République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العمومية
فرنســيس جانســون
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat - Ghardaia à voie unique électrifiée du PK181+000 au PK196+000 avec la conception de la gare Nchou

Présenté par :

Mazouz Houssem

Benhamadache Chahinez

Encadré par :

Mr Besbas Abderezak

Promotion 2021/2022

© ENSTP-FJ - Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

- Nous remercions mon Dieu, le tout puissant, pour tous ses biens, la faveur de création du néant vers l'existence et celle de la fourniture de bénédictions pour arriver à la finalité de ce modeste travail.

- Tout en couronnant nos efforts, ce document présente la fin de notre cycle ingénieur. Il est le résultat d'un travail de longue haleine. Cette mémoire n'aurait certainement pas pu être menée à son terme si nous n'avions pas bénéficié de la disponibilité, de la compréhension et de la collaboration de certaines bonnes volontés.

  A la fin de ce projet, il nous fait un grand plaisir de remercier toutes les personnes qui nous ont aidés à accomplir ce mémoire dans les bonnes circonstances.

- On tient à remercier Mr Besbas, pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant de nous encadrer, pour sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce mémoire, pour son aide, ses critiques et ses suggestions, qui ont été pour nous d'un grand apport.

- nous voudrions également remercier et exprimer notre profond respect à toute l'équipe du SETI-RAIL « Hamza ,Adem,Adel et Lateb » pour l'aide , l'encouragement, l'hospitalité et aussi leur gentillesse durant la période de ce mémoire. Nous avons bénéficié, grâce à eux, non seulement sur le plan scientifique, mais aussi sur le plan humain. Ce travail n'aurait jamais pu aboutir sans eux, qui ont toujours su nous consacrer de leur temps.

- On exprime notre gratitude à l'ensemble de l'école, département DIB (enseignants et administration).

- C'est pour nous l'occasion de remercier très sincèrement Mr.Morsli, qui était toujours disponible, pour nous répondre et nous aider le long de la réalisation de ce projet.

- Nous nous permettons d'adresser nos remerciements et nos reconnaissances à EGTPH-BOUMIA pour leur hospitalité, leur aide dans notre stage de fin d'études.

Enfin, nous souhaitons dire à tous ceux dont on n'a pas cité les noms et qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A ma très chère mère, la lumière de Mon chemin.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le Respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis Jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Tu es mon «beau soleil» .Tu as fait plus qu'une mère pour, tu es ma meilleure amie dans cette vie. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le Tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon père, qui m'a guidé et soutenu dans ma vie

Papa, te rendre fier de ta fille a toujours été ma plus grande motivation dans la vie. Merci pour tes incitations continues, ton amour discret et ta confiance en moi qui m'a toujours poussée à surmonter les difficultés.

A mes très chères sœurs :Zahret-el-bel et Camélia Inesse

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.je vous souhaite une vie pleine d'amour, de bonheur et de joie, que dieu vous accorde la santé et une longue vie.

A mes très chères frères : Anis, Arselan Chakib et Adel Abdelraouf

Que dieu vous accorde une longue vie pleine de bonheur, de succès et de joie. Vous êtes ma fierté.

A celui avec qui j'ai travaillé, mon binôme Houssem, ce Travail est le fruit de nos efforts.

Benhamadache Chahinez

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents à qui je dois tout, ce travail est le fruit des sacrifices qu'ils ont consentis pour ma formation, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, le dévouement, et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Que dieu vous accorde une longue vie et la santé.

A ma chère sœur LICIA pour Son encouragement permanent, et son soutien moral.

A mon chérs frère, Chaker qui m'a Chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours. Que dieu vous accorde une longue vie pleine de bonheur, de joie et de succès.

A ma famille, mes proches, à tous mes amis, a tous ceux que j'aime, qui m'ont toujours encouragé.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux, et le fruit de votre soutien infaillible. Merci d'être toujours là pour moi.

A celui avec qui j'ai travaillé, mon binôme Chahinez, ce Travail est le fruit de nos efforts.

Mazouz Houssem

ملخص

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية الرابط بين ولايتي الأغواط و غرداية

كلم مع تصميم محطة 15 بطول 00+196 إلى النقطة الكيلومترية 00+181المقطع المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية توقف قطارات نقل المسافرين لمدينة نشو.

صمم هذا المشروع وفقا لمعايير الإتحاد الدولي للسكك الحديدية و توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية و قد أجريت دراسة هذا المشروع باستخدام برنامج نمذجة الهندسة

« Civil 3D 2022 »

الكلمات المفتاحية: التصميم التفصيلي, السكك الحديدية, محطة نقل المسافرين

Résumé

Le présent projet synthétise la conception et l'étude d'avant-projet détaillé d'une ligne ferroviaire électrifiée à voie unique reliant deux wilayas Laghouat et Ghardaïa

Le tronçon étudié commence du PK 181+000 au PK 196+000, sur un linéaire de 15Km, sur lequel on prévoit une conception d'une gare de voyageur de la ville de Nchou.

Le projet a été élaboré suivant les normes international 'UIC' (Union International de chemin de fer), et les recommandations Algériennes de la 'SNTF' (Société Nationale de Transport Ferroviaire) en utilisant le logiciel de conception géométrique « Civil 3D 2022 »

Mots clés : la conception et l'étude, ligne ferroviaire, gare de voyageur.

Abstract:

The present project synthetizes the conception and study of a project in detail, of an electrified railway line that links Laghouat to Ghardaïa.

The studied section starts from the kilometric point KP 181+000 to KP 196+600, of a distance of 15 km, in which a passenger train station, is planned in Nchou.

The Project was elaborated according to the international norms UIC (International Union of Railways), and the recommendations of the Algerian railway company. Using the geometric design software « CIVIL 3D 2022 ».

Keywords : the conception and study, railway ,passenger train station.

Liste des symboles et abréviation

SYMBOLE	DESIGNATION	UNITE
R	Rayon de raccordement circulaire	m
RMIN	Rayon minimal	m
LMIN	Longueur minimale de l'alignement droit	m
DMAX	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
IMAX	Insuffisance de dévers maxima	mm
E	Excès de dévers	mm
EMAX	Excès de dévers maximal	mm
DV	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition	m
DP	Dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clotoïde	m
A	Paramètre de clotoïde	-
R_{VMIN}	Rayon verticale minimal	m
DD/DL	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
DI/DT	Variation d'insuffisance de dévers	-
DD/DT	Variation de dévers en fonction du temps	-
RP	Résistance de pointe	kpa
WP	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
IP	Indice de plasticité	-
IC	Indice de consistance	-
ϒH	Poids volumique humide	t/m³
ϒD	Poids volumique sec	t/m³
SR	Degré de saturation	-
Ω	Teneur en eau naturel	-
RCS	Résistance à la compression simple	MPA
C'	Cohésion fictive du sol	kpa
ϕ'	Angle de frottement fictif	°
A	Superficie du bassin versant	Km^2
QA	Débit d'apport	m³/s
QS	Débit de saturation	m³/s
CR	Coefficient de ruissèlement	-
I	Intensité de la pluie	mm/h
TC	Temps de concentration	h
SM	Section mouillée	m²
KST	Coefficient de rugosité	-
RH	Rayon hydraulique	m
P	Pente moyenne du bassin versant	-
PM	Périmètre mouillé	m
L	Longueur du bassin versant	m
ΔH	Différence entre la cote moyenne et	m

	la cote minimale	
QPS	Débit a plein section	m^3/s
Z	Pente du fossé	-
V	Vitesse d'écoulement	m/s

Abréviation Désignation

SYMBOLE	ABREVIATION
APD	Avant-Projet Détaillé
LRS	Long Rail Soudé
BV	Bassin versant
BV	Bâtiment voyageur
PU	puits de reconnaissance
S	sondage carotté
QSI	Classe du sol (UIC)
PI	Classe de la plateforme

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Les intervenants impliqués dans le processus BIM.....10

Figure I.2 Logiciel de conception BIM, outils BIM et plateforme collaborative BIM…...…..13

Figure II.1 : Localisation du projet……..……18

Figure II.2. photo satellite du projet…….19

Figure II.3. Réseau ferroviaire actuel et futur……..…….20

Figure III.1 : Etat actuel du réseau du chemin de fer algérien ..…….…….23

Figure IV.1 Courbes de raccordements…….……34

Figure V.1 : Carte géologique de la plate-forme saharienne septentrionale. ……...…….41

Figure V.2 : Carte géologique de la dorsale du M'zab (SCG, 1951)……..…….42

Figure V.3 : Coupe lithologique du forage de Noumerat (ANRH/Ghardaïa)……...…..44

Figure V.4 : Coupe lithologique du forage de Foussaa à Guerrara, N-E de Ghardaïa (ANRH/Ghardaïa) …….....……46

Figure V.5 chebka de M'zab…….…….....49

Figure V.6 carte de zonage sismique de l'Algérie……50

Figure V.7 pénétromètre dynamique……52

Figure V.8 caisse à carotte d'un des sondages carottés……..……..53

Figure V.9 Echantillon non adapté pour analyse granulométrique et limites d'atterberg F51 L-GH (11.00-11.55m)……..……..56

Figure V.10 Echantillon non adapté pour analyse granulométrique et limites d'atterberg F51 L-GH (15.0-15.35m) ……..……..56

FigureVI.1rail type doublé champignon ……..……....69

FigureVI.2 type rail Vignole …….…….70

FigureVI.3 rail type broca a gorge…….……..71

FigureVI .4: Le profil du rail 60 (UIC 60).…….……72

Figure VI.5 : l'écartement entre les deux rails……..……..72

Figure VI.6: .Les écartements utilisés dans le monde.. …….....73

Figure VI.7: .Cas d'un rail avarié …….…....74

Figure VI 8 :Cas d'un rail fissuré……74

Figure VI.9 cas d'un rail rompu……..…….75
Figure VI.10 Un contre-rail dans une partie de croisement …….…….……...75
Figure VI.11 Assemblage des rails par éclissage ……..….....77
Figure VI.12 Soudage aluminothermisue …….……...77
Figure VI .13technique de soudure des rails …….…….……...78
Figure VI.14 voie avec traverses en bois ……..…….……..80
Figure VI .15Traverse en béton armé -Bi bloc……. ….…….....…80
Figure VI.16 traverse béton armé Monobloc…..…….81
FigureVI.17Les dimensions de traverse V.A.X/U31 bi-blocs utilisée……..……...82
FigureVI.18 Attaches sur traverses en bois type Crampons……...…….…….84
FigureVI. 19 Attaches sur traverses en bois-type tirefond…….……..84
FigureVI .20Attaches sur traverses métallique…….……85
Figure VI. 21 attache de type NABLA……..……..….86
Figure VI.22Appareil de vois -système de branchement simple ……..….....88
Figure VI.23L'aiguillage d'un branchement simple……88
Figure VI 24Branchement symétrique de deux voies.……90
Figure VI. 25Branchement double……..…….…….90
Figure VI.26 Les traverses jonctions …….…….…….....91
Figure VI.27 Le traversée-jonction double …….……..….....91
Figure VII.1 courbes intensité -durée – fréquence ……..……..…….……100
FigureVII.2 hauteur de remplissage des buses……...……103
FigureVII.3 dimensions fossés ……..……..107
FigureVII.4 descente d'eau…….……108
Figure VII.5Profil en travers de cours d'eau PK 1+660 / 01+820 :……...……..…..….110
Figure VII.6 variation du débit en fonction de la hauteur…….. ……..…...….....110
Figure VII.7 assinissement de la gare …….……..111
Figure IX.1 Modèle de charge LM71 ……120
Figure IX.2Modèle de charge SW0 . ……..…….…….…….120
Figure IX.3 Modèle de charge SW2 ……..…….……..….....121

Figure X.1 vérification de stabilité avec placis 3d…….……..…....127

FigureXI.1 la marge de glissement…….135

Figure XI.2 garage franc……..……..……..136

FigureXI.3 longueur utile d'une voie de stationnement…….……137

Figure XI.4 hauteur de quai……...…..…..…138

Figure XI.5 schéma fonctionnel de la gare….. ……...…..……140

Figure XI.6 plan des voies et installation de la gare NCHOU …….……..141

Figure XI.7 appareil de voie tg 1/9 190 60 E1 ……142

Figure XI.8 appareil de voie tg 1/12 500 60 E1…….…….142

Figure IXI.9 dimensions du passage souterrain de la gare …….……143

Figure XII.1 l'ensablement de la ville……...……147

Figure XII 2 L'ensablement de la route et de la voie ferrée……...…148

Figure XII.3 Palissade d'arrêt (a) et palissade de défilement (b)…….....150

Figure XII.4 Palissade à base de palmes ……..……...150

Figure XII.5 Carroyage de palmes destinées à protéger la section routiers d'Aïn Beïda vers Sidi Khouiled (W Ouargla)…...…….. …….151

Figure XII.6 Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie Ferrée contre L'ensablement (Biskra_ Touggourt)……...……152

FigureXII.7 Ecoulement de vent au-dessus D'un tas de remblais…… 153

FigureXIII.1 LA SIGNALISATION A MAIN……...……...……...…….157

Figure XIII.2 Signaux de protection ..……..……...…….……...158

FigureXIII.3 Signaux de cantonnement……..……158

Figure XIII.4 Signaux d'annonce d'arrêt ……..…..….158

Figure XIII.5 Signaux d'indication de marche ….. ……..……159

Figure XIII.6 Signaux de limitation de vitesse …….…….……...159

Figure XIII.7 Signaux indicateurs de direction :……...……160

Figure XIII.8 Signaux caractéristiques de prescriptions particulières :……...……...160

Figure XIII.9 LE CANTONNEMENT ……..……...161

Figure XIII.10 Compteur d'essieux……..…. ...……...163

Figure XIII.11 ENCLENCHEMENTS……...……164

FigureXIII.12 implantation des signaux sur mat……...……...… 165
FigureXIII.12 implantation des signaux sur potence ……...…..166
FigureXIII.12 implantation des signaux sur portique……166
FigureXIII.12 implantation des signaux bas……..166
Figure XIII.14 l'approche d'un signal a visibilité réduite ..……..……..…….……..167
FigureXIII.15 une balise ……..……..……170
Figure XIII. 16 module de transmission ……...…..…..….170
Figure XIII.17 ERTMS niveau 1 ….. ……..……...……...……171
Figure XIII.18 ETCS niveau 2…….…….…….. . …..……...173
Figure XIV.1 schéma exemplaire d'une alimentation avec système 1×25 kv….....….176
FigureXV.1 Cartes des contraintes environnementales de la ligne Ghardaïa-Laghouat..…190

Liste des tableaux

Tableau III.1 Situation démographique de Laghouat er Ghardaïa……....24

Tableau III.2 Estimation de l'évolution démographique . ……..…….24

Tableau III.3 Situation actuelle de la circulation routière des zones aux alentours ……....25

Tableau III.4 Estimation de la demande de transport sur la base des documents relatifs au volume de transport fournis par l'ANESRIF . …….25

Tableau III.5 Résultat de l'estimation . ……26

Tableau III.6 L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de voyageurs …… ……...…....28

Tableau III.7 Estimation du nombre de trains ……..29

Tableau IV.1 longueur minimale des éléments de tracé …….……31

Tableau IV.2 Dévers maximum admissible …….……31

Tableau IV.3 Insuffisance de dévers maximale admissible ……..……...……32

Tableau IV.4 Excès de dévers maximal admissible ……...…….....32

Tableau IV.5 Limite de la variation de dévers dans les courbes de transition …….……..32

Tableau IV.6 Limite la variation d'insuffisance de dévers ……. …..…..32

Tableau IV.7limites des valeurs des rayons de raccordement en profil en long……..….36

Tableau IV.8 la longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil……..……36

Tableau IV.9 tableau récapitulatif des éléments du tracé……...……...38

Tableau V.1 Programme des points de sondages carottés……51

Tableau V.2 Programme et implantation des puits de reconnaissances ……..51

TableauV.3Tableau descriptif du puits de reconnaissances P37 L-GH……...……52

TableauV.4Tableau descriptif du puits de reconnaissances P38 L-GH……....52

TableauV.5 LES COORDONNEES DES POINTS PENETROMETRIQUES …….…...…53

TableauV.6 Tableau classification des sols selon UIC 719……...61

Tableau V.7 Épaisseurs des composants de la structure d'assise……....63

Tableau V.8 tableau Épaisseur de la couche de forme de la fiche UIC 719…….64

Tableau V.9 Épaisseurs des composants de la structure d'assise ……..…..65

Tableau V.10 Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695)……..66

Tableau VII.1 tableau récapitulatif des caractéristiques morphologiques des bassins versants……..…95

Tableau VII.2 tableau récapitulatif du calcul du temps de concentration……..……...97

Tableau VII.3 degré perméabilité selon la nature du sol……...……..….....98

Tableau VII.4 coefficient de ruissellement selon méthode de kenessey ……...…...99

Tableau VII.5valeurs du paramètre « a » selon les fréquences. ……..…….99

TableauVII.6 valeurs des intensités en mm/h. ……...……100

TableauVII.7 tableau récapitulatif des valeurs des intensités et débits (Q10,Q50,Q100)……..……...101

TableauVII.8 valeurs du coefficient K manning strickler ……..……...102

TableauVII.9 tableau de dimensionnement des ouvrages transversaux du projet…..…...….103

Tableau VII.10 vérification des conditions d'autocurage……...…….....104

Tableau VII.11 calcul débit pour remblai et déblai……..……106

TableauVII.12 les caractéristiques des fossés choisi pour le projet…….…….107

Tableau VII.13 calcul des débits capable de cours PK1+750pour les différentes hauteurs d'eau……...…….…... 110

Tableau IX .1 Tableau récapitulatif des pk et leurs ouvrages d'assainissement……..…….123

Tableau X.1 Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais…...127

Tableau XI.1 Les déclivités dans la gare……...…….137

Tableau XI 2 les dimensions du quai……..…..….139

Tableau XIII.1 exemple de distance d'implantation des signaux……..…...165

Tableau XIV.1 Coût système 1×25kv ……..…..…...179

Tableau XIV.2 Coût système 2×25kv……..……...179

Tableau XIV.2 Coût du raccordement HT……..……..……...…179

Tableau XIV.3 SOUS STATIONS SONELGAZ HT DISPONIBLES …….……..….....180

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE 3

I.1. RECHERCHE SUR L'HISTOIRE DES CHEMINS DE FER 3

I.1.1. INTRODUCTION 3

I.1.2. CONTEXTE HISTORIQUE 3

I.1.3. LES GRANDES EVOLUTION DU 21 EME SIECLE 5

I.1.4. LES INVISSTISSEMENT 5

I.2. RECHERCHE SUR LE BIM 6

I.2.1. DEFINITION DU BIM 6

I.2.2. BUT DU BIM 6

I.2.3. HISTOIRE DU BIM 6

I.2.4. L'ASSEMBLAGE DE LA BASE DE DONNEES 7

I.2.5. VERS LA CONCEPTION ET VIRTUELLE 8

I.2.6. L'évolution du BIM, Termes et définitions 9

I.2.7. Résumé de l'Histoire du BIM en quelques dates 9

I.2.8. OBLIGATION DU BIM DANS LES MARCHES PUBLICS 10

I.2.9. DOMAINE D'UTILISATION DU BIM 10

I.2.10. L'UTILISATION DU BIM 11

I.2.11. LES AVANTAGES DU BIM POUR LES TRAVAUX PUBLICS 12

I.2.12. LES DIFFERENTS NIVEAUX DU BIM 13

I.2.13. CONCLUSION 15

II. PRESENTATION DU PROJET 17

II.1. DESCRIPTION DU PROJET 17

II.2. CARACTIRISTIQUE PRINCIPALE DE LA LIGNE BOUCLE SUD 17

II.3. LOCALISATION DU PROJET 18

II.4. PRINCIPES D'UTILISATION DE LA NOUVELLE LIGNE 19

II.4.1. LA LIGNE FERROVIAIRE DANS LE CADRE DU SCHEMA DIRECTEUR SECTORIEL FERROVIAIRE 19

II.5. OBJECTIFS DU PROJET 20

II.6. UTILITE DE LA LIGNE 20

II.7. UN GRAND PROJET FERROVIAIRE 21

III. PLAN DE TRANSPORT 23

III.1. INTRODUCTION 23

III.2. ÉTAT ACTUEL DU RÉSEAU DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE 23
III.3. ÉSTIMATION DE LA DEMANDE DE TRAFIC 24
III.3.1. PR É SUPPOSITION DE L'ESTIMATION DE LA DEMANDE DE TRAFIC 24
III.4. ÉSTIMATION DE LA DEMANDE DE TRANSPORT FERROVIAIRE 24
III.4.1. Situation démographique actuelle et Estimation démographique : 24
III.4.2. Situation actuelle de la circulation routière des zones aux alentours : 25
III.4.3. Estimation de la demande de transport sur la base des documents relatifs au volume de transport fournis par l'ANESRIF : 25
III.4.4. Résultat de l'estimation : 26
III.5. PLAN DE L'EXPLOITATION DES TRAINS 26
III.6. CARACTIRISTIQUE PRINCIPALES RETENUES PAR L'ANESRIF 26
III.7. PERFORMANCES DES MATÉRIELS ROULANTS 27
III.7.1. Train de voyageurs (locomotives électriques pour la SNTF, données offertes par l'ANESRIF) 27
III.7.2. Train de fret (locomotives électriques pour la SNTF, données offertes par l'ANESRIF) : 27
III.8. EVALUATION DE LA CAPACITÉ D'UNE LIGNE FERROVIAIRE 27
III.9. EVALUATION DU NOMBRE DE CIRCULATION DE TRAINS 28
III.9.1. Estimation de la demande de transports servant à l'évaluation du nombre de trains à mettre en circulation : 28
III.9.2. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de voyageurs : 28
III.9.3. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de marchandises 29
III.9.4. ESTIMATION DU NOMBRE DE TRAINS POUVANT CIRCULER SUR LA LIGNE 29
III.9.5. CONCLUSION 29
IV. ETUDE GEOMETRIQUE 31
IV.1. TRACÉ EN PLAN 31
IV.1.1. INTRODUCTION 31
IV.1.2. LONGEUR MINIMALE DES ÉLEMENTS DU TRACÉ 31
IV.1.3. RAYON MINIMUN DE L'ALIGNEMENT CIRCULAIRE 31
IV.1.4. DÉEVERS, L'INSUFFISNACE DEÉERS, EXCÉS DE DEVERS 31
IV.1.5. D É VERS MAXIMUN ADMISSIBLE 31
IV.1.6. INSUFFISANCE DE D É VERS MAXIMALE ADMISSIBLE 32
IV.1.7. EXCÉS DE DÉVERS MAXIMAL ADMISSIBLE 32
IV.1.8. LIMITE DE LA VARIATION DE DÉVERS DANS LES COURBES DE TRANSITION 32

IV.2. PROFIL EN LONG 33
IV.2.1. INTRODUCTION 33
IV.2.2. REGLE A RESPECTER DANS LE TRACÉ DU PROFIL EN LONG 33
IV.2.3. ELÉMENTS GÉMÉTRIQUE DU PROFIL EN LONG 34
IV.2.4. RAYON ADMISSIBLE EN RACCORDEMENT DE PROFIL EN LONG 35
IV.2.5. DÉTERMINATION DE LA LONGEUR MINIMALEDES PENTS UNIFORMES ET DES RACCORDEMENTS EN PROFIL 36
IV.2.6. APPLICATION DE PROJET 37
V. ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE 40
V.1. INTRODUCTION 40
V.2. CONSISTANCE DE L'ÉTUDE 40
V.3. ÉTUDE GÉOLOGIQUE 40
V.3.1. REGION DE GHARDAIA 40
V.4. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE 50
V.4.1. OBJECTIF DE L'ETUDE 50
V.4.2. CAMPAGNE D'INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES IN SITU 50
V.4.3. ESSAIS DE LABORATOIRE 53
V.5. CLASSIFICATION DU SOL 61
V.6. STRUCTURE D'ASSISE ET DIMENSSIONNEMENT DE LA PLATEFORME FERROVIAIRE 62
V.6.1. EN DÉBLAI 63
V.6.2. EM REMBLAI : 64
V.6.3. EXIGENCE SUR LES CONSTITUANTS DE L'ASSISE 65
VI. LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE 68
VI.1. INTRODUCTION 68
VI.2. CATEGORIE DE LA VOIE 68
VI.3. LES RAILS 68
VI.3.1. LES TYPES DE RAILS 69
VI.3.2. CARACTÉRISTIQUE GEOMETRIQUE ET MÉCANIQUE DU RAIL UIC 60 E1 71
VI.3.3. ECARTEMENT DES RAILS 72
VI.3.4. INCLINAISON DES RAILS 73
VI.3.5. DÉFAUT DES RAILS 73
VI.3.6. CONTRE-RAIL 75
VI.3.7. RAIL DE SECURITÉ 76
VI.3.8. ASSEMBLAGE DES RAILS 76

VI.4. LES TRAVERSES 79
VI.4.1. TYPES DE TRAVERSES 79
VI.4.2. ROLE DES TRAVERSES 82
VI.4.3. CHOIX DU PROJET 82
VI.4.4. REPARTITION DES TRAVERSES SUR UNE LONGEUR DE VOIE 83
VI.5. FIXATION DES RAILS SUR LES TRAVERSES 83
VI.5.1. LES ATTACHES 83
VI.5.2. TYPES D'ATTACHES 83
VI.5.3. Rôle d'attache 86
VI.6. Les Appareils de voie 87
VI.6.1. Définition et Rôle 87
VI.6.2. Types des appareils de voie 87
VI.6.3. Les branchements 87
VII. CHAPITE : ETUDE HYDRAULOGIQUE 93
VII.1. INTRODUCTION 93
VII.2. LA REGION DE GHARDAIA 93
VII.3. ETUDE HYDROLOGIQUE 94
VII.3.1. RECOLTE DES DONNEES NECESSAIRES 94
VII.3.2. DELIMITATION DES BASSINS VERSANT SUR CARTES D'ETATS MAJOR 94
VII.3.3. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS 94
VII.3.4. TEMPS DE CONCENTRATION 96
VII.3.5. ESTIMATION DES DEBITS MAX AUX BASSINS VERSANTS DU PROJET 97
VII.3.6. LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT 98
VII.3.7. L'INTENSITE DES PLUIES 99
VII.3.8. TEMPS DE RETOUR 101
VII.4. ÉTUDE HYDRAULIQUE 102
VII.4.1. ASSAINISSEMENT TRANSVERSAL 102
VII.4.2. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL 104
VII.4.3. CALCUL DES NIVEAUX LES PLUS HAUTES D'EAUX DES OUEDS PRINCIPAUX 109
VII.4.4. LE SYSTEME DE DRAINAGE DE LA GARE ET LA HALTE 111
VII.5. CONCLUSION 111
VIII. PROFIL EN TRAVERS 113
VIII.1. INTRODUCTION 113
VIII.2. TYPE DE PROFIL EN TRAVERS 113

VIII.3. ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE 113
VIII.3.1. ELEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE 113
VIII.3.2. ELEMENT DE L'INFRASTRUCTURE 114
VIII.3.3. ELEMENT DE TALUS 114
VIII.3.4. ELEMENT D'ASSAINISSEMENT 114
VIII.3.5. ELEMENT DE PROTECTION DE LA VOIE 114
VIII.4. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS 114
VIII.5. SPECIFICATION DE LA PLATEFORME 115
VIII.6. PROFIL TUPE DU PROJET 115
VIII.7. CUBATURES DES TERRASSEMENTS 115
IX. OUVRAGES D'ART 118
IX.1. INTRODUCTION 118
IX.2. NORMES ET REFERENCES 118
IX.3. ACTIONS A PRENDRE EN COMPTE 119
IX.3.1. ACTIONS PERMANENTES 119
IX.3.2. ACTIONS SUR LES PONTS FERROVIAIRES 120
IX.3.3. ACTIONS SISMIQUES 121
IX.3.4. ACTIONS CLIMATIQUES 121
IX.4. LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE 122
IX.5. RECOMMANDATION SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE 122
IX.5.1. CROISEMENT ROUTE-RAIL 122
IX.5.2. CROISEMENT RAIL- OUED 123
X. LES TERRASSEMENTS ET OUVRAGES 125
X.1. INTRODUCTION 125
X.2. LA STABILITE DES TALUS 125
X.3. LES PENTES DES TALUS 125
X.4. FACTEURS INFLUENCANTS LA STABILIYE DES TALUS 126
X.5. CHOIX DES COEFFICIENTS DE SECURITE 126
X.6. TERRASSEMENT CAS DEBLAIS : 126
X.6.1. Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais 127
X.6.2. CONCLUSION 127
X.7. REUTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI 128
X.7.1. CLASSIFICATION DES MATERIAUX EN DEBLAI 128
X.7.2. L'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI 129

X.7.3. L'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME 129
X.7.4. CONCLUSION 129
XI. AMENAGEMENT DE LA GARE NCHOU 131
XI.1. DEFINITION D'UNE GARE FERROVIAIRE 131
XI.2. CATEGORIES DES GARES 131
XI.3. OBJET D'UNE GARE FERROVIAIRE 131
XI.4. CHOIX DU SITE POUR LA GARE FERROVIAIRE 132
XI.5. CONSIDERATIONS GENERALES 132
XI.6. ETUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE 133
XI.7. CONCEPTION GENERALE D'UNE GARE 133
XI.7.1. COMPOSITION DE BASE D'UNE GARE 133
XI.7.2. INSTALLATION DE LA GARE DE VOYAGEUR 134
XI.8. MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNEAUX 135
XI.8.1. DEFINITION DE LA MARGES DE GLISSEMENT 135
XI.8.2. BUT DE LA MARGE DE GLISSEMENT 135
XI.8.3. LONGEUR DE LA MARGE DE GLISSEMENT 135
XI.9. GARAGE FRANC 136
XI.10. LA LONGEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT 137
XI.11. LA DECLIVITE DANS LA GARE 137
XI.12. CONCEPTION DES QUAIS 138
XI.13. LE SCHEMA FONCTIONNELLE DE LA GARE 140
XI.14. DESCRIPTION DE LA GARE 140
XI.14.1. LE PLAN DES VOIES ET DES INSTALLATIONS DE LA GARE 140
XI.14.2. ETUDE DE L'IMPLANTATION DE LA GARE 141
XI.14.3. JUSTIFICATION DE CHOIX DES APPAREILS 142
XI.14.4. Implantation des appareils de voie 142
XI.14.5. PASSAGE SOUTERRAIN 143
XI.15. CONCLUSION 143
XII. L'ENSABLEMENT 145
XII.1. INTROUDUCTION 145
XII.2. LES FACTEURS DE L'ENSABLEMENT 145
XII.3. IMPACTS DE L'ENSABLEMENT SUR LE MILIEU NATUREL 146
XII.4. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT 149
XII.4.1. TECHNIQUE DE LA PALISSADE 149

XII.4.2. TECHNIQUE DE QUADRILLAGE 151
XII.4.3. METHODE AERODYNAMIQUES 151
XII.4.4. FIXATION PHYSICO-CHIMIQUE (TECHNIQUE DE MULCH) 152
XII.4.5. TECHNIQUE DE TAS DE MATERIAUX GRAVELEUX OU PIERRES TURBULENTES 152
XII.5. CONCLUSION : 154
XIII. LA SIGNALISATION 156
XIII.1. INTRODUCTION 156
XIII.2. FONCTIONS DES SIGNAUX 156
XIII.3. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION 156
XIII.4. DIFFERENTS TYPES DE SIGNAUX 157
XIII.4.1. LA SIGNALISATION A MAIN 157
XIII.4.2. LA SIGNALISATION AU SOL 157
XIII.4.3. LA SIGNALISATION DE CABINE 160
XIII.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX 164
XIII.6. LA VISIBILITÉ DES SIGNAUX Principe : 167
XIII.7. SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS 168
XIII.7.1. DEFINITION DE L'EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEME (ETCS) 168
XIII.7.2. OBJECTIFS DE L'ETCS 169
XIII.7.3. EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEME (ETCS) NIVEAU1 : 169
XIII.7.4. ETCS NIVEAU 2 : 172
XIII.7.5. CHOIX DU PROJET 173
XIV. ELECTRIFICATION 175
XIV.1. INTRODUCTION 175
XIV.2. PRINCIPES FONDAMENTAUX 175
XIV.3. SYSTEME D'ALIMENTATION ELECTRIQUE 175
XIV.3.1. LE SYSTEME 1X25 KV 176
XIV.3.2. LE SYSTEME 2X25Kv 177
XIV.4. ANALYSE COMPARATIVES DES DEUX SYSTEMES 177
XIV.5. LE COUT DES SYSTEMES D'ELECTRIFICATION 179
Le cout du système 1X25 Kv : 179
Le cout du système 2X25 Kv : 179
Cout du raccordement HT : 179
XIV.6. LES SOUS STATIONS SONELGAZ HT DISPONIBLES : 180
XIV.7. LES SOUS STATIONS 180

XIV.7.1. DEFINITION 180
XIV.7.2. EQUIPEMENTS DES SOUS STATIONS 181
XV. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 184
XV.1. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX 184
XV.1.1. MÉTHODOLOGIE 184
XV.2. CADRE REGLEMENTAIRE 185
XV.3. 4.3.4.4 LES RISQUES NATURELS 187
XV.4. IDENTIFICATION DES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES SUR LE PROJET 187
Les contraintes liées au milieu physique 188
Contraintes relatives à la géomorphologie de la zone d'étude 188
Contraintes relatives au climat 188
Contraintes relatives à la Température 188
Contraintes liées à l'Hydrologie 188
Contraintes liées aux risques naturels 188
Contraintes liées à l'ensablement 188
Contraintes liées au milieu naturel 189
Contraintes sur les écosystèmes protégés 189
Contraintes liées au milieu anthropique 189
XV.5. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET 190
XV.6. IMPACT DE L'ELECTRIFICATION 192
XV.7. IMPACT DE L'ENSABLEMENT SUR LA ZONE D'ETUDE 193
XV.8. Les Organismes chargés de la recherche et de la protection des zones Saharienne et arides 193
XVI. CONCLUSION GENERALE 200

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport représentent la base sur laquelle repose le développement économique d'un pays, D'ailleurs la densification de ces infrastructures de transport est considérée comme le phénomène le plus observé dans l'analyse de la situation des pays développés. C'est bien un secteur qui améliore le transport des biens et des personnes et facilitent aussi les échanges entre agents économiques.

Parmi ces infrastructures on distingue le transport ferroviaire qui permet d'offrir aux voyageurs et aux chargeurs des services compétitifs avec les autres modes de transport, sur l'ensemble du territoire, pour répondre à des besoins très diversifiés. C'est un facteur clé de compétitivité et d'attractivité, à l'échelle nationale comme à celle des territoires il est même devenu un enjeu économique, social et écologique. Avec d'autant d'avantages par rapport au transport routier, Il constitue également le moyen de transport le mieux adapté pour le déplacement de gros volumes sur de longues distances.

Vu la superficie énorme de l'Algérie (2,5 millions de km²), le développement d'un réseau ferroviaire capable de satisfaire les besoins du pays était plus que nécessaire, l'Algérie a bénéficié de plusieurs programmes de réalisation de lignes nouvelles, l'extension des lignes existantes pour l'amélioration des débits de lignes. Aujourd'hui, ce type de transport est diversifié même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées

L'Algérie a réussi à développer son réseau des chemins de fer en agissant d'une manière optimiste suivant des programmes de développement bien étudiés. Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de 5 014 km

CHAPITRE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. RECHERCHE SUR L'HISTOIRE DES CHEMINS DE FER

I.1.1. INTRODUCTION

Le chemin de fer constitue un facteur très important dans l'économie du pays, d'où la priorité accordée par l'état Algérien pour la modernisation et le développement de ce secteur. Dans ce cadre, le gouvernement a engagé un vaste programme d'investissement visant la modernisation des infrastructures existantes et la création de nouvelles lignes ferroviaires permettant d'accroître la capacité de transport par rail et d'assurer la compétitivité du chemin de fer.

Le **réseau des chemins de fer algérien** a fait son apparition au milieu du 19e siècle. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire.

Le réseau ferroviaire national est placé sous l'autorité de **la Société nationale des transports ferroviaires SNTF,** un établissement étatique à caractère Industriel et Commercial.

A côté d'autres agents, La SNTF reste l'opérateur majeur de la scène ferroviaire Algérienne.

I.1.2. CONTEXTE HISTORIQUE

L'**histoire des chemins de fer algériens** commence en 1857 durant la colonisation française de l'Algérie avec la construction de 5 014 km de voies ferrées. Depuis l'indépendance du pays, ce réseau a beaucoup évolué : déclassement de tronçons, construction de nouvelles lignes, doublement de voies, électrification de certains tronçons

I.1.2.1. AVANT L'INDIPENDANCE

Le réseau ferré algérien totalise 5 014 km réalisés en trois grandes étapes Successives :

- programme de 1857-1878 : 1 365 km ont été construits. Les premiers Travaux lancés en 1859 concernent la section de ligne Alger-Blida. Le Premier raccordement avec le réseau tunisien Souk-Ahras-Ghardimaou a lieu en 1884.

- programme de 1879-1906 : Le 18 juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelon national pour renforcer les lignes « d'intérêt général » avec comme objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites « d'intérêt local » est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales. Dans les trente années qui suivent, 2 035 km de lignes chemin de fer s'ajoutent en constituant le réseau ferroviaire algérien.

- programme de 1907-1946 : Cette période se caractérise par la réalisation de 1 614 km de lignes nouvelles et la création de la Compagnie des Chemins de fer algériens de l'Etat (CFAE) concrétisant l'étatisation de la Quasi-totalité du réseau à l'exception des lignes concédées à la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la

Méditerranée (PLM). Le 1er juillet 1921, les lignes existantes sont réparties entre les compagnies CFAE et PLMA : ce partage dura jusqu'au 30 mai 1938, date à laquelle les lignes d'intérêt général des deux compagnies sont nationalisées et rattachées à la Société nationale des chemins de fer français (SNCF) .La Fusion en 1939 entre la CFAE et la PLM donna naissance à l'Office des Chemins de fer algériens (OCFA).

I.1.2.2. DEPUIS L'INDIPENDANCE

- La Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens (en gardant le même sigle SNCFA) le 16 mai 1963

- En 1975, le révolutionnaire Trans-Maghreb Casablanca-Oran-Alger-Tunis, entièrement composé d'un nouveau matériel INOX construit en France, est mis en service. Mais très rapidement, des problèmes politiques entre les États traversés provoquent sa limitation puis son arrêt définitif dans les années 1980.

- Le 31 mars 1976 à la fin de la concession de l'État français, l'état algérien divise la SNCFA en trois organismes distincts, La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), la société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF) et la société d'ingénierie et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF).

Un nouveau programme d'investissement permet la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

- En 1986, la crise financière poussera à la dissolution de la SNERIF et de la SIF dont les prérogatives sont reprises par la SNTF qui changera de statut en 1990.

- À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km.

SNTF exploitait en 2014 un réseau ferroviaire de 3 854 km avec les caractéristiques suivantes :

- longueur totale des lignes du réseau ferroviaire algérien s'élève à 4 573 km
- . longueur des lignes en exploitation : 3 854 km.
- longueur des lignes en double voies : 450 km.
- longueur des lignes en voie unique 3 404 km.
- longueur des lignes électrifiées : 323,7 km.

Le réseau est en développement depuis quelques années au travers de son extension et du développement de lignes à grande vitesse. La SNTF disposera aux horizons de 2025 d'un réseau de 6 553 km de voies standards et électrifiées.

I.1.3. LES GRANDES EVOLUTION DU 21 EME SIECLE

- En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.

- En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouvertes (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.

- En 2015, sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

- Le 10 septembre 2018, la mise en service du système de télécommunication ferroviaire GSM-R pour la première fois en Afrique, ce système de télécommunication vise à sécuriser les communications sur un réseau autonome entre le centre installé à Alger et les trains ainsi qu'entre les trains et les opérateurs chargés de l'entretien du réseau.

I.1.4. LES INVISSTISSEMENT

I.1.4.1. PROGRAMME POUR 2025

Le transport ferroviaire recèle un potentiel important pour répondre aux besoins de mobilité des filières de production, les autorités algériennes ont adopté un schéma directeur à l'horizon 2025 pour ce mode de transport qui définit sa stratégie de développement ainsi que les objectifs commerciaux qu'il doit atteindre. Cet ambitieux programme nécessite la mobilisation de 1 581 milliards de DA. Il concernera essentiellement :

- la construction de 3 353 km de lignes nouvelles ;
- l'électrification de 6 270 km et la mise à niveau du réseau ;
- le dédoublement de 1 380 km
- Renouvellement de 4 658 km et la mise à niveau du réseau ;
- l'aménagement de 13 plateformes logistiques
- la suppression de 416 passages à niveaux et la clôture des emprises sur 1 000 km ;
- l'aménagement de cinq gares de triage. Ainsi et à l'horizon 2025, le réseau national algérien compterait un linéaire total de 6 553 km de voies totalement électrifiées, dont 1 776 en double voie. La sécurité de circulation sera assurée par des systèmes modernes (ETCS41 et GSM-R42). Les standards seront améliorés au niveau de la charge à l'essieu, de la vitesse et du profil en long.

I.2. RECHERCHE SUR LE BIM

I.2.1. DEFINITION DU BIM

BIM, signifie « Building Information Modeling », soit, si on le traduit en français, « Modélisation des Informations (ou des données) du Bâtiment ».

Malgré son nom, il ne se limite pas seulement à la construction, mais englobe tout le cycle de vie d'un ouvrage depuis sa création jusqu'à sa déconstruction et le recyclage de ses matériaux. Il ne se limite pas non plus au secteur du bâtiment, mais concerne l'univers de la construction dans sa globalité, y compris les travaux publics et le génie civil.

Le BIM permet de structurer, de produire, de gérer et de visualiser un certain nombre de données afin de créer un modèle d'ouvrage bâti et de prévoir, avant même sa fondation, la façon dont il pourra être réparé, détruit, et même la manière dont ses matériaux pourront être recyclés. Il s'agit de la représentation en 3 dimensions d'un bâtiment, une maquette aujourd'hui indispensable pour contrôler les coûts de fabrication et simuler les futurs comportements des matériaux.

I.2.2. BUT DU BIM

Le but est de construire une maquette numérique avec toutes les caractéristiques de celle à construire (ou déjà construit) pour résoudre tous les problèmes, qui autrement se poseraient sur place, déjà en phase préliminaire : le bâtiment peut être analysé en détail avant la sa réalisation physique effective à travers son jumeau virtuel, qui constitue le pivot de l'échange interdisciplinaire entre tous les intervenants impliqués dans le projet.

Fondamentalement, le temps et les ressources sont optimisés et un résultat final est obtenu qui répond pleinement aux attentes définies.

I.2.3. HISTOIRE DU BIM

Les débuts du BIM

Pour retracer l'histoire du BIM et de ses systèmes, nous devons nous tourner vers les débuts de l'informatique et creuser dans ses fondements conceptuels. La conception assistée par ordinateur et la production assistée par ordinateur (puis la fabrication) sont deux technologies qui se sont brutalement développées de manière séparée, au même moment au début des années 60. A ce moment-là, personne n'avait prévu que les logiciels FAO et CAO pourraient se recouper et émerger au point de devenir les forces puissantes du monde industriel.

En 1957, Pronto, le premier logiciel commercial de fabrication assistée par ordinateur (FAO) est développé par le Dr. Patrick J. Hanratty. Il s'agissait d'une technologie d'usinage à commande numérique qui a ensuite évolué vers la fabrication assistée par ordinateur. Peu de temps après, il s'est essayé aux graphiques générés par ordinateur et c'est en 1961 qu'il a développé la CAO (ou CAD) Conception Automatisée par Ordinateur qui est devenu le

premier système FAO/CAO (CAM/CAD) qui utilisait des graphiques interactifs et était utilisé par Général Motors pour réaliser des matrices de moulage complexes.

En 1962, Douglas C. Englebart écrit un article intitulé, "Accroître l'Intellect Humain". Il y soutient la pensée de l'architecte de demain, y suggère une conception basée sur les objets, la manipulation paramétrique, et des bases de données relationnelles.

« L'architecte commence à entrer une série de spécifications et les données d'une dalle de plancher de quinze centimètres d'épaisseur, des murs en béton de trente centimètres d'épaisseur et de deux mètres et demi de hauteur dans l'excavation, et ainsi de suite. Lorsqu'il a fini, la scène apparaît à l'écran. La structure prend forme. Il l'examine, l'ajuste, etc. Ces listes s'étoffent toujours de plus de détails, d'une structure qui s'imbrique, ce qui représente l'évolution de la pensée sous-jacente à la conception en cours. »

A ce moment-là, plusieurs chercheurs en conception travaillent sur une technologie équivalente au Système d'Information Géographique (SIG). Parmi ces chercheurs, c'est le travail de Christopher Alexander qui se distingue en influençant le travail de programmation orientée objet, d'un groupe de jeunes informaticiens. Toutefois, sans interface graphique à l'époque, les cadres conceptuels n'ont pas pu être créés.

Le rêve de construire le modèle

En 1963, "Sketchpad", développée au MIT Lincoln Labs par Ivan Sutherland, est la première conception assistée par ordinateur (CAO) dotée d'une interface utilisateur graphique. Elle a avant tout été avant-gardiste pour ce qui est des interactions entre l'homme et l'ordinateur et a été une avancée majeure dans le développement de l'infographie (Sutherland, 2003).

