

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la Construction
Département de Travaux Publics



*Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en
Travaux Publics Option : Voies et Ouvrages d'Arts*

*Etude APD du dédoublement de la voie ferrée et
rectification du tracé pour une augmentation de
vitesse à 160 Km/h de la nouvelle ligne Beni
Mansour Béjaia sur le tronçon Pk 30 au Pk 50 avec
l'aménagement de la gare de Takrietz*

Proposé par : ANESRIF

Présenté par :

❖ Mr : AIT MOHAMMED RAFIK

❖ Mr : BAAHMED AMIROUCHE

Encadré par : Mr : SAHOUI HAMZA

Promotion 2022/2023

Remerciement

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu, qui nous a accordé le courage, la santé, le moral et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons également à remercier notre encadreur, Mr Hamza SAHOUI, pour sa patience et sa disponibilité lors de nos nombreuses discussions et rencontres. Sa capacité à nous écouter attentivement et à nous guider avec bienveillance a été d'une aide précieuse tout au long de notre parcours.

On tient également à remercier l'ingénieur Mr Lounis AIT MOHAMED pour sa présence et son aide et grâce à ces conseils que nous avons pu surmonter certaines difficultés.

Nous sommes profondément reconnaissants envers tous les enseignants, le personnel et les membres du jury de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou en particulier ceux de département de travaux publics, pour leur engagement solide envers l'éducation et leur contribution précieuse à notre réussite académique.

Nous souhaitons également exprimer notre profonde reconnaissance envers le Groupement COSIDER pour sa précieuse contribution à l'acquisition des données du projet et spécialement : Directeur du groupement Omar Sahi et l'ingénieur de coordination Alloua Mhend. Leur soutien et leur expertise ont été des éléments clés de notre projet de fin d'étude.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers nos familles, nos frères et sœurs, ainsi que nos amis pour leur soutien et encouragement constants. Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Au nom d'ALLAH, le clément et Miséricordieux, je remercie ALLAH de nous avoir motivé à réaliser ce travail.

Nous dédions ce modeste travail à :

A nous cher parents, pour l'amour qu'ils nous ont toujours données, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils nous ont apportés durant nos études.

A nos chères sœurs et frères pour leurs encouragements permanents, pour leurs dévouements, leur compréhension et leur soutien moral.

A tous nos amis, exceptionnellement Madjid et Sofiane et Farid qui nous a apportée de l'aide et l'encouragement au cours de la réalisation de ce travail.

Résumé

Le présent document consiste à l'étudier l'avant-projet détaillé du dédoublement et la rectification du tracé pour l'augmentation de la vitesse à 160 km/h sur un tronçon de 20 KM allant du de PK 30+000 au PK50+000 sur la ligne de Béni Mansour Bejaïa avec l'aménagement de la gare de Takarietz au pk 42+930.

Le dimensionnement de la structure d'assise et l'identification des caractéristiques techniques et géométriques les plus appropriées de la ligne Ferroviaire projetée est basée sur les normes de l'union internationale des Chemins de fer (UIC) et les recommandations de la SNTF. La modélisation géométrique du projet a été exécutée à l'aide des logiciels Covadis16.0 et Autocad.

Mots clé : chemin de fer, appareil de voie, ballaste, couche d'assise, gare.

Abstract

This document presents a detailed pre-project study for the duplication and realignment of a 20 km section, ranging from PK 30+000 to PK 50+000, on the Beni Mansour Bejaïa railway line, with the construction of the Takarietz station at PK 42+930. The objective is to increase the speed to 160 km/h.

The sizing of the foundation structure and the identification of the most appropriate technical and geometric characteristics of the proposed railway line are based on the standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the National Railway Company (SNTF). The geometric modeling of the project was executed using Covadis and AutoCAD software.

Keyword : Railway, Track equipment, Ballasted, Subgrade layer, Station

يتضمن المشروع الدراسة الأولية المفصلة لازدواجية السكة الحديدية وتصحيح المسار الرابط بين بني منصور وبجاية لبلوغ سرعة تقدر ب 160 كم/سا على مسافة تقدر ب 20 كم تحديدا من النقطة الكيلومترية 30 الى النقطة الكيلومترية 50, بالإضافة الى تصميم و تهيئة محطة تقرية على مستوى النقطة الكيلومترية 42+930.

تمت دراسة المشروع وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكة الحديدية والاعتماد على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكة الحديدية

وبمساعدة البرامج التالية:

AUTOCAD, COVADIS

Liste des notations et abréviations

- ΔI : variation de dévire en (mm).
- Δt : variation de temps en (s).
- A** : Paramètre de la clothoïde.
- C** : coefficient de devers.
- Cc** : indice de compression pente de la courbe vierge de compressibilité
- CFA** : chemin de fer algérien.
- Cg** : coefficient de gonflement
- DH** : essai micro-Deval effectué à l'état Humide.
- Dmax** : dévers maximal (mm).
- DP** : Dévers pratique(mm).
- DRG** : dureté globale.
- DS** : essai micro-Deval effectué à l'état sec.
- Dth** : Dévers théorique(mm).
- e** : entraxe des quais (m).
- E_{max}** : Excès de dévers(mm).
- ERTMS** : système européen de la gestion de trafic de train.
- F** : la flèche (m).
- F_s** : coefficient de sécurité.
- GTR** : guide des terrassements routiers
- I_{max}** : insuffisance de dévers (mm).
- I_p** : indice de plasticité.
- K_m** et **k_t** : coefficients tenant compte à la fois de la charge et de l'agressivité des essieux.
- L.M. Tr** : livret de la marche des trains.
- LA** : est la marge d'arrêt autorisée.
- LC** : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.
- LG** : longueur de glissement.
- LGV** : ligne grande vitesse.
- L_p** : Longueur de Clothilde.
- L_{rp}** : longueur du raccordement progressif (m).

- LS** : longueur de sécurité(m).
- LT** : longueur maximale de train(m).
- LTPE** : laboratoire de travaux publics de l'est.
- LU** : représente la longueur totale utilisable.
- Pc** : pression de consolidation
- Qs** : qualité de sol.
- R** : rayon de courbure circulaire(m).
- R** : rayon de la courbure (m).
- Rmin** : rayon minimum de courbe(m).
- RP** : Raccordement progressif.
- SIF** : Société d'Investissement Ferroviaire.
- Smoy** : Surface de la section menée à mi-distance des bases S1 et S2(m²)
- SNCF** : société nationale des chemins de fer français.
- ANESRIF** : l'Agence nationale de suivi et de réalisation des infrastructures ferroviaires.
- SNTF** : société nationale des transports ferroviaire.
- Sv** et **Sm** : des coefficients traduisant la qualité requise par la voie selon la vitesse maximale, des trains voyageurs ou bien l'absence de trafic voyageur.
- T** : tangente(m).
- T.I.V** : tableau indicateur de vitesse.
- TF** : Le trafic fictif (t/jour).
- Tm** : tonnage journalier marchandises exprimé en tonnes brutes remorquées(t/jour).
- Ttm** : tonnage journalier marchandises des engins de traction en tonnes(t/jour).
- Ttv** : tonnage journalier voyageurs des engins de traction en tonnes (t/jour).
- Tv** : tonnage journalier voyageurs exprimé en tonnes brutes remorquées(t/jour).
- UIC** : union international des chemins de fer.
- Vmax** : vitesse des trains voyageurs (km/h).
- W** : teneur en eau (%).
- WI** : limite de liquidité.
- Wp** limite de plasticité.
- Ws** : poids de solide (kg).
- Ww** : poids de l'eau (kg).

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Listes des figure	
Liste des tableaux	
Listes des notations et abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude bibliographique sur le chemin de fer.....	2
I.1 Introduction.....	3
I.2 Historique des chemins de fer.....	3
I.2.1 Au monde	3
I.3 Chemin de fer en Algérie	4
I.3.1 Programme de 1857 -1878	5
I.3.2 Programme de 1879-1906	5
I.3.3 Programme 1906-1946	6
I.4 L'évolution de chemin de fer.....	8
I.4.1 Différences entre le chemin de fer du l'époque et celui d'aujourd'hui	8
I.5 L'union international des chemins de fer (UIC) :.....	10
I.5.1 Présentation	10
I.5.2 Membre de UIC	10
I.5.3 Missions de l'UIC	10
I.5.4 Classification des lignes d'UIC	10
I.6 Réseau ferroviaire national	12
I.7 Programme ferroviaire national	13
I.8 Conclusion	15
CHAPITRE II : Présentation du projet	16
II.1 Introduction.....	17

II.2	Localisation du projet	17
II.3	Présentation de la zone d'étude.....	17
II.3.1	Situation démographique	18
II.3.2	Relief de la wilaya	18
II.3.3	Climat de la wilaya	18
II.4	Histoire de projet.....	19
II.5	Objectif du projet	19
II.6	Données du projet	20
II.7	Conclusion	21
Chapitre III	:Etude géologique et géotechnique.....	22
III.1	Introduction	23
III.2	Etude géologique.....	23
III.2.1	Géologie régional.....	23
III.2.2	Stratigraphie régionale	24
III.2.3	Tectonique.....	24
III.2.4	Géomorphologie	25
III.2.5	Risques géologiques.....	25
III.2.6	Sismicité.....	25
III.3	Etude géotechnique	26
III.3.1	Déroulement de la campagne géotechnique	26
III.3.2	Essais in-situ	26
III.3.2.1	Sondage réalisé	26
III.3.3	Essais au laboratoire	30
III.3.3.1	Essais physiques.....	32
III.3.3.2	Essais mécaniques.....	32
III.3.3.3	Essais chimiques	33
III.3.3.4	Classification de sol	34

III.4	Conclusion.....	34
Chapitre IV : Terrassement.....		35
IV.1	Introduction	36
IV.2	Définition	36
IV.3	Etapas de terrassement	36
IV.4	Engins de terrassement.....	37
IV.4.1	Engins de compactage.....	39
IV.5	Quelque photos prises lors des terrassements dans notre projet	39
IV.6	Méthode de confortement de terrain	40
IV.7	Conclusion.....	42
Chapitre V : Couches d'assise		43
V.1	Introduction.....	44
V.2	Eléments de la couche d'assise	44
V.2.1	Couche de ballaste	44
V.2.1.1	Rôle du ballaste.....	45
V.2.1.2	Propriétés requises du ballast.....	45
V.2.1.3	Caractéristiques mécaniques du ballast.....	46
V.2.1.4	Caractéristiques physiques	47
V.2.1.5	Epaisseur du ballast.....	47
V.2.2	Sous couche (sous ballast).....	48
V.2.2.1	Rôle de la sous-couche (sous ballast)	48
V.2.3	Couche de fondation	49
V.2.4	Couche anti-contaminant.....	49
V.2.5	Couche de géotextile	49
V.2.6	Couche de forme.....	49
V.2.7	Classification de qualité des sols	50
V.2.8	Classe de portance de la plateforme	51

V.3	Dimensionnement des couches d'assises.....	52
V.4	Méthodes de calcul des épaisseurs minimales des couches d'assises.....	52
V.4.1	Paramètre de dimensionnement.....	52
V.5	Classification des lignes.....	54
V.6	Application à notre projet	54
V.6.1	Dimensionnement de la couche de forme.....	55
V.7	Conclusion	57
Superstructure de voie		58
VI.1	Introduction	59
VI.2	Voie	59
VI.3	Catégories de la voie	59
VI.4	Caractéristiques de notre voie	59
VI.4.1	Voie courante	59
VI.4.2	Voie de service en gare	60
VI.5	Rails.....	60
VI.5.1	Forme des rails	60
VI.5.2	Rail de notre projet.....	62
VI.5.3	Ecartement des rails	62
VI.5.4	Défaut de rails	63
VI.5.5	Assemblage des rails.....	63
VI.6	Traverse	65
VI.7	Types de traverses	65
VI.7.1	Traverse en béton.....	65
VI.7.2	Traverse en bois	66
VI.7.3	Traverses métalliques.....	66
VI.8	Attache	67
VI.8.1	Rôle d'attache	67

VI.8.2	Types d'attaches.....	67
VI.9	Appareils de voie.....	68
VI.10	Types d'appareils de voie.....	69
VI.10.1	Branchements.....	69
VI.10.2	Types de branchement	69
VI.10.3	Traversées	69
VI.11	Conclusion.....	70
Chapitre VII : Tracé en plan		71
VII.1	Introduction	72
VII.2	Condition et règles à respecter dans le tracé en plan.....	72
VII.3	Eléments du tracé en plan.....	72
VII.3.1	Alignement.....	73
VII.3.2	Arc de cercle	73
VII.3.3	Courbe de raccordement	73
VII.3.4	Condition de raccordement	73
VII.4	Critère de limitation des paramètres géométrique.....	73
VII.5	Paramètres de raccordement de la voie	74
VII.6	Paramètres géométrique de tracé.....	74
VII.6.1	Rayon minimum de l'alignement circulaire.....	74
VII.6.2	Dévers	75
VII.6.2.1	Dévers théorique (DTH).....	75
VII.6.2.2	Dévers pratique.....	76
VII.6.2.3	Coefficient de dévers.....	76
VII.6.2.4	Insuffisance de dévers	77
VII.6.2.5	Excès de devers	78
VII.6.2.6	Variation de devers.....	79
VII.6.3	Doucines	81

VII.6.4	Clothoïde.....	81
VII.6.5	Raccordement progressif.....	81
VII.7	Application au projet.....	82
VII.7.1	Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan.....	86
VII.8	Conclusion.....	87
Chapitre VIII	: Profil en long.....	88
VIII.1	Introduction	89
VIII.2	Importance du profil en long	89
VIII.3	Éléments d'un profil en long.....	89
VIII.4	Règles à respecter dans un tracé du profil en long	90
VIII.5	Éléments géométriques du profil en long	90
VIII.6	Raccordement en profil en long.....	92
VIII.6.1	Longueur minimal de la déclivité	93
VIII.7	Critères de limitation des paramètres du tracé.....	93
VIII.8	Valeur de déclivité au freinage et de démarrage	94
VIII.8.1	Limites imposées par le freinage (pentes).....	94
VIII.8.2	Limites imposées par le démarrage (rampes)	94
VIII.9	Coordination profil en long-tracé en plan.....	95
VIII.10	Exemple de calcul de profil en long	95
VIII.11	Conclusion.....	98
Chapitre IX	:profil en travers et calcul des cubatures.....	99
IX.1	Introduction	100
IX.2	Profil en travers courant	100
IX.3	Profil en travers type	100
IX.4	Constituants du profil en travers type	100
IX.5	Élément du profil en travers	101
IX.6	Profils en travers affectés au projet.....	102

IX.7	Calcul de cubatures	103
IX.7.1	Méthode de calcul	103
IX.7.2	Résultats de calcul avec le logiciel	105
IX.8	Conclusion.....	105
Chapitre X: Ouvrages d'arts		106
X.1	Introduction.....	107
X.2	Types des ouvrages d'arts	107
X.3	Critères de choix d'un ouvrage d'art.....	107
X.3.1	Normes et références	107
X.3.2	Caractéristiques des matériaux	108
X.4	Croisement avec une route.....	110
X.5	Définition et catégorie des ponts.....	111
X.5.1	Les ouvrages d'arts de notre tracé	112
X.6	Quelques photos lors de réalisation des ouvrage d'art à Sidi Aich.....	113
X.7	Conclusion	114
Chapitre XI : Signalisation ferroviaire.....		115
XI.1	Introduction	116
XI.2	Types de signalisation	116
XI.2.1	Signalisation lumineuse	116
XI.2.2	Signalisation mécanique	117
XI.2.3	Signalisation acoustique.....	117
XI.2.4	Signalisation combinés	117
XI.2.5	Signalisation électronique.....	117
XI.2.6	Signalisation de sécurité	118
XI.2.7	Signalisation radio	118
XI.3	Rôle des installations de signalisation.....	118
XI.4	Signal de voie libre (VL).....	118

XI.5	Fonctions des signaux	118
XI.5.1	Signalisation d'arrêt.....	119
XI.5.1.1	Signalisation d'annonce d'arrêt	122
XI.5.2	Signalisation de limitation de vitesse.....	124
XI.5.3	Signaux de ralentissement et de rappel de ralentissement	125
XI.5.3.1	Ralentissement 30 et rappel 30	125
XI.5.3.2	Ralentissement 60 et rappel 60	126
XI.5.4	Signaux divers.....	127
XI.5.5	Signalisation de cabine	128
XI.6	Implantation des signaux.....	128
XI.7	Visibilité des signaux	131
XI.7.1	Visibilité des signaux hauts	131
XI.7.2	Visibilité des signaux bas.....	131
XI.7.3	Visibilité normale d'un signal	131
XI.8	Application au projet.....	132
XI.8.1	Signaux à prendre en considération	132
XI.9	Conclusion.....	133
Chapitre XII : Aménagement de la gare		134
XII.1	Introduction	135
XII.2	Types de gares	135
XII.2.1	Gares des voyageurs	136
XII.2.1.1	Installations d'une gare des voyageurs.....	136
XII.2.2	Gare de marchandises	137
XII.2.2.1	Installations des gares de marchandises	137
XII.2.3	Gare de triage	138
XII.3	Autre élément de gare	139
XII.3.1	Réseaux de voie	139

XII.3.2	Caténaires.....	139
XII.4	Facteur essentielle à prendre en considération pour la réalisation d'une gare ferroviaire	140
XII.5	Caractéristiques géométrique de la voie.....	141
XII.5.1	Déclivité dans les gares.....	141
XII.5.2	Quais	141
XII.5.2.1	Détermination de la distance à l'axe de la voie.....	142
XII.5.2.2	Largeur des toitures des quais	142
XII.5.3	Marge de glissement à l'aval des signaux.....	143
XII.5.3.1	But de la marge de glissement.....	143
XII.5.3.2	Longueurs de la marge de glissement	143
XII.5.4	Garage franc.....	144
XII.5.5	Longueur utile.....	144
XII.5.5.1	Longueur utile d'une voie	144
XII.6	Conditions de conception des gares	145
XII.7	Sécurité dans les gares ferroviaires	145
XII.8	Application au projet.....	146
XII.8.1	Dimensionnement des quais	149
XII.8.1.1	Occupation des passagers.....	149
XII.8.1.2	Occupation des autres éléments	149
XII.8.1.3	Occupation totale et dimensionnement des quais.....	150
XII.9	Conclusion.....	151
	Devis quantitatif et estimatif XIII.....	152
	Conclusion général.....	155
	Références bibliographique	
	Annexe	

Listes des figures

chapitre I

Figure I-1:Réseau ferroviaire algérien en 1942.....	7
Figure I-2:Locomotive à vapeur de l'époque.....	9
Figure I-3:Locomotive électrifiée moderne d'aujourd'hui.....	9
Figure I-4:Membre de l'UIC.....	10
Figure I-5:Réseau ferroviaire algérien.....	12
Figure I-6:Rocade ferroviaire nord et ses dessertes.....	13
Figure I-7:Rocade ferroviaire des haut plateaux.....	14
Figure I-8:Pénétrante de centre.....	14

chapitre II

Figure II-1 :carte de situation de projet.....	17
Figure II-2:carte de la wilaya de Bejaia.....	18

chapitre III

Figure III-1:Situation de la zone d'étude sur la carte géologique de l'Algérie.....	24
---	----

chapitre IV

Figure IV-1: Exécution Travaux de terrassement.....	36
Figure IV-2: Le bulldozer.....	37
Figure IV-3: Les pilles.....	38
Figure IV-4: Le chargeur.....	38
Figure IV-5: La Niveleuse.....	38
Figure IV-6: Le compacteur vibrant à cylindres lisses.....	39
Figure IV-7: Travaux de terrassement au Pk38.....	39
Figure IV-8:travaux de terrassement au pk 41.....	40
Figure IV-9:Schéma de caniveaux.....	40

chapitre V

Figure V-1:Les différentes couches de l'infrastructure.....	44
Figure V 2 : illustration des différentes couche d'assise.....	56

chapitre VI

Figure VI-1 : Le profil d'un rail.....	60
Figure VI-2: Rail à double champignon.....	61
Figure VI-3: Profil d'un rail Vignole.....	61
Figure VI-4 : Rail gorge.....	61
Figure VI-5:profil d'un rail UIC 54.....	62
Figure VI-6: l'écartement entre les rails.....	63
Figure VI-7: Barre soudé.....	64
Figure VI-8: Assemblage par l'éclissage.....	64
Figure VI-9: Traverse en béton armé.....	65
Figure VI-10: Traverses en bois.....	66
Figure VI-11: Traverse en acier.....	66

Figure VI-12: Tirefond sur les traverses en bois.	67
Figure VI-13 : Attache de type Vosloh.....	68
Figure VI-14: Attache de type Nabla.....	68
Figure VI-15: Branchement et ces éléments constitutifs.	69
Figure VI-16:traversées jonction simples.	70
Figure VI-17:traversées jonction doubles.....	70
chapitre VII	
Figure VII-1: Schéma de raccordement progressif.....	72
Figure VII-2: Dévers théorique.	76
Figure VII-3: Raccordement linéaire du dévers avec les doucine.	81
Figure VIII-1 : Eléments géométriques du profil en long.....	90
Figure VIII-2 : Rampe maximale admissible.	91
Figure VIII-3: Schéma du raccordement circulaire.	93
Figure VIII-4: Eléments de raccordement en long.	96
chapitre IX	
Figure IX-1: Profil en travers.	100
Figure IX-2: Constituants d'un profil en travers.	102
Figure IX-3: Sections d'un profil en travers.	103
Figure IX-4: Positions des sections d'un profil en travers.	104
chapitre X	
Figure X-1: Passage supérieur d'une voie ferrée.	111
Figure X-2: Passage inférieur d'une voie ferrée.....	111
Figure X-3:Passage à niveau d'une voie ferrée.	111
Figure X-4: Travaux de viaduc 44+095 (forage des pieux).....	113
Figure X-5:Travaux de tunnel Sidi Aich (portail entrée).....	114
chapitre XI	
Figure XI-1: Signalisation lumineuse.	116
Figure XI-2: Signalisation mécanique.	117
Figure XI-3: Ralentissement 30 et rappel 30.....	126
Figure XI-4: Signal mat.....	129
Figure XI-5: Signaux sur potence.....	130
Figure XI-6: Signaux sur portique.	130
Figure XI-7: Signal de type bas.	130
Figure XI-8: Les mirlitons.	131
chapitre XII	
Figure XII-1: Différents équipements d'une gare ferroviaire.....	135
Figure XII-2: Rampe à respecter selon la SNCF.	137
Figure XII-3 : Gare de marchandises.....	138
Figure XII-4: Différentes installations des gares de triage.	139
Figure XII-5: Schéma coupe d'une caténaire.	139

Figure XII-6 : Dessin pour le dimensionnement de la hauteur du quai.	142
Figure XII-7: Marge de glissement.....	143
Figure XII-8: Marques de limites de garage franc.....	144
Figure XII-9: Longueur utile.	145
Figure XII-10: Blocs de secours BAES.....	146
Figure XII-11: Plan de situation de la gare de Takrietz.....	147
Figure XII-12: Plan de situation à 1 km d'altitude.	147
Figure XII-13: Vues principale et postérieure de la gare de Takriets.	148
Figure XII-14: Schéma des appareils de voies dans les gares de notre projet.	150

Listes des tableaux

chapitre I

Tableau I-1:Date importante dans l'histoire de chemin de fer.....	4
Tableau I-2: classification des lignes ferroviaire selon UIC 714R.	11
Tableau I-3:les lignes qui seront rectifie est leur longueurs selon APS.....	14

chapitre II

Tableau II-1:de variation de climat de la wilaya selon les mois (Wikipédia).....	18
--	----

chapitre III

Tableau III-1: Résultat des sondages carotté.	26
Tableau III-2: Résultat des puit de reconnaissance.	28
Tableau III-3: Résultat d'essais de pénétration dynamique type Borro.	29
Tableau III-4: Résultat d'essai compacité.	29
Tableau III-5: Résultat des essais au laboratoire.	31
Tableau III-6: Résultat d'essais chimique.	33
Tableau III-7: Résultat des résistance au cisaillement/compressibilité du sols.	33
Tableau III-8: Classification de sols.	34

chapitre IV

Tableau IV-1:Les différents déblais de notre projet.	41
Tableau IV-2:Les différents remblais de projet.....	42

chapitre V

Tableau V-1: Classe de qualité des sols en fonction des caractéristiques géotechniques.....	50
Tableau V-2: Classe de portance de la plate-forme.	51
Tableau V-3: Les paramètres de dimensionnement et leurs valeurs.....	52
Tableau V 4:des Epaisseurs de la couche d'assise.....	56

chapitre VII

Tableau VII-1: Longueur minimale des élément de tracé.	74
Tableau VII-2: Valeurs limite de l'insuffisance de dévers selon SNCF.	77
Tableau VII-3: Valeurs limitent de l'insuffisance de dévers selon UIC.	77
Tableau VII-4: Limite de variation d'insuffisance du dévers (selon la fiche UIC-703-R).....	78
Tableau VII-5: Valeurs limites de l'excès de dévers selon SNCF.	79
Tableau VII-6: Valeurs limites de l'excès de dévers (UIC 703).....	79
Tableau VII-7: Variation de dévers dans le temps $\Delta d/\Delta t$	79
Tableau VII-8: Valeurs limites de variation de dévers par rapport aux temps.	80
Tableau VII-9: Variation de dévers dans les courbes de transition $\Delta d/\Delta L$ selon SNCF.	80
Tableau VII-10: Valeur de calcul.	82
Tableau VII-11: Paramètre du tracé.	86

chapitre VII

Tableau VIII-1:Déclivité selon la SNTF.	91
Tableau VIII-2 : Limites des valeurs des rayons de raccordement en profil.	92
Tableau VIII-3: Longueur minimal des déclivités.....	93

Tableau VIII-4: Valeurs limite des pentes imposé par le freinage.	94
Tableau VIII-5: Valeurs limites de déclivités imposées par le démarrage.	94
Tableau VIII-6: Valeur des paramètres de profil en long.	96
Tableau VIII-7: Donnés de points de raccordements.	96

chapitre IX

Tableau IX-1:Résultats de calcul des cubatures.	105
--	-----

chapitre X

Tableau X-1: Matériaux principaux de construction des viaducs et les ponts en rail.	108
Tableau X-2: Matériaux principaux de construction des passages supérieurs.	108
Tableau X-3: Matériaux de construction de passage inférieur.	109
Tableau X-5: Matériaux de construction des passerelles.	110
Tableau X-6: les viaduc de tracé et leurs caractéristiques.	112
Tableau X-7:Passage supérieur de tracé et leurs caractéristiques.	112
Tableau X-9: Tunnels du tracé et leurs caractéristiques.	113

chapitre XI

Tableau XI-1: Signaux d'arrêt.	119
Tableau XI-2: Signaux d'annonce d'arrêt.	122
Tableau XI-3: Signaux de limitation de vitesse.	124

chapitre XII

Tableau XII-1:La déclivité dans les gares	141
Tableau XII-2: Caractéristiques géométriques des quais.	149

Les systèmes de transport jouent un rôle primordial dans la garantie de la liberté de déplacement des personnes, ainsi que dans le développement économique et le bien-être social. Les voies ferrées constituent l'un des piliers essentiels du système de transport dans de nombreux pays, offrant une alternative efficace et durable pour le transport de passagers et de marchandises. Cependant, l'industrie ferroviaire doit faire face à divers défis liés à la conception, à la maintenance et à l'exploitation des voies ferrées.

Dans le contexte spécifique de l'Algérie, qui couvre une superficie considérable de 2,5 millions de km², le réseau ferroviaire a connu un retard important par rapport aux besoins du pays. Toutefois, l'Algérie a entrepris des mesures significatives pour remédier à cette situation. En effet, elle est actuellement engagée dans la réalisation et la réhabilitation des projets structurants qui transformeront le paysage du réseau national des voies ferrées. Ces projets visent à moderniser et à étendre les infrastructures existantes, permettant ainsi une meilleure connectivité et une plus grande efficacité du transport ferroviaire à travers le pays. Ces initiatives contribueront sans aucun doute au développement socio-économique de l'Algérie et favoriseront une mobilité plus fluide pour ses citoyens.

L'État envisage la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire Beni Mansour Bejaia dans le cadre de son programme national de développement ferroviaire et de son plan directeur national d'infrastructure ferroviaire inclus dans le plan 2009. Notre projet de fin d'étude s'intéresse à ce tracé de 88.8 km. Il s'agit d'une étude d'un tronçon d'une portée de 20 km commençant avant la gare de Ighzer Amokrane au PK 30+000 et se terminant au PK 50+000.

Chapitre I : Etude bibliographique sur le chemin de fer

I.1 Introduction

On désigne d'une façon générale sous le nom de chemins de fer des voies munies de rails, sur lesquelles circulent des trains remorqués par des locomotives.

Le chemin de fer est un système de transport guidé qui assure le transport des personnes et des marchandises par voie terrestre. Il se compose d'une infrastructure spéciale, de matériel roulant et de Procédures d'exploitation faisant le plus souvent intervenir l'humain.

