutées prévues à cet effet.

Ensuite, en fonction de la température réelle du rail :

- Si elle est proche de la température de référence idéale, on fixe à nouveau les rails tels quels et l'on soude (Libération à température naturelle) ;

CHAPITRE III : Superstructure de la voie

- Si elle est inférieure (cas le plus fréquent car on évite ce type de travaux par temps chaud), les rails sont mis en traction à l'aide de vérins hydrauliques afin de compenser la différence avec la température de référence puis on fixe à nouveau les rails et l'on soude (Libération à l'aide de vérins hydrauliques) ;
- Si enfin elle est trop élevée, on effectue une libération à température naturelle. Ce type de pose entraîne l'inconvénient de devoir revenir, lorsque les conditions de température réelle le permettent, effectuer une nouvelle libération afin d'être conforme à la température de référence idéale. Si cette nouvelle libération n'est pas effectuée à temps, on risque, lors des premiers grands froids suivants, des ruptures du rail dues à de trop fortes contraintes de traction.

Remarque : dans le chapitre structure d'assise. Nous allons voir la plateforme, la sous couche, la couche de fondation et le ballast.

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN

IV. Tracé en plan

IV.1 Introduction :

L'étude géométrique d'un tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de chercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement. Afin d'obtenir une vitesse régulière sur un tronçon de ligne, il est nécessaire d'établir un tracé dont les caractéristiques géométriques sont homogènes. Les fréquents changements du tracé (alignement, courbe de raccordement, courbe circulaire), ainsi que les éléments géométriques de courte longueur ont une influence négative sur la marche des véhicules et le confort des usagers tout en compliquant l'entretien de la voie.

IV.2 Tracé en plan :

Le tracé en plan d'une voie ferrée est la projection orthogonale sur un plan horizontal de l'axe de la voie. Il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

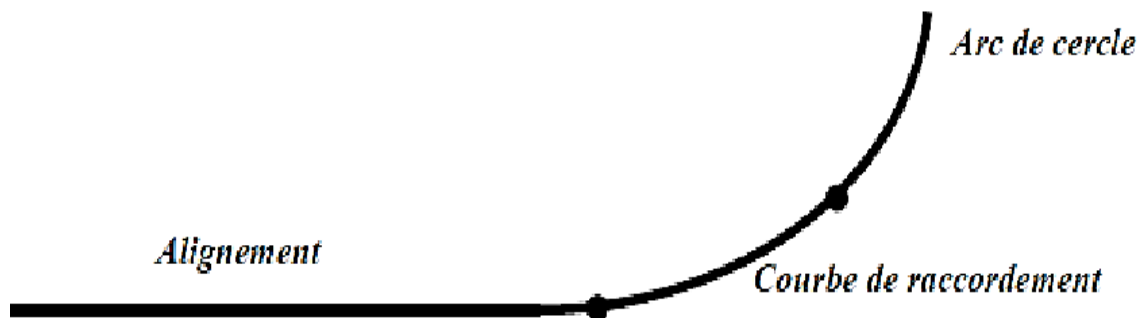


Figure IV:1 Les éléments de tracé en plan

Dans les voies mixtes, le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

V_{\max} : vitesse des trains rapides (voyageurs).

V_{\min} : vitesse des trains lents (marchandises).

Pour notre projet : $V_{\max} = 220 \text{ Km/h}$ et $V_{\min} = 100 \text{ Km/h}$.

IV.3 Conditions et règles à respecter dans le tracé en plan :

Dans ce qui suit, sont rappelées certaines exigences qui sont importantes pour faire un bon tracé, et aussi un tracé économique et technique.

- Comme c'est une étude en APD, on ne doit pas sortir du couloir choisit.
- Respecter les territoires traversés en adaptant le tracé au relief (topographie) existant.
- Eviter le maximum le franchissement des oueds et des routes dans la mesure possible afin d'éviter la réalisation d'ouvrages d'art.
- Eviter le passage sur terrains agricoles, zones forestières, et les propriétés privées.
- Adapter le tracé en plan au terrain naturel ; suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes des terrassements.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements droits et respecter la longueur minimale.
- Eviter le passage sur les zones de grande importance tel-que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques.
- Assurer la sécurité et le confort des usagers.

IV.4 Paramètres géométriques du tracé :

IV.4.1 Longueur minimum des éléments du tracé :

Les longueurs minimales des alignements ont été fixées pour les éléments de tracé Afin d'amortir suffisamment le roulis de la caisse des trains.

Tableau IV:1 Valeurs minimales des éléments de tracé selon SNTF

Valeur Normale (m)	Valeur Exceptionnelle (m)
$\frac{V_{\max}}{2} = \frac{220}{2} = 110 \text{ m}$	$\frac{V_{\max}}{3} = \frac{220}{3} = 73.33\text{m}$

IV.4.2 Longueur minimum de raccordement progressif :

La longueur d'un raccordement progressif est définie par les paramètres suivants :

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

CHAPITRE IV : Tracé en plan

La longueur d'un raccordement progressif est calculée par les différentes formules suivantes :

$$L_{\min} \geq \frac{dp \times V_{\max}}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}} \quad \text{d'où : } L_{\min} \geq \frac{dp}{\frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

IV.4.3 Rayon minimum de l'alignement circulaire (R_{\min}) :

La valeur du rayon minimum admissible dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants.

Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, Le rayon minimum est calculé par la formule suivante :

$$R_{\min} = \frac{11.8 \times V_{\max}^2}{d_{\max} + I_{\max}}$$

R_{\min} : Rayon minimum de courbe(m).

V_{\max} : vitesse des trains rapide (km/h).

d_{\max} : Dévers maximal (mm).

I_{\max} : insuffisance de dévers maximum (mm).

IV.5 Le Dévers :

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

IV.5.1 Dévers Théorique (d_{th}) :

Le dévers théorique qui annule totalement l'effet de la force centrifuge lors d'un passage du train. Il est également appelé « dévers d'équilibre » noté « d_{th} » et donné par la formule suivante:

$$d_{th} = \frac{11.8 \times V^2}{R_{\min}}$$

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

IV.5.2 Dévers Pratique (d_p) :

Pour un trafic mixte les trains roulent à des vitesses différentes (vitesse voyageurs, marchandises). Il est donc impossible de rouler avec dévers théorique. Cela nous conduit à la notion du « dévers pratique » ou bien « dévers réel » noté « d_p », ce dévers doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que les trains lents de fret. Le dévers pratique est calculé par la formule suivante :

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R}$$

Avec :

R : rayon de courbure en (m).

C : coefficient de dévers ; $C = 0.006 V^2$, doit être multiple de 15. Avec V : en (km/h).

Le coefficient C représente la proportionnalité entre le dévers pratique et la courbure.

Selon la SNTF pour les projets avec des vitesses inférieures ou égales à **220km/h** ; le dévers maximum est limité afin de ne pas perturber le confort des voyageurs et d'éviter le déplacement de marchandises lors de l'arrêt impromptu du train fret dans une courbe, donc est limité à **$d_{max}=160mm$** .

Aussi le dévers pratique doit être : **$0.5d_{th} \leq d_p \leq 0.7d_{th}$**

La mise en œuvre du dévers pratique permet de :

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

Tableau IV:2 Paramètres géométriques de tracé en plan

	Formule		Application	
		Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Dévers maximal d_{\max} (mm)	-	-	160	180
Insuffisance de dévers maximum : I_{\max} (mm)	-	-	150	160
Excès de dévers E_{\max} (mm)			110	130
Rayon minimal (m)	$\frac{11.8 \times V_{\max}^2}{d_{\max} + I_{\max}}$	$\frac{11.8 \times V_{\max}^2}{d_{\max} + I_{\max}}$	1842	1680
Longueurs minimales des alignements et des pleines courbes (m)	$\frac{V_{\max}}{2}$	$\frac{V_{\max}}{3}$	110	73
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps (mm/s)	-	-	75	90
Variation de dévers en fonction du temps (mm/s)	-	-	50	60
Variation de dévers en fonction de la longueur (mm/s)	$\frac{180}{V_{\max}}$	$\frac{216}{V_{\max}}$	0.818	0.982

IV.6 Application au projet :

IV.6.1 Application au projet pour : $R=3000m$.

Calcul le dévers pratique :

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R}$$

Avec C : le coefficient de dévers

$$C = 0.006 \times V_{\max}^2 ; C = 0.006 \times 2202 = 290.4$$

C doit être multiple de 15 ; donc soit $C = 300$.

$$D'où : d_p = \frac{1000 \times 300}{3000} = 100 \text{ mm} < d_{\max} = 160 \text{ mm} \longrightarrow \text{vérifié}$$

Calcul du dévers théorique des trains rapides (avec $V_{\max} = 220\text{km/h}$) :

$$d_{\text{th}(r)} = \frac{11.8 \times V^2}{R_{\min}} = \frac{11.8 \times 220^2}{3000} = 190.37 \text{ mm.}$$

$$d_{\text{th}(r)} = 190.37 \text{ mm.}$$

Calcul du dévers théorique des trains lents (avec $V_{\min} = 100 \text{ km/h}$) :

$$d_{\text{th}(l)} = \frac{11.8 \times V^2}{R_{\min}} = \frac{11.8 \times 100^2}{3000} = 56.64 \text{ mm.}$$

$$d_{\text{th}(l)} = 56.64 \text{ mm.}$$

Calcul de l'excès de dévers E :

$$E = d_p - d_{\text{th}(l)} = 100 - 56.64 = 43.36 \text{ mm} < E_{\max} = 110 \text{ mm} \longrightarrow \text{vérifié}$$

Calcul de l'insuffisance de dévers I :

$$I = d_{\text{th}(r)} - d_p = 190.37 - 100 = 90.37 \text{ mm} < I_{\max} = 150 \text{ mm} \longrightarrow \text{vérifié}$$

Calcul la longueur minimale et le paramètre de raccordement progressif :

$$L_{rp} = \frac{d_p}{\frac{dd}{dl}}$$

Avec la variation de dévers en fonction de la longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{180}{V} = \frac{180}{220} = 0.818 (\text{mm/m}).$$

$$L_{rp} = \frac{100}{0.818} = 122.25 \text{ m.}$$

On prend : $L_{\min} = 130 \text{ m.}$

Paramètre de la clothoïde A :

$$A = \sqrt{R \times L_{\text{adopté}}} = \sqrt{3000 \times 130} = 624.5.$$

Variation de dévers :

En fonction du temps :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{d_p \times V_{\max}}{3.6 \times L_{\text{adopté}}} = \frac{100 \times 220}{3.6 \times 130} = 47 \text{ mm/s} < 50 \text{ mm/s.}$$

En fonction de la longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{d_p}{L_{\text{adopté}}} = \frac{100}{130} = 0.77 \text{ mm/m} < 0.818 \text{ mm/m.}$$

CHAPITRE IV : Tracé en plan

Variation de l'insuffisance de dévers :

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_{adopté}} = \frac{90.37 \times 220}{3.6 \times 130} = 42.48 \text{ mm/s} < 75 \text{ mm/s} .$$

Les mêmes calculs sont faits pour les autres rayons, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV:3 Récapitulatif des Paramètres du tracé

Rayon(m)	C	dp adopté (mm)	I(mm)	E(mm)	L adopté (mm)	$\frac{dd}{dt}$ ($\frac{mm}{s}$)	$\frac{dd}{dl}$ ($\frac{mm}{m}$)	$\frac{dI}{dt}$ ($\frac{mm}{s}$)	Vmax(km /h)
3000	300	100	90.37	60.67	130	47.00	0,77	42,48	220
6000	300	50	45.19	30.33	70	43.65	0,71	39,45	220
3600	300	90	68.64	57.22	120	45.83	0,75	34,96	220
1000	165	160	137	47	300	48.89	0.53	40.60	160

Dans notre tracé on a été obligé de réduire le **dernier** rayon jusqu'au R= 1000m, pour respecter le levé topographique donné, et pour ne pas sortir du couloir choisit.

La réduction du rayon implique la diminution de la vitesse, après le calcul on a opté pour une vitesse ≤ 160 Km /h.

Pour le raccordement progressif :

Si $\Delta C > \frac{2000}{V_{max}^2} = \frac{2000}{220^2} = 0.041$: les courbes de raccordement sont recommandées.

Si $\Delta C > \frac{9000}{V_{max}^2} = \frac{9000}{220^2} = 0.1859$: pour $V_{max}^2 \leq 100$ Km /h } les courbes de raccordement
 $\Delta C > \frac{7000}{V_{max}^2} = \frac{7000}{220^2} = 0.1446$: pour $V_{max}^2 > 100$ Km /h } sont obligatoire.

Avec la valeur de ΔC pour un Alignement / courbe est calculée comme suit :

$$\Delta C = \frac{1000}{R}$$

Avec la vitesse admissible est : $V_{adm} = \sqrt{\frac{4000}{\Delta C}}$

CHAPITRE IV : Tracé en plan

Pour notre projet : $V_{max} = 220 \text{ km/h} > 100 \text{ km/h}$.

On a: $R_1 = 3000\text{m}$.

$$\text{Donc } \Delta C = \frac{1000}{3000} = 0.333 > 0.144$$

Et : $R_2 = 6000\text{m}$.

$$\text{Donc } \Delta C = \frac{1000}{6000} = 0.167 > 0.144$$

Pour : $R_3 = 3600\text{m}$

$$\text{Donc } \Delta C = \frac{1000}{6000} = 0.167 > 0.144$$

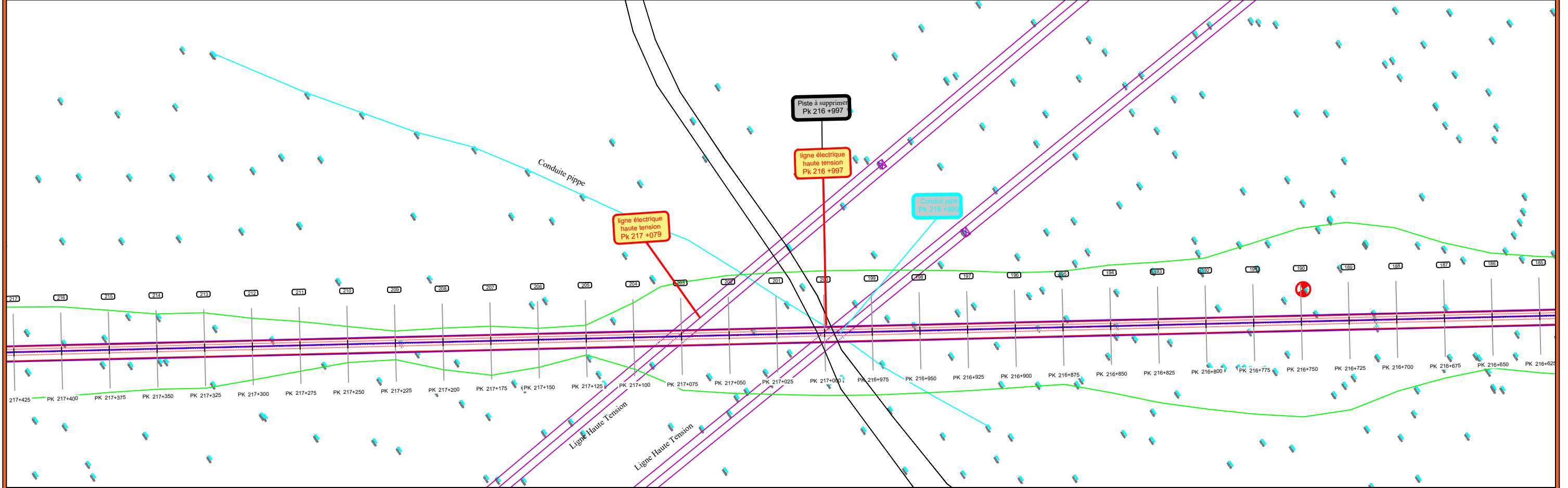
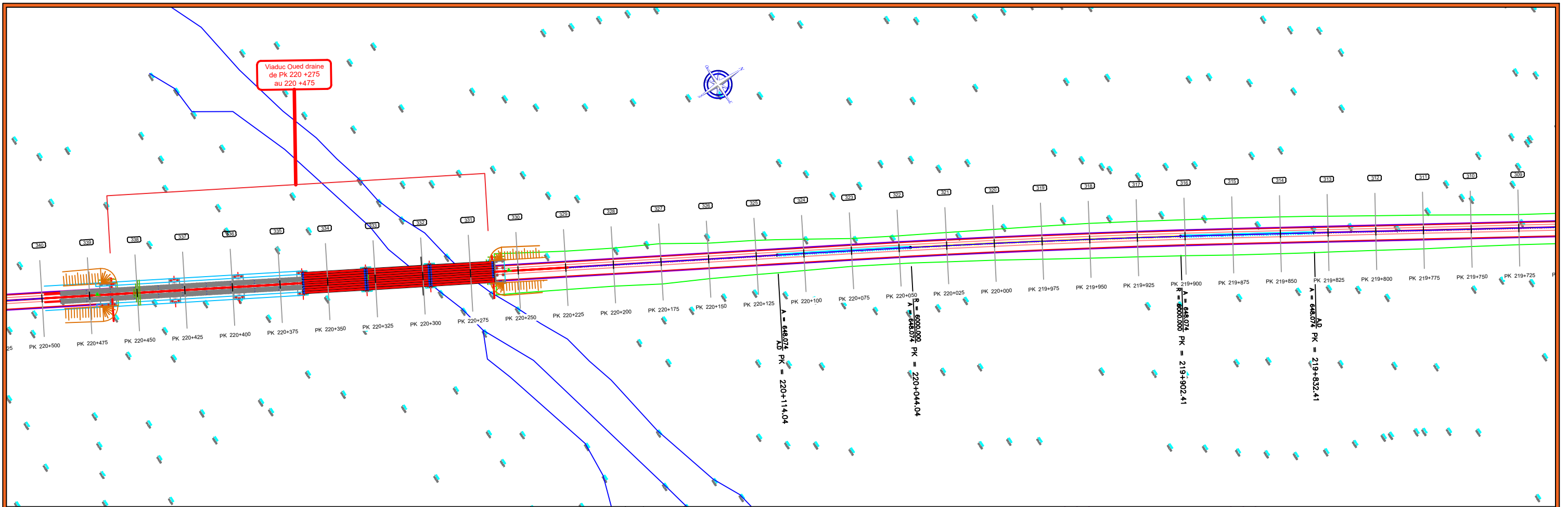
Pour : $R_4 = 1000\text{m}$


Pour une vitesse de 160 Km /h :

$$\text{Donc } \Delta C = \frac{1000}{1000} = 1.000 > \frac{7000}{160^2} = 0.27$$

Les courbes de raccordement sont obligatoires.

NB : Le tracé en plan est réalisé à l'aide de logiciel CIVIL 3D 2022, les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe A.



 <p> 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 </p>	PROJET	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
	Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Laghouat -Ghardaia de PK 212+00 au PK 228+600 avec la conception de la gare de Metlili	Vue en plan du PK 219+725 au PK 220+500	LABACHI Billel SAOUD Wail	GOUMETTRE Ahmed	1/2000 1/2000	1	2022/2023

CHAPITRE V : PROFIL EN LONG

V. Profil en long

V.1 Introduction :

Le profil en long est le profil longitudinal aussi est l'un des trois éléments géométriques d'une voie ferrée. Il est défini par la projection horizontale de la côte de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Le profil représente en son sein les différents déblais-remblais, terrassement et ouvrages qui seront présent tout au long de notre voie, sa coordination avec le tracé en plan est primordiale sur le plan technique, que ce soit la différence de déclivité ou l'emplacement des gares qui doivent se faire selon certains critères.

Il nous présentera chaque partie du projet avec les caractéristiques suivantes :

L'altitude du terrain naturel.

L'altitude de projet.

La déclivité du projet ainsi que les distances partielles et cumulées.

La géométrie verticale et horizontale.

V.2 Eléments géométriques du profil en long :

Pente : tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (Descente).

Rampe : tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (Montée).

Palier : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.

Courbes de raccordement vertical : ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison Entre les éléments de la ligne rouge.

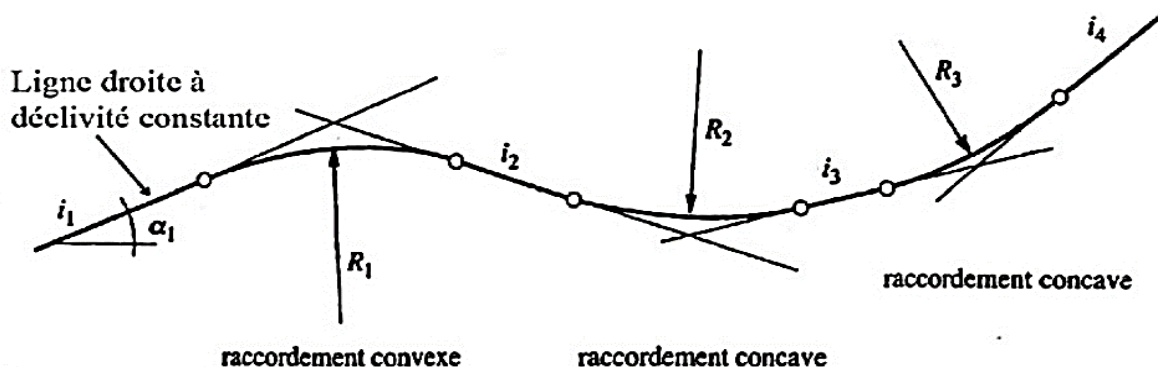


Figure V:1 Eléments géométriques du profil en long

V.3 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Selon la norme SNTF l'élaboration du profil en long s'appuiera sur des règles et des recommandations pour assurer la stabilité et la sécurité, confort et l'évacuation des eaux, parmi ces règles on présente :

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

V.4 Paramètre du tracé à respecter :

V.4.1 Déclivité maximale :

En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, sa valeur 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‰.

V.4.2 Rayon admissible en raccordements de profil en long :

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité.

Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.

Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse (V) un raccordement de profil en long de rayon R_v , il est soumis à une accélération centrifuge :

CHAPITRE V : Profil en long

$$a_v = \frac{V_{max}^2}{12.96 \times R_v} \quad (\text{m/s}^2) .$$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers.

En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

Selon le référentiel technique de la SNTF les rayons minimums de projet sont dans le tableau suivant avec $V_{max}=220 \text{ km/h}$:

Tableau V:1 Les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil en long

Valeurs normale (m)	$0.35 \times V^2 = 16940 \text{ m}$
Valeur exceptionnelle (m)	$0.25 \times V^2 = 12100 \text{ m}$

L'application de ces formules permet de limiter l'accélération verticale subie par les voyageurs à respectivement 0,22 et 0,31 m/s^2 .