En terme de technologie pour le domaine du bâtiment, Sketchpad a cédé la place à de solides programmes de modélisation — la représentation numérique de la géométrie a été perfectionnée, ce qui a permis d'afficher et d'enregistrer des informations de forme. Dans les années 70 et 80, les deux méthodes principales qui en ont découlé ont été la géométrie de construction des solides et la représentation frontière.

Pour cela, le processus de conception global nécessitait et présentait en même temps le défi de commander l'ordinateur avec le plus de facilité possible.

I.2.4. L'ASSEMBLAGE DE LA BASE DE DONNEES

En 1975, Charles Eastman a publié un document où il y décrit un prototype qu'il appelle un Système de Description du Bâtiment (Building Description System BDS). Il y développe les idées de conception paramétrique, de représentations 3D calculables de qualité supérieure, bénéficiant d'une "base de données intégrée unique et d'analyses quantitatives". ("single integrated database for visual and quantitative analyses").

Dans son document, Eastman y décrit en fait bel et bien le BIM que nous connaissons aujourd'hui.

Le Système de Description du Bâtiment a été l'un des premiers projets dans l'histoire du BIM à créer une base de données du bâtiment avec succès. Il y décrit tous les éléments individuels de la bibliothèque qui peuvent être extraits et ajoutés à un modèle

Eastman en conclut que le Système de Description du Bâtiment améliore la rédaction et l'efficacité d'analyse, divisant par deux le coût de la conception. Le Système de Description du Bâtiment est l'expérience qui a permis d'identifier tous les problèmes fondamentaux liés à la conception architecturale et ce, pour les cinquante années qui ont suivies.

En 1977, dans le CMU Lab, Charles Eastman a ensuite créé GLIDE (Langage graphique pour un Design Interactif) qui présentait la majeure partie des caractéristiques de la plateforme actuelle du BIM.

Avec l'arrivée des années 80, plusieurs systèmes ont vu le jour un peu partout. Bénéficiant d'une popularité croissante dans ce secteur industriel, certains ont même été appliqués aux projets de construction. C'est en 1986, que RUCAPS (Really Universal Computer-Aided Production System) est utilisé pour la rénovation du Terminal 3 de l'aéroport d'Heathrow.

C'était le premier programme de CAO dans l'histoire du BIM à être utilisé dans la construction préfabriquée (ou la construction en phase temporelle, si l'on veut être technique). Il est considéré comme un précurseur du logiciel BIM actuel (Eastman et al, 2008).

I.2.5. VERS LA CONCEPTION ET VIRTUELLE

Alors qu'aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, les développements avancent à grande vitesse, en Hongrie communiste, un génie en informatique et en programmation fait de la contrebande d'ordinateurs Apple malgré le rideau de Fer, afin de développer un logiciel qui plus tard, va changer le cours de l'histoire du BIM autant du point du vue de son concept que de sa commercialisation et lui permettre de devenir tel que nous le connaissons aujourd'hui (Arnold, 2002).
En 1982, Gábor Bojár commence à développer ArchiCAD; pour cela, il doit mettre les bijoux de sa femme en gage pour faire de la contrebande d'ordinateurs Apple.

En employant une technologie proche du Système de Description de Bâtiment, en **1984**, Bojár publie le Radar CH de Graphisoft pour l'OS Apple Lisa. Relancé en **1987** en tant qu'ArchiCAD, et faisant ainsi d'ArchiCAD le premier logiciel disponible sur un ordinateur personnel (Bergin, 2011).

Petit retour en arrière aux Etats-Unis en 1985, où Diehl Graphsoft développe le Vectoworks, l'un des premiers programmes CAO, mais aussi l'un des premiers programmes de logiciel de modélisation 3D, et la première application CAO multiplateforme. Vectorworks est l'un des premiers programmes à présenter les capacités du BIM. C'est au même moment, toujours en 1985, que Parametric Technology Corporation (PTC) est fondée.

En 1988, elle publie Pro/ENGINEER, qui est considéré comme le premier logiciel de conception de modélisation paramétrique à être commercialisé dans l'histoire du BIM. Se séparant de PTC, Irwin Jungreis et Leonid Raiz décident de monter leur propre entreprise de logiciels, la Charles River Software. Le binôme souhaite développer une version de Pro/ENGINEER spécifique à l'architecture qui parviendrait à mener des projets plus complexes qu'ArchiCAD.

Une chose importante à noter dans l'histoire du BIM est aussi le développement en 1993 au Lawrence Berkeley National Lab, du Conseiller en Conception de Bâtiment (Building Design Advisor). Il s'agit alors d'un logiciel qui, en se basant sur un modèle, permet de faire des simulations et de proposer des solutions**.**

I.2.6. L'évolution du BIM, Termes et définitions

C'est en publiant un article en 1986 que Robert Aish est le premier à expliquer le terme de "Modélisation de Bâtiment". Dans cet article, il y énonce ce que nous connaissons comme étant le BIM ainsi que la technologie requise à son implémentation. Quelques années plus tard, en Décembre 1992, la première utilisation documentée du terme "Modélisation de l'Information du Bâtiment" est publiée dans "Automation in Construction" dans un article coécrit par G.A. Van Nederveen et F. Tolman

I.2.7. Résumé de l'Histoire du BIM en quelques dates

Le concept du BIM n'est pas attribué à une seule personne mais est une riche histoire d'innovation des États-Unis, de l'Europe centrale et du Nord et jusqu'au Japon. La naissance de la modélisation des données du bâtiment est tout d'abord **liée aux débuts de l'informatique** et plus précisément à la conception assistée par ordinateur (CAO)

Voici les dates les plus importantes dans l'histoire du BIM

- 1957 — **Pronto**, premier logiciel commercial de fabrication assistée par ordinateur (FAO), **Dr Patrick J. Hanratty**.
- 1963 — **Sketchpad**, CAO doté d'une interface utilisateur graphique, **MIT Lincoln Labs**
- 1975 — Système de Description du Bâtiment (BDS)
- 1977 — Langage graphique pour un Design Interactif (GLIDE)
- 1982 — 2D CAO
- 1986 — Really Universal Computer-Aided Production System (**RUCAPS**)
- 1987 — **ArchiCAD**
- 1988 — **Pro/ENGINEER**
- 1992 — **Modélisation des Informations du Bâtiment** comme désignation officielle
- 1994 — miniCAD
- 1995 — Format de fichier Industry Foundation Class (IFC)
- 1997 — Equipe de travail d'**ArchiCAD**
- 2000 — Revit
- 2001 — NavisWorks
- 2002 — Autodesk rachète Revit
- 2007 — Autodesk rachète NavisWorks
- 2008 — **Parametricist Manifesto**

Les technologies se sont perfectionnées pour permettre de faire évoluer la modélisation des données du bâtiment vers ce que nous connaissons aujourd'hui.

I.2.8. OBLIGATION DU BIM DANS LES MARCHES PUBLICS

La transcription française de la directive européenne 2014/24 du 26 février 2014 ne s'est pas conclue par l'obligation du BIM dans les marchés publics mais bien par une incitation à utiliser le BIM. L'article R2132-10 du Code de la commande publique précise que « l'acheteur peut, si nécessaire, exiger l'utilisation d'outils et de dispositifs qui ne sont pas communément disponibles, tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires ». En d'autres termes, le BIM peut être demandé dans les appels d'offres mais cela n'est pas une obligation. Son utilisation est juste encouragée.

D'un autre côté, le recours au BIM est de plus en plus demandé : les appels d'offres où l'utilisation des maquettes numériques est requise ne cessent de croître. De quoi faire réfléchir les plus réticents à recourir au BIM pour leurs futurs chantiers.

I.2.9. DOMAINE D'UTILISATION DU BIM

Le BIM peut être utilisé par tous les intervenants impliqués dans le processus de production du secteur de la construction, ou par tous ceux qui participent à la réalisation d'un ouvrage, tels que :

- les architectes
- les ingénieurs
- les géomètres
- les autres professionnels (géologues, experts, etc.)
- les entrepreneurs et les prestataires
- les clients.



FIGURE I.1 Les intervenants impliqués dans le processus BIM

Les grandes entreprises (les bureaux d'études, les bureaux d'architectures, etc.) ont été les premières à aborder le monde du BIM.

Par conséquent, la conviction que le BIM ne s'adresse qu'aux grandes entreprises qui traitent de grands travaux a émergé. En effet, ces dernières années, le BIM entre de plus en plus dans la routine de travail de tous les professionnels, car il apporte des avantages évidents même dans la conception de petits et moyens travaux.

Les petits bureaux d'études ou les professionnels peuvent bénéficier de l'utilisation du BIM pour :

- réduire les erreurs
- accélérer le temps d'élaboration d'un projet (une réduction de 20 à 50 % du temps utilisé avec un processus traditionnel est estimée)
- améliorer la présentation d'un projet avec des rendus, des tableaux graphiques, des présentations vidéo, l'utilisation de la réalité virtuelle, etc.
- simplifier la gestion des variations et les modifications du projet
- estimer plus précisément les délais et les coûts (4D et 5D) de l'intervention
- intégrer les différentes disciplines (architecture, structure, installation, énergie, etc.) dans un seul modèle 3D
- vérifier les interférences entre les modèles
- mettre à jour dynamiquement les dessins de conception, les graphiques et les modèles
- créer une base de données d'informations partagées.

I.2.10. L'UTILISATION DU BIM

Nous avons précisé que le BIM n'est pas un logiciel mais un processus de création d'une maquette numérique d'un ouvrage, conçue comme « conteneur d'informations » du bâtiment.

Dans tous les cas, pour travailler en BIM il est nécessaire d'utiliser quelques « outils » de travail :

- les **logiciels de conception BIM** pour la création de la modélisation 3D (architecture, structures, etc.)
- les **Outils BIM** pour agréger les données au modèle BIM (4D BIM, 5D BIM, 6D BIM, pour les délais de construction, les coûts, les performances énergétiques, etc.)
- le **BIM coordination software** et le **BIM collaboration software** pour connecter des équipes multidisciplinaires et optimiser le flux de travail
- le **BIM management system** pour fédérer les modèles et les données BIM dans un environnement cloud collaboratif unique qui permet aux architectes, ingénieurs, géomètres, constructeurs, techniciens de maintenance et propriétaires de travailler ensemble.

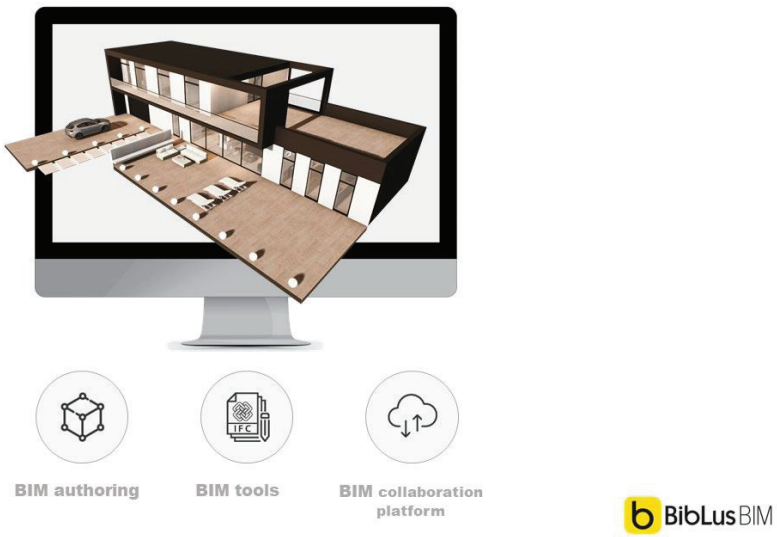


FIGURE I.2 Logiciel de conception BIM, outils BIM et plateforme collaborative BIM

I.2.11. LES AVANTAGES DU BIM POUR LES TRAVAUX PUBLICS

Travailler en BIM, ce n'est pas seulement utiliser un logiciel de logiciel de conception BIM spécifique mais avoir un cadre complet d'une vraie méthodologie de travail qui permet de créer, partager et gérer efficacement des informations tout au long du cycle de vie d'un ouvrage et en incluant tous les intervenants impliqués.

Travailler en BIM, c'est prendre en compte une démarche pluridisciplinaire basée sur :

- la coopération
- le partage
- la flexibilité.

Pour gérer correctement et efficacement toutes les informations et données impliquées dans un processus BIM, il est nécessaire de fournir une structure organisationnelle dans laquelle les rôles et les responsabilités de chaque intervenants du processus sont bien définis.

Loin d'être un gadget ou un effet de mode, le BIM se démocratise petit à petit dans les chantiers de travaux publics. Parmi les avantages notables du BIM pour les chantiers, on peut notamment citer :

- **Le regroupement des données pour une meilleure interopérabilité entre les différents acteurs** : les participants au projet ont tous accès au BIM et peuvent l'alimenter instantanément pour une mise à jour en temps réel des paramètres de l'ouvrage.
- **La réalisation de simulations pour des études plus poussées et réduire les coûts du chantier** : la maquette numérique offre la possibilité d'expérimenter une panoplie de scénarios afin d'analyser la réaction de l'ouvrage, de tester plusieurs types de matériaux ou encore de calculer dynamiquement l'évolution

des coûts en fonction de la mise à jour des caractéristiques de l'ouvrage dans le BIM.

- **L'utilisation de la réalité augmentée** : la réalité augmentée permet de superposer une image virtuelle de l'ouvrage à construire (ou en construction) dans un environnement réel (c'est-à-dire l'emplacement choisi pour édifier l'ouvrage). C'est un dispositif très efficace pour visualiser le rendu final d'un chantier ou pour travailler directement sur le chantier avec les plans de l'ouvrage en réalité mixte (grâce des casques ou lunettes par exemple).

I.2.12. LES DIFFERENTS NIVEAUX DU BIM

Le processus BIM possède plusieurs niveaux (BIM Levels), appelés « niveaux de maturité ».

Ces niveaux constituent en réalité les différentes étapes de la mise en place du BIM, jusqu'à la collaboration des différents intervenants.

Les niveaux 0,1 et 2 doivent donc être considérés que comme des étapes et non pas comme une fin en soi.

Les descriptions ci-dessous correspondent aux niveaux utilisés au Royaume-Uni, précurseur dans le domaine du BIM, données par les normes ISO 19650-1.

Le niveau 3 correspond à la collaboration de l'ensemble des acteurs d'un projet sur un modèle unique BIM. Ce niveau est aujourd'hui difficilement atteint faute de stabilité technique et technologique. La plupart des projets actuels en France sont de niveau 2, c'est-à-dire que chaque intervenant crée sa maquette numérique, la partage sur une plateforme en ligne. L'ensemble de ces maquettes numériques sont alors fédérées par un BIM Manager ou BIM coordinateur selon le niveau du rôle de chaque intervenant.

- **BIM Niveau 0**

Dans sa forme la plus simple, le niveau 0 signifie effectivement qu'il n'y a aucune collaboration. Seule la CAO 2D est utilisée, principalement pour la production de l'information.

L'impression et le partage se font sur format papier ou électronique imprimés, ou un mélange des deux.

La collaboration est donc difficile à ce stade, surtout que beaucoup de projets ne sont pas géo-référencés* et/ou n'ont pas les mêmes unités.

La majorité du secteur du BTP est déjà bien au-delà de cette étape (source : Rapport NBS BIM national 2014).

*Un **géo référencement** est une action qui consiste à relier un objet et les données, les **géo références**, qui sont associées à sa position dans l'espace par rapport à un système de coordonnées géographiques.

BIM Niveau 1

Le niveau 1 du BIM (souvent labélisé comme le BIM en isolation ou Lonely BIM), comprend, généralement, un mélange de CAO 3D pour la partie conception et de 2D pour le dessin de plan ayant une valeur règlementaire, juridique et de production de l'information.

C'est pour le moment le niveau de BIM le plus répandu actuellement dans le secteur du bâtiment, bien qu'il n'y ait pas de collaboration entre les différentes disciplines – chaque profession a maintenant ses propres données.

- **BIM Niveau 2**

Au niveau 2 du BIM, la collaboration commence enfin !

Tous les intervenants du projet (architecte, ingénieurs, …) utilisent encore leurs propres maquettes numériques 3D de leur côté. Ces maquettes numériques sont ensuite partagées par chaque intervenant sur une plateforme collaborative puis compilées la plupart du temps par la cellule de BIM Management du projet.

A ce stade les informations du projet sont partagées sous un format de fichier commun, ce qui permet à toute organisation d'être en mesure de combiner ces données avec leurs propres données afin de réaliser un modèle BIM fédéré et central, d'effectuer des requêtes sur cette maquette.

- **BIM Niveau 3**

Le BIM Niveau 3 constitue une pleine collaboration entre tous les intervenants de toutes les disciplines au travers d'un modèle unique de projet, partagé sur un site / serveur centralisé.

Toutes les parties peuvent donc accéder et modifier ce même modèle, ce qui entraine l'absence de risques d'informations contradictoires.

Le BIM Niveau 3 n'est pas encore accessible à tous. C'est pourquoi le BIM niveau 2 est pour le moment la norme fixée par les gouvernements.

Pour information, le BIM de niveau 3 ne correspond pas à l'idéal pour chaque projet de construction. En effet il est très complexe à mettre en place et nécessite une configuration projet optimisée (L'ensemble des collaborateurs du projet doivent travailler sur le même serveur …).

I.2.13. CONCLUSION

Le processus BIM définit des méthodes de travail précises, qui vont être utilisées tout au long du projet : de la conception à l'exploitation d'un bâtiment ou d'une infrastructure, en passant par sa construction

CHAPITRE II

PRESENTATION DE PROJET

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1.DESCRIPTION DU PROJET

Dans le cadre du Schéma Directeur National des Infrastructures Ferroviaires, un programme d'aménagement des infrastructures ferroviaires nationales a été prévu, parmi ce programme figure :La réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat Ghardaïa qui fait partie de la la boucle ferroviaire Sud qui permettra, outre, l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, le désenclavement des régions du Sud du pays.

La Boucle Sud Est est une boucle qui va de Djelfa au Centra à Biskra à l'Est, en passant par Laghouat – Ghardaïa – Ouargla – Hassi Messaoud – Touggourt.

La boucle Sud, d'un linéaire global de 560 km.

II.2.CARACTIRISTIQUE PRINCIPALE DE LA LIGNE BOUCLE SUD

- Les lignes objet d'étude sont toutes de nouvelle conception −Trois tronçons de la Boucle Sud :

- Laghouat/Ghardaïa.
- Ghardaïa/Ouargla.
- Ouargla/Hassi Messaoud.

- Ligne à voie unique (plateforme à double voie)
- Ligne électrifiée)
- Ligne mixte voyageurs - marchandises

Les études de ces nouvelles lignes seront établies avec des normes techniques permettant des vitesses voyageurs de 220 km/h et marchandises de 100 km/h.

II.3.LOCALISATION DU PROJET

Notre projet consiste en l'étude de la nouvelle ligne à voie unique électrifiée Laghouat – Ghardaïa sur une longueur de 15km, du pk 181+000 jusqu'à pk 196+000, Avec la conception de la gare Nchou.

Le tracé prend sa proximité étroite avec la route nationale Une jusqu'au frontière nord de la localité de Oued Nchou, puis tend à s'excentrer de plus en plus du côté EST de la ville de GHARDAIA et suit le même cheminement de la nationale UNE qui mène à l'aéroport de Numirate sans passer par la ville de GHARDAIA ni par la localité D'EL ATTEUF.

Topographiquement, le tracé se situe dans une zone classée accidentée.



Figure II.1 : Localisation du projet



Figure II.2 : photo satellite du projet

II.4.PRINCIPES D'UTILISATION DE LA NOUVELLE LIGNE

II.4.1. LA LIGNE FERROVIAIRE DANS LE CADRE DU SCHEMA DIRECTEUR SECTORIEL FERROVIAIRE

Le réseau ferroviaire actuel de la région du Sud-Est est limité à **une seule ligne** (**Biskra Touggourt**) et au **trafic fret**. Cette ligne transporte un **trafic très modeste** avec des **performances faibles**.

Le développement du chemin de fer, symbole de désenclavement, passe principalement par la modernisation et l'extension du réseau ferroviaire avec les actuations suivantes :

- La modernisation et l'électrification de la ligne existante Biskra / Touggourt (et au nord de Biskra en direction de Batna),
- La réalisation progressive de la « **Boucle du Sud Est** ».
- La création d'une **plateforme logistique** et d'un **triage** à **Touggourt**
- Le contournement ferroviaire de la ville de Biskra

Ces actuations viennent supportées par le **Schéma Directeur Sectoriel Ferroviaire 2010-2025 (SDSF),** dont la politique d'aménagement du territoire mise en œuvre par les pouvoirs publics vise à éviter la concentration de l'activité économique dans la seule frange côtière de l'Algérie et ainsi notamment à promouvoir le développement des zones du Sud.

La **Boucle du Sud Est selon le SDSF** fait partie du plan de liaison par voie ferrée des villes principales des Wilayas des oasis : Laghouat, Ghardaïa, Ouargla, Hassi Messaoud, Touggourt et El Oued (~2.025.306 habitants) au réseau ferroviaire existant (A noter que l'étendue de cette étude ne tient pas compte de la ligne Touggourt-El Oued qui est l'objet d'une autre étude et qui ferait partie du « Grande Boucle Sud Est ».

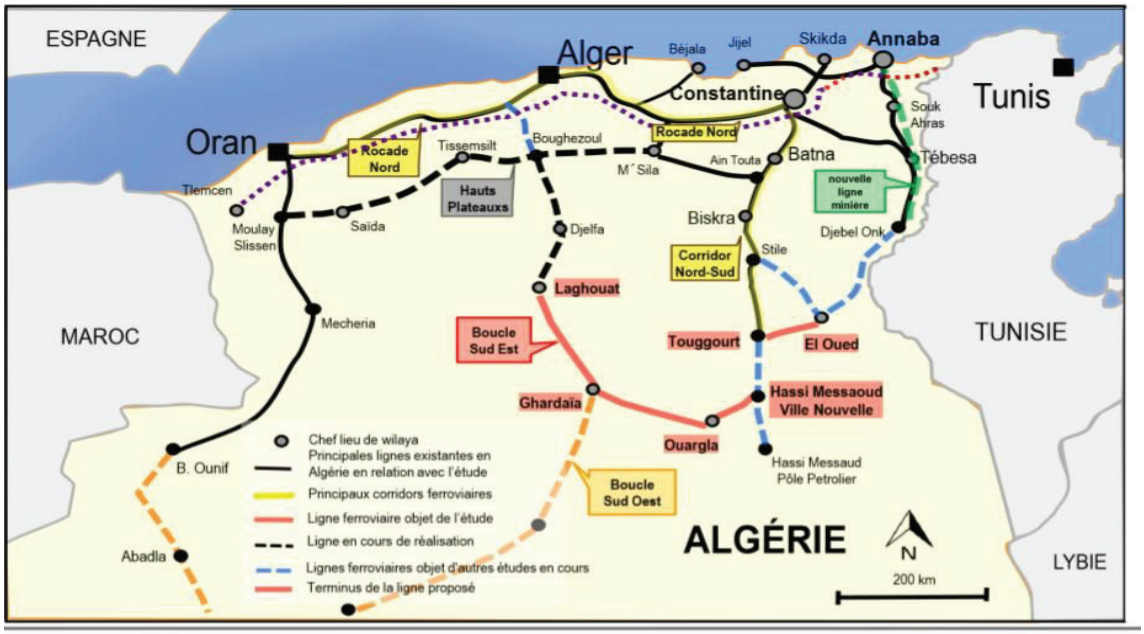


Figure II.3 : Réseau ferroviaire actuel et futur

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.

Désenclaver : Rompre l'isolement de (une région, une ville) par l'amélioration des communications

II.6.UTILITE 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 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.

II.7.UN GRAND PROJET FERROVIAIRE

Ce projet est considéré comme un « grand projet » d'infrastructure dans le sens où il réunit plusieurs caractéristiques qu'ils définissent :

1. Le coût prévisionnel d'investissement du projet est important.
2. Le projet modifie de manière significative la configuration du réseau régional ferroviaire.
3. Le projet est dit « structurant », il a un impact essentiel soit sur l'aménagement du territoire à l'échelon régional et inter-wilayas.

CHAPITRE III

PLAN DE TRANSPORT

III. PLAN DE TRANSPORT

III.1. INTRODUCTION

Le présent chapitre porte sur la prévision de la demande de transport ferroviaire s'appuyant sur les données de trafic fournies par le Maitre d'Ouvrage en Algérie, et l'estimation de la fréquence de circulation des trains, de l'intervalle entre deux trains successifs et des besoins des trains sur la base des résultats de cette prévision.

Le dimensionnement des installations et des structures d'exploitation s'appuiera sur le plan de transport afin de définir les caractéristiques normatives des installations.

III.2. LE RÉSEAU DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE



Figure III.1 : état actuel du réseau du chemin de fer en Algérie

III.3. ÉSTIMATION DE LA DEMANDE DE TRAFIC

III.3.1. PR É SUPPOSITION DE L'ESTIMATION DE LA DEMANDE DE TRAFIC

L'année de référence pour l'estimation de la demande de trafic de ce projet est l'année 2010, et l'année de début de l'estimation est l'année 2021, lors de la mise en œuvre du projet. L'année finale de l'estimation sera l'année 2051, 30 années après la mise en œuvre, en tenant compte la période d'endurance de la ligne ferroviaire.

- Année de référence : Année 2010.

- Année de début de l'estimation : Année 2021 (année de la mise en œuvre du projet).

- Années intermédiaires de l'estimation : Années 2026, 2031, 2036, 2041, 2046 (cinq années d'intervalle).

- Année finale de l'estimation : Année 2051 (30 années après la mise en œuvre)

III.4. ÉSTIMATION DE LA DEMANDE DE TRANSPORT FERROVIAIRE

III.4.1. Situation démographique actuelle et Estimation démographique :

III.4.1.1. Situation démographique actuelle

Le nombre de la population augmente d'une moyenne annuelle de 1,25 ~ 3,06 % dans chaque wilaya.

(Unité: Personnes)

Désignation	1987	1998	2008	2010	Taux d'augmentation
Laghouat	235 240	280 752	330 641	312 757	1,25 %
Ghardaia	155 494	226 528	228 624	278 100	2,56 %

Tableau III.1 Situation démographique de Laghouat er Ghardaïa

III.4.1.2. Estimation de l'évolution démographique :

En 2051, à l'année finale de l'estimation, la population de la Wilaya de Laghouat 782 071 personnes, et la Wilaya de Ghardaïa 873 485 personnes

(Unité: Personnes)

Désignation	2021	2026	2031	2036	2041	2046	2051	Taux d'augmentation
Laghouat	411 499	446 718	484 316	536 622	616 251	707 695	812 709	2,29%
Ghardaia	336 215	388 947	449 372	516 392	593 018	681 016	782 071	2,85%

Tableau III.2 Estimation de l'évolution démographique

III.4.2. Situation actuelle de la circulation routière des zones aux alentours :

Selon la circulation quotidienne moyenne, la proportion de la voiture est de 57,12 %, le taxi 15,51%, le bus 5,67%, et le transport des marchandises 21,7%, ce qui représente 78,3% pour la circulation des voyageurs.

(Unité: véhicule/jour)

Désignation	Voiture	Taxi	Bus	Transport des marchandises			Total
				Léger	Moyen	Lourd	
Laghouat	1 007	214	85	101	51	110	1 568
Ghardaia	768	268	91	244	46	122	1 539
Total	1 775	482	176	345	97	232	3 107
Taux de répartition	57,12 %	15,51 %	5,67 %	11,12 %	3,11%	7,47 %	100,0 %

Tableau III.3 Situation actuelle de la circulation routière des zones aux alentours

III.4.3. Estimation de la demande de transport sur la base des documents relatifs au volume de transport fournis par l'ANESRIF :

Estimation de la demande de transport des voyageurs et des marchandises à travers le taux de changement des moyens de transport des projets similaires.

(Unité: %)

Désignation		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Taux de changement moyen
Taux de changement en train par moyen de transport	Voiture	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7 %
	Bus	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2 %
	Train	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9 %
	Avion	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,6 %

Tableau III.4 Estimation de la demande de transport sur la base des documents relatifs au volume de transport fournis par l'ANESRIF

III.4.4. Résultat de l'estimation :

Par chaque année d'estimation, la demande pour le transport des voyageurs et de marchandises est estimée à :

(Unité: personnes/jour, tonnes/jour)

emande quotidienne	2021	2026	2031	2036	2041	2051
Transport de voyageurs	319	366	421	483	555	732
Transport de marchandises	1 508	1 839	2 243	2 735	3 336	4 962

Tableau III.5 Résultat de l'estimation

III.5. PLAN DE L'EXPLOITATION DES TRAINS

Afin d'établir les graphiques de circulation des trains, les points suivants seront appliqués.

- Prévision de la demande de transport (Résultats d'analyse de la population actuelle et de projection démographique, résultats de prévision de la demande de transport par application du trafic routier actuel des zones avoisinantes et du taux de transfert modal).

- Estimation du nombre des trains de voyageurs et marchandises à mettre en service et de l'intervalle entre deux trains successifs à travers l'analyse de la demande de transport.

- Analyse de la capacité de la ligne à voie unique.

- Estimation de la performance et du temps de marche sur le tracé de la ligne optimale par analyse de la simulation des performances des trains.

- Etablissement des graphiques de circulation et des horaires des trains par gare.

III.6. CARACTIRISTIQUES PRINCIPALES RETENUES PAR L'ANESRIF

- Ligne à voie unique Écartement standard (1435 mm en alignement)
- Entre axes : 4,20 m
- Mode de traction : diesel / électrique
- Rampes et pentes :
  - en pleine voie : minimale 12 ‰, maximale 16 ‰
  - au niveau des gares : 00 ‰
- Vitesse maximale à prendre en compte dans l'étude :
  - voyageurs : 220 km/h
- Tonnage supporté : 22,5 tonnes par essieu

III.7. PERFORMANCES DES MATÉRIELS ROULANTS

III.7.1. Train de voyageurs (locomotives électriques pour la SNTF, données offertes par l'ANESRIF)

- Vitesse maximale : 250 km/h
- Vitesse maximale de circulation : 200 km/h
- Accélération maximale : 0,48 m/s²
- Décélération minimale : 0,60 m/s²
- Charge maximale à l'essieu : 20 Tonnes (Poids du matériel : 6 essieux 120 tonnes)
- Longueur maximale d'un élément (train) : 150 mètres
- Composition d'un train = une locomotive de 23 m + six voitures de 20 m
- Amplitude du service (Plage horaire de circulation de train) pour l'estimation du volume de transport : de 07h à 21h (14 heures/jour)

III.7.2. Train de fret (locomotives électriques pour la SNTF, données offertes par l'ANESRIF) :

- vitesse maximale de train : 140 km/h ; Vitesse maximale de circulation : 90 km/h
- Accélération maximale : 0,48 m/s²
- Décélération minimale : -0,60 m/s²
- Charge à l'essieu : 22 Tonnes, Poids du matériel : 6 essieux 132 tonnes
- Performance de traction : remorque d'un train de marchandises de 2100 T dans une rampe de 16‰
- Amplitude du service (Plage horaire de circulation de train) pour l'estimation du volume de transport : de 05h à 21h (16 heures/jour)

III.8. EVALUATION DE LA CAPACITÉ D'UNE LIGNE FERROVIAIRE

La capacité de ligne a été calculée sur la base du code UIC 405 et la formule de calcul est comme suit.

UIC 405 : capacité de la ligne = $\dfrac{T}{t_{fm}+t_r+t_{zu}}$

Où,

T : 1 jour (1440 minutes)

t_{fm} **:** Intervalle minimal moyen entre deux trains consécutifs, valeur moyenne de l'intervalle minimal pour l'ensemble des trains. 14 heures de transport des voyageurs par jour (voyageurs + marchandises = 15 trains (environs) /14 heures = 1 train /1 heure). Soit, = 55 minutes

t_r **:** Temps libre de circulation (Temps ajouté à l'intervalle minimal pour la réduction des risques de retard des trains. Selon les critères de l'UIC 405, les valeurs de 0,33 ~ 0,67 de la moyenne de l'intervalle minimal sont appliquées en fonction du taux d'occupation maximale

d'un tronçon unitaire lors de l'exploitation réelle) En cas de calcul de la capacité journalière (plus de 60% du taux d'occupation)

= 0,67 × = 0,67 × 55 minutes = 36,8 minutes

t_{zu} **:** Temps supplémentaire pour les services demandés sur l'ensemble de la ligne. Soit 0,25 minutes par heure. Il est calculé en multipliant 0,25 minutes par le nombre de tronçons sur la ligne.

5 gares + 5 gares de croisement = 10 tronçons

= 0,25 minutes 10 tronçons = 2,5 minutes

UIC 405 : Capacité de la ligne = 15 trains/sens/jour

III.9. EVALUATION DU NOMBRE DE CIRCULATION DE TRAINS

III.9.1. Estimation de la demande de transports servant à l'évaluation du nombre de trains à mettre en circulation :

- Le nombre de circulation de trains est évalué sur la base du volume de trafic de la zone d'étude et en tenant compte de la demande de déplacements estimée sur la ligne du présent projet et du développement régional.
- Estimation de la demande de transports de voyageurs
- Etablissement du plan d'exploitation des trains à l'horizon 2051 où la demande de transport des voyageurs et des marchandises sera maximale

III.9.2. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de voyageurs :

Composition d'un train : 1 locomotive et 6 voitures pour les voyageurs ont été appliqués en vue d'analyser le nombre de trains optimal par rapport au nombre de voyageurs prévu

Type de train	Composition de train	Capacité par train (Nbre places assises)	Taux de charge	Capacité utile (avec le taux de charge)	Note
Voyageurs	1 locomotive 6 voitures	360 pers. pour 6 voitures	150 %	540 pers. pour 6 voitures	

Tableau III.6 L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de voyageurs

La demande maximale du transport de voyageurs sera de 732 pers. /jour en 2051. Même sans compter le taux de charge, un train peut offrir 360 places assises, de sorte que, cette demande maximale est assurée par 3 trains/jour. Pourtant, il convient de faire circuler 7

trains/sens/jour dans une hypothèse où un train démarre toutes les 2 heures pendant 14 heures par jour, et ce, afin d'offrir aux passagers ferroviaires un service public de transports en commun digne de ce nom. En principe, 7 trains de voyageurs/sens/jour seront mis en circulation, mais l'exploitation ferroviaire pourrait être flexible de manière à composer un train en ajustant le nombre de voiture compris entre 2 et 6 en fonction de la demande de transport des voyageurs.

III.9.3. L'évaluation du nombre de circulation de trains répondant à la demande de transport de marchandises

Composition d'un train de marchandises (train de fret)

- Longueur d'un wagon de fret : 14 m
- Longueur utile des voies en gare de marchandises : 800 m permettre d'accueillir un train composé d'1 locomotive et de 55 wagons de fret.
- Masse de remorque des trains de marchandises (données de SNTF) : 2100 T dans une rampe de 16 ‰
- Masse totale d'un wagon de fret : 43,5 tonnes (masse à vide d'un wagon : 13,5 T + marchandises : 30 T)
- Capacité de remorque d'un train (hauling capacity of engine) : 48 wagons (2100 T / 43,5 T = 48,3 wagons ≒ 48 wagons)
- Capacité de transport par train de fret : 48 wagons x 30T = 1440 T / train
- L'évaluation du nombre de trains de fret (en 2051)

  - 4962 T/1440 T = 3,4 → 4 trains/jour

  Le nombre de train de fret : 4 trains/jour (= 2 trains/sens/jour)

III.9.4. ESTIMATION DU NOMBRE DE TRAINS POUVANT CIRCULER SUR LA LIGNE

Type de train	*Laghouat /Ghardaïa*
Voyageurs	*7*
Marchandises	*2*
Total	*9*

Tableau III.7 Estimation du nombre de trains

III.9.5. CONCLUSION

Le nombre total des trains circulant sur la ligne est évalué à 09 trains à l'horizon 2051.

CHAPITRE IV

ETUDE GEOMETRIQUE

IV. ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1. TRACÉ EN PLAN

IV.1.1.INTRODUCTION

Le tracé en plan se composera de la succession judicieuse des éléments suivants :

Alignement droit, pleine courbe, et la clothoïde sera utilisée comme courbe de transition.

En se basant sur le chapitre 6 de SNTF, Les paramètres limites qui conditionnent le tracé sont repris ci-après :

IV.1.2.LONGEUR MINIMALE DES ÉLEMENTS DU TRACÉ

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

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après (la vitesse V est exprimée en km/h):

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

Tableau IV.1 longueur minimale des éléments de tracé

IV.1.3.RAYON MINIMUN DE L'ALIGNEMENT CIRCULAIRE

La valeur du rayon minimum admissible est limitée pour assurer, en fonction des vitesses de circulation, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient trop importants. Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

$$\frac{a}{g}\frac{V^2 min}{D min - E} > R > \frac{a}{g}\frac{V^2 max}{D max + I}$$

IV.1.4.DÉEVERS, L'INSUFFISNACE DEÉERS, EXCÉS DE DEVERS

Le dévers sera obtenu en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur. La variation du dévers à l'entrée et à la sortie d'une courbe sera continue tout au long de la courbe de transition.

IV.1.5.D É VERS MAXIMUN ADMISSIBLE

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

Valeur maximale du dévers	160 mm

Tableau IV.2 Dévers maximum admissible

IV.1.6.INSUFFISANCE DE D É VERS MAXIMALE ADMISSIBLE

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

$$I = \frac{\alpha_{nc} a}{g}$$

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

Les valeurs maximales admissibles sont :

Valeur maximale normale	150 mm
Valeur maximale exceptionnelle	160 mm

Tableau IV.3 nsuffisance de dévers maximale admissible

IV.1.7.EXCÉS DE DÉVERS MAXIMAL ADMISSIBLE

L'excès de dévers est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes.

Les valeurs maximales admissibles sont les suivantes :

Valeur maximale normale	110 m
Valeur maximale exceptionnelle	130 m

Tableau IV.4 Excès de dévers maximal admissible

IV.1.8.LIMITE DE LA VARIATION DE DÉVERS DANS LES COURBES DE TRANSITION

Du fait de la variation du dévers dans les courbes de transition, les deux rails forment un «gauche » qui nuit à la stabilité des véhicules. Afin d'éviter que les surcharges et les délestages puissent déstabiliser les circulations et les faire dérailler, la longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible, selon la relation suivante :

$$R_p > \frac{D}{L}$$

Rp étant le taux de variation dévers maximal admissible en mm/m.

Limites de ce taux exprimé en mm (la vitesse est exprimée en km/h) :

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

Tableau IV.5 Limite de la variation de dévers dans les courbes de transition

Limite la variation d'insuffisance de dévers :

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

Tableau IV.6 Limite la variation d'insuffisance de dévers

IV.2. PROFIL EN LONG

IV.2.1.INTRODUCTION

C'est une élévation verticale dans le sens de l'axe de la voie de l'ensemble des points constituants celui-ci

Autrement dit, c'est un graphique, sur lequel sont reportes tous les points du terrain naturel et de l'axe du projet

Il est constitué des déclivités (paliers, pentes et rampes) reliées entre elles par des raccordements circulaires en cas de changement de déclivité, Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

Du fait que les rayons verticaux sont très grands, l'introduction de courbes de raccordement progressif n'est pas nécessaire

Son but principal d'assurer une continuité dans l'es pace afin de lui permettre de prévoir l'évolution du tracé et une bonne perception des points singuliers.

Pour caler ce profil en long, il faut tenir compte : Le relief, la nature des sols, les gabarits routiers et ferroviaires (lorsque le projet coupe des routes ou des voies ferrées), les niveaux des plus hautes eaux pour les zones inondables traversées etc.

La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique là ou paraitra l'importance des Terrassements (Quantité de déblai et de remblai), les ouvrages d'arts …etc. Soit sur le plan technique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares

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

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

IV.2.2.REGLE A RESPECTER DANS LE TRACÉ DU PROFIL EN LONG

Dans ce paragraphe on va citer les règles qu'il faut tenir en compte Lors de la conception du profil en long selon la norme SNTF (Géométrie de la voie. Version 2. SNTF, 2005)

L'élaboration du tracé s'appuiera sur Les règles suivantes :

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements.
- Respecter les valeurs des rayons préconisés par les règlements
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui Complique l'évacuation des eaux.

- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
- Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

IV.2.3.ELÉMENTS GÉMÉTRIQUE DU PROFIL EN LONG

IV.2.3.1. COURBE DE RACCORDEMENT VÉERTICALE

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire. Ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge et d'assurer la sécurité

Lors de franchissement d'une courbe de raccordement verticale la notion du confort joue le rôle prépondérant.

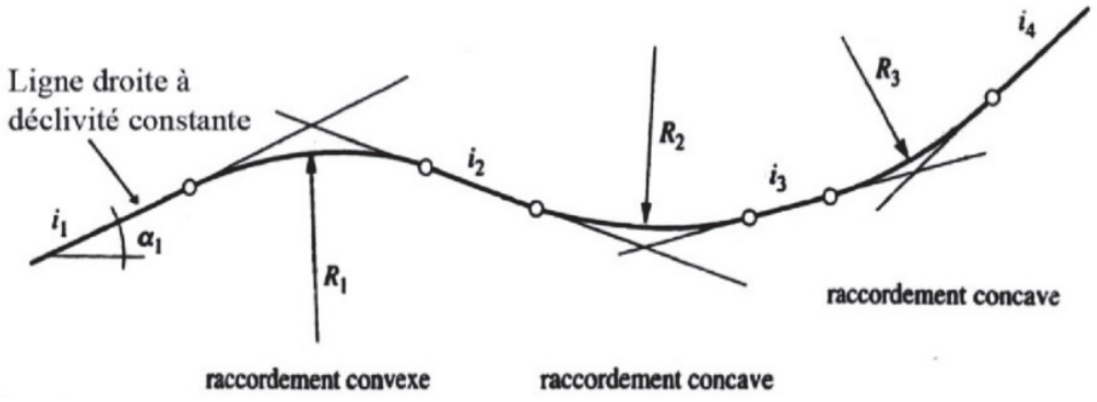


Figure IV.1 Courbes de raccordements

IV.2.3.2. LES DÉCLIVIÉS

- Pour un tronçon de la voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation, on parle d'une déclivité négative Ou Pente
- Pour un tronçon de la voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation, on parle d'une déclivité positive Ou Rampe
- Pour un tronçon de la voie où l'altitude est constante, on parle de Palier.

IV.2.3.3. PARAMETRES INFLUENCANT LES DÉCLIVITÉS

Les déclivités limites sont fonctions :

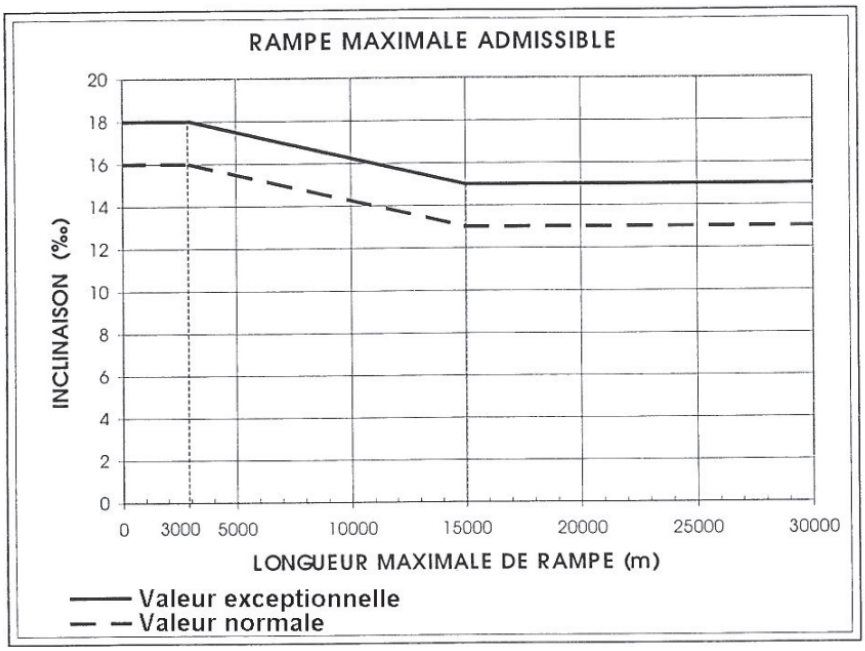
- De l'adhérence.
- Du mode de traction et des caractéristiques des véhicules (performances et résistance à l'attelage).

- Des programmes d'exploitation (trafic probable, longueur et charges des convois).
- De la longueur de la déclivité.

Le choix des valeurs de déclivité est conditionné par la problématique du démarrage et du freinage qui est liée aux capacités du matériel. La valeur admissible à ne pas dépasser pour la déclivité varie en fonction de sa longueur :

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

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



IV.2.4.RAYON ADMISSIBLE EN RACCORDEMENT DE PROFIL EN LONG

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

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

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

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

Il en résulte ci-dessous les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil, exprimés en mètres, à respecter (la vitesse V est exprimée en km/h) Selon le référentiel SNTF:

Valeur normale	0,35 V^2
Valeur exceptionnelle	0,25 V^2
Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton)	0,15 V^2

Tableau IV.7limites des valeurs des rayons de raccordement en profil en long

IV.2.5.DÉTERMINATION DE LA LONGEUR MINIMALEDES PENTS UNIFORMES ET DES RACCORDEMENTS EN PROFIL

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

Afin d'éviter ces sollicitations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité est à prévoir (la vitesse V est exprimée en km/h):

Valeur minimale normale	V /2
Valeur minimale exceptionnelle	V /2.5

Tableau IV.8 la longueur minimale des pentes uniformes et des raccordements en profil

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

IV.2.6.APPLICATION DE PROJET

IV.2.6.1. TRACÉ EN PLAN

IV.2.6.1.1. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DE TRACE

$L_{min} = \frac{V}{2} = \frac{220}{2} = 110$ m.