Dans ce chapitre, nous allons aborder les principaux événements du chemin de fer à travers le monde et en Algérie, et examiner le développement des chemins de fer, nous allons également citer les différents projets ferroviaires en Algérie.

I.2 Historique des chemins de fer

I.2.1 Au monde

Au VI^{ème} siècle avant J-C c'est apparu les premiers exemples de chemin guidé était celui du DIOLKOS, c'est un système qui a permis aux bateaux de franchir l'isthme de Corinthe en Grèce, l'aide des bêtes qui tirait des chariots circulant sur des blocs de pierre entaillés. Cette idée a été développée ensuite par les GRECQUES et les ROMAINS aux alentours de l'an 1 par des wagons tractés par des chevaux en utilisant aussi des voies constituées de pierres entaillées.

Les voies et la locomotive, les deux principales composantes du chemin de fer, ont été développées entre 1750-1840. L'ingénieur George Stephenson qui a relié par rails les villes de Stockton et Darlington par la première voie ferrée au monde, a mis en service, en 1825 au Royaume-Uni, cette ligne destinée au transport du charbon. Les wagons étaient tirés par des locomotives à vapeur. Le transport de passagers se faisait par traction hippomobile.

En 1827, la mise en service de la première ligne de chemin de fer en France et en Europe occidentale à une distance de 21 km qui sert à transporter du charbon des mines de Saint-Etienne à la Loire, le tout tiré par des chevaux.

En 1830, la première ligne de chemin de fer destinée aux voyageurs est inaugurée entre Manchester et Liverpool d'une distance de 51 km. C'est sur cette ligne à deux voies, uniquement empruntée par des locomotives à vapeur, qu'est mis pour la première fois en service le transport régulier de voyageurs.

En 1840, apparaît un nouveau type de voie aux USA qui va devenir un classique dans le monde entier, ce sont des rails à base plat posés sur des traverses en bois et cloué directement sur les poutres.

L'évolution du chemin de fer est connue dans les pays qui disposaient de charbon tels que l'Europe et les Etats-Unis d'Amérique entre 1840 ver 1914. Des grands réseaux de la voie ferrée ont été construits pour être sur la voie de la révolution industrielle.

Les Américains ont rapidement perçu le potentiel du chemin de fer mis au point par les Anglais. Ils ouvrent les premières lignes dès 1830 et, dans les années 1850, soit avant la guerre des Sécession, triplent leur réseau, le portant à 50 000 km et en 1875 plus de 120 000 KM étaient compté et 123 000 en Europe occidentale.

Le chemin de fer a connu un développement après la première guerre mondiale, mais à l'apparition de nouveau moyen de transport, qui est l'automobile, des lignes secondaires commencent à fermer, fortement concurrencées par le transport automobile.

Tableau I-1:Date importante dans l'histoire de chemin de fer.

Date	Evènement
1803	Le savant britannique Ritchard Trevithick met au pont la premeire locomotive à vapeur (Angleterre)
1825	Inauguration de la ligne de la compagnie Stockholm et Darlington (Angleterre)
1863	L'ouverture de la première ligne de métro à Londres (Angleterre)
1879	La première locomotive électrique est présentée à Berlin (Allemagne)
1881	Le premier tramway est construit en Allemagne par Werner Von Seimens
1900	Ouverture de la première ligne de métro à Paris (France)
1938	Une locomotive à vapeur roule 202km/h, record mondial (Royaume Uni)
1955	Des Locomotives électriques atteignent la vitesse de 331 km/h (France)
1981	La mise en service de TGV (train a grande vitesse) (France)
1990	Le TGV Atlantique Date le record du monde de vitesse à 515 km/h (France)
2003	Le train JR-Maglev devient le plus rapide au monde avec une vitesse de 581 km/h (Japon)

I.3 Chemin de fer en Algérie

❖ Avant l'indépendance

La Société Civile des Mines et Hauts Fourneaux des Karezas a réalisé la première ligne de chemin de fer en 1853 à Bône, qui fut le premier concessionnaire de la mine de fer de Meboudja entre Bône et Aïn-Mokra.

Cette première ligne, à voie étroite, d'une longueur de 11 km desservait le site minier des Karezas situé à l'ouest de Bône.

Le décret impérial de 08 avril 1857 qui autorise la création d'un réseau de chemin de fer en Algérie, ce réseau de 1357 de ligne ferroviaire s'est fait par étapes successives.

Trois programmes ont été mis en route par l'administration : Le programme de 1857, de 1879 et celui de 1907.

I.3.1 Programme de 1857 -1878

Le chantier de la ligne Alger-Blida est ouvert le 12 Décembre 1859 par une entreprise créée sous statut privé appelée « compagnie des chemins de fer algériens », cette entreprise a obtenu une concession pour la réalisation lignes Oran et Constantine-Skikda qui n'ont pas été réalisées à cause des difficultés financières. Seule la ligne Alger-Blida a pu être réalisée et ouverte au service voyageur le 8 Septembre 1862.

La poursuite des travaux pour les autres lignes est assurée par cinq (5) compagnies :

- La Compagnie Bône – Guelma (BG).
- La Compagnie de l'Est Algérien (EA).
- La Compagnie Paris - Lyon –Méditerranée (PLM).
- La Compagnie de l'Ouest Algérien (OA).
- La Compagnie Franco – Algérienne (FA).

Un réseau total de 1365 km était réalisé au cours de la période 1857-1878 sur les lignes suivantes :

- Constantine-Sétif.
- Alger-Thénia.
- Alger-Oran.
- Arzew-La Macta-Mohammadia.
- Mohammadia-Mécheria.
- Oued Tlélat-Sidi Bel Abbès.

I.3.2 Programme de 1879-1906

Au cours de la période 1879-1906, une totalité de 2035km ont été ajouté au réseau ferroviaire algérien :

- Souk Ahras-Tébessa.
- Le Kouif et embranchement vers la frontière.

- Ain-Mokra-Ramdane Djamel.
- Ouled Rahmoune-Khenchela.
- Embranchements vers Tizi Ouzou.
- Béjaia et Sour El Ghozlane.
- Blida-Berrouaghia.
- Mostaganem-Relizane- Tiaret.
- Oran-Arzew.
- Sénia-Témouchent.
- Sidi Bel Abbès-Tlemcen-Frontière.
- Tabia-Crampel.
- Méchéria-Béchar.
- Tizi-Mascara.

I.3.3 Programme 1906-1946

En 1907, un troisième programme de nouvelle ligne portant sur 1256 km établi s'ajoute au réseau existant au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons de lignes suivants, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés :

- Ain Beida-Tébessa.
- El Milia-Jijel, Biskra-Touggourt avec embranchements vers Tolga et El Oued (cette ligne classée secondaire d'une longueur de 387 km a été réalisée en plus du programme de 1256 km).
- Constantine-Oued Athmania.
- Berrouaghia-Djelfa.
- Tiaret-Mahdia-Cl. Bouguerra.
- Mascara-Mecheria avec embranchements Relizane.
- Sidi Bel Abbés-Tizi.
- Tlemcen-Beni-Saf.
- Mostaganem-La Macta.

En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer sur routes (CFRA).

Le 30 Juin 1959 est établie la Convention entre l'Etat et l'Office CFA. Le 1er Janvier 1960, est créée une Société des Chemins de Fer Français en Algérie.

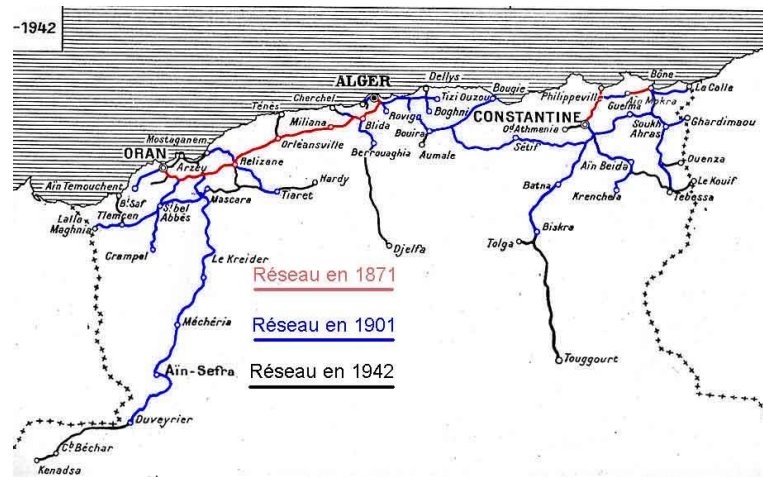


Figure I-1: Réseau ferroviaire algérien en 1942.

❖ Après l'indépendance

Le 16 juin 1963, la Société nationale des chemins de fer français en Algérie a été transformée en Chemins de Fer Algériens. En 1976, la création de la société nationale des transports ferroviaires (SNTF) après la fin de la concession entre l'état algérien et l'état français. Cette dernière se reconstitue en trois entreprises :

La SNTF : société nationale chargée de l'exploitation et de l'entretien du réseau ferroviaire.

La SNERIF : société nationale chargée du renouvellement et de l'extension du réseau ferroviaire.

La SIF : société d'engineering et de réalisation d'infrastructures ferroviaires.

Un large programme d'investissement lancé en 1980 a pour objectif de la modernisation et l'accroissement de la capacité des lignes de réseau.

Les lignes concernées par ce programme sont :

- Jijel / Ramdane-Djamel (140 km).
- Dessertes des cimenteries de Beni-Saf (23 km), Saida (23 km) et Ain-Touta (15 km).
- Renouvellement complet (voie et ballast) d'une grande partie du réseau soit un total de 1400 km de voie.
- Mise à double voie de tronçons de la rocade nord (200 km).
- Aménagement, modernisation et reconstruction des gares réparties sur le réseau.
- Aménagement ferroviaire des régions d'Annaba et d'Alger (partiellement).

À la fin des années 1990, la SNTF exploite un réseau de 3 500 km, qui atteint 6 300 km en 2022, pour être porté à 12 500 km à l'horizon 2030.

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 ouvert (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.4 L'évolution de chemin de fer

L'évolution du chemin de fer a été guidée par l'innovation technologique, les besoins de transport croissants et les exigences changeantes des voyageurs. Ces progrès continuent d'améliorer l'efficacité, la sécurité et le confort du transport ferroviaire, faisant du chemin de fer un mode de transport essentiel dans de nombreux pays.

I.4.1 Différences entre le chemin de fer de l'époque et celui d'aujourd'hui

- ❖ **Technologie** : Le chemin de fer d'autrefois utilisait principalement des locomotives à vapeur, tandis qu'aujourd'hui, on utilise des locomotives électriques et diesel plus avancées, ce qui permet une meilleure efficacité énergétique et une réduction des émissions.



Figure I-2:Locomotive à vapeur de l'époque.



Figure I-3:Locomotive électrifiée moderne d'aujourd'hui.

- ❖ **Superstructure** : Les voies ferrées d'autrefois étaient souvent construites en utilisant des rails en acier posés sur des traverses en bois. Aujourd'hui, les voies ferrées sont plus modernes, avec des rails en acier plus résistants et des traverses en béton, ce qui offre une stabilité et une durabilité plus importante.
- ❖ **Vitesses** : Les trains modernes sont beaucoup plus rapides, contrairement aux trains de l'époque qui étaient plus lents.
- ❖ **Sécurité** : Les normes de sécurité dans l'industrie ferroviaire ont évolué, avec des mesures strictes telles que des systèmes de signalisation sophistiqués et des dispositifs de sécurité aux passages à niveau.
- ❖ **Accessibilité** : Les gares et les infrastructures ferroviaires d'aujourd'hui sont généralement mieux conçues pour accueillir les personnes à mobilité réduite, avec des rampes d'accès, des ascenseurs et d'autres installations facilitant l'accessibilité pour tous les passagers.

I.5 L'union internationale des chemins de fer (UIC) :

I.5.1 Présentation

C'est une organisation internationale, regroupant les entreprises ferroviaires, est née dans le sillage de la conférence internationale de Portorosa, en Italie, le 23 novembre 1921, suivie de la conférence Internationale de Genève, le 3 mai 1922.

I.5.2 Membre de UIC

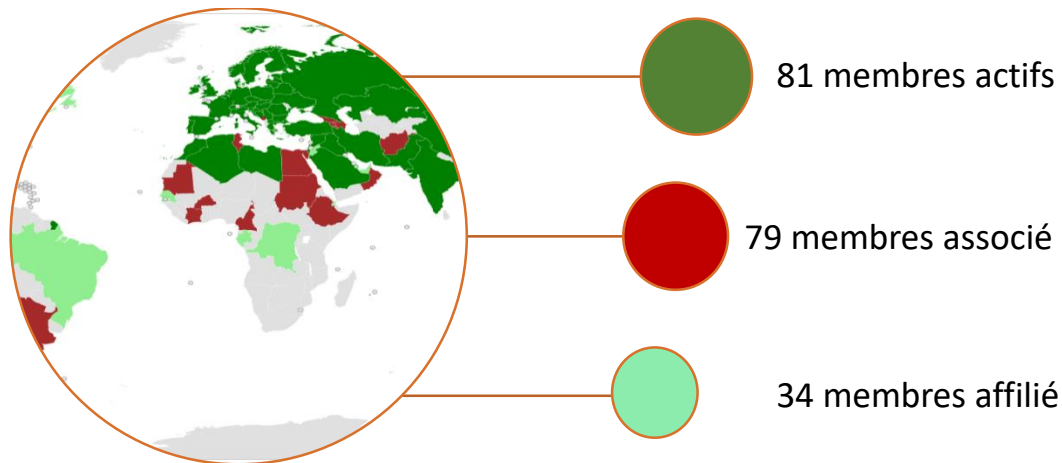


Figure I-4: Membre de l'UIC.

I.5.3 Missions de l'UIC

- Promouvoir le transport ferroviaire à l'échelle mondiale dans le but de répondre efficacement aux défis actuels et futurs liés à la mobilité et au développement durable.
- Développer et faciliter toutes les formes de coopération internationale entre les membres et promouvoir le partage des meilleures pratiques.
- Promouvoir l'interopérabilité et développer et publier des solutions aux problèmes liés au système ferroviaire (IRS).
- Soutenir les membres dans leurs démarches de développement de nouvelles affaires et de nouveaux secteurs d'activité.
- Proposer de nouvelles voies pour améliorer les performances techniques et environnementales du transport ferroviaire, accroître la compétitivité et réduire les coûts.

I.5.4 Classification des lignes d'UIC

L'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) a établi une classification des lignes en fonction des sollicitations étant directement liées à l'importance du trafic qu'elle subit l'infrastructure ainsi que du type de trafic.

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune selon une vitesse maximale et une charge à l'essieu. On distingue ainsi ; et à La vitesse des convois, les éléments ci-après interviennent :

- La charge réelle du trafic voyageur.
- La charge réelle du trafic marchandise.
- La charge réelle des engins de traction.

Les lignes de chemin de fer sont classées comme suit :

Tableau I-2: classification des lignes ferroviaire selon UIC 714R.

Groupe	Trafic effectif (tonnes)
Groupe 1	$Tf > 120000$
Groupe 2	$85000 < Tf \leq 120000$
Groupe 3	$50000 < Tf \leq 85000$
Groupe 4	$28000 < Tf \leq 50000$
Groupe 5	$14000 < Tf \leq 28000$
Groupe 6	$7000 < Tf \leq 14000$
Groupe 7	$3500 < Tf \leq 7000$
Groupe 8	$3500 < Tf \leq 1500$
Groupe 9	$Tf \leq 1500$

Un coefficient traduisant la qualité requise par la voie selon la vitesse maximale, des trains voyageurs ou bien l'absence de trafic voyageur. Ce coefficient noté S vaut :

S=1 : ligne sans trafic voyageur, ou comprenant un trafic voyageur essentiellement local.

S=1.10 : ligne dont le trafic voyageur comporte des trains dont la vitesse $V \leq 120 \text{ Km/h}$.

S=1.20: ligne dont le trafic voyageur comporte des trains dont la vitesse $120 < V \leq 140 \text{ Km/h}$.

S=1.25: ligne dont le trafic voyageur comporte des trains dont la vitesse $V > 140 \text{ Km/h}$.

Le tonnage fictif est calculé par la formule suivante (Selon code UIC 714 R ,3éme édition 01.01.1989) :

$$Tf = Sv \times (Tv + Kt \times Ttv) + Sm \times (Km \times Tm + Kt \times Ttm).$$

Avec :

- **Tf** : c'est le trafic réel supporté.
- **Tv** : tonnage journalier voyageurs exprimé en tonnes brutes remorquées.

- **T_{tm}** : tonnage journalier marchandises exprimé en tonnes brutes remorquées.
- **T_{tv}** : tonnage journalier voyageurs des engins de traction en tonnes.
- **K_m et k_t** : coefficients tenant compte à la fois de la charge et de l'agressivité des essieux.
- **K_t= 1.4 km= 1.2** : voie supportant un trafic prépondérant d'essieux de 20 tonnes.
- **K_m= 1.15** ; voie supportant un trafic prépondérant d'essieux autre que 20 tonnes.
- **K_m=1.30** : pour un trafic prépondérant (>50% du trafic) d'essieux chargés à 20 tonnes ou pour un trafic significatif (>25% du trafic) d'essieux chargés à 25.22 tonnes
- **K_m=1.45** : pour un trafic prépondérant (>50% du trafic) d'essieux chargés à 22.5 tonnes ou pour un trafic essentiellement assuré (>75% du trafic) par des essieux chargés à 20 tonnes ou plus.

I.6 Réseau ferroviaire national

En Algérie, le secteur ferroviaire connaît aujourd'hui une véritable relance de 900 milliard dinars, soit équivalant à 9 million d'euro ont été fournis au secteur dans le cadre du programme de la relance économique 2004-2009.

L'état algérienne a accordé une priorité pour la modernisation et le développement de réseau ferrée algérien vu sont impacte directe sur la vie des citoyen et l'économie de pays.

Le réseau ferroviaire algérien possède accueilment 4560km dont 4200Km et 480 km électrifiée, 560km de ligne en double voie avec 1174 passage à niveau, 137 tunnel, 410 gares et halte et 7800 ouvrage d'art et ouvrage hydraulique.



Figure I-5: Réseau ferroviaire algérien.

I.7 Programme ferroviaire national

Depuis la création de l'Agence nationale de suivi et de réalisation des infrastructures ferroviaires (ANESRIF), qui prend en charge l'exécution du programme ferroviaire national, a réalisé jusqu'ici un total de 1.299 km d'infrastructures ferroviaires et de travaux multiples, et rénové 1.284 km de voies ferrées en exploitation.

Dans le cadre de la modernisation du réseau national, les projets inscrits dans le cadre de ce programme ont permis aussi d'équiper 555 km de voies de systèmes modernes de signalisation et de télécommunication.

Concernant le volet lié aux travaux d'infrastructures et d'ouvrages d'art, des linéaires de 57 km de tunnels ont été creusés et 62 ponts construits, relève cette organisme qui fait état par ailleurs de taux de réalisation "satisfaisants" sur les principaux projets ferroviaires en cours.

Dans ce cadre, le projet de la rocade Nord et ses dessertes qui couvrent 22 wilayas représentant plus de 20 Millions d'habitants (Environ 50% de la population globale). A une longueur de 1.822 Km de linéaire (1.250 km d'Annaba à Akid Abbes (Maghnia) et 572 km linéaire des dessertes), affiche un taux de réalisation dépassant les 73% avec 920 km de lignes réalisées.

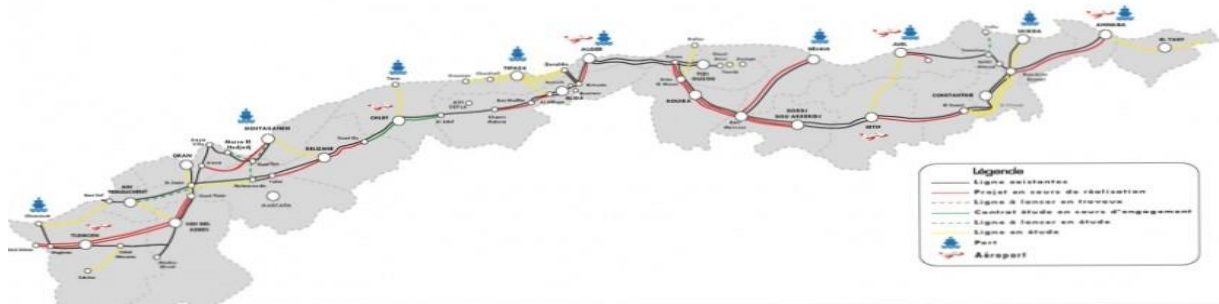


Figure I-6:Rocade ferroviaire nord et ses dessertes.

Quant à la rocade des Hauts-plateaux qui couvre 11 wilayas sur 1.160 km de linéaire (532 km en exploitation et 628 Km à 160 km/h en cours de réalisation), 628 km ont été réalisés avec un taux d'avancement des travaux évalué à 54%.

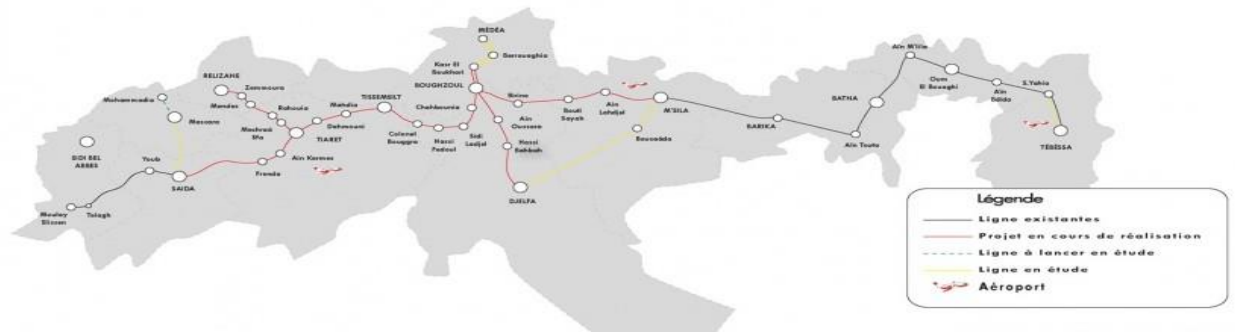


Figure I-7:Rocade ferroviaire des haut plateaux.

Concernant le projet de la pénétrante Centre, qui bénéficie à une population de 7,9 millions d'habitants sur 290 km, et il affiche un taux de réalisation de 65%, précise l'ANESRIF, et 86 km de ligne nouvelle en étude.



Figure I-8:Pénétrante de centre.

Dans le cadre de Dédouplements et rectifications des tracés sur une longueur de 663 km sur les lignes suivantes :

Tableau I-3:les lignes qui seront rectifie est leur longueurs selon APS.

Ligne	Longueur
Annaba / R.Djamel	96 km
Sétif / El Gourzi	108 km
Beni Mansour / Bejaia	87 km
Thénia / BBA	175 km
Oued Sly / Yellel	93 km
El Affroun / Khemis	56 km
Djendjen/Bellara	48 km

L'objectif est d'arriver à relier les différentes régions du pays, du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, grâce à un réseau ferroviaire développé de lignes mixtes de transport de voyageurs et de marchandises, ainsi que de gares modernes, pour des trains roulant à des vitesses allant de 160 à 220km/h.

Il s'agit aussi de réaliser certaines lignes logistiques pour relier les ports, les zones d'activité, les zones industrielles et les sites miniers, ainsi que les pôles pétroliers au réseau ferroviaire national.

I.8 Conclusion

En conclusion, nous pouvons affirmer que le chemin de fer a joué un rôle fondamental dans le développement, car il occupe une place extrêmement importante dans l'économie nationale. Dans ce chapitre, nous avons abordé les différentes étapes de l'évolution des chemins de fer dans le monde ainsi qu'en Algérie. Nous avons également discuté de l'amélioration des méthodes de construction qui seront utilisées dans les études des chapitres suivants.

CHAPITRE II : Présentation de projet

II.1 Introduction

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire à double voie s'inscrit dans le cadre du programme d'investissement 2009/2010 et prend son origine à Beni Mansour, dans la wilaya de Bejaia, pour aboutir à la ville de Bejaia, sur un itinéraire de 88 km. Cette ligne sera destinée à un trafic mixte, avec une vitesse maximale de 160 km/h pour les trains de voyageurs et de 100 km/h pour les trains de marchandises, utilisant une traction mixte (électrique-diesel). Elle sera dotée de neuf gares et de quatre haltes.

II.2 Localisation du projet

Le projet s'inscrit dans le réseau ferroviaire reliant Azib Ben Cherif au PK 30 débutant de la Halte (PK 30+228) jusqu'au PK 50 sur un itinéraire de 20kilomètre.

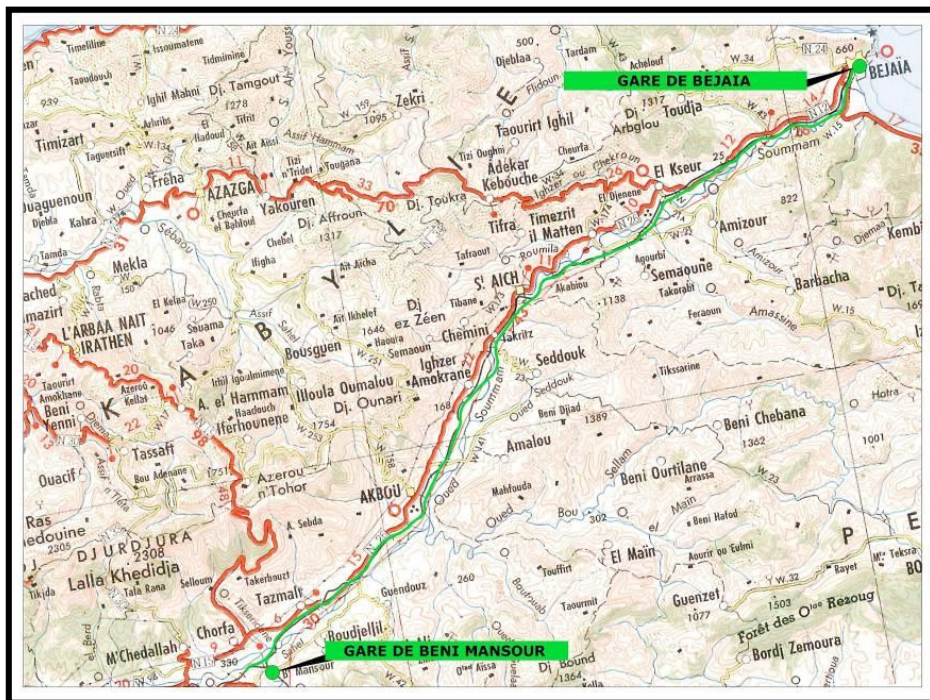


Figure II-1 : carte de situation de projet.

II.3 Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Bejaïa est une wilaya algérienne, située au nord-est du pays, dans la région de la Kabylie sur sa côte méditerranéenne. Elle est divisée administrativement en 52 communes et 19 daïras. Son chef-lieu est Bejaïa. La wilaya de Bejaïa a une superficie de 3 268 km².

La wilaya de Bejaia est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- À l'Ouest par la wilaya de Tizi Ouzou (massif de la haute Kabylie), et la wilaya de Bouira.
- À l'Est par la wilaya de Jijel.

- Au Sud-Est par la wilaya Stif.
- Au Sud-Ouest par la wilaya de Bordj Bou Arreridj (plateau de Bordj Bou Arreridj).

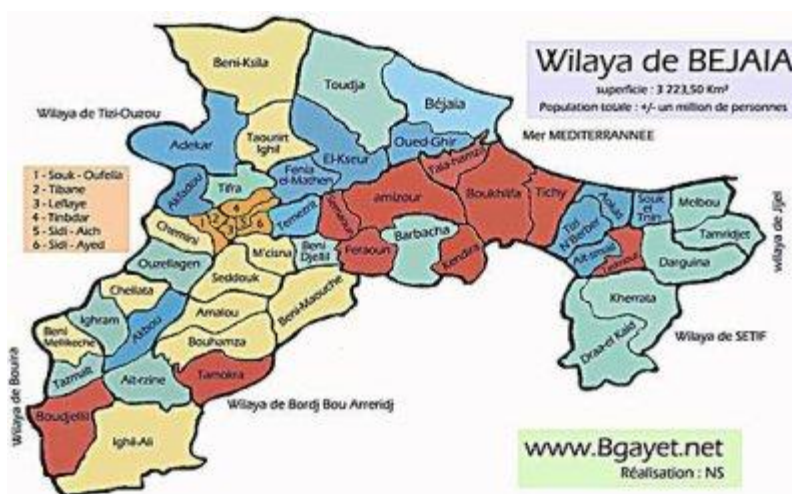


Figure II-2:carte de la wilaya de Bejaia.

II.3.1 Situation démographique

Selon le dénombrement de 2017, la wilaya de Bejaia comptait une population estimée à 972 050 habitants répartis sur une superficie de 3268 km², avec une densité de 302 hab./km².