V.4.3 La longueur minimale des déclivités :

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

D'après la norme SNTF chapitre « 06 », Les valeurs de la longueur minimale des déclivités en profil sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau V:2 Valeurs de la longueur minimale des déclivités

Valeurs minimale normale (m)	$V/2 = 220 /2 = 110 \text{ m}$
Valeur minimale exceptionnelle (m)	$V/2.5 = 220 /2.5 = 88\text{m}$
Limite minimum (m)	30m

CHAPITRE V : Profil en long

V.5 Paramètres cinématiques du profil en long :

Les valeurs des différents paramètres cinématiques valables pour les lignes mixtes parcourues 220 km/h sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau V:3 Valeurs des paramètres de profil en long

Paramètre	Valeur limite normale
La vitesse en (km/h)	220
Rayon vertical minimum de raccordement en profil (m)	16940
Longueurs minimales des déclivités en (m)	110
Déclivité maximum en pleine voie	16‰
Déclivité maximum en gare	0‰

V.6 Coordination profil en long-trace en plan :

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

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

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

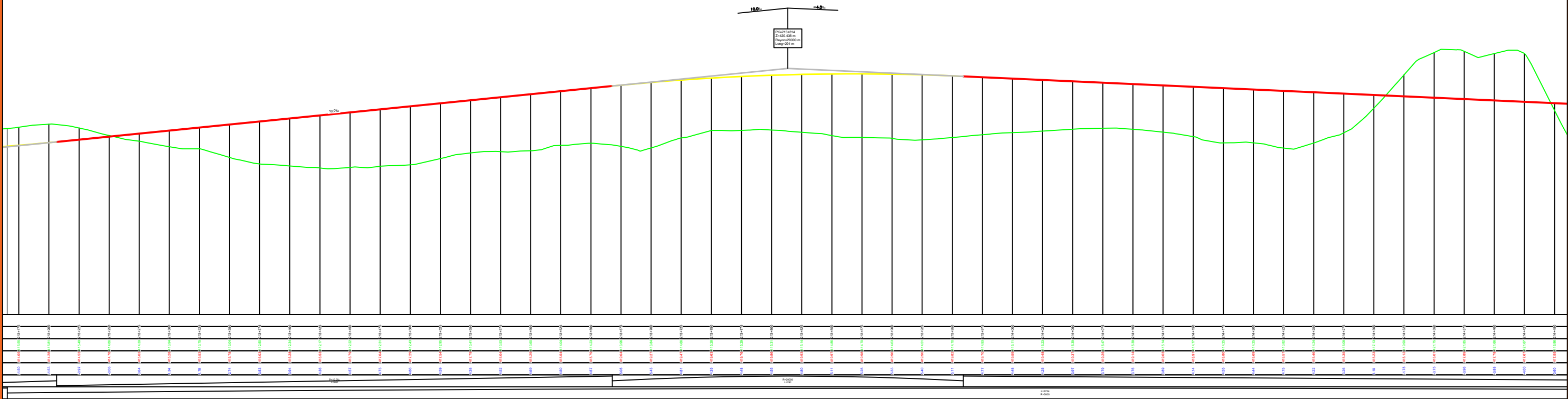
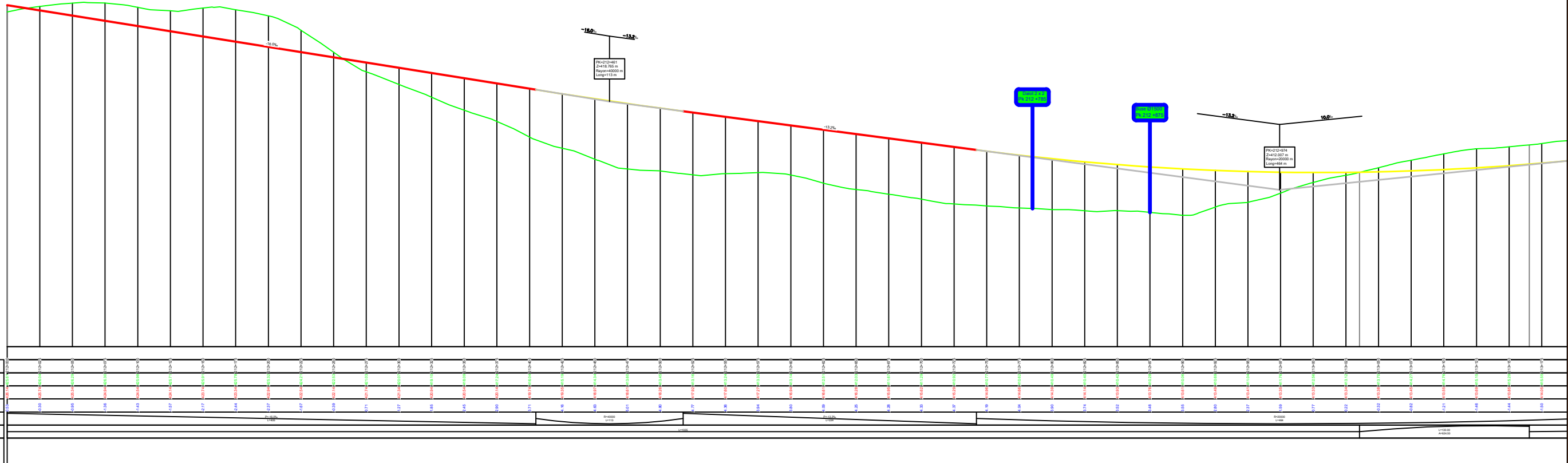
Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.

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

NB : Le profil en long est réalisé à l'aide de logiciel CIVIL 3D 2022, les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'annexe B.

Axe : AVE1
 Ech H : 1/1000
 Ech V : 1/100
 Plan de comparaison : 400,0 m
 Echelle du dessin : 1000/2000
 Facteur d'échelle verticale : 10,000

Distances Cumulées	
Cotes Terrain	
Cotes Projet	
TN - Projet	
Déclivité Projet	
Alignements et Courbes	
Diagramme des Dévers	



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	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Laghouat -Ghardaia de PK 212+00 au PK 228+600 avec la conception de la gare de Metlili	Profil en long du PK 212+000 au PK 214+450	LABACHI Billel SAOUD Wail	GOMETTRE Ahmed	1/3000 1/3000	2	2022/2023

CHAPITRE VI : ETUDE DES CONTRAINTES

VI. Etude des contraintes

VI.1 Introduction :

Dans n'importe quel projet, avant toute installation de chantier ou commencement de tous travaux, il convient de faire une inspection du site afin de déterminer les containers liés aux voiries et réseaux divers (VRD), qui sont considérés comme des obstacles à éviter ou bien à contourner dans les cas inéluctables, pour assurer le bon déroulement des travaux.

Dans la section du projet entre le PK 212+000 et le PK 218+600 qui présente le dernier tronçon de la ligne ferroviaire projetée, certains réseaux affectés sont présents le long du parcours.

Ces réseaux sont :

- Lignes électriques.
- Routes et chemins.
- Fibre optique.
- Oueds.

VI.2 Les contraintes :

VI.2.1 Lignes électriques :

Le tableau ci-dessous ressemble toutes les lignes électriques qui traversent le tracé.

Tableau VI:1 Tableau récapitulatif des lignes électriques traversées par le tracé

Ligne	PK	Réseau aérien
1	216+997	LHT
2	217+079	LHT
3	225+631	LHT
4	225+685	LMT
5	225+722	LMT
6	225+833	LHT
7	225+884	LHT



Figure VI:1 Exemple de réseau (Poteau électrique LHT)

VI.2.2 Contraintes hydrologiques du tracé projeté :

Le tracé traverse des oueds importants de caractéristiques temporaire saharien (un lit très large, un débit de crue importants. Un grand taux de transport solide). Les principaux oueds sont :

- Oued Mzab.
- Oued Draine.

Tableau VI:2 Réseau hydrographique rencontré le long du projet

PK	PHOTO
Traverse d'oued Mzab PK 214+500	
Traverse d'oued draine PK 220+313 (Ouvrage projeté Pour cet écoulement route en parallèle)	

CHAPITRE VI: Etude des contraintes

VI.2.3 Routes et chemins :

Le tracé projeté traverse des routes et des pistes à plusieurs endroits, donc la suppression des passages à niveau est obligatoire. A cet effet, nous préconisons la réalisation de passages supérieurs.

Le tableau suivant illustre les différents chemins et routes qui traversent notre tracé :

Tableau VI:3 Récapitulatif de rétablissements des passages à niveaux

N°	PK	Réseau enterré	Angle de croisement	Solution
1	215+394	Piste	74.88°	Piste à supprimer
2	216+997	Piste	41.50°	Piste à supprimer
3	226+766	Route nationale N° : 49	39.01°	Passage inférieur

VI.2.4 Les fibres optiques et pipeline :

Tableau VI:4 Les fibres optiques et pipeline projetés sur la ligne

PK	Réseau enterré	Angle de croisement
216+993,50	Conduite pipe	Protection 1
226+732	Fibre optique	40,15
226+899	Fibre optique	33,26

VI.2.5 Ouvrages d'art prévues :

Le tracé de la ligne Laghouat-Ghardaïa du PK 212+000 au PK 2228+600 traverse des pistes, la RN03, des oueds ...etc. De fait, des ouvrages d'art de franchissement et des ouvrages hydrauliques sont projetés compte tenu des croisements avec ces obstacles.

Viaduc et ouvrage ferroviaire :

CHAPITRE VI: Etude des contraintes

Tableau VI:5 les ouvrages d'art projetés sur le tronçon étudié pour franchir les voiries

PK Début	PK Fin	Franchissement	Type d'ouvrage
214+500	215+200	Oued M'zab	Viaduc
220+275	220+475	Oued draine	Viaduc
226+761	226+781	RN 49	Pont rail (Cadre fermé)

VI.3 Conclusion :

Toutes les contraintes citées dans ce présent chapitre ont été prises en considération, de façon à chercher les solutions qui seront adaptable à notre tracé.

**CHAPITRE VII : ETUDE GEOTECHNIQUE
ET GEOLOGIQUE**

VII. Etude géologique et géotechnique

VII.1 Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques géologiques de la zone de projet, et avoir une connaissance précise sur le sous-sol, sa composition et son comportement.

Ce chapitre présente les caractéristiques géologiques et géotechniques de la zone et des matériaux sur lesquels la nouvelle ligne, tronçon Laghouat-Ghardaïa du PK 212+000 au PK 228+600 sera réalisée.

VII.2 Etude géologique :

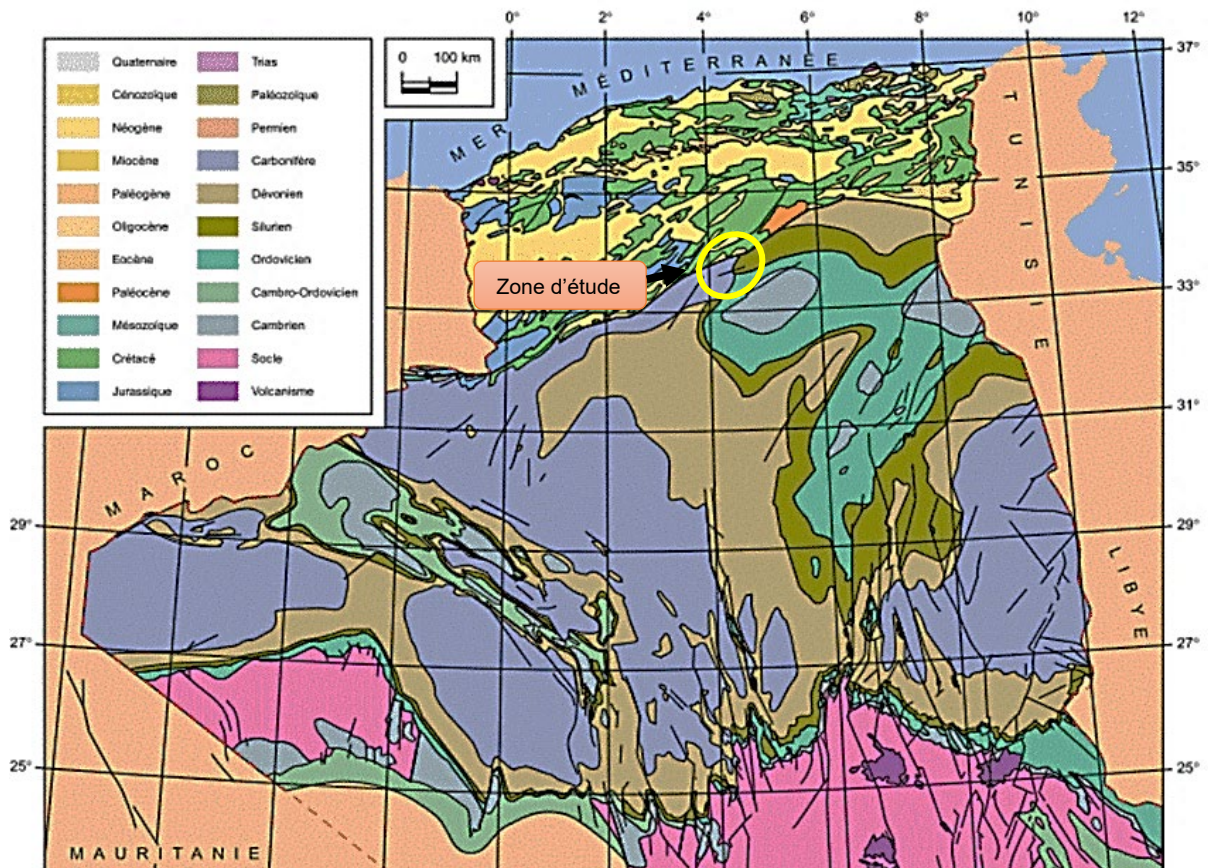
VII.2.1 Présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude est située au Nord du Sahara, au pied de l'Atlas Saharien à près de 630 km au Sud d'Alger, dans la wilaya de Ghardaïa. Géographiquement, cette zone marque la limite entre deux domaines différents l'Atlas saharien au Nord et la plateforme saharienne au Sud.

VII.2.2 Géologie locale :

Géologiquement, on est à la limite de deux domaines complètement différents : l'Atlas saharien et la Plate-forme saharienne. Cette zone limite est l'accident sud atlasique qui sépare l'Atlas saharien plissé de la plate-forme saharienne stable et tabulaire.

Au Nord et à proximité de la ville de Laghouat, ce sont des terrains crétacés très plissés qui occupent les reliefs. Leur lithologie est essentiellement de type calcaire dans leurs termes durs alors que les termes tendres sont des marnes parfois argileuses. Dans l'Oued M'Zi et sa vallée, ce sont surtout les terrasses quaternaires et les alluvions récentes qui dominent.



On rencontre successivement :

Des calcaires gréseux du Kimméridgien (Jurassique supérieur).

Des marnes gypseuses du Kimméridgien-Portlandien (Jurassique supérieur).

Des barres calcaires du Portlandien-berriasien (Jurassique supérieur).

Suivis de Crétacé inférieur gréseux (Albien).

Suivis de Crétacé inférieur gréseux (Albien).

VII.2.3 La sismicité de la zone d'étude :

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies ci-dessous :

- **Zone 0** : sismicité négligeable.
- **Zone I** : Sismicité faible.
- **Zone IIa** : Sismicité moyenne.
- **Zone IIb** : Sismicité élevée.
- **Zone III** : Sismicité très élevée.

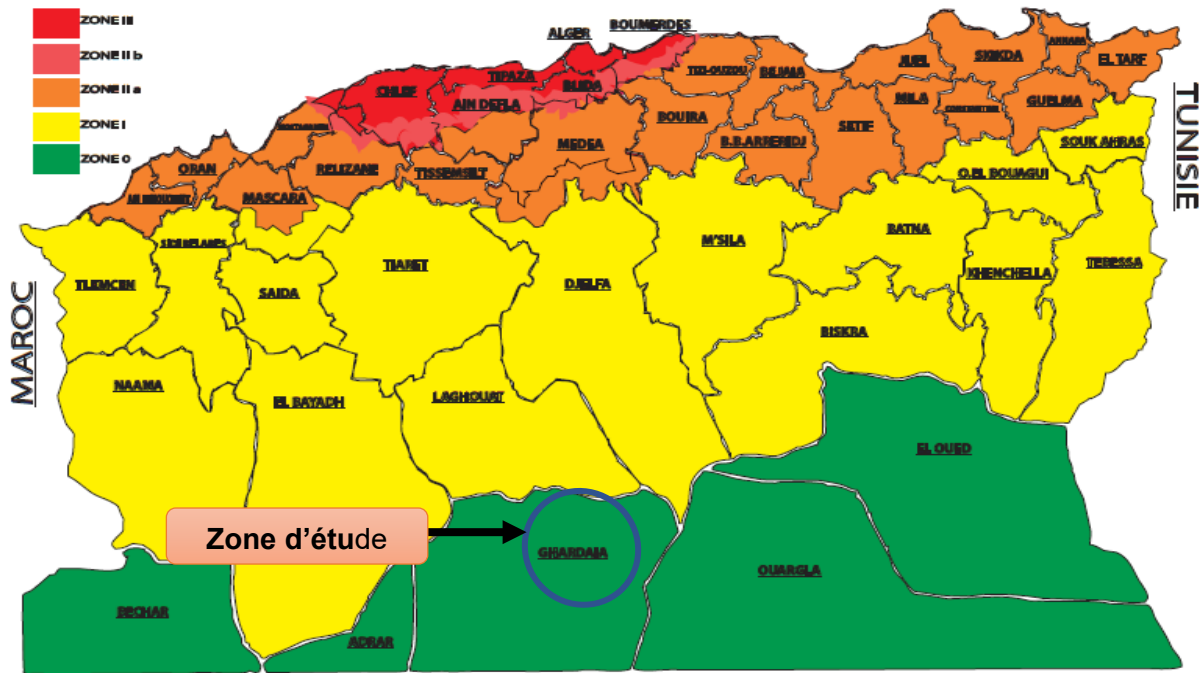


Figure VII:2 Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)

D'après ce découpage la zone d'étude la wilaya de Ghardaïa est située dans la Zone 0, caractérisées par une sismicité négligeable.

VII.2.4 Contraintes géologiques :

VII.2.4.1 Inondation :

La morphologie de la zone d'étude, le réseau hydrographique dense ainsi que le climat aride qui caractérise la zone d'étude, font que cette dernière présente une vulnérabilité face au risque d'inondation.

D'autre part, la région de Ghardaïa est caractérisée par un réseau hydrographique dense et une lithologie de type rocheux (sol imperméable) ce qui génère des ruissellements très importants, lors des crues. Le risque d'inondation est plus élevé dans les secteurs où les constructions et les activités économiques se sont développées, tels que les palmeraies et les lits majeurs des oueds (O. M'zab, O. Metlili).

Tableau VII:1 Zones à risque d'inondation

PK	Zone inondable
Du Pk218+800 au Pk221+300	Risque d'inondation par débordement d'oued
Du Pk226+200 au Pk226+900	Risque d'inondation par débordement d'oued

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

VII.2.4.2 Ensablement :

Dans la zone d'étude on remarque des accumulations de sable éolien, sur le plateau rocheux de Ghardaïa. La matrice sableuse se trouve généralement :

Piégé dans le couvert végétal.

Sur les bassins versants et les lits d'oueds, cela est dû à la dynamique fluviatile qui soutire les sables piégés des versants et les redistribue le long du réseau hydrographique, au cours des crues.

Auteurs des reliefs, ces derniers constituent un obstacle ce qui fait que le sable éolien épouse la forme des reliefs.

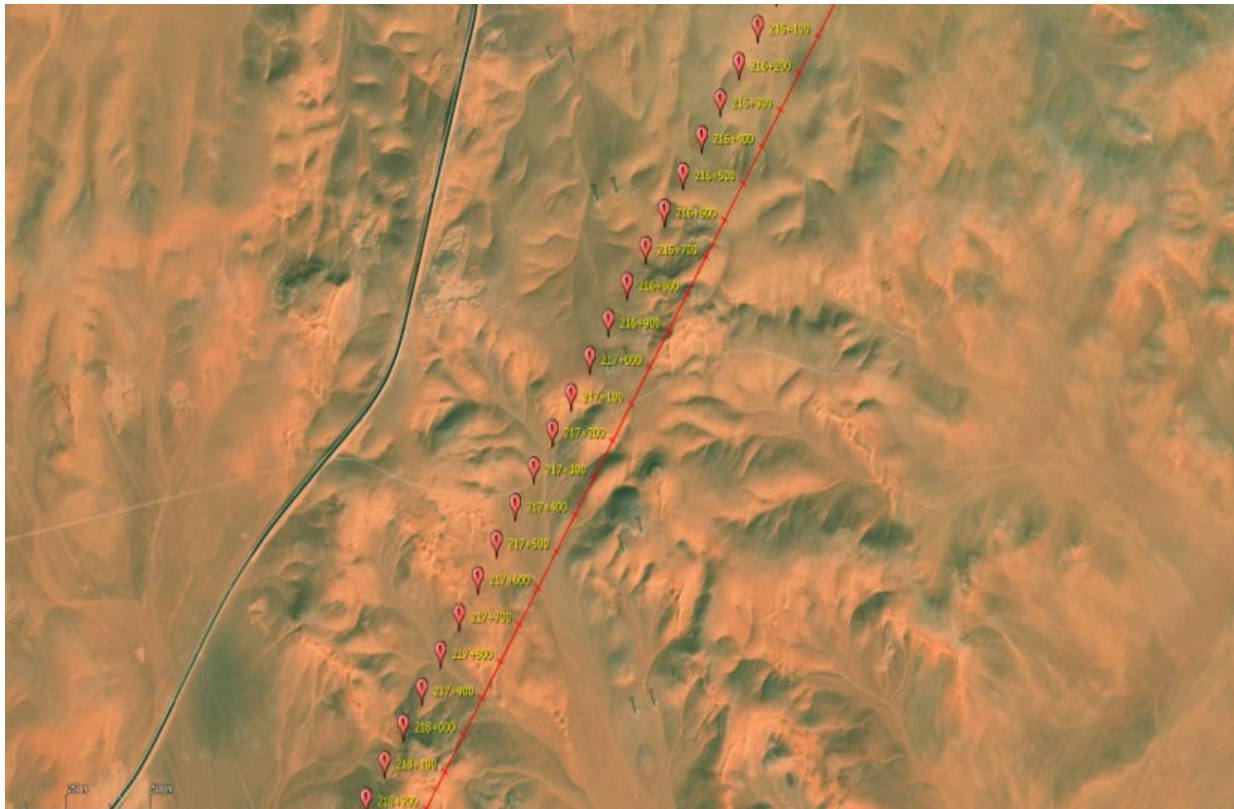


Figure VII:3Sable piégé dans les bassins versant et les lits d'oueds (Plateau de Ghardaïa) entre le Pk 216+500 et le Pk 218+600

VII.3 Etude géotechnique :

Dans tout projet linéaire et projet de construction, la reconnaissance géotechnique doit être réalisée avec soin afin de permettre une reconnaissance détaillée des conditions géologiques et géotechniques du projet et de fournir les éléments nécessaires à la conception et aux calculs des ouvrages.