$L_{min(exp)} = \frac{V}{3} = \frac{220}{3} = 75$m.

IV.2.6.1.2. RAYON MINIMUM DE L'ALIGNEMENT CIRCULAIRE

$R_{min} = \frac{11.8 V_v^2}{I + d_p} = 1842{,}32$ m.

$R_{min} = \frac{11.8 V_v^2}{d_p - E} = 2360 m$.

Pour notre projet, on opte pour R_{min} ***=2000m.***

Selon la STNF :

- L'insuffisance de devers $I = 150\ mm$
- L'excès de devers $E = 110\ mm$.
- Devers pratique $d_p = 160\ mm$.
- Variation de devers $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{180}{V} = 0{,}81 mm/m$
- Variation de devers $\frac{\Delta d}{\Delta t} = ¿\ \frac{\Delta d}{\Delta l} \times \frac{V}{3{,}6} = 50\ mm/s$
- Variation l'insuffisance : $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 75 mm/s$
- Variation l'insuffisance $\frac{\Delta I}{\Delta l} = \frac{\Delta I}{\Delta t} \times \frac{3.6}{V} = 1.23 mm/m$

Calcul de l'insuffisance, le devers pratique, l'excès, variation de devers, variation de l'insuffisance pour R_{min} :

- $C = 0.006 \times v_v^2 = 290$ ($C = 300 multiplede 15$).
- $d_p = 1000 \frac{C}{R} = 150 mm < 160 mm$.
- $I = d_{th} - d_p = \frac{11.8 \times V_v^2}{R} - 1000 \frac{C}{R}$ ¿$140 mm < 150 mm$
- $E = d_p - d_m = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} = 100 mm < 110 mm$

IV.2.6.1.3. LONGUEUR MINIMALE DE LA CLOTHOÏDE :

$$L_{min} \geq \frac{d_p \times V}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}} \Rightarrow L_{min} \geq 190\,m$$

$$L\,min \geq \frac{I \times V}{3.6 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}} \Rightarrow L_{min} \geq 120\,m$$

On opte pour une longueur $L\,min = 190\,m$

D'ou :

$$\frac{\Delta I}{\Delta I} = \frac{140}{190} = 0.74\,mm/m < 1.23\,mm/m$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta I} = \frac{150}{190} = 0.79\,mm/m < 0.81\,mm/m$$

Toutes les conditions sont vérifiées

Rayon (m)	C	$d_p(mm)$	$I\,(mm)$	$E(mm)$	$I_{min}(m)$	$\frac{\Delta d}{\Delta I}(mm/m)$	$\frac{\Delta I}{\Delta I}(mm/m)$
2000	300	150	140	100	190	0.79	0.74
3000	300	100	100	65	130	0.33	0.33

Tableau IV.9 tableau récapitulatif des éléments du tracé

IV.2.6.2. PROFIL EN LONG

IV.2.6.2.1. DÉTÉRMINATION DE LA LONGUEUR MINIMALE DES PENTES UNIFORMES ET DES RACCORDEMENTS EN PROFIL

$$L_{min} = \frac{V}{2} = \frac{220}{2} = 110 \text{ m.}$$

$$L_{min(exp)} = \frac{V}{3} = \frac{220}{3} = 75\text{m.}$$

IV.2.6.2.2. RAYON ADMISSIBLE EN RACCORDEMENTS DE PROFIL EN LONG

$$R_{min} = 0.35\,V^2 = 16940\,m\,.$$

$$R_{min\,(exp)} = 0.25\,V^2 = 12100\,m\,.$$

On opte pour un rayon $R_{min} = 17000\,m$.

Chapitre V

ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

V. ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

V.1. INTRODUCTION

L'objet de ce présent chapitre est de décrire d'une manière la plus détaillé possible les caractéristiques géologiques et étudier les conditions géotechniques de la région, dans le couloir de passage du projet de la ligne à voie unique électrifiée qui relie LAGHOUAT à GHARDAIA.

V.2. CONSISTANCE DE L'ÉTUDE

Les investigations géotechniques consistent en la réalisation des opérations suivantes :

- Visite du site.
- Recherche bibliographique.
- Réalisation des sondages carottés variant entre douze (12) et vingt mètres (20 m) de profondeur chacun avec essais SPT chaque trois (03) mètres le long du forage si la lithologie le permet
- Réalisation de pénétromètres dynamiques lourds (PDL).
- Réalisation des puits de reconnaissances à la pelle mécanique.
- Etude stratigraphique du terrain investigué à partir des carottes prélevées.
- Réalisation des essais au laboratoire conformément aux commandes d'essais préconisées par le client.
- Synthèse et rédaction du présent rapport de phase.

V.3. ÉTUDE GÉOLOGIQUE

V.3.1. REGION DE GHARDAIA

V.3.1.1. GÉOLOGIE REGIONALE

La région du M'zab, fait partie du grand domaine de la plateforme saharienne. G. Busson (1970) et J. Fabre (1976), ont largement consacré leurs travaux sur l'étude des dépôts mésozoïques et tertiaires de la plateforme du Sahara septentrional, sur lesquels une grande partie de notre synthèse géologique s'est inspirée.

V.3.1.2. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA PLATEFORME SAHARIENNE

Le domaine de la plate-forme saharienne correspond à une immense assise de roches sédimentaires d'âge Secondaire et Tertiaire subhorizontale (fig.III 06), reposant en discordance sur un socle primaire (Paléozoïque*) fortement plissé et érodé au cours de l'orogenèse hercynienne. L'ensemble de ces assises comble une vaste cuvette synclinale qui forme le bassin du bas-Sahara, ou bassin du Châamba (Conrad, 1948). Le centre de la cuvette est occupé par les dunes du Grand Erg oriental. Par contre le Grand Erg occidental couvre en grandes parties ces bordures occidentales et sous ces dunes de sables le bassin correspond à un vaste bombement anticlinal à axe situé approximativement le long de la dorsale du M'zab. C'est le domaine du Haut-Sahara (J. Flandrin, 1957). La plate-forme saharienne s'étend du massif cristallophyllien du Hoggar au Sud jusqu'au piémont méridional de la chaine montagneuse de l'Atlas Saharien au Nord. Les deux domaines ; saharien et atlasique, sont

nettement séparés par un grand accident structural complexe dit flexure sud atlasique. Mise à part les affleurements localisés sur le plateau de Tademaït et de Tinrhert au Sud, et le versant occidental de la dorsale du M'zab, le bassin du bas-Sahara à géologie assez simple, ses traits géologiques en détail ne sont connus que grâce aux sondages profonds de recherche et de prospection des hydrocarbures

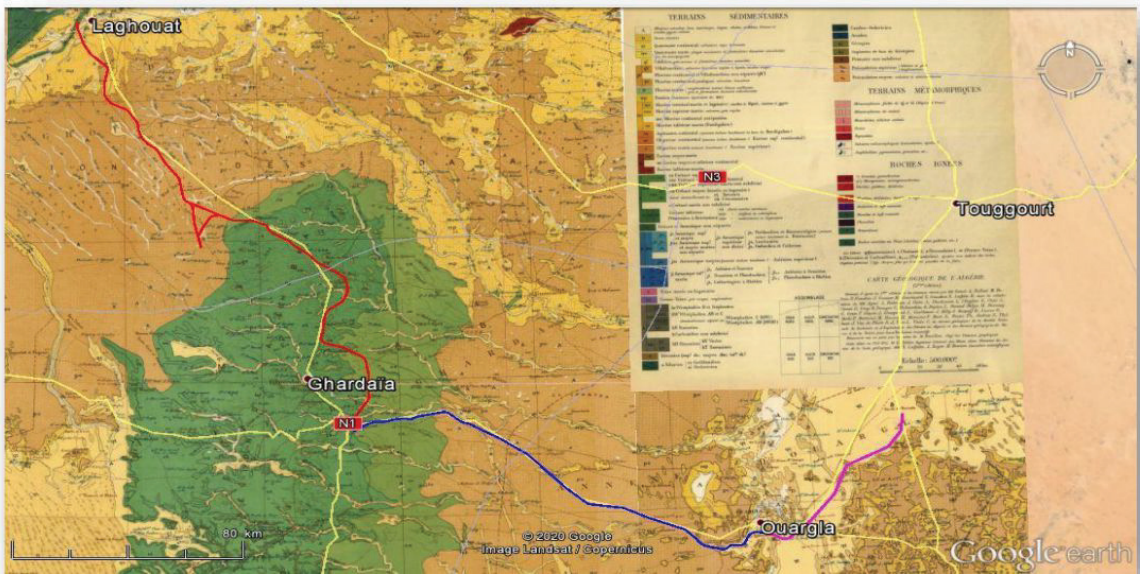


Figure V.1 : Carte géologique de la plate-forme saharienne septentrionale

Paléozoïque : une ère géologique qui s'entend sur des millions d'années **(**unité de temps)

V.3.1.3. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA DORSALE DU M'ZAB

La carte géologique du bassin du Sahara (au 1/500.000) établie par le Service de la Carte Géologique de l'Algérie (SCG) 1951 (fig.III. 08), montre que la dorsale du M'zab correspond aux affleurements des formations du Crétacé supérieur (Cénomano- turoniennes et sénoniennes), dessinant ainsi une lanière allongée sur une direction subméridienne, laquelle est entourée par de dépôt continental d'âge Mio-pliocène. Les immenses dunes de l'Erg occidental recouvrent en grande partie la dorsale au Sud- Ouest. Ces assises carbonatées et marneuses du Crétacé supérieur s'épaississent et s'approfondissent progressivement vers l'Est, et se couvrent par des couches plus récentes d'âge Tertiaire (Mio-pliocène et Pontien).

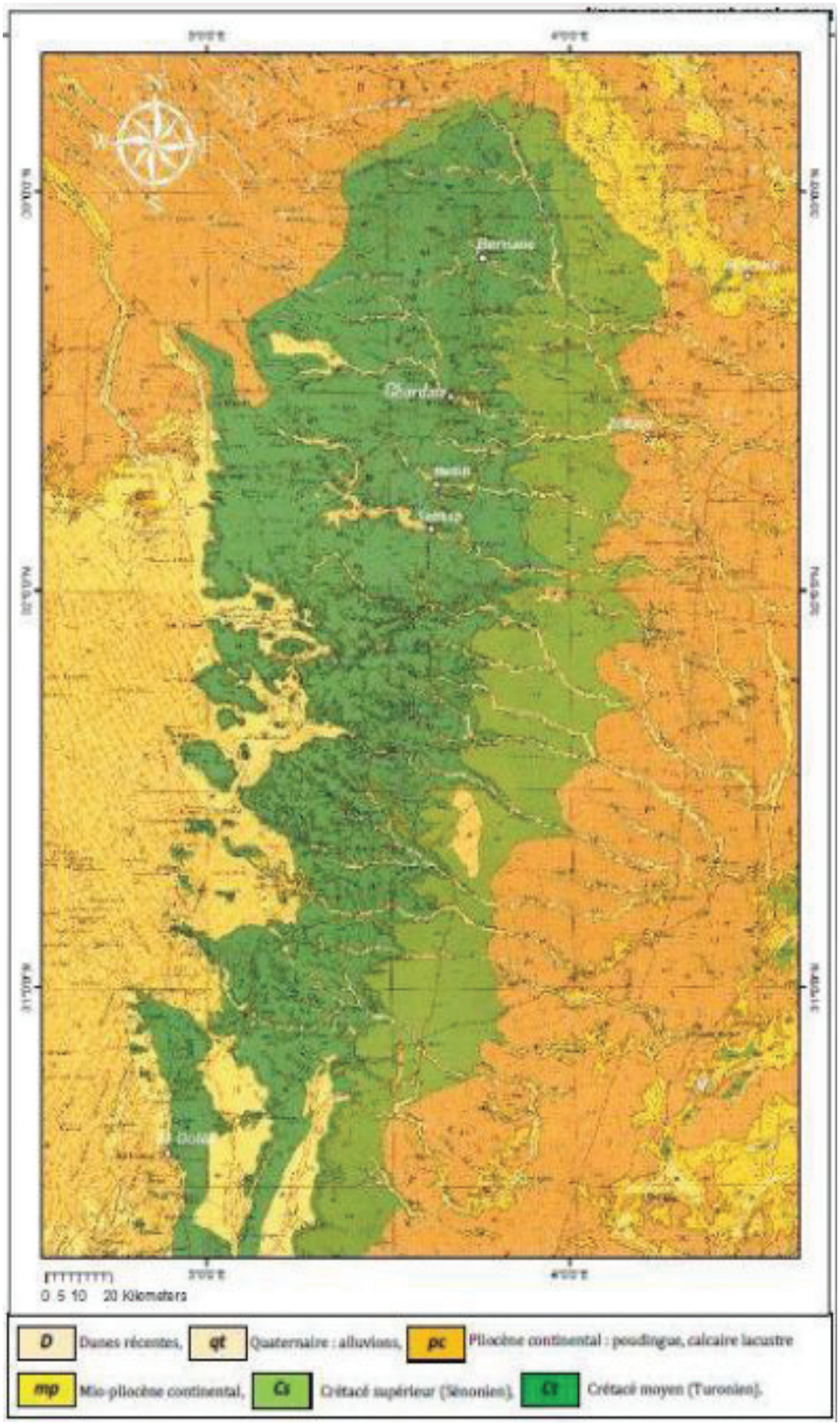


Figure V.2 : Carte géologique de la dorsale du M'zab (SCG, 1951)

Cénomanien

Cet étage présente un faciès argileux, formé essentiellement par des argiles vertes, grises et noirâtres, plus ou moins plastique à couches lenticulaires. Des minces intercalations de couches calcaires et des intercalations plus importantes de gypses massifs fibreux blancs et de l'anhydrite. Des argiles bariolées (marron, verte et rouge) prédominent dans la partie basale du Cénomanien, elles sont attribuées par certains géologues (M. J. Savornin) au sous- étage Vraconien. L'épaisseur moyenne du Cénomanien dans la région du M'zab est de 230 mètres.

Turonien

Constitue le plateau rocheux de la dorsale du M'zab (110 m) parsemé par de nombreux oueds. Il est composé d'assises calcaires et calcaires dolomitiques massifs à patine ocre, souvent fossilifères ; avec de nombreux nodules de silex. On note aussi des structures d'endokarst fossiles (fig.III. 09).

Sénonien inférieur

Affleure sur la versant oriental de la dorsale et correspond à des argiles marneuses jaunâtres et rouges, à intercalations de bancs importants de gypses et d'anhydrites. Dans les forages hydrauliques exécutés dans la région de Guerrara et Zelfana, il est recoupé sur une épaisseur de 79 mètres (Fig.III. 10).

Sénonien supérieur

Il affleure seulement dans la partie orientale de la dorsale du M'zab et coiffe l'ensemble des buttes témoins de celle-ci. Il est formé de calcaire marneux à argiles. Le Sénonien supérieur et l'Éocène inférieur sont pratiquement in-distinguables dans la région de M'zab, ils présentent une épaisseur de 36 mètres

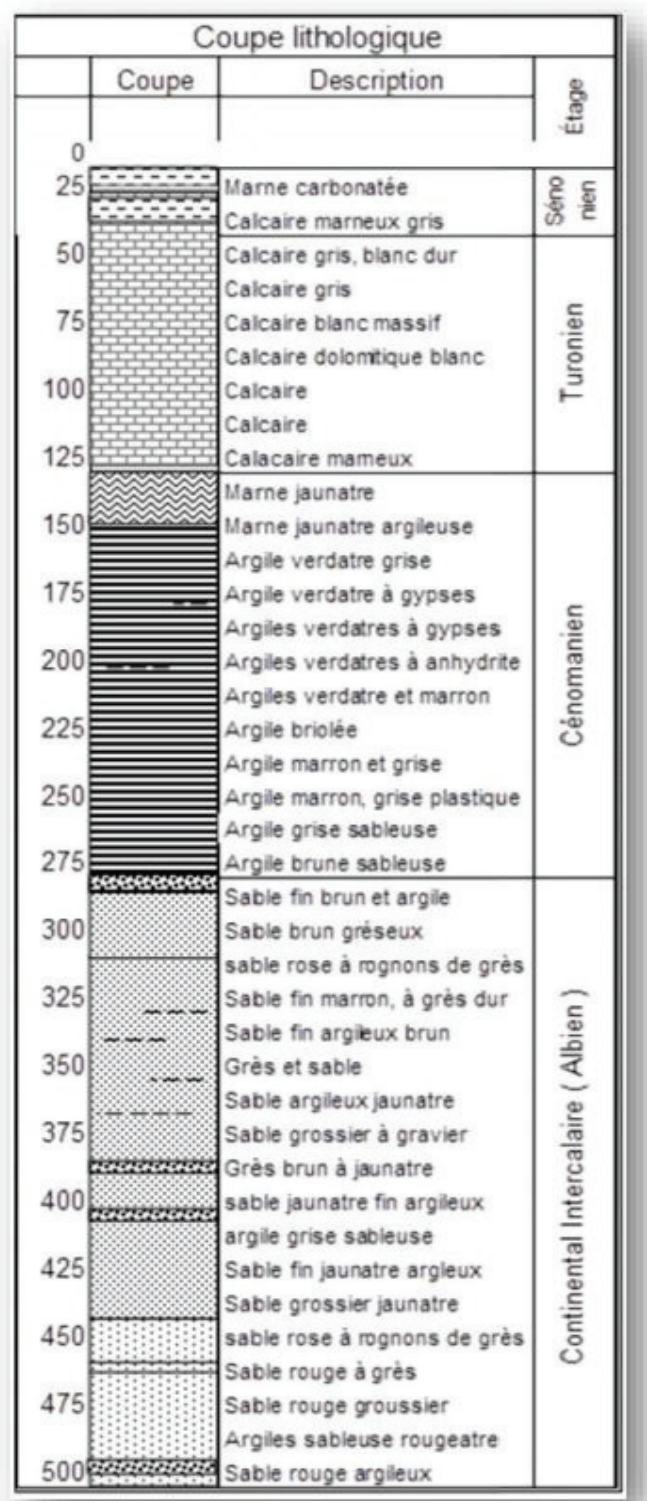


Figure V.3 : Coupe lithologique du forage de Noumerat (ANRH/Ghardaïa)

Mio-pliocène (Pontien)

Formé de dépôt de sables rouge plus moins consolidés. Grès dur à tendre rose, à lits argileux. Sur les sondages exécutés à l'Est du M'zab (Guerrara), il est recoupé sur une profondeur de 65 mètres (fig.III. 10).

Pliocène continental

Formé d'éléments rocheux de calcaires lacustres et poudingues au sein d'un ciment carbonaté, il compose la fameuse croute saharienne. Il entoure les formations marines carbonatées de la dorsale du M'zab. L'épaisseur moyenne de la croute dans la région est de 5 mètres.

Quaternaire

Dans la région du M'zab le Quaternaire formé d'alluvions et de sables plus ou moins grossiers, argileux, remplissant les bas-fonds des vallées des oueds. De l'amont en aval, les épaisseurs variant entre 20 à 30 mètres. Les alluvions quaternaires, jouent d'important rôle hydrogéologique en abritant les inféro-flux de la plus part des oueds de la Chebkat M'zab.

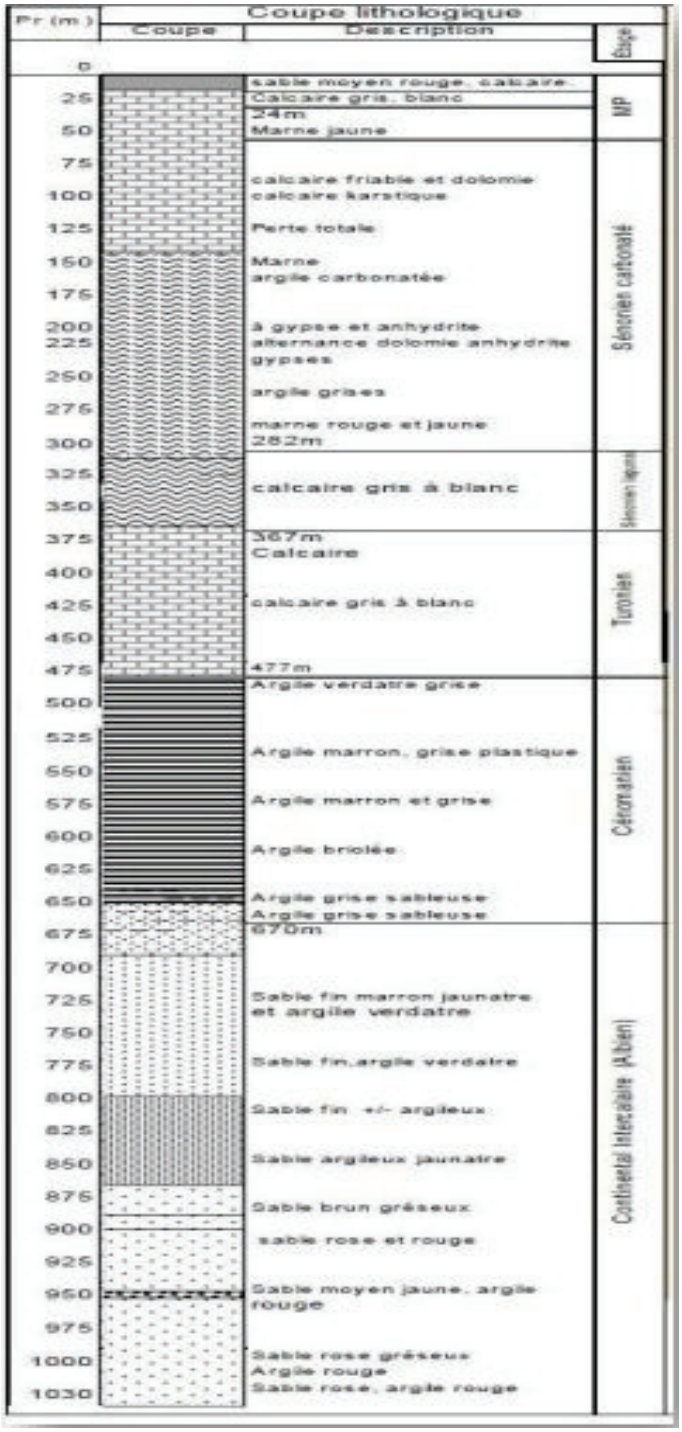


Figure V.4 : Coupe lithologique du forage de Foussaa à Guerrara, N-E de Ghardaïa (ANRH/Ghardaïa)

V.3.1.4. TECTONIQUE REGIONALE

V.3.1.4.1. APERÇU PALEOGEOGRAPHIQUE ET TECTONIQUE

Le domaine de la plate-forme saharienne représente un grand bassin sédimentaire dont la zone la plus profonde est située dans la région des chotts (centre du bassin), il correspond à des immenses séries marines et continentales d'âge Crétacé et Tertiaire, reposant en discordance angulaire sur un socle d'âge Primaire plissé et pénéplaine*.

La tectonique du bassin est relativement stable et moins prononcée. Il était le siège de mouvements épirogéniques* au cours du Crétacé et le Tertiaire. La plate-forme se trouvait ainsi parfois immergée sur laquelle se déposait de formations marines carbonatées, et parfois émergée favorisant de dépôt continental détritique

Pénéplaine *: région faiblement onduleuse.

Epirogénèse* : un processus qui fait monter ou descendre lentement des domaines continentaux.

V.3.1.5. GÉOMORPHOLOGIE REGIONALE

Dans la région d'étude et du Nord au Sud, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (D.P.A.T. (2005) :

La région des dayas ;

La Chebka du M'Zab ;

La région des Regs ;

Région des dayas

Au sud de l'Atlas saharien d'une part et d'autre part du méridien de Laghouat s'étend une partie communément appelée «plateau des dayas» en raison de l'abondance de ces entités physionomiques et biologiques qualifiées des dayas. De substratum géologique Mio-pliocène, les dayas sont des dépressions de dimensions très variables, grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques* de dissolution souterraine qui Entraînent à la fois un approfondissement de la daya et son extension par corrosion périphérique (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT-MAHMA., 1997). La région des dayas par sa richesse floristique offre par excellence les meilleures zones de parcours.

Karst* : est un massif calcaire dans lequel l'eau a creuse des cavités

Chabka du M'Zab

C'est un plateau d'âge Crétacé, rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles et leur pente dirigée vers l'Est. L.C.T.P (Laboratoire Central des Travaux Publics)

Établi le : 22/07/2021 Investigations géotechniques de la nouvelle ligne ferroviaire de la boucle Sud-Est tronçon : Laghouat-Ghardaïa Direction des Études : A.M/C.M/A.M 28 La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable, et elle n'atteint pas les cent mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au-dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges. Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km², représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement. Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoua et Hassi –Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.

Région des Regs

Située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique Pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux. Les Regs sont le résultat de la déflation, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf.

V.3.1.6. CLIMAT REGIONAL

V.3.1.6.1. APERÇU CLIMATIQUE DE GHARDAÏA

Le caractère fondamental du climat dans la région de Ghardaïa est la sécheresse de l'air mais les micros – climats jouent un rôle considérable au désert. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques

Pluviométrie :

Les précipitations sont très faibles et irrégulières à Ghardaïa. Elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de quinze (15) jours par an. A El-Ménéa, elles varient entre 0,4 mm et 147,5 mm avec une moyenne annuelle de 41,5 mm ; le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf cas exceptionnels

Température *:*

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 36,3 °C, le maxima absolu de cette période a atteint 47 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 9,2 °C, le minima absolu de cette période a atteint -1 °C.

Les vents :

Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut

V.3.1.7. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE LOCAL DU TRACE

D'après l'étude de la carte géologique de l'Algérie au 1/500 000, on constate que le tracé de la future ligne ferroviaire traverse les terrains géologiques suivants :

Du PK 181+000 jusqu'à la fin du tracé PK 196+000

La nature du sol change radicalement avec l'apparition de l'imposante Dorsale de M'zab (ou Chabka de M'zab), dont les formations de calcaires du Crétacé moyen marin (Turonien) et du Crétacé supérieur marin (Sénonien), cartés successivement (cs) et (ct) dominent le paysage, le relief est souvent tourmenté et accidenté avec des zones de monticules et hamadas.



Figure V.5 chebka de M'zab

V.3.1.8. SISMISITE DE LA REGION

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.

D'après ce découpage notre région d'étude appartient à la zone 0, caractérisée par une sismicité Négligeable.

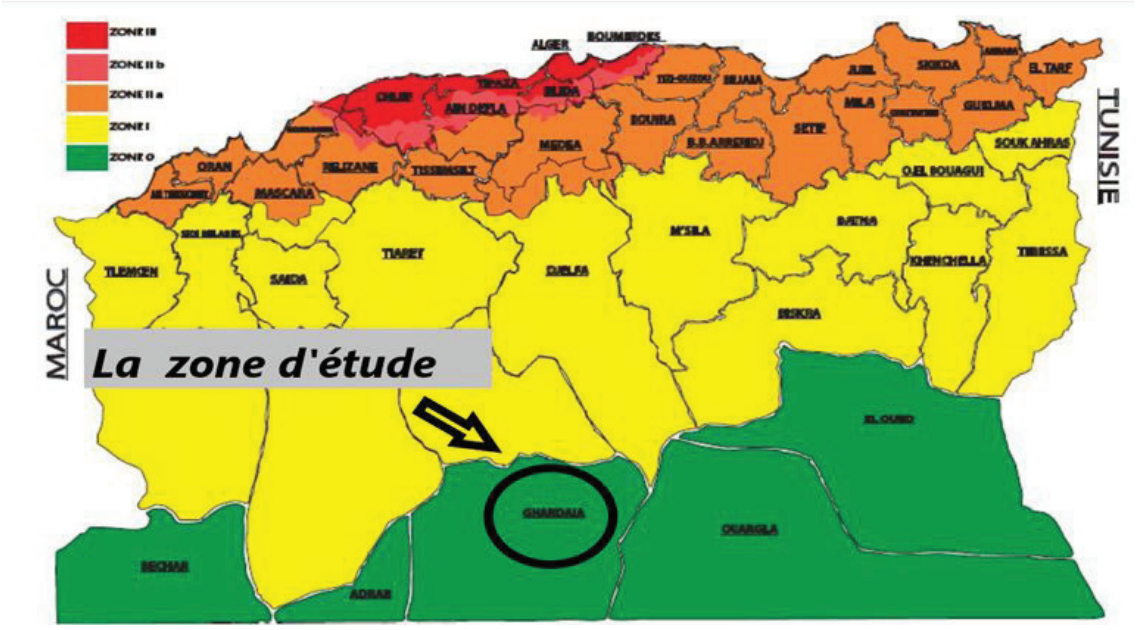


Figure V.6 carte de zonage sismique de l'Algérie

V.4. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

V.4.1. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif des investigations géotechniques est de caractériser la nature physique, chimique et mécanique du sous-sol, de l'assiette, afin de définir la conception des fondations de l'ensemble des ouvrages du projet de la ligne ferroviaire LAGHOUAT - GHARDAIA.

V.4.2. CAMPAGNE D'INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES IN SITU

Un programme de compagne de reconnaissance du sol in-situ a été adopté par le LCTP. La consistance du programme d'investigations géotechniques est la suivante :

V.4.2.1. Sondages carottés :

Cinq (05) sondages carottés de quinze (15.00 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.

Les résultats des mesures (aucune présence d'eau n'a été détectée) sont montrés ci-après :

X	Y	PK	Sondage N°	Prof. (m)
568376	3609983	PK 181+ 400	F-50-L-G	20
569316	3608689	PK 183+ 000	F-51-L-G	20
570134	3608184	PK 184+ 050	F-52-L-G	15
576141	3607338	PK 190+ 100	F-53-L-G	15
577527	3606540	PK 191+ 647	F-54-L-G	20

Tableau V.1 Programme des points de sondages carottés

V.4.2.1.1. DESCRIPTION LITHOLOGIE DES SONDAGE

A la lumière des sondages réalisés, il s'avère que le profil stratigraphique type du terrain de fondation est assez homogène. Le profil stratigraphique se présente comme suit :

PK 181+000 au PK 196+000

Ce tronçon est caractérisé principalement par son substratum en roche calcaire dure/fracturée de couleur blanche grisâtre à rose peu vacuolaire admettant des passages meubles ou d'encroutements, aussi par les diverses couches qui peuvent se poser entre le substratum et la couche d'encroutement calcaire (couche de surface) en l'occurrence :

- Une marne calcaire (190+100).

V.4.2.2. PUITS DE RECONNAISSANCES

V.4.2.2.1. IMPLANTATIONS DES PUITS DE RECONNAISSANCE

Comme prévu dans le programme d'investigations géotechniques, deux (02) puits de reconnaissances ont été réalisés jusqu'à une profondeur de trois mètres (00.60m).

Les coordonnées de ces puits sont récapitulées dans le tableau suivant :

N° Puits	PK Ouvrage	Coordonnés	
		X	Y
PU37 L-GH	186+400	572528	3608014
PU38 L-GH	194+000	579505	3605366

Tableau V.2 Programme et implantation des puits de reconnaissances

Puits 37 L-GH (PK186+400)

00.00-00.20	Tout venant de reg.
00.20-00.60	Encroûtement calcaire compact.
Profondeur des échantillons prélevés : 00.20-00.60m	

TableauV.3Tableau descriptif du puits de reconnaissances P37 L-GH

Puits 38 L-GH (PK194+000)

00.00-00.10	Tout venant de reg.
00.10-00.40	Roche calcaire altérée.
Profondeur des échantillons prélevés : 00.10-00.40m quelques blocs	

TableauV.4Tableau descriptif du puits de reconnaissances P38 L-GH

V.4.2.3. PENETROMETRE 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 Rp déduite de la formule de battage dite (formule des hollandais).



Figure V.7 pénétromètre dynamique

V.4.2.3.1. LES COORDONNEES DES POINTS PENETROMETRIQUES

N° Puits	PK Ouvrage	Coordonnés	
		X	Y
PDL 32 L-GH	186+400	572528	3608014
PDL 33 L-GH	194+000	579505	3605366

TableauV.5 LES COORDONNEES DES POINTS PENETROMETRIQUES

V.4.2.3.2. INTERPRETATION DES RESULTATS

L'examen des diagrammes de pénétration, nous permet de constater qu'il existe des similitudes entre les diagrammes des différents essais de point de vue résistance au niveau du premier mettre ; dénotant une homogénéité des terrains investigués.

V.4.3. ESSAIS DE 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'encroutement calcaire et de blocs rocheux fracturés.



Figure V.8 caisse à carotte d'un des sondages carottés

Les résultats des essais au laboratoire effectués sur les échantillons issus des sondages carottés sont regroupés sur les tableaux suivants :

PK 181+400

SONDAGE F50 L-GH PK 181+400				
Prof (m)		04,50-05,00	10.60-10.80	16.10-16.50
W %		6,81	/	/
ɣd t/m3		Sol remanié	2.08	2.62
ɣh t/m3				
Wsat %		/	/	/
Degré de saturation Sr %		/	/	/
Granulométrie par tamisage (% Passants)	80mm	/	/	/
	50mm			
	31,5mm			
	20mm			
	10mm			
	05mm			
	02mm			
	01mm			
	0.4mm			
	0,2mm			
	0,1mm			
	0,08mm			
Sedimentometerie	0.025µ			
	0.008µ			
	0.002µ			
WL %		/	/	/
Wp %		/	/	/
Ip %		/	/	/
VBS		/	/	/
ES				
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	/	/	/
	ϕ'			
Triaxial CU+u	C (KPa)	/		/
	ϕ			
RCS (Kg/Cm^2)		/	407	935
Analyse Chimique	Sulfates (CaSO4, 2H2O)	TRACES	/	/
	Chlorures (NaCl)	0.41%		
	Carbonates (CaCO3)	43.10		
	Anhydride carbonique	18.97%		
	MO	NEANT		

PK183+000

SONDAGE F51 L-GH PK 183+000				
Prof (m)		02.00-02.15	11,00-11,55	15,00-15,35
W %		/	5,94	5,52
Ɣd t/m3		2.33	2,01	2,15
Ɣh t/m3		/	2,13	2,27
Wsat %		/	12,74	9,49
Degré de saturation Sr %		/	47	58
Granulométrie par tamisage (% passants)	80mm	/	Non réalisable (voir photo n°31)	Non réalisable (voir photo n°32)
	50mm	/		
	31,5mm	/		
	20mm	/		
	10mm	/		
	05mm	/		
	02mm	/		
	01mm	/		
	0.4mm	/		
	0,2mm	/		
	0,1mm	/		
	0,08mm	/		
Sedimentometerie	0.025µ	/		
	0.008µ	/		
	0.002µ	/		
WL %		/	Non réalisable (voir photo n°31)	Non réalisable (voir photo n°32)
Wp %		/		
Ip %		/		
VBS		/	/	/
ES		/	/	/
Odomètre	PC bar	/	/	Echantillon induré, non adapté pour cet essai
	Cc	/		
	Cg	/		
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	/	Echantillon induré (remplacé par RC)	Echantillon induré (remplacé par RC)
	ϕ	/		
RCS (Kg/Cm²)		313	Non Réalisable	Non Réalisable
Analyse Chimique	Sulfates (CaSO4, 2H2O)	/	TRACES	/
	Chlorures (NaCl)	/	0.41%	
	Carbonates (CaCO3)	/	21.55%	
	Anhydride carbonique	/	9.48%	
	MO	/	NEANT	

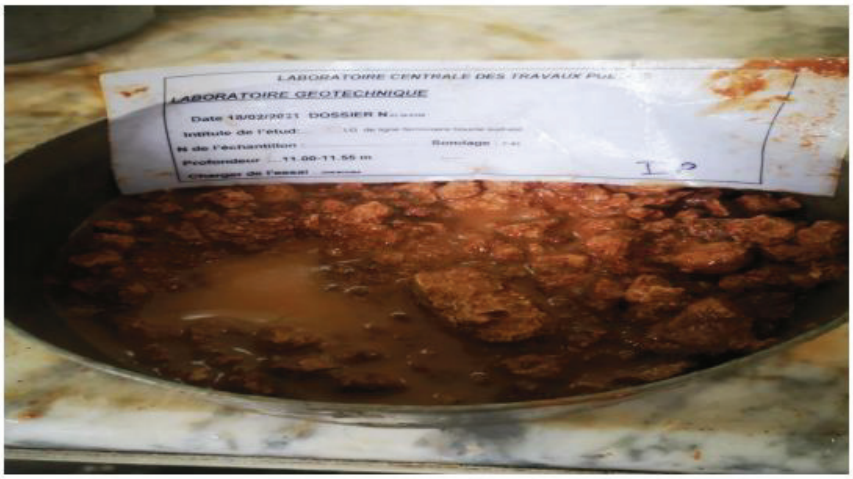


Figure V.9 Echantillon non adapté pour analyse granulométrique et limites d'atterberg F51 L-GH (11.00-11.55m)

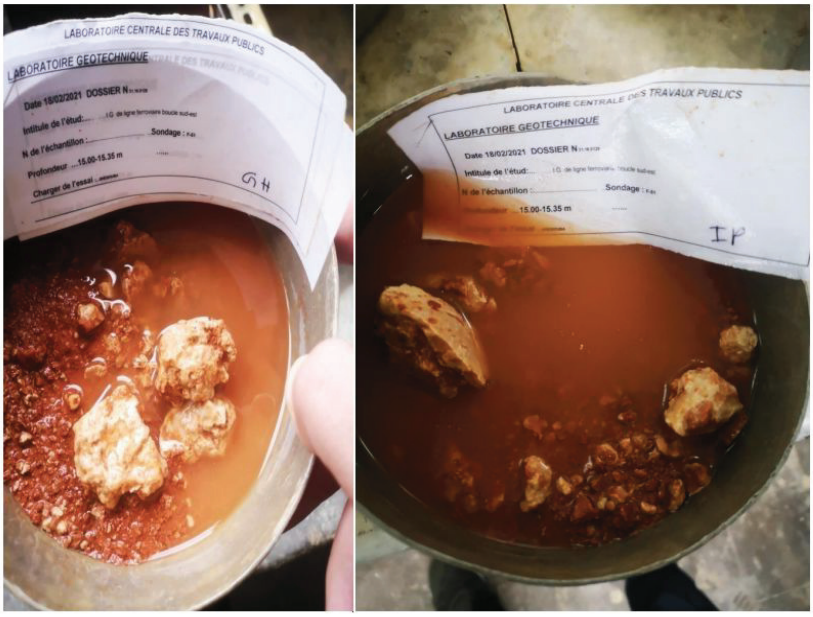


Figure V.10 Echantillon non adapté pour analyse granulométrique et limites d'atterberg F51 L-GH (15.0-15.35m)

PK 184+050

SONDAGE F52 L-GH PK 184+050				
Prof (m)		02,65-02,90	07,00-07,30	10,50-11,00
W %		/	/	/
γ_d t/m3		2.26	2.52	2.20
γ_h t/m3		/	/	/
Wsat %		/	/	/
Degré de saturation Sr %		/	/	/
Granulométrie par tamisage (% passants)	80mm	/	/	/
	50mm	/	/	/
	31,5mm	/	/	/
	20mm	/	/	/
	10mm	/	/	/
	05mm	/	/	/
	02mm	/	/	/
	01mm	/	/	/
	0.4mm	/	/	/
	0,2mm	/	/	/
	0,1mm	/	/	/
	0,08mm	/	/	/
Sedimentometerie	0.025µ	/	/	/
	0.008µ	/	/	/
	0.002µ	/	/	/
WL %		/	/	/
Wp %				
Ip %				
VBS		/	/	/
ES				
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	/	/	/
	ϕ'			
RCS (Kg/Cm²)		639	484	745
Analyse Chimique	Sulfates (CaSO4, 2H2O)	3.17%	/	/
	Chlorures (NaCl)	0.64%		
	Carbonates (CaCO3)	41.38%		
	Anhydride carbonique	18.21%		
	MO	NEANT		

PK 190+100

SONDAGE F53 L-GH PK 190+100			
Prof (m)		01,55-02,00	12,40-13,00
W %		/	/
ɣd t/m3		2.30	2.10
ɣh t/m3		/	/
Wsat %		/	/
Degré de saturation Sr %		/	/
Granulométrie par tamisage (% Passants)	80mm	/	/
	50mm	/	/
	31,5mm	/	/
	20mm	/	/
	10mm	/	/
	05mm	/	/
	02mm	/	/
	01mm	/	/
	0.4mm	/	/
	0,2mm	/	/
	0,1mm	/	/
	0,08mm	/	/
Sedimentometerie	0.025µ	/	/
	0.008µ	/	/
	0.002µ	/	/
WL %		/	/
Wp %			
Ip %			
VBS		/	/
ES			
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	/	/
	ϕ'		
RCS (Kg/Cm²)		802	264
Analyse Chimique	Sulfates (CaSO4, 2H2O)	TRACES	/
	Chlorures (NaCl)	0.35%	
	Carbonates (CaCO3)	47.42%	
	Anhydride carbonique	20.86%	
	MO	NEANT	

PK 191+647

SONDAGE F54 L-GH PK 191+647				
Prof (m)		05,60-05,75	11,00-11,25	19,00-19,25
W %		/	/	/
Ɣd t/m3		2.48	2.58	2.27
Ɣh t/m3		/	/	/
Wsat %		/	/	/
Degré de saturation Sr %		/	/	/
Granulométrie par tamisage (% Passants)	80mm	/	/	/
	50mm	/	/	/
	31,5mm	/	/	/
	20mm	/	/	/
	10mm	/	/	/
	05mm	/	/	/
	02mm	/	/	/
	01mm	/	/	/
	0.4mm	/	/	/
	0,2mm	/	/	/
	0,1mm	/	/	/
	0,08mm	/	/	/
Sedimentometerie	0.025µ	/	/	/
	0.008µ	/	/	/
	0.002µ	/	/	/
WL %		/	/	/
Wp %				
Ip %				
VBS		/	/	/
ES				
Cisaillement rectiligne CD	C' (KPa)	/	/	/
	ϕ'			
RCS (Kg/Cm²)		905	1360	256
Analyse Chimique	Sulfates (CaSO4, 2H2O)	3.66%	/	/
	Chlorures (NaCl)	0.64%		
	Carbonates (CaCO3)	59.13%		
	Anhydride carbonique	26.01%		
	MO	NEANT		

V.4.3.1. CONCLUSION

- L'allure générale du tronçon de l'étude est localisée se situe dans une zone classée accidentée.
- Géologiquement la ligne ferroviaire traverse dans sa grande majorité la dorsale de M'zab .
- Sur le plan tectonique les terrains traversés sont stables

La description lithologique des sondages carottés se trouvant sur L'itinéraire retenu pour la réalisation du projet de la nouvelle ligne ferroviaire de la boucle Sud-Est en son tronçon Laghouat-Ghardaïa montre que le sol de fondation est constitué du haut vers le bas par :

- Une couche de surface caillouteuse communément appelé dans la région un tout venant de Reg, cette fine couche superficielle est curieusement retrouvée sur pratiquement tout le toit du tronçon à quelques exceptions près ou on peut se retrouver en face d'un tout venant d'oued
- Idem pour la couche intermédiaire se trouvant entre la surface et le substratum, cette couche est répondue de façon flagrante sur presque tout le linéaire étudié à quelques exceptions. La dite couche s'agit d'un encroutement calcaire sableux caillouteux parfois graveleux admettant sur quelques endroits des passages rocheux fracturés
- Le tronçon est caractérisé par un sous-sol en roche calcaire dure/fracturée de couleur blanche grisâtre à rose peu vacuolaire admettant des passages meubles ou d'encroutement.
- Les résultats des essais SPT effectués sur les sondages carottés à différentes profondeurs nous orientent à conclure que le sol/roches investigués est généralement de consistance dure à très dure compte tenue des refus systématiques obtenus sur chaque essai
- Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons prélevés, indiquent que le sol de fondation sur la majorité des échantillons testés ne présente pas de risque particulier d'agressivité au béton via les sulfates de calcium qui sont très peu présent, ni via la matière organique (quasi nulle). Néanmoins sur certains endroits, (PK184+050-PK191+647) le taux de présence des sulfates est curieusement très élevé, avec des taux de $CaSO_4$ supérieur à 2.5%, seuil auquel la Norme NF P 18-011 caractérise un milieu très fortement agressif, nécessite par conséquent un niveau de protection.

V.5. CLASSIFICATION DU SOL

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 719 nous conseillons d'opter pour une plateforme de **type P3** (plateforme bonne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS2).

Classification des sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité de sol
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonnés, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (quick-Clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sels gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 06 Sols mixtes « minéraux organiques »	QS_0
1.1 sols comportant plus de 40% de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives par exemple : - craies de ρd<1.7 t t/m3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés 1.3 sols comportant de 15 à 40% de fines (sauf sols 0.2) 1.4 roches évolutives par exemple : -Craies de ρd<1.7 t/m 3 et de friabilité faible -Schistes non altérés 1.5 Roches tendres par exemple : Si micro Deval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles (LA) >40	QS_1
2.1 Sols comportant de 5 à 15% de fines 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniforme (Cu<6) 2 .3 Roches moyennement dures Par exemple: Si 25<MDE≤40 et 30<LA≤40	QS_2
3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures Par exemple : Si MDE≤25 et LA≤30	QS_3

TableauV.6 Tableau classification des sols selon UIC 719

1) Les analyses granulométriques permettant d'évaluer ces pourcentages sont effectuées sur les passants à 60 mm. Les pourcentages indiqués ici sont des ordres de grandeur (les règles en usage diffèrent quelque peu suivant les Réseaux) ; ils peuvent être majorés d'une quantité pouvant atteindre 5% sous réserve que les analyses portent sur un nombre d'échantillons suffisamment représentatif.