II.3.2 Relief de la wilaya

Le relief de la Wilaya de Bejaia se caractérise par un ensemble physique bien différenciés :

- Les plaines situées près du littoral et les vallées (vallée de Soummam).
- Les montagnes à l’est et sud-est.

II.3.3 Climat de la wilaya

La wilaya de Bejaia est caractérisée par un climat Méditerranéen Il est généralement humide avec un léger changement de température saisonnier. Les températures moyennes sont globalement douces et varient de 11,1 °C en hiver, et à 24,5 °C en été.

Tableau II-1:de variation de climat de la wilaya selon les mois (Wikipédia).

Mois	jan	fév	Mar	avr	Mai	juin	juil	aout	sep	Oct	nov	dec	année
Précipitation (mm)	99.7	85.9	100.4	70.7	41.2	16.2	5.8	13	40.4	89.5	99.7	135	767.5
Température moy	12.1	12.3	13.1	14.7	17.6	21	24	24.8	23.2	19.7	15.8	12.7	17.6

II.4 Histoire de projet

L'Agence National d'Etude et Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (A.N.E.S.R.I.F), a confié au groupement GETINSA-SETIRAIL-SAETI l'étude du « réhabilitation et de la modernisation des installations ferroviaires sur la ligne Beni Mansour et Bejaia ainsi que son électrification tout en suivant les prescriptions du plan national de modernisation du secteur ferroviaire.

À date 14/01/2009, ANESRIF invitait à entamer les prestations de projet, En 2011, le groupement GETINSA-SETIRAIL-SAETI a remis le document Avant-projet Sommaire suite aux études géotechnique et topographique dans lequel a été effectuée une étude du tracé choisi et d'ouvrages de drainage, ainsi que l'élaboration des plan et des descriptifs technique des éléments constitutifs des voies, des accès aux installations ,des ouvrages d'arts ,des gares de voyageurs et de marchandises, de la signalisation et de la télécommunication.

En 2012 un groupement des entreprises Algérienne chapeauté par Cosider en commencés les études de ce projet.

II.5 Objectif du projet

L'objectif est la réhabilitation, et la modernisation des installations ferroviaires sur la ligne Beni Mansour et Bejaia, ainsi que son électrification tout en suivant les prescriptions du plan national de modernisation du secteur ferroviaire, à savoir dans ce cas précis :

- L'augmentation de la vitesse de service jusqu'à 160 km/h et réduire ainsi le temps de parcours.
- La suppression des passages à niveau (98 dans le tronçon).
- Le renouvellement partiel ou total des infrastructures et éléments constitutifs de la voie.
- Cette infrastructure améliorera la qualité de transport ferroviaire et facilitera le déplacement civil dans la wilaya, de l'autre augmentation la capacité marchande en montant de 2 train par jours à 6 qui permettra à la wilaya de Bejaia un développement socio-économique.
- Réduire la surcharge sur la RN 26.
- Attendre 66 trains /jours / sens.
- 130,200 voyageurs par jour.
- ❖ **Embranchement particulier**
 - Les moulins de Soummam SPA
 - Vers Naftal

II.6 Données du projet

❖ Caractéristiques générales

- Longueur de la ligne 20 Km.

❖ Caractéristiques de la voie

- Ecartement de la voie : 1,435 m.

❖ Vitesse admissible en voie Générales

- Vitesse :160Km/h pour les trains de voyageurs.
100Km/h pour les trains de marchandises.

❖ Profil en long :

- Déclivité max en pleine voie :15 ‰.
- Déclivité maximale en gare :0 ‰.

❖ Section type :

Les caractéristiques géométriques des sections type à adopter pour les voies générales sont, les suivantes :

- Type de ligne : double voie.
- Ecartement de la voie : 1,435 m.
- Entraxe : 4,20 m.
- Largeur de la plate-forme : 13.60 m (plateformes voie double).
- Pente latérale de la plate-forme : 5%.
- Epaisseur de ballast : 0,30 m.
- Epaisseur de couche de sous ballast : 0,25 m.
- Epaisseur de couche de forme : 0,50 m.
- Distance axe voie- axe caténaire : 3,25 m.

❖ Super structure de la voie :

Pour la voie courante :

- Types de rails UIC 54.
- Traverse Bi bloc (type B440 ancienne Vax U31).
- Attache élastique pour la traverse B440.

Pour la voie de service en gare :

- Rail UIC 54.
- Travers bi bloc B440, type Vax 31.
- Attache élastique pour la traverse B440.

❖ Ouvrages d'arts :**Viaducs :**

- Viaduc pk 36+195.
- Viaduc pk 37+390.
- Viaduc pk 40+975.
- Viaduc pk 44+095.
- Viaduc pk 46+366.
- Viaduc 47+242.
- Viaduc 50+094.88.

Tunnels :

- Takrietz + Tranchée couverte : 272 m + 46 m.
- Sidi Aich : 907 m.

Gares :

- Pk 34+825 – Gare d'Ighzer Amokrane.
- Pk 42+977 – Gare de Takrietz.
- Pk 45+909 – Gare de Sidi Aich.

Haltes :

Pk 30+228 – Halte d'Azib Ben Cherif.

II.7 Conclusion

Ce chapitre fournit une vue d'ensemble complète du projet de réhabilitation et de modernisation de la ligne ferroviaire Beni Mansour-Béjaïa. Cette ligne revêt une importance stratégique et présente plusieurs avantages, tels que l'augmentation de la capacité de transport, la réduction des temps de trajet et l'amélioration de la sécurité.

Au cours de ce chapitre, nous avons souligné l'importance de la situation de la zone d'étude, qui constitue la base de l'étude géologique et géotechnique.

Chapitre III : Etude géologique et géotechnique

III.1 Introduction

La construction de la nouvelle ligne Beni Mansour-Béjaïa nécessite des études approfondies, dont l'étude géologique et géotechnique. Cette étude permet de reconnaître les caractéristiques des terrains, d'identifier les difficultés rencontrées et d'évaluer la faisabilité des différents tronçons, ce qui guidera l'ensemble des choix de conception. Par conséquent, l'objectif de ce chapitre est de décrire les caractéristiques du sol et du sous-sol, afin de garantir la stabilité de la conception.

III.2 Etude géologique

Une analyse géologique approfondie est un élément fondamental pour assurer la qualité du projet et la stabilité à long terme de la plateforme. Elle doit être réalisée dès le début de l'étude afin de contribuer au choix du tracé et de détecter les points critiques potentiels.

III.2.1 Géologie régional

La wilaya de Béjaïa est située dans le nord de l'Algérie, sur la côte méditerranéenne. Sur le plan géologique, la région de Béjaïa présente une grande diversité de formations géologiques.

La zone côtière de Béjaïa est caractérisée par la présence de plaines alluviales formées par les dépôts des fleuves Soummam et Toudja. Ces plaines sont composées de sédiments récents, tels que des argiles, des sables et des graviers.

À l'intérieur des terres, on trouve des montagnes appartenant à la chaîne de l'Atlas tellien. Ces montagnes sont constituées de roches sédimentaires, notamment des calcaires, des marnes et des grès. La région présente également des formations volcaniques anciennes, telles que le Djebel Babor, qui est un stratovolcan éteint.

En ce qui concerne les phénomènes géologiques, la région de Béjaïa est sujette à des tremblements de terre en raison de sa position le long de la faille tectonique de l'Atlas tellien.

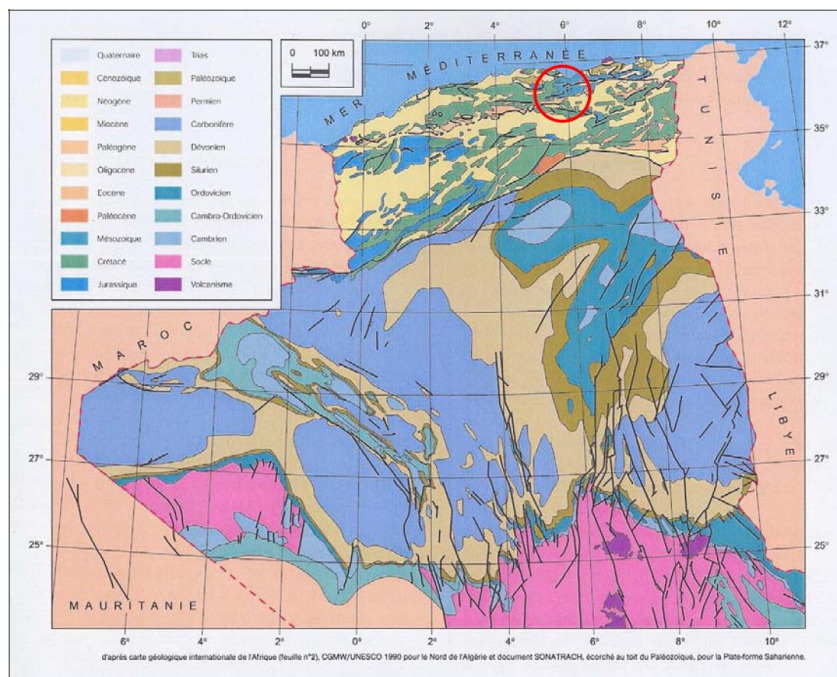


Figure III-1: Situation de la zone d'étude sur la carte géologique de l'Algérie.

III.2.2 Stratigraphie régionale

La lithostratigraphie de cette région du Nord de l'Algérie est caractérisée par une succession de formations géologiques qui se sont déposées tout au long de l'histoire géologique de la région.

Ces formations résultent de la sédimentation qui a eu lieu dans un bassin mésozoïque et cénozoïque fortement subsidant, situé à la périphérie d'un socle paléozoïque fracturé en compartiments plus ou moins individualisés. La sédimentation dans ce bassin s'est déroulée tantôt dans des conditions marines, tantôt dans des conditions continentales, et a progressivement rempli le bassin.

III.2.3 Tectonique

Le tronçon considéré court dans sa totalité par le versant septentrional de l'Atlas du Tell (est né d'un long sillon subsidant pincé entre les hauts plateaux et la Plate-forme Saharienne). L'Atlas tellien est une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Des bassins néogènes tardifs comme le Chélif et le Hodna se sont installés sur ces nappes.

L'évolution tectonique régionale est étroitement liée la formation des chaînes alpines méditerranéennes, et concrètement le tronç algérien de cette chaîne, est attaché à la rotation de la plaque africaine par rapport à l'eurasiatique.

III.2.4 Géomorphologie

Notre trace d'étude traverse une partie de l'Atlas tellien au milieu de la vallée de l'Oued Soummam, avec une direction approximative NE – SW, qui sépare les massifs de la Grande Kabylie (à l'Ouest) et de la Petite Kabylie (à l'Est). Au long de ce couloir on peut différencier trois types de reliefs avec des caractéristiques distinctes.

Premièrement on peut définir des plaines fluviales formées par les terrasses et alluvions aux marges de l'Oued Soummam qui confèrent un relief plan, ou faiblement en escalier, avec une pente faible et uniforme, vers le lit de l'Oued et perdant de l'altitude, et faiblement, vers le littoral méditerranéen. Sur cette plaine alluviale coule l'Oued Soummam avec un tracé méandrique, propre au cours bas près de l'embouchure, et récupérant les eaux provenant des thalwegs latéraux qui jouent un rôle de ravines saisonnières, très souvent violentes. Il est très fréquent l'apparition des éventails alluviaux et de cônes de déjection, de dimensions variables, à la confluence de ces ravines avec la dépression principale. Aussi il est relativement fréquent la présence de méandres abandonnés qui sont proches de la vallée fertile alluviale.

III.2.5 Risques géologiques

De manière très général, on distingue quatre types de risques qui pourraient affecter l'environnement de la zone d'étude :

- Inondations et flux de boues. Dû au fait que les pluies sont généralement sporadiques à caractère torrentiel, la situation géographique du couloir par la vallée de l'Oued Soummam, est susceptible d'être affectée par des inondations, des débordements et formation de flux de boues des reliefs qui limitent par le Sud et par le Nord cette vallée.
- Glissements de pente, motivés par la présence de terrains marneux, potentiellement altérables, dans des pentes fortes en suspens.
- Karstifications développées dans les roches calcaires et dolomitiques, peuvent entraîner la présence effondrements ou tassements dans le terrain, tant dans le tracé général comme dans les fondations des structures.

III.2.6 Sismicité

Le nord Algérienne considéré comme la partie la plus actives sismiquement, elle est soufferte au long de l'histoire par des séries de séisme. Cela fait que la plaque Africaine converge vers l'européenne.

Notre zone d'étude est classée selon la carte sismique algérienne dans la ZONNE II, d'après le RPOA2008 Tronçon Beni Mansour - Bejaïa, le risque que des séismes se produisent avec

des accélérations sismiques de base comprises entre une valeur minimale de 0.8 m/s² et un maximum de 2.4 m/s², étant la valeur moyenne de 1.6 m/s²

III.3 Etude géotechnique

Ces études serviront à ranger les terrains suivant un classement des qui permettra compte tenu du régime hydraulique, la profondeur de gel et des contraintes d'exploitation ferroviaires. De déduire le choix de la conception adéquat pour chaque zone géotechnique distingués et déterminer la classe de la plateforme nécessaire au dimensionnement de la structure d'assise afin d'établir une table de correspondance indispensable au mouvement des terres.

III.3.1 Déroulement de la campagne géotechnique

Le programme à exécuter dans le cadre de cette étude, comporte vingt-huit (28) sondages. Les profondeurs de ces sondages varient de 18 à 25 m.

III.3.2 Essais in-situ

III.3.2.1 Sondage réalisé

❖ Sondage carotté

Tableau III-1: Résultat des sondages carotté.

Pk du sondage	Profondeur de sondage	Résultat et observation
Pk 30+100	0.0 _0.50	- Terre végétale.
	0.50 _2.30	- Argiles sableuses et graveleuses.
	2.30 _ 4.50	- Cailloux et grave à matrice argileuses.
	4.50 _6.50	- Argiles graveleuses brunes avec un passage caillouteux entre 5.6 et 6 m.
	6.50 _18.00	- Cailloux roulés à matrice sablo-argileuse.
Pk 36+800	00 _ 1.80	- Alluvions : cailloux à matrice sableuse.
	1.80 _ 7.80	
	7.80 _18.00	

		<ul style="list-style-type: none"> - Argiles sableuses brunes légèrement graveleuses très molle. - Alluvions : graves, cailloux et blocs à matrice sablo-argileuse.
Pk 45+300	0.0 _0.50 0.50 _3.75 3.75 _18.00	<ul style="list-style-type: none"> - Terre végétale. - Limons sableux et argileux de couleur grise avec présence de déchet (sacs en plastique). - Alluvions : graves, sables et cailloux.
Pk 48+800	0.0 _0.80 0.80 _12.60 12.60 _13.50 13.50 _18.00	<ul style="list-style-type: none"> - Terre végétale. - Argiles graveleuses rougeâtres et brunes à ocres blanchâtres. - Sables consolidés. - Alluvions : graves, sables et cailloux.
Pk 50+100	0.0 _0.50 0.50 _8.60 8.60 _18.00	<ul style="list-style-type: none"> - Terre végétale. - Graves argileuses et sableuses avec présence de cailloux légèrement roulés - Argiles graveleuses rougeâtres et compacte

❖ Puits de reconnaissance

Le programme à exécuter dans le cadre de cette étude, comporte 98 puits de reconnaissances de 3 m de profondeur, ces puits sont réalisés à l'aide d'un Retro-chargeur tout au long de tracé

Tableau III-2: Résultat des puits de reconnaissance.

Emplacement du puit	Profondeur du sondage	Description
Pk 30+200	0.00_1.00	- Terre végétale.
	1.00_2.00	- Argiles brunes graveleuses et caillouteuses compactes.
Pk 36+900	0.00_0.80	- Remblais.
	0.80_2.00	- Cailloux et blocs à matrice argileuse rougeâtre
Pk 43+400	0.00_0.80	- Terre végétale.
	0.80_3.00	- Argiles limoneuses brunes avec des débris végétaux et des ocres gris.
Pk 48+800	0.00_0.50	- Terre végétale.
	0.90_3.00	- Argiles blanchâtres graveleuses et caillouteuses avec parfois présence de blocs.
Pk 49+600	0.00_0.30	- Terre végétale.
	0.30_1.30	- Argiles rougeâtres légèrement graveleuses.
	1.30_2.50	- Graves argileuses rougeâtres très compactes.

❖ **Essais de pénétration dynamique type Borro** : Ces essais consistent à mesurer le nombre de coups nécessaires pour pénétrer 20 centimètres dans le terrain, une pointe carrée de 4x4 cm² de section et une extrémité de pointe conique de 90°, sur la pointe, prolongée sur sa

partie supérieure par un prisme de même section et d'une hauteur de 12 centimètres. Une massue de 63,5 K applique les coups avec une hauteur de chute de 50 centimètres. Un train de tige de 32 millimètres de diamètre transmet à la pointe l'énergie de la massue.

Tableau III-3: Résultat d'essais de pénétration dynamique type Borro.

Numéro de l'essai	Interprétation
DPSH126	- Les résultat pénétrométriques ont enregistré des résistances de point de moyennes à élevées (34 bars <math> < Rp < 206.4 \text{bars}</math>) avec un refus superficiel de 0.20 et 5.40m de profondeur, causé probablement par la rencontre d'un horizon alluvionnaire.
DPSH127	
DPSH 129	
DPSH134	
DPSH136	
DPSH133	- Horizon fable entre 1.20m jusqu'à 1.60m avec des résistances de pointe comprises entre (23bars <math> < Rp < 30 \text{bars}</math>).
DPSH135	- Horizon fable entre 0m à 4.80m avec des résistances de pointe comprises entre (22bars <math> < Rp < 40 \text{bars}</math>).
DPSH137	- Horizon fable entre 2.60m et 3.40m avec des résistances de pointe comprises entre (29.60bars <math> < Rp < 40 \text{bars}</math>).
DPSH138	- Horizon fable à moyenne entre 0.00m à 5.20m avec des résistances de pointe comprises entre (13.80 <math> < Rp < 40 \text{bars}</math>).

❖ **Compacité** : Les essais pénétrométriques exécutés au long du tracé, nous permettront d'apprécier la compacité de chaque zone traversée, selon l'essai STP on a obtenu les résultats suivants :

Tableau III-4: Résultat d'essai compacité.

Sondage carotte	Lithologie	Compacité
Pk 31+665	- Roche meuble et sol très dur	- Sol très dense
Pk 36+900	- Roche meuble et sol très dur	- Sol très dense
Pk 40+125	- Sol moyenne	- Sol à une densité sèche moyenne
Pk 44+660	- Sol rocheux dure avec fracturation moyenne à basse.	- Sol à une densité sèche moyenne

Pk 47+750	- Sol moyenne	- Sol très dense
------------------	---------------	------------------

III.3.3 Essais au laboratoire

Des échantillons prélevés lors de la réalisation des sondages carottés, ont été soumis aux essais d'identification physiques et essais mécaniques suivants, selon les modes opératoires applicables au sein du laboratoire LTPE (laboratoire travaux de l'est).

Tableau III-5: Résultat des essais au laboratoire.

Pk	Wn	Granulométrie				Limite d'atterberg			Vb	Vbs	Proct or modi fier		Classe selon GTR
		2 mm	> 5m m	<0. 08mm	Dmax (mm)	Wl	Wp	Ip			W opm %	γ opm	
31+10 0	12.1	99	72	64	<50	41.6 8	18.55	22.62	1.39	1.30	7	2.21	B5
40+85 0	13.68	95	99	63	<50	33.0 1	15.82	17.18	1.43	1.63			A1
41+10 0	5.34	99	80	66	<50	25.7	12.21	13.48	2	1.98			A1
42+60 0	15.12	99	100	34	<50	22.2 8	11.97	10.31	1	0.8	7.1	2.055	B5
43+50 0	4.7	99	100	71	<50	40.7 8	20.03	20.75	1.5	1.5			A2
46+50 0	18.6	85	67	73	<50		18.80	21.88	3	3			A2

III.3.3.1 Essais physiques

- ❖ **Analyse granulométrique** : Selon la norme (NF P.94-056). Cette analyse consiste à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs poids et taille.

Dans notre projet on distingue deux types de sols :

- Les analyses granulométriques indiquent un sol fin (argile, limon, sable), car plus de 50% des éléments passent au tamis 0.08mm. Le diamètre maximal de ces éléments est en général, inférieur à 10 mm.
- Les analyses granulométriques indiquent un sol grenu, car moins de 50% (14 à 46 %) des éléments passent au tamis 0.08mm.
- ❖ **Limite d'Atterberg** : Détermination des limites d'Atterberg selon les normes (WL, WP et IP) -NF P 94 051.
 - La limite de plasticité(WP) et la limite de liquidité (WL), ces limites conventionnelles séparent les trois états de sol :
 - WP sépare l'état solide et l'état plastique et WL sépare l'état plastique et l'état liquide, les sols qui présentent des limites d'Atterberg voisines. C'est-à-dire qui ont une faible valeur de l'indice de plasticité ($IP=WL - WP$), sont donc très sensibles à une faible variation de leur teneur en eau.
 - Dans notre cas l'indice de plasticité varie entre 10 et 22. Les limites de liquidité varient nettement entre les différents échantillons, elles sont de l'ordre de 22 à 42 %. L'analyse statistique de ces valeurs montre que les coefficients de variance sont supérieur à 10 %, donc on ne peut pas prendre une valeur moyenne.
- ❖ **Teneur en eau** : La Mesure de la teneur en eau naturelle selon la norme NF P 94 050, dans le but d'identifier la quantité d'eau dans le sol :

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100.$$

Cette formation présente des teneurs en eau naturelles moyennes à faible elles varient de 4 à 19%.

III.3.3.2 Essais mécaniques

- ❖ **Essai Proctor** : L'essai Proctor est un essai routier consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau. Il a donc pour le but de déterminer une teneur en eau optimal afin d'obtenir une densité sèche maximale lors

d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue appelée « optimum PROCTOR ».

La formation étudiée a obtenu une densité Proctor varie entre 2.055 et 2.21 avec des teneurs en eau W_{opt} entre 5 et 9.1%.

III.3.3.3 Essais chimiques

Analyses chimiques sommaires : insolubles, carbonates (CaCO_3) et sulfates (SO_2 –MO LCPC, Teneur en matière organique selon la norme NF P 94 055.

Tableau III-6: Résultat d'essais chimique.

Pk	Profondeur (m)	insoluble %	carbonate %(CaCO_3)	% gypse ($\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Teneur en Anion de sulfates (SO_4)
30+100	2	82.64	7.58	Néant	Néant
32+300	7.7	88.81	3.76	Néant	Néant
36+800	5.5	87.37	4.51	Néant	Néant
45+300	4	58.03	30.3	Néant	Néant

Les résultats de cette essai montrent qu'il n'y a aucune agressivité vis-à-vis du béton.

Etude la compacité du sol

Tableau III-7: Résultat des résistance au cisaillement/compressibilité du sols.

Pk	Prof (m)	Résistance au cisaillement		COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE		
		C_{uu}	ϕ_{uu}°	PC (bar)	C_c	C_g
30+100	2	Essai inadapté		1.43	0.21	0.03
32+300	7	0.57	23	1.15	0.16	0.03
46+800	3.4	0.35	29	1.56	0.20	0.04

Les résultats nous ont mené à observer le sol de notre projet est un sol très dense et moyennement humide qui loin de la saturation, et moyennement compressible et d'une assez mauvaise qualité ce qui nous donne une classification dans la classe QS1 selon UIC 719.

III.3.3.4 Classification de sol

Nous pouvant classer le sol dans notre tronçon selon l'UIC 2008

Tableau III-8: Classification de sols.

Pk	Profondeur (m)	GTR	UIC
31+100	2 à 4	B5	QS0 sol impropre
40+850	2 à 4	A1	QS1 sol médiocre
41+100	2 à 4	A1	QS1 sol médiocre
42+600	2 à 4	B5	QS0 sol impropre
43+500	2 à 4	A2	QS1 sol médiocre
46+600	2 à 4	A2	QS1 sol médiocre

III.4 Conclusion

La présente étude géotechnique et géologique s'inscrit dans le cadre du projet de dédoublement et de modernisation de la voie ferrée entre B. Mansour et Bejaia. Elle comprend un rapport spécifique dédié à l'interprétation des sondages carottés et des essais de laboratoire réalisés sur les différents ouvrages.

L'objectif principal de cette étude est d'identifier avec précision les types de sols présents pour pouvoir classer la plate-forme de projet ainsi que ces caractéristiques dans les chapitres suivants.

Chapitre IV :

Terrassement

IV.1 Introduction

Pour construire un ouvrage, quel qu'il soit (tunnel, route, pont, bâtiment, barrage,), il est nécessaire de modifier le terrain naturel. Il faut profiler la surface du terrain de telle sorte qu'il soit apte à supporter le poids de l'ouvrage et à en intégrer la forme. L'ensemble de ces opérations s'appelle "le terrassement".

Terrasser est un travail composite pouvant comprendre : De l'extraction de matériaux, au compactage, avec peut-être du décapage de la terre végétale, et de la mise en dépôt des terres.

Il n'existe pas un seul matériau à terrasser mais plusieurs sortes possibles : Rochers - terre - gravier et sable - limon – argile.

Dans ce chapitre nous allons voir les différentes étapes des terrassements et les remblai et déblai essentiels rencontré sur notre tracé ainsi que les principales méthodes de stabilisation de terrain.

IV.2 Définition

Les terrassements consistent l'excavation, le nivellement, le compactage et le remblayage du sol afin de créer une plate-forme stable et adaptée à la construction.



Figure IV-1: Exécution Travaux de terrassement.

IV.3 Etapes de terrassement

- ❖ **Etude de sole** : les travaux de terrassement nécessitent une analyse géotechnique et géologique pour déterminés les opérations qui seront effectuées lors des travaux de terrassement en fonction des propriétés physiques et mécaniques du terrain à terrasser.

- ❖ **Préparation de terrain** : c'est une opération qui nécessite un géomètre pour mesurer avec précision et établir une limite selon les plans initiaux. Elle permet aussi à définir précisément les différents niveaux d'un site.
- ❖ **Extraction** : c'est l'étape où le sol est enlevé à l'aide des engins de construction spécifiques tels qu'une pelle mécanique ou encore un bulldozer et un chargeur puis déplacé la terre enlevée.
- ❖ **Systèmes d'évacuations des eaux** : c'est une étape qui permet de collecter les eaux pluviales pour permettre un bon drainage et pour éviter les dégâts lors des travaux et après les travaux.
- ❖ **Décapage** : Le décapage est l'opération de terrassement qui vise à ôter la couche la plus superficielle de terre. Cette couche se compose généralement de végétaux ainsi que des déchets organiques rendant instable le futur édifice. Elle est retirée sur une épaisseur comprise entre 10 cm et 40 cm et stockée afin d'être éventuellement réutilisée lors de l'aménagement du terrain.
- ❖ **Nivellement** : c'est la remise du terrain à un seul niveau égal sur toute la surface de terrain terrassé. Il se fait par la niveleuse.
- ❖ **Arrosage** : rincer le terrain avec de l'eau à l'aide l'arroseuse (camion équipé d'un citerne d'eau).
- ❖ **Compactage** : c'est un passage sur terrain qui sert à réduire l'épaisseur de la couche de remblai avec le compacteur (grand engin à poids très important avec des rouleaux vibrants ou des pneus).

IV.4 Engins de terrassement

- ❖ **Bulldozer** : Le boteur est un tracteur à chenilles ou a pneu portant une lame à l'avant. Cet engin décape et pousse les matériaux devant lui.



Figure IV-2: Le bulldozer.

- ❖ **Pelles :** Les pelles servent à extraire et à charger les matériaux et aussi pour creuser des trous ou des fondations. Elles comportent un bras articulé se terminant par un godet.



Figure IV-3: Les pelles.

- ❖ **Chargeur (ou chargeuse) :** Le chargeur permet de transporter/déplacer rapidement une quantité non négligeable de matériaux d'un point à un autre. Couplée à une pelleuse, elle devient une chargeuse-pelleuse ou tractopelle.



Figure IV-4: Le chargeur.

- ❖ **Niveleuse :** C'est l'engin par excellence pour étaler des matériaux et pour les niveler. C'est-à-dire les positionner à l'altitude désirée en respectant le dévers du projet. La niveleuse permet :
 - Le régalage et le nivelage des remblais.
 - Le dressage de talus.
 - Le surfacage des pistes.
 - Le malaxage, la mise en cordon, et le réglage des matériaux.



Figure IV-5: La Niveleuse.

IV.4.1 Engins de compactage

Les engins de compactage les plus couramment utilisés sur les chantiers de terrassement.

Sont :

- Les compacteurs à pneus (Pi).
- Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi).
- Les compacteurs vibrants à pieds dameurs (VPi).
- Les compacteurs statiques à pieds dameurs (SPi).
- Les plaques vibrantes (PQi).

Le compactage a pour objectif de ramener la teneur en vides du sol à un niveau voisin de la teneur en vides qu'il avait avant extraction.



Figure IV-6: Le compacteur vibrant à cylindres lisses.

IV.5 Quelques photos prises lors des terrassements dans notre projet



Figure IV-7: Travaux de terrassement au Pk38.