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

Dans cette partie sont énumérés les différents types d'investigations de terrain et les essais de laboratoire proposés :

- Reconnaissance sur site.
- Sondages mécaniques.
- Puits de reconnaissance.
- Essais de pénétration dynamique.
- Essais de laboratoire sur les échantillons des puits et des sondages.

VII.3.1 Sondage réalisé :

VII.3.1.1 Sondages carottés :

Six (06) sondages carottés de douze (12.00 m) à vingt mètres (20.00 m) de profondeur ont été réalisés dans le but de saisir convenablement la succession stratigraphique et les caractéristiques géotechniques des sols existants et de définir plus particulièrement le niveau lithologique susceptible de constituer une bonne assise pour les fondations projetées.



Figure VII:4 Sondage S-PS

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

Tableau VII:2 Profondeur et description sur les sondages carottés

X	Y	PK	Essai in situ	Prof(m)	Natures des terrains
584273	3588326	213+ 000	F-60-L-G	12,00	Encroutement calcaire
583718	3586065	215+ 400	F-61-L-G	20,00	00.70-20.0 : Calcaire fracturé friable devenant plus sain à partir de de 13,50m.
582804	3584632	217+ 100	F-62-L-G	20,00	00.00-06.0 : Calcaire fracturé encrouté. 00.06-20. 00 : Calcaire marneux
580882	3581589	220+ 700	F-63-L-G	20,00	Intercalation d'encroutement calcaire et de calcaire argileux
577510	3576759	226+ 600	F-64-L-G	15,00	Intercalation d'encroutement calcaire et calcaire marneux
577480	3576363	227+ 040	F-65-L-G	15,00	0.00 – 1.30 : Encroutement calcaire graveleux caillouteux. 7.60 -15.0 : Calcaire dur fracturé admettant des passages d'encroutement.

VII.3.1.2 Puits de reconnaissances :

Implantations des puits de reconnaissance :

Comme prévu dans le programme d'investigations géotechniques, un (01) puit de reconnaissance a été réalisé jusqu'à une profondeur de quatre mètres (4m).

Tableau VII:3 Coordonnées de puits

X	Y	PK	Essai in situ	Prof(m)	Natures des terrains
579590	3579689	223+ 000	PU-40-L-G	4,00	Encroutement calcaire



Figure VII:5 Puit - 40 - L - G

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

VII.3.2 Essai in situ :

VII.3.2.1 Pénétromètre dynamique :

L'essai de pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol, par battage et de manière quasi-continue, un train de tiges lisses muni à son extrémité d'une pointe débordante. Le nombre de coups de mouton correspondant à un enfoncement donné est noté au fur et à mesure de la pénétration de la pointe dans le sol. Les résultats d'un essai de pénétration dynamique sont fournis sous forme d'un diagramme semi-logarithmique, On porte en ordonnées la profondeur de la pointe, et en abscisses la résistance de pointe R_p déduite de la formule de battage dite (formule des hollandais).

Tableau VII:4 Position de pénétromètre dynamique

X	Y	PK	Essai in situ	Prof(m)	Natures des terrains
579590	3579689	223+000	PDL-35-L-G	Refus	Encrouement calcaire

VII.3.2.2 Essais De « Standard Pénétration Test » SPT :

L'essai de pénétration au carottier consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu au fond d'un forage préalable. En fonction de la profondeur, on donne le nombre de coups de mouton N nécessaire pour enfoncer le carottier de 30 cm. Ce nombre N caractérise la résistance à la pénétration.

Tableau VII:5 Les résultats de l'essai SPT

N° forage	S.P. T				Compacité	
	Profondeur (m)	N1	N2	N3		Nspt
F 60 L-GH	01.50-01.56				REFUS	Dense
	06.00-06.13				REFUS	
	09.00-09.21				REFUS	
F 61 L-GH	01.50-01.56				REFUS	Dense
	06.00-06.06				REFUS	
	09.00-09.05				REFUS	
	12.00-12.06				REFUS	
	18.00-18.04				REFUS	
F 62 L-GH	01.50-01.56				REFUS	Dense
	06.00-06.22				REFUS	
	09.00-09.24				REFUS	
	12.00-12.06				REFUS	

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

	15.00-15.05	REFUS	
F 63 L-GH	01.50-01.73	REFUS	Dense
	06.00-06.11	REFUS	
	09.00-09.09	REFUS	
	12.00-12.12	REFUS	
	15.00-15.09	REFUS	
F 64 L-GH	01.50-01.59	REFUS	Dense
	06.00-06.13	REFUS	
	09.00-09.18	REFUS	
	12.00-12.21	REFUS	
F 65 L-GH	01.50-01.69	REFUS	Dense
	06.00-06.05	REFUS	
	09.00-09.04	REFUS	
	12.00-12.05	REFUS	

VII.3.3 Essais en laboratoire :

Les essais de laboratoire ont été effectués sur les échantillons remaniés et intacts prélevés par le carottier de la sondeuse ainsi que par la pelle mécanique ; la récupération pendant la phase de carottage était plus au moins difficile pour les formations traversées constituées d'encroustement calcaire et de blocs rocheux fracturés.

VII.3.3.1 Essai d'identification et de classification :

Essai physique :

- Analyse granulométrique moyenne (NF P94-041).
- Limite d'Atterberg (NF P94-051).
- Teneur en eau naturelle (NF P94-050).
- Essai (VBS) valeur de bleu méthylène (NF P94-068).
- Densités sol et roche NF (P94-053/ NF P94-064).

Essai mécanique :

- Portance CBR (NF P94-078).
- Proctor normal et modifié (NF P94-093).
- Essai de cisaillement rectiligne (NF P94-071-1).
- Essai de compression uniaxial (sol et roc) (NF P94-077 / NF P94-420).

Essai Chimique :

- Matières organiques (NF P 94-055, P 94-058 et XP P 94-047).
- Teneur en sulfates (NF ISO 11048).

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

- Teneur en carbonate (NF P94-048).
- Teneur en chlorures (NF EN 196-2).

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

Tableau VII:6 Classification UIC 719R

Classification des sols (identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques	QS0
0.2 QS0 0.2. Sols fins (comportant plus de 15% de fines (1)) Foisonnés, humides et donc non compactables.	
0.3 Sols thixotropes (2) (quick –clay par exemple)	
0.4 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 Organiques » (2).	
1.3 Sols comportant de 15 à 40% de fines (1) (sauf sols 0.2)	
1.4 Roches évolutives par exemple : - craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ - marnes - schistes altérés	
1.5 Roches meubles Par exemple : - Si MicroDeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines (1)	QS2
2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) mais uniformes ($CU \leq 6$)	
2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < MDE \leq 40$ et $30 < LA \leq 40$	
3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines (1)	QS3
3.2 Roches dures Par exemple : Si $MDE \leq 25$ et $LA \leq 30$	

CHAPITRE VII : Etude géologique et géotechnique

Tableau VII:7 récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages carottés

N° forages	W	Densité (t/m3)		Limites d'Atterberg			Granulométrie		RCS	Analyses chimiques %				
		Profondeur	%	$\gamma_d(t/m3)$	$\gamma_h(t/m3)$	SR	Wl	Wp	Ip	<80 μm	(kg/Cm ²)	SO4	CaCO3	Cl-
F60-L-GH	1.50-3.00	/	/	2.54	/	/	/	/	/	/	Traces	94.83	0.18	41.73
	11.70-11.90	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Traces	75.86	0.53	33.38
F61-L-GH	5.00-5.15	/	2.47	/	/	/	/	/	/	576	Traces	42.20	0.29	18.74
	13.75-14.00	/	2.34	/	/	/	/	/	/	242	/	/	/	/
F62-L-GH	2.90-3.50	/	1.82	/	/	/	/	/	/	84	0.56	45.69	0.58	20.11
	7.60-8.00	7	1.96	2.1	49.93	76.08	36.03	40.05	97.06	/	/	/	/	/
	10.00-10.30	15.67	1.84	2.13	90.32	/	/	/	97.95	/	/	/	/	/
F63-L-GH	1.50-3.00	/	/	/	/	/	/	/	6.18	/	Traces	56.9	0.58	25.04
	8.00-9.00	/	/	/	/	/	/	/	28.94	/	Traces	72.42	0.47	31.86
	15.30-15.70	/	/	2.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
F64-L-GH	3.00-5.00	/	/	2.5	/	/	/	/	/	/	Traces	99.13	0.35	43.61
	11.00-11.15	/	1.93	/	/	/	/	/	/	140	/	/	/	/
F65-L-GH	4.00-4.50	/	2.51	/	/	/	/	/	/	529	Traces	43.11	0.53	18.97
	7.40-8.00	/	2.40	/	/	/	/	/	/	790	/	/	/	/
	14.60-15.00	/	2.62	/	/	/	/	/	/	1126	/	/	/	/

Tableau VII:8 paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance

Puits	PK	Profondeur		Granulométrie			Limites d'Atterberg (%)			γ_d (t/m3)	VBS	Classification	
		DE	A	<80 μm	Wl	Wp	Ip			GTR	UIC		
PU40 L-GH	223+000	0.20	1.50	29	35.76	-	N.M	1.75	0.56	C1B5	QS2		

Réutilisation des matériaux des déblais :

La majorité des matériaux rencontrés sont classé comme suit : C1B5, R22, R23, R34. La réutilisation de ces matériaux en remblais est sujette aux recommandations du guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme (GTR).

Classe R22 :

Il s'agit de calcaire, calcaire dolomitique et calcaire conglomératique de densité moyenne. D'après le guide GTR ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. Les conditions de leur réutilisation dépendent de la nature et de l'état du sol obtenu en chantier après extraction.

Classe R23 :

Il s'agit de calcaire tuffacé fragmentable (encroûtement), rencontré essentiellement en couche de recouvrement de. D'après le GTR, ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR

Classe R34 :

Cette classe correspond aux matériaux rocheux de natures argileuses ou marneuses, jugées du point de vue fragmentabilité, comme étant des roches peu fragmentables à fragmentable et de point de vue dégradabilité comme des roches moyennement à très dégradable. Ces formations sont constituées de minéraux argileux, de carbonates et/ou de carbonates de calcium (calcite), de proportions différentes formant des argilite calcaire, Argile consolidé/friable ou simplement des marnes.

D'après le GTR ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. Mais vue que cette classe se caractérisent par le fait qu'elles possèdent une structure plus ou moins résistante, elles se fragmentent à la mise en œuvre, et elles évoluent granulométriquement en cours du chantier, et que sa mise en place nécessite une étude spécifique préalable, pour ces raisons, et à ce stade du projet, ces matériaux ne seront pas considérés réutilisables.

Classe C1 B5 :

Classe correspond au sol sableux et graveleux dont le Dmax est supérieur à 50 mm, d'après le GTR, la teneur en eau de ces matériaux, va définir les conditions de réutilisations (procédé d'extraction et mode de compactage).

VII.4 Conclusion :

La réalisation des essais d'identifications et les essais mécaniques aux laboratoires sur plusieurs échantillons du sol prélevés de nombreuses profondeurs, nous ont permis de faire Une classification du sol selon l'UIC 719R.

La classe de qualité du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS 2.

CHAPITRE VIII : DIMENSIONNEMENT DE L'ASSISE FERROVIAIRE

VIII. Dimensionnement de l'assise ferroviaire

VIII.1 Introduction :

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

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

- Repartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses (charges reçu).
- Amortir les vibrations de la superstructure.
- Détournement des eaux de pluies.
- Protection contre la contamination du ballast.
- De plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie.

VIII.2 Couche d'assise :

La couche d'assise est composée de couche de ballast, Couche Sous ballast, une couche de fondations et bien éventuellement une couche anti contaminant ainsi qu'une couche drainante. Le type et l'épaisseur du matériau choisi pour la couche d'assise dépend de plusieurs paramètres :

Les caractéristiques du sol de la plateforme (la portance, sensibilité à l'eau et au gel-dégel).

Les conditions hydrologiques et hydrogéologiques du site.

Les conditions climatiques.

Le trafic du site.

Armement de la voie (rails, nature et espacement des traverses etc...).

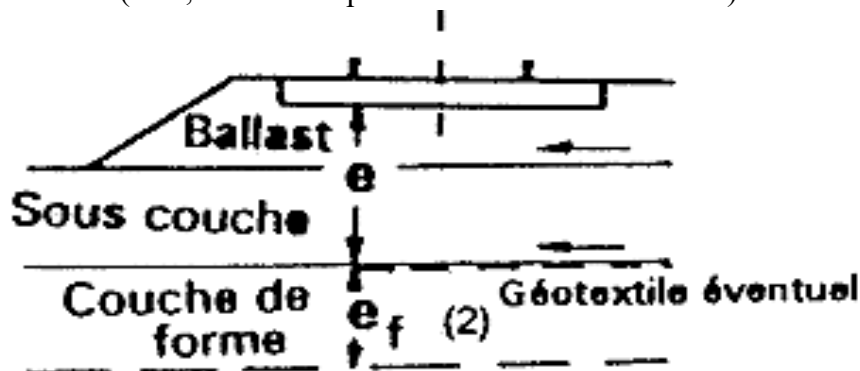


Figure VIII:1 Elément de la superstructure

CHAPITRE VIII : Dimensionnement de la couche d'assise

VIII.2.1 La couche de ballast :

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

La couche de Ballast supporte les efforts transmis par les traverses et elle doit être compactée lors de la mise en place de la voie, afin d'améliorer sa stabilité.

VIII.2.1.1 Le rôle du ballast :

Le ballast joue des rôles primordiaux, on peut citer :

- Transmission uniforme jusqu'à la plate-forme des charges induites par les véhicules Ferroviaires.
- Stabilisation de la traverse, résistance aux forces longitudinales et transversales des trains.
- Amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- Structure permettant la pose de la voie puis les corrections de la géométrie de la voie par Drainage efficace de la voie et limitation des problèmes du gel.

VIII.2.1.2 Caractéristiques du ballast :

VIII.2.1.2.1 Caractéristiques physiques :

- **Granulométrie :**

On utilise actuellement en Algérie la 25/50mm (documents SNTF).

- **Formes des granulats :**

Elle doit être poly hydrique avec des éléments d'arêtes vives, les granulats ne doivent être ni trop longs ni trop plats.

- **Homogénéité des granulats :**

Un ballast hétérogène (âge et dureté différents) s'altère très rapidement. Propreté des granulats : le ballast doit être exempt de éléments fins et débris. Pour obtenir un ballast propre la masse relative des éléments passant au tamis de 1.6mm doit être inférieur à 0.5%.

Caractéristique mécanique :

- **Résistance à l'attrition :**

À l'aide d'un essai au laboratoire nommé l'essai Deval il existe 3 méthodes qui sont : le Deval à sec DS, le Deval humide DH ou bien le micro-Deval MDE.

- Deval à sec DS, avec $DS > 14$ pour les pierres dures (ballast).
- Deval Humide DH : $DH > 12$ pour les calcaires (pierres carbonatées).
- Ou bien : Coefficient Micro Deval $MDE \leq 15$.

- **Resistance aux chocs :**

Détermine à l'aide d'un essai LOS ANGELES, Pour un ballast acceptable le coefficient 'LA' doit être inférieur à 25%.

- **Dureté :**

Elle est mesurée par une évaluation statique du double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs, elle est exprimée par le coefficient de la dureté relative globale 'DRG', (il varie selon la nature des traverses et du trafic).

- **Résistance à la compression simple :**

Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire, en Algérie ($R_c > 14$ KN/cm, document SNTF).



Figure VIII:2 La forme du ballast

CHAPITRE VIII : Dimensionnement de la couche d'assise

VIII.2.2 La sous couche :

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

L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.

- Protection de la plateforme contre L'érosion et le gel.
- L'anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- La contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.

VIII.2.2.1 La couche sous-ballast :

Elle est en grave propre bien gradué (0/31.5mm) comportant au moins 30 % de grave concassé, compacté a 100% OPN et ayant une $DRG \geq 12$.

VIII.2.2.2 La couche de fondation :

Elle est en grave propre bien gradué d'une épaisseur d'au moins de 15cm.compacté a 100% OPN et ayant une $DRG \geq 10$.

VIII.2.2.3 La couche anti-contaminante :

Elle est en sable propre d'une épaisseur minimal de 15cm.

VIII.2.3 Le géotextile :

Il est de géo-synthétique perméable a l'eau et a l'air peut-être utilise comme séparateur et anti contaminant, filtre drainage et armature.

VIII.2.4 La couche de forme :

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

- Sur les matériaux QS1, une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseurde50cm.
- Sur les matériaux QS2, une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseur minimale de 35cm.

VIII.2.5 La plate-forme :

C'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre, elle est constituée de sol rapporté en remblai ou en place en déblai :

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

VIII.2.6 Classification de la plate-forme :

Pour classer les plateformes, il convient :

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

VIII.2.6.1 Classe de qualité des sols :

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

Quatre classes de terrains sont identifiées :

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

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

VIII.2.6.2 Classe de portance de la plateforme :

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

On peut distinguer trois classes de plateforme en fonction de leurs portances :

- **P1** : plateforme médiocre.
- **P2** : plateforme moyenne.

- **P3** : plateforme bonne.

Les classes de plateforme sont représentées en fonction de classe de qualité du sol support.

Tableau VIII:1 La classe de portance de la plateforme (Fiche UIC 719)

QUALITÉ DU SOL SUPPORT	CLASSE DE LA PLATE FORME	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur min ef (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

Plate- Forme Proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est **QS2**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de **type P3** (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS2).

Couche de forme :

Concernant le besoin d'obtention d'une plate-forme de qualité de support du type P3, Sur les matériaux QS2 on a adopté une couche de forme dont la qualité de sol est QS3 et cela sur une épaisseur de 35 cm.

VIII.3 Dimensionnement des couches d'assise :

Une plateforme ferroviaire est constituée généralement par un ensemble de sous couches à savoir :

Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche, conformément à la fiche UIC 719 est donnée par l'expression suivante :

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

CHAPITRE VIII : Dimensionnement de la couche d'assise

Avec:

E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).

a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714R).

b : facteur dépendant de type de traverse.

c : facteur dépendant des conditions de travail.

d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules.

f : facteur dépendant de la vitesse.

g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

Tableau VIII:2 Les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R)

Paramètres de dimensionnement	Épaisseur(m)	Conditions
E	E=0.70m	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	E=0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	E=0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	a=0m	Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne à V> 160 km/h quel que soit le groupe UIC).
	a= -0.05m	Pour les groupes UIC 3 et 4.
	a= -0.10m	Pour les groupes UIC 5 et 6.
b	b=0	Pour les traverses bois de longueur 2.60m.
	$b = \frac{2.5-L}{2}$	Pour les traverses béton de longueur L.
C	C=0	Pour un dimensionnement normal.
	C=-0.10m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles pour les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec voyageurs.
d	d= 0	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN.
	d= +0.05m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN.
	d= +0.12m	Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
f	f=0	Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.

CHAPITRE VIII : Dimensionnement de la couche d'assise

	$f=0.05m$	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
	$f= 0.10m$	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse
g	$g= +0.01$	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS 1 ou QS2
	$g=0$	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3

VIII.4 Application au projet :

Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC-719 R). D'où :

$E = 0,45$ m pour une plate-forme de classe de portance P3

$a = 0$ pour les lignes de vitesse $V > 160$ Km/h.

$b = 0.13$ cm pour les traverses en béton

$c = 0$ pour un dimensionnement normal.

$d = 0,05$ m (pour la charge nominal d'essieu de 20 ton/axe)

$f = 0$ pour une plate-forme de classe de portance P3 , et ligne à grande vitesse.

$g = 0$ pas de géotextiles pour couches de forme de qualité de sol QS3 .

L'épaisseur des couches d'assise est : $e = 0.63$ m ; soit : **$e = 65$ cm.**

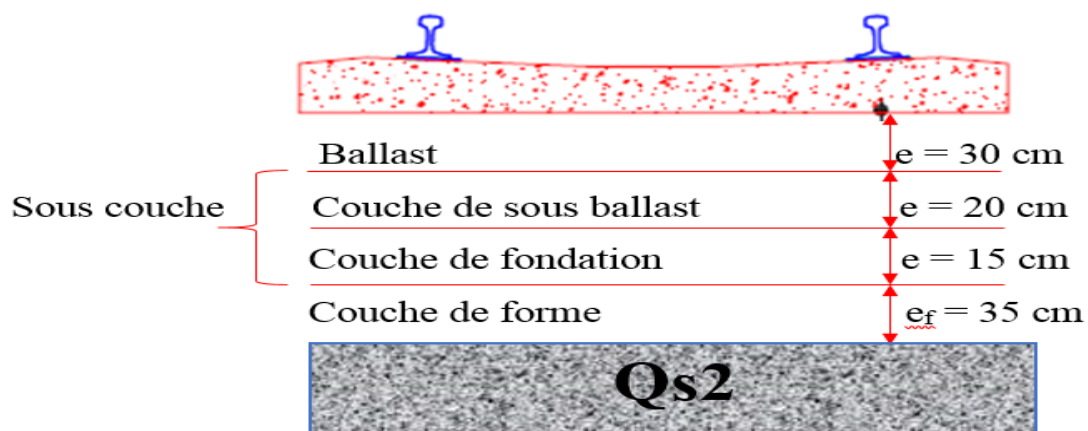


Figure VIII:3 Les composants de la structure d'assise

VIII.5 Conclusion :

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

**CHAPITRE IX : ETUDE HYDROLOGIQUE
ET HYDROLIQUE**

IX. Etude hydrologique et hydraulique

IX.1 Introduction :

Le tracé ferroviaire étudié traverse plusieurs bassins hydrologiques, ce qui rend important la protection de la plateforme contre les inondations. Certaines sections de la voie ferrée sont exposées à des risques d'inondations en raison de leur topographie. Dans ce chapitre, nous allons présenter l'étude hydrologique et d'assainissement de la ligne ferroviaire projetée.