(2) Certains Réseaux placent ces sols dans certains cas en classe de qualité QS1.

(3) Ces sols peuvent être de qualité QS2 si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

V.6. STRUCTURE D'ASSISE ET DIMENSSIONNEMENT DE LA PLATEFORME FERROVIAIRE

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 :

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

Avec:

− E = (classe de la plateforme P1, P2, P3),

− a = classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).

− b = type et longueur de la traverse

− c = (type de dimensionnement)

− d = (la charge maximale à l'axe)

− g = Géotextile.

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1[a]
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2[a]
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3[a]
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC)[b]
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4[b]
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6[b]
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	$= \frac{2,50 - L}{2}$	pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m)
c	= 0	pour un dimensionnement normal
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur"[b]
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 kN
f	= 0	pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2[c]
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3[c]

V.6.1. EN DÉBLAI

Sur la base de l'étude géotechnique dans le tronçon étudié, le sol en place est une roche calcaire dure fragmentée, alors il est considéré équivalent à la classe de qualité Qs2 dans la classification UIC719.

Remarque :

Le sol est de classe Qs2, alors on n'aura besoin d'une couche de forme (Tableau fiche UIC719)

V.6.1.1. DIMENSSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE

D'après la fiche UIC 719 :

- E=0,45m. (plate-forme de classe de portance P3).
- a= 0 (ligne a V > 220 km/h.
- $b = \frac{2.50 - L}{2}$ (travers en béton de longeur L=2,24 m).

  b=0,13m
- c=0 (dimensionnement normal).
- d=0,05m (P=22 ,5 Tonnes par essieu pour la voie)
- f=0 (plate-forme de classe de portance P3).
- 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

Couche	*Epaisseur (cm)*
Ballast	30
Sous-ballast	20
Couche de fondation	15

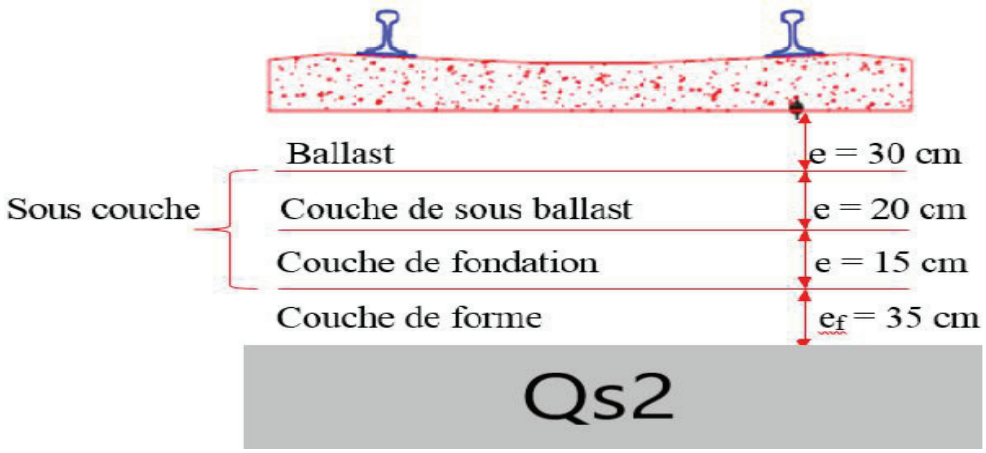
Tableau V.7 Épaisseurs des composants de la structure d'assise

COUCHE DE FORME :

Pour augmenter la portance de la plateforme, on prévoit une couche de forme composant de sol de classe de qualité Qs2 avec une épaisseur de 0.35m.

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

Tableau V.8 tableau Épaisseur de la couche de forme de la fiche UIC 719



V.6.2. EM REMBLAI :

Le sol utilise dans la réalisation des remblais provient des déblais extrait et partiellement des carrières, dans tous les cas il est considéré équivalent à la classe QS2.

V.6.2.1. DIMENSSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE

D'après la fiche UIC 719 :

- E=0,45m. (plate-forme de classe de portance P3).
- a= 0 (ligne a V > 220 km/h).
- (travers en béton de longueur L=2,24 m).

  b=0,13m

- c=0 (dimensionnement normal).
- d=0,05m (P=22 ,5 Tonnes par essieu pour la voie)
- f=0 (plate-forme de classe de portance P3).
- 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

Couche	*Epaisseur (cm)*
Ballast	30
Sous-ballast	20
Couche de fondation	15
Couche de forme	35

Tableau V.9 Épaisseurs des composants de la structure d'assise

COUCHE DE FORME :

Pour augmenter la portance de la plateforme, on prévoit une couche de forme composant de sol de classe de qualité Qs2 avec une épaisseur de 0.35m.



V.6.3. EXIGENCE SUR LES CONSTITUANTS DE L'ASSISE

V.6.3.1. BALLAST

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

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles : ≤ 19 %.
- Résistance à l'usure Micro deval : ≤ 6 %.
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast, conformément au tableau suivant :

CEN/TC-154/SC-4	
MAILLE (mm)	% de la masse passante
63	100
50	70-100
40	30-65
31,5	0-25
22,4	0-3
31,5-50	50

Tableau V.10 Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695

V.6.3.2. COUCHE DE SOUS BALLAST

Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (ST590B) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée

(0 /31.5mm), bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un coefficient de forme A ≤25. (Fiche n° 1 Annexes).

V.6.3.3. COUCHE DE FONDATION

La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté Vbg ≤1 et un cœfficient de forme A ≤25 et LA+MDE ≤ 50. Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued (fiche N°02 Annexes)

CHAPITRE VI

La superstructure de la voie

VI. LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

VI.1. INTRODUCTION

La superstructure est constituée par un assemblage d'éléments qui permettant la transmission à la plat forme, des charges statiques et dynamiques des roues. Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, La superstructure de la voie comporte deux files de barres en acier appelés « rails » posées parallèlement sur des supports transversaux en béton qui sont « traverses », Les rails sont fixés sur les traverses par « les attaches ».Et pour permettre la ramification et la jonction des voies, on utilise « les appareils de voie »Dans ce chapitre on va détailler chacun de ces éléments.

VI.2. CATEGORIE DE LA VOIE

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune réservé pour un objectif bien précis, on distingue ainsi :

- **Les voies principales** : affectées à la circulation des trains.
- **Les voies de service** : affectées aux manœuvres
- **Les voies de croisement** : qui permettent à deux trains qui circulant à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- **Les voies de garage** : affectées au stationnement du matériel roulant.

VI.3. LES RAILS

Les rails sont des profilées métallique, posées sur les traverses en deux ligne parallèle destiné à supporter la charge de la roue et permet son guidage et son roulement. L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions. Sa composition, outre que le carbone, comprend le manganèse, silicium, phosphore et soufre.

Les rails doivent supporter les différents efforts qu'ils reçoivent, et les transmettre aux autres éléments qui composent l'infrastructure de la voie. Ces efforts peuvent être **:**

- Des efforts verticaux dus au poids du véhicule avec une répartition hétérogène (charges statiques), le surpoids provoqué par la force centrifuge non-compensée (charges quasi statique) et les surcharges dues à l'action de la masse (charge dynamique).
- Des efforts transversaux dus aux mouvements de lacet, et à l'action la force centrifuge et qui agissent sur le rail, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.
- Des efforts longitudinaux sont prioritairement d'ordre thermique, mais ils résultent aussi de l'adhérence des roues, soit au moment du démarrage d'un train, soit au moment de freinage brusque et répartissent la charge sur le ballast.

Le rail sert également de conducteur électrique soit pour les courants de signalisations ou pour le retour du courant de traction.

VI.3.1.LES TYPES DE RAILS

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. Des rails à gorge (type « Broca ») sont utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de Tramway.

VI.3.1.1. RAIL A DOUBLE CHAMPIGNON

Le rail à double champignon, dont la section est symétrique, avait été conçu pour remettre de retourner le rail usé et donc doubler sa durée de vie. En fait, cette possibilité s'est révélée vaine



du fait de l'encochage rapide du rail dans les coussinets qui le supportent.

FigureVI.1rail type doublé champignon

VI.3.1.2. RAIL VIGNOLE (A PATIN)

Ce rail couramment désigné sous le nom de Vignole ou rail à patin, se caractérisé par une base élargie qui permet une fixation facile sur la traverse. II évite les nombreux inconvénients du double champignon :

- Fixation dans des coussinets en fonte,
- Encochage du champignon inferieur,

- Difficulté de conservation du dressage.

II est fixé sur les traverses, soit directement, soit par l'intermédiaire de selles métalliques.

Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance.

VI.3.1.2.1. LE PROFIL

C'est une coupe transversale du rail qui peut comprendre les trois parties suivantes :

- **Le patin :** Caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailes, qui sont essentiellement fixées par des considérations d'équilibrage entre la section du patin et celle de champignon et par les possibilités du laminage, sa largeur conditionne la rigidité du rail dans le plan horizontal et détermine le taux de compression sur les traverses
- **L'âme et portée d'éclissage :**

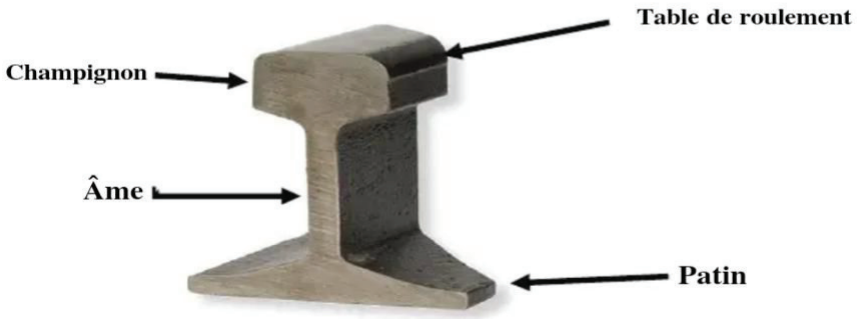
Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison des portées d'éclissage.

L'épaisseur de l'âme doit tenir compte des efforts de déversement et des efforts tranchants Pour qu'elle supporte et des sollicitations élevées qui se développement au voisinage des trous d'éclissage.

- **Le champignon :**

C'est la partie supérieure du rail, il est caractérisé par sa largeur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de ces forces latérales. Les dimensions du ce type de rail varient suivant les pays. Elles se caractérisent par la masse linéaire (en kg/m).

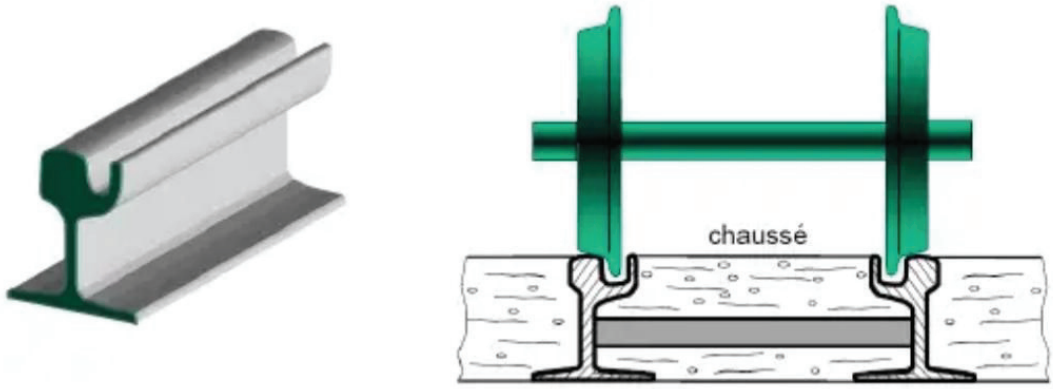
L'union Internationale des Chemins de fer a standardise deux profils de rails pour les charges à l'essieu pratiquées en Europe : **54et60 kg/ m.**



FigureVI.2 type rail Vignole

VI.3.1.3. RAIL BROCA OU A GORGE

Des rails à gorge (type « Broca ») sont utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.



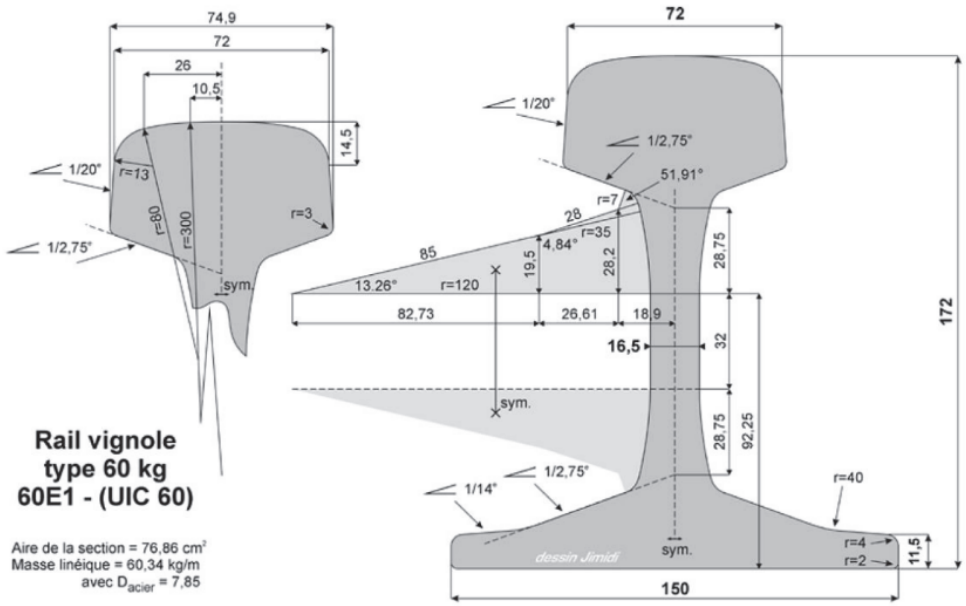
FigureVI.3 rail type broca a gorge

Type du rail utilisé pour notre projet :

Vue son emploi universellement répondu, en a adopté pour notre ligne étudiée le rail Vignole **UIC 60** (60 kg/ml de rail). Les poses de rails neufs sont faites, en longs rails soudés (LRS).

VI.3.2.CARACTÉRISTIQUE GEOMETRIQUE ET MÉCANIQUE DU RAIL UIC 60 E1

- Désignation SNCF : UIC 60
- Hauteur H=172 mm ; Largeur de table de roulement l=72 mm
- Epaisseur de l'âme E=16.5 mm ; Largeur du patin L=150mm
- Poids métrique P= 60,340kg ; Section F=71 cm2
- Moment d'inertie par rapport à l'axe neutre (horizontale) Ix=3031 cm4
- Moment d'inertie par rapport A l'axe vertical Iy=417.5cm4
- Moment de résistance par rapport :- Au champignon : Wxk = 303.6cm3- Au patin Wxf = 312.8 cm3- a l'axe vertical y-y : Wy =68.3 cm3
- Elancement : E = 1.16



FigureVI .4: Le profil du rail 60 (UIC 60)

VI.3.3.ECARTEMENT DES RAILS

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. Mesurée entre les bords intérieurs des champignons des rails et à 14 mm sous le plan de roulement. L'écartement le plus répandu dans le monde (60 % des chemins de fer) est de 1435 mm. C'est celui que l'on qualifie de « normal».

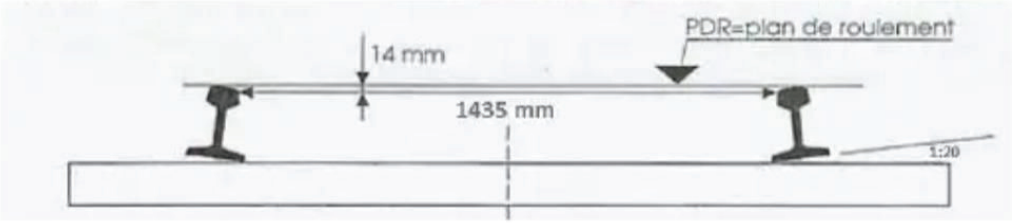


Figure VI.5 : l'écartement entre les deux rails

L'écartement n'est pas constant en fonction du tracé de la ligne. Pour faciliter l'inscription des essieux en courbe on ménage un**" sur écartement ".**

Un écartement supérieur à L'écartement normale est appelé **voie large** et un écartement inférieur est appelé **voie étroite.**

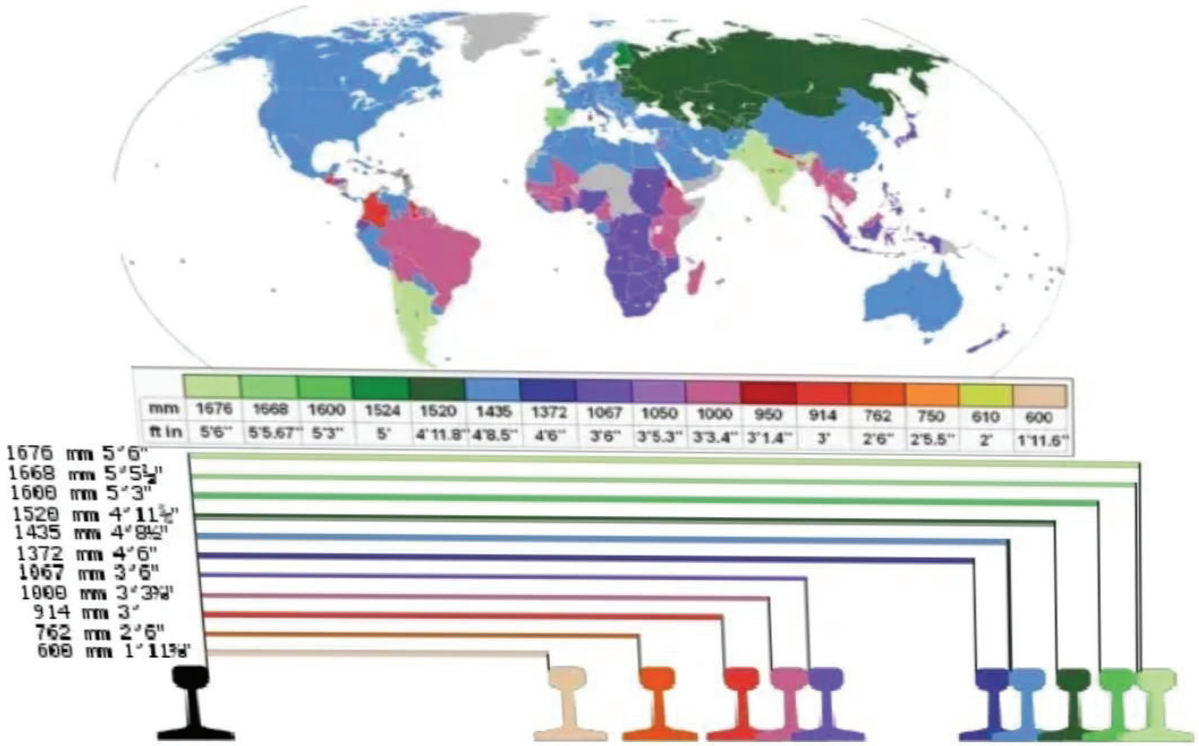


Figure VI.6: .Les écartements utilisés dans le monde

VI.3.4.INCLINAISON DES RAILS

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20e en voie normale et métrique excepté pour les réseaux de tramways touristiques. Cette pente est obtenue par entaillage incliné des traverses bois.

VI.3.5.DÉFAUT DES RAILS

On distingue trois catégories de défaut de rails :

- **Rail avarié** : rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autre défauts généralement situés en surface.



Figure VI.7: .Cas d'un rail avarié

- **Rail fissuré :**

Le rail présente, en un point quelconque de sa longueur et quelles que soient les parties intéressées du profil, une ou plusieurs solutions de continuité, d'orientation quelconque, visibles ou non, dont le développement risque d'entrainer une rupture à échéance plus ou moins rapprochée



Figure VI 8 :Cas d'un rail fissuré

- **Rail rompu** :
  Tout rail qui s'est séparée en deux morceaux ou plus et tout rail dont un fragment de métal s'est détaché en provoquant sur la table de roulement une lacune de plus de 50 mm de longueur et 10 mm de profondeur.



Figure VI.9 cas d'un rail rompu

VI.3.6.CONTRE-RAIL

Un contre-rail est placé dans la partie croisement d'un appareil de voie, qui comprend le cœur de croisement et les contre-rails. Ils permettent de guider les essieux d'un train et de protéger la pointe du cœur et afin d'éviter de faire un bi voie qui provoquerait un déraillement. Il assure le guidage de l'essieu au franchissement de la lacune du cœur de croisement.



Figure VI.10 Un contre-rail dans une partie de croisement

VI.3.7. RAIL DE SECURITÉ

Un rail de sécurité ou 3ème rail doit être implanté pour limiter les conséquences d'un déraillement, en tant que de besoin, dans les zones particulièrement exposées en cas de déraillement du train (courbes surplombant un ravin ou sur viaduc de plus de 300 m). Ce rail est disposé entre les deux rails de roulement, de façon dissymétrique, vers la file opposée à la zone exposée.



Figure VI.10 rail de sécurité

VI.3.8.ASSEMBLAGE DES RAILS

Il existe deux types d'assemblage : l'éclissage et la soudure

VI.3.8.1. L'ECLISSAGE

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses. Une éclisse de chemin de fer est une pièce métallique servant à raccorder deux rails consécutifs d'une voie ferrée. Les éclisses sont apposées par paire, à l'aide de boulons

L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportement comme une poutre continue en alignement et en nivellement.
- Avoir la même qualité d'acier le long du rail.
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre tout en permettant le mouvement la dilatation pour ce type d'assemblage. toutefois, aucune amélioration apportée n'est pleinement satisfaisante, on a remarqué, en effet, depuis longtemps que plus les boulons d'éclisses sont serrés, mieux les joints se comportement et moins les chocs sont ressentis, mais plus des rails est contrariée



Figure VI.11 Assemblage des rails par éclissage

VI.3.8.2. LA SOUDURE

VI.3.8.2.1. SOUDAGE ALUMINOTHERMIQUE

Le soudage aluminothermique est un procédé de soudage par coulée de métal en fusion obtenu par réaction aluminothermique. Le matériel employé est constitué de trois éléments principaux :

- Le moule, qui donne la forme à la soudure.
- La charge, qui forme le métal d'apport, et le creuset, où s'effectue la réaction aluminothermique qui produit le métal fondu.
- L'acier liquide qui fait fondre les abouts de rails et, après le refroidissement, le tout formant une soudure homogène.

Le soudage aluminothermique possède plusieurs applications qui permettent de diminuer les coûts d'entretien des réseaux ferroviaires. En effet, il permet d'éliminer les joints de rails qui constituent une zone de faiblesse. Il élimine, par le fait même, l'usure des abouts de rails et des éclisses tout en prolongeant considérablement la durée de vie des rails. De plus, il est possible d'effectuer le soudage sur des rails de grosseurs différentes et sur des rails possédant une usure différente.



Figure VI.12 Soudage aluminothermisue

VI.3.8.2.2. LES LONGS RAILS SOUDES (EN ABREGE LRS)

DEFINITION ET CONCEPTION

Les longs rails soudés, 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 kilomètres. Dans cette technique les coupons de rail de 80 m sont soudés en atelier en longueur de 320 à 400 m. Ces barres sont posées sur de très grandes longueur, sans limites réelle, les soudures nécessaires sont réalisées sur place. Cette méthode est la plus adopté pour toute les lignes ont fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.



Figure VI .13technique de soudure des rails

DIFFERENTS AVANTAGES DES LRS

Ils sont d'ordre technique et économique tels que :

- Suppression de l'éclissage boulonné
- Réduction des dépenses d'entretien
- Réduction du nombre d'avaries des rails
- Amélioration du confort
- Réduction de l'usure de la superstructure et des véhicules
- Réduction des dépenses énergétiques de traction
- Une mécanisation plus facile de la pose et de la maintenance de la voie.
- Une réduction du bruit et les émissions sonores.

L'ensemble de ces caractéristiques permet d'obtenir, avec une voie en LRS, des couts de cycle de vie plus faible qu'avec une voie en barres normales.

REMARQUE

Une voie en LRS est soumise aux températures élevées, a des compressions longitudinales pouvant atteindre 1200KN, pour se dégager de ces efforts, on procède à la libération des contraintes, une opération qui consiste à desserrer les attaches et éventuellement chauffer a (25°) les rails, leur donner des coups latéraux et les remettre en place, et resserrer les attaches, elle s'effectue par tronçon et dans une durée raisonnable.

L'emploi des LRS exige un bon ballastage, un nivellement et une linéarité presque parfaite, pour assurer une bonne dilatation et stabilité des rails.

Toute foies les LRS présentent aussi des inconvénients dans l'entretien et la technique de pose puisqu'il faut contrôler couramment les différents aspects qui peuvent nuire aux rails comme :

- Imperfections initiales ; défaut de la soudure et de construction, Efforts longitudinaux importants.
- Résistance latérale affaiblie et d'autre cause font apparaitre des défauts de dressage latéraux.
- Glissement latéral et flambage de la voie. Et pour lutter contre ces phénomènes il faut : suivre les différentes opérations de maintenance pour chaque type de LRS décrit dans la fiche UIC 720 et ses recommandations qui sont la technique de pose, la technique de soudure et la maintenance des LRS.

VI.4. LES TRAVERSES

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison (Les traverses assurent l'inclinaison au 1/20 du rail), et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails.

VI.4.1.TYPES DE TRAVERSES

On distingue trois types de traverses :

VI.4.1.1. TRAVERSES EN BOIS

Elles sont fabriquées à partir du bois de chaine ou hêtre qui sont apprécié pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre, mais leur durée de vie (20 à 30 ans) est très courte, alors pour régler le problème, on procède à un traitement chimique avec de la créosote et sous pression. Dans nos jours les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment vue leur effet négatif sur l'environnement et leur cout élevée

Leurs dimensions sont généralement, à la SNCF, de 2,6 m de long, 25 cm de large et 15 cm d'épaisseur.



Figure VI.14 voie avec traverses en bois

VI.4.1.2. TRAVERSES EN BETON ARME

Les travers en béton ont une durée de vie plus importante ainsi qu'il coute moins cher ce qui a élevé leur utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast. La fixation des rails se fait par des attaches élastiques munies de dispositif élastique en caoutchouc. Il en deux types :

Bi bloc :

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





Figure VI .15Traverse en béton armé -Bi bloc

Les traverses bi bloc exigent un entretien supplémentaire, afin d'assurer que les blocs ne réagissent différemment et modifie les caractéristiques du gabarit.

Monobloc :
En béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

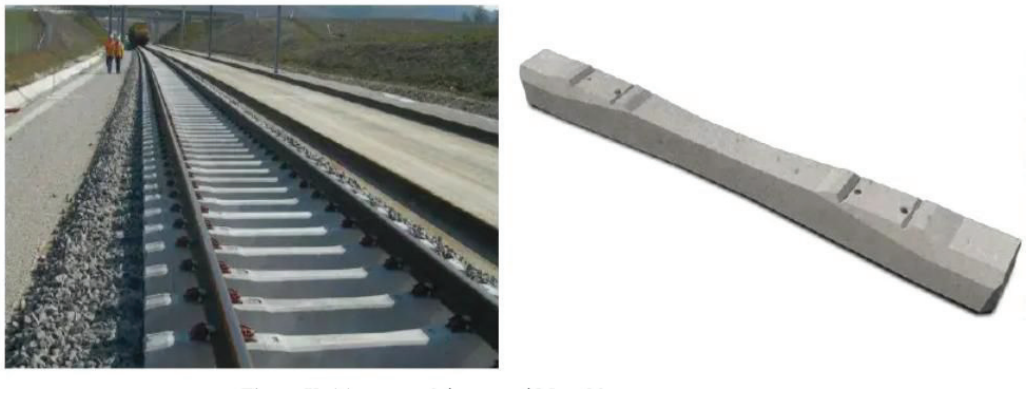
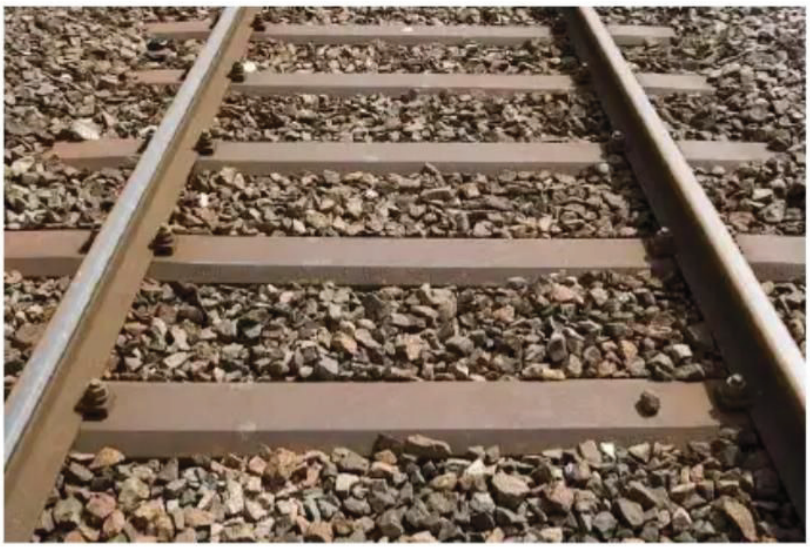


Figure VI.16 traverse béton armé Monobloc

VI.4.1.3. TRAVERSES METALLIQUES

Les travers métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisés. Elles sont bruyantes, surtout à vitesse élevé, s'ancrent moins bien dans le ballast à cause de leur légèreté. Elles rendent également très difficile l'entretien de la géométrie de la voie par bourrage. En effet, leur forme



ne permet pas aux bourreuses d'insérer du ballast sous la traverse.

Figure : Travers métalliques

VI.4.2.ROLE DES TRAVERSES

Les traverses se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails, elles doivent assurer les fonctions suivantes :

- Réalisation et maintien de l'écartement normal (1435 mm) des rails.
- Répartition et transmission des efforts sur la couche de ballast, à savoir :

✓ Charges verticales des essieux.
✓ Forces centrifuges horizontales.
✓ Efforts longitudinaux

- Permettent l'inclinaison de 1/20e aux rails.
- Amortissement des vibrations des rails.

VI.4.3.CHOIX DU PROJET

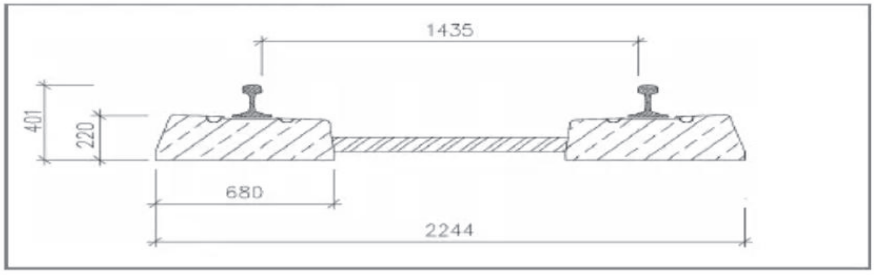
Les traverses utilisées sont **des traverses bi-blocs V.A.X type U31 NAT** formées de deux blocs de béton, (blochets) en béton armé reliés par une entretoise métallique. Leurs principales caractéristiques sont :

- Le poids minimum : 185 kg
- Charge supportée : < 45 000 t/jours
- Durée d'utilisation espérée : 50 ans

Les dimensions :

- Longueur totale : 2,24 m
- Longueur de blochets : 68 cm
- Epaisseur sous rail : 22 cm
- Largeur à la base des blochets : 29 cm

Ces traverses ne nécessitent pas de maintenance hors surveillance générale et leur durée d'utilisation espérée est de 50 ans.



FigureVI.17Les dimensions de traverse V.A.X/U31 bi-blocs utilisée

VI.4.4.REPARTITION DES TRAVERSES SUR UNE LONGEUR DE VOIE

En générale la distance entre deux travers successifs est **0.6m** : le travelage (C'est-à-dire le nombre de traverse au kilomètre).Généralement en Algérie on utilise un travelage de**1666** Traverses au kilomètre.

Avec entraxe entre les traverses de 0,60 m et une tolérance de +/- 2 cm.

VI.5. FIXATION DES RAILS SUR LES TRAVERSES

VI.5.1.LES ATTACHES

Une attache est 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.

- Une attache est dite «**rigide**» si du fait du manque de souplesse des matériaux la constituant, elle n'accompagne pas le mouvement vertical du rail lors du passage des roues. Elle assure un bon maintien transversal du rail mais ne garantit en rien son maintien longitudinal, lui permettant ainsi de « cheminer », c'est à dire de se déplacer vers l'origine ou l'extrémité de la ligne sous les sollicitations de la dilatation ou des forces de freinage ou d'accélération des convois.
- Contrairement à l'attache rigide, l'attache dite «**élastique**» continue à assurer le maintien du rail lorsque celui-ci s'affaisse sous la charge des circulations. Elle s'oppose donc à son cheminement longitudinal et peut être utilisée pour la pose de LRS.

VI.5.2.TYPES D'ATTACHES

Il existe plusieurs systèmes permettant la fixation du rail sur les traverses.

Ces systèmes varient en fonction du type de traverses, du type de rail, du mode de pose de la voie (LRS ou barres normales), mais aussi en fonction de l'histoire propre à chaque exploitant ferroviaire

VI.5.2.1. FIXATION RIGIDE

Attaches sur traverses en bois

Les rails sont fixés sur des traverses en bois à l'aide de types de fixations simple sur des plaques des supports tels que :

i. **Crampons**

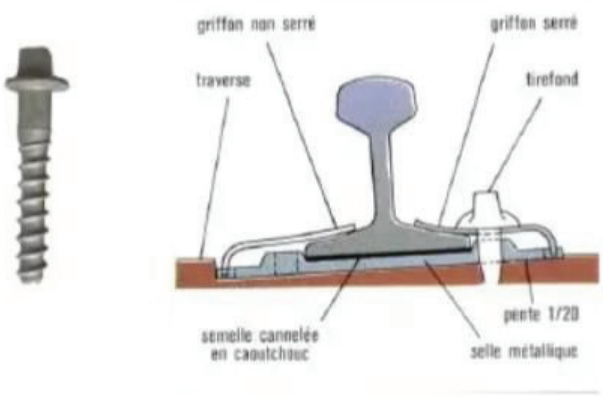
Le crampon a une forte résistance latérale ; il maintient donc bien l'écartement de la voie ; il est facile à poser. Par contre, il serre mal le patin sur la traverse leur caractéristique dimensionnelle et en détail dans la figure suivante :



FigureVI.18 Attaches sur traverses en bois type Crampons

ii. **Le tirefond**

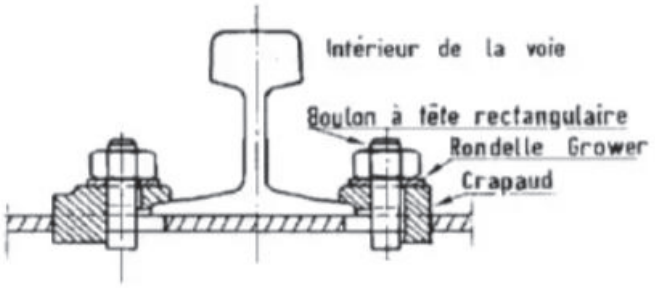
Le tirefond est moins résistant que le crampon et se couche plus facilement mais on obtient une adhérence parfaite du rail sur la traverse.



FigureVI. 19 Attaches sur traverses en bois-type tirefond

Attaches sur traverses métallique

Sur traverses métalliques le rail est fixé à l'aide de boulons qui prennent appui sur les crapauds fixant le patin du rail dans les conditions indiquées à la figure suivante :



FigureVI .20Attaches sur traverses métallique

VI.5.2.2. FIXATION ELASTIQUE

Les attaches élastiques forment un intermédiaire doublement élastique entre rail et traverse ; elles opposent donc une résistance élastique aux mouvements relatifs dans le sens vertical, aussi bien vers le haut que vers le bas.

FIXATION DOUBLEMENT ELASTIQUE PAR CRAPAUD

Utilisée par1aS.N.C.F sur traverses en béton. Le rail est maintenu entre la semelle en caoutchouc cannelée bas, et deux crapauds en acier à ressort, vers le haut.

Attache de type NABLA

Le système d'origine Nabla a fourni une fixation sûre et fiable sur les voies Tram, LRT, Métro, les Grandes Lignes et les lignes à Grande Vitesse. La forme particulière de la lame Nabla génère un effort d'application dynamique stable sur le rail une fois l'écrou serrée.

L'attache nabla est constitué par un crapaud (lame-ressort) maintenue par un écrou « tirefond » vissé sur une tige filetée dans des encoches accrochées dans le blochet de traverse.

Le rail repose généralement sur une semelle cannelée en caoutchouc qui joue le rôle d'un amortisseur. Ce type d'd'attache est le plus répondu au monde, il convient aux longs rails soudés sur traverses en béton.

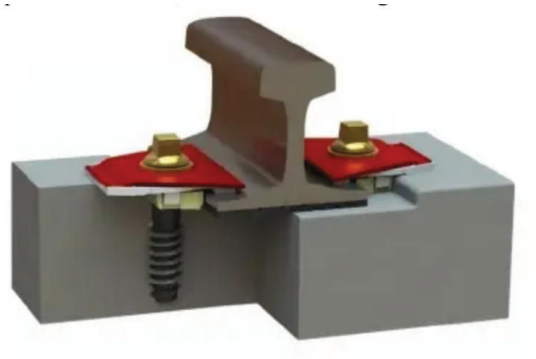


Figure VI. 21 attache de type NABLA

Choix du projet

L'attache utilisée est une attache élastique de type NABLA pour traverses en béton.

Remarque

Il y a un très grand nombre des attaches de rail selon plusieurs fonctions, a ce présente chapitre en a expliqué juste les systèmes les plus utiliser et connues au niveau du monde est les systèmes appliquer.

VI.5.3.Rôle d'attache

L'attache doit remplir les rôles suivants :

- Assurer le serrage du rail sur la traverse avec un effort tel que la résistance au glissement du rail sur la traverse soit largement supérieure à la résistance au déplacement longitudinal de la traverse dans le ballast
- Cet effort de serrage ne doit pas trop s'affaiblir en présence des effets vibratoires engendrés à l'approche des charges roulantes.
- La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier à un éventuel relâchement du dispositif de fixation.
- Les caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages.
- Le rendement de l'attache (rapport entre l'effort exercé par l'attache sur le rail et l'effort exercé par le dispositif de serrage de l'attache ancré dans la traverse) doit être aussi élevé que possible.
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.

VI.6. Les Appareils de voie

VI.6.1. Définition et Rôle

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires, que l'on désigne sous le terme général d'appareils de voie. Les « appareils de voie » sont constitués de rails spéciaux (croisement de rails) et d'éléments mobiles (aiguille). Ils permettent le passage d'une voie à une ou plusieurs Autres. Les appareils de voie sont des éléments dont les frés d'investissement et de maintenance sont élevés et qui peuvent perturber sensiblement la circulation des véhicules. Ils doivent être disposés et conçus de façon à obtenir un tracé favorable du point de vue de la dynamique. Actuellement, la durée de vie des appareils de voie est d'environ 30 ans (avec traverses en béton).

Le type de l'appareil est désigné par la valeur de tangente d'implantation exprimée sous la forme décimale.

VI.6.2. Types des appareils de voie

Il existe plusieurs dispositifs regroupés sous le terme d'appareil de voie :

- Les branchements (communément appelés aiguillages) à 2 voies (droits, gauches, enroulés intérieurs, enroulés extérieurs) ou 3 voies ;
- Les traversées :
  - Traversées obliques ;
  - Traversées-jonctions simples ;
  - Traversées-jonctions doubles.

VI.6.3. Les branchements

Technologie du branchement

A partir d'une direction, appelée **(voie directe), il** donne naissance à une autre direction Appelée **(voie déviée).**

Un appareil de voie est caractérisé par l'angle de déviation entre les directions, exprimé par sa tangente, et surtout par le rayon de la courbe en voie déviée

VI.6.3.1. Branchement simple

C'est le type d'appareil de voie utilisé dans les gares de croisement qui contiennent une voie principale et une voie d'évitement. Il permet à une voie de ce ramifié en deux

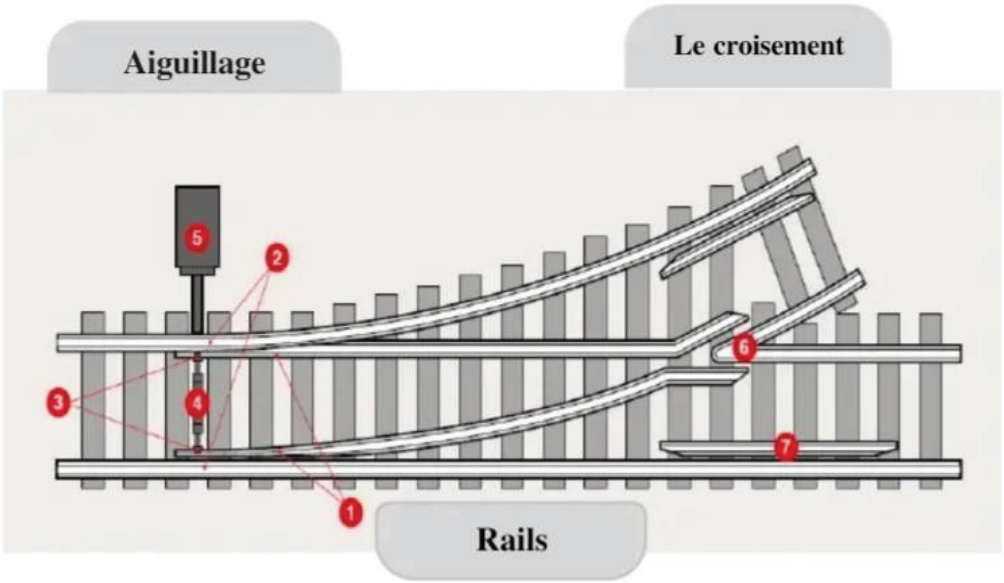


Figure VI.22Appareil de vois -système de branchement simple

Les principaux éléments d'un branchement simple de 1-7 et leurs fonctions sont :

A L'aiguillage

L'aiguillage est constitué de deux pièces mobiles appelées " aiguilles " qui peuvent au moyen d'un dispositif de manœuvre, soit venir en contact des rails adjacents appelés " contre-aiguilles", soit s'en écarter pour laisser libre passage aux boudins des roues.



Figure VI.23L'aiguillage d'un branchement simple

1. La lame d'aiguille

Ou plus simplement « aiguille »**(en jaune dans la figure 26) c'**est la section de rail mobile qui permet de dédoubler les files de roulement et ainsi de modifier la course des véhicules.

Les anciens appareils de voie étaient munis de lames articulées. Ils ne satisfont plus aux exigences de l'exploitation et occasionnent d'importants frais d'entretien. Actuellement les appareils de voie sont à lames flexibles.

2. Le sommier : ou « contre-aiguille » est le rail fixe contre lequel s'appuient les lames de l'aiguille

3. Le verrou ou griffe d'aiguille : maintient l'aiguille en place dans la position ouverte ou fermée.

4. La tringle (en vert dans la figure 26), reliée directement à un levier, courant le long des voies jusqu'à un poste d'aiguillage ou manœuvrée par un moteur, elle permet de déplacer les lames de l'aiguille et qui maintient le bon écartement entre les aiguilles.

5. Le moteur d'actionnement fait bouger la tringle et les aiguilles

a) En rouge, les réchauffeurs. Alimentés électriquement ou fonctionnant au gaz, ils chauffent les parties du rail sur lesquelles les lames de l'aiguilles viennent s'appliquer. Utilisés en cas de neige, ils permettent d'éviter que de la glace ne se forme entre le rail et les lames.

b) En bleu, les coussins sur lesquels glissent les lames de l'aiguille lorsqu'elle est manœuvrée

.

B. Le croisement

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

6. Le cœur de croisement : Partie centrale d'un branchement, il est constitué de plusieurs éléments qui peuvent être assemblés ou coulés en une seule pièce (Cœur monobloc). Dans ce cas on utilise de l'acier au manganèse afin de le rendre résistant à l'usure

7. Le contre-rail :C'est un rail de 3 ; 5 ; 10 m de long qui est placé en face du cœur, Légèrement rehaussé par rapport au plan de roulement. En assurant le guidage de la roue lors de son passage dans la lacune, il évite que l'autre roue ne percute la pointe du cœur el fasse ainsi dérailler le véhicule

VI.6.3.2. Branchement symétrique

Sont des branchements comportant deux voies déviées divergentes de même rayon

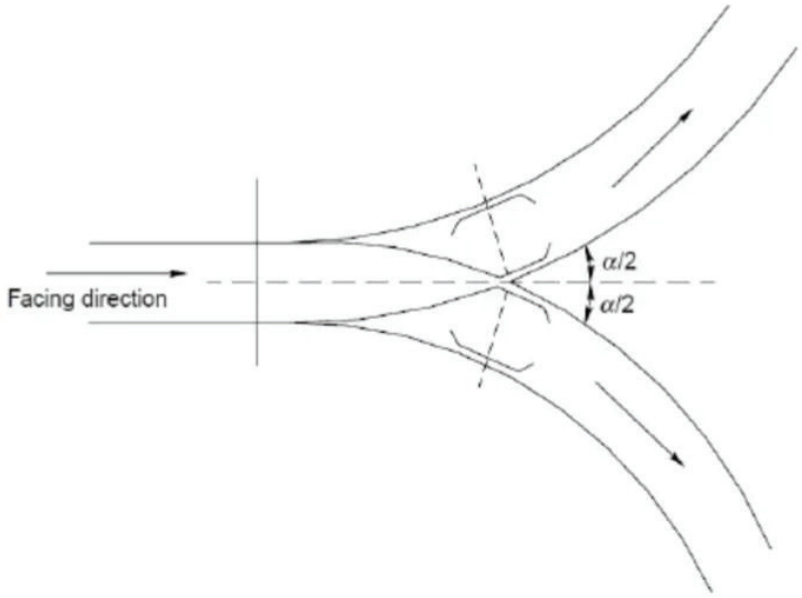


Figure VI 24Branchement symétrique de deux voies

VI.6.3.3. Branchement double

Sont constitués par deux branchements simples intercalés. Ils peuvent être unilatéraux lorsqu'ils permettent deux passages en déviation d'un des côtés de la voie directe, ou bilatéraux lorsqu'ils permettent une déviation de chaque côté de la voie directe. Ils sont utilisés uniquement lorsque la place disponible est limitée.