Figure IV-8:travaux de terrassement au pk 41.

IV.6 Méthode de confortement de terrain

❖ **Drainage** : Les principales méthodes de drainage sur notre projet :

Des caniveaux trapézoïdaux :

- Au pied des talus de la plateforme ferroviaire en déblai.
- En tête des talus de déblais ainsi qu'en remblais si l'eau peut éroder le talus.
- En tête des murs de soutènement en déblai.

Type de caniveaux employé est le suivant :

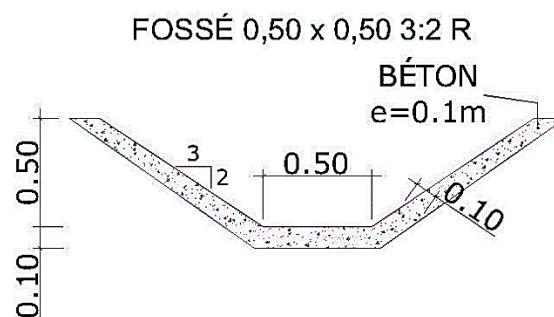


Figure IV-9:Schéma de caniveaux.

- Pente minimale des caniveaux n'est pas inférieure à 0.3%.
 - Utilisation de géotextile
 - Tranché de canalisation de la plateforme
- ❖ **Renforcement** : les principales méthodes de renforcement sur notre projet sont
- Les Mur de soutènement

- ❖ **Déblai** : Sur notre trace nous rencontrons des sections particulièrement difficile car c'est un relief montagneux, et pour assurer la stabilité dans ce type de relief une section de ces difficultés sont résolue au cours des travaux de terrassement par des talus en déblai.

Les déblais principaux rencontrés sur notre tracé sont comme suite :

Tableau IV-1: Les différents déblais de notre projet.

PK Début	PK fin	Long-tronçon(m)	Géométrie de déblai	Hauteur maximum (m)	Réutilisation(%)
30+400	31+825	1425	2H/1V	3	90% QS1 10% QS0
32+450	33+025	575	2H/1V	2	90% QS1 10% QS0
34+100	35+950	1850	1H/1V	3	90% QS1 10% QS0
41+250	43+350	2100	2H/1V	50	90% QS1 10% QS0
44+600	45+925	1325	H<5m:3H/2V H>5m:2H/3V Bermes 5m/10m	75	100% QS1
45+925	46+775	850	H<5m:3H/2V H>5m:2H/3V Bermes 5m/10m	25	100% QS1
47+750	47+975	225	3H/2V Bermes 5m /10m	5	70% QS1 30% QS0
49+375	49+880	505	3H/2V Bermes 5m /10m	5	70% QS1 30% QS0

L'angle de talus c'est un paramètre essentiel pour la stabilisation de talus donc la pente sur notre tracé peuvent être : 2H/1V, 1H/1V, 3H/2V, 2H/2V.

Le drainage et la géométrie de tracé sont nécessaires pour la stabilisation des talus en déblai.

❖ **Remblai :**

Les remblais rencontrés sur notre tracé sont les suivants :

Tableau IV-2: Les différents remblais de projet.

PK début	PK fin	Hauteur max (m)	Longueur de tronçon (m)
30+400	31+050	2	650
31+825	32+450	7	625
33+025	34+100	7	1075
35+075	40+125	9	5050
42+075	44+600	10	2525
45+925	49+375	14	2685

Un coefficient de sécurité est nécessaire pour assurer la stabilité des talus en remblais.

Les coefficients suffisants sont :

- $F_s \geq 1$ pour la stabilité liée au séisme.
- $F_s \geq 1.3$ pour la stabilité à long terme.
- $F_s \geq 1.5$ pour la stabilité à court terme.

Les talus en remblai ont une pente de 2H/1V.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appris que les travaux de terrassement sont une étape essentielle pour préparer le terrain en vue de réaliser un projet. En effet, le terrassement permet d'adapter le terrain aux besoins spécifiques du projet.

Les travaux de terrassement jouent également un rôle crucial dans la prévention des glissements de terrain potentiels et dans l'assurance de la stabilité du terrain. En effectuant les travaux de terrassement nécessaires, on peut prévenir les risques liés aux mouvements de terrain indésirables et garantir que la zone de construction soit sûre et solide.

Chapitre V : Couche d'assise

V.1 Introduction

La couche d'assise ferroviaire elle se trouve sous les travers et les rails qui désigne la couche sur laquelle repose la voie ferrée elle est constituée de matériaux granulaires tel que les cailloux, le sable, et le gravier qui sont choisis en fonction de plusieurs caractéristiques à pour fonction d'assurer un support solide et stable pour la structure ferroviaire et une transmission des charges et diminuer les perturbations sonores et les vibratoires

L'épaisseur de l'assise ferroviaire peut varier selon les conditions de sol et les conditions de trafic.

V.2 Eléments de la couche d'assise

La structure d'assise ferroviaire est constituée par plusieurs couches de matériaux différents dont les rôles complémentaires contribuent à assurer le bon comportement de la voie.

Le choix de l'épaisseur et les matériaux pour chaque couche est dépend de plusieurs paramètres (le type de trafic, la superstructure, conditions hydrologiques condition géologique ...etc.).

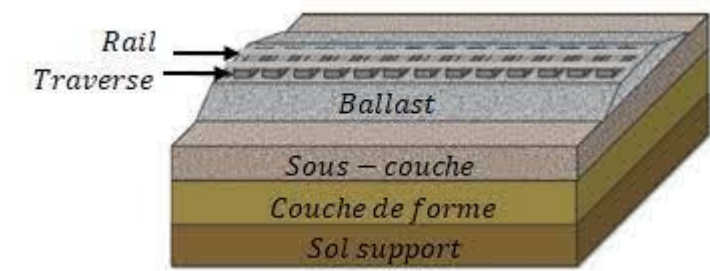


Figure V-1: Les différentes couches de l'infrastructure.

V.2.1 Couche de ballaste

Le ballast est un matériau granulaire diamètre variant de 25/50 mm, résultant du concassage de roches de carrières de roches siliceuses (grès, quartzite), du basalte, du granit, du calcaire dur. Le granulat 10/25 est employé pour la correction manuelle du nivellement des voies ferrées.

L'épaisseur de cette couche est d'autant plus grande que les conditions du trafic sont plus sévères.

Le ballast est un considéré comme élément de la superstructure et le lit de pierres ou de graviers sur lequel repose une voie de chemin de fer.

V.2.1.1 Rôle du ballaste

- La transmission des efforts engendrés par le passage des trains au sol.
- Assurer la stabilisation des traverses, et une résistance aux déformations longitudinales, particulièrement importante pour la technique des longs rails soudés.
- Protéger le sol support vis-à-vis du gel.
- Le drainage et l'évacuation des eaux superficielles qui sont assuré par sa granulométrie constitue un amortisseur de vibrations très efficace et absorption de bruit.
- Facilité l'entretien et la rectification très rapide du nivellement et de la trace.
- La couche supérieure, dite le bourrage, dont le principal rôle est de permettre de bien caler les traverses, doit être en matériaux anguleux ; il suffit qu'elle ait 0,15 m à 0,20 m d'épaisseur au-dessous de la face inférieure des traverses, les cailloux ronds, difficiles à bourrer, doivent être éliminés.

V.2.1.2 Propriétés requises du ballast

Les qualités essentielles recherchés pour le ballast sont : perméabilité, élasticité, solidité, se prêter au bourrage, ne pas être gélif, n'a pas se désagréger sous l'influence des agents atmosphériques.

- ❖ **Granulométrie** : Le matériau de ballast doit être granulaire avec une granulométrie comprise entre 25 mm et 50 mm.
- ❖ **Perméabilité** : Le ballast doit être perméable pour assurer un bon écoulement des eaux. La présence de l'eau favorise le phénomène gel dégel en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. L'eau doit traverser le ballast pour venir au contact de la plateforme et s'écouler vers les fossés d'assèchement avec une pente de 3%.
- ❖ **Elasticité** : L'élasticité du ballast résulte de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour une meilleure mise en place, les pierrailles doivent avoir des dimensions suffisamment grandes pour être bien calibrés. Le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une couche compacte.
- ❖ **Solidité** : Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes.
- ❖ **La non gélivité** : Plus un granulat est imperméable, plus il est mieux protégé et insensible aux effets du gel.

V.2.1.3 Caractéristiques mécaniques du ballast

Le ballast doit avoir la qualité de haute résistance et ne doit contenir de matière comme les matériaux organiques, métaux ou plastique. Pour la satisfaction des longs rails soudés, la granulométrie du ballast devra être comprise entre 22,4 et 63mm, avec environ la moitié de gros éléments à partir de 40 mm. La forme des grains devra être autant que possible polyédrique et à arêtes vives.

Pour remplir son rôle, le ballast est vérifié par les essais classiques suivant :

- Essai de résistance à l'usure (essai micro-Deval).
- Essai de résistance à la fragmentation (essai Los Angeles).
- Essai de résistance à la compression.

❖ **Résistance à l'usure** : Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux, l'essai qui caractérise la résistance à l'attrition est appelé essai micro-Deval effectué à l'état sec (DS) et humide (DH).

Pour le ballast $DS \geq 14$ (pierre durs) et $DH \geq 6$, selon document (SNTF).

$DS \geq 12$ (pierre carbonatée)

❖ **Résistance aux chocs** : Sous l'effet des contraintes un choc et un frottement se produit entre les granulats dus aux coups de batoirs des traverses. Pour mesurer la résistance combinée à la fois de fragmentation sous le choc et l'usure par frottement on réalise l'essai LOS ANGELES (LA). Le coefficient LA doit être inférieur à 25%.

❖ **Résistance à la compression** : Les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante RC supérieur à 14KN/cm².

❖ **Dureté global** : La dureté des granulats de couches d'assise doit être envisagée sous le double aspect de la résistance à l'attrition et aux chocs. La dureté d'un granulats est exprimée au moyen d'un coefficient dit de « Dureté global » qui est une évaluation statistique de la dureté générale du matériau d'une carrière. Les duretés minimales souhaitables sont :

- Lignes classiques avec voyageurs $V \leq 200\text{km}$: DRG = 17.
- Lignes sans voyageurs : DRG = 14.
- Lignes à grandes vitesses $> 200\text{km}$: DRG = 20.

Référence normative : **NF EN 13450** Granulats pour ballasts de voies ferrées

Le ballast utilisé en chemins de fer doit avoir au moins les qualités suivantes :

- La résistance à la compression simple $R_c \geq 1400 \text{ kg/cm}^2$.
- Coefficient Micro Deval MDE ≤ 15 .
- Coefficient Los Angles sec LA ≤ 24 .

V.2.1.4 Caractéristiques physiques

- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6 mm ne doit pas excéder 0.5 %.
- Une homogénéité de la forme des grains, absence de formes de grains trop allongées ou aplaties.
- Granulométrie : les matériaux de ballast doit être granulaire avec une granulométrie comprise entre 25 mm et 50 mm en Algérie actuellement on utilise la classe 25/50 mm (selon SNTF).
- Densité : afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.
- Forme de granulats polyédrique (Angularité et rugosité) : avoir des arêtes vives et des Surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse et assurer par le frottement.
- Ballast/traverse le bon maintien en place de ces derniers.
- Perméabilité : assurer le bon écoulement de l'eau de pluie.

V.2.1.5 Epaisseur du ballast

L'épaisseur du ballast est en fonction de la catégorie de la ligne, pour lignes les plus importantes ou type LGV, elle varie entre 10 et 35 cm.

Dans la pratique, généralement l'épaisseur minimum admise pour la couche de ballast entre la plateforme et la face inférieur des traverses est de 30 cm, elle dépend de la charge des essieux.

Les charges de circulation sont classées en 3 catégories selon l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) :

- ✚ Catégorie A : 16 tonnes par essieu.
- ✚ Catégorie B : 18 tonnes par essieu.
- ✚ Catégorie C : 20 tonnes par essieu.

- ✓ Selon SNTF l'épaisseur de ballaste est 0.35 dans le cas des viaducs et tunnels.

V.2.2 Sous couche (sous ballast)

La sous couche est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plateforme (constitue la limite entre la superstructure ferroviaire et l'infrastructure), elle joue le rôle de support du ballast et peut être mono ou multicouche, elle diffuse les efforts transmis par le ballast à la plateforme et contribue à l'écoulement des eaux de pluies, elle doit être constituée d'un grave propre bien gradué (classe 0/31.5) comportant au moins 30% d'éléments concassés et le pourcentage d'élément passant au tamis 80 μm doit être inférieur à 15%, cette couche doit être compactée à 100% de l'optimum Proctor modifié.

V.2.2.1 Rôle de la sous-couche (sous ballast)

La sous couche joue plusieurs rôles qui sont :

- Réduire les charges au fond de la couche de ballast pour renforcement de la plate-forme.
- Participation à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- Séparer le ballast de la fondation en prévenant la remontée des fines de la fondation dans le ballast et le cisaillement de la fondation par les particules pointues de ballast.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Garantir le drainage et évacuation des eaux de pluies.
- Protection contre l'érosion du gel et de la boue.

La sous couche est traditionnellement constituée de grave, respectant des exigences de portance, teneur en eau, forme, diamètre maximale et teneur en fines. Lors de la construction de lignes nouvelles, ce matériau est parfois remplacé par une géotextile ou un enrobé bitumineux.

❖ Exigence technique

L'épaisseur et la nature de la sous-couche d'assise dépend :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme.
- Des conditions climatiques du site.
- Les caractéristiques hydrogéologique et hydraulique de site.
- Fines ≤ 75 microm : $\leq 15\%$.
- Limite de liquidité : $\leq 25\%$ - Indice de plasticité $\leq 6\%$.
- Le coefficient d'uniformité pour obtenir une courbe granulométrie pleine :

$D_{60}/D_{10} \geq 4$ L'épaisseur de la couche de ballast doit être prise en compte lorsque on dimensionne la sous-couche.

V.2.3 Couche de fondation

Elle n'est pas nécessaire sur les sols Qs3, elle se compose d'un grave propre bien gradué compacté à 100% de l'OPN, ou d'un TVO, elle doit avoir un $I_p \leq 15\%$, Matériau bien classé ; coefficient d'uniformité : $D_{60}/D_{10} \geq 15$ et son épaisseur varie suivant la qualité des sols en places (35 à 50 cm), cette couche permet la circulation des engins lors des travaux de terrassement.

V.2.4 Couche anti-contaminant

Nécessaire sur les plateformes **P1**, c'est une couche de sable propre compactée d'une épaisseur minimale de 10 cm, son rôle est d'empêcher les remonter des eaux capillaires du sol vers l'assise.

V.2.5 Couche de géotextile

Nécessaire sur les plateformes P1 et P2, elle améliore la qualité anti-contaminante des couches d'assise et facilite leur mise en oeuvre, et améliore la résistance des couches de forme en **Qs1** et **Qs2**.

Remarque : les différentes couches de ballaste + les sous couches, doivent être posées en pente transversale afin d'assurer un bon écoulement des eaux.

- 3% dans les zones à très faible précipitation.
- 4% dans les zones à moyenne précipitation.
- 5% pente posée dans les zones littorales.

V.2.6 Couche de forme

La partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme généralement en pente transversale, son épaisseur varie de 30 à 60 cm suivant le matériau utilisé, elle supporte la sous-couche.

La couche de forme est constituée du sol rapporté dans le cas d'un remblai, ou du sol en place dans le cas d'un déblai, dont elle est obtenue généralement par le compactage du fond de feuille à 100 %, elle peut également être traitée aux liants hydrauliques.

Moins 5% dans les zones à forte précipitation.

❖ Classification de la plate-forme

La classification de la plate-forme se fait selon l'UIC. Pour le faire, il convient :

- D'abord d'apprécier la classe de qualité de chaque sol composant la plateforme.
- Puis d'apprécier la classe de portance de la plateforme complète : couche de forme + sol support.

V.2.7 Classification de qualité des sols

D'après la fiche UIC 719R, la qualité d'un sol dépend des deux paramètres suivants :

❖ Nature géotechnique du sol

- Dans le cas des sols meubles : la granularité et le pourcentage de contenu organique.
- Dans le cas des sols rocheux : la dureté et l'altérabilité.

❖ Conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales

Ces conditions, pour ce qui concerne l'influence sur la portance des sols, sont réputées bonnes si :

- La couche supérieure du sol considéré est hors toute nappe naturelle.
- La plateforme n'est pas le siège de percolations naturelles nocives transversales longitudinales ou verticales.

Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plate-forme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont considérées inadéquates.

On distingue 04 classes de qualité de sols, notées QS :

Tableau V-1: Classe de qualité des sols en fonction des caractéristiques géotechniques.

Classe de qualité du sol	Classification géotechnique des sols
<p>QS0 : Sols impropres à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitant certaines Mesures confortatives, (remplacement du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation des géotextiles, renforcement par pieux, etc...).</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Sols organiques. -Sols fins (comportant plus de 40% de Fines) foisonnées, Humides et donc non Compactables. -Sols thixotropes (argile rapide). -Sols comportant des matériaux solubles (Gypse par exemple). -Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels). - Sols mixtes (minéraux organiques).
<p>QS1 : Sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon Drainage. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Sols comportant plus de 15% de fines. -Roches très évolutives (craies très faibles). -Roches tendres (DS < 6 et LA > 33). Par exemple : marnes , schistes altérés.

de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).	
QS2 : Sols moyens	-Sols comportant de 5 à 15% de fines. -Sable comportant moins de 5% de Fines. -Roche moyennement dures ($6 < DS < 9$ et $30 < LA < 33$).
QS3 : Bons sols	-Sols comportant moins de 5% de fines ; - Roches dures ($DS \geq 9$ et $LA \leq 30$).

V.2.8 Classe de portance de la plateforme

La portance d'une plateforme dépend de :

- ✓ La classe de qualité du sol support.
- ✓ La classe de qualité et l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).
- ✓ En fonction de ces paramètres, on distingue les 03 classes de portance de plateformes suivantes :
 - P1 : Plateforme médiocre.
 - P2 : Plateforme moyenne.
 - P3 : Plateforme bonne.

Classe de portance des plateformes selon L'union internationale des chemins de fer (fiche UIC 719R), présenté dans le tableau ci-dessus :

Tableau V-2: Classe de portance de la plate-forme.

Classe de qualité du sol support	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre pour obtenir cette classe de portance	
		Qualité	Epaisseur minimale [m]
QS1	P1	QS1	-
	P2	Sol fin traité aux Liants(QS2)	0.30

	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

V.3 Dimensionnement des couches d'assises

Le dimensionnement des couches d'assise doit prendre en compte à la fois :

- Les problèmes de portance.
- Les problèmes de gel.

Du point de vue de la portance, l'épaisseur globale « ballast + sous ballast » dépend :

- De la classe de portance de la plate-forme.
- Du type de l'espacement des traverses.
- Des caractéristiques de trafic (tonnage supporté, charge d'essieu, vitesse).

Couche d'égalisation et où elle contribue à réduire la raideur de l'assise.

V.4 Méthodes de calcul des épaisseurs minimales des couches d'assises

Dès la construction d'une ligne nouvelle, il convient de mettre en place des structures d'assises de caractéristique approprié et d'épaisseur suffisante afin d'assurer l'objectif de leur mise en place. L'épaisseur des couches d'assise « e » est donnée par la formule suivante :

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

V.4.1 Paramètre de dimensionnement

- e : paramètre qui dépend de la qualité de portance de la plate-forme.
- a, b, c, d, f et g sont des paramètres qui dépendent de la classe de voie, de l'armement (type de rails), de l'intensité du trafic de la voie et de vitesse du train.

Ces paramètres sont donnés comme suit :

Tableau V-3: Les paramètres de dimensionnement et leurs valeurs.

Paramètre	Epaisseur	Condition
E	E=0,70 m	▪ Pour les plates-formes de classe de portance P1.
	E=0,55 m	▪ Pour les plates-formes de classe de portance P2.
	E=0,45	▪ Pour les plates-formes de classe de portance P3.

A	$a=0$ $a=0,05\text{ m}$ $a=0,10\text{ m}$ $a=0,15\text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V 160 km/h quel que soit le groupe UIC). ▪ Pour les groupes UIC 3 et 4. ▪ Pour les groupes UIC 5 ,6 et 7, 8,9 avec voyageurs. ▪ Pour les groupes UIC 7, 8,9 sans voyageurs.
B	$b=0$ $b=(2,50-L)/2$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pour les traverses bois de longueur 2.6 m. ▪ Pour les traverses béton de longueur L (b en m. L en m, b) peut être négatif si L 2.50 m.
C	$c=0$ $c=0,10\text{m}$ $c=0,05\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pour un dimensionnement normal. ▪ A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7 ,8 ,9 sans voyageur. ▪ A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7 ,8 ,9 sans voyageur.
D	$d=0$ $d=+0,15\text{m}$ $d=+0,12\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200Kn. ▪ Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225Kn. ▪ Lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250Kn.
F	$f=0$ $f=+0,05\text{m}$ $f=+0,10\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pour toutes les lignes à V 160km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes à grande vitesse. ▪ Pour les plates-formes de portance P2, des lignes à grande vitesse. ▪ Pour les plates-formes de portance P1, des lignes à grande vitesse.
g	$g=+\text{géotextile}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. ▪ Lorsque la couche de forme est en sol QS3.

	g=0(pas de géotextile)	
--	------------------------	--

V.5 Classification des lignes

L'Union internationale des chemins de fer (UIC), a établi une classification des lignes en fonction des charges de trafic supportées par l'infrastructure ainsi que du type de trafic.

- Ligne de groupes (UIC 1, UIC 2, UIC 3 et UIC 4) ce sont des lignes à grande vitesse supportant un trafic important.

- Ligne de groupes (UIC 5 et UIC 6). Ce sont des lignes à moyenne vitesse supportant un trafic moyen.

- Les lignes faiblement chargées des groupes (UIC 7, UIC 8 et UIC 9) correspondent en général au réseau capillaire, généralement régional, dont le trafic est faible.

V.6 Application à notre projet

- ❖ **Calcule du trafic fictif :** Le trafic fictif TF est calculé selon la norme 714R (3ème édition) qui établit la classification des voies des lignes, la formule de calcul est :

$$Tf = Sv \times (Tv + Kt \times Ttv) + Sm \times (Km \times Tm + Kt \times Ttm).$$

Tv : tonnage journalier voyageurs exprimé en tonnes brutes remorquées.

- **Tv = 160t/train * 61 trains par jour = 9760 t/jour.**

Tm : tonnage journalier marchandises exprimé en tonnes brutes remorquées.

- **Tm = 1500t/jour * 6 trains par jour = 9000t/jour.**

Ttv : tonnage journalier voyageurs des engins de traction en tonnes.

- **Ttv = 240t/train * 61 trains par jour = 14640t/jour.**

Ttm : tonnage journalier marchandises des engins de traction en tonnes.

- **Ttm = 90t/trains * 6 trains par jour = 540t.**

Km et kt : coefficients tenant compte à la fois de la charge et de l'agressivité des essieux.

- **Km = 1,45**, le pourcentage du trafic de la ligne sera >75% avec des essieux chargés autre que 20t.
- **Kt = 1,40.**

Sv et Sm : des coefficients traduisant la qualité requise par la voie selon la vitesse maximale, des trains voyageurs ou bien l'absence de trafic voyageur.

➤ $S_v=1,35$.

➤ $S_m=1,15$.

$$T_f = 1.35 * (9760 + 1.4 * 14640) + 1,15 * (1.45 * 9000 + 1,40 * 540).$$

$$T_f=56722,5t/jour.$$

D'après la classification des groupe UIC de trafic fictif, le trafic fictif sera de groupe 3.

Groupe 3

50000 < T_f ≤ 85000

❖ Calcul de l'épaisseur minimale des couches d'assises

E : paramètre qui dépend de la capacité portante de la plateforme à partir des types P1, P2, P3.

➤ La capacité de portance à la plate-forme sur notre projet est **P3** donc **E=0,45 m**

a : paramètre dépend de groupe UIC selon la norme UIC 714 R.

➤ Le groupe UIC pour notre projet est **UIC 3** donc **a= -0,05 m**.

b : c'est un paramètre qui dépend de la longueur et types des travers.

➤ Le types des travers est bi bloc type B440 (ancienne Vax31) de longueur de 2,245 m donc :

$$b = \frac{2,5 - L}{2} = \frac{2.5 - 2,245}{2} = 0,1275 \text{ m.}$$

c : dépend de mode de dimensionnement.

➤ Dimensionnement normal sur notre projet donc **c = 0**.

d : dépend de la charge de l'essieu.

➤ **200KN** selon les données de projet donc **d=0**.

f : paramètre dépend de la vitesse.

➤ La vitesse est à 160 km/h et une plateforme de **p3** donc **f= 0**.

g : selon la nécessité de géotextile de la couche de forme.

➤ La qualité du sol support est de **QS1** ce qui montre que le facteur **g=0,01**.

La valeur de l'épaisseur de ballast et sous ballast sera la suivante :

$$e = 0,45 - 0,05 + 0,1275 + 0 + 0 + 0 + 0,01 = 0,5375 \text{ m.}$$

V.6.1 Dimensionnement de la couche de forme

La qualité de sole est QS1 sur notre tracé d'après les caractéristiques géologique et géotechnique et la qualité portante requise pour la plateforme est P3 en utilisant la norme UIC

719 R (ouvrages en terres et couches d'assise ferroviaires), ce qui nous donne **0.50m** pour l'épaisseur de la couche de forme.

Soit aux alentours de 0.55 m ce qui ne donne les épaisseurs suivantes :

Ballast: 30cm.

Sous ballast 25 cm.

L'assise de la voie est comme définit dans le tableau suivant :

Tableau V-4:des Epaisseurs de la couche d'assise.

Couche	Epaisseur (m)	Matériaux
Ballast	0.30	GC (grave concassée) 25/50 mm
Sous-ballast	0.25	Grave bien gradué 0/31.5mm
Ccouche de forme	0.50	sol rapporté

Veillez trouver ci-dessous la figure présentant un profil types des couches d'assise avec leurs épaisseurs :

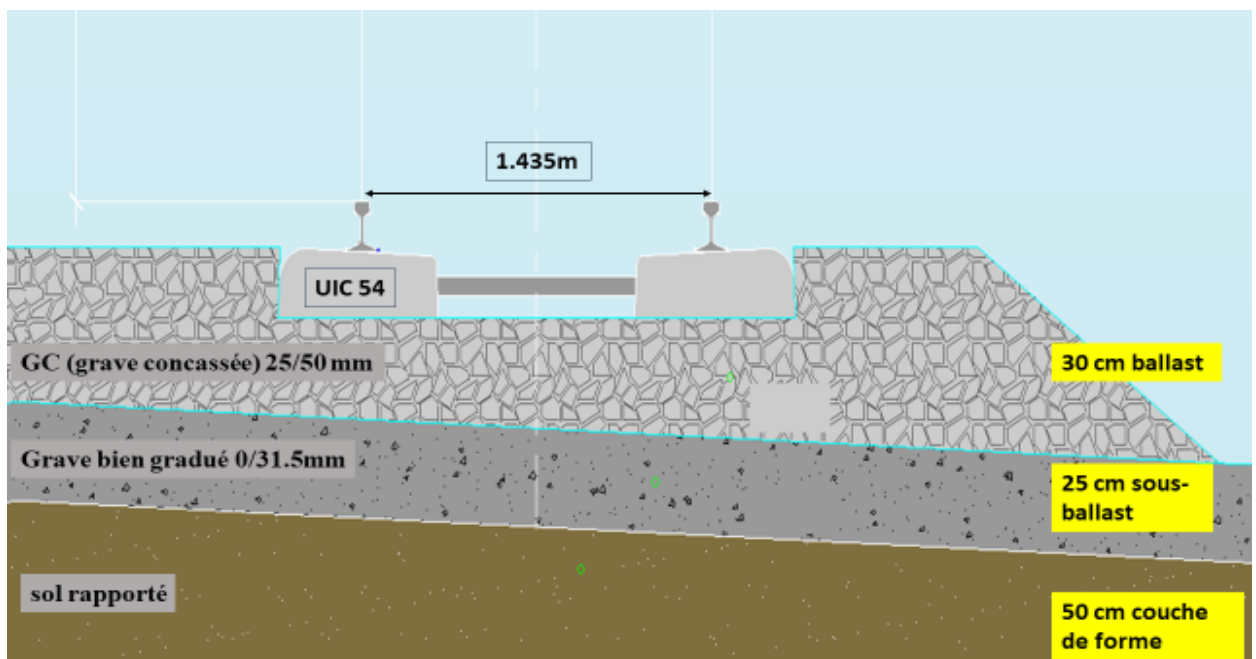


Figure V-2 : illustration des différentes couches d'assise.

V.7 Conclusion

En analysant le dimensionnement de notre plateforme, nous avons réussi à déterminer avec précision les épaisseurs optimales des différentes couches qui subiront les charges réparties. Ces épaisseurs ont été calculées de manière à garantir la stabilité de la voie tout en respectant rigoureusement les normes établies par l'UIC.