Dans le cadre de cette étude APD. L'objectif principal est de fournir les éléments hydrologiques nécessaires pour déterminer les ouvrages de drainage et de protection en :

- Identifiant les bassins traversés par le tracé et en les délimitant.
- Calculant les débits de crues le long du tronçon étudié de la nouvelle ligne ferroviaire reliant les villes de LAGHOUAT et GHARDAIA sur une distance d'environ 16.600 km.
- Dimensionnant et localisant les ouvrages de drainage transversal nécessaires pour gérer les débits calculés. Un nombre déterminé d'ouvrages de drainage type sera utilisé tout au long du tracé.
- Dimensionnant le drainage longitudinal, c'est-à-dire les fossés.

IX.2 Etude hydrologique :

L'hydrologie est une discipline scientifique qui se concentre sur l'analyse de l'évolution des eaux en surface et dans le sous-sol. Elle explore les propriétés physiques, mécaniques et techniques de l'eau dans son ensemble. En d'autres termes, une étude hydrologique fournit des informations sur les caractéristiques climatiques et pluviométriques d'une région.

IX.2.1 Caractéristique climatique :

Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense.

IX.2.1.1 Températures :

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrogéologique. C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région, le tableau ci-dessous montre les données de température.

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

Tableau IX:1 Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maxima et des minima pour les dix ans (2008-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Août
T_{Min} (°C)	21.7	16.59	8.93	5.49	4.78	5.93	9.22	13.15	17.8	23.08	27.74	26.63
T_{Max} (°C)	38.79	34.38	26.96	21.29	21.05	23.02	28.29	33.67	37.69	42.58	45.65	43.6
T_{Moy} (°C)	30.88	25.02	17.54	12.86	12.01	13.87	18.24	31.73	28.31	32.93	34.7	35.63

Les valeurs de la température affichées dans le tableau caractérisent le climat d'une région saharienne.

On remarque que le maximum du mois le plus chaud est noté en juillet avec 45,65°C, et le minimum le plus froid est noté au mois de janvier avec 4,78°C.

La température moyenne mensuelle est atteinte au mois d'août une valeur de 35.63°C.

IX.2.1.2 Précipitations mensuelles :

Avec la température, les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat. Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

Pour l'étude de la précipitation on a obtenu une série pluviométrique de l'ONM de Ghardaïa pour une période de (1998-2018).

Tableau IX:2 Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (1998- 2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juill	Août
P_{Moy} (°C)	16.6	7.4	5.5	6.0	9.6	8.6	7.3	6.1	2.7	2.5	2.1	5.7

Les précipitations sont en générale faibles et caractérisant les climats arides.

Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de Septembre (16,6 mm) et Janvier (9.6 mm), et la valeur le plus moins a été enregistrées au mois de juillet (2.1mm) , Ce qui explique la sécheresse de la région étudiée.

IX.2.1.3 Les pluies maximales journalières :

Les pluies maximales journalières de rares fréquences sont des pluies génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger les différents ouvrages hydrauliques et les dégâts.

Tableau IX:3 pluies maximales journalières

Période de retour- T(ans)	Fréquence	Pmax, j (mm)
10ans	0.90	36
100ans	0.99	55.2

IX.2.2 Bassin versant :

IX.2.2.1 Délimitation des bassins versant sur une carte d'états-majors :

La délimitation des bassins versants est faite sur une carte d'états-majors au 1/50 000, le bassin versant ou bassin d'alimentation au droit d'une section de mesure, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section. Chaque bassin versant est séparé d'autres par la ligne de partage des eaux. Cette limite est déterminée sur carte topographique. L'axe du tracé représente l'autre limite du bassin versant.

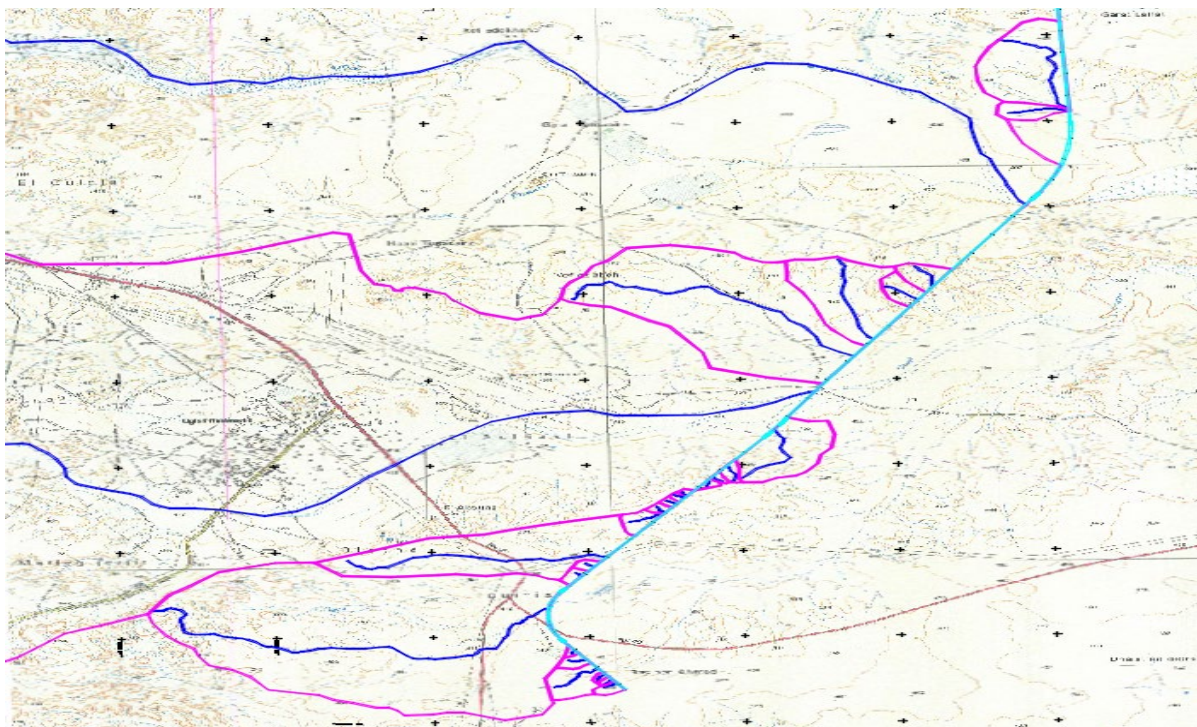


Figure IX:1 délimitation des bassins versants

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

IX.2.2.2 Caractéristiques morphologiques des bassins versant :

La détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants consiste à calculer, et/ou à évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues.

Les principaux paramètres qu'on doit identifier pour la modélisation des bassins sont :

- **S (m²)** : surface de Bassin versant.
- **P (m)** : périmètre de Bassin versant.
- **L (m)** : longueur de l'oued.
- **H_{max} (m)** : altitude maximale.
- **H_{min} (m)** : altitude minimale.

À partir de ces données, on calcule d'autres paramètres importants qui définissent le bassin :

- **H_{moy} (m)** : altitude Moyenne : $H_{moy} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2}$
- **I (m/m)** : pente du bassin : $I = \frac{\Delta H}{L}$
- **K_c** : coefficient de compacité de GRAVELIUS : $K_c = 0,2821 \cdot \frac{P}{\sqrt{S}}$
- **L_r (m)** : longueur du rectangle équivalent :

$$\frac{L_r}{\sqrt{S}} = \frac{K_c}{1,12838} + \sqrt{\left(\frac{K_c}{1,12838}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots K_c \geq 1,12$$

Si $K_c \leq 1,12$, le bassin a une forme circulaire et la transformation géométrique en rectangle équivalent n'est plus réalisable, le bassin sera assimilé à un carré (longueur = largeur).

Les résultats sont présentés dans les tableaux récapitulatifs suivants :

Tableau IX:4 Caractéristiques morphologiques des bassins versants

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

N°BV	PK	S (km ²)	P (m)	L (m)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	ΔH (m)	I(m/m)
1	212+785	1,831 237	5 564	2 295	451	411	431	40	0.0176
2	212+875	0,278 343	2 284	823	424	410	417	14	0.0167
3	215+169	1 997, 433 110	237 664	95 846	775	405	590	370	0.0039
4	217+460	0,284 188	2 171	588	449	421	435	28	0.0477
5	217+790	0,261 189	2 101	542	449	420	434	29	0.0543
6	218+885	1,917 625	6 039	2 000	455	412	433	43	0.0215
7	219+349	6,819 481	11 174	4 644	466	411	439	55	0.0118
8	220+313	270, 183 214	77 233	38 169	645	413	529	232	0.0061
9	222+374	0,089 160	1 366	403	458	436	447	22	0.0549
10	222+691	0,033 054	772	187	457	439	448	18	0.0968
11	222+787	0,41 229	956	179	456	441	448	15	0.0841
12	223+244	0,021 035	605	132	457	450	454	7	0.0505
13	223+335	0,024 566	615	159	458	450	454	8	0.0525
14	223+479	0,033 968	761	159	458	449	454	9	0.0553
15	223+727	0,050 578	905	195	455	449	452	6	0.0333
16	223+809	0,181 824	1 784	1 784	464	450	457	14	0.0079
17	225+017	3,348 035	9 541	3 547	490	440	465	50	0.0141
18	225+281	0,056 605	967	148	449	441	445	8	0.0571
19	226+434	14,370 526	15 486	6 518	525	442	483	83	0.0127
20	228+021	0,431 983	2 756	797	473	454	463	19	0.0240

IX.2.3 Temps de concentration :

Le temps de concentration t_c est la durée que met une goutte d'eau qui tombe du point le plus élevé du bassin versant pour atteindre l'exutoire, il est exprimé par les formules suivantes qui varient selon la superficie du bassin versant.

Pour le calcul des temps de concentration des bassins versants on utilise les trois formules suivantes (Le choix des formules de détermination du temps de concentration se fait en fonction de la superficie du bassin versant) :

- Formule de Ventura ($S < 5\text{Km}^2$) : $t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{I}}$.
- Formule de Passini ($5 \text{ Km}^2 < A < 25 \text{ Km}^2$) : $t_c = \frac{0.108 \cdot (S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{I}}$.
- Formule de Giandotti ($25 \text{ Km}^2 < A < 200 \text{ Km}^2$) : $t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H}}$.

Tel que :

t_c : temps de concentration (h).

S : surface du bassin versant (km²).

L : longueur de l'oued principal (km).

I : Pente brute du bassin (m/m).

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

IX.2.4 Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement C_r , est un paramètre exprimant la fonction de ruissellement d'eau sur un sol saturé d'eau par rapport aux précipitations totales tombées sur le bassin. Dans la méthode Kenessey le coefficient C_r est la somme des trois composantes (C_1 ; C_2 et C_3).

$$C_r = C_1 + C_2 + C_3$$

- C_1 : Dépend de la pente du bassin versant.
- C_2 : Dépend de la perméabilité du sol.
- C_3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant.

Tableau IX:5 Coefficients partiels du coefficient de ruissellement

	Pente I (%)	La valeur de C ₁
	C1	I < 3.5
3.5 < I < 11		0.06 - 0.1
11 < I < 35		0.12 - 0.20
I > 35		0.22- 0.30
C2	Nature du sol	La valeur de C ₂
	Imperméable	0.22 - 0.30
	Pas assez perméable	0.10 - 0.20
	Perméable	0.06 - 0.10
	Très perméable	0.06- 0.05
C3	Couverture végétale	La valeur de C ₃
	Roche	0.22 - 0.30
	Prairie	0.17 - 0.25
	Champs de labour	0.07 - 0.15
	Forêts et sols sableux	0.03 - 0.05

IX.2.5 L'intensité des pluies i :

Les intensités de pluie pour l'estimation des débits de récurrence sont établies par la formule de MONTANA :

$$i(t, T) = a(T) \times t_c^{-b}$$

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

Avec :

- $i(t, T)$: Intensité de pluie en mm/h.
- T : Période de retour (année).
- t_c : temps de concentration (heure).
- a et b : paramètres de Montana avec $b=0.82$.

Le paramètre « a » pour les différentes fréquences est donné dans le tableau suivant :

Tableau IX:6 Valeurs des paramètres « a » pour les différentes fréquences

T	2	5	10	20	50	100
a(T)	10.9	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6

NB : Les paramètres « a » et « b » de la formule de MONTANA proviennent des données qui nous ont été remises par l'ANRH " Agence Nationale des Ressources Humaines".

IX.2.6 Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

L'estimation des débits de crue correspondant aux bassins versant naturels du projet est fonction de plusieurs facteurs ayant des effets plus ou moins déterminants sur la formation des crues, notamment, la topographie, la climatologie, la morphologie des bassins versant, la géologie, etc. Les méthodes de calcul sont multiples dont les résultats demeurent toujours incertains mais on se propose d'appliquer les formules édictées dans le guide de l'assainissement (route et chemin de fer) de Sétra, connues par leur large utilisation dans les projets de drainage ferroviaire en Algérie qui sont fonction de la surface des bassins versant comme suit :

IX.2.6.1 Formule rationnelle :

Le débit de crue pour les bassins versants été calculé en appliquant la méthode rationnelle dont l'expression est de la forme suivante :

$$Q = K \times C \times i \times S$$

- Q : débit de crue de période de retour voulue (en m^3/s).
- C : coefficient de ruissellement.
- i : intensité de la pluie (exprimée en mm/h) pour le temps de concentration.
- A : Surface du bassin versant en (km^2).
- K : coefficient de conversion des unités égale à : $K= 0.278$ pour les unités suivantes : Q (en m^3/s), I (mm/h), $A(km^2)$.

IX.2.7 Application au projet :

IX.2.7.1 Exemple de calcul de temps de concentration :

Prenons en compte le bassin versant numéro 1 : $S_1=1.83\text{km}^2 < 5\text{km}^2$, on utilise la formule de VENTURA.

$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{I}}$$

$$S = 1.83 \text{ km}^2 \text{ et } I = 1.76\% \Rightarrow t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{1.83}{0.0176}} = 1.297 \text{ h.}$$

IX.2.7.2 Calcul des débits de projet par la méthode rationnelle :

Calcul pour le bassin versant 01 avec une période de retour de 100 ans :

$$Q_{100} = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot S$$

IX.2.7.2.1 C : le coefficient de ruissellement :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0.03 + 0.3 + 0.22 = 0.55.$$

IX.2.7.2.1 I : l'intensité horaire moyenne (100ans) :

Le système de drainage transversale a été dimensionné pour une période de retour de 100 ans :
 $a=28.2$, $b=0.82$.

$$i_{100} = a(T)/t_c^b = 31.6/1.297^{0.82} = 25.53 \text{ mm /h.}$$

S : la surface du bassin versant 01 : $S=1.83 \text{ m}^2$.

$$\text{Donc : } Q_{100} = 0.278 \times 0.55 \times 54.04 \times 1.83.$$

$$Q_{100} = 7.14 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Les résultats de calculs sont récapitulés dans le tableau suivant :

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

Tableau IX:7 résultats de calcul des débits par la méthode rationnelle

BV	PK	S (m2)	FORMULE RATIONNELLE					
			C	Tc (h)	I ₁₀ (mm/h)	Q ₁₀ (m ³ /s)	I ₁₀₀ (mm/h)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
1	212+785	1.831 237	0.55	1.30	16.24	4.54	25.53	7.14
2	212+875	0.278 343	0.55	0.52	34.38	1.46	54.04	2.29
3	215+169	1 997 .433 110	0.53	20.96	1.66	491.78	2.61	773.15
4	217+460	0.284 188	0.59	0.31	52.46	2.43	82.48	3.82
5	217+790	0.261 189	0.59	0.28	57.24	2.45	89.98	3.85
6	218+885	1 .917 625	0.55	1.20	17.30	5.11	27.19	8.03
7	219+349	6 .819 481	0.54	3.15	7.84	8.07	12.33	12.69
8	220+313	270 .183 214	0.54	10.09	3.02	121.71	4.75	191.35
9	222+374	0.089 160	0.59	0.25	62.64	0.92	98.49	1.44
10	222+691	0.033 054	0.61	0.25	62.64	0.35	98.49	0.55
11	222+787	0.041 229	0.61	0.25	62.64	0.43	98.49	0.68
12	223+244	0.021 035	0.59	0.25	62.64	0.22	98.49	0.34
13	223+335	0.024 566	0.59	0.25	62.64	0.25	98.49	0.40
14	223+479	33 968	0.59	0.25	62.64	0.35	98.49	0.55
15	223+727	0.050 578	0.57	0.25	62.64	0.50	98.49	0.79
16	223+809	0.181 824	0.54	0.61	30.06	0.82	47.26	1.29
17	225+017	3 .348 035	0.55	1.96	11.57	5.87	18.19	9.24
18	225+281	0.56 605	0.59	0.25	62.64	0.58	98.49	0.92
19	226+434	14 .370 526	0.54	4.35	6.03	13.10	9.47	20.59
20	228+021	0.431 983	0.56	0.54	33.34	2.23	52.42	3.51

IX.3 Etude Hydraulique :

IX.3.1 Introduction :

La ligne ferroviaire franchit des oueds qui seront rétablis à l'aide d'ouvrages hydrauliques conçus et dimensionnés pour perturber le moins possible les écoulements, et ne générer aucune menace pour l'infrastructure, la sécurité des voyageurs et les riverains.

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.

IX.3.2 Dimensionnement des ouvrages transversaux :

IX.3.2.1 Méthode de MANNING STRICKLER :

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés sur cartes.

Ces ouvrages hydrauliques doivent faire transiter des débits donnés dans des conditions satisfaisantes : curage, vitesse maximale pour limiter l'érosion.

Le débit de saturation ou le débit capable est calculé par le biais de la formule de MANNING-STRICKLER sur un écoulement en régime uniforme.

$$Q_s = K. S. R_h^{\frac{2}{3}}. I^{\frac{1}{2}}$$

- I : Pente de pose de l'ouvrage (m/m).
- Sm : Section mouillée (m^2).
- Rh : Rayon hydraulique moyen avec : $R_h = \frac{\text{Section mouillée}}{\text{Périmètre mouillée}}$
- Ks : Coefficient de rugosité ; Pour le béton Ks=70.

Le tirant d'air (hauteur libre entre la ligne d'eau et l'intrados de l'ouvrage) doit être ménagé pour laisser le passage des corps flottant détritius, branchages, etc.... qui peuvent au passage sous un ouvrage hydraulique (buses, dalot) s'accrocher et boucher peu à peu les sections d'écoulement.

IX.3.2.1.1 Hauteur de remplissage :

Par utilisation courante, on admet que la hauteur de remplissage pour les ouvrages hydrauliques doit vérifier certaines valeurs, tel que la hauteur de remplissage est définie comme suit :

- **Dolot:** $H_r = 0.8H$ si $H \leq 2.5\text{m}$.
 $H_r = H - 0.5$ si $H > 2.5\text{m}$.
- **Buse :** $H_r = 0.75\varnothing$ si $\varnothing \leq 1\text{m}$.
 $H_r = \varnothing - 0.5$ si $\varnothing > 1\text{m}$.

IX.3.2.1.2 Vérification des condition auto curage :

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

- $V > 0.6 \text{ m/s}$: Pour $R_q = Q / Q_{ps} = 0.1$.
- $V > 0.3 \text{ m/s}$: pour $R_q = Q / Q_{ps} = 0.01$.
- $V_{ps} < 4 \text{ m/s}$.

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent à la condition Suivante :

$$Q_{100} < Q_{ps}$$

- Q_{100} : Débit de crue centennal (débit d'apport) en m^3/s .
- Q_{ps} : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s .

IX.3.2.2 Application au projet :

NB : dans cette étude on a dimensionné avec le débit centennal pour les ouvrages transversaux.

IX.3.2.2.1 Dimensionnement des buses :

On prend l'écoulement au Pk 212+875 Km qui correspond au : BV 02, dont le débit

$$Q_{100} = 2.29 \text{ m}^3/\text{s}.$$

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

Soit une buse de $\varnothing = 1500$ mm.

Hr : la hauteur de remplissage, Hr = $\varnothing \cdot 0.5 = 1$ m.

D'où $S_m = 1.26 \text{ m}^2$ et $P_m = 2.87 \text{ m}$.

Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{1.26}{2.87} = 0.44 \text{ m}$.

- Une pente de $I = 0.5 \%$.
- Buse en béton : $K_s = 70$.

Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :

$$Q_s = K_s \cdot S \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 70 \times 1.26 \times \left(\frac{1.26}{2.87}\right)^{2/3} \times (0.005)^{1/2} = 3.6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_s = 3.6 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{100} = 2.29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vérification des condition auto curage :

- Pour $\frac{Q_{100}}{Q_{ps}} = 0.1$; $V/V_{ps} = 0.64$; $V = 0.65 \times 2.857 = 1.85 \text{ m/s} > 0.6 \text{ m/s}$.
- Pour $\frac{Q_{100}}{Q_{ps}} = 0.01$; $V/V_{ps} = 0.32$; $V = 0.32 \times 2.857 = 0.91 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s}$.
- $V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_{ps}} = \frac{3.6}{1.26} = 2.857 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$.

D'où on opte pour une de $\varnothing = 1500$ mm. Avec une pente de 0.5%. Pour le BV02.

IX.3.2.2 Dimensionnement d'un dalot :

Notre dalot représente les caractéristiques suivantes :

B : largeur nette du cadre (m).

H : hauteur nette (m).

hr = 0.8H (Hauteur de remplissage).

Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0.8 \times b \times H}{1.6 \times H + b}$.

En utilisant la formule de Manning –Strickler :

$$Q_a = Q_s = K \cdot S \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 70 \times 0.8 \times b \times H \times \left(\frac{0.8 \times b \times H}{1.6 \times H + b}\right)^{2/3} \times (I)^{1/2}$$

CHAPITRE IX : Etude hydrologique et hydraulique

Après calcul itérative. On tire Ht : $Ht_{i+1} = \left(\frac{Qa}{Ks \times I^{1/2} + b}\right)^{3/5} \times \left(\frac{1 + 1.6 \times \frac{Ht_i}{b}}{0.8}\right)^{2/5}$

Le critère d'arrêt : $Ht_{i+1} - Ht_i < 10^{-3}$

Application numérique : On prend l'écoulement au Pk 219+349 Km qui corresponde au BV 07, dont le débit $Q_{100} = 12.69 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Une pente de $I = 0.5 \%$.
- Buse en béton : $Ks = 70$.

Après le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (dalot) sont :

$H=2\text{m}$ et $B=2.5\text{m}$. en fixant la hauteur de remplissage à : $Hr=0.8h$.