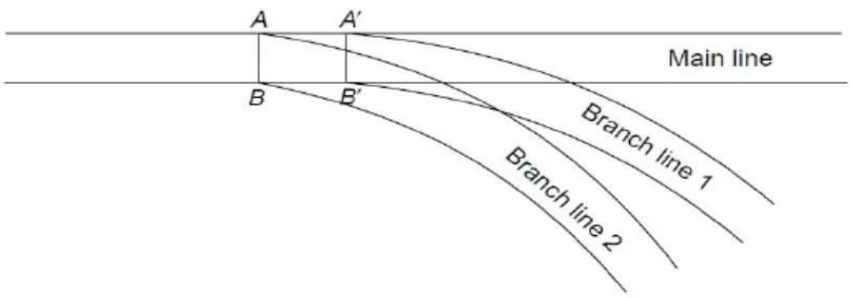


Figure VI. 25Branchement double

Les traversées de voie : Sont utilisées pour réaliser le croisement de deux voies

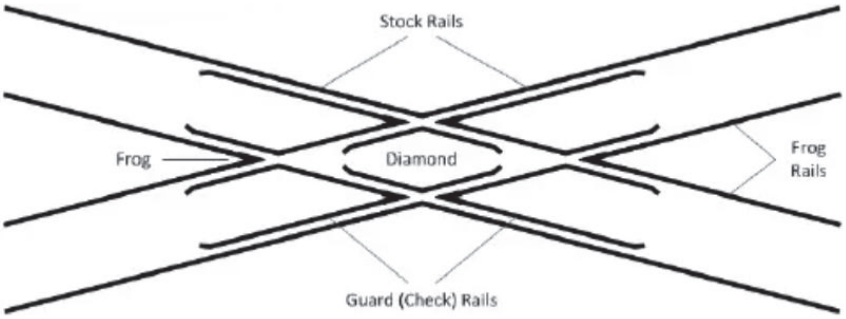


Figure VI.26 Les traverses jonctions

Les traversées-jonctions : Sont des combinaisons de branchements simples et traversées de voie sur un espace réduit. Elles permettent aux véhicules de passer d'une voie à l'autre sans interruption du roulement par un croisement. Il y a lieu de distinguer :

- La traversée-jonction simple, qui remplace deux branchements simples et une traversée de voie.
- Le traversée-jonction double, qui est la combinaison de quatre branchements simples et d'une traversée de voie.

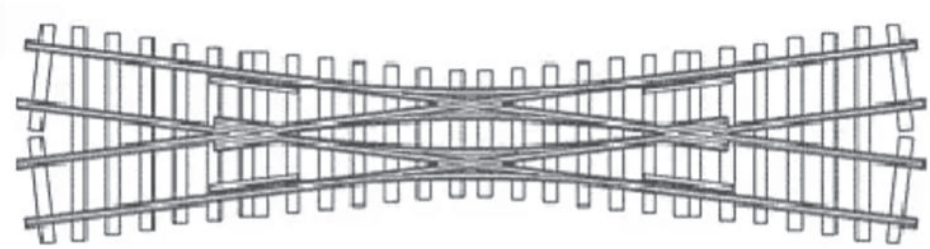


Figure VI.27 La traversée-jonction double

Chapitre VII

Etude Hydrologique et assainissement

VII. CHAPITE : ETUDE HYDRAULOGIQUE

VII.1. INTRODUCTION

L'étude hydrologique a été réalisée afin d'obtenir un projet de base dont les principes de drainage, décrits dans ce rapport, ont été édictés par les contraintes hydrauliques du site traversé, la faisabilité technique, Les principes de drainage énoncé dans ce rapport sont établis sur la base des référentiels techniques en vigueur.

VII.2. LA REGION DE GHARDAIA

Le territoire de la commune de Ghardaïa est situé au Nord de la wilaya de Ghardaïa, à 600 km au sud d'Alger, à 190 km au sud de Laghouat et à 190 km à l'ouest de Ouargla.

Climat

Le caractère fondamental du climat dans la région de Ghardaïa est la sécheresse de l'air mais les micros – climats jouent un rôle considérable au désert. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques :

Pluviométrie :

Les précipitations sont très faibles et irrégulières à Ghardaïa. Elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de quinze (15) jours par an. A El-Ménéa, elles varient entre 0,4 mm et 147,5 mm avec une moyenne annuelle de 41,5 mm ; le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf cas exceptionnels

Température :

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 36,3 °C, le maxima absolu de cette période a atteint 47 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 9,2 °C, le minima absolu de cette période a atteint -1 °C.

Les vents :

Il n y' a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut.

VII.3. ETUDE HYDROLOGIQUE

Cette partie se résume à l'étude des eaux superficielles. Elle a pour but de rassembler et exploiter les données permettant d'évaluer le débit d'apport de chaque bassin versant correspondant à son écoulement principal. La conception adéquate d'une étude hydrologique doit nécessairement s'appuyer sur une bonne compréhension des principes hydrologique de façon à pouvoir bien évaluer les différents paramètres afin de fournir les données de base permettant de dimensionner le réseau de drainage (transversal et longitudinal)

VII.3.1. RECOLTE DES DONNEES NECESSAIRES

La récolte de données est la base de toute étude hydrologique, la fiabilité de celle-ci repose sur la fiabilité de ces données, c'est pourquoi on s'adresse toujours aux différents organismes officiel selon leurs spécialités, afin de recueillir le maximum de donnée sur la région d'étude.

Les différentes données nécessaires dans cette étude sont :

- Cartes topographiques au 1/50000 (Source INCT).
- Valeurs de l'intensité de pluie recueillis pour les stations utilisés (source : ANRH).
- Données hydrométriques (source : ANRH).

VII.3.2. DELIMITATION DES BASSINS VERSANT SUR CARTES D'ETATS MAJOR

La délimitation des bassins versants est faite sur carte topographique au 1/50000 par le logiciel Autocad. 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 des 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.

VII.3.3. CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS

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

Hmax [m] altitude maximale

Hmin [m] altitude minimale

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

Hmoy [m] altitude moyenne

$$H_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{2}$$

ΔH [m] différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin

$\Delta H = H_{max} - H_{min}$

J [m/m] pente du bassin

$J = \frac{L}{\Delta H}$

Les résultats sont présentés dans les tableaux récapitulatifs suivants :

PK	BV	Cr	A ($km^{2)}$	P(m)	longeur	Hmax	Hmin	P(m/m)
00+650	1	0,27	0,0340718	0.72555	170	584	547	21,76470588
1+725	2	0,13	14,81467405	18,359	6673	593	537	0,839202757
00+050	3	0,13	1,90184718	6,2476	2441	603	538	2,662843097
03+600	4	0,13	0,54894123	2,89515	1116	562	538	2,150537634
03+850	5	0,18	0,1074298	1,29692	484	586	540	9,504132231
04+900	6	0,13	0,6453859	3,654	1279	589	543	3,596559812
06+835	7	0,18	0,42262438	2,85169	1193	589	538	4,274937133
07+700	8	0,18	0,37096475	2,69576	611	582	528	8,83797054
07+975	9	0,18	0,07511176	1,13716	362	559	523	9,944751381
08+450	10	0,18	0,02649667	0,65435	255	550	527	9,019607843
09+775	11	0,18	0,01692123	575,46	208	537	517	9,615384615
10+150	12	0,13	0,4676619	3,2017	1407	543	512	2,203269367
10+325	13	0,18	0,20376207	1,91896	777	540	510	3,861003861
10+500	14	0,18	0,07501254	1,08246	420	525	508	4,047619048
10+950	15	0,13	4,12982294	12,78334	5336	560	506	1,011994003
11+950	16	0,13	0,18684074	1,89193	773	533	508	3,234152652
12+725	17	0,18	0,05396092	0,96387	386	526	506	5,18134715

Tableau VII.1 tableau récapitulatif des caractéristiques morphologiques des bassins versants

VII.3.4. TEMPS DE CONCENTRATION

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

Formule de Ventura : (B.V inférieur à 10 Km2)

$$T_c = 0{,}127 \times \sqrt{\frac{A}{J}}$$

Tc [h] temps de concentration

S [km2] surface du bassin versant

J [m/m] pente brute du bassin

Formule de Passini : (B.V entre 10 Km2 et 25 Km2)

$$T_c = \frac{0{,}108 \times (S \times L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{J}}$$

Tc [h] temps de concentration

S [km2] surface du bassin versant

L [km] longueur de l'oued principal

J [m/m] pente brute du bassin

$$Tc = \frac{4.\sqrt{S}.1{,}5.L}{0{,}8.\sqrt{H}}$$

Formule de Giandotti : (B.V supérieur à 25 Km2)

Tc [h] : temps de concentration

S [km2] : surface du bassin versant

L [km] : longueur de l'oued principal

H [m] : différence entre l'altitude maximale et minimale du bassin

Tc			
ventura (h)	Passini(h)	Giandotti(h)	Retenu
0,050248703	non applicable	non applicable	0,05025
5,336006135	5,451232593	non applicable	5,45123
1,073294097	non applicable	non applicable	1,07329
0,641642501	non applicable	non applicable	0,64164
0,135023658	non applicable	non applicable	0,13502
0,537984563	non applicable	non applicable	0,53798
0,399315463	non applicable	non applicable	0,39932
0,260191897	non applicable	non applicable	0,26019
0,110372461	non applicable	non applicable	0,11037
0,068834402	non applicable	non applicable	0,06883
0,053276582	non applicable	non applicable	0,05328
0,58510784	non applicable	non applicable	0,58511
0,291752963	non applicable	non applicable	0,29175
0,172890385	non applicable	non applicable	0,17289
2,565549909	non applicable	non applicable	2,56555
0,305252516	non applicable	non applicable	0,30525
0,129605087	non applicable	non applicable	0,12961

Tableau VII.2 tableau récapitulatif du calcul du temps de concentration

VII.3.5. ESTIMATION DES DEBITS MAX AUX BASSINS VERSANTS DU PROJET

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 :

Formule rationnelle

Pour les bassins versant de surface inférieure à 10 km^2

$$Q_{max} = 0{,}00278\,CIA$$

Qmax : débit de crue de période de retour voulue (en m3 /s)

C : coefficient de ruissellement

I [mm/h] : intensité de la pluie (exprimée en mm/h) pour le temps de concentration

VII.3.6. LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Le coefficient de ruissellement Cr, 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 Cr est la somme des trois composantes (C1 ; C2 et C3), détaillé comme suit :

$$C = C1 + C2 + C3$$

C1 : Dépend de la pente I du talweg principal considéré être égal au rapport de différentes d'altitude (point haut et le point bas) par la longueur du talweg. La valeur a été calculée par interpolation selon la pente du bassin versant -annexe 01-.

C2 : Dépend de la perméabilité du sol obtenue en fonction de sa nature lithologique. Pour notre projet et selon les essais géotechniques réalisés le long du tracé – voir annexe 02 et annexe 03(essai de perméabilité) -. Le sol est de nature argilo-limoneuse qui a un caractère pas assez perméable, pour cela on prend C2 égale à 0.2 (cas le plus défavorable).

Le tableau suivant regroupe les plages de classification selon la nature du sol et ses perméabilités. Cette classification est basée sur des études expérimentales utilisée dans le domaine géotechnique.

Tableau 07a : degrés de perméabilité selon la nature de sol

Nature de sol	Coefficient de perméabilité m/s	Degrés de perméabilité
Graviers moyens à gros	10^{-3} a 10^{-1}	Très élevé
Petits graviers, sable	10^{-3} a 10^{-5}	Assez élevé
Sable très fin, sables limoneux	10^{-5} a 10^{-7}	faible
Limon compact, argile silteuse	10^{-7} a 10^{-9}	Très faible
Argile franche	10^{-9} a 10^{-12}	Pratiquement imperméable

Tableau VII.3 degré perméabilité selon la nature du sol

C3: Est un coefficient dépendant de la couverture végétale du bassin versant. D'après des visites sur la zone d'étude la couverture végétale en générale c'est des prairies (terrain agricole) et des forets. Donc on prend C3 égale 0.25 (cas le plus défavorable) - annexe 02-.

Les valeurs des coefficients sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 07b : Coefficient de ruissellement selon la méthode de Kenessey.

Pente I (%)	La valeur de C_1	Nature du sol	La valeur de C_2	Couverture végétale	La valeur de C_3
I < 3.5	0.01- 0.05	Imperméable	0.22 - 0.30	Roche	0.22 - 0.30
3.5 < I < 11	0.06 - 0.1	Pas assez perméable	0.10 - 0.20	Prairie	0.17 - 0.25
11 < I < 35	0.12 - 0.20	perméable	0.06 - 0.10	Champs de labour	0.07 - 0.15
I > 35	0.22 - 0.30	Très perméable	0.06 - 0.05	Forêts et sols sableux	0.03 - 0.05

Tableau VII.4 coefficient de ruissellement selon méthode de kenessey

VII.3.7. L'INTENSITE DES PLUIES

La loi Intensité-Durée-Fréquence est établie à partir des relevés des pluviographes, ensuite traitée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) par des méthodes statistiques. L'ajustement de ces séries de données et les pluies journalières se fait avec la loi de Gumbel. L'intensité I(T,tc) moyenne de la pluie sur le temps de concentration tc pour une période de retour T est représentée par la formule suivante :

$$I(t,T) = \frac{a(T)}{t^b}$$

Avec :

I(t,T) : Intensité de pluie en mm/h

T : période de retour t : temps en heures.

a et b : paramètres de Montana

$$\mathbf{I(t,T) = a\,(T)/\,t^{0,82}}$$

avec b : 0,82

Les paramètres « **a** » pour les différentes fréquences sont :

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

Tableau VII.5valeurs du paramètre « a » selon les fréquences

Valeurs des intensités obtenues en mm/h

I(t,T)	2 Ans	5 Ans	10 Ans	20 Ans	50 Ans	100 Ans
1	10.9	16.5	20.1	23.7	28.2	31.6
2	6.2	9.3	11.4	13.4	16.0	17.9
3	4.4	6.7	8.2	9.6	11.5	12.9
6	2.5	3.8	4.6	5.4	6.5	7.3
12	1.4	2.1	2.6	3.1	3.7	4.1
24	0.8	1.2	1.5	1.7	2.1	2.3

TableauVII.6 valeurs des intensités en mm/h

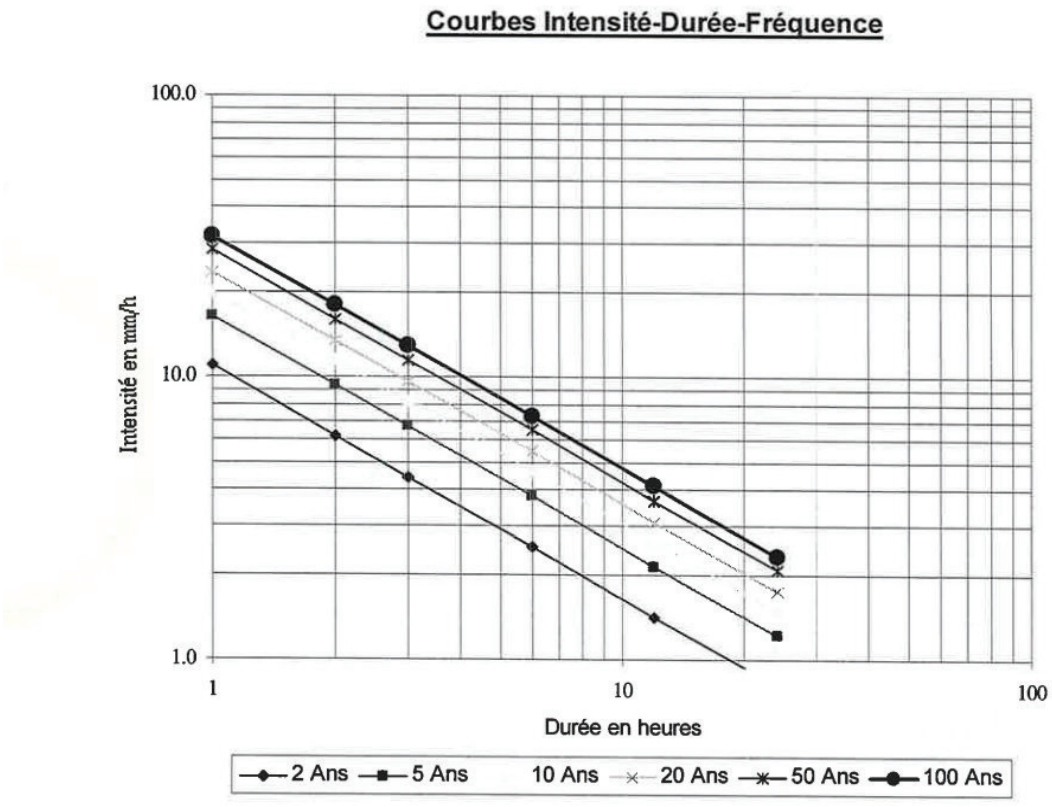


Figure VII.1 courbes intensité -durée – fréquence

Intensité horraire			Qmax (%) rationnelle		
10	50	100	10	50	100
233,493	327,587	367,08336	0,59714158	0,83778	0,93879
5,00346	7,01978	7,86613541	2,67886385	3,75841	4,21155
18,9674	26,6109	29,8193186	1,30367836	1,82904	2,04956
28,9212	40,576	45,4680911	0,57375924	0,80498	0,90203
103,815	145,651	163,211588	0,55808716	0,78299	0,87739
33,4168	46,8833	52,5358587	0,77942159	1,09352	1,22536
42,6694	59,8646	67,0822866	0,90237838	1,26602	1,41866
60,6255	85,0566	95,311695	1,12539534	1,57891	1,76928
122,476	171,832	192,549009	0,4603366	0,64585	0,72371
180,383	253,075	283,587144	0,23916857	0,33555	0,37601
222,554	312,241	349,886569	0,18844537	0,26439	0,29626
31,1934	43,7639	49,0403578	0,52720891	0,73967	0,82885
55,1929	77,4349	86,7709909	0,56276124	0,78955	0,88474
84,7664	118,926	133,264659	0,31818166	0,4464	0,50023
9,28257	13,0233	14,5934878	1,38543978	1,94375	2,1781
53,1833	74,6154	83,6115925	0,35911637	0,50383	0,56458
107,361	150,626	168,786226	0,28989627	0,40672	0,45576

TableauVII.7 tableau récapitulatif des valeurs des intensités et débits (Q10,Q50,Q100

VII.3.8. TEMPS DE RETOUR

Drainage transversal

Conformément au référentiel technique, le débit projet à prendre en compte pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques de traversée est le débit (Q_{50}) ou le débit de la crue historique la plus importante s'il était supérieur.

Drainage longitudinal

Conformément au référentiel technique, le débit projet à prendre en compte pour les calculs hydrauliques, permettant de définir le dimensionnement du drainage longitudinal est le débit (Q10) décennal.

VII.4. ÉTUDE HYDRAULIQUE

La ligne ferroviaire franchit des oueds et talwegs 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.

VII.4.1. ASSAINISSEMENT TRANSVERSAL

VII.4.1.1. Dimensionnement des ouvrages de drainage (buse)

Les ouvrages hydrauliques sont clairement identifiés et alimentés par les oueds que nous avons repérés sur cartes. Nous avons recensé lors de nos visites de reconnaissance plusieurs cours d'eaux importants pour lesquels nous avons projetés des ouvrages de drainage. 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.p.m)

S : Section mouillée (m2)

Rh : Rayon hydraulique moyen avec :

$$R_h = \frac{section mouillée}{périmètre mouillée}$$

K : Coefficient de MANNING-STRICKLER

Nature d'ouvrage	En terre	Buse métallique	maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
K	30	40	50	70	80

TableauVII.8 valeurs du coefficient K manning strickler

Hauteur de remplissage :

Dalot : hr = 0.80 h si h≤2.5 m hr = h - 0.5 si h>2.5 m

Buse : hr = 0.75 Ø si Ø ≤1 m hr = Ø - 0.5 si Ø >1 m

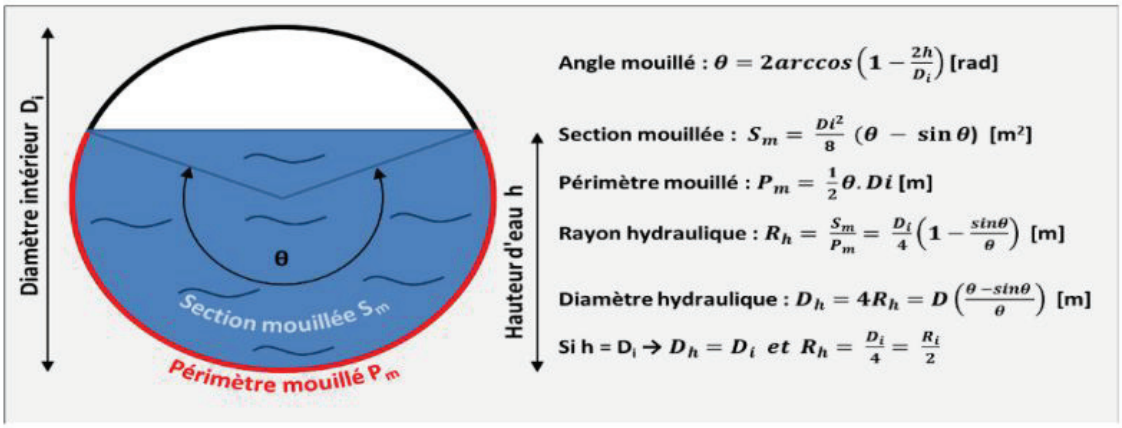
Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes :

Qa < Qs

Qa : Débit d'apport (m3 /s).

Qs : Débit de saturation de l'ouvrage (m3 /s).

La vitesse maximale d'écoulement dans l'ouvrage est limitée à 5 m/s selon le référentiel technique SNTF.



FigureVII.2 hauteur de remplissage des buses

PK	ouvrage	phi	D/2	hr	teta	Sm (m²)	Pm (m)	Rh (m)	Ks	I (m/m)	Q	Qs (m3/s)	Qs > Q
00+650	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,837780721	0,88	vérifié
1+725	ouvrage	d'art											
00+050	buse	1200	0,6	0,7	3,476489	0,68	2,09	0,33	80,00	0,005	1,829041275	1,84	vérifié
03+600	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,804975656	0,88	vérifié
03+850	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,782987959	0,88	vérifié
04+900	buse	1200	0,6	0,7	3,476489	0,68	2,09	0,33	80,00	0,005	1,093516857	1,84	vérifié
06+835	buse	1200	0,6	0,7	3,476489	0,68	2,09	0,33	80,00	0,005	1,266023395	1,84	vérifié
07+700	buse	1200	0,6	0,7	3,476489	0,68	2,09	0,33	80,00	0,005	1,578912865	1,84	vérifié
07+975	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,645845374	0,88	vérifié
08+450	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,335549937	0,88	vérifié
09+775	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80	0,005	0,264386044	0,88	vérifié
10+150	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,739666235	0,88	vérifié
10+325	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,789545618	0,88	vérifié
10+500	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,446404117	0,88	vérifié
10+950	buse	1500	0,75	1	3,821266	1,25	2,87	0,44	80,00	0,005	1,943751338	4,07	vérifié
11+950	Buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,503834901	0,88	vérifié
12+725	buse	1000	0,5	0,5	3,141593	0,39	1,57	0,25	80,00	0,005	0,406720137	0,88	vérifié

TableauVII.9 tableau de dimensionnement des ouvrages transversaux du projet

Le tableau suivant représente le choix de type d'ouvrage d'assainissement transversale prévue pour chaque bassin selon leur débit de crue maximale (Q50) centennale et leur dimension et le débit de saturation de l'ouvrage choisis et la vérification entre le débit de saturation et le débit de crue (Qs, Q50).

VII.4.1.2. VERIFICATION DES CONDITION D'AUTOCURAGE

Conditions d'auto-curage : On doit vérifier que :

V > 0.6 m/s pour Q=0.1Qs

V > 0.3 m/s pour Q=0.01Qs

Vps (m/s)	Vps < 4	V (Q=0.1 Qps) (m/s)	V> 0.6	V (Q=0.01 Qps) (m/s)	V> 0.3
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,69	verifié	1,72	vérifié	0,848	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,69	verifié	1,72	vérifié	0,848	vérifié
2,69	verifié	1,72	vérifié	0,848	vérifié
2,69	verifié	1,72	vérifié	0,848	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
3,26	verifié	2,08	vérifié	1,026	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié
2,24	verifié	1,44	vérifié	0,707	vérifié

Tableau VII.10 vérification des conditions d'autocurage

VII.4.2. ASSAINISSEMENT LONGITUDINAL

Pour la détermination de l'intensité, on a considéré une averse de 15 minutes avec une période de retour de 10 ans. Ainsi, pendant la grande partie de la vie utile du système de drainage, les débits entrants seront très inférieurs à ceux du dimensionnement.

Pour la définition des critères généraux de conception et de dimensionnement du système d'assainissement, on s'est basé sur les objectifs de sécurité, d'économie et de fonctionnalité de l'ouvrage, alliés aux aspects ci-dessus décrits. Parmi les critères généraux adoptés, les principaux sont :

Le système d'assainissement conduit superficiellement l'eau collectée, lorsque cela est Possible ;

Pour des raisons de sécurité et afin d'éviter des phénomènes d'engorgement ou d'obstruction, les organes de drainage qui desservent des zones les plus délicates (zones éventuellement dangereuses en cas de drainage inefficace) sont parfois surdimensionnés ;

On a également adopté, pour la conception générale du système de drainage longitudinal, les principes suivants :

Un fossé à section trapézoïdale sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la plate-forme ;

Lorsque le terrain naturel de crête est penché vers l'emprise de la voie, et afin de protéger les talus en déblai des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher des eaux d'atteindre la plate-forme un fossé de crête est projeté.

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 chers ;

Dans les zones de déblai de grande hauteur. Et pour éviter l'érosion des talus de la descente d'eau seront prévus.

VII.4.2.1. FOSSE DE PIED DU TALUS DE DEBLAI

Afin d'éviter l'inondation de la plate- forme. Des fosses au pied de déblai ont été proposés, qui ont pour fonction de collecter les eaux issues du ruissellement des talus en déblai et de la plateforme, Ainsi de les canalisées soit à un ouvrage de drainage transversal, soit moyennant d'autres éléments de drainage longitudinal.

Calcul du débit d'apport :

Le débit d'apport de ruissellement de la plate-forme de la voie et talus sera calculé à partir de la formule rationnelle :

$$Q = 0.278\ Cr\ I\ A$$

Avec :

Q : Débit d'apport décennal en m3 /s

Cr : Coefficient de ruissellement.

I10 : Intensité de pluie décennale (en mm/h)

A : Surface active de la plate-forme de la voie ou talus en km²

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

- C = 0.90 pour la plate-forme,

- C = 0.70 pour les talus,

L'intensité est calculée à partir de la loi de MONTANA.

$$Qa = QPF + Qb + Qt$$

QPF : débit rapporté par la plate-forme.

Qb : débit rapporté par les talus.

Qt : débit rapporté par les bermes.

		Remblai	Déblai
		Le cas le plus défavorable : Longueur : 925 Hauteur du talus :	Le cas le plus défavorable Longueur : 775m. Hauteur du talus :
Plateforme	C_r	0.9	0.9
	$j\,(m/m)$	0.04	0.04
	$A\,(K\,M^2)$	0.0037	0.0031
	$T_c(h)$	0.038626	0.035355
	$I\,(mm/h)$	289.70	311.51
Talus	$Q(m^3/s)$	0.27	0.24
	C_r	0.7	0.7
	$j\,(m/m)$	0.5	0.5
	$A\,(K\,M^2)$	0.018230	0.019105
	$T_c(h)$	0.024250	0.024825
	$I\,(mm/h)$	424	416
	$Q(m^3/s)$	1.50	1.55
Q (m^3/s)		**1.77**	**1.79**

Tableau VII.11 calcul débit pour remblai et déblai

Débit de saturation des fossés type (Qs) :

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

$$Q_s = K \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot Sm$$

Où :

Q : Débit (m3 /s)

S_m: section du fossé (m2)

K : Coefficient de rugosité Strickler

Rh : Rayon hydraulique (m)

I : Pente (m/m).

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

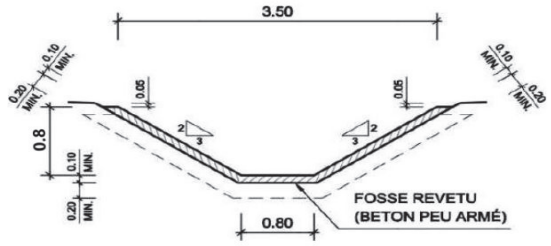
- Coefficient de rugosité Strickler K = 70 (correspondant à des fossés en béton)
- Pente - La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie.

Section mouillée (Sm)	**(b+z .h)h**
Périmètre mouillé (Pm)	**$(b+2.h.\sqrt{1+Z^2})$**

NB : z : la pente Des berges.

Fossé	B(m)	H(m)	Z	Hu	$S_m(m^2)$	$P_m(m)$	$R_h(m)$	K	I(m/m)	$Q(m^3/s)$
	0.8	**0.8**	**3/2**	**0.64**	**1.13**	**3.11**	**0.36**	**70**	**0.016**	**2.16**

TableauVII.12 les caractéristiques des fossés choisi pour le projet



FigureVII.3 dimensions fossés

Les types des fossés adoptés (en respectant la condition Qa≤ QS) sont :

En déblai : de part et d'autre de la plate-forme H=0.8, B=0.8.

VII.4.2.2. FOSSE DE CRETE DE DEBLAI

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penché vers l'emprise de la voie, afin de protéger les talus de déblai des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher des eaux d'atteindre les talus. Les dimensions retenues pour ces fossés et de **B=0.5 H =0.5 m=1**. Si un écoulement est dévié par ces fossés les dimensions changeront selon le débit d'écoulement et la pente de pose.

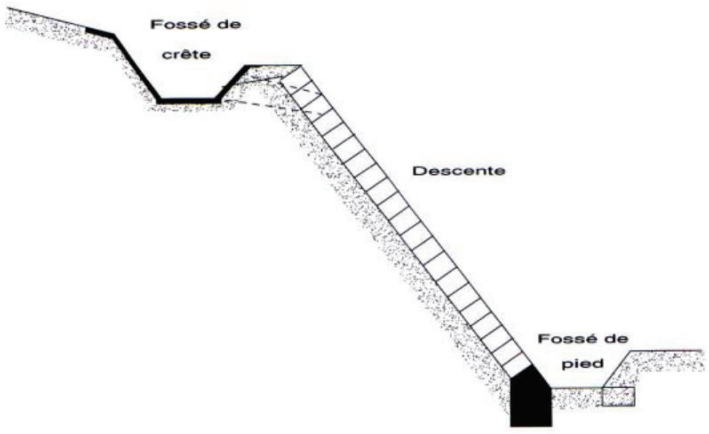
VII.4.2.3. FOSSE DE PIED DU TALUS DE REMBLAI

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.

Les dimensions retenues pour ces fossés et de **B=0.8 H =0.8**.

VII.4.2.4. DEESCENTES D'EAUX

Les descentes d'eau sont des ouvrages auto-stables implantés sur les talus, soit de déblai soit de remblai, pour collecter les eaux de crête vers le dispositif de drainage longitudinal situé en pied de talus.



FigureVII.4 descente d'eau

VII.4.3. CALCUL DES NIVEAUX LES PLUS HAUTES D'EAUX DES OUEDS PRINCIPAUX

Le calcul hydraulique des NPHE est basé sur le calcul de canaux ouverts avec lame d'eau libre déterminé sur la base des conditions de continuité en combinaison avec la formule de Manning-Strickler :

$$Q = S \cdot V$$

$$V = \frac{Rh^{2/3} \cdot J^{1/2}}{n}$$

Où :

Q : débit (m3 /s).

Sm : surface mouillé (m2).

Pm : périmètre mouillé (m)

V : vitesse de l'eau (m/s).

n : numéro de Manning (0,025 pour terrain naturel).

Rh : rayon hydraulique (m) où R = Sm/ Pm.

J : pente de la ligne d'énergie en valeur absolue. Elle est égale à la pente du sol du caniveau puisque tous les calculs sont effectués en régime uniforme.

VII.4.3.1. METHODOLOGIE DU CALCUL DES NPHE

- Dessin de profil en travers de cours d'eau au niveau du croisement avec le tracé de la voie ferrée sur la base du levé topographique existant.
- Détermination du la pente de cours.
- Détermination des surfaces mouilles et des périmètres mouillée pour la différente hauteur d'eau.
- Calcul des débits capable du cours d'eau pour la différente hauteur d'eau.
- Dessin des graphiques débits en fonction des hauteurs pour déterminé une équation de forme Q= a*(h) +b. à partir de cette équation on tire la valeur de la hauteur d'eau pour le débit d'apport de cours d'eau.

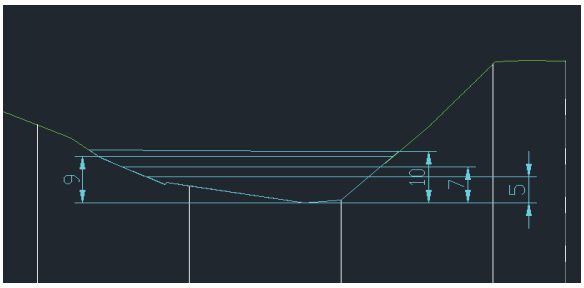


Figure VII.5Profil en travers de cours d'eau PK 1+660 / 01+820

Hauteur d'eau	Sm (m^2)	Pm(m)	Rh (m)	n	J (m/m)	Q (m^3)
0.5	1.10	3.9	0.282	0.025	0.008	1.692
0.7	1.90	4.7	0.404	0.025	0.008	3.715
0.9	2.80	5.3	0.528	0.025	0.008	6.544
1	3.34	5.7	0.586	0.025	0.008	8.36

Tableau VII.13 calcul des débits capable de cours PK1+750pour les différentes hauteurs d'eau

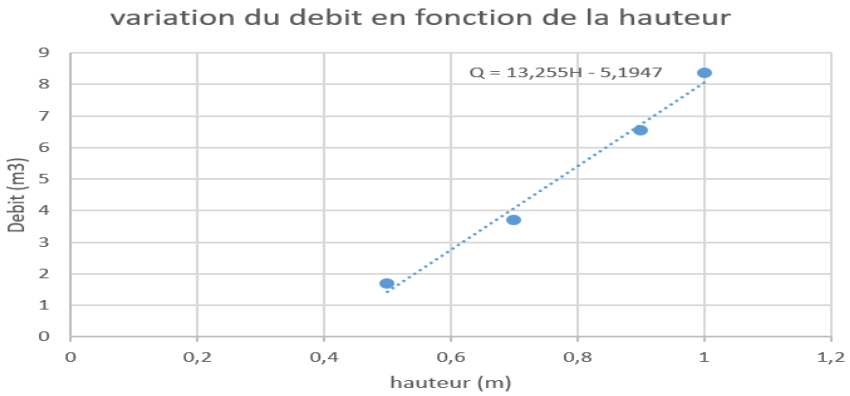


Figure VII.6 variation du débit en fonction de la hauteur

Après le dessin de graphe Q=F(h) on a trouvé l'équation suivante : Q = 13,255H - 5,1947.

Le débit d'apport (centennale) de cours d'eau PK 28+096 est égale à 4.26 m3 /s donc h=0.71m.

Le niveau plus haut des eaux (centennales) de cours d'eau PK 1+750 est égale à 535.61 m.

VII.4.4. LE SYSTEME DE DRAINAGE DE LA GARE ET LA HALTE

Le drainage des eaux au niveau de la gare et la halte est conçu de façon adéquate pour drainer rapidement les eaux de ruissellement et les eaux infiltrées, afin d'améliorer la capacité de la plate-forme.

Les couches de sous-ballast ainsi que la couche de forme sont réalisées de manière à être dotées d'une pente transversale de 4 % orientée dans la direction du drain de diamètre Ø300 mm, perforé dans sa surface supérieure de façon à recueillir les eaux de ruissellement et de garantir une bonne évacuation de ces eaux.

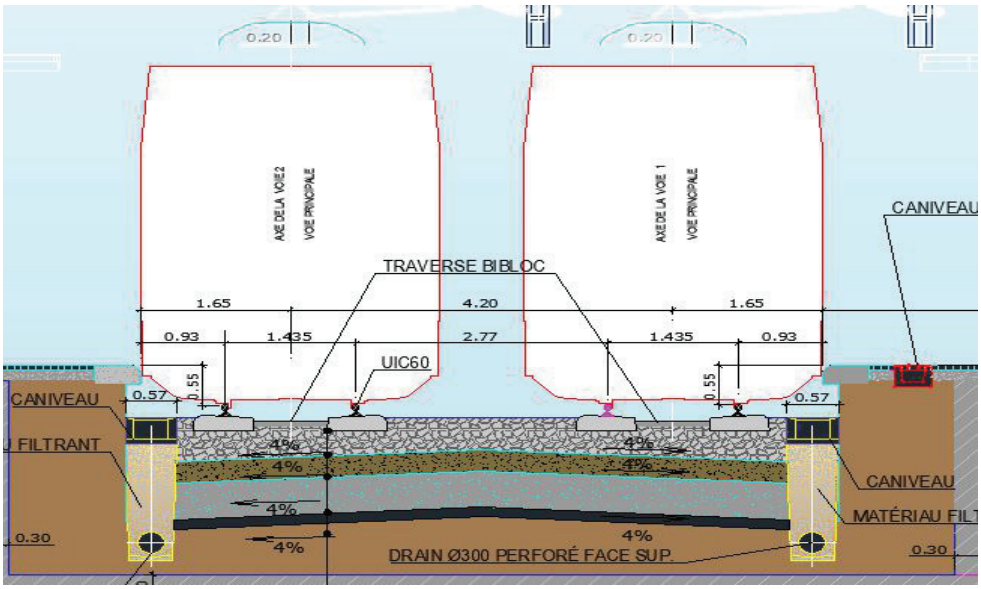


Figure VII.7 assinissement de la gare

VII.5. CONCLUSION

D'après l'étude hydrologique et hydraulique, on déduit que la trace projetée comporte un volet de travaux important en termes d'ouvrage de drainage longitudinal et transversal.

Ces travaux doivent être exécuté soigneusement afin d'éviter la dégradation de la plateforme en cas de crue.

CHAPITRE VIII

PROFIL EN TRAVERS

VIII. PROFIL EN TRAVERS

VIII.1. INTRODUCTION

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe des voies projetée.

Un projet de voie ferrée comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, pour l'échelle des profils en travers, on opte souvent pour :

- 1/100 ou 1/200 pour les longueurs
- 1/100 ou 1/200 pour les hauteurs

1/100,1/200 c'est-à-dire un centimètre ou deux centimètres pour un mètre.

VIII.2. TYPE DE PROFIL EN TRAVERS

Dans toute étude d'un projet ferroviaire, l'ingénieur doit dessiner deux types de profil en travers :

Profil en travers type :

Est un profil unique pour chaque zone contenant et détaillant d'une manière précise toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs de voie, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure et de l'infrastructure, système d'évacuation des eaux etc.…).

Profil en travers courant :

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets, Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet. Devers de la plate-forme et qui servent à calculer les cubatures.

VIII.3. ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE

Le profil en travers doit contenir et indique tous les éléments suivants :

VIII.3.1. ELEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE

- Le rail et son type.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- L'entraxe de la voie.
- Les traverses et leur type
- Poteaux caténaires et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées).
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La pente latérale de la couche de ballast.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies).

VIII.3.2. ELEMENT DE L'INFRASTRUCTURE

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

VIII.3.3. ELEMENT DE TALUS

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuels, tels que les murs de soutènement.

VIII.3.4. ELEMENT D'ASSAINISSEMENT

- Type et dimension des fossés ou des drains

VIII.3.5. ELEMENT DE PROTECTION DE LA VOIE

- Butée en terre en cas d'ensablement.
- Ecrans de protections contre les chutes de pierres.

REMARQUE

On doit établir le long de notre tracé plusieurs profils en travers type et cela selon la Nature topographique et géologique du terrain naturel (déblai ou remblai), le cas où on est en courbe ou en Alignement.

VIII.4. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS

Emprise

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

Assiette

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

Plate-forme

La plate-forme représente l'emprise au sol. La plate-forme constitue la base de la voie ferrée. Pour bien remplir son rôle elle doit être stable et saine. Elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur. Il est donc souhaitable qu'elle soit constituée par un terrain qui conserve, à travers le temps des caractéristiques physiques et mécaniques convenables pour jouer ce double. Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements

La voie

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

La berme

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

Le fossé

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

VIII.5. SPECIFICATION DE LA PLATEFORME

Les spécifications applicables dans notre projet sont les suivantes :.

- La largeur de la plate-forme en voie simple est fixée à 8 m.
- Une bande 700 mm sera prévue pour l'implantation des équipements de signalisation, Télécommunications et électrification ; l'axe des poteaux caténaires devra se situer à un minimum de 3250 mm de l'axe de la voie.
- Un cheminement de 700 mm sera aussi implanté pour la circulation piétonnière du personnel de maintenance de la voie dans le cas des voies à l'air libre uniquement

VIII.6. PROFIL TYPE DU PROJET

- Type de ligne : ligne à voie unique électrifiée
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme :8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Epaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
- Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
- Pente talus (déblai : 1 / 2 et remblai : 3 / 2).

NB : Les profils en travers types sont joints en plans format A3 (Voir annexe).

VIII.7. CUBATURES DES TERRASSEMENTS

Les cubatures de terrassement, c'est l'évaluation des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet :

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

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

Les profils en long et les profils en travers doivent comporter un certain nombre de points suffisamment proches pour que les lignes joignent ces points le moins possible de la ligne du terrain qu'il représente.

On entend par cubature le calcul des volumes déblais remblais à déplacer pour respecter les profils en long et travers fixés auparavant et d'établir ainsi le mètre des travaux.

Comme notre Matériaux de sol est réutilisable, on cherche un équilibre entre les volumes déblais remblais.

NB : Les cubatures des terrassements sont jointes dans l'annexe.

CHAPITRE IX

OUVRAGES D'ART

IX. OUVRAGES D'ART

IX.1. INTRODUCTION

Pour concevoir un meilleur tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire a projeté et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau, on doit doter pour cette nouvelle ligne des ouvrages d'art suivants :

- Ponts et viaducs ferroviaires
- Ponts routiers
- Passages inferieures (Ponts cadre)
- Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots)
- Tunnels ferroviaires
- Trachées couvertes
- Murs de soutènements

Les ouvrages de franchissement seront dimensionnés sur la base des gabarits ferroviaires UIC et des gabarits routiers des normes algériennes en vigueur. En absence de gabarits locaux, le Groupement en définira et en proposera pour validation de l'ANESRIF. Ces ouvrages seront, également, dimensionnés pour répondre aux critères de sécurité et de confort voyageurs imposés par les normes UIC et les normes européennes en vigueur.

La démarche de conception des ouvrages d'art sera basée sur l'identification des solutions les plus adaptées aux conditions du site et de service, en couvrant tous les aspects à savoir la sécurité, le confort, l'économie et l'esthétique.

Ce chapitre présentera les ouvrages d'art existants, ainsi le type de l'ouvrage à concevoir pour franchir les obstacles existants.

IX.2. NORMES ET REFERENCES

La conception des ouvrages d'art doit être conforme à la dernière édition ou révision des normes et des références en vigueur suivantes :

Eurocode 1, Actions sur les structures - Partie 2 : Actions sur les ponts dues au trafic.

Eurocode 2, Calcul des structures en béton.

Eurocode 3, Calcul des structures en acier.

Eurocode 4, Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton.

Règles BAEL 91, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, Commission Générale de Normalisation du Bâtiment – DTU, révision de 1999.

Règles BPEL 91, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des états limites, Commission Générale de Normalisation du Bâtiment –DTU, révision de 1999 .

RCPR2009, règles définissant les charges à appliquer pour le calcul et les épreuves des ponts routes,

RPOA2008, règle parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (Algérie),

Cahier des prescriptions communes, règles de conception et de calcul des ouvrages en béton, en métal ou mixtes (IN0032) RFF-SNCF,

IX.3. ACTIONS A PRENDRE EN COMPTE

IX.3.1.ACTIONS PERMANENTES

Charges verticales

Les charges permanentes verticales sont exprimées en KN/m. Leurs intensités sont déterminées en multipliant les sections intéressées par le poids spécifique relatif.