Chapitre VI :

Superstructure de la voie

VI.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous procéderons à une description générale du matériel de la voie ferrée. Une voie ferrée est caractérisée par un assemblage d'éléments de caractéristique physiques et mécaniques différentes qui permettant la transmission à infrastructure, les charges statiques et dynamiques des roues.

Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, la voie comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des travers qui sont, elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast.

VI.2 Voie

Dans le domaine du transport ferroviaire, la voie désigne l'ensemble des constituants assurant la circulation des trains en supportant les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux de l'interaction rails/essieu.

VI.3 Catégories 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 circulation** : affectées à desserte interne des grands complexes ferroviaires.
- ❖ **Les voies de service** : affectées aux manœuvres, qui peuvent être d'anciennes voies principales déclassées.
- ❖ **Les voies d'évitement** : également appelées voies de garage ou voies de débord, sont des sections spéciales dans un réseau ferroviaire qui permettent aux trains de se croiser, de se dépasser ou de stationner temporairement.
- ❖ **Les voies de garage** : qui sont des voies de service affectées au stationnement du matériel roulant.

VI.4 Caractéristiques de notre voie

VI.4.1 Voie courante

- Rails : UIC54.
- Traverses : bi bloc type B440 (ancienne Vax31).
- Attaches : élastiques pour la traverse B440.

- Système de signalisation : ERTMS N2.
- Système de télécommunication : GSM-R.

VI.4.2 Voie de service en gare

- Rails : UIC54.
- Traverses : bi bloc type B440 (ancienne Vax31).
- Traverses en bois entre appareils de voie et les tronçons de transition entre les appareils et voies avec les traverses en béton.
- Attaches : élastiques pour la traverse B440.

VI.5 Rails

Le rail est une barre d'acier laminée qui sert principalement à la transmission des charges et permet le roulement et le guidage des véhicules.

L'acier utilisé doit avoir de bonnes caractéristiques mécaniques et physiques afin de pouvoir résister aux dégradations et corrosions et il se compose de trois parties : la table de roulement (qui est la face supérieure du champignon permettant le roulement de la roue), l'âme et le patin.

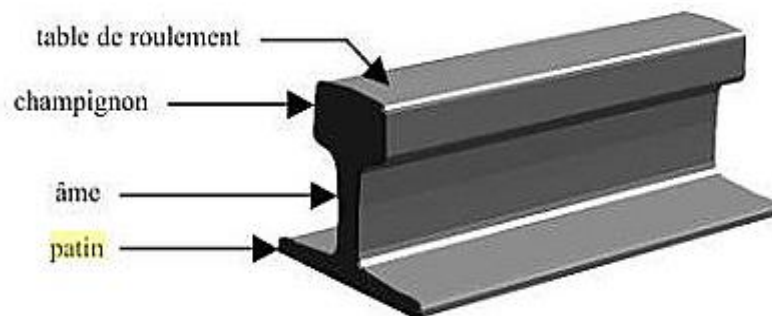


Figure VI-1 : Le profil d'un rail.

VI.5.1 Forme des rails

Dès l'apparition du chemin de ferrée plusieurs formes de rail utilisées comme :

- ❖ **Les rails à double champignon** : Il a une forme symétrique (deux champignons ; supérieur et inférieur), cette forme symétrique a été adoptée dans le but de pouvoir le retourner sens dessus dessous afin d'user successivement les deux champignons et ainsi doubler sa durée de vie.



Figure VI-2: Rail à double champignon.

- ❖ **Le rail à patin (Vignole) :** Le rail Vignole ou à patin se caractérise par un patin élargi qui facilite la fixation sur la traverse, et Offre de meilleurs conditions de résistance et permet une meilleure répartition des charges, il se fixe sur les traverses soit directement, ou par l'intermédiaire de selles métalliques, Il y a plusieurs profils (de 30 à 60 kg/m).



Figure VI-3: Profil d'un rail Vignole.

- ❖ **Le rail à gorge :** est utilisé pour les voies encastrées dans les chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway et les métros légers, leur poids propre est de l'environs de 58,96 kg/m.



Figure VI-4 : Rail gorge.

VI.5.2 Rail de notre projet

On à utiliser les rails de type UIC54(est de 54.4kg/ml). Ces rails sont en général fournis en longueur de 18 m (acier de nuance 900A).

- SNCF : UIC 54.
- Europe : 54EI.
- Hauteur H=159 mm.
- Epaisseur de l'âme E=14 mm.
- Masse par mètre 54.77kg/m.
- Largeur de table de roulement l=70 mm.
- Largeur du patin L=140mm.
- Air de la Section transversal =69.77 cm.
- Section de tête du module 278.7 cm².
- Section de la base du module 311.2 cm³.
- Moment d'inertie par rapport à l'axe x-x :2337.9 cm⁴.
- Moment d'inertie par rapport à l'axe y-y :419.2 cm⁴.

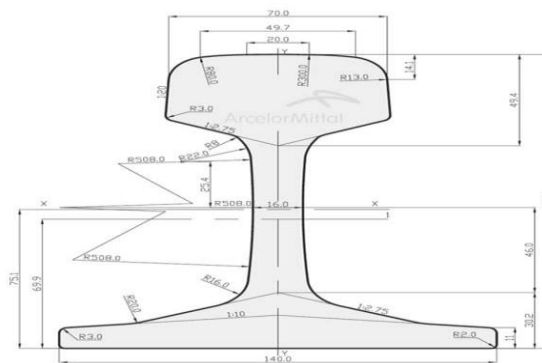


Figure VI-5:profil d'un rail UIC 54.

VI.5.3 Ecartement des rails

Conformément au règlement UIC l'écartement normal des rails sera comme suit :

- ❖ En alignement 1435 mm, avec une erreur de + 0 à + 2 mm.
- ❖ En courbe $80 < R < 150$ m 1434,5 mm, avec une erreur de + 0 à + 2 mm.
- ❖ En courbe $R < 80$ m 1430 mm, avec une erreur de + 0 à + 2 mm.

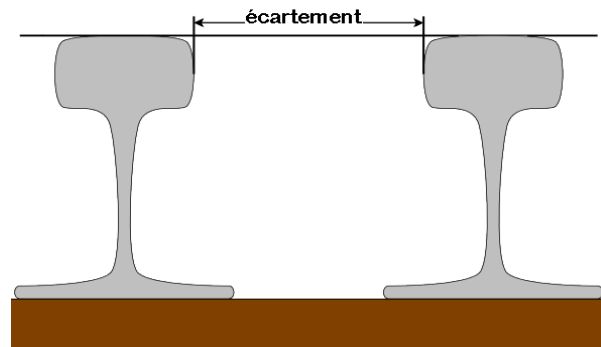


Figure VI-6: l'écartement entre les rails.

VI.5.4 Défaut de rails

On distingue trois catégories des défauts :

- ❖ **Rail fissuré** : les fissures sont les défauts les plus courants ils se présentent en un point quelconque de sa longueur, ceux causés par le contact roue-rail. Généralement les fissures les plus fréquentes sont les fissures verticales et horizontales de champignon et verticales de l'âme, s'ils ne sont pas détectés à temps, prolifèrent et conduisent à des ruptures des rails et par conséquent provoquent des risques d'accidents potentiels pour le transport ferroviaire.
- ❖ **Écaillage des rails** : L'écaillage se produit lorsque des morceaux du rail se détachent, créant des surfaces rugueuses et des aspérités. Cela peut affecter la stabilité des roues et provoquer des vibrations excessives.
- ❖ **Rail rompu** : le rail rompu présente une déformation latérale causée par des fissurations composées ou d'un défaut de soudure avec un décalage qui varie entre 10mm et 50mm, ces rails rompus se trouvent généralement dans des secteurs où la plate-forme est instable. Dans le cas où il y a un rail rompu aucun mouvement n'est autorisé.

VI.5.5 Assemblage des rails

- ❖ **Les rails longs soudés** : Les rails longs soudés (LRS), appelée aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées, c'est un assemblage des barres se fait par soudage par forgeage électrique et soudage aluminothermique. Cette méthode faite dans l'intérêt de supprimer la plupart des points de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs kilomètres, c'est la méthode la plus adoptée pour toutes les lignes à fort trafic, et notamment les lignes à grande vitesse.



Figure VI-7: Barre soudée.

❖ **Avantage**

- Suppression de l'éclissage boulonné.
- Réduction des défauts et d'usure de rail.
- Réduction des dépenses énergétiques de traction.
- Diminution du bruit et des émissions sonores.
- Mécanisation plus facile de la pose et de la maintenance de la voie.

❖ **Inconvénient**

- Risque de déformation par flambement de la voie.
- L'utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses.
- Glissement latéral et flambage de la voie.
- Risque de rupture de rail par rapport au barre normal dans les zones très froid.

❖ **L'éclissage** : Une éclisse de chemin de fer est une pièce métallique assurant la jonction de deux rails consécutifs, elles sont posées par paire à l'aide de boulons. Les éclisses sont souvent utilisées à proximités des aiguillages.



Figure VI-8: Assemblage par l'éclissage.

VI.6 Traverse

Les traverses se sont les éléments transversaux posées sous les rails qui permettant de maintenir l'écartement et assurent l'inclinaison de 1/20 pour les rails. Ces traverses à dans le but de transmettre les charges des trains circulant sur les rails au ballast.

Le nombre de traverses utilisées par kilomètre dans le cas d'écartement normal est de 1666/1667 traverses/km selon la SNTF. Dans notre projet les traverses sont espacé de 0.6m et de type bi-blocs B440.

Les traverses ont un rôle :

- Répartir les charges des verticales et augmenter la surface d'appui sur le ballast.
- Maintenir l'écartement de deux files de rails.
- Intégrer l'interface avec les systèmes d'attaches.

VI.7 Types de traverses

VI.7.1 Traverse en béton

Vu leur longue durée de vie ainsi leur prix compétitif, ce que à élever le choix d'utilisation à travers le monde, ainsi que leur poids important assure un bon ancrage de la voie dans le ballast.

- ❖ **Travers en Monobloc en béton précontraint** : sont les premiers types de traverses en béton armé étaient des traverses monoblocs qui présentaient l'inconvénient d'une masse de l'ordre de 300 à 350kg.
- ❖ **Bi bloc** : Formées de deux blocs de béton reliés par une entretoise métallique qui transmet les efforts de rails au ballast.

Il existe deux types de traverses bi-bloc : La traverse à blochet de 68cm, et de 84 cm.



Figure VI-9: Traverse en béton armé.

VI.7.2 Traverse en bois

Elles sont en bois dur (en chêne ou plus rarement en hêtre ou en azobé). Le bois est apprécié pour sa résistance et sa flexibilité, mais leur durée de vie est minimisée (30 jusqu'à 40 ans), mais elles nécessitent un entretien régulier pour assurer leur bon fonctionnement. Ils sont connus par leur facilité de mise en œuvre.

Selon SNCF leurs dimensionnement est de de 2.6m de long, 25cm de large et 15cm d'épaisseur.



Figure VI-10: Traverses en bois.

VI.7.3 Traverses métalliques

Les traverses métalliques sont généralement fabriquées en acier, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé. Ce type de traverse présentent plusieurs avantages par rapport aux traverses. Elles sont plus résistantes aux intempéries, à la pourriture, aux insectes et aux incendies. De plus, elles ont une durée de vie plus longue et nécessitent moins d'entretien.



Figure VI-11: Traverse en acier.

VI.8 Attache

Les attaches servent à fixer les rails au traverses pour l'empêcher de tout déplacement, sont constitué d'un crapaud qui est maintenu par un boulon accroché dans la traverse. Elles assurent à la fois une élasticité dans le sens vertical et horizontal.

VI.8.1 Rôle d'attache

- Un effort vertical de serrage du rail.
- Sur la traverse, le plus important possible.
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.
- Contribuer à l'élasticité et à l'amortissement de l'isolement électrique.

VI.8.2 Types d'attaches

Il existe plusieurs types d'attaches mais les plus utilisés et connues sont les suivantes :

- ❖ **Attaches rigide** Une attache est dite « rigide » par rapport au fait du manque de souplesse dans ses matériaux constitutifs.
- Crampons (utilisé aux USA).
- Tirefond sur les traverses en bois.
- Crapauds sur les traverses métalliques.



Figure VI-12: Tirefond sur les traverses en bois.

❖ **Attaches élastiques** : Les différentes attaches élastiques portent essentiellement sur le type de ressort utilisé, ainsi que sur son mode de fixation aux traverses. On peut distinguer :

- Semelle en caoutchouc.
- Lame ressort (griffon, attache Nabla, Fast clip, Vosloh).



Figure VI-13 : Attache de type Vosloh.



Figure VI-14: Attache de type Nabla.

VI.9 Appareils de voie

Une des caractéristiques fondamentales du chemin de fer qui permet le franchissement ou de passage d'un train (de voyageur ou de marchandise) d'une voie principale à une voie service ou de franchissement d'une voie de croisement, ces appareils occupent une place particulière dans les voies ferrées, ils sont nécessaires à la création du réseau, et la ramification et à la jonction des voies. Leurs nombres et leurs formes influe fortement sur les performances et les vitesses de circulation.

VI.10 Types d'appareils de voie

On distingue deux catégories :

VI.10.1 Branchements

A partir d'une direction, appelée voie directe il donne la naissance à une autre direction appelée voie déviée, est assurer la communication entre deux voies.

Les éléments constitutifs d'un branchement sont :

- **Zone d'aiguille** : Constituée de deux pièces mobiles appelées lames d'aiguille 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 le passage aux boudins des roues.
- **Zone intermédiaire** : Assimilable à la voie courante.
- **Zone de croisement** : Partie de branchement assurant la continuité de deux itinéraires sécants au droit de l'intersection entre files opposées et constitué d'un cœur de croisement en acier monobloc ou assemblés, deux rails extérieurs équipés de deux contre-rails permettent de guider les essieux durant cette transition, en particulier au passage de la lacune du cœur.

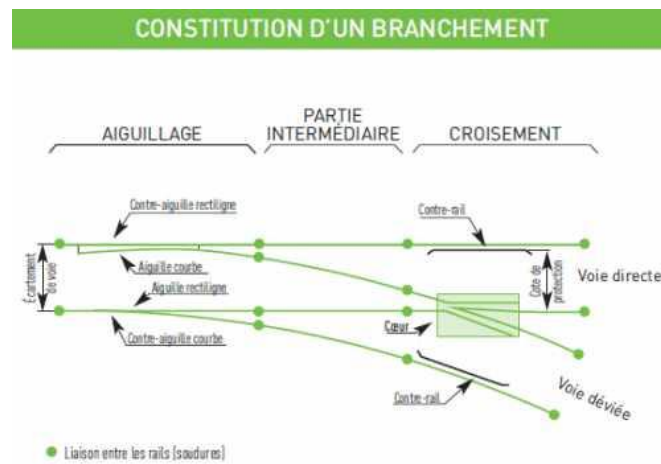


Figure VI-15: Branchement et ces éléments constitutifs.

VI.10.2 Types de branchement

- Branchement simple.
- Branchement symétrique.
- Branchement double.

VI.10.3 Traversées

- ❖ **Traversées jonction simples** : est la jonction des voies uniquement dans un seul sens

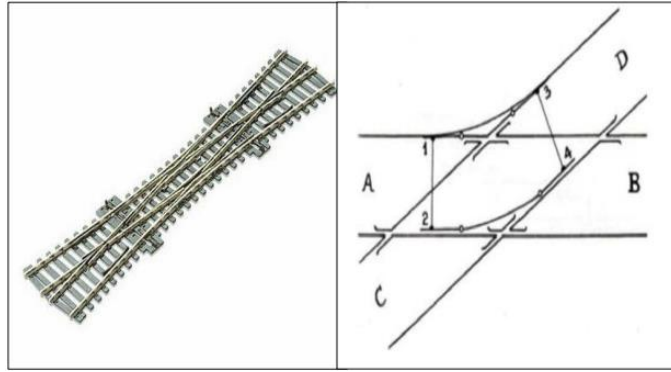


Figure VI-16:traversées jonction simples.

- ❖ **Traversées jonction doubles (TJD)** : est la jonction des voies dans les deux sens de circulation

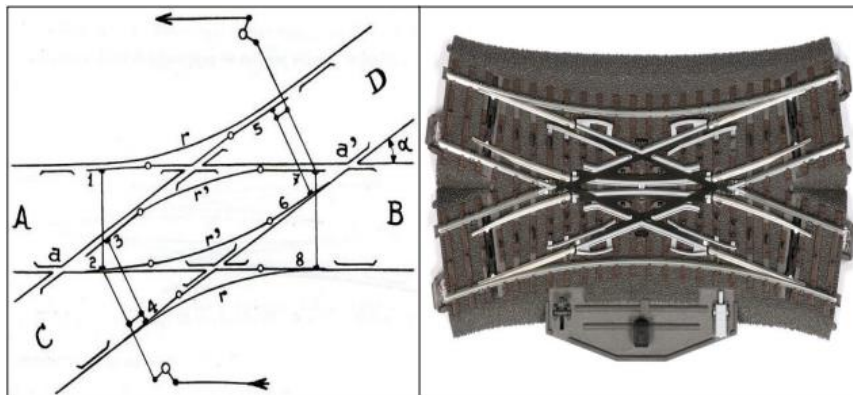


Figure VI-17:traversées jonction doubles.

VI.11 Conclusion

Ce chapitre présente les définitions des différents éléments qui composent la superstructure de la voie ferrée, mettant en évidence leur importance cruciale pour assurer une circulation efficace des trains. En effet, étant donné la vitesse élevée à laquelle ils circulent et la lourde charge qu'ils transportent, il est essentiel que ces éléments soient bien conçus et entretenus.

Chapitre VII :

Tracé en plan

VII.1 Introduction

Le tracé en plan d'une voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur le plan horizontal, il est constitué en général d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles reliés entre eux par des courbes de raccordement progressif.

L'étude géométrique d'un tracé de la voie a le but d'obtenir le bon roulement des trains, est donc indispensable de chercher le meilleur tracé pour permettre d'atteindre une vitesse de 160 km/h selon les normes UIC sur un tronçon de la ligne.

Dans notre projet nous allons procéder à une correction du tracé existant en respectant les contraintes imposées dans la nouvelle ligne.

VII.2 Condition et règles à respecter dans le tracé en plan

Dans notre projet, les conditions utilisées sont résumées dans la UIC703R.

- L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel en utilisant des courbes de niveau afin d'éviter les terrassements importants.
- Eviter le passage sur les terrains agricoles, zones forestières, zones industrielles.
- Essayer d'utiliser le maximum d'alignement droit et respecter la longueur minimale.
- Eviter le passage sur les zones de grande importance tel que les centrales à gaz et les transformateurs électriques.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques.
- Eviter les problèmes de talus (talus en déblai, terrain plastique, présence des nappes).
- Assurer la sécurité et le confort des usages.

VII.3 Eléments du tracé en plan

Un tracé en plan des voies ferroviaires est composé de trois éléments géométriques : Un alignement droit, un arc de cercle et une courbe de raccordement.

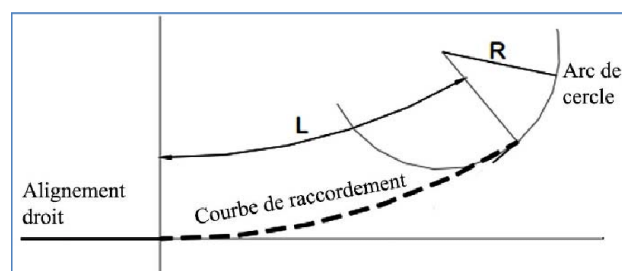


Figure VII-1: Schéma de raccordement progressif.

VII.3.1 Alignement

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des voies ferrées est nécessaire car il représente le meilleur confort, et la sécurité qui offres aux usages.

VII.3.2 Arc de cercle

Dans certains endroits, où la topographie ne permet pas de tracer des lignes droites, on a recours au raccordement circulaire. Ce type est réalisé par une courbe caractérisée par un rayon d'une valeur minimale qui dépendra de la vitesse de base des trains.

Toutefois, dans certains cas, on ne peut pas faire des grands rayons, on est donc obligé d'utiliser les rayons plus au moins faibles. Leur valeur correspond à la vitesse de circulation des trains dans les courbes.

VII.3.3 Courbe de raccordement

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort des voyageurs et pour l'inscription des véhicules dont l'inertie est importante et aussi pour éviter le choc de l'action de force centrifuge, ce qui n'est possible qu'on faisant varier progressivement la courbure, cette variation progressive de la courbure sur une certaine distance, permet de faire varier progressivement le dévers depuis sa valeur nulle en alignement à une valeur (x) dans prescrite pour la courbe considérée.

VII.3.4 Condition de raccordement

➤ Condition de confort optique

C'est une condition qui permet d'assurer à l'usager une vue satisfaisante de la voie et de ses obstacles éventuels.

➤ Condition de gauchissement

Cette condition a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation des devers.

➤ Condition de confort dynamique

Cette condition a pour objet d'assurer l'introduction progressive du dévers et des courbures.

VII.4 Critère de limitation des paramètres géométrique

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

- **Les valeurs limites suivantes ont été définies pour chaque paramètre géométrique**
 - ✓ **Valeur limite normale** : valeur à ne pas dépasser pour les circulations roulant aux vitesses maximales ou minimales admissibles.
 - ✓ **Valeur limite exceptionnelle** : Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé, certains ont été limités afin de respecter les exigences de sécurité, de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie tel que pour la détermination. Des vitesses maximales sur les lignes existantes, il peut devenir nécessaire, en des zones particulières ou, sinon, une limitation de vitesse serait indésirable du point de vue du trafic, d'utiliser des valeurs plus élevées que les valeurs maximales.

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes en présence de doucines pour une vitesse de 160Km/h sont données ci-dessous :

Tableau VII-1: Longueur minimale des éléments de tracé.

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur min des éléments de tracé (m)	$V/2=80$	$V/3=53.33$

VII.5 Paramètres de raccordement de la voie

Ces paramètres pour garantir la sécurité des voyageurs et le matériel ainsi que le confort, donc il est nécessaire de respecter les valeurs de ces paramètres :

- La variation de la courbe.
- Le rayon de courbe.
- Les longueurs des éléments géométriques de tracé.
- Le dévers et le taux de variation de dévers.
- L'insuffisance de dévers.
- Excès de dévers.

VII.6 Paramètres géométriques de tracé

VII.6.1 Rayon minimum de l'alignement circulaire

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

trop important. Le rayon de courbe minimum pouvant être circuler à la vitesse maximale d'exploitation, est ce calcule avec la formule suivante :

$$R_{min} = \frac{1.18 \times V^2_{max}}{d_{max} + l_{max}}$$

- R_{min} : rayon minimum de courbe(m).
- V_{max} : vitesse des trains voyageurs (km/h).
- D_{max} : dévers maximal (mm).
- I_{max} : insuffisance de dévers.

VII.6.2 Dévers

Le dévers ferroviaire est une fonction du profil de la ligne des trains qui vont y circuler, il sera obtenu quand les deux fils de rail sont posés en devers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur) est sûr élever par rapport à l'autre et ça. La variation du dévers à l'entrée et à la sortie d'une courbe sera continue tout au long de la courbe sous l'effet de la force de transition.

Le dévers a pour but de facilité le passage du train en courbe, et l'empêche d'être poussé vers l'extérieur sous l'effet de la force centrifuge.

VII.6.2.1 Dévers théorique (DTH)

Dans les courbes, tout mobile en déplacement est soumis à une force centrifuge proportionnelle au carré de la vitesse de déplacement et inversement proportionnelle au rayon de la courbe, le devers a été créé pour compenser l'effet cette force centrifuge.

Tel que Tel que, ces forces sont : la force centrifuge (GA) et le poids du véhicule (GB).

Pour faire équilibrer La composante $GC = \frac{mv^2 \cos a}{R}$ et la force centrifuge qui tend à rejeter le véhicule vers l'extérieur, nous avons la composante $GH = P \sin a$.

$$\rightarrow \frac{mv^2 \cos a}{R} = P \sin a$$

Comme $P = m g$ et L'angle α étant très petit, on peut prendre :

$\sin \alpha = \tan \alpha = dth$ e et $\cos \alpha = 1$.

$$\text{Donc : } \frac{mv^2}{R} = \frac{mgdth}{e}$$

$$\rightarrow dth = \frac{ev^2}{gR}$$

$$dth = \frac{11.80 \times V^2_{max}}{R}$$

dth : Dévers théorique.

V : vitesse (km/h).

R : Rayon de courbe (m).

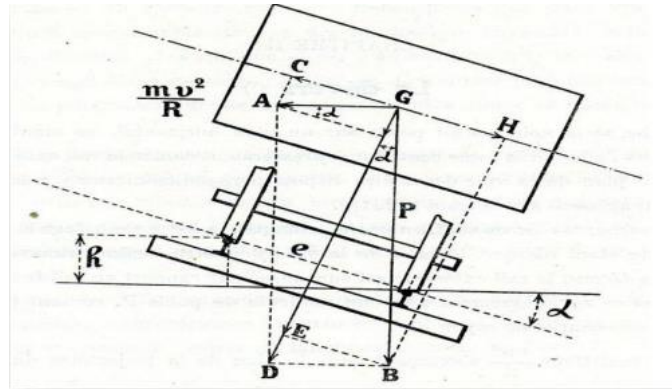


Figure VII-2: Dévers théorique.

VII.6.2.2 Dévers pratique

En pratique, la nature et la vitesse des trains sont variables (trafic mixte : trains voyageurs et marchandises). Il est donc impossible de rouler au dévers théorique, cela nous amener à la notion du dévers pratique(réel) noté « dp ».

Ça valeur est limité à une valeur inférieure à celle de dévers théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents.

La mise en œuvre du dévers pratique nous permet d'éviter la fatigue de la voie : le dévers faible pour la circulations rapides conduit à la fatigue de rail extérieur de la courbe, un dévers excessif pour les circulations lentes conduits à la fatigue de rail inférieur.

$$dp = \frac{1000 \times C}{R} \text{ (mm)}.$$

C : coefficient de devers.

R : rayon de courbure circulaire.

VII.6.2.3 Coefficient de dévers

Appelé aussi le coefficient de proportionnalité C, son choix est constant sur une section de voie à trafic homogène donné, entre le dévers pratique (dp) et la courbure (1/R). Il permet de respecter simultanément les valeurs limites normales (ou, dans certains cas exceptionnelles) des paramètres suivants :

- ✓ Insuffisance de dévers.
- ✓ Excès de dévers.

- ✓ Variation de dévers.
- ✓ Variation de l'insuffisance de dévers.

Pour le calcul de coefficient de dévers C on utilise la formule suivante par la SNCF, cette méthode est valable pour les voies < 220 Km/h.

$$C = 0.006 \times V_{\max}^2.$$

VII.6.2.4 Insuffisance de dévers

On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapides et le dévers pratique.

Ce cas se produit lorsque la vitesse du train en courbe dépasse la vitesse d'équilibre associée au dévers pratique et la force centrifuge vers l'extérieur sera non compensée.

La limitation de l'insuffisance de dévers due à assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et pour un coût raisonnable de l'entretien de la voie.

Tel-que :

$$I = \frac{11.8 \times V_{\max}^2}{R} - dp \leq I_{\max} [mm].$$

Tableau VII-2: Valeurs limite de l'insuffisance de dévers selon SNCF.

Paramètres	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Catégorie I	110	130
Catégorie II	150	160
Catégorie III	160	180

Tableau VII-3: Valeurs limitent de l'insuffisance de dévers selon UIC.

Paramètres	Insuffisance de dévers I (mm)	
Valeurs limites maximales (catégorie II)	Valeur normale	100mm
	Valeur maximale	120mm
	Valeur exceptionnelle	150mm

- ❖ **Variation de l'insuffisance de devers** : Dès que la vitesse des trains est supérieure à la vitesse d'équilibre, les voyageurs ressent l'effet de la force centrifuge non compensée, due à l'insuffisance de devers dans le raccordement parabolique. Le taux de variation doit être limité pour permettre une adaptation progressive des voyageurs, et si possible inconsciemment à cet effet dans les pleins courbes.

Sur la longueur de la courbe de raccordement l'insuffisance de devers varie de zéro en alignement à sa valeur maximale en pleine courbe.

Cette variation de dévers (ΔI) pendant le temps (Δt) s'exprime en (mm/s), elle s'écrit :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{\max}}{3.6 \times L} \text{ [mm]}.$$

L : longueur de la courbe de transition exprimée en (m).

I : insuffisance dans la pleine courbe (mm).

V : s'exprime en (km/h).

ΔI : s'exprime en (mm).

Δt : s'exprime en (s).

Tableau VII-4: Limite de variation d'insuffisance du dévers (selon la fiche UIC-703-R).

Valeur	Normal	Exceptionnels
$\Delta I / \Delta t$ (mm)	70	90

VII.6.2.5 Excès de devers

Lorsqu'un train roule très lentement en courbe (train de marchandise) et sa vitesse faible par rapport à la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe.

L'excès de dévers E est limité pour éviter l'usure prématurée du rail intérieur dans les courbes (pour les circulations fret donc lentes).