$S_m=4 \text{ m}^2$; $P_m= 5.6\text{m}$.

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0.8 \times 2.5 \times 2}{1.6 \times 2 + 2.5} = 0.7\text{m}.$$

$Q_{ps} = 15.63 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{100} = 12.69 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vérification des condition auto curage :

- Pour $\frac{Q_{100}}{Q_{ps}} = 0.1$; $V/V_{ps}=0.64$; $V = 0.65 \times 3.91 = 2.54\text{m/s} > 0.6 \text{ m/s}$.
- Pour $\frac{Q_{100}}{Q_{ps}} = 0.01$; $V/V_{ps}=0.32$; $V = 0.32 \times 3.91 = 1.25\text{m/s} > 0.3 \text{ m/s}$.
- $V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_{ps}} = \frac{15.63}{4} = 3.91 \text{ m/s} < 4 \text{ m/s}$.

D'où on opte pour un dalot ($b=2.5$, $h=2$). Avec une pente de 0.5% . Pour le BV02.

Et avec même méthode de calcul en détermine les ouvrages hydrauliques transversaux adaptés pour chaque bassin.

CHAPITRE X : Etude hydrologique et hydraulique

Tableau IX:8 Listing des ouvrages de drainages le long du tracé

BV	PK	Q(100ans)	Zone	Nbrs Cellules	b(m)	h(m)	hr(m)	Sm(m ²)	Pm(m)	Rh(m)	Pente m/m	Q sat(m ³ /s)	Vps(m/s)	Vps<4(m/s)
1	212+785	7.14	Remblai	1	2.00	2.00	1.60	3.20	5.20	0.62	0.005	11.52	3.60	Vérifié
2	212+875	2.29	Remblai	1	Buse Ø 1500			1.26	2.87	0.44	0.005	3.6	2.857	Vérifié
3	215+169	786.41		Ouvrage d'art										
4	217+460	3.82	Remblai	2	Buse Ø 1500			1.26	2.87	0.44	0.005	7.2	2.857	Vérifié
5	217+790	3.85	Remblai	2	Buse Ø 1500			1.26	2.87	0.44	0.005	7.2	2.857	Vérifié
6	218+885	8.03	Remblai	1	2.00	2.00	1.60	3.20	5.20	0.62	0.005	11.52	3.60	Vérifié
7	219+349	12.69	Remblai	1	2.50	2.00	1.60	4	5.6	0.7	0.005	15.31	3.91	Vérifié
8	220+313	158.71		Ouvrage d'art										
9	222+374	1.44	Remblai	1	Buse Ø 1200			0.68	2.09	0.33	0.005	1.59	2.34	Vérifié
10	222+691	0.55	Remblai	1	Buse Ø 1000			0.39	1.57	0.25	0.005	0.76	1.95	Vérifié
11	222+787	0.68	Remblai	1	Buse Ø 1000			0.39	1.57	0.25	0.005	0.76	1.95	Vérifié
12	223+244	0.34	Remblai	1	Buse Ø 1000			0.39	1.57	0.25	0.005	0.76	1.95	Vérifié
13	223+335	0.40	Remblai	1	Buse Ø 1000			0.39	1.57	0.25	0.005	0.76	1.95	Vérifié
14	223+479	0.55	Remblai	1	Buse Ø 1000			0.39	1.57	0.25	0.005	0.76	1.95	Vérifié
15	223+727	0.79	Remblai	1	Buse Ø 1200			0.68	2.09	0.33	0.005	1.59	2.34	Vérifié
16	223+809	1.29	Remblai	1	Buse Ø 1500			1.26	2.87	0.44	0.005	3.6	2.857	Vérifié
17	225+017	9.24	Remblai	1	2.00	2.00	1.60	3.20	5.20	0.62	0.005	11.52	3.60	Vérifié
18	225+281	0.92	Remblai	1	Buse Ø 1200			0.68	2.09	0.33	0.005	1.59	2.34	Vérifié
19	226+434	20.00	Remblai	2	2.00	2.00	1.60	3.20	5.20	0.62	0.005	23.04	3.60	Vérifié
20	228+021	3.51	Remblai	1	Buse Ø 1500			1.26	2.87	0.44	0.005	7.2	2.857	Vérifié

IX.3.3 Ouvrages d'assainissement longitudinaux :

Le réseau d'assainissement longitudinal est composé principalement par des fossés implantés aux limites de l'emprise de chemin de fer, que ce soit dans les hauts talus de déblai et dans les bas talus de remblai. Permettant la collecte ainsi que le conduire et l'évacuation et drainage des eaux de ruissellement d'une part et d'autre de la plateforme ferroviaire et les talus ainsi que les eaux internes.

Ainsi, on adopte pour une conception générale du système de drainage longitudinal :

- Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme.
- L'écoulement des eaux du drainage longitudinal se fera toujours par gravité, sans avoir recours à des stations de pompage qui impliqueraient des coûts d'investissement initial et d'entretien du système plus coûteux.
- Des fossés de drainage, de taille différente selon la quantité d'eau reçue, ont été disposés dans les déblais, des deux côtés du palier de la voie.

IX.3.4 Dimensionnement des fossés :

Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de Manning-Strickler :

$$Q_s = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot S_m \cdot I^{1/2}$$

Avec :

- La surface mouillée : $S_m = (b + m \cdot h) \cdot h$; avec $m = e/h = 1/\tan\alpha$
- Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$
- Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m}$

Le choix du type de fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plate-forme, les bermes et les talus.

Nous avons donc l'équation :

$$Q_a = Q_p + Q_b + Q_t$$

CHAPITRE X : Etude hydrologique et hydraulique

Le Calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable où il y a un remblai ou un déblai qui s'étend sur une grande longueur avec une hauteur importante.

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

$$Q = 0.278 C.I.S$$

- Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m³/s).
- C : Coefficient de ruissellement.
- I : Intensité de pluie (mm/h). A : Surface du bassin versant considéré : la plate-forme / les bermes / les talus, en (km²).

IX.3.4.1 Application de notre projet :

Le système de drainage longitudinal a été dimensionné pour une période de retour de 50 ans (a=28.2, b=0.82).

Cas déblai :

Le cas le plus défavorable :

- Longueur=815 m.
- H talus= 20.86 m.
- Berme = 2m.
- Largeur de la plateforme= 6.8 m.

Tableau IX:9 débit d'apport cas déblai

	A(km2)	C	P(m/m)	Tc(h)	I(mm/h)	Q(m ³ /s)	Qa(m ³ /s)
Plateforme	0.0068×0.815=0.005542	0.9	0.04	0.0473	344.24	1.40	3.10
Talus	0.017×0.815=0.013855	0.7	3/2	0.0122	158.28	1.20	
Bermes	0.002×0.815=0.00163	0.7	0.04	0.0256	569.50	0.5	

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_s < Q_a$$

CHAPITRE X : Etude hydrologique et hydraulique

Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation :

$$Q_s = k_s \times I^{1/2} \times (b + m \times h) \times \left[\frac{(b + m \times h) \times h}{b + 2 \times h \times \sqrt{1 + m^2}} \right]^{2/3} = Q_a$$

On fixe la base (b) et la pente des berges (z), ensuite par le calcul itératif on déduit la hauteur (h).

On prend $b=0.6\text{m}$

Avec le calcul itératif on trouve les dimensions suivantes : $h = 0.6 \text{ cm}$.

Les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal ($b=0.6\text{m}$, $h=0.6\text{m}$, pente= $3/2 \text{ H/V}$).

Cas remblai :

Ces fossés sont, soit en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement), ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plate- forme. Il permet de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée en remblai par l'intermédiaire des descentes d'eau.

IX.4 Conclusion :

Dans un projet linéaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique est primordiale et obligatoire, elle permet d'assurer la pérennité de la voie. D'après notre étude précédente, on déduit son importance dans ce projet par le volume conséquent des travaux de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne :

- 02 viaducs. 13 buses. 5 dalots.
- Un fossé de forme trapézoïdal ($b=0.6\text{m}$, $h=0.6 \text{ m}$, pente= $3/2$) le long de la ligne.

CHAPITRE X : PROFIL EN TRAVERS

X. Profil en travers

X.1 Introduction :

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette voie suivant un plan perpendiculaire à l'axe de cette dernière. Il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement donc il permet de visualiser :

- Les différentes couches constituant l'assise ferroviaire.
- Les gabarits, entraxes et clôtures.
- Les dispositifs hydrauliques et les équipements de signalisation et de télécommunications.

X.2 Profil en travers types :

C'est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs. Pentes des surfaces et talus, système d'évacuation des eaux.

X.3 Profil en travers courant :

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

X.4 Les éléments de profil en travers :

- **Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme** : C'est la partie qui reçoit la voie et le ballast (face supérieure du sous ballast).
- **La voie** : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme** : Support des équipements de signalisations ferroviaires, Sa largeur dépend de L'espace nécessaire au fonctionnement de ces équipements.

CHAPITRE X : Profil en travers

- **Le fossé :** C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

X.5 Profil type de notre projet :

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

X.5.1 Voie unique :

- Type de ligne : voie unique mixte électrifié.
- Écartement de la voie de 1435mm.
- La voie repose sur une plateforme de 8 m de largeur.
- La pente latérale de la plateforme est de 4%.
- Les talus de déblais 3H/2V et de remblais 2H/1V en pente.
- Epaisseur du ballast 30cm.
- Epaisseur de la sous-ballast 20cm.
- Epaisseur de la couche de fondation 15cm.
- L'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.

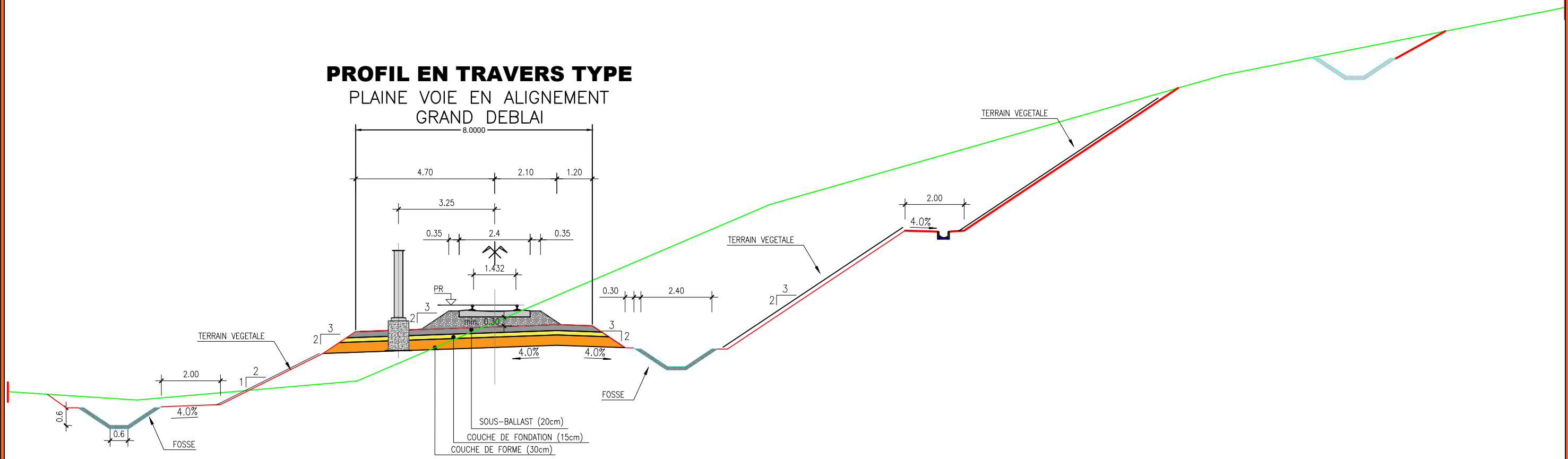
Remarque : en cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le dévers exigé.

X.5.2 Viaducs :

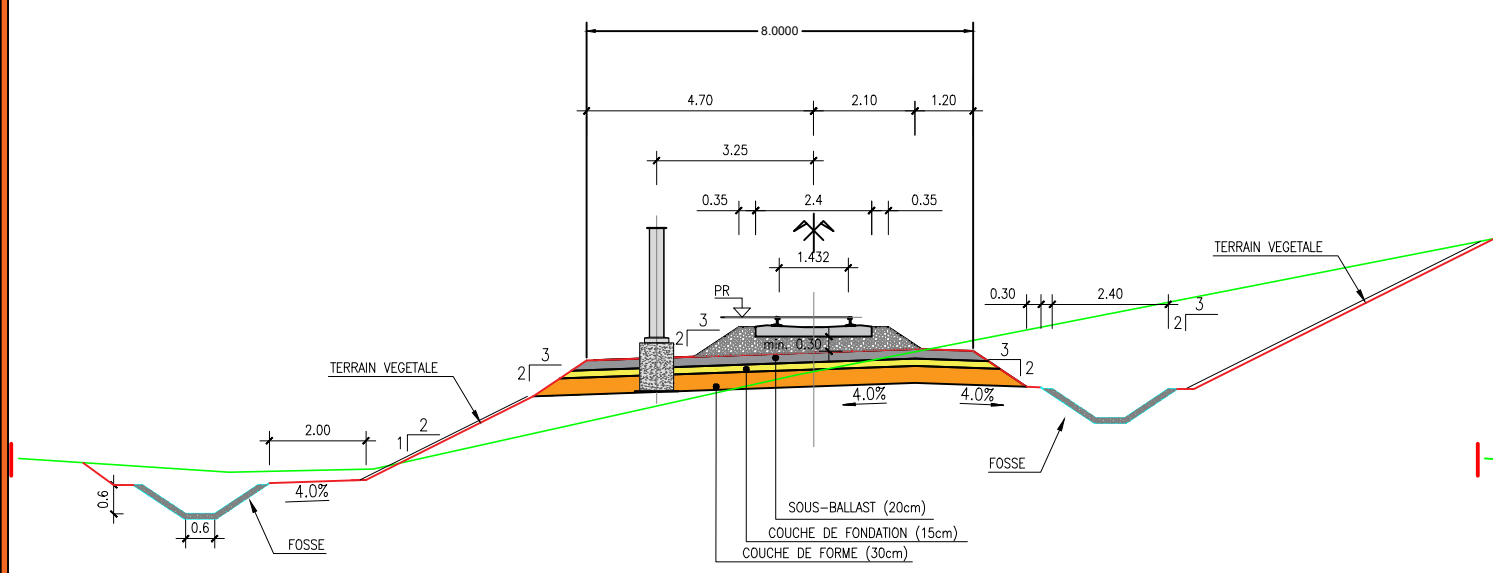
- Type de ligne : Voie unique « future dédoublement ».
- Ecartement de la voie : 1,435 m.
- Entraxe : 4,20 m.
- Largeur du tablier : 12,80 m (plateforme pour voie double).
- Pente latérale de la plateforme : 2%.
- Epaisseur de ballast : 35 cm.
- Distance axe voie - axe caténaire : 3,25 m.

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

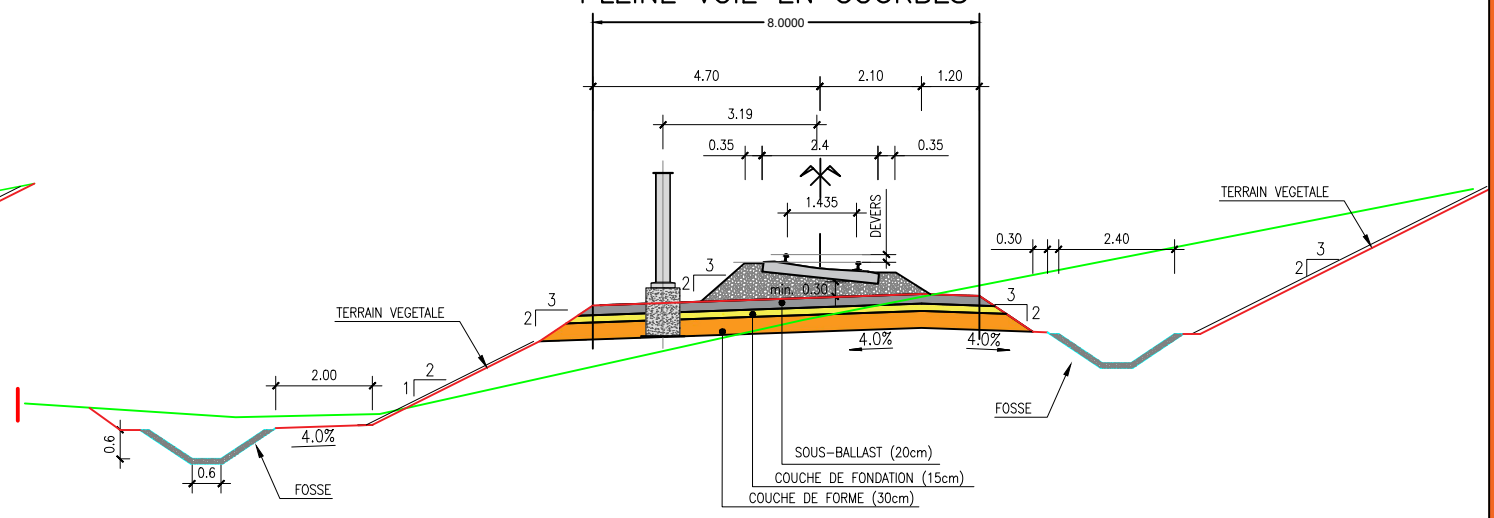
PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLAINE VOIE EN ALIGNEMENT
GRAND DEBLAI



PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLAINE VOIE EN ALIGNEMENT



PROFIL EN TRAVERS TYPE
PLEINE VOIE EN COURBES



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	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Laghouat -Ghardaia de PK 212+00 au PK 228+600 avec la conception de la gare de Metlili	Profil en travers type le long du tracé	LABACHI Billel SAOUD Wail	GOUMETTRE Ahmed	1/130 1/150	3	2022/2023

CHAPITRE XI : TERRASSEMENTS

XI. Terrassements

XI.1 Introduction :

Le terrassement c'est la mise en forme du terrain avant la construction, c'est des travaux de grandes ampleurs consistant à déplacer des quantités importantes de matériaux en créant des ouvrages en terre soit en remblai soit en déblai, de sorte que le tout reste stable.

XI.2 Section en déblai :

Les déblais sont une opération qui consiste à abaisser le niveau du sol en enlevant des terres, également appelées fouilles ou excavations. Dans le projet en question, on peut constater que des zones importantes ont été soumises à des déblais.

Les pentes de talus en déblai peuvent être : 1H/2V, 2H/3V, 1H/1V, 3H/2V, 2H/1V, 2,5H/1V, 3H/1V.

Tableau XI:1 section des déblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m

K début	PK fin	Longueur (m)	Hmax	Pente proposée	Largeur berme(m)/ Hauteur talus(m)
216+296	217+111	815	20,86	3H/2V	Berme 2m/ Talus 8m
217+945	218+121	176	12,83	3H/2V	Berme 2m/ Talus 8m
223+882	224+469	587	13,92	3H/2V	Berme 2m/ Talus 8m

XI.3 Section en remblai :

Les remblais consistent à rapporter des terres afin de relever le niveau appelés aussi remblaiement.

Les pentes de talus en déblai peuvent être : 2H/1V, 3H/2V.

Tableau XI:2Section des remblais dont la hauteur à l'axe est supérieure à 8m

PK début	PK fin	Longueur (m)	Hmax	Pente proposée	Largeur berme(m)/ Hauteur talus(m)
217+114	217+945	831	11,12	3H/2V	Berme 2m/ Talus 6m
218+487	222+072	3585	9,03	3H/2V	Berme 2m/ Talus 6m

XI.4 Etude de stabilité :

La sécurité au glissement tant à court qu'à long terme, doit être vérifiée par le calcul à partir des caractéristiques mécaniques et hydrogéologiques et géotechniques des matériaux.

Les principaux paramètres géotechniques déterminés pour chaque lithologie qui sont employés dans les analyses de stabilité des déblais remblais sont les suivants :

- Poids spécifique γ .
- Cohésion c' .
- Angle de frottement interne φ' .

Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération

- $F_s \geq 1.3$ à court terme.
- $F_s \geq 1.5$ à long terme.
- $F_s \geq 1.1$ situation accidentelle (séisme).

XI.4.1 Vérification de la stabilité des déblais et remblais (Logiciel Slide 6.0) :

La vérification consiste à calculer le facteur de sécurité global pour les différentes positions des centres de cercles de rupture, en comparant la valeur obtenue avec le minimum normalisé :
Facteur de sécurité globale : $F_s = T_r / T_s$ dans laquelle :

T_r : représente la résistance au cisaillement le long du cercle de rupture, T_s est la force totale de cisaillement agissante le long du cercle critique.

Le calcul de la stabilité se fait dans le cas statique car la wilaya de Ghardaïa est située dans la Zone sismique 0.

XI.4.1.1 Zone déblai :

Pente proposée : 3H/2V avec une risberme de 2m.

Sismicité Zone : Zone 0 (sismicité négligeable).