Dans la suite on fournit les poids spécifiques des principaux éléments considérés :

Poids propre des structures en B.A est calculé avec un poids spécifique de 25 KN/m^3,

Poids des éléments en charpente métallique est calculé avec un poids spécifique de 78.50 KN/m^3,

Poids des terres défini avec un poids spécifique de 20 KN/m^3,

Charges horizontales

Il s'agit de la poussée statique des terres appliquée sur les parois des culées (diagramme triangulaire) où l'équation est présentée comme suit :

$$P = \frac{1}{2}.k.\gamma.h^2$$

Avec :

γ **:** Poids volumique des terres

K : coefficient de poussée des terres (actif où au repos)

h : hauteur de la paroi

Charge de la plateforme ferroviaire :

Les charges appliquées sur une plate-forme ferroviaire pour une voie ballastée généralement sont le ballast, le garde ballast, les rails, les travers, l'étanchéité, caniveaux et câbles de signalisations et caténaires et poteau de caténaire

IX.3.2. ACTIONS SUR LES PONTS FERROVIAIRES

Surcharges d'exploitations ferroviaires :

Les actions de trafic ferroviaire seront définies au moyen de cinq modèles de charges dont deux représentent le trafic normal sur la ligne LM71 et SW0, un représente le trafic lourd SW2, un représente la charge de « train à vide » et le dernier représente le trafic réel pour HSLM.

Modèle de charge LM71

Ce modèle de charge représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire normal.

Les valeurs caractéristiques des charges verticales sont représentées comme suit :

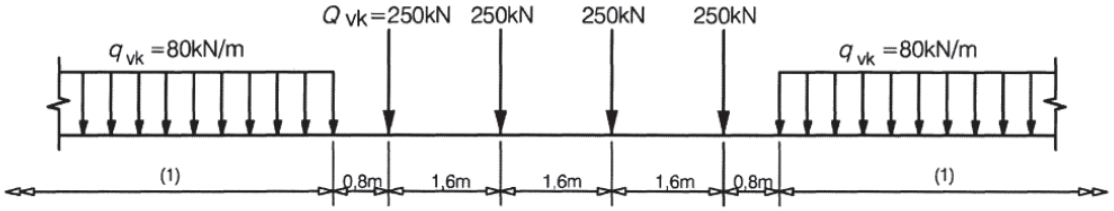


Figure IX.1 Modèle de charge LM71

Modèle de charge SW/0

Ce modèle de charge représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire standard sur les ponts continus seulement.

Les valeurs caractéristiques des charges verticales sont représentées comme suit :

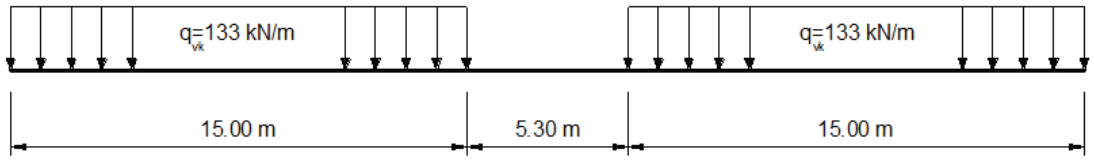


Figure IX.2Modèle de charge SW0

Modèle de charge SW/2

Ce modèle de charge représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire lourd.

Les valeurs caractéristiques des charges verticales sont représentées comme suit :

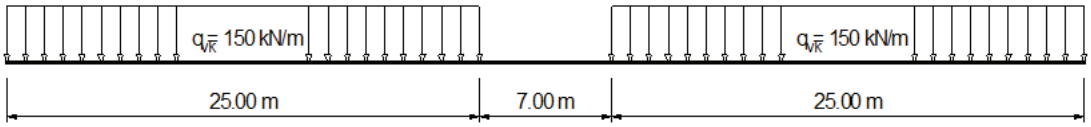


Figure IX.3 Modèle de charge SW2

Modèle de charge « Train à vide »

Ce modèle de charge représente l'effet statique d'une charge linière uniformément répartie caractérisée par une valeur de 10 kN/m.

Modèle de charge HSLM

Ce modèle de charge est constitué de deux trains représentatifs HSLM-A et HSLM-B

IX.3.3.ACTIONS SISMIQUES

Ces actions seront calculées conformément au règlement parasismique Algérien des ouvrages d'art (RPOA 2008).

La wilaya de Laghouat, est de faible sismicité, ainsi la suite du tracé au niveau de la wilaya de Ghardaïa est dans une zone de sismicité négligeable.

IX.3.4.ACTIONS CLIMATIQUES

Les actions climatiques à prendre en compte sont les actions thermiques (température uniforme, gradient thermique) et les actions de vents.

Actions accidentelle

Les actions accidentelles à prendre en compte sont les actions provenant de déraillement de train ainsi que le choc des véhicules sur les appuis et le tablier.

IX.4. LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE

Dans tous les cas, le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées, ces conditions

Sont de deux sortes :

- Données naturelles : écoulement des eaux, nature de sol, etc.
- Exigences techniques : portée, programme de charge, gabarit, etc. Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- La voie portée, ou l'obstacle franchirait.
- Tirait d'eau
- Adaptation architecturale à la région

IX.5. RECOMMANDATION SUR LE CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE

IX.5.1. CROISEMENT ROUTE-RAIL

En général, le problème de croisement doit prendre en considération la nature et le débit de la voie afin d'analyser cas par cas tous les types de croisement en fonction de la vitesse de base maximale le long du tracé ferroviaire.

On prévoit en effet, trois (03) solutions possibles

IX.5.1.1. PASSAGE SUPERIEURE (ROUTE-RAIL)

- Dans le cas où la voie ferrée croise la route en un endroit et l'écart entre leur niveau respectif n'est pas important, ou bien à cet endroit la voie ferrée passe en déblai par rapport à la route, il est évident alors de prévoir un passage supérieur routier, c'est-à-dire un ouvrage d'art routier dont les gabarits UIC permettent le passage d'un ou plusieurs trains en même temps selon la nature de la ligne (la ligne à voie unique, a doubles voies, ou a plus).

- Par contre si ce croisement se fait en un endroit où la voie ferrée passe en très grand remblai par rapport à la route, de telle façon à pouvoir insérer un gabarit routier entre leur niveau de roulement et cela sans oublier les retombées des poutres de l'ouvrage d'art. Alors dans ce cas, c'est la voie ferrée qui sera en passage supérieur, c'est-à-dire qu'il faudra prévoir un ouvrage d'art ferroviaire.

IX.5.1.2. PASSAGE A NIVEAU

- Si cette vitesse est supérieure à 100km/h aucun passage à niveau n'est toléré sauf pour les pistes en débit presque nul et seulement si la topographie du terrain le permet sinon pour toutes les autres classes de routes un ouvrage est à prévoir

- Si cette vitesse est inférieure à 100 km/h, en plus des pistes on peut admettre un passage à niveau pour les chemins à débit presque nul (même condition topographique).

IX.5.1.3. PASSAGE INFERIEURE DE LA ROUTE

Rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

En ce qui concerne notre projet, la vitesse du train étant de 160 km/h donc on évitera les passages à niveau.

A la lumière de ce qui précèdent notre projet se croise avec une route au **PK 192+075**, il est évident alors de prévoir un passage supérieur routier, c'est-à-dire un ouvrage d'art routier dont les gabarits UIC permettent le passage de plusieurs trains en même temps selon la nature de la ligne (la ligne à voie unique pour une vitesse de 220 km/h.

IX.5.2.CROISEMENT RAIL- OUED

IX.5.2.1. LES OUVRAGE HYDRAULIQUE

Selon la proposition de l'étude hydraulique réalisée précédemment en proposer 2 type d'ouvrages hydrauliques pont et buse et leur position comme suite :

PK	ouvrage
00+650	buse
1+725	ouvrage
00+050	buse
03+600	buse
03+850	buse
04+900	buse
06+835	buse
07+700	buse
07+975	buse
08+450	buse
09+775	buse
10+150	buse
10+325	buse
10+500	buse
10+950	buse
11+950	Buse
12+725	buse

Tableau IX .1 Tableau récapitulatif des pk et leurs ouvrages d'assainissement

IX.5.2.2. CHOIX DU PROJET

Donc les ouvrage adaptées aux contraintes rencontrées sont :

- Ponts rail (passage inferieur) type caisson
- Buse de diamètre (1000, 1200,1500)

CHAPITRE X

LES TERRASSEMENTS

X. LES TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

X.1. INTRODUCTION

Les travaux de terrassement consistent à préparer un terrain à accueillir une infrastructure, de sorte à ce que celle-ci soit stable, sans aucun risque de tassement, glissement ou effondrement du sol. Avant d'effectuer les terrassements, il faut commencer par une inspection préliminaire du terrain afin d'identifier les contraintes essentiellement liées aux réseaux divers. Par la suite une étude de la stabilité ainsi que de l'équilibre du sol s'impose.

Les terrassements rapportent des modifications au relief du terrain, les travaux sont réalisés par l'exécution de déblais et de remblais :

- Les déblais consistent à abaisser le niveau du train par enlèvement des terres appelés aussi fouilles ou extraction.
- Les remblais consistent à rapporter des terres afin de relever le niveau appelés aussi Remblaiement

X.2. LA STABILITE DES TALUS

Les sols grossiers et rocheux sont fréquemment rencontrés en zone montagneuse. Ils sont constitués d'un mélange de gros éléments appelés inclusions (cailloux, graviers …) et d'un sol fin appelé matrice (sable, limon, argile). Le comportement géomécanique de ces sols est difficile à appréhender par les méthodes de géotechnique classiques, principalement en raison de la présence de gros éléments qui perturbent ou empêchent la réalisation des essais.

Les problèmes de stabilité de pente se rencontrent dans la construction des routes, voie ferroviaire, des canaux, des digues et des barrages. Lorsque les talus ou les pentes ont une grande hauteur, l'instabilité constitue un risque élevé. La stabilité des pentes intéresse aussi bien les pentes naturelles que les talus créent par l'homme.

X.3. LES PENTES DES TALUS

Les pentes de talus principalement utilisées selon le référentiel technique de SNTF, et exprimées en fraction base (H) sur hauteur (V), sont :

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

Elles doivent être déterminées de façon à assurer la stabilité et la pérennité générale de l'ouvrage.

X.4. FACTEURS INFLUENCANTS LA STABILIYE DES TALUS

La stabilité des talus dépend de plusieurs facteurs notons :

- La hauteur de talus.
- La position de la nappe aquifère.
- Les propriétés physico-mécaniques du terrain.
- L'inclinaison de la pente.
- Les surcharges dynamiques et statiques.
- Les conditions tectoniques.
- Facteur extérieurs (climat, mécanique).

X.5. CHOIX DES COEFFICIENTS DE SECURITE

Il vaut mieux attacher au coefficient de sécurité à une valeur probalistique. Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique (SNTF) sont les suivants :

- Fs ≥ 1,5 pour la stabilité à long terme.
- Fs ≥ 1,3 pour la stabilité à court terme.
- Fs ≥ 1,0 pour l'analyse en conditions sismiques.

$$Fs = \frac{\Sigma \text{ forces de résistances}}{\Sigma \text{forces actives}}$$

X.6. TERRASSEMENT CAS DEBLAIS :

Le long de notre tracé on distingue les principales zones de déblais suivantes :

PK début	PK fin	Hauteur(m)
08+625	**08+875**	**20**

En général, la section type projetée pour le couloir adopte un talus de pente 1H/2V en déblais, avec des bermes de 3m de large tous les 8 m de hauteur.

X.6.1. Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais

PK	Hauteur(m)	Pente	Berme(m)	Talus(m)	Facteur de sécurité (F_s)	Observation
08+625 /08+875	20	1H2V	3	8	1.45	stable

Tableau X.1 Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais

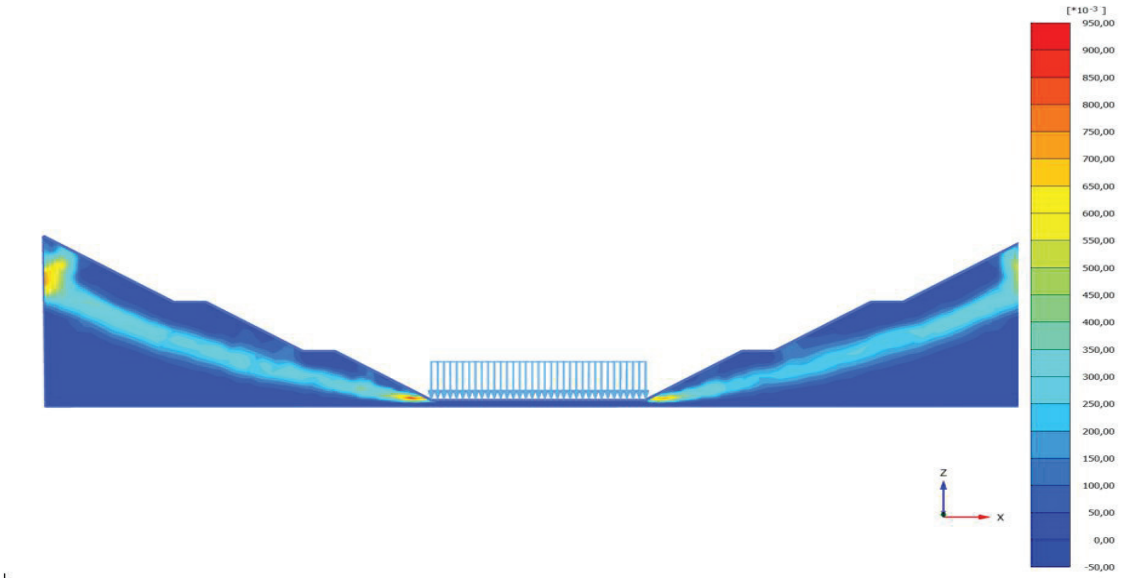


Figure X.1 vérification de stabilité avec placis 3d

REMARQUE

Les remblais sont projetés avec un talus 3H/2V le long de la section type projetée pour le couloir.

X.6.2. CONCLUSION

La vérification de stabilité du talus en utilisant le logiciel placis 3d a donné un facteur de securit Fs>1 ce qui signifie que le talus et stable vis-à-vis les facteurs extérieurs

X.7. REUTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

X.7.1. CLASSIFICATION DES MATERIAUX EN DEBLAI

Les matériaux rencontrés en déblai le long du tracé sont classées selon GTR comme suit :

- Pour les calcaire R_2

Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R
			Calcaires	R_2
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites ...	R_3
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches ...	R_4
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R_5
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers ...		R_6

R_2 :

Cette classe regroupe l'ensemble de la gamme des matériaux calcaires rocheux. Leurs caractéristiques prédominantes, vis-à-vis de leur utilisation dans des remblais ou des couches de forme, sont la friabilité et éventuellement, pour les plus fragmentables d'entre eux, la gélivité. D'une manière générale, ces matériaux ne sont pas des matériaux rocheux évolutifs et ne posent pas de problèmes particuliers dans leur emploi en remblai. En couche de forme, leur friabilité peut conduire, par attrition ou désagrégation, à la formation de fines pouvant conférer à l'ensemble du matériau un comportement sensible à l'eau sous circulation des engins

D'après le GTR les matériaux appartiennent aux sous classe R_{21}

MDE ≤ 45	calcaire dur	R_{21}
MDE > 45 et ρd > 1,8	calcaire de densité moyenne	R_{22}
ρd ≤ 1,8	calcaire fragmentable	R_{23}

X.7.2. L'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

X.7.2.1. OBSERVATION GENERALE

R_{21} Matériaux rocheux sains Ces matériaux habituellement insensibles à l'eau, sont utilisables en remblais quelles que soient les conditions météorologiques

X.7.2.2. CONDITION D'UTILISATION EN REMBLAI

- Élimination des éléments ≥ 800 mm.
- Compactage moyen.

X.7.3. L'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

X.7.3.1. OBSERVATION GENERALE

R_{21} : Ces matériaux issus de roches saines et dures peuvent être utilisés en couche de forme :

- soit dans leur état naturel après avoir éliminé ou fragmenté, les éléments grossiers ne permettant pas le réglage de la plate-forme conformément aux exigences formulées

- soit traités avec un liant hydraulique. Le traitement n'est cependant envisageable que dans la mesure où un malaxage intime du liant avec le sol peut être réalisé soit en place avec des malaxeurs à outils animés (pulvimixers...) soit en centrale.

X.7.3.2. CONDITION D'UTILISATION EN COUCHE DE FORME

Solution 1 :

- Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme

Solution 2 :

- Elimination de la fraction grossière empêchant le malaxage correct du sol avec le liant
- Arrosage pour maintien de l'état hydrique du mélange sol + liant
- Traitement avec un liant hydraulique
- Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné

X.7.4. CONCLUSION

D'après le GTR ces matériaux issue des déblais peuvent être réutilisés afin de réaliser des remblais et des couche de forme tout en respectant la condition d'utilisation dictée par le ce référentiel.

CHAPITRE XI

AMENAGEMENT DE LA GARE NCHOU

XI. AMENAGEMENT DE LA GARE NCHOU

XI.1. DEFINITION D'UNE GARE FERROVIAIRE

Une gare de chemin de fer est un endroit sur une ligne de chemin de fer qui représente un lieu de stationnement ou de passage des trains où on peut y affecter des manœuvres d'échanges de machine.

Les gares comprennent un plateau de voies dont certaines sont bordés de quais d'embarquement et des bâtiments, Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction :

- Permettre la montée ou la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des Marchandises ;
- Pour certaines d'entre elles, assuré des fonctions de sécurité dans la circulation des trains. Ainsi que les aménagements nécessaires pour effectuer les opérations relatives à la circulation définies par les règlements.

Une gare ferroviaire est donc, régie par des règles d'exploitation très strictes, en raison surtout de la coordination générale du réseau qui exige la précision des horaires.

XI.2. CATEGORIES DES GARES

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises Ferroviaire.
- Gare mixte.
- Gare de triage.
- Gare de croisements.

XI.3. OBJET D'UNE GARE FERROVIAIRE

Une gare ferroviaire est prévue pour un ou plusieurs objectifs :

- La montée ou la descente des passagers.
- Charger ou décharger des marchandises.
- Contrôler la circulation des trains.
- Permettre aux trains de se croiser dans le cas d'un tronçon à une ligne.
- Permettre aux trains plus rapides de dépasser les plus lents.
- Pour permettre aux locomotives de faire le plein, que ce soit du diesel, de l'eau ou du charbon
- Pour attacher ou détacher des voitures ou des wagons aux trains.
- Récupérer de la nourriture et de l'eau pour les passagers.
- Fournir des installations et abriter des passagers en cas d'urgence, telle qu'une inondation ou perturbant le trafic.

XI.4. CHOIX DU SITE POUR LA GARE FERROVIAIRE

Les facteurs suivants sont pris en compte lors de la sélection ou le choix d'un site pour une gare.

- **Terrain adéquat**

Il devrait y avoir suffisamment de terrain disponible pour le bâtiment de la gare, non seulement pour la ligne proposée, mais aussi pour toute expansion future.

- **Niveau de la zone avec bonne drainage**

Le site proposé devrait de préférence être sur un sol assez plat avec un bon drainage. Il devrait être possible de fournir l'inclinaison maximale admissible dans la cour principale

- **Alignement**

Le site de la gare devrait de préférence avoir un alignement droit afin que les différents signaux soient clairement visibles.

- **Facilité d'accès**

Le site de la gare doit être facilement accessible. Le site doit être proche des villages et des villes. Les villages voisins devraient être reliés à la gare par des routes d'accès pour la commodité des passagers.

XI.5. CONSIDERATIONS GENERALES

Une gare moderne doit remplir son rôle dans un climat satisfaisant et avec un service convenable et agréable, pour cela, plusieurs agents peuvent intervenir pour évaluer la qualité du service.

La rapidité du travail

C'est le facteur primordial intervenant dans la comparaison globale avec ses concurrents

La sécurité

Le transport fait appel à des véhicules lourds dont il faut écarter le public en dehors des espaces aménagés pour l'accès, on doit réparer matériellement entre le cheminement du public et ceux des véhicules, ce qui oblige à recourir aux croisements a niveaux différents. Toutes les aires destinées aux voyageurs ou marchandises doivent porter le souci de sécurité Sur l'ensemble de la gare.

Rupture de charge des voyageurs

Occasionne dans le voyage un temps mort qui il faut s'acharner à réduire en simplifiant les parcours formalités.

Politique Commerciale

L'aspect commercial subit la concurrence des autres modes de transport, et sont soumis au Comportement de la clientèle qui reste libre de son choix, le transport commercial doit chercher la meilleure rentabilité par la meilleure productivité, son rôle des installations de transit reste déterminant, la satisfaction des usagers sera d'autant plus complète que les opérations fastidieuses.

XI.6. ETUDE DU PLAN DE MASSE DE LA GARE

Le concepteur de la gare est appelé à établir un plan de masse de cette gare, en tenant compte des fonctions de toutes les installations de base qui la constituent. Dans ce stade (03) éléments sont nécessaires pour l'étude de plan de masse :

- **Catégorie de la gare**

C'est en fonction de cet élément que l'on peut déterminer son rôle et ses constituants.

- **Son trafic**

C'est par lequel, que l'on estime et évalue l'importance de la gare pour l'aménager d'une façon convenable.

- **Son emplacement**

Généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents

XI.7. CONCEPTION GENERALE D'UNE GARE

XI.7.1.COMPOSITION DE BASE D'UNE GARE

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

- Bâtiment de voyageurs
- Quais d'embarquement et de débarquement
- Abris de quai
- Passage souterrain ou passerelle
- Hangar destiné à recevoir et stocker les marchandises
- Hangar de maintenance des voies
- Atelier d'entretien des véhicules
- Chantier de permutation
- Réseau de voie

- Passage souterrain

XI.7.2.INSTALLATION DE LA GARE DE VOYAGEUR

La gare des voyageurs doit être aménagée et conçue de la façon suivante :

- **Un B.V (bâtiment des trafics voyageurs) :**

C'est l'élément central de gares voyageuses, qui doit être bien situé, et bien aménagé. On distinguera deux types de gares de voyageurs :

✓ Les gares terminus : Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé

Symétriquement : un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivées.

✓ Les gares de passage : Le bâtiment est généralement le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération.

- Séparation des flots de voyageurs entrants et sortants et faciliter l'accès et l'abri des voyageurs (changement de quai) par un aménagement d'une passerelle ou un passage souterrain.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :**

Un espace de service réservé aux agents de chemins de fer.

- **Un quai de gare :**

C'est un aménagement parallèle à la voie ferrée et permettant l'accès aux trains. Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement es voyageurs. Les quais peuvent être bas ou hauts. Le long des quais surélevés, lesquels se rencontrent le plus souvent sur les lignes électrifiées, des Marches d'accès sont établies tous les 25 mètres afin de permettre au Personnel se trouvant dans les Voies de s'échapper sans difficulté à l'arrivée des trains.

- **Abris de quais :**

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

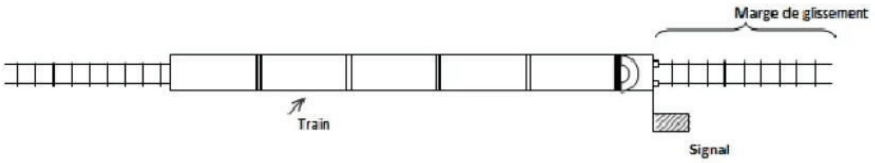
- **Les passages sous terrain et les passerelles :**

Sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité

XI.8. MARGE DE GLISSEMENT A L'AVAL DES SIGNEAUX

XI.8.1.DEFINITION DE LA MARGES DE GLISSEMENT

C'est le tronçon de voie situe au prolongement d'un parcours du train a l'aval d'un signal ferme, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge, qui, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation.



FigureXI.1 la marge de glissement

XI.8.2.BUT DE LA MARGE DE GLISSEMENT

Elle a pour but de Minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsqu'un train n'a Pas pu s'arrêter avant cette marge, faute de freinage ou rails glissants.

XI.8.3.LONGEUR DE LA MARGE DE GLISSEMENT

Selon l'UIC 741 :

- **$50 \leq LG \leq 200$**, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge a l'aval des

Signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

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

Donc : $50 \leq LG \leq 200$m

LG = 50 m: à l'aval des signaux de blocs

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

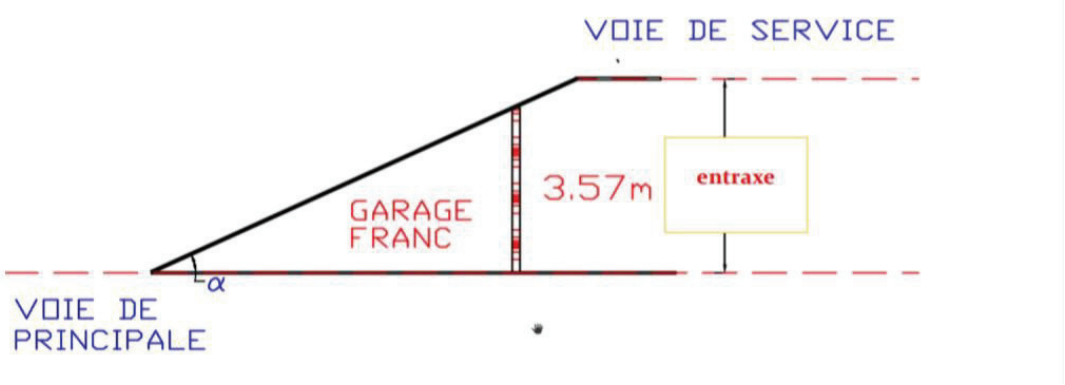
N.B : Lorsqu'on ne peut pas réaliser cette marge, faute de quoi, on doit systématiquement réduire la vitesse d'entrée avant le signal.

XI.9. GARAGE FRANC

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Il est Implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance de 3.57m. Il assure qu'il n'y aura pas de collision entre le train dévié et le train dans la voie Principale.

$$GF=f+1 = (3{,}57/tg\alpha) +1$$

Avec **α :** l'angle de déviation.



. Figure XI.2 garage franc

Pour notre projet, on prend

- Les appareils à la proche des quais ou la vitesse est de 40 km/h : appareils de voie UIC60 : 300 : 1 / 9

GF = 3.57 × (1\ tg(6.34)) +1= 33.13 m

- Les appareils encadrant la gare avec une vitesse de franchissement de 60 km\h : appareils de voie UIC 60: 500 : 1\12

GF = 3.57 × (1\ tg(4.76)) +1= 44 m

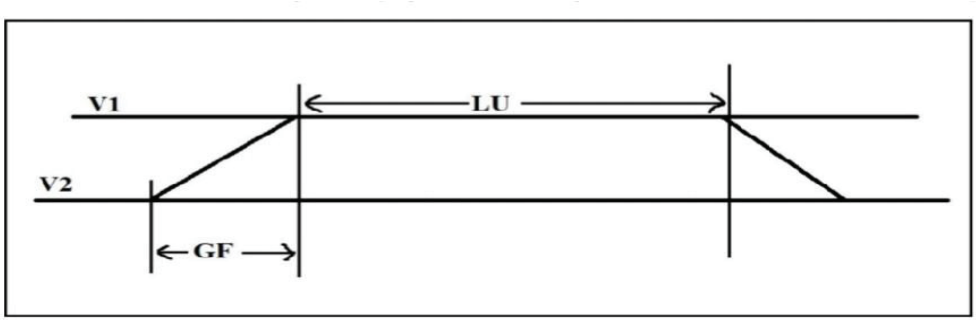
XI.10. LA LONGEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la Circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs, elle est donnée par la formule suivante :

Selon la SNTF

- La longueur utile Minimale est de : pour les trains voyageurs 426 m
- Pour les trains de marchandise 870 m (pour la voie principale et la voie de service)
- Pour les voies de gare voyageurs une longueur minimale de 1200 m (voie principale)

Pour notre projet, on considère une longueur utile de 1200 m.



FigureXI.3 longueur utile d'une voie de stationnement

XI.11. LA DECLIVITE DANS LA GARE

En gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues selon les valeurs Reprises dans le tableau suivant :

Activité en gare	Déclivité maximale
Service voyageur seul	< 10‰
Service voyageur et modification de composition des rames	<5‰
Service voyageur et stationnement prolongé des rames	<1‰

Tableau XI.1 Les déclivités dans la gare

Pour notre projet, la déclivité est de 00 ‰ afin d'éviter tous déplacement possible des trains.

XI.12. CONCEPTION DES QUAIS

Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement des voyageurs

Longueur quai (normes SNTF) :

- Banlieue 225 m.

Largeur des quais :

- la **SNTF** recommande pour une telle gare :
- Quai intermédiaire : **B > 8 m**
- Quai extérieur : **B ≥ 6m**

Hauteurs des quais :

- Quai bas : **h= 35 cm**
- Quai mi- haut : **h=55** cm (Normes SNTF)
- Quai haut : **76 ≤ h ≤ 100 cm**

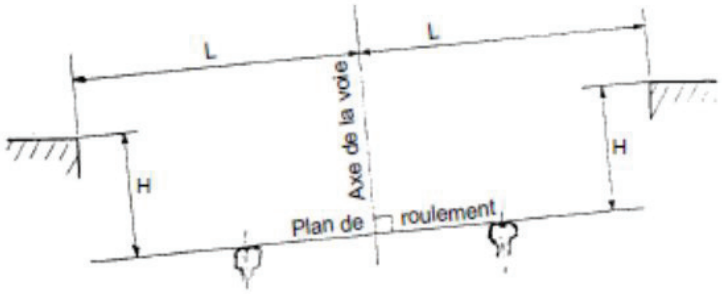


Figure XI.4 hauteur de quai

Distance par rapport à l'axe de la voie :

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$L\ (mm) = 1\ 650 + S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

H : la hauteur au-dessus du plan de roulement.

L : la distance par rapport à l'axe de la voie parallèle au plan de roulement.

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

R : étant le rayon de la voie en (m).

I : étant l'écartement de la voie en (mm).

L'entre axe des quais :

e normal > 11.3 m.

e minimal > 9.3 m. (Normes SNTF).

Dimensions	Règlement	Valeur retenue
Longueur	Banlieue 225 m. (SNTF)	L= 225 (En considérant 3 voitures de 74 m selon la composition SNTF de train de voyageur, actuellement)
Largeur	Quai intermédiaire B ≥ 8 m. Quai extérieur B ≥ 6m (SNTF)	B= 8m
Hauteur	Quai bas : **h= 35 cm** ▪Quai mi- haut : **h= 55 cm** ▪Quai haut : **76 ≤ h ≤ 100 cm**	H= 550 mm
Entraxe des quais	e normal > 11.3 m. e minimal > 9.3 m (SNTF)	e= 13.6 m (entre quai A et B).

Tableau XI 2 les dimensions du quai

XI.13. LE SCHEMA FONCTIONNELLE DE LA GARE

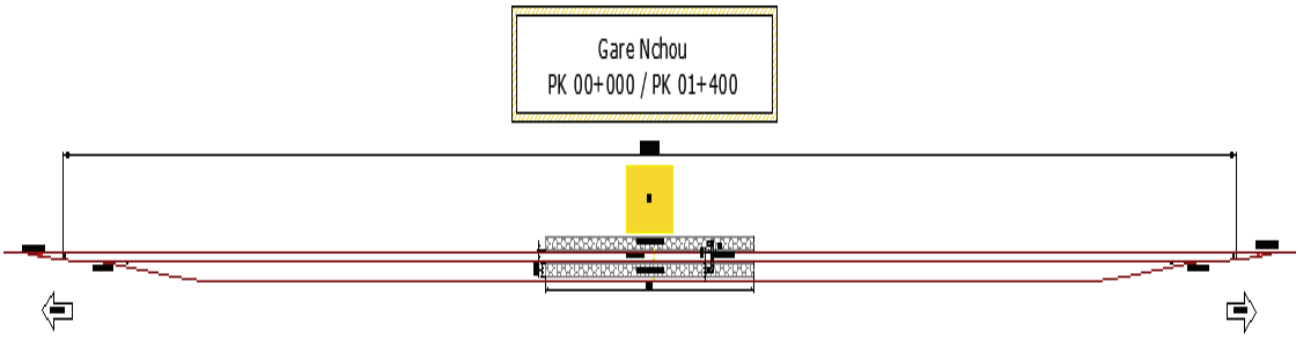


Figure XI.5 schéma fonctionnel de la gare

XI.14. DESCRIPTION DE LA GARE

La gare est située entre PK 00+000 et PK 1+400, considérée comme une gare de passage conçue pour le trafic des voyageurs, le plan de voie contiendra deux voies principales (V1 et V2) et une voie de service(V3).

XI.14.1. LE PLAN DES VOIES ET DES INSTALLATIONS DE LA GARE

- 2 quais (Quai A : 225,0 x 8,0 m / Quai B : 225,0 x 8,0 m).
- Passage souterrain destinée à la commodité et la sécurité des voyageurs.
- 2 voies principales + 1 voie de service.
- L'entraxe est fixé à 4,20 m au niveau de la gare.
- La longueur utile est 1200m.
- Appareil de voie : UIC60 1/9 300 (2 unités) et UIC60 1\12 500 (2 unités).

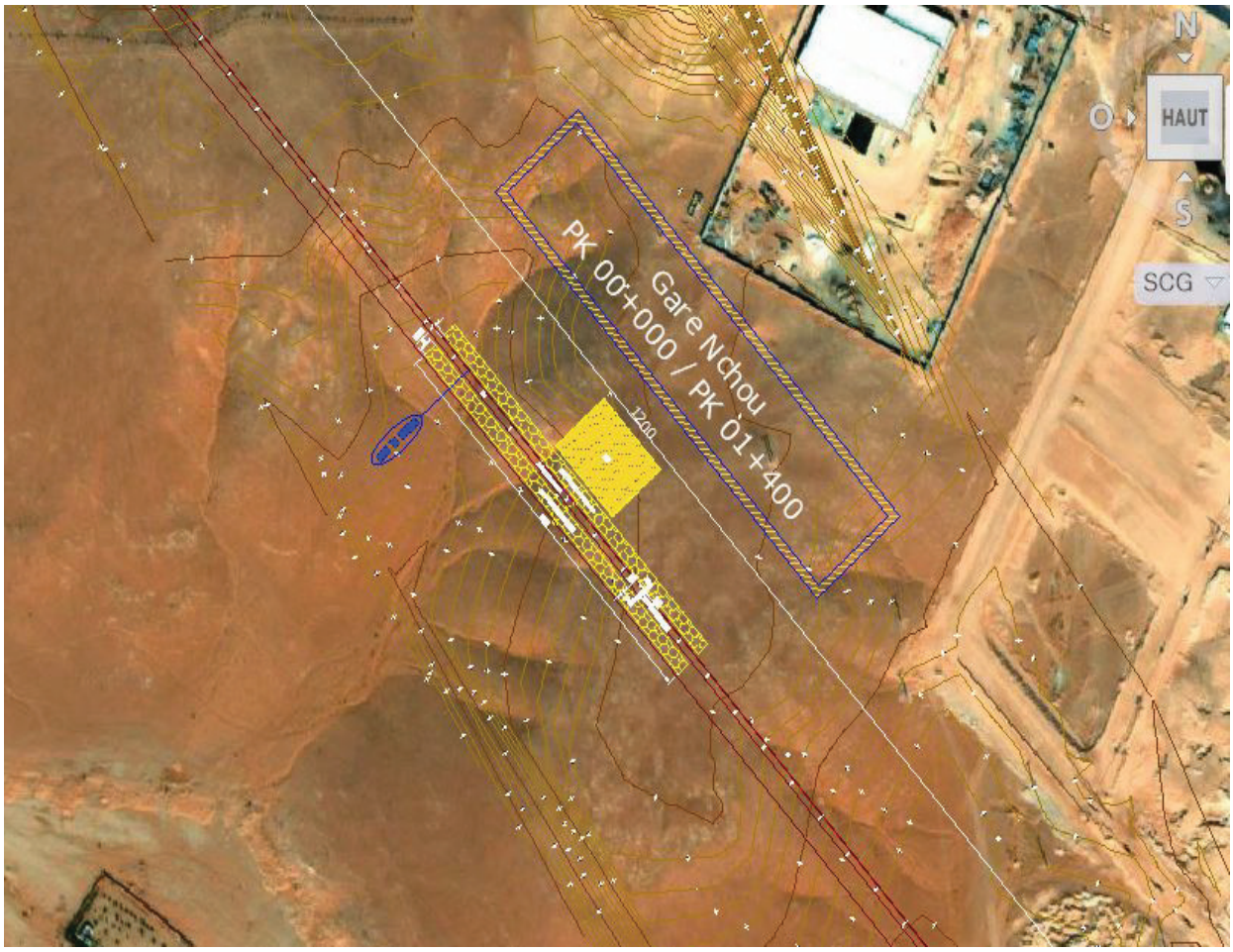


Figure XI.6 plan des voies et installation de la gare NCHOU

XI.14.2. ETUDE DE L'IMPLANTATION DE LA GARE

	Analyse de la situation d'implantation
Schéma de situation	
PK	• PK 00+000 (Wilaya Ghardaïa)
Conditions d'implantation	• L'implantation près des routes est favorable pour l'accès à la gare • Localisation compte tenu des avis de la wilaya
Conditions de transport	• Emplacement favorisant l'accès à la gare à partir de la route nchou et vice versa.
Conclusion	• Implantation de la gare près de la ville et de la zone de développement urbain afin de faciliter l'accès à la gare des habitants. • Etant localisée à proximité de la route nchou, la gare est favorable à l'accès des habitants et à l'intermodalité permettant d'utiliser des autres modes de transport au cours d'un même déplacement.

XI.14.3. JUSTIFICATION DE CHOIX DES APPAREILS

Le choix est fait selon l'article B-2-4 Du référentiel SNTF partie Appareils de voie selon l'application en différents types de branchements

ADV UIC 60 1/9 300 : Branchement d'entrés et de sortie des voies de quai utilisées par les trains voyageurs.

ADV UIC 60 1/12 500 : Branchement d'entré et de sortie voie voyageurs et des gares marchandises.

XI.14.4. Implantation des appareils de voie

Cas normal sans contraintes :

- Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m.
- Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 70 km/h.
- Appareils 60-300-1 :9 avec une vitesse de branchement de 70 km/h.

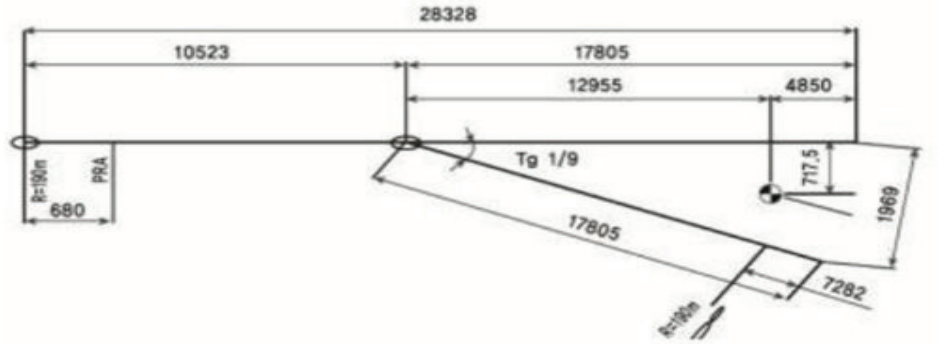


Figure XI.7 appareil de voie tg 1/9 300 60 E1

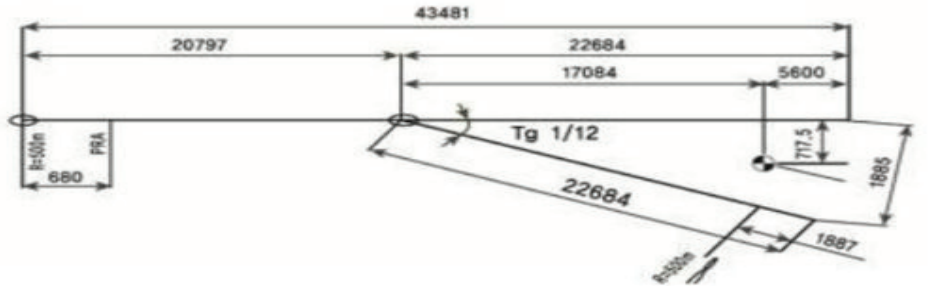


Figure XI.8 appareil de voie tg 1/12 500 60 E1

XI.14.5. PASSAGE SOUTERRAIN

Un passage souterrain est conçu pour le déplacement des passagers au sein de la gare, entre le quai et le bâtiment voyageur dont les dimensions sont dictées par le référentiels technique SNTF.

Largeur B> 2.4m

Hauteur H>2.4m

Donc on opte pour H=2.5m, B=2.5

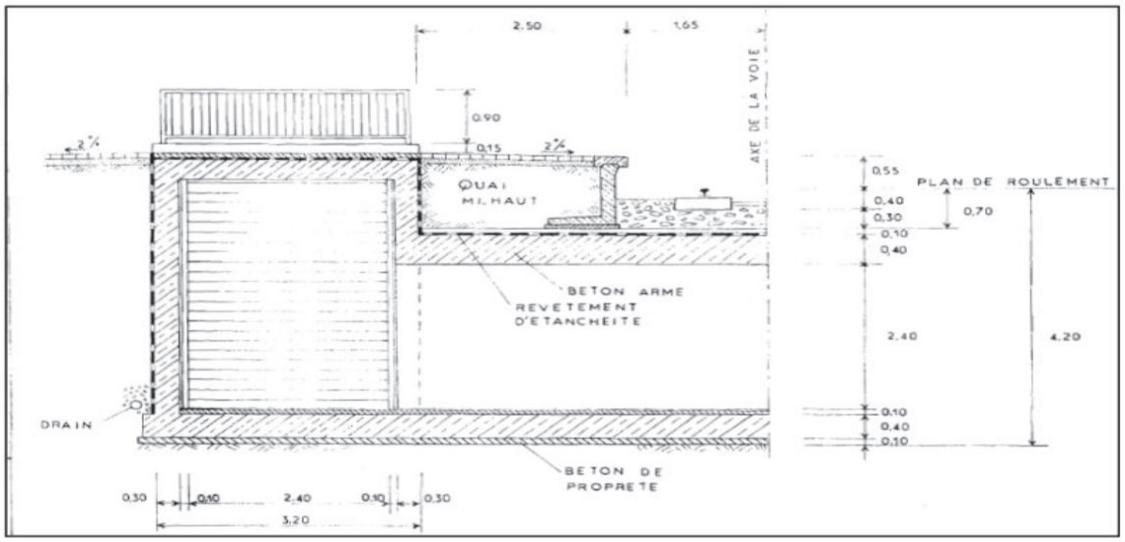


Figure IXI.9 dimensions du passage souterrain de la gare

XI.15. CONCLUSION

L'aménagement de la Gare de NCHOU a été fait d'une manière à satisfaire les besoins de la région que ça soit le transport des voyageurs et les besoins commerciaux et économiques de cette région.

CHAPITRE XII

L'ENSABLEMENT

XII. L'ENSABLEMENT

XII.1. INTROUDUCTION

L'ensablement est habituellement défini comme étant "Amas de sable formé par l'eau ou le vent. Il prend un sens plus large, il désigne tout occupation d'objets ou des surfaces par des grains de sable aboutissant ainsi à l'accumulation de sable et ou à la formation de dunes qui peuvent être continentales ou maritimes. Dans les milieux arides, l'ensablement constitue une menace sérieuse pour l'ensemble des infrastructures de développement. De plus, des effets environnementaux fatals, on enregistre les retombées de ce phénomène au plan socio-économique qui sont lourdes (baisse de production agricole, exode rural etc...). Les conditions climatiques difficiles, la perméabilité topographique, la nature des affleurements géologiques et la mauvaise utilisation des ressources naturelles sont généralement derrières la dégradation du milieu.

L'érosion éolienne est la cause primordiale de tout ensablement où le vent joue le triple rôle d'agent érosif, de transport et de dépôt (formation des dunes).

L'intensité de cette érosion dépend particulièrement de la compétence du vent qui est l'agent causal et des autres caractéristiques écologiques du milieu où s'exerce cette érosion.

XII.2. LES FACTEURS DE L'ENSABLEMENT

Les conditions climatiques :

Généralement les régions affectées par l'ensablement correspondent aux étages bioclimatiques arides et sahariens dont les principales caractéristiques écologiques particulières comme le climat et la géomorphologie. Les indices métrologiques comme : les précipitations, les températures, L'évapotranspiration et les vents sont des indicateurs à la menace du phénomène d'ensablement à la région.

L'irrégularité des précipitations :

L'aridité correspond à l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviosité et l'augmentation de l'amplitude thermique dont la principale conséquence est la sécheresse et la dégradation de la couverture végétale ; elle prédispose la région à l'ensablement si elle est associée du vent.

Évapotranspiration

L'émission de la vapeur d'eau ou évapotranspiration (exprimée en mm), résulte de deux phénomènes : l'évaporation, qui est un phénomène purement physique, et la transpiration des plantes. La recharge des nappes phréatiques par les précipitations tombant en période d'activité du couvert végétal peut être limitée. En effet, la majorité de l'eau est évapotranspirée par la végétation. Elle englobe la perte en eau due au climat, les pertes provenant de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes.

Le vent :

Le vent est une masse d'air en mouvement selon une composante horizontale qui s'écoule des hautes vers les basses pressions. A partir d'une vitesse comprise entre 4 et 6 m/s le vent soulève les particules du sol et provoque leur migration. A ce seuil, on dit que le vent est efficace. Dans les vastes étendues des milieux désertiques, le vent atteint des vitesses considérables lui permettant d'exercer des actions érosives sur le sol par les mécanismes suivants :

- Dessèchement des parties superficielles du sol.