Il est calculé avec la formule suivante :

$$E = dp \frac{11.8 \times V_{\min}^2}{R} \leq E_{\max} \text{ [mm]}.$$

V : la vitesse du train la plus lente exprimée en Km/h.

R : Rayon de courbe (m).

dp : dévers prescrit (mm).

- ✓ Valeurs limites selon les norme SNCF :

Tableau VII-5: Valeurs limites de l'excès de dévers selon SNCF.

Paramètre	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Excès de dévers (mm)	110	130

- ✓ Les valeurs limites de l'excès de dévers d'après UIC 703 sont indiquées ci-dessous :

Tableau VII-6: Valeurs limites de l'excès de dévers (UIC 703).

Paramètres	Excès de dévers (mm)	
Valeurs limites maximales (catégorie II)	Normal	70
	Maximal	90
	Exceptionnel	110

VII.6.2.6 Variation de dévers

- ❖ **Variation en fonction de temps $\Delta d/\Delta t$** : Pour les rampes de dévers à pente constante, une limitation de la variation de dévers dans les courbes de transition est obligatoire pour que la vitesse de rotation des véhicules autour d'un axe longitudinal ne nuise pas à leur stabilité.

Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L_{rp}}$$

V: Vitesse (Km/h).

d : dévers (mm).

Lrp : longueur du raccordement progressif (m).

- ✓ Valeurs limites selon la norme SNCF :

Tableau VII-7: Variation de dévers dans le temps $\Delta d/\Delta t$.

Paramètres	Valeur limite normale	Valeur limite Exceptionnelle
Variation de dévers (mm/m)	50	60

- ✓ Valeurs limites selon la norme UIC 703 :

Tableau VII-8: Valeurs limites de variation de dévers par rapport aux temps.

Paramètres		Taux de variation du dévers $\Delta d/\Delta t$ (mm/s)
Valeurs limites maximales (catégorie II)	Normal	28
	Maximal	35
	Exceptionnel	50

❖ Gauchissement

Lors du passage des trains dans les courbes et en présence des dévers, les points de contact des roues des wagons avec le rail ne se trouvent pas sur le même niveau et sous des charges dynamiques à grandes vitesses qui sont répartit inégalement sur les roues, ce qui provoque un gauchissement de la voie, le problème deviendra très dangereux. Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport ($\Delta D/\Delta L$) appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m).

❖ Variation du dévers en fonction de longueur $\Delta d/\Delta l$

La longueur des courbes de transition sera en fonction du dévers adopté du taux de variation de dévers admissible, le taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur.

Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{3.6 \times \frac{dd}{dt}}{V_{\max}} = \frac{dp}{L}$$

Le tableau suivant reprend les valeurs admissibles de la variation de dévers en fonction de l a longueur des courbes de transition $\Delta d/\Delta L$ exprimées en mm/m :

Tableau VII-9: Variation de dévers dans les courbes de transition $\Delta d/\Delta L$ selon SNCF.

Paramètres	Valeur limite norma le	Valeur limite exceptionnel le
Variation de dévers (mm/m)	180/V=1.125	216/V=1.35

V : vitesse du mouvement le plus rapide en (Km/h).

Dans notre projet égale à 160km/h.

VII.6.3 Doucines

Au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de Tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis. Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire. Entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

Du fait de la proportionnalité dévers / courbure, ce raccord se traduit dans le diagramme des flèches par des arrondis appelés

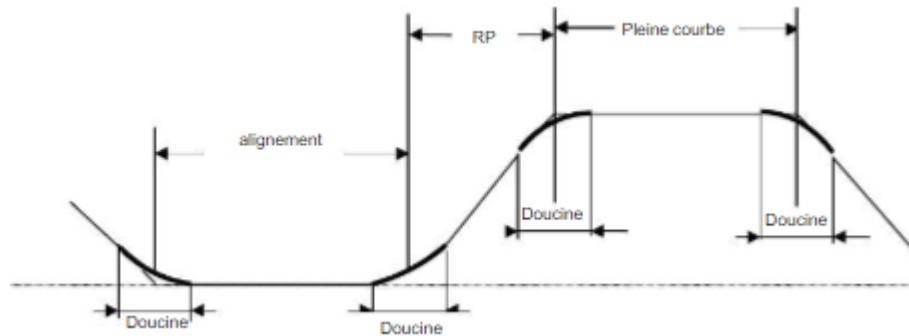


Figure VII-3: Raccordement linéaire du dévers avec les doucine.

VII.6.4 Clothoïde

La courbure est linéairement proportionnelle à l'abscisse curviligne L (ou la longueur de la clothoïde).

La clothoïde est donnée par cette formule :

$$\frac{1}{RP} = K \times Lp$$

Avec $\frac{1}{K} = A^2 = R \times L$

A : Paramètre de la clothoïde.

Lp : Longueur de clothoïde LRP (m).

R : rayon de la courbure (m).

VII.6.5 Raccordement progressif

Des raccordements progressifs (RP), de type clothoïde avec variation linéaire du dévers des voies, seront mis en œuvre entre alignements et courbes. Entre deux (02) courbes de sens contraires relativement proches, il sera possible d'éviter l'implantation d'un alignement en plaçant un raccordement progressif d'inflexion qui aura une variation constante des flèches et des dévers de part et d'autre du point d'inflexion de $d=00.00$. Enfin, lorsque la vitesse est supérieure à 60 km/h et la variation de dévers supérieure à $60/V$, des doucines seront insérées aux extrémités des RP. (Norme RFF/SNCF IN 0272).

La longueur d'une courbe de transition ou d'un raccordement progressif est définie par les caractéristiques Taux de variation de dévers en fonction de la longueur.

- Taux de variation de dévers en fonction du temps.
- Taux de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

Les formules pour le calcul des longueurs de raccordement progressif sont données ci-dessous :

- ✓ La longueur de raccordement progressif en fonction de variation de dévers.

$$Lrp = \frac{D \times Vmax}{3.6 \times dd/dt}$$

- ✓ La longueur de raccordement progressif en fonction de variation de l'insuffisance de dévers.

$$Lrp = \frac{D \times Vmax}{3.6 \times dl/dt}$$

V : vitesse maximale.

dI/dd : Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

dd/dt : Variation de dévers en fonction du temps.

D : dévers pratique.

VII.7 Application au projet

D'après la norme UIC 703 et les recommandations on a les données suivantes :

Tableau VII-10: Valeur de calcul.

Vitesse des trains rapides	Vmax=160km/h
Vitesse des trains lents	Vmin=100km/h
Excès de dévers Emax	E=70mm
L'insuffisance maximale	Imax=150mm
Dévers max	Dmax=160mm
Variation de dévers en fonction de temps (valeur limite normal)	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = 50mm/s$

Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps (valeur limite normale)	$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 70 \text{ mm/s}$
Paramètres du gauchissement (valeur normal)	1.125 mm/m

❖ **Calcul du rayon minimal**

$$R_{min} = \frac{1.18 \times V^2_{max}}{d_{max} + l_{max}}$$

AN :

$$R_{min} = \frac{1.18 \times 160^2}{160 + 150} = 974.45 \text{ m.}$$

❖ **Calcul de dévers de rayon minimal**

$$dR_{min} = \frac{1000 \times C}{R_{min}}$$

Avec C coefficient de dévers.

$$C = 0.006 \times V_{max}^2.$$

AN

$$C = 0.006 \times 160^2 = 153.6.$$

Le coefficient de dévers C doit être un multiple de 15 donc on opte pour C=165.

Donc :

AN

$$dR_{min} = \frac{1000 \times 165}{980} = 168.36 \text{ mm.}$$

Dans ce cas, la valeur de dévers associée au rayon minimal supérieure à la valeur limite normale dévers qui est égal à 160 mm.

Calcul de rayon minimal avec la valeur limite normal de dévers :

$$R_{min} = \frac{1000 \times C}{dR_{min}}$$

AN

$$R_{min} = \frac{1000 \times 165}{160} = 1031.25 \text{ m.}$$

On prend le rayon minimal $R_{min} = 1200 \text{ m.}$

Le dévers associé au rayon minimal est donné par la suite :

AN

$$dR_{min} = \frac{1000 \times 165}{1200} = 137.5mm.$$

$dR_{min}=137.5mm < d_{max}$ (recommandé) = 160mm donc on peut le retenir.

Remarque : Il est recommandé de choisir une valeur de dévers multiple de 10. Avantageux pour faciliter la tâche à accomplir.

D'après la norme UIC pour la vitesse 160 km/h on prend $R = 4000$.

❖ **Calcul de dévers théorique(dth)**

Pour les trains rapides :

$$dth(r) = \frac{11.80 \times V^2_{max}}{R}$$

AN

$$dth(r) = \frac{11.80 \times 160^2}{4000} = 75.52mm.$$

Pour les trains lents :

$$dth(l) = \frac{11.80 \times 100^2}{4000} = 29.5mm.$$

❖ **Calcul de dévers pratique (dp)**

$$dp = \frac{1000 \times C}{R} \text{ (mm)}$$

AN

$$dp = \frac{1000 \times 165}{4000} = 41.25 \text{ (mm)}.$$

$dth(l) < dp < dth(r)$ condition vérifiée.

❖ **Calcul de l'insuffisance de dévers**

$$I = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R} - dp \leq I_{max} [mm].$$

AN

$$I = \frac{11.8 \times 160^2}{4000} - 41.25 = 34.27mm.$$

$I < I_{max}=120mm$ (condition vérifiée).

❖ **Calcul l'excès de dévers**

$$E = dp - \frac{11.8 \times V_{\min}^2}{R} \leq E_{\max}[\text{mm}].$$

AN

$$E = 41.25 - \frac{11.8 \times 100^2}{4000} = 11.75 \text{mm}.$$

$E < E_{\max} = 90 \text{mm}$ (condition vérifiée).

❖ **Calcul de la longueur de la clothoïde (L)**

$$L_{rp} = \frac{dp \times V_{\max}}{3.6 \times dd/dt}$$

avec $dd/dt = 50 \text{mm/s}$.

AN

$$L_{rp} = \frac{41.25 \times 160}{3.6 \times 50} = 36.66 \text{m}.$$

On prend $L = 37 \text{m}$.

❖ **Paramètre de la clothoïde (A)**

$$A = \sqrt{R \times L}$$

AN

$$A = \sqrt{4000 \times 37} = 384.70 .$$

❖ **Variation de l'insuffisance de dévers**

$$\frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{l \times V_{\max}}{3.6 \times L} [\text{mm}]$$

AN

$$\frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{34.27 \times 160}{3.6 \times 37} = 41.17 \text{ mm}.$$

$\frac{\Delta l}{\Delta t} < 70 \text{mm/s}$ (condition vérifiée).

❖ **Variation de dévers**

En fonction de temps :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{dp \times V_{\max}}{3.6 \times L_{rp}}$$

AN

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{41.25 \times 160}{3.6 \times 37} = 49.54m.$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} < 50mm/s \text{ (condition vérifiée).}$$

En fonction de longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{3.6 \times \frac{dd}{dt}}{V_{max}} = \frac{dp}{L}$$

AN

$$\frac{dd}{dl} = \frac{3.6 \times 49.54}{160} = 1.11mm/s.$$

1.11mm/s < 1.125mm/s (condition vérifiée).

VII.7.1 Tableau récapitulatif des éléments de tracé en plan

Ci-dessus, le tableau récapitulatif des rayons en plan établis pour le LOT 2 (PK30+000 _PK50+000).

Avec longueurs de clothoïde correspondantes, aussi leurs dévers associés, ainsi que toutes les vérifications nécessaires notamment :

- ✓ Variation de dévers en fonction de la longueur de raccordement progressif Lrp.
- ✓ Variation de dévers en fonction du temps.
- ✓ Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps.

Tableau VII-11: Paramètre du tracé.

R	dth(r) mm	dth(l) mm	dp mm	I mm	E mm
1200	251.73	98.34	137.5	114.24	39.16
1800	167.82	65.55	91.66	76.16	26.08
2200	137.30	53.63	75	62.30	21.37
2700	111.88	43.70	61.11	50.77	17.41
3300	91.54	35.75	50	41.54	14.25

R	L m	A	$\frac{dl}{dt}$ mm/s	$\frac{dd}{dt}$ mm/s	$\frac{dd}{dl}$ mm/s
1200	123	384.18	41.27	49.68	1.11
1800	82	384.19	41.28	49.67	1.11

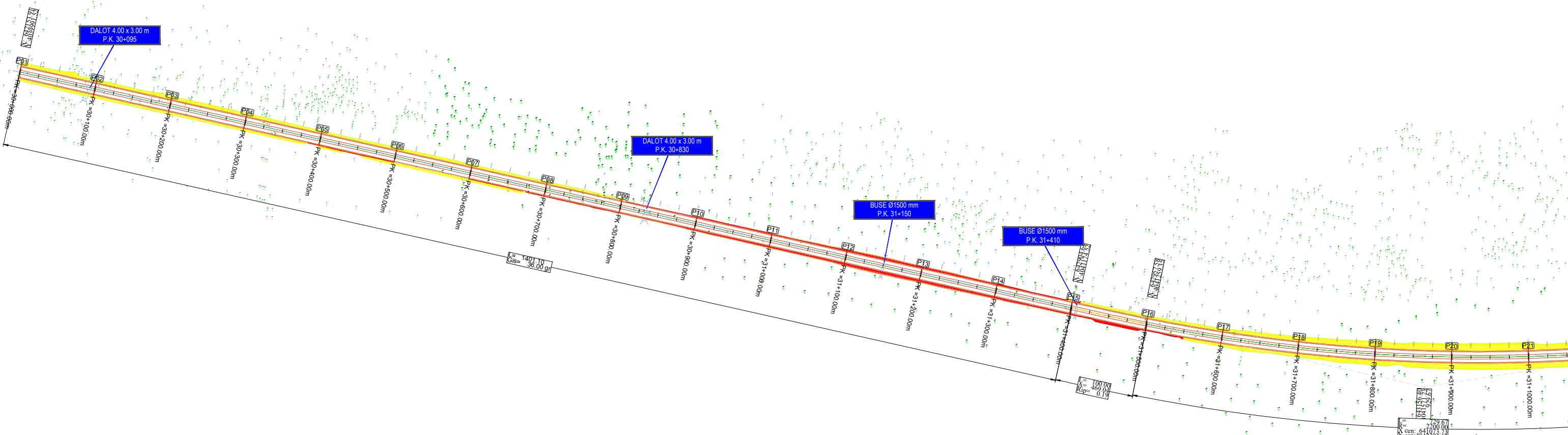
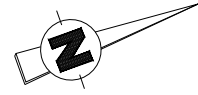
2200	67	384.92	41.32	49.75	1.11
2700	55	385.35	41.02	49.38	1.11
3300	45	385.36	41.03	49.38	1.11

VII.8 Conclusion

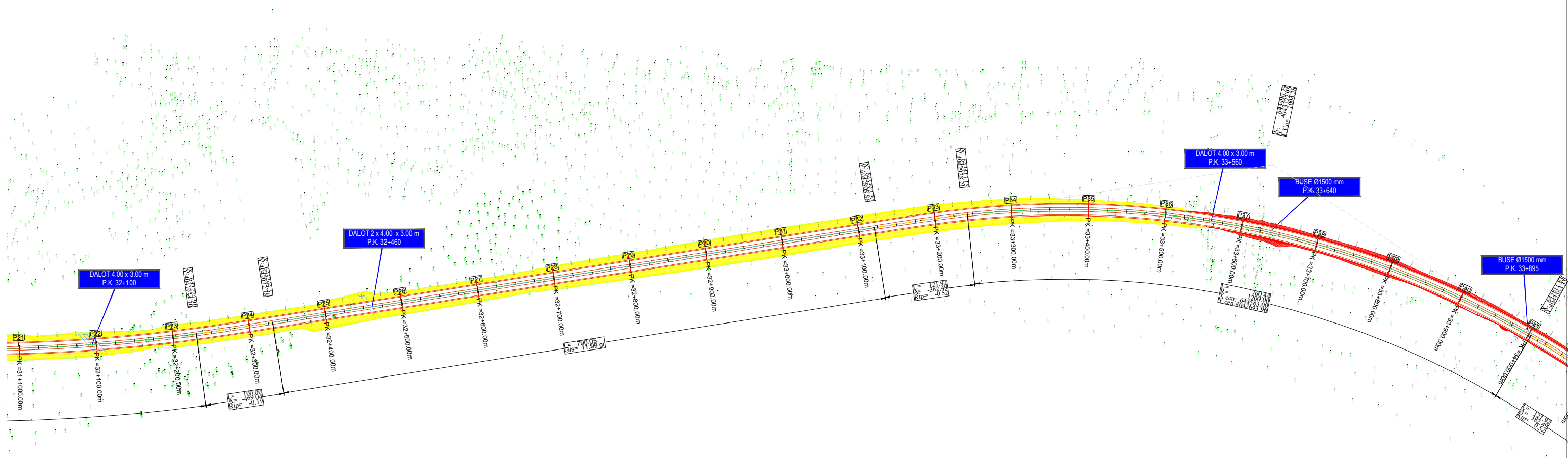
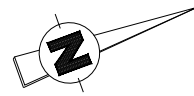
En conclusion, il est évident que la conception des voies ferrées est d'une importance capitale, comme le souligne le tracé en plan.

Ce dernier joue un rôle essentiel dans la garantie de la sécurité, de l'efficacité et de la performance globale du réseau ferroviaire. En effet, la manière dont les voies sont disposées et alignées influence directement la circulation des trains.

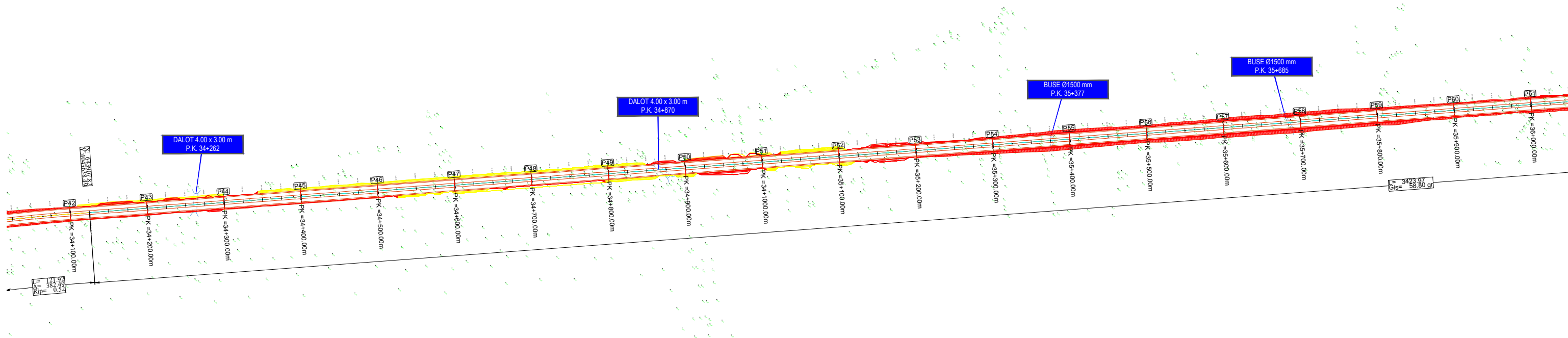
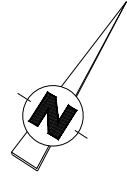
Un tracé bien conçu permet de minimiser les risques de collisions, d'assurer des transitions fluides entre les différentes voies.



		République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université MOULOU D MAMMERI de Tizi-Ouzou			
Dédoublément de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA					
Tracé en Plan					
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche		ECHELLE	1/5000	
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.		PLANCHE N° :	1 (PK 30+00 au PK32+000)	



		République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique			
		Université MOULOU D MAMMERY de Tizi-Ouzou			
Dédouement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA					
Tracé en Plan					
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche		ECHELLE	1/5000	
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.		PLANCHE N° :	2 (PK 32+000 au PK34+000)	



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

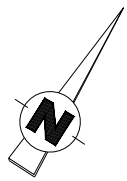


Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou

**Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30
au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA**

Tracé en Plan

Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Bahmed Amirouche	ECHELLE	1/5000
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.	PLANCHE N° :	3 (PK 34+000 au PK36+000)



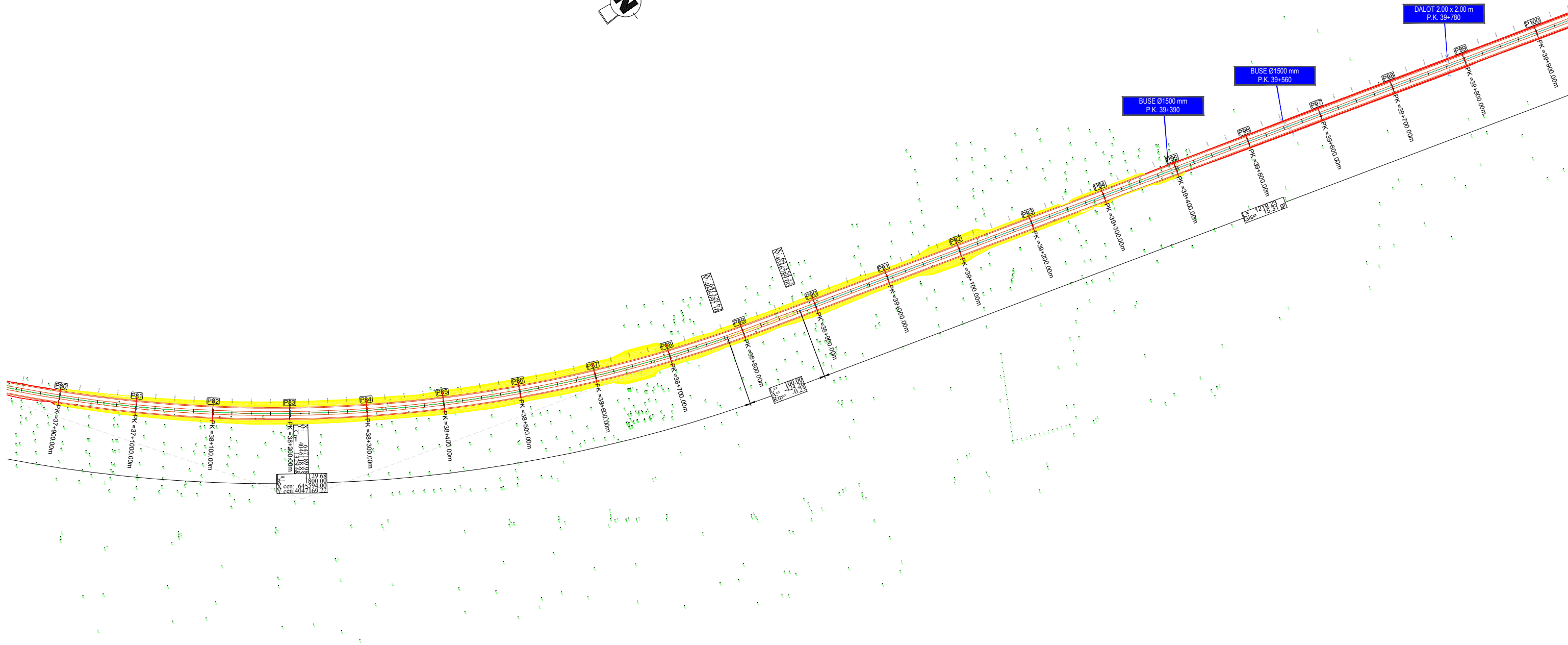
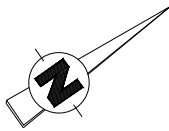
République Algérienne Démocratique et Populaire
 Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
 Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou



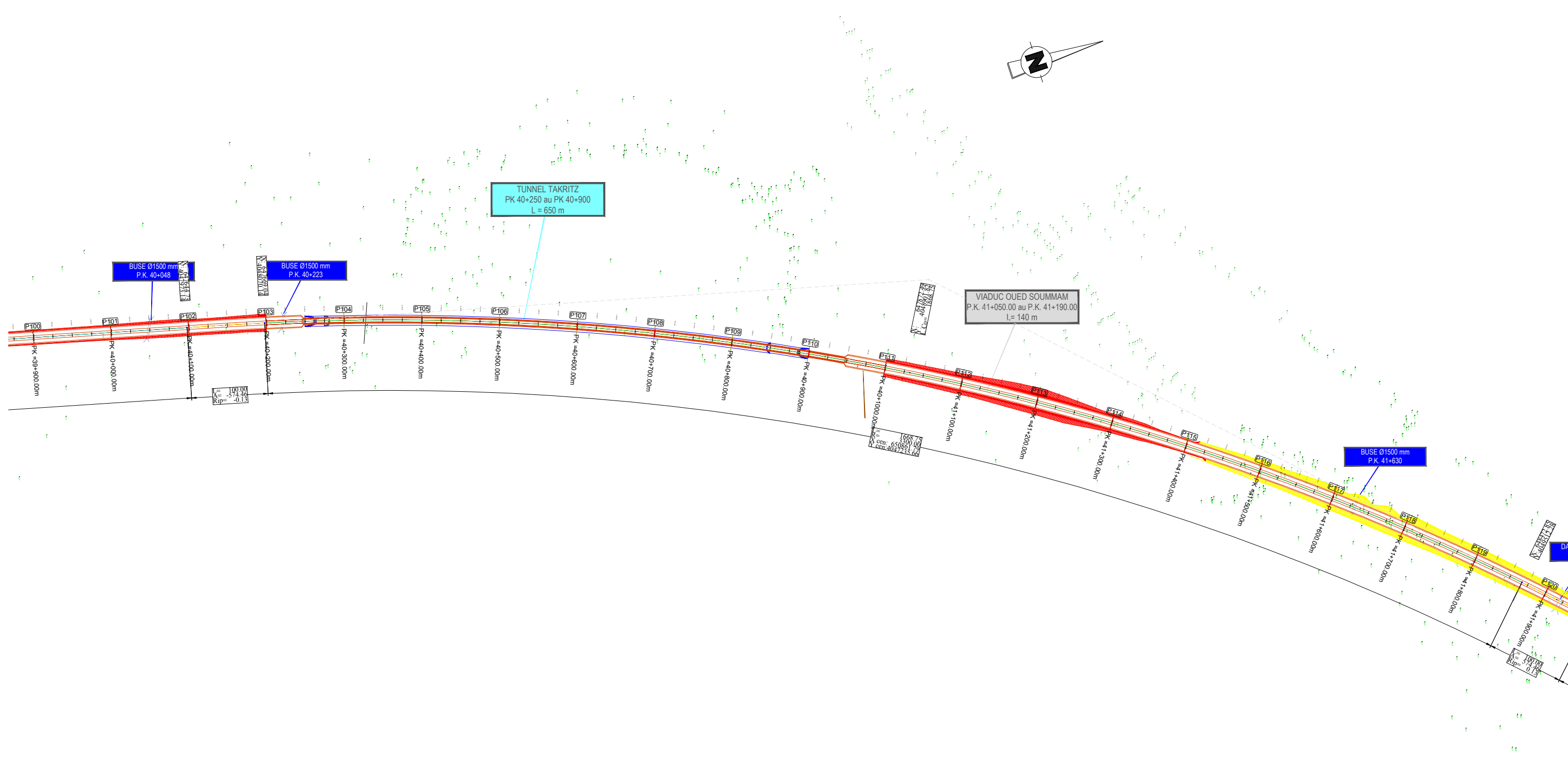
Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA

Tracé en Plan

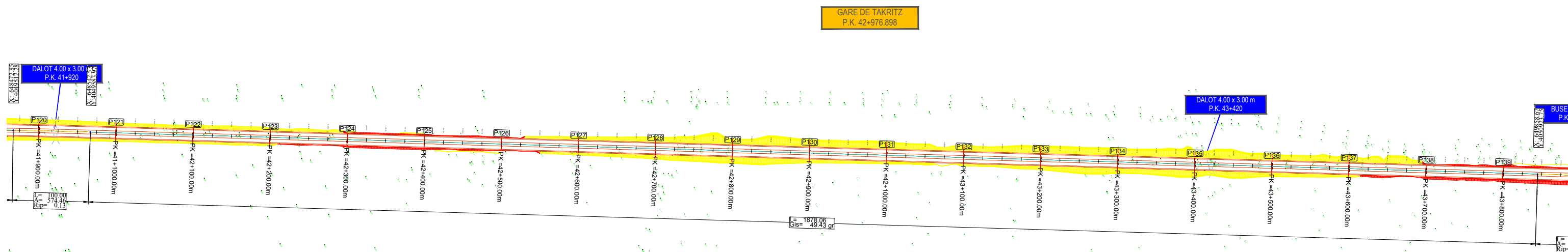
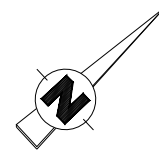
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche	ECHELLE	1/5000
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.	PLANCHE N° :	4 (PK 36+000 au PK37+900)



		<p>République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou</p>			
<p>Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA</p>					
<p>Tracé en Plan</p>					
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Bahmed Amirouche		ECHELLE	1/5000	
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.		PLANCHE N° :	5 (PK 37+900 au PK39+900)	



 République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou			
Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA			
Tracé en Plan			
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Bahmed Amirouche	ECHELLE	1/5000
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.	PLANCHE N° :	6 (PK 39+900 au PK41+900)