Tableau XI:3 Caractéristique mécanique des déblais

Pk début- PK fin	Hmax	Nature du terrain	γ_h (kn/m ²)	C'(kPa)	φ°
216+296-217+111	20,86	Calcaire	18,2	100	35

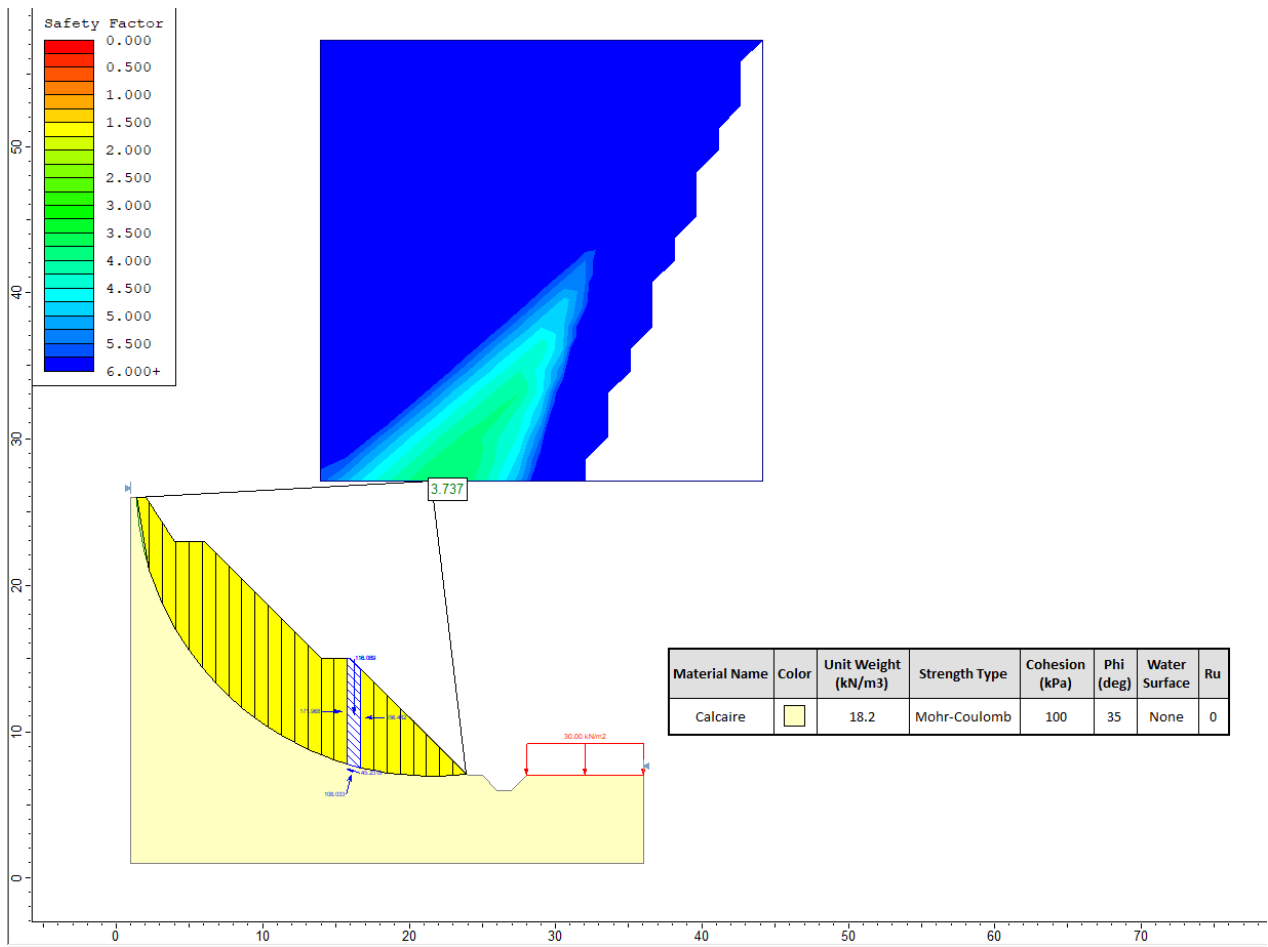


Figure XI:1 Calcul de la stabilité statique du déblais PK 216+750 (3.737 vérifié)

XI.4.1.2 Zone remblai :

Pente proposée : 3H/2V avec une risberme de 2m.

Sismicité Zone : Zone 0 (sismicité négligeable).

Tableau XI:4 Caractéristique mécanique des remblais

Pk début- PK fin	Hmax	Nature du remblais	γ_h (kn/m ²)	C'(kPa)	φ°
217+114-217+945	11.12	Calcaire fracturé	22	100	35
		Calcaire marneux	20.8	100	35

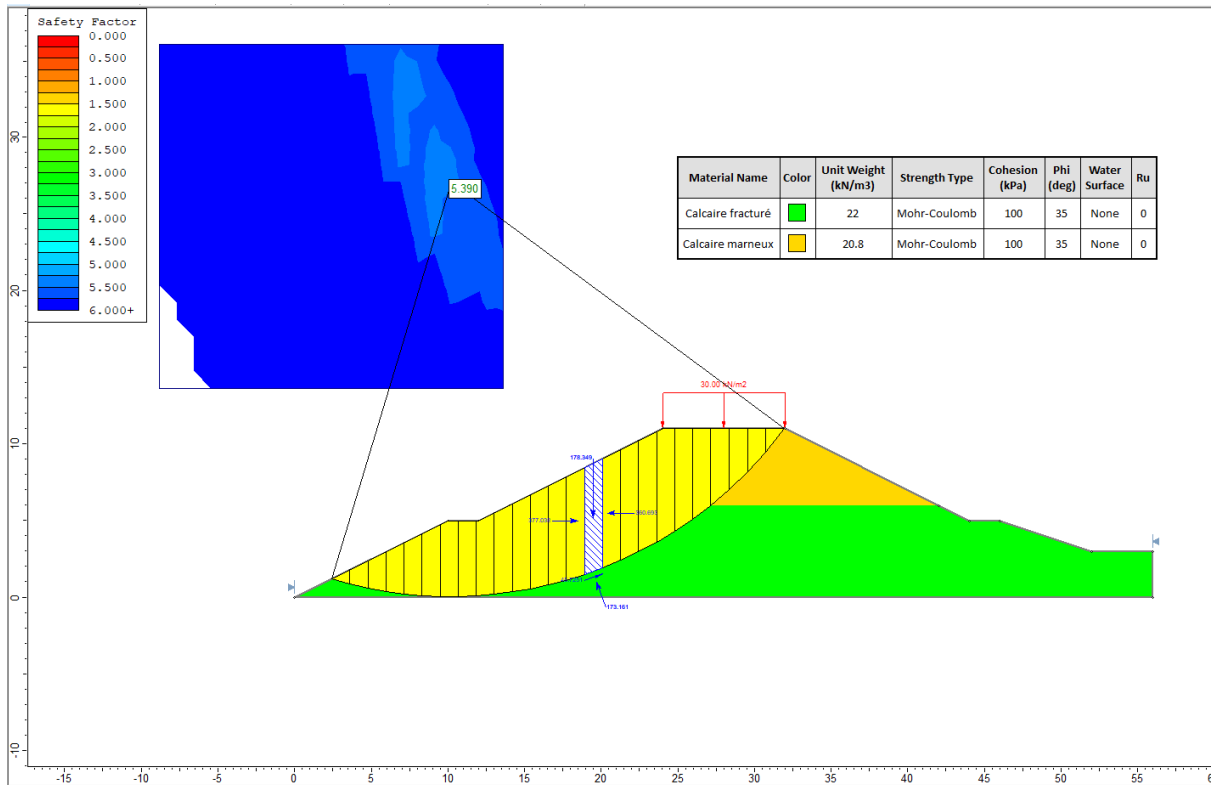


Figure XI:2 Calcul de la stabilité statique du remblais PK 217+475 (5.390 vérifié)

XI.5 Remblais en zones inondable (ZI) :

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité, une protection en gabionnage est aussi recommandée dans le cas où les écoulements sont parallèles au tracé.

À fin d'éviter des remontées capillaires susceptibles de générer des désordres dans le corps de remblai, Il sera nécessaire d'adopter des mesures comprenant une purge sur 0.5 à 1.0 m de profondeur et une substitution par la mise en place de matériaux granulaires avec les caractéristiques suscitées.

- $LA + MDE \leq 80$.
- $63 \leq D \leq 500$ mm.
- Tamisat à (D) : $85\% \leq \% \text{ tamisat} \leq 99\%$.
- Passant à $80\mu\text{m} \leq 5\%$.

Avec : D : dimensions des granulats

LA : Los Angeles, MD : MicroDeval.

CHAPITRE XI : Terrassements

Les géotextiles de séparation (filtre anti contaminant) devront être du type non-tissés en polypropylène et présenter les suivantes caractéristiques minimales :

- Masse surfacique $> 300 \text{ g/m}^2$.
- Résistance à la traction $> 20 \text{ kN/m}$.
- Déformation à l'effort de traction maximale $> 75\%$.
- Résistance au poinçonnement statique CBR $> 1.75 \text{ Kn}$.
- Ouverture de filtration caractéristique $< 100 \mu\text{m}$.

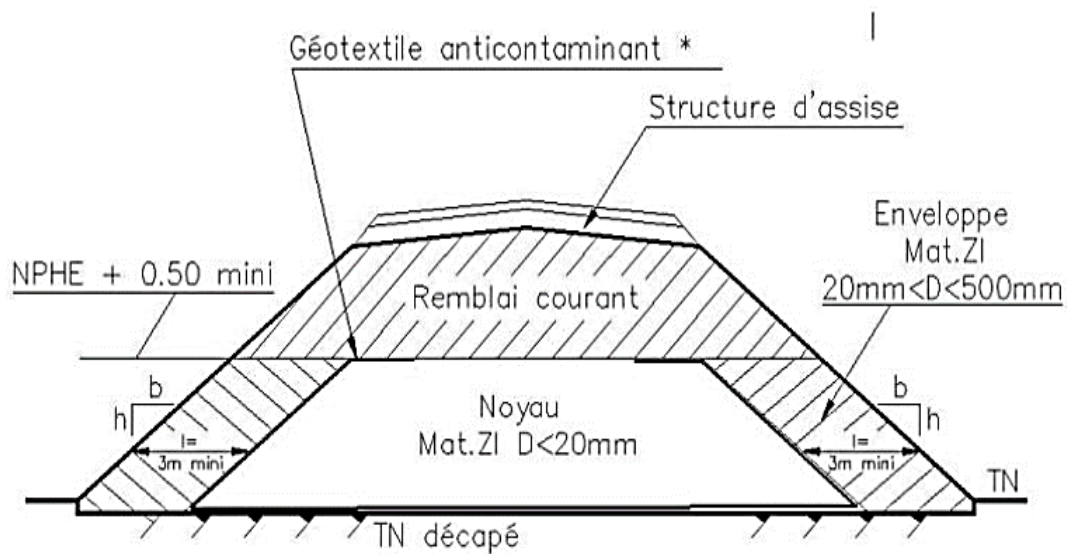


Figure XI:3 Conception admise des remblais en zones inondable

XI.6 Calcul des volumes des terrassements :

Les volumes des terrassements sont calculés après avoir défini la ligne rouge du projet et les différentes côtes du terrain naturel à partir du tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

Le calcul des cubatures des terrassements a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D 2022 », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :

Tableau XI:5 Récapitulatif des quantités de déblais-remblais

Terrassements	Volume (m ³)
Déblais	659089
Remblais	838711

CHAPITRE XI : Terrassements

Tableau XI:6Récapitulatif du volume des couches d'assises

Couche	Volume (m ³)
Ballast	41299
Sous ballast	29686
Couche de fondation	23859
Couche de forme	60647

CHAPITRE XII : CONCEPTION DE LA GARE METLILI

XII. Conception de la gare Metlili

XII.1 Introduction :

La ligne ferroviaire possède des lieux d'escale considérés comme points d'échanges et liens de développement stratégique, appelés gares.

Selon ses fonctions, conceptions, et à travers ses différentes installations, qui doivent faire preuve d'une intégration urbaine et architecturale, elles permettent la promenade des voyageurs à bord des trains d'un endroit vers un autre, et le chargement et déchargement de marchandises.

XII.2 Types des gares :

Gare de voyageur : Les gares de voyageurs sont généralement implantées dans les grandes villes, et dans les lieux de grandes populations, ces gares sont chargées de tous installations pour recevoir les voyageurs.

Gare marchandise : Les gares de marchandise sont implantées dans les lieux industriels, agricoles et commerciaux importants, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands laboratoires.

Les gares marchandise sont chargées de toutes les installations pour le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises. Émis et reçus par eux.

Gare mixte : Ces gares seront implantées dans la ville industrielle, agricole et commerciale, et elles seront chargées de plusieurs installations pour recevoir les passagers et pour charger, décharger et stocker les marchandises délivrées par la gare.

Gare de croisement : C'est l'une des plus petites gares, Ces gares sont implantées généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer le travail de réception des trains des deux côtés de la gare en toute sécurité après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

XII.3 Plan de masse d'une gare :

La conception de la gare s'effectue en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. On distingue (03) éléments qui sont nécessaires pour l'étude du plan de masse :

Catégories de la voie : elle permet de déterminer le rôle et les constituants de la gare.

CHAPITRE XII : Conception de la gare Metlili

Le trafic : c'est un élément très important pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de l'aménager d'une manière convenable.

L'emplacement de la gare : généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

XII.4 Installations d'une gare voyageurs :

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

Le bâtiment de voyageurs (B.V) : C'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.

Les bâtiments à usages divers (B.U.D) : Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des colis, bureaux....

Quais : C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.

Abris de quais : C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.

Les passages sous terrain et les passerelles : ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

XII.5 Garage franc :

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. La valeur théorique de garage franc est de 3,57 entraxes de la voie directe et la voie déviée, mais en raison de la sécurité, le garage franc sera installé à 1 m de distance du garage franc théorique, donc le garage franc est donné par la formule suivante :

$$GF = 3.5 \times N + 1$$

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

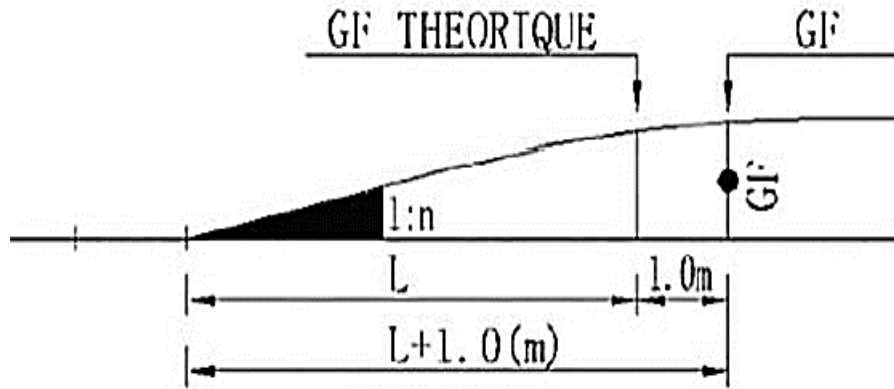


Figure XII:1 Garage franc

XII.6 La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire pour que le train stationne sur la voie de dépassement sans gêner la circulation de la voie principale ou des autres voies de dépassement voisines.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs.

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

- La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est : 426 m.
- La longueur utile minimale pour les trains de marchandise est : 870 m pour la voie principale et la voie de service.
- Longueur utile des voies d'évitement 1200 m.

XII.7 Heurtoir :

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies, ces voies appelés « voie tiroirs ou bien voie en cul de sec » pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons situés à la même hauteur que l'attelage des trains



Figure XII:2 Heurtoirs

XII.8 Les Quais :

La hauteur du quai (h) :

Selon la fiche UIC 741OR :

La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm.

Sous certaines conditions, une hauteur de 760 mm par exemple les quais concernés par le trafic voyageur dans les grandes lignes et banlieue.

Distance par rapport à l'axe de la voie :

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$L(\text{mm}) = 1650 + S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

R : le rayon de la voie (m).

I : l'écartement de la voie (mm).

La longueur de quai :

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

La largeur des quais :

La SNTF recommande pour une telle gare

- Quai intermédiaire $B > 8$ m
- Quai extérieur $B \geq 6$ m

L'entre axe des quais :

Selon SNTF :

- Entraxe normal en ≥ 11.3
- Entraxe minimal en ≥ 9.3

XII.9 Appareils de voie :

C'est des équipements permettent :

- Au matériel roulant de passer d'une voie à l'autre ;
- A un itinéraire de se scinder en deux itinéraires différents ;
- A un itinéraire de traverser un autre itinéraire.

Trois éléments constitutifs permettent de construire tous ces appareils :

Une partie Aiguillage (1).

Une partie Intermédiaire (2).

Une partie de Croisement (3).

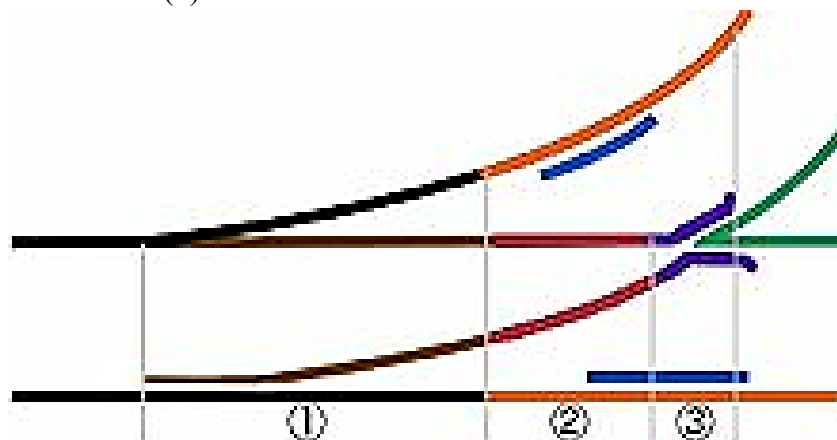


Figure XII:3 Eléments constitutifs d'un appareil de voie

CHAPITRE XII : Conception de la gare Metlili

XII.10 Application au projet :

La nouvelle gare de Metlili est située à la fin de notre projet, en effet est une gare conçue comme gare voyageurs composée de trois voies. La gare de Metlili est située au Nord-Est de la ville de Metlili, wilaya de Ghardaïa. Elle est accessible par la route nationale N° 49 qui se dirige vers Ouargla en venant du rond-point qui la raccorde à la route national N°01.

- **La longueur des quais :**

Pour notre gare on prend 225m comme longueur des quais ce qui correspond à 3 fois un wagon de 75 m, avec une pente de 2%.

- **Largeur des quais :**

On prend B= 6 m pour les quais extérieurs, et 8 m pour les quais intermédiaires.

- **Hauteur des quais :**

On prend pour notre cas h= 55 cm.

- **La distance par rapport à l'axe de la voie Selon UIC741 :**

La distance par rapport à l'axe de la voie $L = 1650 + S$.

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

Tel que : R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit $R = \infty$)

I : écartement de la voie (dans notre projet $I = 1435$ mm)

$$L = 1650 + \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2} = 1650 \text{ mm}$$

- **Entraxe entre les quais A et B :**

Dans notre projet on a opté pour l'entraxe de 14.5 m entre les quais A, B

- **Appareils de voie :**

Pour notre projet on a recours à deux appareils de voies :

- UIC 60 500 1/12

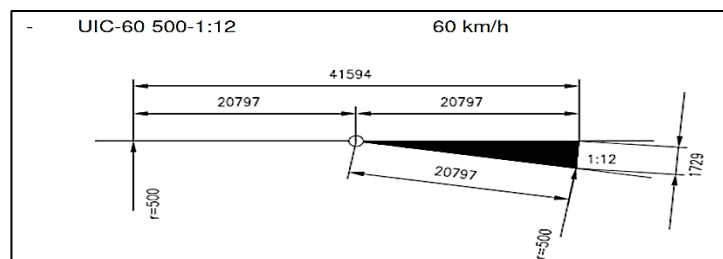


Figure XII:4 Appareil de voie UIC 60 500 1/12

CHAPITRE XII : Conception de la gare Metlili

- UIC 54 300 1 /9

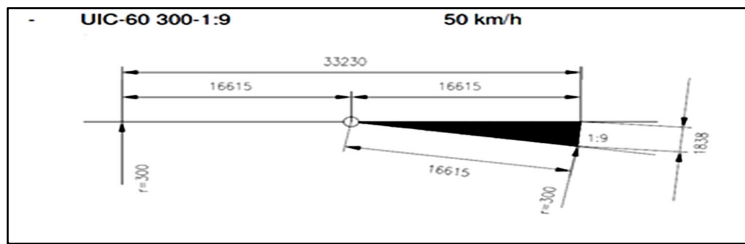


Figure XII:5 Appareil de voie UIC 60 300 1 /9

Tableau XII:1 Caractéristique des appareils des voies

Appareil de voie	Type de rail	R(m)	Vitesse en voie déviée (km/h)
1/12	UIC 60 E1	500	65 km/h
1/9	UIC 60 E1	300	50 km/h

- **Longueur du garage franc :**

Calcul la distance de garage franc :

UIC 60 500 1/12: $GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 12) + 1 = 43.84m$.

UIC 54 300 1 /9: $GF = (3.57 \times N) + 1 = (3.57 \times 9) + 1 = 33.13m$.

- **La longueur utile d'une voie de stationnement :**

Tableau XII:2 Les longueurs utiles

Voie	Longueur utile(m)
VA	1257(voie principale)
VB	1014
V2	1128

XII.11 Passage souterrain (PS) :

Pour notre gare, un passage souterrain est conçu pour faciliter la circulation des voyageurs entre les différents quais de la gare. En effet, les trains peuvent arriver et partir de différents quais, et le passage souterrain permet aux voyageurs de se déplacer facilement d'un quai à l'autre sans avoir à traverser les voies de chemin de fer.

Enfin, le passage souterrain peut également être utilisé comme zone de sécurité en cas d'urgence ou d'évacuation. En cas d'incendie ou d'autres situations d'urgence, le passage souterrain peut servir de voie d'évacuation pour les voyageurs de la gare.

Dans l'ensemble, le passage souterrain dans une gare de train est un élément important pour assurer la sécurité et la commodité des voyageurs.