- Emiettement du sol et arrachage des particules sableux.

- Corrosion des roches et de la végétation.

- Destruction par déchaussement de la végétation.

Le comportement de l'homme :

Depuis longtemps la nature souffre de la nuisibilité de l'homme et via ses besoins des matières premières et la mauvaise utilisation des ressources naturelles (exploitation maximale et irrationnelle) sur lesquelles s'exerce une activité humaine à travers le pastoralisme qui s'avère de plus en plus intense, provoquant la dégradation du couvert végétale des sols supports.

Les besoins des populations locales en énergie de chauffage et en pâturage ainsi que l'extension des cultures itinérantes sont les principales activités humaines mise en cause dans le déséquilibre des écosystèmes de ce milieu et par voie de conséquence du déclenchement du phénomène en l'ensablement

La formation végétale et le réseau hydrographie :

Ces conditions difficiles décrites ci-dessus ne permettent pas le développement d'une Végétation riche et variée. L'essentiel de cette végétation se concentre le long des cours d'eaux Et chenaux. En dehors de ces milieux, la végétation discontinue, de type steppique ne permet Pas une protection du sol contre l'érosion éolienne.

XII.3. IMPACTS DE L'ENSABLEMENT SUR LE MILIEU NATUREL

Les conséquences de l'ensablement sont sensibles sur tous les écosystèmes entre autres citons : l'envahissement par le sable et la stérilisation des terres de agricoles, des pâturages, des infrastructures de communication, des logements, la dégradation des ressources naturelles sols, eaux, air, végétation, faune, le tarissement des cours d'eau, des mares, des lacs et de leurs chenaux d'alimentation, etc.

Impacts sur les écosystèmes

L'ensablement a notamment des impacts négatifs de plus ou moins grande importance en fonction du milieu et des éléments qui le composent. Le premier impact qui conditionne les

autres est la perte de la diversité biologique (génétique, spécifique et écosystémique), Parmi les autres impacts sur les écosystèmes citons :

- La désertisation (avancée du désert) et la désertification.
- La pollution de l'air par des vents de sable et les poussières durant certaines périodes de l'année.
- L'assèchement des sources d'eau de surface.
- Le refoulement en profondeur des eaux souterraines.
- L'insécurité alimentaire suite à la perte de la productivité des terres et des pâturages.

Impacts sur l'agglomération humaine

Souvent, lorsque l'habitat se trouve exposé aux vents dominants, la corrosion provoque le creusement d'alvéoles et de gorges dans les matériaux de construction friables grâce aux grains de sable projetés par ces vents. Cette action érosive est d'autant plus menaçante que les vents sont violents, constants et dirigés dans une seule direction. La corrosion ronge aussi les murs en banco dans le sens d'où viennent les vents dominants qui provoquent l'ensablement des villes et des villages parmi lesquels beaucoup ont dû être évacués.



Figure XII.1 l'ensablement de la ville

Impacts sur les infrastructures

Les voies de communication terrestres, telles les routes et les lignes ferroviaires sont des zones d'accumulation des masses de sable transportées par les vents. Les sables qui s'accumulent ne viennent jamais de très loin. la zone d'accumulation est toujours associée à une zone de déflation ou zone d'alimentation.



Figure XII 2 L'ensablement de la route et de la voie ferrée

Modifications du lit des bassins versants

L'ensablement entraîne la réduction du débit du fleuve, l'assèchement, voire la disparition de certains points d'eau. Le dépôt de matières solides en suspension et charriées modifient la morphologie du fleuve avec la formation et le mouvement des méandres.

Une érosion accentuée

L'ensablement et les modifications du lit consécutives favorisent l'érosion des berges. Ce phénomène se traduit par une perte en terres valorisables (agriculture, élevage, constructions...) et un ensablement accéléré du fleuve. Le déplacement de certains villages riverains peut même s'avérer nécessaire.

XII.4. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT

De tout temps, des techniques traditionnelles de lutte préventives ou curatives, ont permis aux populations concernées de contrer ponctuellement ce risque et en quelque sorte de vivre avec. En outre, pour chaque région, nous enregistrons des pratiques spécifiques en guise d'adaptation à l'ensablement. En effet, au Sahara, milieu d'apparence peu favorable à l'occupation humaine, l'Homme a su de façon ingénieuse s'accommoder aux contraintes et rudes conditions du milieu désertique.

Pour maîtriser l'ensablement, il faut tout d'abord réduire le phénomène de saltation, processus de transport de particules, de la taille des sables ou des graviers, par le vent.

Pour cela deux moyens peuvent être envisagés :

- Stabilisation du sol,
- Réduction du gradient de la vitesse du vent au voisinage de la surface du sol.

On peut aussi faire appel à la vitesse du vent pour déblayer des points ensablés. A partir de ces principes généraux plusieurs techniques ont été utilisées à savoir :

- le profilage.
- technique de la palissade.
- technique de tas de remblais graveleux ou on pierre turbulente.
- technique de Mulch.
- méthode aérodynamique.

XII.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 la formation d'une dune Artificielle qui constitue la première phase de la lutte Contre l'ensablement.

Suivant le positionnement de la palissade par apport 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 situé pas Loin de la zone qui fait l'objet des travaux de protection.



Figure XII.3 Palissade d'arrêt (a) et palissade de défilement (b)

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).



Figure XII.4 Palissade à base de palmes

XII.4.2. TECHNIQUE DE QUADRILLAGE

Pour fixer le sable sur de grandes surfaces, des palissades parallèles successives sont implantées. Afin d'éviter le déplacement latéral du sable (tourbillons, changements dans la direction du vent), des palissades secondaires sont disposées perpendiculairement aux premières. On aboutit ainsi à un «carroyage» dont la dimension de la maille est fonction de l'intensité du vent et de sa position sur le profil de la dune.

Remarque : La technique de la palissade n'est efficace que lorsqu'on est en présence d'un vent monodirectionnel. Or, dans la nature, le vent n'emprunte pas une direction fixe mais une trajectoire qui se situe dans une fourchette entre deux directions distinctes, en plus de l'existence toujours de vents secondaires.

Pour pallier à cette insuffisance, on fait recours à l'édification de quadrillage



Figure XII.5 Carroyage de palmes destinées à protéger la section routiers d'Aïn Beïda vers Sidi Khouiled (W Ouargla

XII.4.3. METHODE AERODYNAMIQUES

La méthode aérodynamique utilise la capacité de transport du vent lorsqu'il atteint une vitesse suffisante. Cette méthode s'applique de deux façons différentes :

- Soit en lui faisant évacuer des dépôts de sable indésirables par des procédés qui accroissent sa vitesse au contact de tels dépôts,
- Soit en profilant les obstacles rencontrés par le vent chargé de sable pour que sa vitesse ne soit pas diminuée à leur contact.

XII.4.4. FIXATION PHYSICO-CHIMIQUE (TECHNIQUE DE MULCH)

Il ne s'agit plus dans ce cas d'agir sur la vitesse du vent, mais plutôt de protéger le sol ou d'augmenter sa cohésion. 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.

Les procédés utilisés sont divers :

- 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)

Ces procédés permettent une fixation temporaire des sables mobiles dont la durée est déterminée par le temps de dégradation des éléments apportés. D'autres critères doivent être pris en compte comme par exemple l'aspect esthétique de la dune fixée. Plus important, le risque de pollution de la nappe phréatique doit être considéré si l'on utilise des produits chimiques, des latex ou des produits dérivés du pétrole.



Figure XII.6 Epandage de dérivés de pétrole (bitume) pour protéger la voie Ferrée contre L'ensablement (Biskra_ Touggourt

XII.4.5. TECHNIQUE DE TAS DE MATERIAUX GRAVELEUX OU PIERRES TURBULENTES

Cette technique est basée sur les caractéristiques de l'écoulement éolien qui, selon l'analyse d'écoulements autour d'obstacles, montre que les modifications apportées à la structure du vent dépendent de plusieurs facteurs notamment ;

- la géométrie et dimensions de l'obstacle,
- l'état de surface,

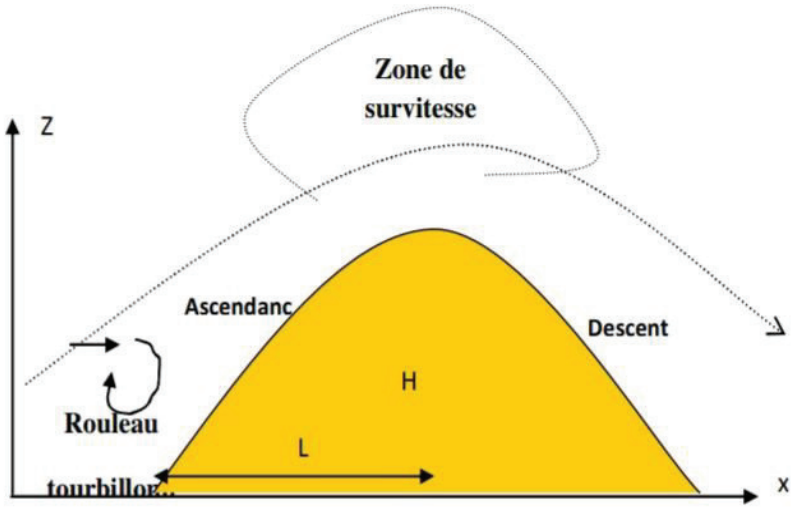
- caractéristiques du vent incident,
- l'environnement proche.

Si la nature du sol présente une discontinuité et que la rugosité change brusquement, alors la structure du vent se trouve profondément perturbée en aval du changement de rugosité. En effet, au niveau de la discontinuité, le cisaillement et le taux de production d'énergie cinétique turbulente sont fortement modifiés et affectent l'ensemble de l'écoulement (figure 6).

Au niveau du sommet se forme une zone de dépression et de survitesse, tan disque qu'au pied du versant face au vent à la rencontre du sol se forme un rouleau tourbillonnaire. Ce rouleau se déplace en aval en contournant latéralement l'obstacle, formant un tourbillon dit en ''fer cheval''.

En résumé, cette technique empêche la saltation de ce produire étant donné que le matériau doit être suffisamment graveleux pour le vent ne peut le transporté, et les fines déjà en suspension dans l'air ne peuvent se déposer sur le tas à cause de la zone de survitesse qui est en son sommet permettant de les déposées en amont.

On note aussi que cette technique est très efficace pour neutraliser complètement une dune par l'effet du vent en déposant des pierres ou un tas graveleux au sommet de la dune.



FigureXII.7 Ecoulement de vent au-dessus D'un tas de remblais

XII.5. CONCLUSION :

De façon générale, les actions de lutte contre l'ensablement demeurent ponctuelles, dispersées et Portent sur des cas d'urgence où les fronts dunaires sont devenus menaçants. Elles s'inscrivent Rarement dans le cadre d'un plan de protection globale préétabli et déterminé en fonction de la Dynamique éolienne et des types de modelés éoliens en présence, prenant en compte aussi bien les Sources de sable, les zones de transport et de dépôt.

CHAPITRE XIII

SIGNALISATION

XIII. LA SIGNALISATION

XIII.1. INTRODUCTION

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverse, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité. Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter, l'information d'une direction géographique vers laquelle le convoi va s'engager, des prescriptions concernant la traction électrique, etc. La signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

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.

XIII.3. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION

La signalisation ferroviaire est un moyen de donner des ordres au conducteur d'un véhicule et a pour objectif d'éviter :

- Les risques inhérents à la circulation ferroviaire :
  - Le « nez à nez », quand deux trains se retrouvent face à face sur la même voie
  - Le « rattrapage », quand le train suiveur rattrape celui qui le précède,
  - La « prise en écharpe », quand un train arrive sur un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction ;
- Les risques de déraillement (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillage et de travaux) ;

XIII.4. DIFFERENTS TYPES DE SIGNAUX

La signalisation classique est constituée de signaux implantés (ou présentés) le long de la voie. Elle est également appelée *signalisation latérale*.

La signalisation comporte différents types de signaux :

- **Signaux lumineux :**

En signalisation lumineuse, il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire

- **Signaux mécaniques (en voie de disparition) :**

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur

- **Signaux à main/mobiles (lampes, drapeaux) ;**

Qu'elle soit mécanique ou lumineuse, la signalisation peut comporter en outre :

XIII.4.1. LA SIGNALISATION A MAIN



signaux à main de manœuvre | signal à main de départ | signal d'arrêt à main | jalon à damier bleu et blanc

FigureXIII.1 LA SIGNALISATION A MAIN

XIII.4.2. LA SIGNALISATION AU SOL

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

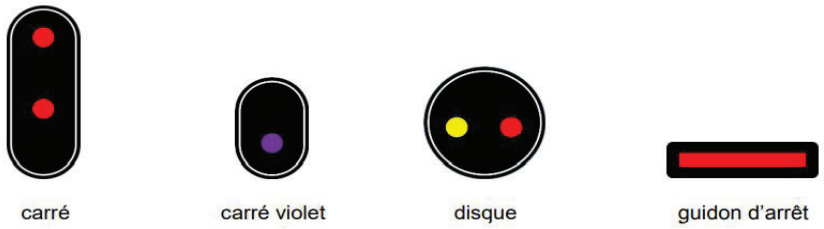


Figure XIII.2 Signaux de protection

Signaux de cantonnement :

Les signaux de cantonnement sont destinés à assurer l'espacement des circulations de même sens.



FigureXIII.3 Signaux de cantonnement

Signaux d'annonce d'arrêt :

Le feu jaune clignotant commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite



Figure XIII.4 Signaux d'annonce d'arrêt

Signaux d'indication de marche :

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



Figure XIII.5 Signaux d'indication de marche

Signaux de limitation de vitesse :

Ils limitent à un taux déterminé la vitesse des trains sur une partie de voie ou au franchissement de certains points particuliers (aiguille, traversée de gare, etc.).

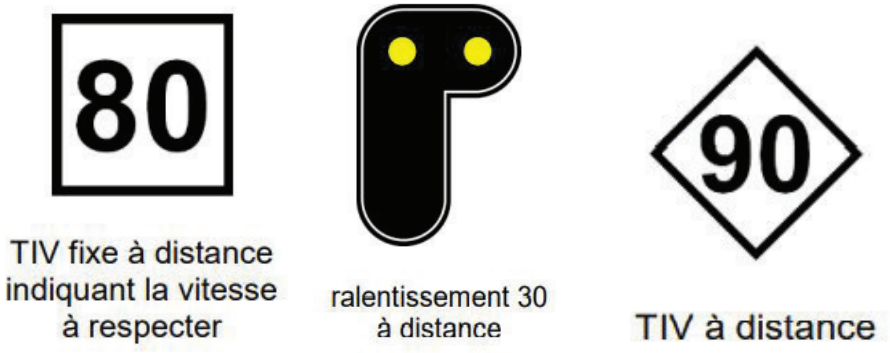


Figure XIII.6 Signaux de limitation de vitesse

Signaux indicateurs de direction :

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

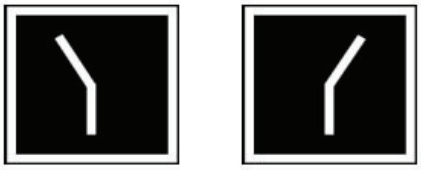


tableau indicateur de direction
à distance
(TIDD)

Figure XIII.7 Signaux indicateurs de direction

Signaux caractéristiques de prescriptions particulières :

Ils renseignent les conducteurs sur des particularités

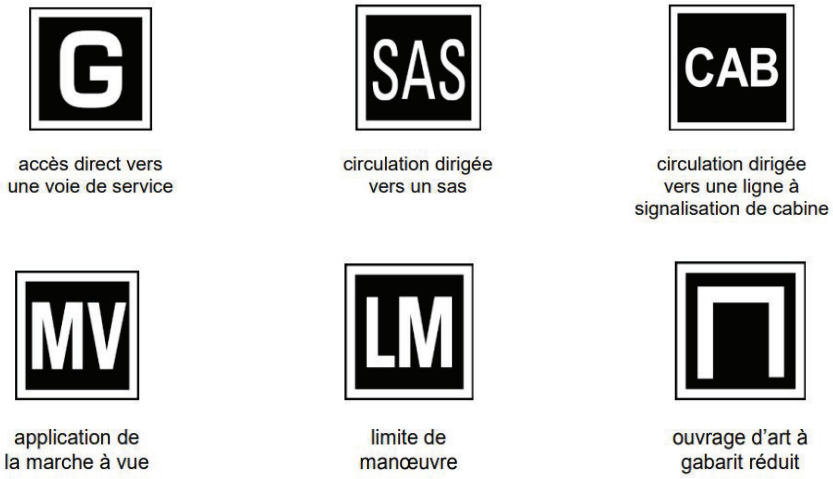


Figure XIII.8 Signaux caractéristiques de prescriptions particulières

XIII.4.3. LA SIGNALISATION DE CABINE

Sur les lignes à signalisation de cabine, le système transmet de manière continue (ou discontinue) en cabine de conduite des ordres et une consigne de vitesse associée éventuellement à une distance but.

De plus que les signaux cités précédemment. Voici les principaux éléments considérés au sein du système de signalisation :

- Cantonnement.
- Compteurs d'essieux
- Enclenchements.

XIII.4.3.1. LE CANTONNEMENT

Le canton est une portion de voie ferrée qui est la base du système permettant l'espacement des trains, ce qui permet d'éviter les rattrapages

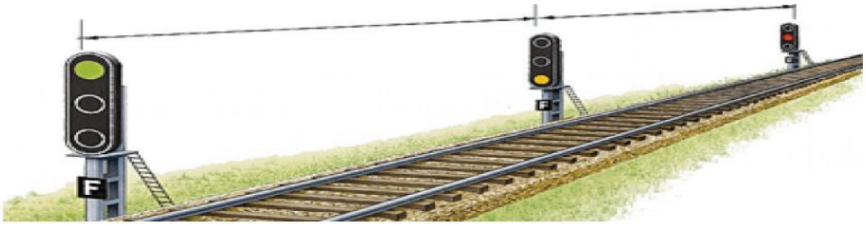


Figure XIII.9 LE CANTONNEMENT

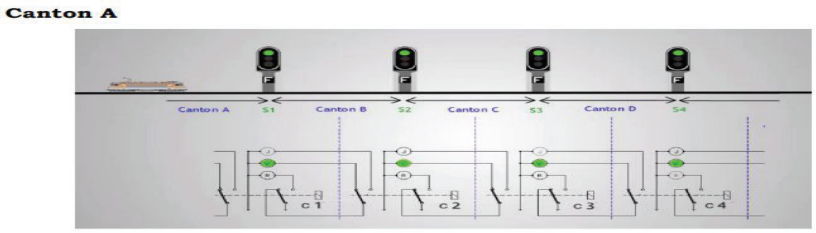
Principe :

La ligne de chemin de fer est divisée en plusieurs secteurs que l'on appelle des cantons. Chaque canton, est protégé par un signal. Le cantonnement est le moyen généralement employé pour assurer l'espacement des trains circulant dans le même sens sur une même voie.

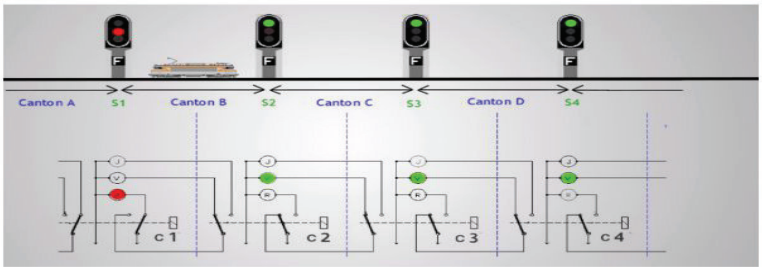
Par principe, on n'admet que la présence d'un seul train dans un canton donné. Lorsqu'un train entre dans un canton, les essieux du train engendrent un court-circuit entre les deux fils du rail. Cela provoque la fermeture du signal à l'entrée du canton, il présente donc un feu rouge.

Lorsque le train pénètre dans le canton suivant, le signal protègent présente à son tour un feu rouge, alors que le signal du premier canton présente désormais un feu orange

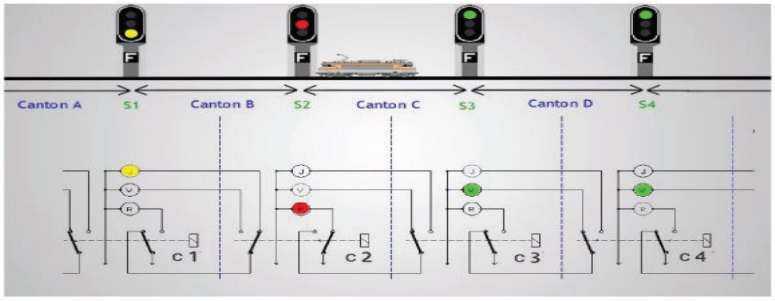
Lorsque le train pénètre dans le troisième canton, le signal le protégeant donne l'indication feu rouge. Le signal du second canton donne l'indication feu jaune, et le signal du premier canton donne désormais l'indication voie libre. (Feu vert). Pour ce type de signalisation, il n'y a donc pas d'intervention humaine. C'est le train qui se protège lui-même



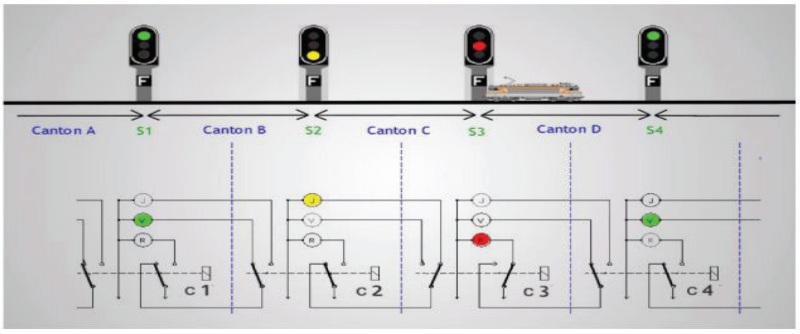
Canton B



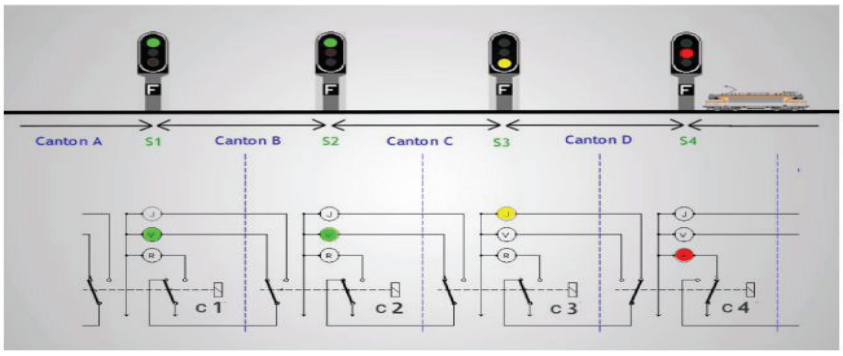
Canton C



Canton D



Canton E



XIII.4.3.2. COMPTEUR D'ESSIEU

Principe :

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 connaitre 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.10 Compteur d'essieux

XIII.4.3.3. ENCLENCHEMENTS

Un enclenchement est un ensemble d'appareils de signalisation qui empêche la manœuvre d'un signal ou d'un appareil de voie dans les zones d'action des postes d'aiguillages (jonction, croisement de rails...). Il intervient en immobilisant un organe de commande (levier ou relais de commande par exemple) ou par coupure électrique dans le but de n'autoriser le passage d'un mouvement d'appareils de voie que lorsque toutes les conditions de sécurité nécessaires à ce mouvement sont réalisées

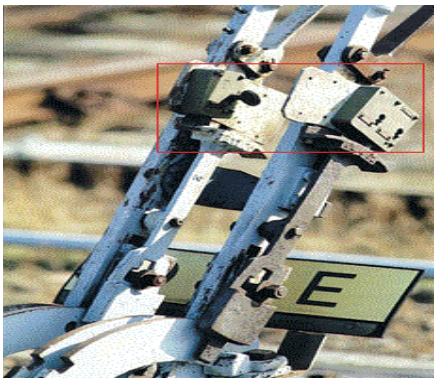


Figure XIII.11 ENCLENCHEMENTS

XIII.5. 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.

L'objectif de l'implantation des signaux est de permettre aux conducteurs de savoir ou rechercher l'information pour pouvoir s'y conformer le plus rapidement possible.
(**Tout agent quel que soit son grade doit obéissance passive et immédiate aux signaux le concernant**)

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.

La déclivité moyenne « i » est le quotient de la différence de niveau entre les deux positions kilométriques exprimées en millimètres par leur distance exprimée en mètres. Le quotient est affecté :

- Du signe + s'il s'agit d'une pente,
- Du signe - s'il s'agit d'une rampe.

Exemple de distance d'implantation des signaux

Déclivités	Avertissements	Limitations de vitesse à:									
		≤ 60	70	80	90	**100**	110	**120**	130	140	150
		Lignes à 160 km/h									
-8 ≤ i < -4	1 350	1 350	1 300	1 300	1 250	1 200	1 100	1 050	900	750	500
-4 ≤ i < 0	1 400	1 400	1 350	1350	1 300	1 250	1 150	1 100	950	800	550
0 ≤ i ≤ 4	1 500	1 500	1 450	1 400	1 350	1 300	1 200	1 100	950	800	550
4 < i ≤ 6	1 500	1 550	1 500	1 450	1 400	1 350	1 250	1 150	1 000	850	600
6 < I ≤ 8	1 500	1 600	1 550	1 500	1 450	1 400	1 300	1 200	1 050	900	650

Tableau XIII.1 exemple de distance d'implantation des signaux

Sur le réseau ferré, la circulation s'effectue normalement à gauche de ce fait les signaux sont positionnés :

• A gauche de la voie,

• Dans la partie gauche au-dessus de la voie,

• Dans la voie (ils peuvent être implantés à droite pour éviter notamment l'installation coûteuse de portiques ou de potences),

• Dans certains cas à droite de la voie.

Ils sont positionnés :

Sur mâts.



FigureXIII.12 implantation des signaux sur mat

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.



Signaux sur potence

FigureXIII.12 implantation des signaux sur potence



Signaux sur portique

FigureXIII.12 implantation des signaux sur portique

Des signaux de type bas peuvent être installés dans les entre-voies réduits au ras du sol lorsque l'utilisation d'un signal sur mât n'est pas possible.



Signal de type bas

FigureXIII.12 implantation des signaux bas

XIII.6. LA VISIBILITÉ DES SIGNAUX

Principe :

La sécurité reposant essentiellement sur l'observation des signaux, il importe que :

- Toute indication présentée par un signal, quel qu'il soit, sollicite par elle-même l'attention du mécanicien,
- L'environnement ne puisse pas être une cause de gêne, de distraction ou de confusion pour le mécanicien, tant de jour que de nuit,
- La qualité de la visibilité soit maintenue en permanence.

Définition de la visibilité « normale » :

La visibilité d'un signal est dite « normale » lorsque ses indications peuvent être vues depuis le poste de conduite d'une cabine frontale dans les conditions suivantes :

- De jour,
- Par temps clair,
- D'une façon continue (sans masque, ni éclipse),
- Sur une distance minimale de :
- 100 m pour $V \leq 60$ km/h,
- 200 m pour 60 km/h $< V \leq 120$ km/h,
- 300 m pour $V > 120$ km/h.

V étant la vitesse maximale à laquelle peut être abordé le signal. Lorsque les distances ci-dessus ne peuvent être obtenues, le signal est considéré comme ayant une visibilité « réduite » et son approche doit alors être repérée.

Approche des signaux à visibilité réduite :

L'approche des signaux à visibilité réduite est en principe repérée par des mirlitons, du type normal ou du type bas, non éclairés la nuit, mais réflectorisés dans les souterrains, présentant respectivement trois bandes, deux bandes, et une bande, obliques noires sur fond blanc, distants de 100 mètres les uns des autres et du signal correspondant. Ce mode de repérage n'est pas utilisé à l'égard des signaux de chantier (§1.4.2).





Fig. 1.172
Mirlitons repérant l'approche d'un signal à visibilité réduite.

Figure XIII.14 l'approche d'un signal a visibilité réduite

XIII.7. SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS

Pour garantir une circulation des trains sûre et sans entrave, des systèmes de commande et de sécurité sont nécessaires. En Europe, En Afrique des systèmes mutuellement incompatibles, ont été installés au fil du temps, en général sur une base nationale.

Pour pouvoir franchir les frontières, les véhicules moteurs doivent donc être équipés d'un, voire plusieurs systèmes de protection des trains compatibles avec la réglementation des pays traversés.

Cela se traduit par un surcoût d'équipement des locomotives, et si ce n'est pas le cas, par la nécessité de changer de locomotive à la gare Frontière, solution coûteuse et pénalisante pour les délais d'acheminement.

C'est la volonté de réduire les temps et les coûts de passage aux frontières, et d'abaisser les charges d'investissements par la création à l'échelle européenne et Africaine d'un marché des systèmes de protection des trains, qui est à l'origine, au début des années 1990, du concept d'un système uniforme de protection des trains.

Le système ETCS a été mis au point depuis 1996 sur la base de la directive 96/48 de l'Union européenne concernant l'interopérabilité du système ferroviaire transeuropéen à grande vitesse, en s'appuyant, pour le niveau 2 et le futur niveau 3, sur le système de communication radio GSM-R (*Global system for mobiles communication – Rail-ways*).

XIII.7.1. DEFINITION DE L'EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEME (ETCS)

ETCS est la composante majeure de signalisation et de contrôle des trains de l'ERTMS (European Rail Trafic Management System), le système européen de gestion du trafic ferroviaire. ETCS calcule en permanence, pour chaque train, une vitesse maximale de sécurité avec signalisation en cabine à l'intention du conducteur et met en œuvre des systèmes embarqués qui reprennent le contrôle en cas de dépassement de la vitesse autorisée. Il y a, dans le cadre d'ETCS, normalisation des équipements au sol et des systèmes embarqués à bord des trains en respect des différents niveaux que connaît l'ETCS.

XIII.7.2. OBJECTIFS DE L'ETCS

L'introduction de l'ETCS doit non seulement simplifier la conduite des trains et rendre plus intelligente et plus sûre la signalisation, mais aussi :

- Réduire les charges d'investissements et d'entretien des installations fixes (par exemple, les signaux),
- Remplacer les différents systèmes nationaux de protection automatique des trains dans le transport à grande vitesse, et ainsi :

  Permettre l'interopérabilité des lignes à grande vitesse européennes ;

  - Augmenter la capacité des lignes ;
  - Améliorer la vitesse moyenne des transports.

XIII.7.3. EUROPEAN TRAIN CONTROL SYSTEME (ETCS) NIVEAU1 :

L'ETCS Niveau 1 se superpose facilement sur le système de signalisation national existant et assure une signalisation en cabine. Les autorisations de circulation peuvent être accordées par des Eurobalises fixes et commutables. Elles envoient également des données d'itinéraire à l'unité embarquée. Sur la base des données reçues il y a, à tout moment, calcul de la vitesse maximale ainsi que les courbes de freinage. Il est possible, en plus d'Eurobalises, de mettre en œuvre Euroloop (loop infill = remplissage par boucle) ou une solution radio (remplissage par radio ou sans fil) qui transmet des données en continu sur une distance plus importante.

XIII.7.3.1. TRANSMISSION SOL-MACHINE

Ce niveau utilise une transmission ponctuelle à l'aide de balises placées au pied des signaux et en amont. Ces balises (euro-balises) communiquent les données de signalisation au train.

Des balises assurent ponctuellement la transmission d'information à l'aide des paquets informatiques unifiés ETCS dits "P44", reconnus par toutes les locomotives pourvues des éléments « bord » de l'ETCS Niveau 1. Le GSM-R n'intervient pas pour la transmission de données.



FigureXIII.15 une balise



Figure XIII. 16 module de transmission

Le système de transmission ponctuel est constitué de la façon suivante :

- Un codeur appelé LINE–SIDE ELECTRONIC UNIT (LEU) permet de coder les informations de signalisation au format ERTMS. Il est en interface entre les installations de signalisation latérale et la balise.
- Balise fixe qui contient des messages programmés de manière fixe (point kilométrique, déclivité, signaux à indication fixe, …….)
- Balise commutable qui reçoit des messages qui dépendent de la signalisation.

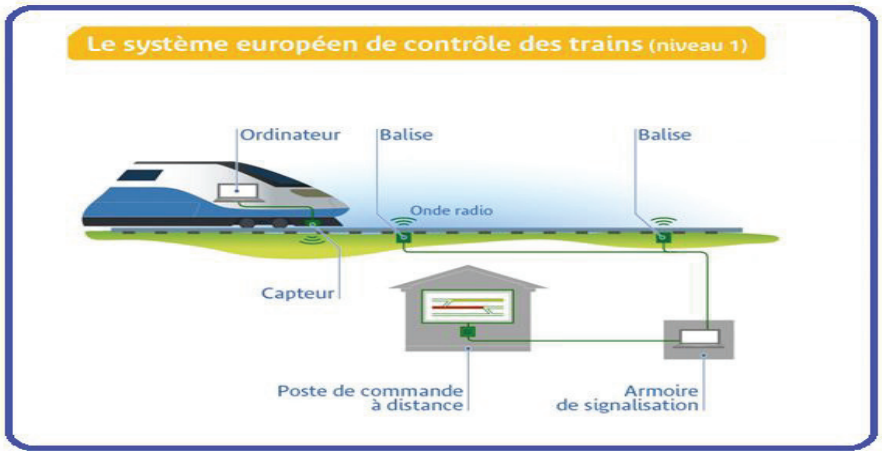


Figure XIII.17 ERTMS niveau 1

XIII.7.3.2. DETECTION DES TRAINS

Les niveaux 1 et 2 nécessitent l'utilisation d'un système de détection des trains au sol.

Compte tenu de la longue distance entre les gares en tant que ligne à voie unique et de la fréquence faible des trains, il est souhaitable d'adopter un compteur d'essieux considéré comme un moyen économique en vue de la détection des trains. Le compteur d'essieux ne permet pas de détecter la coupe du rail en l'absence du courant destiné à détecter le train sur le rail. Toutefois, la sécurité, la durabilité et la maintenabilité sont exceptionnelles.

Toutes ces informations ne peuvent donc être transmises que ponctuellement au train, cette ponctualité pouvant être augmentée en jouant sur le nombre de balises, ou en installant une boucle (EUROLOOP), équivalent d'une balise mais longeant la ligne sur une certaine distance.

XIII.7.3.3. EQUIPEMENTS EMBARQUES

Le système ETCS se compose de deux « modules », l'un au sol et l'autre à bord. Le module au sol transmet des informations permettant à l'ordinateur à bord du train de calculer à chaque instant la vitesse maximale permise. Cet ordinateur à bord freine automatiquement le train lorsque cette vitesse est dépassée.

ETCS utilise l'état de l'art en matière de technologie télématique et fournit des fonctions d'alerte, de protection et de contrôle des trains qu'on ne peut garantir à niveau élevé avec les actuels systèmes nationaux.

Les derniers développements en matière de télématique appliquée permettent une utilisation poussée de transmission de données tout en garantissant la non-interférence de l'environnement électrique (la caténaire et la traction moderne), qui caractérise le chemin de fer moderne et qui donne encore beaucoup de fil à retordre à la signalisation classique en matière de filtrage des courants vagabonds (motorisation triphasée, retour de courant…). Le principe général est basé sur la transmission de paquets informatiques via des balises au sol. Un équipement de bord EVC (Européen vital Computer) centralise les messages reçus et les traduit sur un écran unifié (DMI) face au conducteur qui adaptera sa conduite en fonction des autorisations de mouvements successives qui lui sont transmis. Le train reste localisé à la fois par le biais de compteurs d'essieux et par les balises.

XIII.7.4. ETCS NIVEAU 2 :

Le niveau 2 est un système de signalisation et de sécurité ferroviaire numérique qui repose sur la radiocommunication numérique. L'autorisation de circuler et le signal de marche sont affichés dans la cabine du conducteur. Les installations de signalisation extérieures deviennent donc superflues, à l'exception de quelques indicateurs. Les dispositifs de contrôle de l'état libre des voies et de contrôle de l'intégrité du train restent cependant déployés au sol. Tous les trains signalent automatiquement, à intervalles réguliers, leur position précise et leur sens de marche au poste central (Radio Block Centre RBC), qui contrôle en permanence les mouvements des trains.

L'autorisation de circuler est transmise en permanence au véhicule via GSM-R, avec les données concernant la vitesse et le parcours. Les Euro balises font dorénavant office de balises de localisation passives, à l'instar de « bornes kilométriques électroniques ». Entre deux balises de localisation, le train signale sa position par l'intermédiaire de capteurs (capteurs d'essieux, accéléromètre et radar). Les balises de localisation servent alors de points de référence permettant la correction d'éventuelles erreurs de mesure du parcours.

L'information reçue par radio et par les Euro balises est traitée à bord, puis présentée au conducteur. L'ordinateur embarqué contrôle en permanence les données transmises et la vitesse maximum autorisée.

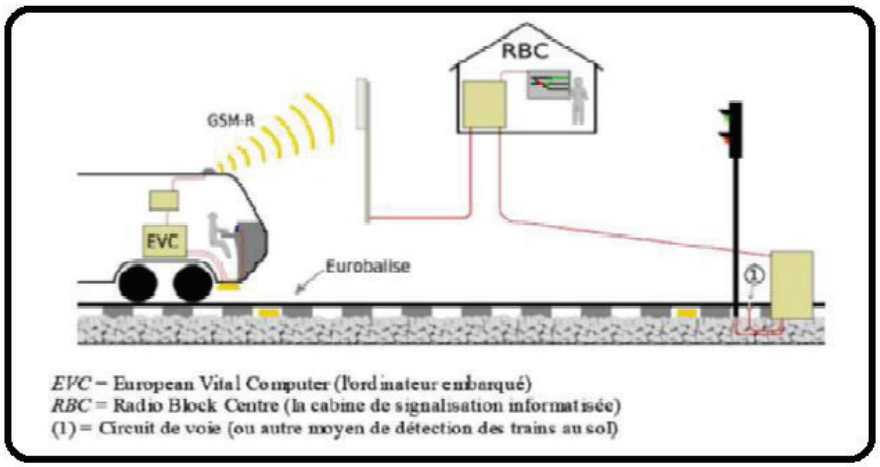


Figure XIII.18 ETCS niveau 2

XIII.7.5. CHOIX DU PROJET

La boucle sud-est doit être dotée du nouveau standard européen ERTMS/ETCS (Européen Rail Trafic Management System / Européen Train Control System) niveau 2 qui a été retenu comme système nominal de protection des trains.

Pour gérer les modes dégradés, on installera également le niveau 1 et une signalisation latérale.

CHAPITRE XIV

ELECTRIFICATION

XIV. ELECTRIFICATION

XIV.1. INTRODUCTION

Afin d'assurer une alimentation énergétique aux différents équipements constituants la nouvelle ligne ferroviaire, il est nécessaire d'avoir un système d'énergie fiable est qui répond aux exigences de disponibilité et de sécurité et prévoir des mesures spéciales pour une éventuelle défaillance du réseau.

XIV.2. PRINCIPES FONDAMENTAUX

Une installation électrique doit permettre d'assurer l'alimentation de tous les appareils d'utilisation d'un local ou d'un site avec :

- Une bonne continuité de service,
- Une facilité normale d'exploitation, y compris lors d'opérations de maintenance (entretien, maintenance corrective, …),
- Une possibilité facile d'adaptation aux besoins, même en cas d'extension,
- Une sécurité optimale des personnes et des biens,
- Une bonne durabilité dans le temps,
- Un bon rendement économique.

NB : Lors du chiffrage de l'investissement, il est primordial de ne pas limiter le projet au simple coût de l'installation seule. Il faut également prendre en compte le coût d'exploitation et le coût des pertes d'exploitation en cas de dysfonctionnement.

L'optimisation de ces trois facteurs : coût de l'installation, coût d'exploitation, coût des pertes d'exploitation doit conduire à la meilleure solution.

XIV.3. SYSTEME D'ALIMENTATION ELECTRIQUE

Le nombre et la puissance des sous-stations de traction seront calculés pour assurer le trafic sous conditions normales et dégradées pour qu'on puisse attendre les critères d'exploitation exigées. .

On peut diviser un système d'électrification en cinq grands ensembles :

- Lignes de haute tension pour l'alimentation des sous stations (Lignes HT SONELGAZ).
- Sous station de traction abaisseurs et ces équipements.
- Lignes d'alimentation du matériel mobile qui transportant l'énergie.
- Matériel mobile (trains)
- Courant de retour.

Afin de garantir l'alimentation en énergie, deux systèmes d'électrification sont proposé :

- Le système 1X25 Kv /50Hz.
- Le système 2X25 Kv /50Hz.

XIV.3.1. LE SYSTEME 1X25 KV

Dans le système 1X25Kv, l'alimentation est faite par l'intermédiaire de transformateurs monophasé (ou plusieurs), le courant industrielle HT est reçu coté primaire, donnant coté secondaire une tension de 25 KV-50Hz.

L'énergie est donc transporté par les caténaires jusqu'à son point d'utilisation, qui va être capté par le pantographe ensuite transformé sur la machine pour alimenter les moteurs de traction.

Il rejoint les rails par l'intermédiaire des essieux et des roues et retourne à la sous-station, à la fois par le sol et par les rails qui eux même sont reliés à la sous station par des câbles constituant l'arrière de retour.

La distance de séparation entre les sous stations varie de 30 à 45 Km selon les caractéristiques du tracé, vitesse maximale, trafic, tonnage transporté, et le type du matériel roulant.

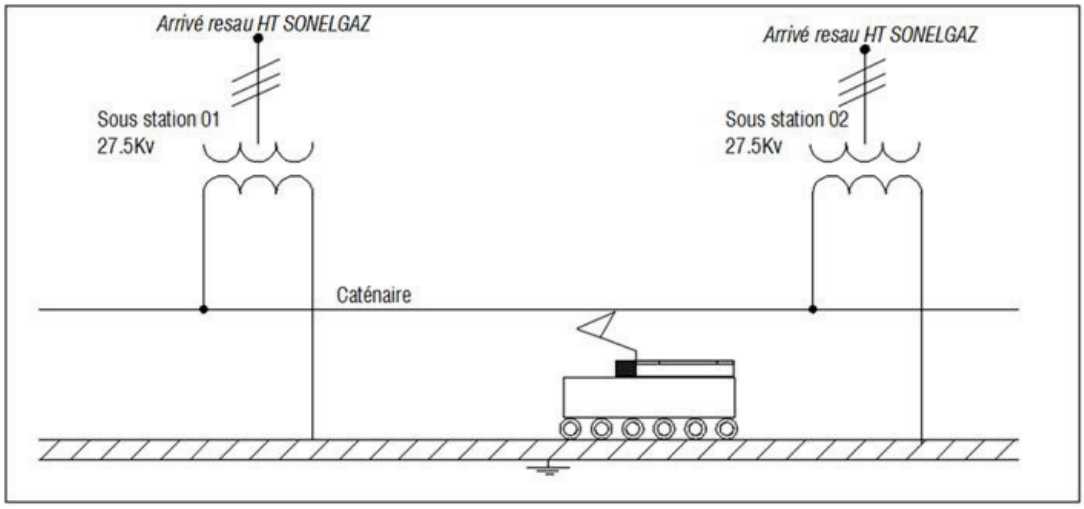


Figure XIV.1 schéma exemplaire d'une alimentation avec système 1×25 kv

XIV.3.2. LE SYSTEME 2X25Kv

Dans le système 2X25Kv, les autotransformateurs sont utilisés pour fournir une tension double par rapport à la tension d'alimentation du matériel roulant.

L'avantage de ce système est que la tension du pantographe reste à 25Kv , mais la potentialité est supérieure puisqu'en fournissant de l'énergie a 50KV , les courants sont partagé a deux , et donc les chutes de tension sont inférieurs , ce qui nous permet d'augmenter la longueur des sections avec , et par conséquence , une réduction du nombre des sous stations .

Dans le système 2x25 kV, on peut estimer une distance de séparation maximale entre sous-stations d'approximativement 55 – 90 km. Ces valeurs peuvent varier en fonction du trafic, caténaire employée, vitesse de la ligne, etc.

XIV.4. ANALYSE COMPARATIVES DES DEUX SYSTEMES

Avantages :

- Le système 1x25 KV ne nécessite pas la mise en place d'autotransformateurs ni de dispositifs de coupure et de télécommande /telé-controle (SCADA) supplémentaire.
- Les transformateurs ont une puissance moins élevée et sont donc plus petits.
- Une simplicité de fonctionnement comparant au système 2X25kv.
- Niveau d'isolement moindre suite à l'utilisation des tensions moins élevé que dans le système 2X25Kv.

Inconvenants :

- Les sections d'alimentation sont plus courtes que le système 2x25KV, d'où un nombre très important de sous-stations.
- Plus de points de raccordement HT qui cause des frais supplémentaires.
- Les rails sont plus sollicités, que dans le système 2x25KV, par les intensités cumulées du courant de retour de tous les trains se trouvant simultanément dans un secteur d'alimentation.
- Chutes de tension électrique suite au transport de l'énergie avec des tensions moins élevé (25Kv).