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

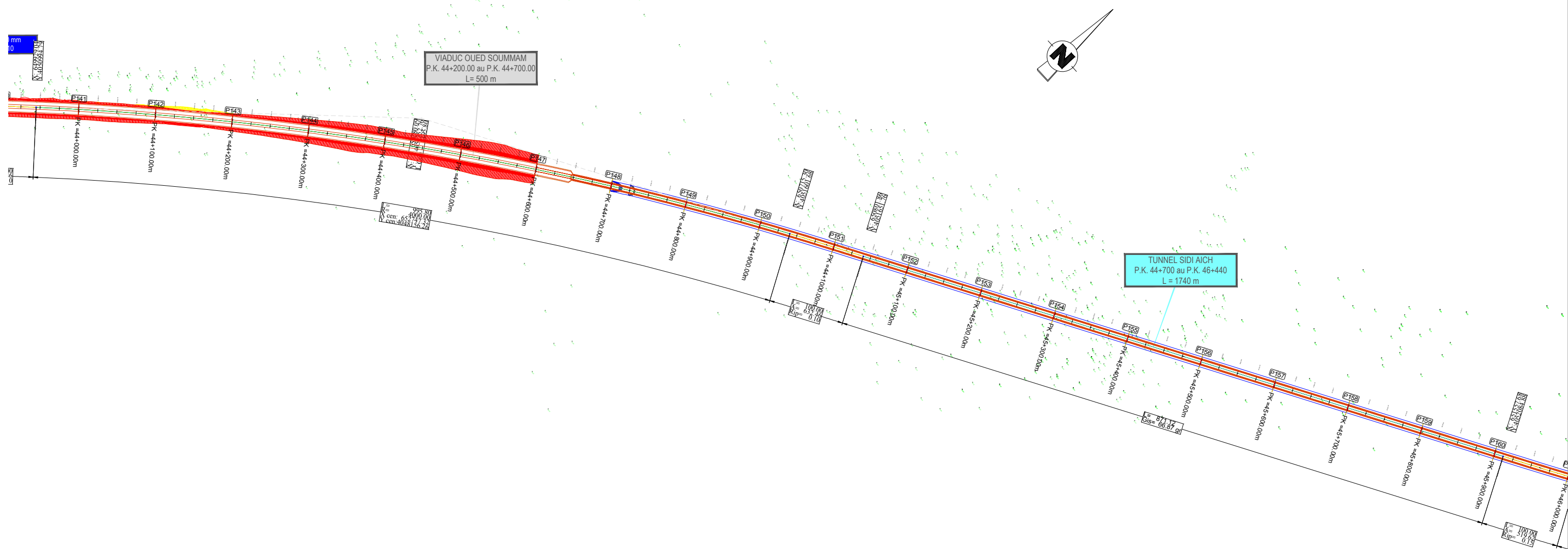


Université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou

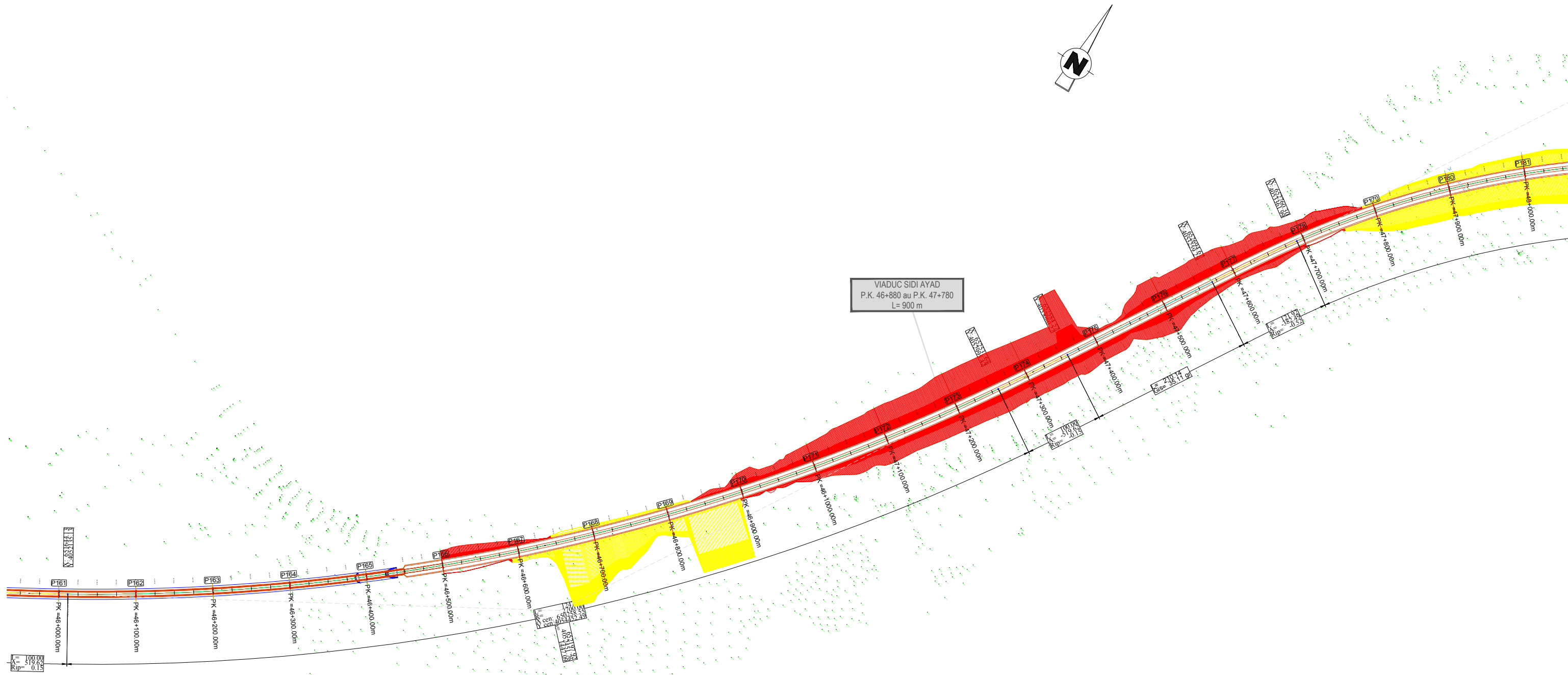
**Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30
au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA**

Tracé en Plan

Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche	ECHELLE	1/5000
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.	PLANCHE N° :	7 (PK 41+900 au PK43+900)

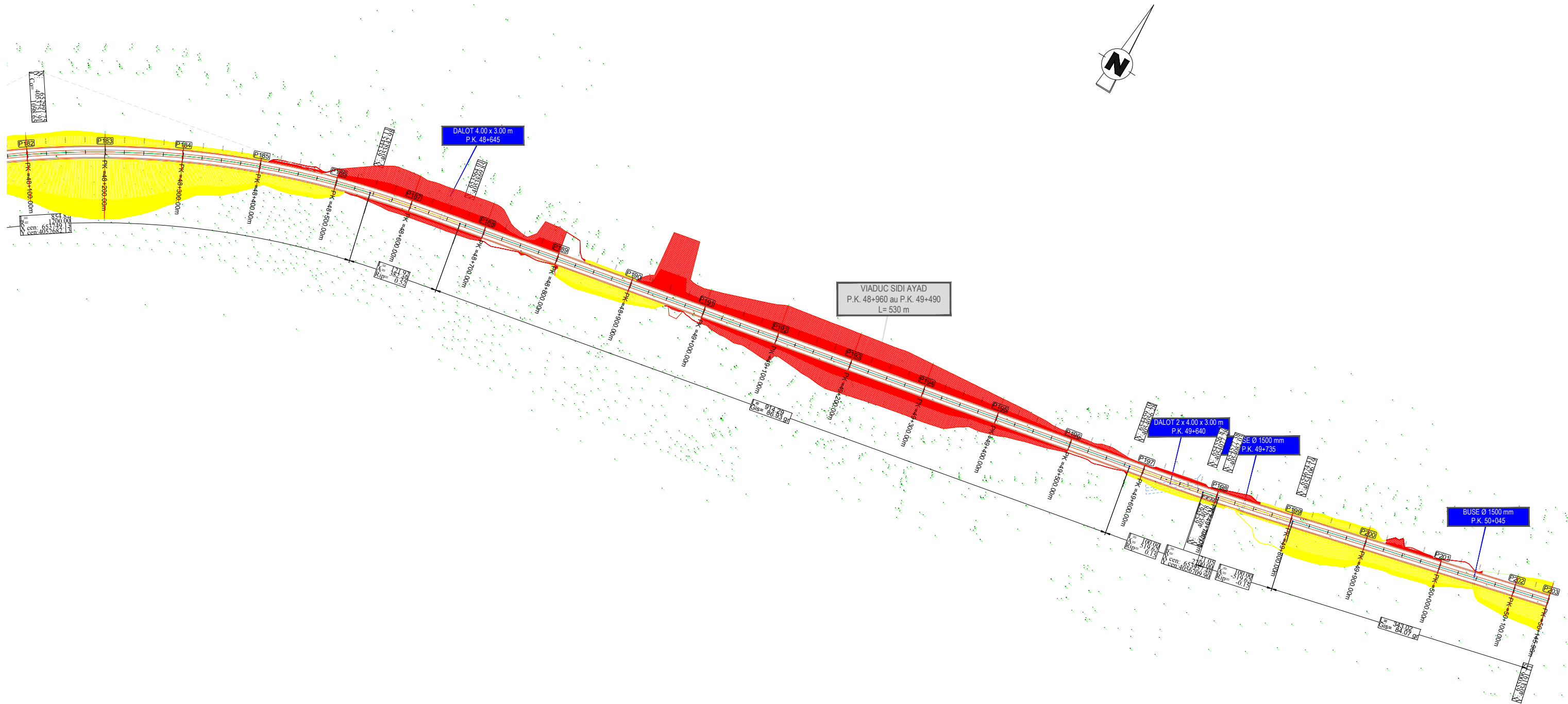


		République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou			
Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA					
Tracé en Plan					
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche		ECHELLE	1/5000	
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.		PLANCHE N° :	8 (PK 43+900 au PK45+900)	



VIADUC SIDI AYAD
 P.K. 46+880 au P.K. 47+780
 L= 900 m

 <p>République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou</p> 			
Dédoulement de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30 au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA			
Tracé en Plan			
Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche	ECHELLE	1/5000
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.	PLANCHE N° :	9 (PK 45+900 au PK48+000)



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



Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou

**Dédoublage de la voie ferrée et rectification du tracé sur le tronçon de PK30
au PK 50 de la nouvelle ligne BENI MENSOUR - BEJAIA**

Tracé en Plan

Réaliser par	Ait Mohammed Rafik Baahmed Amirouche	ECHELLE	1/5000
Vérifier par	Mr Sahoui Hamza.	PLANCHE N° :	10 (PK 48+000 au PK50+000)

Chapitre VIII : Profil en long

VIII.1 Introduction

Le profil en long est une représentation graphique en projection verticale d'alignement ferroviaire pour la conception et la visualisation des lignes verticales. Il permet de présenter graphiquement la variation en hauteur et en pente le long de la ligne de projet ferroviaire généralement présenté par une ligne horizontale.

Lors de la conception de profil en long, il faut prendre en considération le relief, la nature des sols, les gabarits routiers et ferroviaires les niveaux des plus hautes eaux, etc.

VIII.2 Importance du profil en long

- Le profil en long est un élément important dans la conception d'une ligne ferroviaire, car il permet de :
- Établir avec précision l'altitude et la pente de la ligne en fonction d'un plan horizontal de référence, afin d'assurer une circulation fluide.
- Concevoir la ligne en prenant en compte les caractéristiques topographiques du terrain, en minimisant les impacts environnementaux et en optimisant l'utilisation des ressources disponibles.
- Respecter rigoureusement les normes techniques et réglementaires en matière de sécurité, de performance, de confort et d'environnement, afin de garantir la qualité de service offerte aux usagers.
- Évaluer les contraintes de construction et d'entretien, en prenant en compte les coûts associés et en recherchant des solutions durables et économique.

VIII.3 Eléments d'un profil en long

On doit déterminer pour tout point du profil en long les éléments suivants :

- L'altimétrie du terrain naturel.
- L'altitude de la ligne rouge du projet.
- L'inclinaison de du projet.
- Les points kilométriques et les distances cumulés.
- La valeur de déblai et remblai.
- Les éléments de tracé en plan.
- Les ouvrages d'art et les ouvrages hydraulique.
- La position des appareils de voies (aiguillages), les gares.

VIII.4 Règles à respecter dans un tracé du profil en long

- Se relier aux points de passage et au réseau existant.
- La déclivité maximale doit être obligatoirement Respecte.
- Limité le rayon minimum en profil en long dans le but de limiter l'accélération verticale.
- Respecter la distance entre deux sommets successifs qui est de 800m.
- Garantir la bonne évacuation des eaux.
- Assurer si possible un palier de 350 à 400m de part et d'autre de la gare, pour un redémarrage facile des trains en cas d'arrêt au voisinage de cette gare.
- De ne pas dépasser une pente maximale préconisée par les règlements.
- Minimiser les travaux de terrassement qui peuvent être coûteux par l'adaptation de profil au terrain naturel.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Assuré les pentes nulles dans les gars.

VIII.5 Eléments géométriques du profil en long

Il existe plusieurs contraintes à étudier pour La construction du profil en long tel-que La déclivité qui est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale, appelée pente pour les descentes et rampe pour les montées. Elles doivent être limitées pour des raisons de sécurité et de confort.

- ❖ **Palier** : c'est la partie horizontale de tronçon dont l'altitude est constante.
- ❖ **Rampe** : une rampe ou une déclivité positive, c'est une partie de tronçon qui définit une montée.
- ❖ **Pente** : une pente ou une déclivité négative, c'est la partie de tronçon qui définit une descente.
- ❖ **Courbe de raccordement verticale** : ce sont des arcs de cercles qui garantissant le raccordement entre les éléments de la ligne rouge.

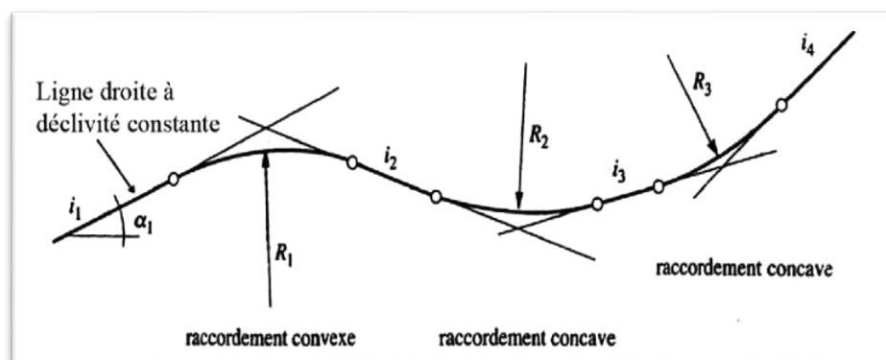


Figure VIII-1 : Eléments géométriques du profil en long.

- ❖ **Déclivité maximal** : Il existe plusieurs contraintes à étudier pour La construction du profil en long tel-que La déclivité qui est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale, appelée pente pour les descentes et rampe pour les montées. Elles doivent être limitées pour des raisons de sécurité et de confort.

Selon la SNTF (référentiel technique chapitre 6 géométrie de la voie) la valeur de la déclivité a respecté varie en fonction de sa longueur, Les valeurs de déclivité sont montrées sur le tableau ci-dessus :

Tableau VIII-1: Déclivité selon la SNTF.

Longueur de la déclivité maximal admissible (m)	Inclinaison maximal admissible p (‰)	
	Valeur limite normal	Valeur limite exceptionnelle
Longueur inférieure 3000 m	P= 16	P=18
Longueur entre 3000 m et 15 000 m	$13 \leq P \leq 16$	$15 \leq P \leq 18$
Longueur supérieure à 15 000 m	$P \leq 13$	$15 \leq P$

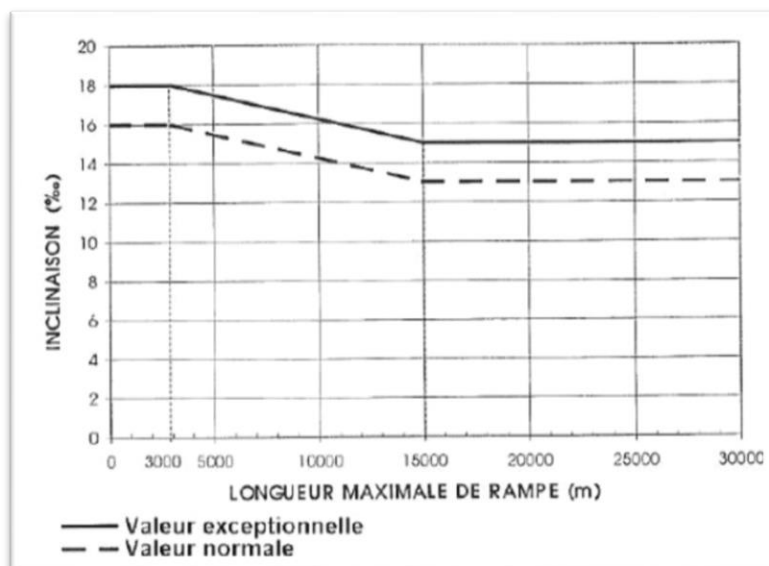


Figure VIII-2 : Rampe maximale admissible.

Les déclivité limites sont en fonction des paramètres suivant :

- De l'adhérence.

- Du mode de traction et des caractéristiques des véhicules ferroviaires.
- Des caractéristiques de la ligne et de la topographie de terrain.
- Des programmes d'exploitation (trafic probable, longueur et charge des convois).
- De longueur des déclivités.

VIII.6 Raccordement en profil en long

Pour assurer la sécurité et le confort et limiter les accélérations centrifuge (vertical) des véhicules ferroviaires, il est nécessaire d'agir en respectant les valeurs limite de rayon minimal de raccordement qui est en fonction de la vitesse en utilisant la formule suivante (**selon la SNCF**) :

$$Rv = \frac{v^2 \max}{12,96 \times av} \leq Rv \text{ rec } \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right].$$

- ❖ **Selon l'UIC** : le rayon minimal des courbes de raccordement est supérieur de 2000m.
- ❖ **Selon la SNCF** : les valeurs limites de des rayons de raccordement sont déterminer suivant le tableau ci-dessous :

Tableau VIII-2 : Limites des valeurs des rayons de raccordement en profil.

Paramètres	Valeur minimale normale	Valeur minimale exceptionnelle	Points particuliers
Rayon minimal vertical (m)	$R=0.35 V^2 = 8960$	$R=0.25 V^2 = 6400$	$R=0.15 V^2 = 3840$

NB : $V=160 \text{ Km/h}$.

- Selon la SNCF (IN 0272 (EF 2 C 32) Le rayon ne devra pas être inférieur à 900 m sauf en cas de dérogation.

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

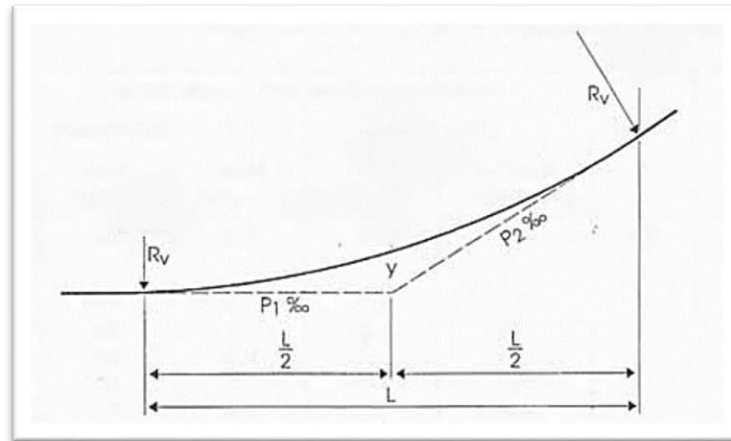


Figure VIII-3: Schéma du raccordement circulaire.

VIII.6.1 Longueur minimal de la déclivité

Afin de permettre l'amortissement des oscillateurs de la suspension il convient de définir une longueur minimale des éléments (des rampes, pentes et de raccordement circulaire).

Les valeurs de longueur minimal des déclivités sont calculées à partir de tableau suivant :

Tableau VIII-3: Longueur minimal des déclivités.

Paramètres	Valeur Maximale normale	Valeur Maximale exceptionnelle
Longueur minimal des éléments du profil en long	$V/2 = 80$	$V/2.5 = 64$

NB : $V=160$ Km/h.

V = vitesse de train le plus rapide en Km/h.

VIII.7 Critères de limitation des paramètres du tracé

Parmi les paramètres définissant la géométrie du tracé de profil en long, certains ont été limités afin de respecter les exigences de sécurité, de confort pour les voyageurs et de tenue de la voie.

Les valeurs limites suivantes sont définies :

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

- Valeur limite exceptionnelle : c'est une valeur plus défavorable que la valeur limite normale, qui peut être utilisée dans des circonstances exceptionnelles.

Les valeurs limites normales et exceptionnelles conditionneront la géométrie du tracé.

VIII.8 Valeur de déclivité au freinage et de démarrage

Le choix des valeurs de déclivité est conditionné par la problématique du démarrage et du freinage.

Ces valeurs sont comme suite selon la norme IN 0272 (EF 2 C 32).

VIII.8.1 Limites imposées par le freinage (pentes)

Sur les pentes, des limites imposées par le freinage et influencer selon les caractéristiques et les capacités de matériel roulant.

La pente de chaque tronçon à pente constante doit respecter l'une des conditions présentées sur le tableau :

Tableau VIII-4: Valeurs limite des pentes imposé par le freinage.

Pente (P)	Longueur (L)
$P < 20 \text{ ‰}$	$L = \text{quelconque}$
$P < 25 \text{ ‰}$	$L \leq 2000 \text{ m}$
$P < 30 \text{ ‰}$	$L \leq 1000 \text{ m}$
$P \leq 35 \text{ ‰}$	$L \leq 400 \text{ m}$

VIII.8.2 Limites imposées par le démarrage (rampes)

- **Cas des gares :** En gare la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues selon les valeurs reprises dans le tableau suivant :

Tableau VIII-5: Valeurs limites de déclivités imposées par le démarrage.

Activité en gare	Déclivité maximale
Service voyageur seul.	$\leq 10 \text{ ‰}$
Service voyageur et modification de composition des rames.	$\leq 5 \text{ ‰}$
Service voyageur et stationnement prolongé de rames	$\leq 1 \text{ ‰}$

Remarque : La déclivité d'une voie ferrée dans un tronçon donné, ne doit pas dépasser 16‰, et exceptionnellement 18‰.

VIII.9 Coordination profil en long-tracé en plan

Pour assurer le bon enchaînement du profil en long et du tracé en plan, pour cela on doit :

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

Le respect de ces conditions a pour but de :

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

VIII.10 Exemple de calcul de profil en long

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, l'équation d'un cercle est :

$$X^2 + (Y - R)^2 = R^2 \text{ ou encore de la forme : } X^2 + Y^2 - 2YR = 0.$$

Mais pour un grand rayon ($R \geq 8960 \text{ m}$) la variation de l'ordonnée Y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X . surtout lorsqu'il s'agit d'un carré ($Y^2 \rightarrow 0$) d'où on obtiendra une équation de parabole $Y = X^2/2R$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

- Rayon minimale :
- $R_{\min} = 0.35 \times V^2 = 8960.$

On prend $R_{\min} = 9100 \text{ m}$.

- Longueur minimale :
- $L_{\min} = v/2 = 80 \text{ m}$.

Les valeurs des caractéristiques du profil en long sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VIII-6: Valeur des paramètres de profil en long.

Vitesse(Km/h)	Rayon minimal(m)	Longueur minimal des déclivité (m)	Déclivité maximale(‰)
160	9100m	80m	16 ‰

❖ **Calcul des éléments de raccordements verticaux :**

Dans ce calcul, on détermine tous mes coordonnées des points singuliers du raccordement, la tangente de sommet, la flèche de ce dernier.

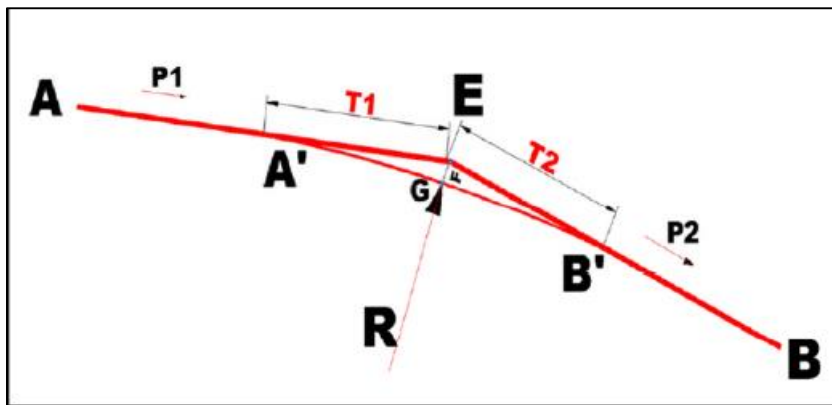


Figure VIII-4: Eléments de raccordement en long.

A' et B' : extrémités du raccordement.

P1 et P2 : pente et rampe.

T : tangente de part et d'autre du sommet.

A et B : deux points connus sur P1 et P2.

F : hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche).

E : sommet ou point de changement de déclivité.

R : rayon du raccordement.

G : projection du sommet sur le raccordement.

Pour l'exemple de calcul on prend les coordonnées des points de profil en long suivantes :

Tableau VIII-7: Données de points de raccordements.

Point	S(m)	Z(m)
A	12775,000	112,051
E	12925,000	112,051

B	12988,386	113,075
----------	------------------	----------------

La valeur de rayon est : $R=9100\text{m}$.

❖ **Calcul des pentes (P) :**

$$P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1} = \frac{112.051 - 112.051}{12925.000 - 12775.000} = \frac{0}{150} = 0\text{‰}.$$

$$P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = \frac{113.075 - 112.051}{12988.388 - 12925,000} = \frac{1.024}{63.38} = 16.1\text{‰}.$$

$P_2=0.0161$.

❖ **Calcul de la tangente(T) :**

$$T = \frac{R}{2}(P_2 - P_1) = \frac{9100}{2}(0.161 - 0) = 73.255\text{m}.$$

❖ **Calcul de la flèche(F) :**

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{73.255^2}{2} \times 9100 = 0.29\text{m}$$

❖ **Calcul des points au milieu de raccordement(Z_G) :**

$$Z_G = Z_E - F = 112.051 - 0.29 = 111.761\text{m}.$$

❖ **Calcul point de début et point de fin de raccordement :**

⇒ **Point de début (A') :**

$$PK_{A'} = PK_E - T = 12925.000 - 73.255 = 12851.745\text{m}.$$

$$Z_{A'} = Z_E - (P_2 \times T) = 112.051 - (0 \times 73.255) = 112.051\text{m}.$$

⇒ **Point de fin de raccordement(B') :**

$$PK_{B'} = PK_E + T = 12925.000 + 73.255 = 12998.255\text{m}.$$

$$P_{B'} = Z_E - (P_2 \times T) = 112.051 - (0.0161 \times 73.255) = 110.878\text{m}.$$

VIII.11 Conclusion

En résumé, le profil en long est un outil essentiel pour la conception et la construction d'infrastructures ferroviaires conformes aux normes.

Il offre une représentation graphique des variations d'altitude le long du tracé, permettant de visualiser la topographie du terrain.

L'analyse du profil en long facilite la prise de décisions éclairées, l'identification des sections nécessitant des adaptations et l'évaluation de l'accessibilité et de la sécurité, en tenant compte des exigences spécifiques des normes ferroviaires.