XII.12 Assainissement de la gare :

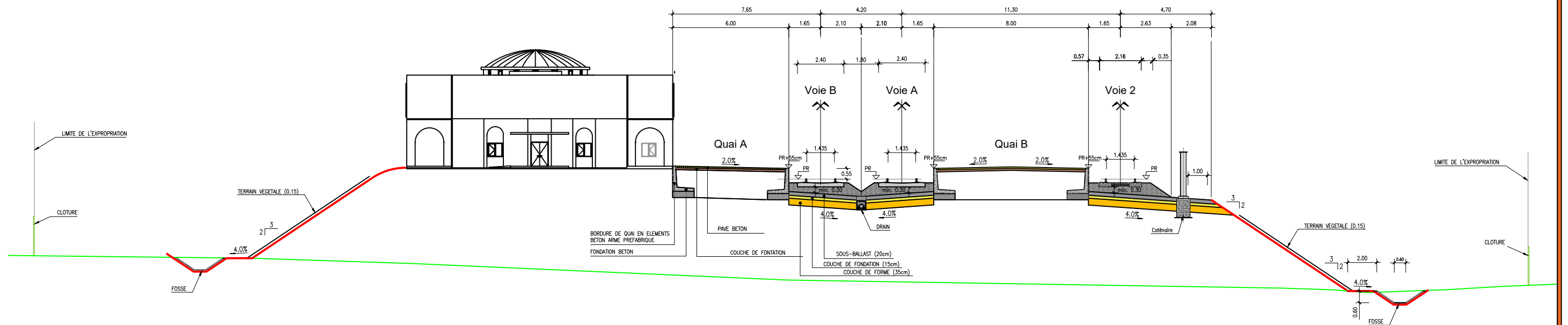
Assainissement transversale :

Afin de permettre une évacuation efficace des eaux pluviales dans les gares, il est nécessaire que les quais présentent une inclinaison de 2% en forme, selon le cas. Cela permet de diriger l'eau vers les voies, qui sont ensuite équipées de pentes transversales sur les plates-formes pour une évacuation ultérieure :

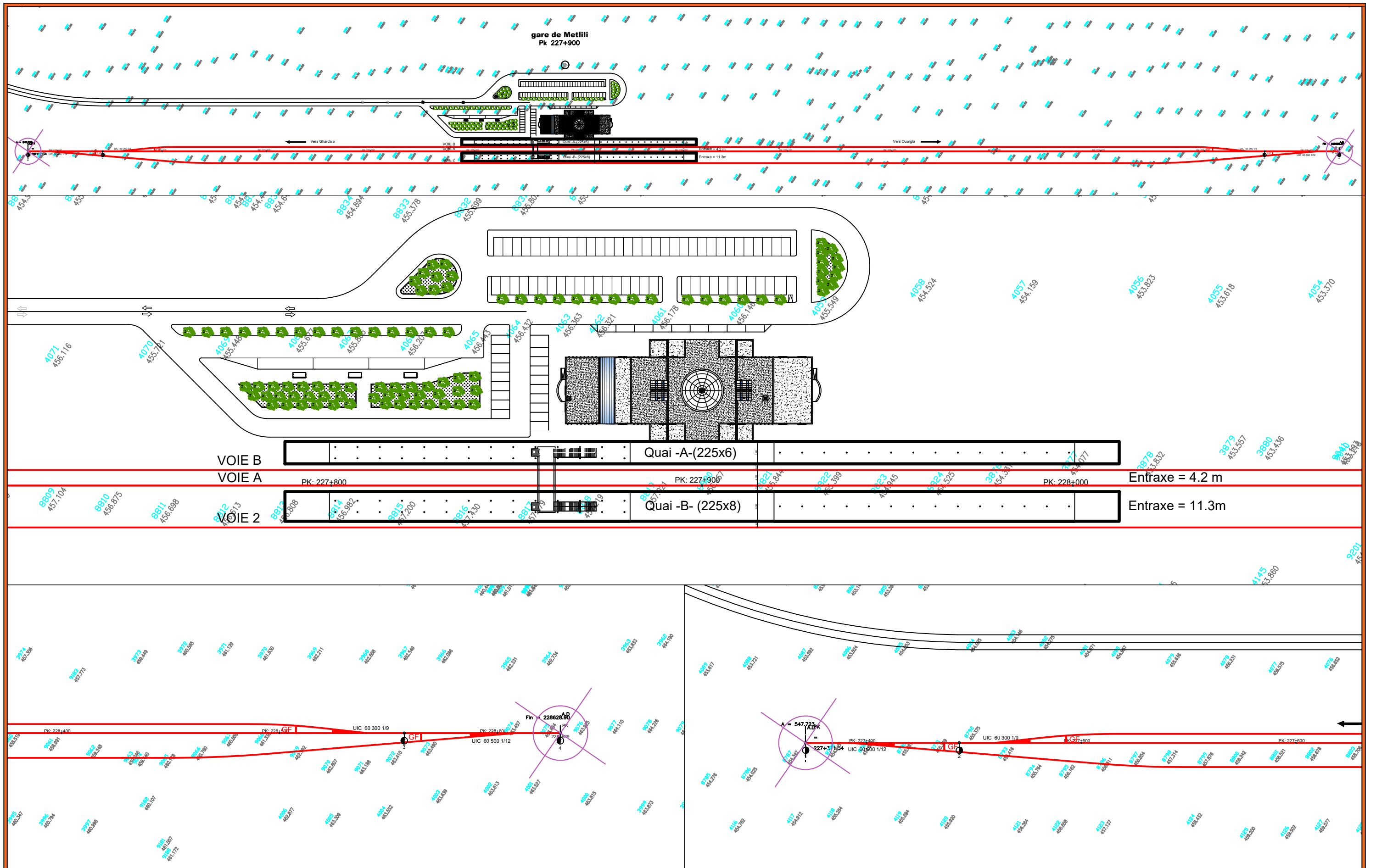
Assainissement longitudinal :

Les drains disposés parallèlement à l'axe du rail, avec une inclinaison de 4%, ont pour fonction de collecter les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme, afin de les conduire vers le réseau d'assainissement à travers des regards de visite, des fossés bétonnés avec ($b= 0.6m$ et $h= 0.6m$).

PROFIL EN TRAVER TYPE
GARE DE METLILI
 Echelle: 1/200



PROJET	Titre	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Laghouat -Ghardaia du PK 212+00 au PK 228+600 avec la conception de la gare de Metlili	Profil en travers de la nouvelle gare Metlili	LABACHI Billel SAOUD Wail	GOUMETTRE Ahmed	1/200	4	2022/2023



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
Etude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Laghouat -Ghardaia de PK 212+00 au PK 228+600 avec la conception de la gare de Metlili

Titre
Vue en plan de la gare Metlili

Réalisé par
LABACHI Billel SAOUD Wail

Encadré par
GOMETTRE Ahmed

Echelle
1/3500 1/900

Planche
5

Année universitaire
2022/2023

**CHAPITRE XIII : SIGNALISATION
FERROVIAIRE**

XIII. Signalisation ferroviaire

XIII.1 Introduction :

La signalisation ferroviaire regroupe l'ensemble des signaux conventionnels et des équipements techniques du réseau ferré conçus pour assurer la sécurité des usagers du rail et d'en diminuer les conséquences. Elle est gérée depuis différents postes d'aiguillage répartis sur l'ensemble du réseau ferré.

XIII.2 Fonctions des signaux :

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une Signalisation d'exécution ou de rappel.

L'usage veut que la signalisation d'arrêt (exécution et annonce) soit explicitée séparément, alors que les deux dernières forment un tout.

Rôle des installations de signalisation :

Les installations de signalisation permettent de résoudre les cinq grands problèmes suivants :

- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages (cantonnement ou block).
- La protection des circulations dans les établissements (convergence, cisaillement...).
- La circulation, dans les deux sens, sur une même voie (nez à nez).
- Les risques de déraillement par excès de vitesse.
- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau (passages à niveau).

XIII.3 Différents types de signaux :

XIII.3.1 Signalisation lumineuse :

En signalisation lumineuse, les signaux donnent, de jour comme de nuit, les mêmes indications. Il est fait usage :

- Soit de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants.

CHAPITRE XIII : Signalisation ferroviaire

- Soit de tableaux lumineux ou réfectorisés, pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un signe conventionnel.

XIII.3.2 Signalisation mécanique :

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une Cocarde de couleur, ou bien d'un tableau mécanique.

XIII.4 Implantation des signaux :

L'implantation des signaux revêt une importance capitale car elle permet de communiquer des ordres aux conducteurs, et conditionne ainsi la sécurité des circulations.

Afin de permettre au mécanicien de s'arrêter devant un signal d'arrêt (ou un point à protéger) ou de respecter une limitation de vitesse dans une zone délimitée, il est nécessaire de le prévenir à une distance suffisante pour que le freinage puisse être mis en œuvre dans les conditions normales ; c'est le rôle des signaux d'annonce à distance. Ces distances sont appelées, respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

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

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

Les signaux implantés à demeure sont normalement installés à gauche de la voie.



Figure XIII:1 Implantation des signaux à gauche sur mat

CHAPITRE XIII : Signalisation ferroviaire

Dans certains cas, la multiplicité des voies ou les infrastructures ne permettent pas d'implanter la signalisation à gauche, sur mât, Les signaux sont alors placés sur potence ou sur portique, au-dessus de la voie à laquelle ils s'adressent, Dans ce cas ils sont installés en nacelles pour en améliorer la visibilité.



Figure XIII:2 Implantation des signaux sur potence

XIII.5 Les systèmes d'espacement des trains « cantonnement » :

Le système d'espacement des trains de même sens, est destiné à éviter les rattrapages et consiste à fractionner la ligne en plusieurs cantons dont l'entrée est protégée par un signal d'arrêt.

Pour prévenir le risque de rattrapage : un dispositif d'espacement des trains appelé « cantonnement » est mis en place selon les principes suivants :

- La ligne est divisée en portions de voie appelées « cantons ».
- L'entrée de chaque canton est normalement commandée par un signal.
- Un seul train est normalement admis dans chaque canton.
- Aucun train ne peut normalement pénétrer dans un canton occupé, du fait du maintien à la fermeture du signal d'entrée du canton durant tout le temps de son occupation.

XIII.5.1 Les différents modes de cantonnement :

On distingue :

- Le cantonnement téléphonique.
- Le block manuel par appareils (BM).
- Le block automatique : lumineux (BAL) ou à permissivité restreinte (BAPR).
- L'ETCS 1 généralement superposé à la signalisation au sol.
- L'espacement sur lignes à grande vitesse (TVM, ETCS 2).

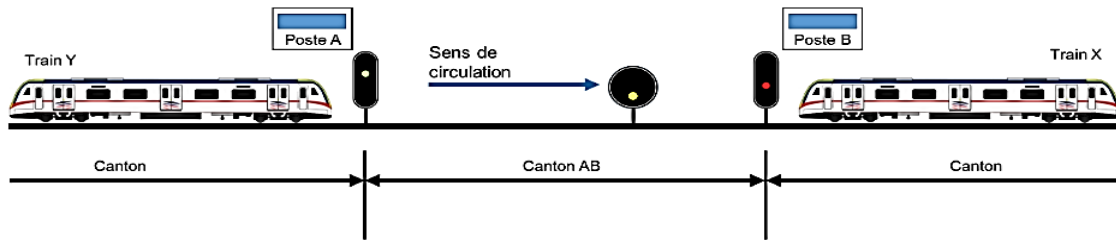


Figure XIII:3 Cantonnement téléphonique

XIII.6 Les principaux signaux ferroviaires :

- **Signaux de protection.**

Les signaux de protection sont destinés à interdire l'accès à un itinéraire, à une aiguille, à un PN, etc. Ils sont généralement manœuvrés depuis des postes par des agents de SNTF Réseau.

- **Signaux de cantonnement.**

Les signaux de cantonnement sont destinés à assurer l'espacement des circulations de même sens. Sur les sections de lignes équipées en block automatique (BA), les signaux de cantonnement se ferment automatiquement dès l'occupation du canton et restent fermés jusqu'à sa complète libération.

Sur les sections de lignes équipées en block manuel (BM), les signaux de cantonnement sont manœuvrés depuis des postes par des agents du service du GI chargé de la gestion des circulations.

- **Signaux d'annonce d'arrêt.**

Le carré, le sémaphore et le feu rouge clignotant sont normalement annoncés à distance par un avertissement qui peut lui même être précédé, en signalisation lumineuse, par un feu jaune clignotant.

- **Signaux d'indication de marche.**

Le feu vert indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, s'y rien ne s'y oppose

- **Signaux de limitation de vitesse.**

Ils limitent à un taux déterminé la vitesse des trains sur une partie de voie ou au franchissement

- **Signaux indicateurs de direction.**

Ils renseignent les conducteurs sur la direction géographique qui leur est donnée.

- **Signaux caractéristiques de prescriptions particulières.**

NB : Tableau des principaux signaux ferroviaires et leur indication dans l'annexe de présent chapitre.

XIII.7 Compteur d'essieu :

Le compteur d'essieu, permet de détecter la présence d'une circulation dans un canton par comparaison entre le nombre d'essieux qui entrent dans le canton et le nombre d'essieux qui en sortent, par l'intermédiaire de "point de comptage" constitué par deux détecteurs installés à chaque extrémité de la section. Lorsqu'une circulation entre dans le canton, le point de comptage enregistre le nombre d'essieux qui entrent dans ce canton et incrémente un compteur "d'entrée". Les deux détecteurs électroniques sont décalés et permettent ainsi de connaître le sens de passage de la circulation.

Lorsque cette circulation quitte le canton, le point de comptage enregistre le nombre d'essieux qui sortent de ce canton et incrémente un compteur de "sortie". Ces informations sont envoyées à un point de traitement central qui vérifie en permanence la coïncidence ou pas de ces deux compteurs, il en résulte que :

- S'il y a coïncidence, l'indication "voie libre" peut être indiquée.
- S'il n'y a pas coïncidence, l'indication "voie occupé" est indiquée.



Figure XIII:4 Compteur d'essieux

XIII.8 Le système de signalisation ERTMS :

Le système de signalisation ERTMS (European Rail Traffic Management System) est un système standardisé de gestion du trafic ferroviaire développé en Europe. Il vise à améliorer l'interopérabilité et la sécurité des trains circulant à travers différents pays.

L'ERTMS utilise des technologies de communication sans fil pour transmettre des informations entre les trains et l'infrastructure ferroviaire. Il remplace les systèmes de signalisation traditionnels basés sur des signaux physiques le long des voies.

Le système ERTMS se compose de deux principaux sous-systèmes : le système de contrôle-commande embarqué à bord des trains, appelé ETCS (European Train Control System), et le système de gestion de l'infrastructure, appelé GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railways).

L'ETCS fournit des informations aux conducteurs de train, telles que les limites de vitesse, les indications de signalisation et les instructions de conduite. Il garantit également le respect automatique des limitations de vitesse et des distances de sécurité.

Le GSM-R permet la communication vocale et les échanges de données entre les conducteurs, les opérateurs ferroviaires et le personnel de maintenance. Il fournit également des informations en temps réel sur l'état des voies et des trains.

XIII.8.1 Les avantages d'ERTMS :

L'ERTMS présente plusieurs avantages, notamment une meilleure capacité de gestion du trafic, une réduction des coûts d'exploitation, une plus grande flexibilité et une plus grande sécurité. Il facilite également l'interopérabilité des systèmes ferroviaires entre les pays européens.

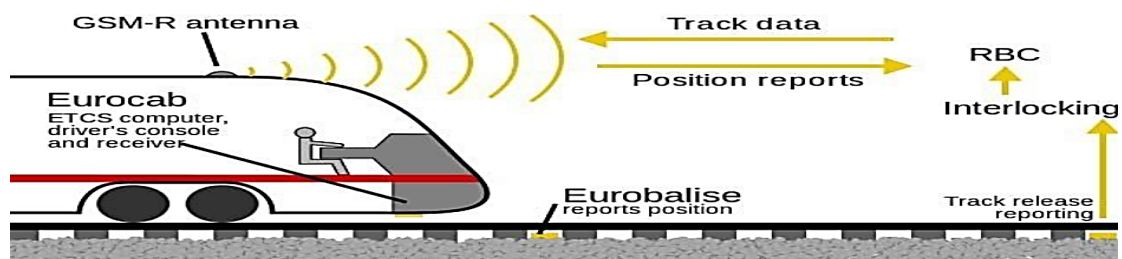


Figure XIII:5 Illustration du système ERTMS/ETCS

Dans la nouvelle ligne LAGHOUAT -GHARDAIA Le type de système de signalisation choisi par le maître d'ouvrage est ERTMS.

**CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR
L'ENVIRONNEMENT**

XIV. Etude d'impact sur l'environnement

XIV.1 Introduction :

L'infrastructure joue un rôle essentiel dans notre société moderne en fournissant les installations nécessaires pour les transports, les communications, l'énergie et les services publics. Cependant, il est important de reconnaître que la construction et l'exploitation de ces infrastructures peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement.

XIV.2 Objectifs de l'étude :

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est de chercher les impacts ou nuisances de la ligne ferroviaire de telle sorte à pouvoir proposer un plan d'action environnemental qui reposera sur les objectifs suivants :

Se conformer aux exigences légales et réglementaires environnementales nationales et internationale.

Identification des différentes sources de pollution et de nuisances générées par l'établissement, et proposer des mesures, procédures ou dispositifs en vue de prévenir, réduire et/ou supprimer ces pollutions et nuisances.

Prévenir et maîtriser la pollution engendrée par ces activités.

XIV.3 Description du milieu :

XIV.3.1 Milieu physique :

XIV.3.1.1 Relief

Le projet se situe dans une région très peu accidentée et tectoniquement stable, La région se distingue :

- Le grand erg oriental : véritable mer de sable ou les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200 m.
- La Hamada : qui est un plateau caillouteux, elle est située en grande partie à l'Ouest et au sud.
- Les vallées : sont représentées par la vallée fossile d'Oued Mya et la vallée de l'Oued Righ, assez prospérés.

XIV.3.1.2 Hydrographie et hydrogéologie :

Le Sahara, et particulièrement l'espace Sud-Est, ne sont pas dépourvus de ressources hydrauliques. Le sous-sol recèle en effet un grand aquifère qui le Continental Intercalaire ou nappe albienne, d'une plus grande ampleur, recouvre une superficie d'environ 1 100 000 km² (dont 700 000 km² en Algérie, 80 000 en Tunisie et 250 000 en Libye) et se situe à une plus grande profondeur entre -650 m et -1 000 m environ.

XIV.3.1.3 Climat

La zone d'étude est caractérisée par un climat Saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de l'activité biologique de l'écosystème.

Les vents dominants dans cette région sont ceux de NNE et SSE avec une vitesse pouvant atteindre et parfois dépasser 20 m/s. Le sirocco (vent chaud et sec) peut être observé à toute époque de l'année.

L'humidité relative enregistre des taux tournant de 21 à 77 %.

XIV.3.2 Milieu naturel :

XIV.3.2.1 La Flore

- Les substrats argileux, caillouteux et les regs abritent des groupements végétaux pauvres en espèces, tels que l'*Aristida pungens*, le *Retama retam*, le *Calligonum comosum*, l'*Ephedra allata*, l'*Urginea noctiflora* et l'*Erodium glaucophyllum*.
- Les sols rocheux et les hamadas sont caractérisés par la présence de groupements à remth et de fagonie. Les pentes et les falaises de ces formations géomorphologiques abritent une proportion élevée d'espèces rares ou endémiques.
- Les dépressions fermées des zones sahariennes et les daïas sont occupées par le bétoum et le jujubier.
- Les vallées et les lits d'oueds sont peuplés de formations à *Acacia raddiana*, qui s'épanouissent pleinement au Sahara central. On y trouve également l'*Acacia seyal*, l'*Acacia scorpioides*, le *Tamarix articulata*, le *Tamarix gallica*, le *Tamarix pauciovulata*, le *Zizyphus mauritanicus* et le *Zizyphus lotus*, en fonction de l'alimentation en eau des alluvions sableuses.

CHAPITRE XIV : Etude d'impact sur l'environnement

XIV.3.2.2 La faune :

La faune dans les zones d'étude nécessite une protection en raison de leur vulnérabilité et de leur importance. En milieu désertique, la faune est rare, composée principalement de mammifères insectivores, carnivores, rongeurs, ongulés, oiseaux, reptiles et arachnides. Les zones humides abritent une faune plus diversifiée, comprenant des oiseaux, des mammifères et des reptiles tels que les canards colverts, les flamants roses, les chacals, les hyènes, les vipères, les couleuvres et les lézards.

XIV.3.3 Milieu humain :

XIV.3.3.1 La population :

La population totale de la Wilaya de Ghardaïa est estimée à la fin de l'année 2016 à 455.572 habitants contre 447.340 en 2015, soit une augmentation absolue de 8232 et un taux d'accroissement démographique dégressif de l'ordre de 1,84 % en 2016.

XIV.3.4 Activité économique

XIV.3.4.1 L'industrie :

Le tissu industriel de la Wilaya de Ghardaïa est composé de 326 unités industrielles dans les branches d'activité :

- ISMME : 35 unités dont : 32 unités du secteur privé.
- Matériaux de construction, céramique et verre : 65 unités dont : 65 unités du secteur privé.
- Textile : 71 unités dont : 71 unités du secteur privé.
- Agroalimentaire : 30 unités dont : 30 unités du secteur privé.
- Chimie, caoutchouc et plastique : 66 unités dont : 66 unités du secteur privé.
- Bois, liège, papier et impression : 45 unités dont : 45 unités du secteur privé.
- Mines et carrières : 14 unités dont : 14 unités du secteur privé.

XIV.3.4.2 L'énergie :

La Wilaya de Ghardaïa est alimentée en énergie électrique à partir du poste HT 220/60/30 KV de Bouhraoua commune de Ghardaïa, mis en service en octobre 2002, d'une puissance de 2 X 120 MVA, relié à la centrale de Ouargla et à celle de Tilghemt par 2 lignes 220 KV.

CHAPITRE XIV : Etude d'impact sur l'environnement

La centrale pilote en panneaux photovoltaïque 1100 KWc à Oued Nechou commune de Ghardaïa mise en service et inaugurée par Monsieur le ministre de l'Energie en 2014.

- Le taux d'électrification est de 98,76 % .
- Le taux de raccordement en gaz est de 74,66 %.

XIV.4 Evaluation des impacts :

L'identification des impacts sur la voie ferrée consiste à analyser les conséquences potentielles de la présence et de l'exploitation d'une ligne de chemin de fer. Cela implique d'évaluer les effets sur l'environnement, le paysage, les écosystèmes, ainsi que sur les populations et les infrastructures voisines. L'objectif est de comprendre et de prévoir les impacts négatifs afin de mettre en place des mesures d'atténuation appropriées et de favoriser une gestion durable des voies ferrées.

XIV.4.1 Milieu physique

La zone d'étude présente un profil et une pente caractérisés par des espaces à faible élévation. La topographie est généralement plate à moyennement accidentée, favorisant l'érosion éolienne, hydrique et les glissements de terrain.

La valeur environnementale attribuée à cette région est faible. Le sol de la zone d'étude est composé de terrains argileux et sablonneux, avec une légère dénivellation dans certaines régions. Les sols argileux favorisent les mouvements de masse et les sols gypseux peuvent aggraver les fondations des infrastructures.

La valeur environnementale attribuée à la qualité des sols est élevée. L'hydrologie de la zone d'étude est précieuse pour la population locale, utilisée à des fins domestiques et agricoles. La présence de plusieurs oueds à proximité du projet, ainsi que des lacs protégés, peut entraîner des risques d'inondation.

La valeur environnementale est élevée. La qualité des eaux de surface et souterraines est également importante, avec une utilisation principalement pour l'approvisionnement en eau domestique, l'irrigation des cultures et l'élevage. La valeur environnementale attribuée à la qualité de l'eau est élevée en raison de son importance pour les populations locales.

En raison des implications techniques et environnementales liées à la modification du ruissellement et de l'infiltration des eaux, ainsi que de l'importance de préserver les caractéristiques et les fonctions du drainage naturel, une grande valeur est accordée à cet élément du milieu.

XIV.4.2 Milieu biologique

La végétation commune de la zone d'étude se compose essentiellement d'arbustes et d'une densité faible d'arbres ainsi que des espèces végétales protégées.