Avantages :

- Possibilité de réaliser des distances plus importantes entre les sous-stations, et par conséquent un nombre plus réduit de sous-station (le trafic égal et la chute de tension admise au pantographe équivalente, le nombre de sous-stations est pratiquement divise en deux).ceci limitera notablement le nombre de points de raccordements au réseau de Sonelgaz.
- Ce système apporte dans les zones à forte urbanisation une meilleure protection contre les perturbations électromagnétiques.
- Plus petite chute de tension électrique et par conséquent des pertes mineures suite au transport de l'énergie avec des tensions plus élevé (50KV).
- Le système 2X25KV peut travailler comme le système 1X25Kv, mais jamais le contraire, ce qui nous offre plus de flexibilité.
- Un déséquilibre moindre sur le réseau Sonelgaz suite à la diminution des points de raccordement HT

Inconvenants :

- Nécessite d'installer des autotransformateurs le long de la ligne. Ceci est largement compensé par le nombre réduit des sous-stations et des points de raccordements au réseau de Sonelgaz.
- Transformateurs de plus grande puissance à cause des sections d'alimentation importantes et le déséquilibre de tension localement provoqué sur le réseau de Sonelgaz est important. Ce déséquilibre de tension peut être réduit en choisissant de points de raccordements avec des niveaux de tension plus importante.
- Surcouts pour fournitures et le montage à cause de I nécessite de disposer de deux pôles pour équipements des sous-stations et autotransformateurs.

XIV.5. LE COUT DES SYSTEMES D'ELECTRIFICATION

Le cout du système 1X25 Kv :

Sous station de traction 1X25Kv	655, 000,000 Da
Poste de sectionnement	20, 000,000 Da
Système de contrôle Scada pour chaque sous-station.	150, 000,000 Da
Cout kilométrique Caténaire 1X25Kv	19, 640,000 Da

Tableau XIV.1 Coût système 1×25kv

Le cout du système 2X25 Kv :

Cout d'une Sous station de traction 2X25Kv	800, 000,000 Da
Poste auto transformateur simple	180, 000,000 Da
Cout kilométrique Caténaire 2X25Kv	20, 710,000 Da
Système de contrôle Scada pour chaque sous-station. 2X25Kv	216, 000,000 Da

Tableau XIV.2 Coût système 2×25kv

Cout du raccordement HT :

Les facteurs à prendre en considération pour les raccordements HT sont :

- Typologie de la ligne : Aérienne ou souterraine
- Longueur de la ligne.
- Tension de la ligne (220,60Kv)

Pour ce projet il est recommandé d'utiliser le raccordement aérien qui est cinq fois moins cher que le souterrain.
Les couts du raccordement HT du réseau sonelgaz sont déterminés dans le tableau suivant :

Cout kilométrique du la ligne aérienne SONELGAZ	14, 000,000 Da
Cout travée ligne extérieur pour chaque sous station	165, 000,000 Da

Tableau XIV.2 Coût du raccordement HT

XIV.6. LES SOUS STATIONS SONELGAZ HT DISPONIBLES :

Sous station	Coordonnées GPS	Image
Poste HT Laghouat	33°45'0.99"N 2°53'42.62"E	
Poste HT Ghardaïa	**32°30'23.13"N** **3°41'6.73"E**	

Tableau XIV.3 SOUS STATIONS SONELGAZ HT DISPONIBLES

XIV.7. LES SOUS STATIONS

XIV.7.1. DEFINITION

Une sous-station étant un ensemble des équipements groupés dans un bâtiment ou à l'air libre permettent de transformer l'énergie fournie par les centrales sur un réseau public, ou un réseau spécial en énergie utilisable par les engins de traction.

Le courant utilisé pour la traction électrique étant produit et transporté sous forme de triphasé à haute tension qu'il faut abaisser, c'est le rôle des « sous-stations ».

Ce sont donc des postes fixes destinés à l'alimentation des lignes caténaires sous la tension d'utilisation des engins moteurs. Ces derniers sont composés essentiellement d'un jeu de barres sectionné auquel sont reliés, par l'intermédiaire de disjoncteur :

- du côté amant, la ligne HT de Sonelgaz.
- de l'autre côté, deux transformateurs monophasés lesquels sont connectés à deux lignes parmi les trois phases du réseau de Sonelgaz.

XIV.7.2. EQUIPEMENTS DES SOUS STATIONS

Les sous-stations, ainsi que nous l'avons dit, composées d'un l'ensemble des équipements groupés dans un bâtiment ou à l'air libre permettant de transformer l'énergie fournie en une énergie utilisable par les engins de traction. En ce sens, la sous-station comprend :

- Un poste extérieur, composé d'un jeu de barres et des équipements de protection et de coupure permettant de séparer les lignes et la sous-station,
- Un ou plusieurs groupes de transformation,
- Des départs caténaires avec des moyens de sectionnement.
- Des auxiliaires.

XIV.7.2.1.CATENAIRE

La caténaire est l'ensemble des installations qui permettent aux locomotives électriques d'utiliser l'énergie produite par les sous stations de traction, elle se compose des éléments suivants :

Les Support :

Le support est fréquemment en H en acier galvanisé, l'ancrage au sol est réalisé par une fouille bétonnée par des tiges.

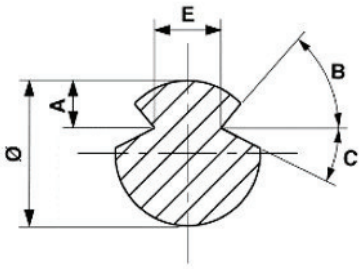
Généralement les supports utilisées pour la caténaire 25Kv sont de type HE-A, HE-B ou parfois jumelées (JHE-A, JHEB) fixés au sol par un massif en béton à une profondeur qui dépend de la nature du sol et de la force qu'exerce la caténaire sur le poteau



Le fil de contact :

Le fil de contact rainuré fait partie du sous-système caténaire pour pouvoir transmettre l'énergie électrique aux locomotives.

Sa section circulaire comprend deux rainures pour la prise des griffes de suspension, suivant la tension d'alimentation et la puissance demandée, la section varie de 107mm² à 150mm².





Pour le système d'alimentation 1X25 KV, le fil du contact recommandé est de 107mm² de section en cuivre dur électrolytique de 98% de conductibilité, sa masse est de 0.950 kg et sa charge de rupture a la traction de 3831daN.

Le Câble porteur :

Le porteur peut être en cuivre Cu, bronze, ou en Al-acier, en fonction des critères dynamiques et des résultats du dimensionnement électrique.

Dans le cadre de ce projet, le porteur recommandé est de 65mm² de section en bronze.

Circuit de retour :

Le circuit de retour du courant de la traction est composé du câble CDPA (câble de protection aérien) et les rails, des connexions rail – poteaux sont établie afin de mettre la liaison équipotentielle de l'ensemble du système.

Les types de câbles à utiliser peuvent être en Al ou Al-acier.

Les pendules :

Le fil de contact est suspendu au câble porteur par les pendules, ils reliant de leur part un cavalier sur le câble porteur et d'autre part une griffe sur le fil du contact.

CHAPITRE XV

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XV. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XV.1. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX

XV.1.1. MÉTHODOLOGIE

L'objectif de cette étude d'identification est de déterminer l'insertion du projet de la nouvelle ligne ferroviaire Laghouat–Ghardaïa, dans son environnement en identifiant les interactions directes et/ ou indirects du projet, d'une part en évaluant les impacts majeurs de ce projet sur l'environnement et d'autre part les contraintes que présente cet environnement sur le projet. On se basant sommairement sur les points suivants :

- Présentation générale du projet ; et le cadre législatif régulant son intégration dans le milieu naturel et anthropique.
- Description environnementale de la zone d'étude ;
- Identification des contraintes environnementales que subira le projet et qui doivent être prises en considération durant la phase de réalisation ;
- Identification des impacts engendrés par le projet sur l'environnement de l'aire d'étude.
- Description des variantes du projet proposées et leurs analyses multicritère.

La méthodologie suivie pour la réalisation de cette étude a nécessité les étapes suivantes :

- Des sorties sur site pour évaluer les enjeux environnementaux le long des couloirs proposés.
- La consultation des organismes et administrations locales (DE, DTP, DTW, TELECOM,

  DEM, DUCH, DSA, DPSB, DT, DGF) afin de recueillir les données nécessaires pour l'étude (plans de développement des wilayas traversées par le projet, monographies des wilayas, plans et cartes).
- La recherche d'informations complémentaires.
- Organisation des réunions de travail, planifiés avec des collaborateurs impliqués dans le projet, des projets similaires et dans des problématiques environnementales.
- La confrontation du projet avec l'état initial des sites pour chaque thématique (pour identifier les impacts).

XV.2. CADRE REGLEMENTAIRE

Par soucis de préserver ses ressources et protéger sa biodiversité, l'Algérie a un arsenal juridique et réglementaire qui permet la bonne gérance de l'environnement et ses différentes interactions. A cet effet cette étude se base sur les textes de lois et décrets qui déterminent l'insertion du projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et indirects du projet, ainsi que ses limites d'exécution.

Cette étude environnementale (phase d'identification) repose sur les Lois et Décrets .voici quelques décrets :

- **Etude d'impact environnemental**

- Loi n° 83-03 loi cadre relative aux études d'impact sur l'environnement.
- Décret exécutif n° 90-78 du 27 Février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.

- Décret exécutif n 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi n° 11-02 du 17 février 2011 relative aux aires protégées dans le cadre du développement durable.
- Décret n°83-458 du 23 juillet 1983 fixant le statut-type des parcs nationaux modifié par le décret exécutif n°98-216 24 juin 1998
- Loi de l'environnement n° 83-03 du 5 Février 1983 :
- Décret n° 83-509 du 20.08.1993 relatif aux espèces animales non domestiques protégées.

- Loi n° 84-12 DU 23 Juin 1984 portant régime général des forêts.

- Loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme

- Loi n° 02-08 du 08 mai 2002, relative aux conditions de création des villes nouvelles et de leur aménagement

- **Protection des eaux superficielles et souterraines**

- Décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau.
- Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, modifiée et complétée portant code des eaux.

- Ordonnance n° 96-13 du 15 juin 1996 modifiant et complétant la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux
- Loi n° 05-12 du 04-08-2005 relative à l'eau.
- Décret exécutif n° 93-163 du 10 juillet 1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles
- Décret exécutif n°93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels.

- **Contrôle des pollutions et nuisances**

- Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits
- Décret exécutif n°93-165 du 10 juillet 1993 réglementant les émissions atmosphériques réglementant les fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes,
- Décret n° 06-138 du 15-04-2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère des gaz, fumées, particules liquides ou solides.
- Décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits, en application de la loi relative à la protection de la nature.
- Décret exécutif n° 90-79 sur le transport des matières dangereuses.

- **Exploitation énergétique**

- Arrêté du 19 Mai 2004 relatif à l'exploitation minière à ciel ouvert.
- Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels
- Décret exécutif n° 93-162 du 10 juillet 1993 fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées
- Décret n° 86-132 du 27 mai 1986 fixant les règles de protection des travailleurs contre les risques de rayonnements ionisants ainsi que celles relatives au contrôle de la détention et de l'utilisation des substances radioactives et des appareils émettant des rayonnements ionisants
- Arrêté interministériel du 14 juin 2011 fixant les limites, conditions et les modalités d'occupation du périmètre de protection autour des installations et infrastructures de transport et de distribution d'électricité et de gaz.

XV.3. 4.3.4.4 LES RISQUES NATURELS

Les inondations

Les willayas de la zone d'étude ne sont pas à l'abri des risques pouvant être provoqués notamment par les inondations, les crues et l'invasion des criquets,

A l'heure actuelle, la situation est alarmante à Ghardaïa, huit communes sur les 13 que compte la Wilaya, à savoir, Ghardaïa, Bounoura, El Atef, Daia Ben dahoua, Guerarra, Bérianne, Metlili et Sebseb ont été touchées par les inondations d'octobre 2008, les dégâts ont été énormes : des pertes en vies humaines, des dizaines de disparus et des centaines de maisons détruites.

La loi relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable prévoit la mise en place d'un plan général de prévention pour les 10 risques. Ceux-ci sont identifiés officiellement par le séisme, risques géologiques, inondation, risques climatiques, feux de forêt, risques industriels et énergétiques, risques radiologiques et nucléaires, risques portant sur la santé humaine ainsi que les risques portant sur la santé animale et végétale. Pour chaque risque majeur, il est institué un plan général de prévention de risque majeur adopté par décret.

Un plan de prévention des risques d'inondation a donc été mis en place à Ghardaïa et sa région.

Le phénomène de l'ensablement

Vu que la zone d'étude s'étend sur une partie des grands Erg Occidental (wilaya de Laghouat) et Oriental (wilaya de Ouargla) et un étage bioclimatique aride à saharien, représente un écosystème désertique qui se caractérise naturellement par le phénomène de l'ensablement qui est définis par la FAO étant « Le transport des grains de sable, par les vents ou par les eaux, s'accumulent quelque part, sur le littoral, au bord d'un cours d'eau, sur des terres cultivées plantées ou incultes.

Ces accumulations sableuses ou dunaires, en se déplaçant, recouvrent sous leur masse les cultures, les habitations, les voies de communication, les réseaux d'adduction d'eau causant des dégâts matériels et socio-économiques et peuvent devenir tellement graves que la fixation de ces dunes devient alors un objectif prioritaire.

XV.4. IDENTIFICATION DES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES SUR LE PROJET

Tous les facteurs biotique, abiotique et anthropique relevés dans la partie d'identification ont pour but de démontrer les interactions possibles entre le projet de la nouvelle ligne ferroviaire de la boucle en Sud-Est « Laghouat et Ghardaïa » et l'environnement ambiant, cependant les paramètres engendrant des contraintes se résument comme suit :

Les contraintes liées au milieu physique

Ces contraintes sont relatives aux : climat, géomorphologie et hydrologie, qui représentent le milieu physique de la zone d'étude.

Contraintes relatives à la géomorphologie de la zone d'étude

Au niveau de l'Ouest de la zone d'étude la géomorphologie est caractérisée par le Reg (plaine caillouteuse), qui présente une contrainte en phase de réalisation.

La wilaya de Laghouat caractérisée par un relief d'altitude variant de 700m à 1700m peut entrainer un risque de générer des remblais et des déblais induisant un impact environnemental et économique.

Marquant aussi que cette région est de vocation pastorale, la vulnérabilité de ce milieu présente aussi un risque de la perte de cette caractéristique presque unique dans la région.

Contraintes relatives au climat

L'ensemble de la région Sud-Est appartient au domaine Aride à Hyper - Aride particulièrement les wilayas de Ghardaïa et Ouargla, ce qui provoquera des interruptions en phase de réalisation.

La wilaya de Laghouat présentée par un climat continental au Nord-Ouest et saharien à aride dans la région des Hauts Plateaux marquées par des chutes de neige et des gelées blanches en hiver et par une forte chaleur accompagnée de vents de sable en été, ce qui présente une contrainte significative dans la réalisation du projet.

Contraintes relatives à la Température

La région Sud-Est est marquée par des températures élevées (déjà mentionné dans le cadre physique) ce qui présente une contrainte en saison de grandes chaleurs pour la réalisation du projet sur les moyens humains et matériels et l'infrastructure ferroviaire et électrique qui devra être doter d'un système adapter aux températures élevées.

Contraintes liées à l'Hydrologie

La région Sud –Est repose sur la plus importante aquifère et l'essentiel ressource saharienne en eau est la plus anciennement utilisée en raison de sa profondeur relativement faible dont l'irrigation des palmeraies du Sud-Est repose ; Sachant que cette ressource fait l'objet d'une gestion commune par les trois pays concernés : Algérie, Tunisie, Lybie. A cet effet la contrainte de réalisation du projet s'avère particulièrement importante à cause du risque de pollution, d'autant que cette ressource n'est que très faiblement renouvelable.

Contraintes liées aux risques naturels

La willaya de Ghardaïa est exposée aux risques d'inondations et crues qui touchent 08/13 communes, causant des dégâts humains et matériels énormes, ce qui implique une contrainte pour la phase de réalisation de la ligne qui croise ce territoire.

Contraintes liées à l'ensablement

Notant que le grand Erg oriental couvre une partie de la wilaya de Laghouat appartient au grand Erg occidental qui constituent une véritable mer de sable présentant une contrainte considérable pour la réalisation du projet et les infrastructures ferroviaires dont la nécessité d'un matériel adéquat et des mesures supplémentaires en période critique.

Contraintes liées au milieu naturel

Les contraintes biotiques sont liées à la faune et la flore, existantes dans la zone d'étude qui est caractérisée par un couvert végétal très faible et éparpiller, vu la géomorphologie de la région et son climat d'une part et l'action anthropique d'autre part ce qui nécessite ça protection vu ça vulnérabilité et son importance, cependant une contrainte pour la réalisation du projet et une attention particulière dans l'emplacement des bases de vie, prenant compte des efforts et des couts supplémentaires exigés par la réglementation pour la protection de la biodiversité rare et endémique.

Contraintes sur les écosystèmes protégés

La zone d'étude renferme trois types de zones humides, dont on dénombre six sites classés RAMSAR, leur importance écologique est vitale pour la région et sa diversité biologique mais aussi elles représentent un intérêt économique considérable pour la zone d'étude en matière d'écotourisme, à cet effet le projet de ligne ferroviaire présente une contrainte par le risque de pollution par les eaux usées en phase de réalisation.

Contraintes liées au milieu anthropique

Les contraintes du milieu humain comportent les habitations, le réseau routier et les infrastructures d'énergie :

- **Les agglomérations et habitations**

Les variantes proposées traversent quelques zones d'habitation nécessitant leur protection contre les émissions de bruits, ce qui présente une contrainte à prendre en considération.
Cependant la protection contre la pollution acoustique pour les habitations isolées nécessite un effort, un temps et un coût non négligeable.

- **Infrastructures d'énergie**

- **Les pipelines**

La région d'étude comporte le plus important gisement en pétrole et gaz du pays qui est doté d'un réseau de Pipelines qui sont des canalisations de gros diamètre servant au transport à grande distance de certains fluides (notamment carburants liquides, gaz naturel) et de certaines substances pulvérisées. Deux cas peuvent être rencontrés sur la ligne :

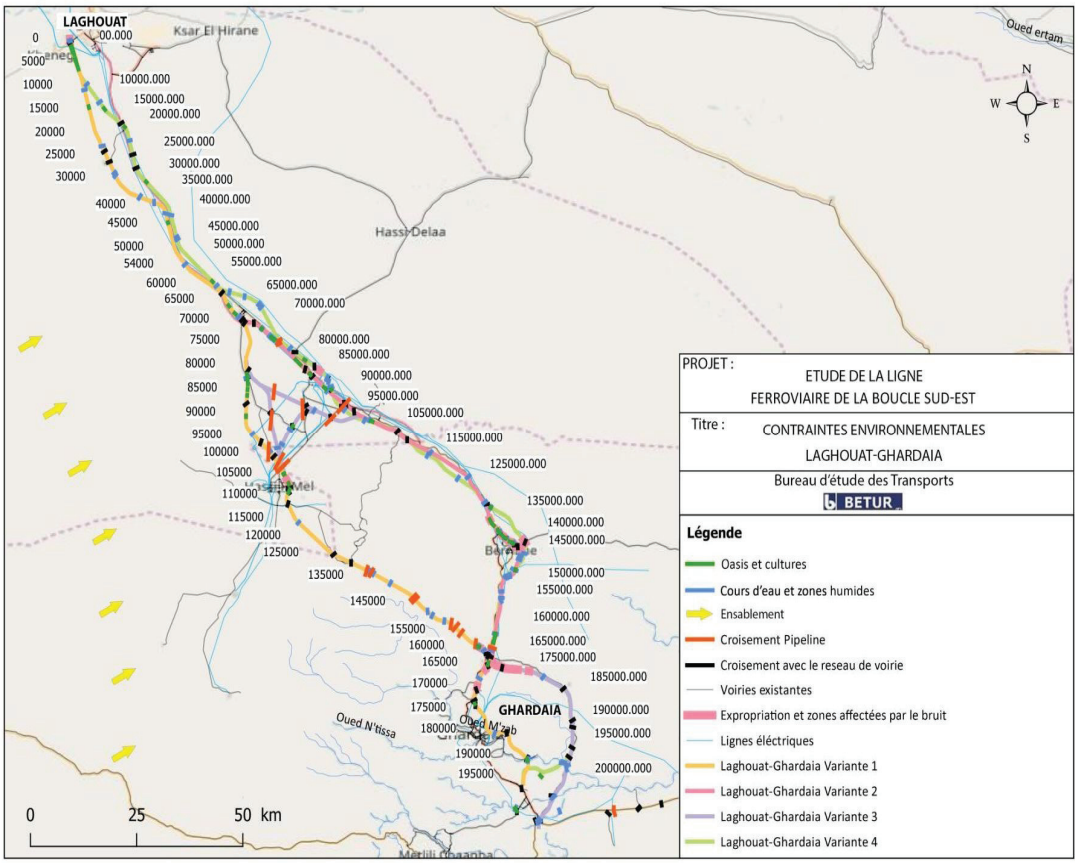
- Pipeline parallèle à l'emprise ferroviaire.
- Pipelines perpendiculaire à l'emprise ferroviaire.

Le croisement des gazoducs et oléoducs avec la voie ferroviaire doivent respecter les normes concernant les canalisations traversant sous les voies ferrées, les épaisseurs de remblai ainsi que les épaisseurs de gaine de protection autour de cette conduite.

- **Risque d'accidents technologiques**

Certains risques de nature technologique (possibilité de rupture de la conduite, feu, explosion,…) sont associés à l'exploitation d'un pipeline transportant des produits gaziers ou pétroliers raffinés à basse tension de vapeur et de ses structures hors sol, sachant que les

variantes passent par une zone complexe d'une forte densité de pipelines et de puits au niveau de Hassi R'mel ou se trouve la plus importante centrale thermique en Algérie (exploitation gazière) et la vocation pétrolière de la zone d'étude.



FigureXV.1 Cartes des contraintes environnementales de la ligne Ghardaïa-Laghouat

XV.5. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET

Impacts positifs directes

Le transfert des déplacements (personnes et marchandises) de la route vers le rail ce qui entrainera :

- L'Amélioration des flux du trafic routier des communes traversées par les corridors.
- Amélioration de la sécurité routière et diminution des accidents de la route.
- Diminution de la pollution de l'air (engendrée notamment par les véhicules,

camions et engins …).

- Diminution des nuisances sonores liées à la circulation routière.
- Gain de temps pour les voyageurs empruntant la ligne.
- Création de postes d'emploi pour les populations locales.
- Ce projet s'inscrit pleinement dans le cadre du développement durable de la région.

Impacts positifs indirects

- Le développement des activités socio-économiques des communes traversées par les corridors et l'amélioration de la qualité de vie des zones désertiques.
- L'amélioration de la qualité de transports de voyageurs et marchandises entre Laghouat et Ghardaïa et les localités traversées par la ligne ferroviaire.
- Le développement d'autres secteurs : l'industrie, le tourisme, l'habitat, commerce.

Impacts négatifs

- La partie Nord de la zone d'étude se trouve sur une réserve importante de gisement pétrolifère et aquifère dont les travaux peuvent provoqués un risque de pollution pour les réserves aquifères et une contrainte d'exploitation de la réserve pétrolifère.
- La rupture de l'équilibre entre sable et gravats restant après réalisation du projet charriés vers les lits d'oueds, les rends moins perméable avec l'augmentation de la teneur en argile, ce qui altère la recharge des nappes phréatiques et leurs approvisionnements.
- L'impact majeur est la perte sèche de sols particulièrement dans les zones d'oasis et pastorale par décapage de l'emprise, suivie de l'accentuation des phénomènes d'érosion et de tassement des sols.
- La présence de base de vie et de chantiers doit avoir son propre système d'irrigation d'eau usée pour ne pas provoquer la pollution des zones naturelles, cours d'eau et eau d'irrigation.
- Risque de perte de la végétation endémique de la région par terrassement, et emplacement des bases de vie.
- Les impacts sur le milieu biotique rencontrés lors de la construction d'une ligne ferroviaire sur la biodiversité sont généralement : La mortalité d'animaux par collision, modifications des environnements physique et chimique, création de nouveaux milieux en bord du corridor, dispersion d'espèces invasives.

XV.6. IMPACT DE L'ELECTRIFICATION

La ligne ferroviaire est alimentée en courant alternatif est subdivisée en sections électriquement séparées et alimentées chacune par une sous-station qui lui est réservée, le schéma architectural proposé de cette ligne est le système 25kva.

Les Caténaires : C'est un ensemble distribuant le courant aux circulations électriques par l'intermédiaire de pantographes et constitué par les fils de contact, câbles porteurs, feeders, pendules et toutes pièces intercalées entre ces éléments et les isolateurs séparant les parties sous tensions des supports ou les caténaires entre elles.

La ligne de traction est mise en place pour assurer l'alimentation en continu des machines de traction électriques. Elle se compose d'un câble porteur et d'un fil de contact, relies entre eux par des pendules de longueurs variables. L'ensemble de ces câbles est suspendu à une hauteur nominale donnée par l'intermédiaire de consoles qui sont à leurs tours fixées à des poteaux ou des portiques.

En général les contraintes varient d'un endroit à l'autre et ce, en fonction notamment du type de conducteur de la ligne, du type de pylône, de la tension dans la ligne et des conditions climatiques régionales, cependant l'électrification de la ligne va générer :

- Une vision prolongée et marquante des caténaires et des poteaux qui ponctuent le défilement du paysage.
- Des parasitages des visions frontales depuis le réseau routier, les zones d'habitat, les sites fortement fréquentés, avec une évolution de la perception vers un paysage plus anthropisé,
- Comme l'incohérence des équipements caténaires avec des éléments de patrimoine écologique et ou archéologique.
- -Dégradation de la qualité acoustique à cause du bruit, élimination ou réduction du couvert végétal, détruire ou restreindre le biotope de la faune existante.

-

Les interférences électromagnétiques avec l'environnement

Les effets possibles des interférences électromagnétiques et de la fréquence électromagnétique sur l'environnement, sont :

- Perturbations conduites produites par les courants de fuite dans le sol.
- Perturbations des équipements électroniques, informatiques et des systèmes télécommandés…
- Perturbations rayonnées dans des gammes de fréquences élevées produites lors des défauts de contact caténaire – pantographe.
- Perturbations rayonnées à basses fréquences produites par les lignes d'alimentation électrique et par les dispositifs de traction et les convertisseurs.
- Les installations industrielles (circulation de courants dans les plans de masse. Perturbations par impédance commune…).
- Les hommes, niveaux d'exposition des êtres humains aux champs EM.

- Perturbations d'installations spécifiques sensibles : équipements médicaux.
- Brouillages de la FM, de la TV… Mauvaise réception des télécommunications (GSM, wifi…).

XV.7. IMPACT DE L'ENSABLEMENT SUR LA ZONE D'ETUDE

Le sud algérien connaît de sérieux problèmes d'ensablement. Ces derniers qui résultent de la sévérité des conditions climatiques et de la mauvaise utilisation des ressources naturelles constituent, le phénomène le plus spectaculaire de la désertification.

Le Sahara algérien est actuellement couvert d'impressionnants et gigantesques dépôts de sable l'ERG occidental à l'ouest et l'ERG oriental à l'est. La mobilisation par le vent de cet important stock de sable constitue une menace sérieuse pour l'ensemble des infrastructures de développement des wilayas du sud du pays en générale et le Sud Est en particulier. Outre les effets environnementaux néfastes, les retombées de ce phénomène, au plan socioéconomique sont lourdes, elles se traduisent généralement par une baisse de la production agricole, l'exode rural, la migration...le patrimoine routier s'évalue en centaines de kilomètres traversant les zones dunaires, le désensablement de ces routes durant l'année nécessite des moyens colossaux en permanence.

La Zone d'étude entre en partie dans le périmètre du grand Erg oriental (wilaya de Ouargla), C'est une région à dominante de dépôts de sable et touchée par le Grand Erg Occidental (Wilaya de Laghouat). Le modèle éolien dans cette zone est constitué par des édifices sableux importants, lorsque les édifices barkhanique par mouvement ou les dunes linéaires par allongement atteignent des infrastructures routières.

XV.8. Les Organismes chargés de la recherche et de la protection des zones Saharienne et arides

Le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides "Omar ELBERNAOUI" (C.R.S.T.R.A.)

- Le laboratoire de recherche de Génie Civil (LRGC) au niveau de l'université de Laghouat.
- Laboratoire de Protection des écosystèmes en zones arides et semi-arides au niveau de l'université d'Ouargla.
- Laboratoire de Recherche sur les Zones Arides (LRZA) au niveau de l'université des sciences et de la technologie Houari Boumediene.
- Centre national de recherche sur les zones arides (station de Béni-Abbés)

- La Division de Recherche en Agronomie Saharienne au niveau de L'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie INRAA.
- Direction générale des forêts, conservations des wilayas de Laghouat, Ghardaïa et Ouargla.

CHAPITRE XVI

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire HT (DA)	MONTANT HT (DA)
INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
1.1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1.00	46 996 000.00	46 996 000.00
1.2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1.00	35 000 000.00	35 000 000.00
1.3	Étude d'exécution	F	1.00	15 700 000.00	15 700 000.00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DA)				97 696 000.00 DA	
OUVRAGE D'ART					
2.1	Viaduc	m^2	3 925	150 000.00	588 750 000
	TERRASSEMENTS				
2.2	Déblai mis en remblai	m^3	445 400	550.00	244 970 000.00
2.3	Déblai mise en dépôt	m^3	220 600	560.00	123 536 000.00
2.4	Décapage de terre végétale	m^2	4 500	440.00	1 980 000.00
2.5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de Forme	m^3	53 200	1 700.00	90 440 000.00
2.6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	m^3	20 500	2 000.00	41 000 000.00
2.7	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	m^3	25 200	3 500.00	88 200 000.00
Coût total des terrassements (DA) :				590 126 000 DA	
OUVRAGES HYDRAULIQUE					
3.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ml	14 980	4 720.00	70 705 600.00
3.2	Buses en Béton Armé 1200ϕ	ml	80	9 385.00	750 800.00
3.3	Buses en Béton Armé 1500 ϕ	ml	20	13 000.00	260 000.00
3.4	Buses en Béton Armé 1000 ϕ	ml	220	6 560.00	1 443 200.00
Coût total des ouvrages hydraulique (DA) :				73 159 000 DA	
TRAVAUX DE VOIE					

4.1	Fourniture et pose de ballast sur épaisseur de 0,30 m	m^3	28500	6 000.00	171 000 000.00
4.2	Fourniture des rails UIC60	T	2106	115 000.00	242 190 000.00
4.3	Traverse Bi bloc	U	29250	7000.00	204 750 000.00
4.4	Attache Nabla	U	117 000	500.00	58 500 000.00
4.5	Fourniture et pose Appareil de voie UIC 500 1:12	U	2	13 870 000.00	27 740 000.00
4.6	Fourniture et pose Appareil de voie UIC 300 1:9	U	2	12 350 000.00	24 700 000.00
4.7	Traverse de Garage Franc	U	4	9500.00	38 000.00
Coût totale des travaux de voie (DA) :				728 918 000 DA	
Gare et Halte					
5.1	Bâtiments de Voyageurs + aménagement	m²	500	30 000.00	15 000 000.00
5.2	Quais	m^2	3 600	5 000.00	18 000 000.00
Coût totale de la gare + halte				33 000 000.0 DA	
SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION					
6.1	Electrification 2x25 kV/50 Hz	Km	15	641 000.00	9 615 000.00
6.2	Signalisation			5 345 544.00	
Coût total de la signalisation et d'électrification (DA) :				14 961 000.00 DA	

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants (DA)
Lot 1	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION	97 696 000.00 DA
	VIADUC	588 750 000.00 DA
Lot 2	TERRASSEMENTS	590 126 000.00 DA
Lot 3	OUVRAGES HYDRAULIQUE	73 159 000.00 DA
Lot 4	TRAVAUX DE VOIE	728 918 000 DA
Lot 5	Gare et Halte	33 000 000.00 DA
Lot 6	SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION	14 961 000.00 DA
Montant du projet HT		2 126 607 000.00 DA
Montant du projet en TTC		2 530 100 000.00 DA

Montant total du projet en TTC :

Le montant total de notre projet est de 2 530 100 000.00 DA.

CONCLUSION GENERALE

XVI. CONCLUSION GENERALE

L'étude d'avant-projet détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique électrifiée Ghardaïa -laghaout du pk 181+000 au pk 196+000) 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 Nchou, 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, SNCF, 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.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Cours Mr. Morsli – ENSTP.

[2] Cours Mr. Rahmani – ENSTP.

[3] SETIRAIL, « Etude préliminaire de la boucle sud est ».

[4] ANESRIF, Etude des lignes ferroviaires Boucle Sud-Est Etude d'identification.

[5] Guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien - l'Equipe : dynamique des sables et techniques de lutte contre l'ensablement (C.R.S.T.R.A).

[6] Wikipédia.

[7] SETIRAIL, «SETIRAIL, « Rapport de synthèse géotechnique ».

[8] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[9] SNTP, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.

[10]SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 9 Constituants de la voie, 22/12/2005.

[11] UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.

[12] UIC703 R, Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides, 2eme Edition, 01/01/1989.

[13] ANESRIF, Etude des lignes ferroviaires Boucle Sud-Est Etude d'identification.

[14] SETIRAIL, «SETIRAIL, « Rapport de synthèse géotechnique ».

LISTE DES ANNEXE

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Client : **Réalisé par :**

ENSTP **Benhamadache/Mazouz**

Date : 19/06/2022 23:36:39

Axe en plan : Axe de la ligne ferroviaire Laghouat/Ghardaïa
Plage d'abscisse : Début : 0000.00, Fin : 15000.00

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0000.00	568203.2443	3610017.6759
DR1	ANG=153.8416 (g)	1399.471			
			1399.47	569131.3408	3608970.2234
CLO2	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			1589.47	569259.5672	3608830.0422
ARC3	XC=570691.8268				
	YC=3610225.9765				
	R=2000.000	1410.081			
			2999.55	570505.7077	3608234.6554
CLO4	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			3189.55	570695.3291	3608222.9738
CLO5	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			3379.55	570884.9506	3608211.2921
ARC6	XC=570698.8315				
	YC=3606219.9710				
	R=2000.000	218.571			
			3598.12	571101.0320	3608179.1124
CLO7	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			3788.12	571285.8288	3608135.0341
DR8	ANG=115.9143 (g)	219.736			
			4007.86	571498.7348	3608080.6745

CLO9	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			4137.86	571624.9204	3608049.4256
ARC10	XC=572303.9282				
	YC=3610971.5735				
	R=3000.000	255.354			
			4393.21	571875.8065	3608002.2787
CLO11	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			4523.21	572004.7278	3607985.5875
DR12	ANG=107.7368 (g)	3297.467			
			7820.68	575277.8737	3607585.8340
CLO13	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			8010.68	575466.0651	3607559.8198
ARC14	XC=575129.6138				
	YC=3605588.3227				
	R=2000.000	422.030			
			8432.71	575871.5406	3607445.6177
CLO15	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			8622.71	576045.6461	3607369.5911
DR16	ANG=127.2184 (g)	1142.694			
			9765.40	577085.4817	3606895.7854
CLO17	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			9895.40	577203.3850	3606841.0304
ARC18	XC=575900.6150				
	YC=3604138.6629				
	R=3000.000	560.364			
			10455.77	577682.5662	3606552.0941
CLO19	A=624.500				
	R=3000.000	130.000			
			10585.77	577786.0198	3606473.3753
DR20	ANG=141.8685 (g)	535.577			
			11121.34	578209.8859	3606145.9914
CLO21	A=616.441				

	R=2000.000	190.000			
			11311.34	578362.0604	3606032.2562
ARC22	XC=579508.0714				
	YC=3607671.3592				
	R=2000.000	388.092			
			11699.44	578699.6409	3605842.0314
CLO23	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			11889.44	578875.7539	3605770.7785
CLO24	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			12079.44	579051.8669	3605699.5256
ARC25	XC=578243.4364				
	YC=3603870.1979				
	R=2000.000	200.819			
			12280.26	579231.1703	3605609.2728
CLO26	A=616.441				
	R=2000.000	190.000			
			12470.26	579393.3123	3605510.2642
DR27	ANG=135.9073 (g)	2523.541			
			15000.00	581525.9741	3604161.1857

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client : **Réalisé par :**

ENSTP **Benhamadache/Mazouz**

Date : 19/06/2022 23:47:09

Axe en plan : axe de la ligne ferroviaire Laghouat/Ghardaïa
Plage d'abscisse : Début : 0000.00, Fin : 15000.00

LONGUEUR DE L'AXE : 15000.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			-0053.25	550.668
D1	PENTE= -0.00%	1660.884		
			1607.64	550.668
ARC1	S= 1739.87 Z=550.668			
	R= -17000.000	264.452		
			1872.09	548.611
D2	PENTE= -1.56%	240.607		
			2112.69	544.867
ARC2	S= 2298.46 Z=541.977			
	R= -17000.000	371.539		
			2484.23	543.148
D3	PENTE= 0.63%	206.663		
			2690.90	544.449
ARC3	S= 2797.09 Z=545.118			
	R= -30000.000	212.394		
			2903.29	545.035
D4	PENTE= -0.08%	468.851		
			3372.14	544.669
ARC4	S= 3489.79 Z=544.578			
	R= -30000.000	235.285		
			3607.43	545.408
D5	PENTE= 0.71%	193.710		
			3801.14	546.777

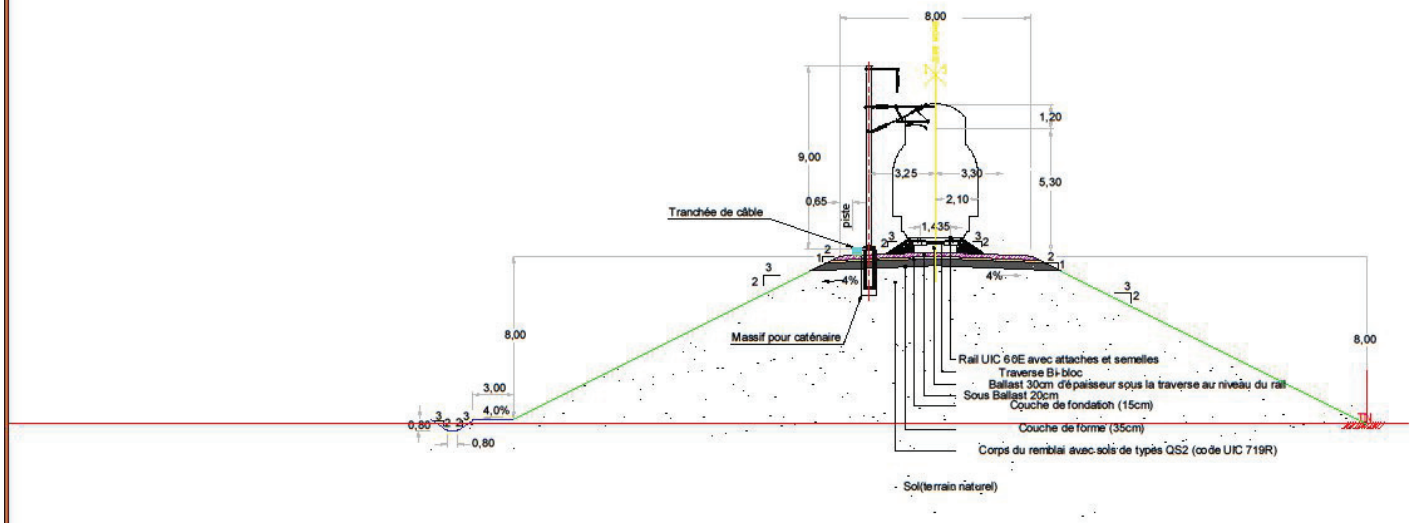
ARC5	S= 3898.16 Z=547.462			
	R= -17000.000	194.039		
			3995.18	547.040
D6	PENTE= -0.44%	820.070		
			4815.25	543.471
ARC6	S= 4985.05 Z=542.732			
	R= -40000.000	339.599		
			5154.85	543.434
D7	PENTE= 0.41%	457.254		
			5612.10	545.327
ARC7	S= 6015.44 Z=546.996			
	R= -40000.000	806.624		
			6418.72	540.531
D8	PENTE= -1.60%	273.234		
			6691.96	536.152
ARC8	S= 6875.82 Z=533.204			
	R= -30000.000	367.747		
			7059.70	532.511
D9	PENTE= -0.38%	971.952		
			8031.66	528.848
ARC9	S= 8231.05 Z=528.096			
	R= -40000.000	398.788		
			8430.44	529.333
D10	PENTE= 0.62%	315.870		
			8746.31	531.291
ARC10	S= 9075.84 Z=533.335			
	R= -30000.000	659.017		
			9405.33	528.139
D11	PENTE= -1.58%	684.906		
			10090.24	517.339
ARC11	S= 10272.61 Z=514.463			
	R= -50000.000	364.756		
			10454.99	512.918
D12	PENTE= -0.85%	342.870		
			10797.86	510.013
ARC12	S= 10909.15 Z=509.071			
	R= -17000.000	222.585		

			11020.45	509.585
D13	PENTE= 0.46%	1061.327		
			12081.77	514.490
ARC13	S= 12179.81 Z=514.943			
	R= -17000.000	196.076		
			12277.85	514.265
D14	PENTE= -0.69%	781.893		
			13059.74	508.861
ARC14	S= 13161.67 Z=508.156			
	R= -40000.000	203.856		
			13263.60	506.932
D15	PENTE= -1.20%	649.800		
			13913.40	499.128
ARC15	S= 13977.50 Z=498.359			
	R= -40000.000	128.207		
			14041.61	497.383
D16	PENTE= -1.52%	952.190		
			15000.00	482.895

Sol(terrain naturel)

Profil en travers type (remblai en zone courante)

Échelle: 1:200

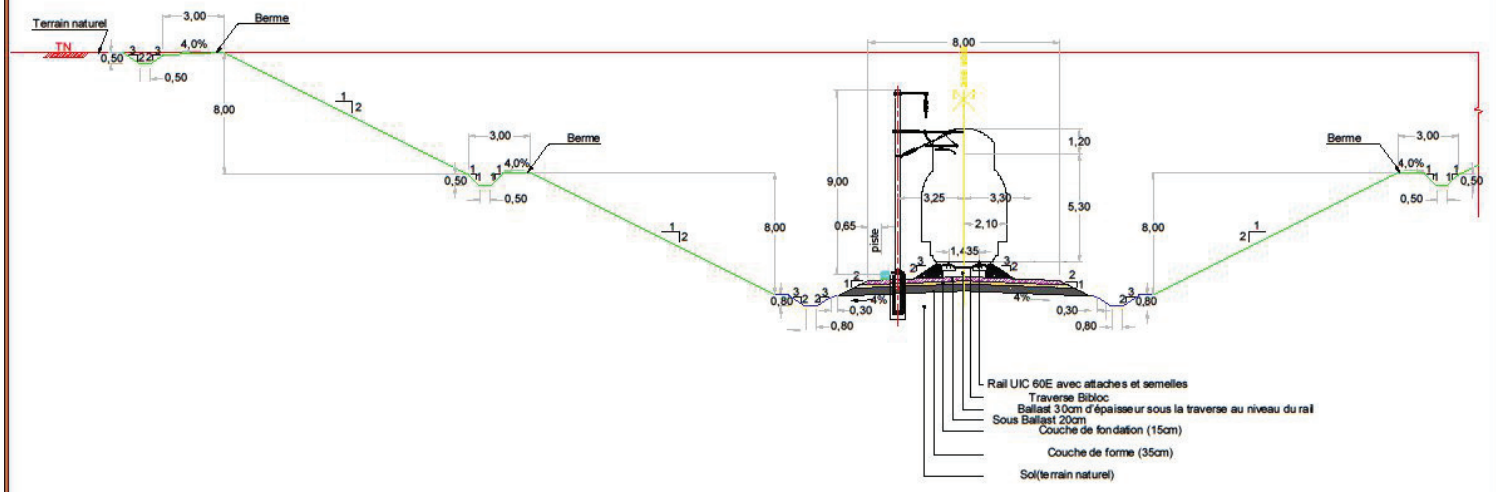


ENSTP
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz
Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIE LAGHOUAT GHARDAIA DU PK 181+000 AU PK 196+000	BENHAMADACHE MAZOUZ	Mr. BESBAS			2021/2022

Profil en travers type (déblai)

Échelle: 1:200



Profil en travers type (remblai en zone courante)

Échelle: 1:200

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

PROJET DE FIN D'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	N° Planche	Année universitaire
ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIE LAGHOUAT GHARDAIA DU PK 181+000 AU PK 196+000	BENHAMADACHE MAZOUZ	Mr. BESBAS			2021/2022

Gare Nchou
PK 00+000 / PK 01+400
1200
ENSTP
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba - 16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38
Tel : (023) 70 19 04
Site web : www.ensp.edu.dz
E-mail : enstp@enstp.edu.dz
PROJET DE FIN D'ETUDES
ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIE LAGHOUAT GHARDAIA DU PK 181+000 AU PK 196+000
Réalisé par
BENHAMADACHE MAZOUZ
Encadré par
Mr. BESBAS
Echelle
N° Planche
Année universitaire
2021/2022

ENSTP
Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger
Fax : (023) 70 19 38
Tel : (023) 70 19 04
Site web : www.ensp.edu.dz
E-mail : enstp@enstp.edu.dz
PROJET DE FIN D'ETUDES
ETUDE DE LA NOUVELLE LIGNE ELECTRIFIE LAGHOUAT GHARDAIA DU PK 181+000 AU PK 196+000
Réalisé par
BENHAMADACHE
MAZOUZ
Encadré par
Mr. BESBAS
Echelle
N° Planche
Année universitaire
2021/2022
PASSAGE INFERIEUR
BATIMENT VOYAGEURS