Une valeur environnementale grande est attribuée à cet élément.

La faune de la zone d'étude est très riche et variée avec composées de mammifères, oiseaux et reptiles dont plusieurs espèces sont protégées. Une attention particulière doit être apportée pour leur sauvegarde.

Une valeur très grande a donc lui été attribuée.

XIV.4.3 Milieu humain

Dans la zone d'étude, le milieu bâti est principalement composé de quelques maisons qui seront traversées par le tracé de la voie ferrée ou affectées par le bruit. Il est attribué une faible valeur à ce milieu. La zone de culture et d'élevage est traversée par une partie du tracé, et ces activités agricoles et d'élevage revêtent une grande importance dans la région. Une valeur élevée est donc accordée à cet élément.

Le réseau routier est crucial pour le développement de la région et la qualité de vie des habitants. La zone d'étude comprend des routes nationales, des chemins de wilaya, des chemins communaux et des pistes. Un réseau routier de grande valeur environnementale est attribué, notamment dans les zones rurales sahariennes où les moyens de transport sont limités. Les infrastructures hydrauliques, les infrastructures énergétiques et de télécommunication sont traversées par le tracé à plusieurs endroits. Elles sont protégées et reçoivent une valeur environnementale élevée. Le mode de vie local, les activités économiques locales et régionales, la santé publique et la sécurité, ainsi que la qualité de l'air et l'ambiance sonore sont des éléments importants qui reçoivent une grande valeur environnementale. L'interaction de l'infrastructure avec le paysage naturel entraînera des transformations et un impact significatif sur le paysage traversé, ce qui lui confère une faible valeur environnementale.

XIV.4.4 Nuisance sonore

Les principales sources de pollution sonore dans la région d'étude sont : le parc automobile, le train, les avions, les zones industrielles et d'activités, le bâtiment et travaux publics et les mines.

Le réseau ferroviaire dans la zone d'étude se résume en la Nouvelle ligne de la Boucle Sud Est, tronçon Laghouat – Ghardaïa, le projet en construction Djelfa – Laghouat et le Projet Djelfa el Bayadh via Aflou.

CHAPITRE XIV : Etude d'impact sur l'environnement

Les couloirs proposés traversent des sites qui sont soit vierges (Hamada et plaines) ou longent les routes nationales et pistes.

XIV.5 Résumé des impacts positifs et négatifs des couloirs

Dans cette phase de l'étude, une description des impacts positifs et négatifs :

XIV.5.1 Impacts positifs

- Facilitation du transport de voyageurs et de marchandise.
- Diminution des émissions de gaz à effet de serre et amélioration de la qualité de l'air
- Diminution des accidents dus au transport routier.
- Diminution de la congestion des villes dues au parc automobile.
- Diminution des émissions sonores dus au parc automobile et aux trains vétustes.
- Développement des régions isolées traversée par le projet.
- Augmentation de la valeur des terrains ruraux traversés par le projet.
- Développement des activités socio-économiques ce qui impactera positivement le mode de vie et l'environnement.
- Diminution de l'exode rurale dans les zones traversées par le projet.

XIV.5.2 Impacts négatifs et risques :

Les impacts négatifs du projet se résument comme suit :

- Risque d'atteinte aux cours d'eau (pollution de l'eau lors des travaux de réalisation).
- Risque d'atteinte à la faune et la flore.
- Risque de provoquer une barrière physique due à la présente ligne ferroviaire.
- Erosion et/ou tassement des sols durant la phase de réalisation.
- Emission de gaz à effet de serre par les engins utilisés dans la réalisation du projet.
- Risques de chute de roches durant la phase de réalisation du tunnel et/ou déblai rocheux (région de la gare de Laghouat, Berriane et Ghardaïa).

XIV.6 Mesures d'insertion et d'atténuation proposées :

Pour réduire l'impact environnemental potentiellement généré, il est recommandé de prendre des mesures pour atténuer les impacts identifiés en tenant compte des contraintes environnementales lors de la conception du projet et des ouvrages. Des mesures techniques et préventives devraient être mises en place pour réduire et corriger les conséquences négatives du projet sur l'environnement.

XIV.6.1 Milieu physique :

- Limiter l'utilisation de moteurs thermiques et privilégier les moteurs électriques lorsque cela est possible.
- Prendre des mesures spécifiques telles que l'arrosage des pistes d'accès et le bâchage des camions pendant le transport des matériaux.
- Éviter le nettoyage des engins de chantier près des cours d'eau et le rejet des déchets de construction dans l'environnement.
- Délimiter et signaler clairement le périmètre des travaux pour assurer la sécurité des riverains.
- Baliser les infrastructures temporaires ou permanentes qui présentent des risques d'accident.
- Rétablir les talus des fronts d'exploitation et procéder au terrassement du terrain perturbé pour éviter l'érosion et favoriser la re végétalisation.
- Limiter les interventions sur les sols sensibles à l'érosion et favoriser la reprise végétale avec des espèces adaptées.
- Obtenir un avis géotechnique avant les travaux pour évaluer les risques de glissement de terrain.
- Effectuer des inspections régulières de la stabilité du sol avant, pendant et après les travaux.
- Assurer un bon drainage pour évacuer les crues et ne pas obstruer le passage de l'eau.
- Ces mesures visent à prévenir les impacts négatifs sur l'environnement et à assurer une gestion responsable des travaux.

XIV.6.2 Milieu biologique :

- Limiter les travaux de déboisement à l'emprise du projet et favoriser la reprise végétale dans les zones touchées en dehors de cette emprise.
- Éviter de rediriger les eaux de ruissellement directement vers les cours d'eau et les habitats humides en construisant des bassins de rétention en amont des talus pour réduire l'apport de matières en suspension provenant de la chaussée.
- Restreindre la circulation dans les zones marécageuses et limiter la circulation uniquement à l'emprise du projet.
- Stabiliser les berges et les talus en favorisant la naturalisation des surfaces exposées ou en installant des structures de protection telles que des murets.

CHAPITRE XIV : Etude d'impact sur l'environnement

- Veiller à un bon drainage des abords de la ligne ferroviaire pendant et après les travaux de construction afin d'éviter la formation de mares stagnantes propices à la création de zones marécageuses.
- Prévoir des passages et des barrières pour la faune, notamment les mammifères, en se basant sur des observations sur le site et des informations fournies par les structures forestières et agricoles. Les ouvrages hydrauliques peuvent également servir de passages pour certaines espèces animales.
- Éviter autant que possible les zones riches en végétation.

XIV.6.3 Milieu sonore :

Il est nécessaire de prendre des mesures d'atténuation pour réduire les impacts sonores de la voie ferrée. Dans ce but, l'installation d'écrans antibruit est recommandée. En fonction de l'espace disponible, ces écrans peuvent prendre la forme d'un mur seul, d'un mur avec une butte ou d'une butte seule. Les mesures spécifiques d'atténuation sont répertoriées en fonction des différentes zones.

XIV.7 Conclusion :

Comme tout projet similaire, la construction et l'exploitation de cette infrastructure auront des conséquences négatives et irréversibles sur l'environnement, ce qui perturbera le fonctionnement naturel et urbain ainsi que la qualité de vie des riverains. Les principaux impacts de la mise en place d'une nouvelle ligne sont liés à la consommation de terrains et à la fragmentation induite par le projet. Afin de garantir la mise en œuvre des différentes résolutions prises pour intégrer le projet dans son environnement et de contrôler leur application, il est essentiel de mettre en place un suivi et une surveillance des mesures de préservation et de restauration.

**CHAPITRE XV : DEVIS QUANTITATIF
ET ESTIMATIF**

CHAPITRE XV: Devis quantitatif et estimatif

XV. Devis quantitatif et estimatif

	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	UNITE	QUANTITÉ	PRIX UNITAIRE	MONTANT
1-INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDE D'EXECUTION					
1-1	Installation générale de chantier	F	1	450 000 000,00	450 000 000,00
1-2	Etude d'exécution	F	1	150 000 000,00	150 000 000,00
Coût total installation de chantier et étude d'exécution (DA)					600 000 000,00
2- TERRASSEMENTS					
2-1	Décapage de terre végétale	M3	99 600	450,00	44 820 000,00
2-2	Déblai mise en dépôt	M3	659 089	490,00	322 953 610,00
2-3	Remblais d'apport	M3	838 711	550,00	461 291 050,00
2-4	Mise en Remblais avec une couche de géotextile	M3	204 800	1 200,00	245 760 000,00
2-5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	M3	29 686	3 350,00	99 448 100,00
2-6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	60 647	2 100,00	127 358 700,00
2-7	Couche de fondation	M3	23 879	2 100,00	50 145 900,00
Coût total des terrassements (DA)					1 351 777 360,00
3 - Ouvrages d'art					
3-1	Passage inférieur	U	1	212 000 000,00	212 000 000,00
3-2	Viaduc	U	2	200 000 000,00	200 000 000,00
Coût total des ouvrages d'art (DA)					2 212 000 000,00
4 - OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4-1	Buses circulaire 1000mm	ML	120	20 000,00	2 400 000,00
4-2	Buses circulaire 1200mm	ML	48	25 000,00	1 200 000,00
4-3	Buses circulaire 1500mm	ML	80	35 000,00	2 800 000,00
4-4	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ML	4 750,00	3 500,00	16 625 000,00
4-5	Dalot en béton armé 2,00 X 2,00 m	M3	325,00	42 000,00	13 650 000,00
4-6	Dalot en béton armé 2,50 X 2,00 m	M3	73,00	43 000,00	3 139 000,00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA)					39 414 000,00
5 - TRAVAUX DE VOIE					
5-1	Fourniture et pose de ballast d'épaisseur de 0.30m	M3	41 299	45 00,00	185 845 500,00
5-2	Fourniture des traverses bi- bloc en béton armé	U	5 070	5 600,00	28 392 000,00
5-3	Soudage aluminothermique	U	207	11 500,00	2 380 500,00
5-4	Soudage électrique	U	299	9 800,00	2 930 200,00
5-5	Fourniture des rails UIC 60	T	2 260	125 000,00	282 500 000,00
5-6	Attache Nabla	U	110 667	800,00	88 533 600,00
5-7	Pose de la voie	ML	37 532	5 500,00	206 426 000,00
5-8	Fourniture des traverses Monobloc en béton précontraint	U	26 215	8 000,00	209 720 000,00
5-9	ADV UIC 60 – 300-1/9	U	2	12 500 000,00	25 000 000,00
5-10	ADV UIC 60 – 500-1/12	U	2	13 000 000,00	26 000 000,00
5-11	Heurtoir	U	1	485 000,00	485 000,00
Coût totale des travaux de voie (DA)					1 058 212 800,00

CHAPITRE XV: Devis quantitatif et estimatif

6 - GARE					
6-1	Bâtiment de voyageurs + aménagement	U	1	190 000 000,00	190 000 000,00
6-2	Quais	M3	3 080,00	21 500,00	1 720 000,00
Coût totale de la gare (DA)					191 720 000,00
7-SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
Signalisation et électrification					372 400 000,00
Coût totale de la signalisation et électrification (DA)					372 400 000,00

Récapitulation		
	Désignations des lots	MONTANTS(DA)
1	Installation de chantier et étude d'exécution	600 000 000,00
2	Terrassements	1 351 777 360,00
3	Ouvrage d'art	2 212 000 000,00
4	Ouvrages hydraulique	39 414 000,00
5	Travaux de voie	1 058 212 800,00
6	Gare	191 720 000,00
7	Signalisation et électrification	372400000,00
Montant du projet HT		5 825 524 160,00
Montant du projet en TTC (avec taux de TVA =19%)		6 932 373 750,40

Montant totale du Porjet en TTC :

Six milliards neuf cent trente-deux millions trois cent soixante-treize mille sept cent cinquante et quarante centimes.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude d'avant-projet détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique entre Laghouat et Ghardaïa du Pk 212+000 au Pk 228+600 nous a permis, d'une part, d'approfondir les connaissances et le Savoir-faire acquis durant les années de notre formation à l'ENSTP et d'utiliser le bagage Théorique pour concevoir les différentes parties de l'étude commençant par l'étude Géométrique jusqu'au la conception de la gare de Metlili , et d'autre Part, de préparer notre intégration à la vie professionnelle.

De plus, elle nous a permis aussi de combiner entre les conditions dans les normes (UIC, SNTF, ...) et les conditions exigées par la situation réelle, ce qui nous oblige dans certains cas d'utiliser les cas exceptionnels selon les normes précédentes. Enfin, ce travail nous a permis de se familiariser et de développer notre côté informatique, Par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, CIVIL 3D 2022.

LA BIBLIOGRAPHIE

- [1] . SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 6 Géométrie de la voie Version 2 du 22/12/2005.
- [2] . SNTF : REFERENTIEL TECHNIQUE SNTF Chapitre 7.2.2 – Ouvrages en Terre pour plates- formes ferroviaires Version 2 du 22/12/2005.
- [3] . UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d’assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.
- [4] . SETIRAIL, « Rapport de l’étude géologique et géotechnique : Mission B10 Géologie Géotechnique ».
- [5] . SETIRAIL, « Rapport de l’étude Hydrologique et Hydraulique : Mission B3 hydrologie et drainage.
- [6] . Guide technique assainissement routier Sétra, Octobre 2006.
- [7] . RPOA 2008.
- [8] . Document pédagogique EPSF Les signaux – Les régimes d’exploitation des lignes – Les systèmes d’espacement des trains, Edition 17/07/2017.
- [9]. Guide technique de lutte contre l’ensablement, Edition CRSTRA 2015.
- [10]. Cours voie ferrée Mr. Morsli. ENSTP.
- [11]. Cours hydraulique et assainissement de Mr. Rahmani ENSTP

ANNEXE

Annexe A

Listing de la géométrie de l'Axe en plan

LOGICIEL CIVIL 3D 2022 :

Element	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			212+000.00	584234.9648	3589090.9555
DR1	ANG=196.8222 (g)	1035.417			
			213+035.42	584286.6273	3588056.8281
CLO2	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			213+165.42	584292.1758	3587926.9492
ARC3	XC=581293.3727				
	YC=3587842.2122				
	R=3000.000	1723.531			
			214+888.95	583856.7915	3586283.7244
CLO4	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			215+018.95	583787.6611	3586173.6323
DR5	ANG=236.1554 (g)	4813.464			
			219+832.41	581198.5658	3582115.7980
CLO6	A=648.074				
	R=6000.000	70.000			
			219+902.41	581161.0287	3582056.7138
ARC7	XC=586237.8736				
	YC=3578858.9575				
	R=6000.000	141.626			
			220+044.04	581086.9692	3581935.9989
CLO8	A=648.074				
	R=6000.000	70.000			
			220+114.04	581051.3044	3581875.7660
DR9	ANG=233.9100 (g)	949.334			
			221+063.37	580569.2099	3581057.9514
CLO10	A=657.267				
	R=3600.000	120.000			
			221+183.37	580507.6985	3580954.9175
ARC11	XC=577437.3376				
	YC=3582834.5143				
	R=3600.000	250.573			
			221+433.94	580369.5430	3580745.9331
CLO12	A=657.267				
	R=3600.000	120.000			
			221+553.94	580298.8428	3580648.9737
DR13	ANG=240.4631 (g)	4278.662			
			225+832.61	577758.7925	3577205.8509
CLO14	A=547.723				
	R=1000.000	300.000			
			226+132.61	577593.1477	3576956.0871

Annexe A

ARC15	XC=578477.5457				
	YC=3576489.3538				
	R=1000.000	938.929			
			227+071.54	577578.5543	3576051.3875
CLO16	A=547.723				
	R=1000.000	300.000			
			227+371.54	577736.0574	3575796.4112
DR17	ANG=161.5905 (g)	1257.361			
			228+628.90	578449.4741	3574761.0397

Annexe B

Listing de Profil en long

LOGICIEL CIVIL 3D 2022 :

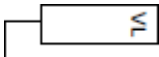

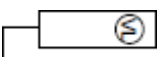

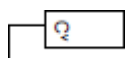


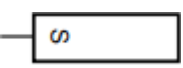

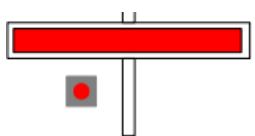
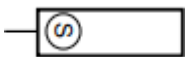

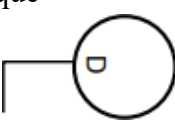

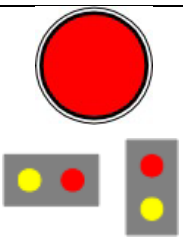
Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			212+000.00	426.141
D1	PENTE= -1.60%	404.778		
			212+404.78	419.667
ARC1	S= 212+461.20 Z=418.765			
	R= -40000.000	112.841		
			212+517.62	418.022
D2	PENTE= -1.32%	224.494		
			212+742.11	415.065
ARC2	S= 212+974.25 Z=412.007			
	R= -20000.000	464.290		
			213+206.40	414.338
D3	PENTE= 1.00%	461.375		
			213+667.78	418.973
ARC3	S= 213+813.50 Z=420.436			
	R= -20000.000	291.450		
			213+959.23	419.776
D4	PENTE= -0.45%	1224.750		
			215+183.98	414.229
ARC4	S= 215+389.71 Z=413.297			
	R= -20000.000	411.442		
			215+595.42	416.598
D5	PENTE= 1.60%	1014.068		
			216+609.49	432.869
ARC5	S= 216+847.42 Z=436.686			
	R= -20000.000	475.892		
			217+085.38	434.842
D6	PENTE= -0.78%	1999.944		
			219+085.32	419.339
ARC6	S= 219+172.12 Z=418.666			
	R= -20000.000	173.592		
			219+258.92	418.746
D7	PENTE= 0.09%	1357.353		
			220+616.27	420.006
ARC7	S= 220+709.90 Z=420.093			
	R= -20000.000	187.252		
			220+803.52	421.057
D8	PENTE= 1.03%	1008.572		
			221+812.09	431.436
ARC8	S= 221+868.89 Z=432.020			
	R= -20000.000	113.589		
			221+925.68	432.928

Annexe B



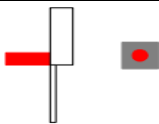
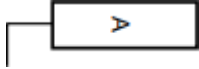







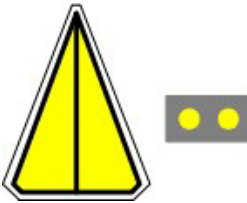


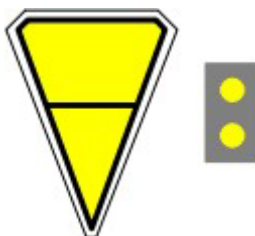


D9	PENTE= 1.60%	1093.917		
			223+019.60	450.400
ARC9	S= 223+181.97 Z=452.993			
	R= -20000.000	324.768		
			223+344.37	452.950
D10	PENTE= -0.03%	622.625		
			223+966.99	452.783
ARC10	S= 224+083.62 Z=452.751			
	R= -20000.000	233.243		
			224+200.24	451.360
D11	PENTE= -1.19%	636.974		
			224+837.21	443.760
ARC11	S= 224+982.28 Z=442.029			
	R= -20000.000	290.147		
			225+127.36	442.403
D12	PENTE= 0.26%	922.886		
			226+050.24	444.781
ARC12	S= 226+156.00 Z=445.054			
	R= -20000.000	211.506		
			226+261.75	446.445
D13	PENTE= 1.32%	612.922		
			226+874.67	454.507
ARC13	S= 227+006.18 Z=456.236			
	R= -20000.000	263.023		
			227+137.69	456.236
D14	PENTE= 0.00%	1491.203		
			228+628.90	456.238

Annexe C



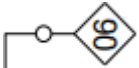





Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

Nom du signal et représentation schématique	Indication présentée	Signification	Signalisation mécanique
Signaux d'indication de marche			
Feu vert  Voie Libre		Le feu vert indique au mécanicien quela marche normale est autorisée.	
Feu vert clignotant 		Commande au conducteur d'un train a vitesse limite plus élevée de réduire sa vitesse à 160km/h.	
Signalisation d'arrêt			
Carré violet (Cv) 	Présente un feu violet 	Le carré violet fermé commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est utilisé sur voies de service.	
Le sémaphore (S) 	Un feu rouge 	Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal.	
Le feu rouge clignotant. 		Est franchissable sans arrêt à la vitesse maximale de 15 km/h. Il commande au mécanicien de circuler en marche à vue.	
Disque 		Commande au mécanicien de se mettre aussitôt que possible en marche à vue et de marquer l'arrêt au premier signal ou appareil de voie rencontré	


Annexe C

<p>Guidon d'arrêt</p> 		<p>Il commande l'arrêt différé après marche à vue.</p>	
Signalisation d'annonce d'arrêt			
<p>L'avertissement A</p> 		<p>Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant ou les signaux d'arrêt annoncés.</p>	
<p>Le feu jaune clignotant (A)</p> 		<p>Commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal d'arrêt annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant</p>	
<p>Bande lumineuse jaune horizontale</p>		<p>Indiquer au mécanicien qu'il va entrer sur voie principale à quai courte ou raccourcie</p>	
Signalisation de limitation de vitesse			
<p>Ralentissement 30</p> 		<p>Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30km/h au franchissement de l'aiguillage correspondant.</p>	
<p>Ralentissement 60</p> 		<p>Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguille correspondant.</p>	
<p>Rappel 30</p> 		<p>Le rappel 30 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 30 km/h au franchissement de l'aiguillage.</p>	

Annexe C

<p>Rappel 60</p> 		<p>Le rappel 60 fermé confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse de 60 km/h au franchissement de l'aiguillage.</p>	
<p>TIV mobile à distance</p> 		<p>Commande au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse indiquée par ce tableau, en km/h, au franchissement de l'aiguillage (ou des aiguillages) correspondant</p>	
<p>TIV de rappel</p> 		<p>confirme au mécanicien de ne pas dépasser la vitesse indiquée par ce tableau, en km/h, au franchissement de l'aiguillage</p>	
<p>Pancartes Z et R</p>		<p>Repèrent s'il y a lieu, l'origine et la fin de la partie de voie à franchir à vitesse limitée.</p>	
Signaux utilisés pour les manœuvres			
<p>Le feu blanc (M)</p>		<p>Commandant au mécanicien la marche en manœuvre sans dépasser la vitesse de 30 km/h; il autorise le départ en ligne.</p>	
		<p>Commandant au mécanicien la marche en manœuvre sans dépasser la vitesse de 30 km/h, mais sur un parcours</p>	

Annexe C

		généralement de faible étendue ; il n'autorise pas le départ en ligne	
Limite de manœuvre «LM»		Pancarte limite la zone manœuvre	