Profil : Axe en Plan

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18				
Altitudes TN	155.20	155.35	155.39	155.36	155.28	155.18	155.00	154.76	154.43	154.02	153.56	153.00	152.63	152.17	151.71	151.25	150.65	149.95				
Altitudes Projet	155.20	155.23	155.27	155.30	155.28	155.18	155.00	154.76	154.43	154.02	153.56	153.00	152.63	152.17	151.71	151.25	150.65	149.95				
Ecarts Projet - TN	0.00	-0.12	-0.12	0.02	0.11	0.70	0.63	0.99	0.86	1.61	1.78	1.91	2.52	2.04	1.25	0.74	0.04	-1.08				
Abcisses	30+000.00	30+100.00	30+200.00	30+276.31	30+300.00	30+400.00	30+500.00	30+600.00	30+700.00	30+800.00	30+900.00	30+924.60	31+000.00	31+100.00	31+200.00	31+300.00	31+400.00	31+449.46	31+500.00	31+600.00	31+700.00	
Distances partielles		100.00	100.00	76.31	23.69	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	24.60	75.40	100.00	100.00	100.00	100.00	49.46	50.54	100.00	100.00	100.00	
Axe en plan	DROITE L = 1401.10 m																					
Pentes et rampes	RAMPE L = 276.31 m P = 0.04 %				RP = -130000.00 L = 648.29										PENTE L = 524.86 m P = -0.46 %							

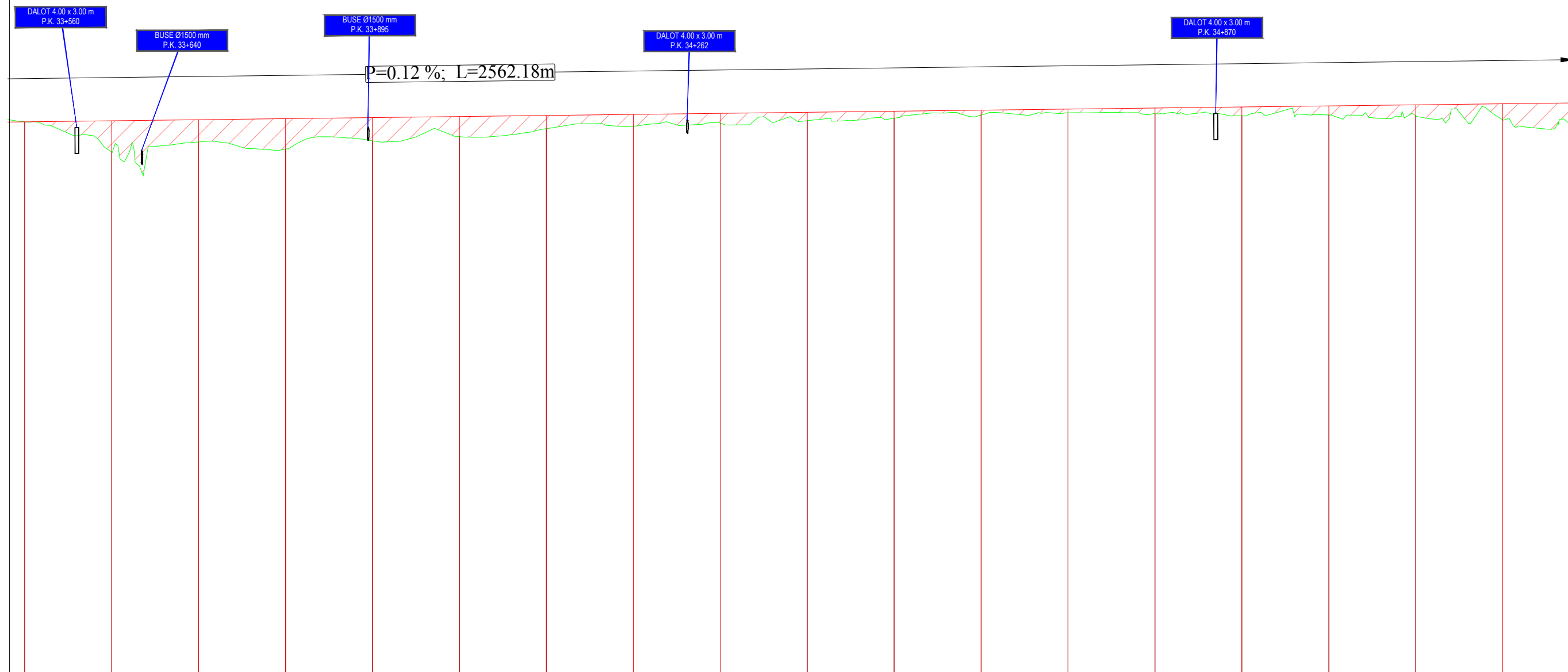


Profil : Axe en Plan

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils		P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36		
Altitudes TN																					
Altitudes Projet		149.13	148.20	147.15	145.98	144.69	143.28	141.78	140.28	139.00	138.54	138.64	138.77	138.88	139.01	139.13	139.26	139.38	139.50		
Ecarts Projet - TN		-2.48	-3.19	-3.43	-2.52	-1.89	-1.85	-2.81	-3.05	-2.44	-2.38	-3.27	-4.04	-4.26	-3.74	-3.69	-2.83	-1.07	-0.00		
Abcisses		31+800.00	31+900.00	31+1000.00	32+100.00	32+200.00	32+300.00	32+400.00	32+500.00	32+524.71	32+600.00	32+700.00	32+720.37	32+800.00	32+900.00	33+000.00	33+100.00	33+200.00	33+300.00	33+400.00	33+500.00
Distances partielles	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	37.75	62.25	100.00	24.71	75.29	100.00	20.37	79.63	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Axe en plan	ARC R = 2200.00 m L = 729.67 m						CLOTHOIDE A = 469.04 L = 100.00 m		DROITE L = 790.05 m						CLOTHOIDE A = 382.49 L = 121.92 m						
Pentes et rampes	RP = -85000.00 L = 888.29						PENTE L = 186.96 m P = -1.51 %		RP = 12000.00 L = 195.65												



Profil : Axe en Plan

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils	P.36	P.37	P.38	P.39	P.40	P.41	P.42	P.43	P.44	P.45	P.46	P.47	P.48	P.49	P.50	P.51	P.52	P.53
Altitudes TN	139.50	139.62	139.74	139.87	139.99	140.11	140.23	140.36	140.48	140.60	140.72	140.84	140.97	141.09	141.21	141.33	141.46	141.58
Altitudes Projet	139.50	139.62	139.74	139.87	139.99	140.11	140.23	140.36	140.48	140.60	140.72	140.84	140.97	141.09	141.21	141.33	141.46	141.58
Ecarts Projet - TN	0.00	3.58	2.54	3.49	2.66	2.31	1.52	1.36	1.13	0.96	0.81	0.56	0.42	0.65	1.02	1.03	1.26	1.84
Abcisses	33+500.00	33+600.00	33+700.00	33+800.00	33+900.00	34+000.00	34+100.00	34+200.00	34+300.00	34+400.00	34+500.00	34+600.00	34+700.00	34+800.00	34+900.00	34+1000.00	35+100.00	35+200.00
Distances partielles		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	82.54
Axe en plan	ARC R = 1200.00 m L = 760.44 m																	
Pentes et rampes	RAMPE L = 2562.18 m P = 0.12 %																	

Profil : Axe en Plan

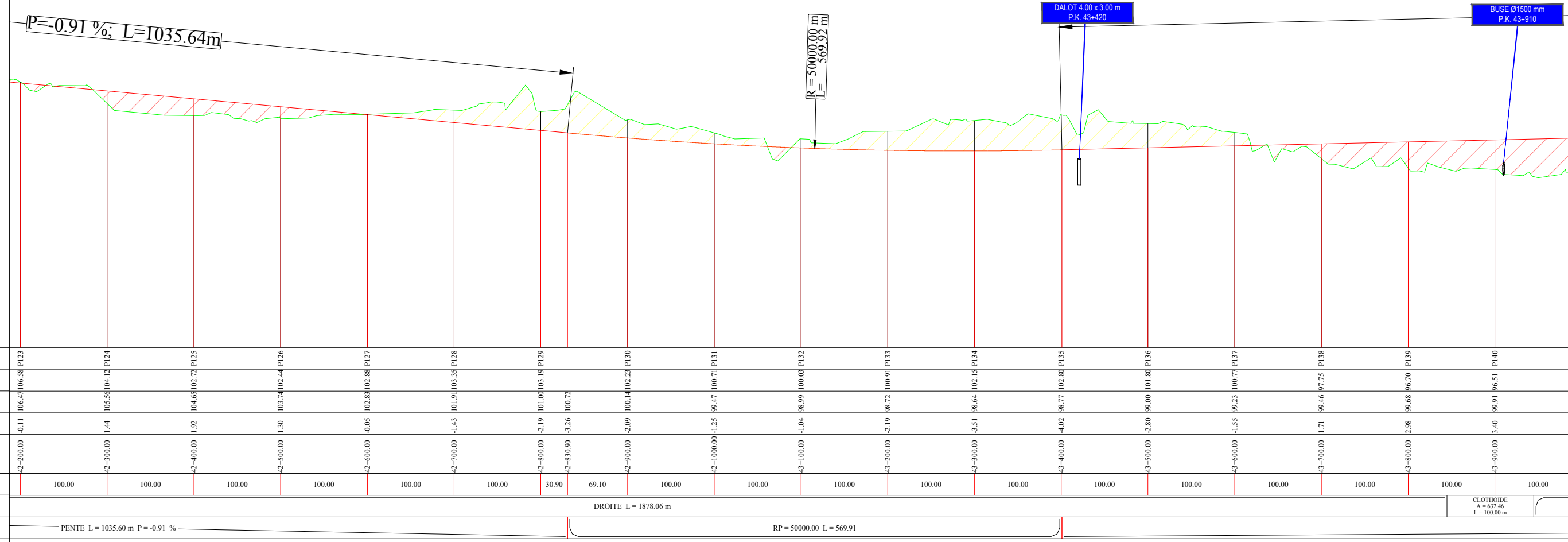
Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils	P71	P72	P73	P74	P75	P76	P77	P78	P79	P80	P81	P82	P83	P84	P85	P86	P87	P88		
Altitudes TN																				
Altitudes Projet	126.77 120.52	125.16 119.30	123.55 118.16	121.94 116.45	120.33 113.64	118.71 112.96	117.10 112.37	115.54 111.88	114.16 112.58	112.99 112.23	112.00 112.61	111.24 112.71	110.67 112.74	110.29 111.81	110.12 112.16	110.10	110.11 112.46	110.13 112.69	110.15 110.81	
Ecarts Projet - TN	6.26	5.87	5.39	5.51	6.69	5.75	4.73	3.65	1.57	0.76	-0.59	-1.47	-2.07	-1.52	-2.04	-2.77	-2.35	-2.55	-0.66	
Abcisses	37+000.00	37+100.00	37+200.00	37+300.00	37+400.00	37+500.00	37+600.00	37+631.11	37+700.00	37+800.00	37+900.00	37+1000.00	38+100.00	38+200.00	38+300.00	38+400.00	38+446.42	38+500.00	38+600.00	38+700.00
Distances partielles		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	31.11	68.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	46.42	53.58	100.00	100.00	100.00
Axe en plan	CLOTHOIDE A = 424.26 L = 100.00 m																			
Pentes et rampes	PENTE L = 874.39 m P = -1.61 %																			
	ARC R = 1800.00 m L = 1129.68 m																			
	RP = 50000.00 L = 815.31																			

Profil : Axe en Plan
Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m



Profil : Axe en Plan

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils	P140	P141	P142	P143	P144	P145	P146	P147	P148	P149	P150	P151	P152	P153	P154	P155	P156	P157				
Altitudes TN	99.91	100.1496.15	100.3797.28	100.6097.69	100.8295.18	101.0594.15	101.2892.11	101.5193.62	101.7495.86	101.97141.25	102.19170.96	102.42189.07	102.65192.82	102.88189.58	103.11196.28	103.33207.24	103.56208.48	103.79186.41				
Altitudes Projet	99.91	100.1496.15	100.3797.28	100.6097.69	100.8295.18	101.0594.15	101.2892.11	101.5193.62	101.7495.86	101.97141.25	102.19170.96	102.42189.07	102.65192.82	102.88189.58	103.11196.28	103.33207.24	103.56208.48	103.79186.41				
Ecart Proj - TN	3.40	3.99	3.08	2.91	5.64	6.91	9.18	7.88	5.88	-39.29	-68.77	-86.65	-90.17	-86.71	-93.17	-103.91	-104.92	-82.63				
Abcisses	43+900.00	44+000.00	44+100.00	44+200.00	44+300.00	44+400.00	44+500.00	44+600.00	44+700.00	44+800.00	44+900.00	44+1000.00	45+100.00	45+200.00	45+300.00	45+400.00	45+500.00	45+600.00				
Distances partielles		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00				
Axe en plan	CLOTHOIDE A = 632.46 L = 100.00 m										ARC R = 4000.00 m L = 995.80 m				CLOTHOIDE A = 632.46 L = 100.00 m				DROITE L = 871.12 m			
Pentes et rampes											RAMPE L = 3022.36 m P = 0.23 %											

Profil : Axe en Plan

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils		P170	P171	P172	P173	P174	P175	P176	P177	P178	P179	P180	P181	P182	P183	P184	P185	P186	P187		
Altitudes TN		109.57	110.87	112.17	113.47	114.77	116.07	117.37	118.67	119.97	121.27	122.57	123.87	125.17	126.47	127.77	129.07	130.37	131.67		
Altitudes Projet		109.57	110.87	112.17	113.47	114.77	116.07	117.37	118.67	119.97	121.27	122.57	123.87	125.17	126.47	127.77	129.07	130.37	131.67		
Ecart Proj - TN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Abcisses		46+900.00	46+1000.00	47+1000.00	47+2000.00	47+3000.00	47+4000.00	47+5000.00	47+6000.00	47+7000.00	47+8000.00	47+819.76	47+9000.00	48+0000.00	48+1000.00	48+123.37	48+2000.00	48+3000.00	48+4000.00	48+5000.00	48+6000.00
Distances partielles	48.07	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	19.76	80.24	100.00	100.00	23.37	76.63	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Axe en plan																					
Pentes et rampes																					



Profil : Axe en Plan

Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/100

PC : 76.00 m

Numéro de profils	P186	P187	P188	P189	P190	P191	P192	P193	P194	P195	P196	P197	P198	P199	P200	P201	P202	P203																																
Altitudes TN	114.33	112.59	110.85	109.12	107.38	105.65	103.91	102.17	100.44	98.70	96.96	95.22	93.48	91.74	90.00	88.26	86.52	84.78																																
Altitudes Projet	114.33	112.59	110.85	109.12	107.38	105.65	103.91	102.17	100.44	98.70	96.96	95.22	93.48	91.74	90.00	88.26	86.52	84.78																																
Ecart Proj - TN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																																
Abcisses	48+500.00	48+600.00	48+700.00	48+800.00	48+900.00	49+000.00	49+100.00	49+200.00	49+300.00	49+400.00	49+450.74	49+500.00	49+600.00	49+700.00	49+800.00	49+875.33	49+900.00	50+000.00	50+100.00	50+145.96																														
Distances partielles		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	50.74	49.26	100.00	100.00	100.00	75.33	24.67	100.00	100.00	45.96																														
Axe en plan	CLOTHOIDE A = -382.49 L = 121.92 m										DROITE L = 914.29 m										CLOTHOIDE A = -519.82 L = 100.00 m										CLOTHOIDE A = 519.62 L = 100.00 m										DROITE L = 343.02 m									
Pentes et rampes	PENTE L = 1327.37 m P = -1.74 %										RP = 12000.00 L = 424.58										RAMPE L = 270.64 m P = 1.80 %																													



Chapitre IX :
Profil en travers et calcul des
cubatures

IX.1 Introduction

Le profil en travers est la coupe transversale sont élaborés en suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée. Le tracé comprend plusieurs profils en travers correspondent aux différentes zones transversales et aux terrassement effectués. Ainsi, un profil en travers type est établi pour nous fournir des informations sur les éléments de la superstructure et l'infrastructure, les valeurs des pentes des talus, le système d'assainissement ainsi que les éventuels dispositifs de protection de la voie.

On distingue deux types des profils :

IX.2 Profil en travers courant

Il s'applique au point kilométrique (pk) indiqué et il fournit toutes les données caractérisant la section transversale de la voie. Ces données comprennent notamment les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, les éléments de la superstructure...) ainsi les dévers de la plate-forme qui sont utilisés pour calculer les cubatures.

IX.3 Profil en travers type

Est une représentation graphique utilisée dans les projets pour présenter de manière précise toutes les éléments constituant la voie. Il inclut les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise et ses composantes et les épaisseurs correspondants.

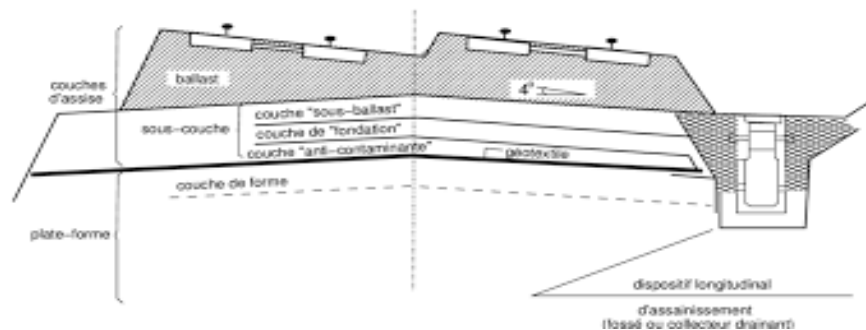


Figure IX-1: Profil en travers.

IX.4 Constituants du profil en travers type

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

❖ **Éléments de superstructure :**

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies).

- Le type de traverse utilisé. - Poteaux caténaux et caniveaux à câbles (pour les voies électrifiées). - La valeur de devers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La longueur de repoussées de ballast.
- ❖ **Eléments de l'infrastructure**
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.
- Les épaisseurs et les nominations de chaque couche.
- ❖ **Eléments du talus (remblai ou déblai)**
- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuelle telle que les murs de soutènement.
- ❖ **Eléments d'assainissement**
- Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinale).
- ❖ **Eléments de protection de la voie**
- Butée en terre en cas d'ensablement.
- Ecrans de protections contre les chutes de pierres.

IX.5 Elément du profil en travers

- Emprise : c'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limités par le domaine public.
- Assiette : c'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- Plate-forme : surface du terrain qui comprend la voie et les accotements.
- La voie : c'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- La berme : c'est la partie qui contient la piste permet l'installation des poteaux de signalisation ou caténaux, et ça largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement de ces équipements.
- 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.

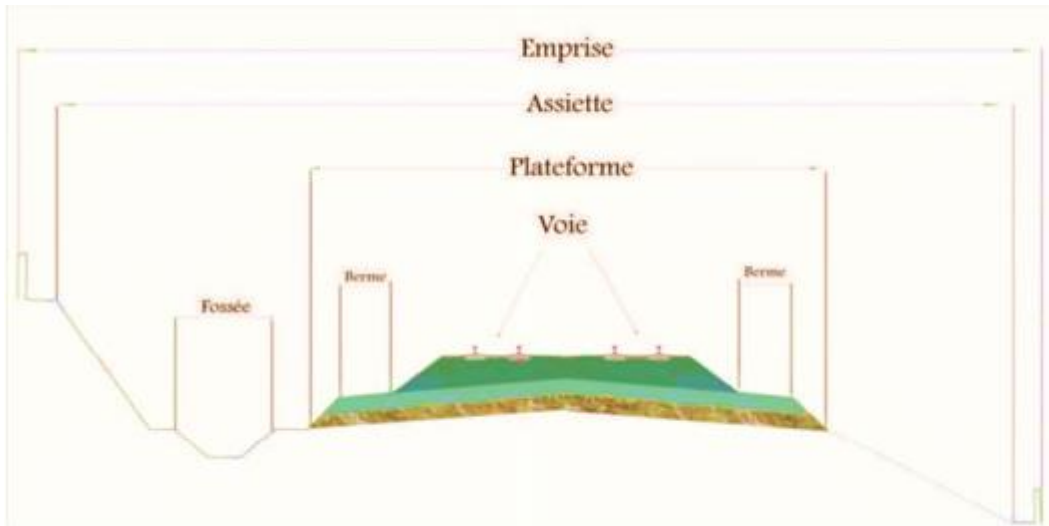


Figure IX-2: Constituants d'un profil en travers.

IX.6 Profils en travers affectés au projet

Pour notre projet on caractérise nos profils en travers comme suit :

- Type de ligne : Voie s double électrifiée.
- Type de rail UIC 54.
- Écartement de la voie : 1,435 m.
- Largeur de la plateforme : 13,60 m (plateforme pour voie double).
- Pente latérale de la plateforme : 5%, pour permettre un meilleur drainage de la plateforme.
- Épaisseur de ballast : 30 cm.
- Épaisseur de sous ballast : 30 cm.
- Épaisseur de couche de forme : 50 cm.
- Distance axe voie - axe caténaire : 3,25 m.
- Pente latérale de la berme : 4%.
- Entraxe : 4.2m.
- Pente (déblai : 3H /2V et remblai : 3H / 2V).
- Fossé trapézoïdales (b= 0.5 m ; h= 0.55 m ; e= 0.5 m).

IX.7 Calcul de cubatures

Les cubatures de terrassement sont définies en fonction du nombre de cubes de déblai et remblai nécessaires pour réaliser le projet, afin d'obtenir une surface uniforme qui se rapproche sensiblement de l'axe de projet.

Les éléments permettant le calcul des cubatures sont les suivants :

- Les surfaces de remblai ou de déblai obtenues à partir du profil en travers.
- Les distances entre les profils en travers indiqués sur le profil en long.

IX.7.1 Méthode de calcul

Il existe plusieurs méthodes de calcul par mes aux :

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

Pour notre projet on a choisi la méthode de la moyenne aires.

✓ Description de la méthode

On calcule séparément les volumes des tronçons compris entre deux profils en travers successifs en utilisant la formule suivante :

$$V = \frac{L}{6} (S1 + S2 + 4 \times Smoy).$$

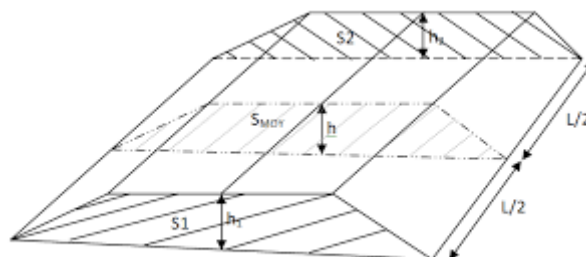


Figure IX-3: Sections d'un profil en travers.

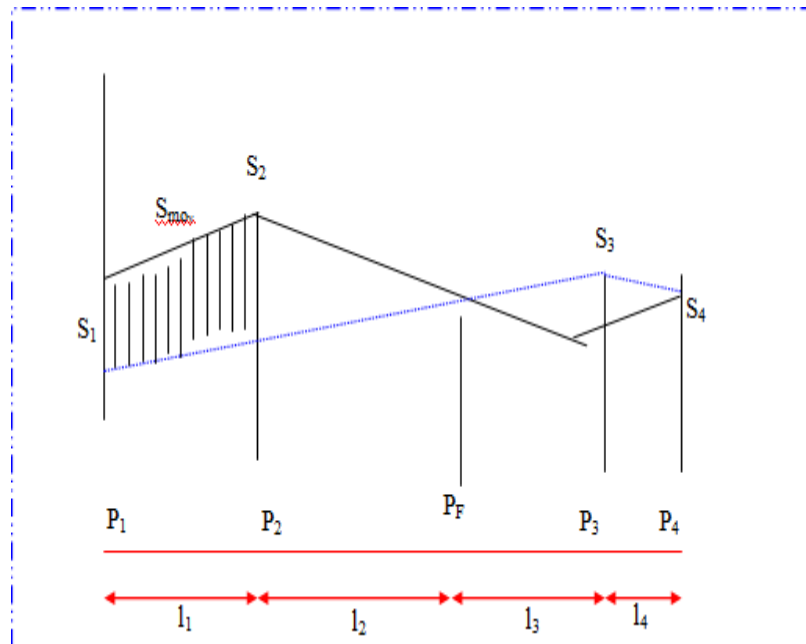


Figure IX-4: Positions des sections d'un profil en travers.

Avec :

L: distance entre deux plans de travers.

S1: Surface du profil en travers P1.

S2: Surface du profil en travers P2.

S moy: Surface de la section menée à mi-distance des bases S1 et S2.

Pour éviter les calculs très longs, on a simplifié cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions S_{moy} et $\frac{S_1+S_2}{2}$ ceci donne la formule suivante :

$$V_i = \frac{L_i}{2} \times (S_i + S_{i+n}).$$

Donc les volumes des sections seront :

Entre P1 et P2

$$V_1 = \frac{L_1}{2} \times (S_1 + S_2).$$

Entre P1 et PF

$$V_2 = \frac{L_2}{2} \times (S_2 + 0).$$

Entre PF et P3

$$V_3 = \frac{L_3}{2} \times (0 + S_3).$$

Entre P3 et P4

$$V1 = \frac{L^4}{2} \times (S3 + S4).$$

Le volume total

$$V_t = V1 + V2 + V3 + V4.$$

Remarque : Aucune de ces méthodes donnent de résultats exactes, donc pour notre projet ont choisi de calculer les cubatures avec le logiciel COVADIS.

IX.7.2 Résultats de calcul avec le logiciel

Tableau IX-1: Résultats de calcul des cubatures.

Terrassement	Volume (m ³)
Remblais	365 770.00
Déblais	2278 611.29

IX.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une manière détaillée les différents éléments du profil en travers, en mettant en évidence les caractéristiques de l'infrastructure ferroviaire.

Par ailleurs, nous avons effectué une analyse approfondie pour déterminer les volumes des terrassement requis.

Chapitre X: Ouvrages d'arts

X.1 Introduction

Les ouvrages d'art ont pour dessein de faciliter le franchissement de divers obstacles tels que les oueds, les rivières et autres. Leur but est également d'élaborer un tracé optimal qui répond aux exigences techniques et économiques, tout en garantissant des conditions de circulation sûres et confortables.

X.2 Types des ouvrages d'arts

- ❖ Ponts rail.
- ❖ Ponts routiers.
- ❖ Passage inférieur (pont cadre).
- ❖ Les ouvrages hydrauliques (buse, dalot).
- ❖ Tunnel ferroviaire.

X.3 Critères de choix d'un ouvrage d'art

Dans tous les cas, le choix de type d'ouvrage dépend des contraintes imposées, ces critères sont :

- Les données naturelles : écoulement des eaux nature du sol, ... etc.
- Les données économiques.
- Le trafic.
- Les données géotechniques.
- L'adaptation architecturale à la région : La conception d'un ouvrage doit s'inspirer des cadres naturels qui l'entoure et doit répondre à une certaine harmonie avec le paysage.

X.3.1 Normes et références

Les documents de référence utilisés pour la conception des ouvrages d'art sont :

- EN 1990, Eurocode 0 : Bases de calcul des structures.
- EN 1991, Eurocode 1 : Actions sur les structures.
- EN 1992, Eurocode 2 : Calcul des structures en béton.
- EN 1993, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier.
- EN 1994, Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton.
- EN 1997, Eurocode 7 : Calcul géotechnique.
- Norme UNIT - EN1337 : Appuis Structurels.

- Règles Parasismiques applicables aux domaines des Ouvrages d'Art RPOA 2008.

Référentiel Technique SNTF. Chapitre 7.2.4 Ouvrages D'art (2005).

X.3.2 Caractéristiques des matériaux

Ci-dessous se montre des tableaux avec les principales caractéristiques des matériaux employés :

❖ Viaduc / Pont Rail

Tableau X-1: Matériaux principaux de construction des viaducs et les ponts en rail.

	Éléments	Définition	Enrobage	Rapport eau-ciment	Ciment dosage kg/m ³
BÉTON	Propreté	C 16/20	-	-	-
	Pieux	C 30/37-XC2-Dmax25-S3	70 mm	<0.50	320
	Semelle	C 30/37-XC2-Dmax25-S3	50 mm	<0.50	320
	Pilier	C 30/37-XC4-Dmax25-S3	35 mm	<0.50	320
	Culée	C 30/37-XC4-Dmax25-S3	35 mm	<0.50	320
	Tablier	C 40/50-XC4-Dmax25-S3	35 mm	<0.45	385
ACIER	Acier pour béton armé	B 500 SD	-	-	-
	Acier de précontrainte	Y 1860 S7	-	-	-

❖ Passages supérieurs

Tableau X-2: Matériaux principaux de construction des passages supérieurs.

BÉTON	Éléments	Définition	Enrobage	Rapport eau-ciment	Ciment dosage kg/m ³
	Propreté	C 16/20	-	-	-

	Pieux	C 30/37-XC2- Dmax25-S3	70 mm	<0.50	320
	Semelle	C 30/37-XC2- Dmax25-S3	50 mm	<0.50	320
	Pilier	C 30/37-XC4- Dmax25-S3	35 mm	<0.50	320
	Culée	C 30/37-XC4- Dmax25-S3	35 mm	<0.50	320
	Tablier	C 40/50-XC4- Dmax25-S3	35 mm	<0.45	385
ACIER	Acier pour béton armé	B 500 SD	-	-	-
			-	-	-

❖ Passages inférieurs

Tableau X-3: Matériaux de construction de passage inférieur.

	Éléments	Définition	Enrobage	Rapport eau-ciment	Ciment dosage kg/m ³
BÉTON	Propreté	C 16/20	-	-	-
	Cadre	C 30/37-XC4- Dmax25-S3	35 mm	<0.50	320
	Murs en aile	C 25/30-XC4- Dmax25-S3	35 mm	<0.50	320
ACIER	Acier pour béton armé	B 500 SD	-	-	-
			-	-	-

❖ Passerelle

Tableau X-4: Matériaux de construction des passerelles.

	Éléments	Définition	Enrobage	Rapport eau-ciment	Ciment dosage kg/m ³
BÉTON	Proprete	C 16/20	-	-	-
	Pieux	C 30/37–XC2– Dmax25-S3	70 mm	< 0.50	320
	Semelle	C 30/37–XC4– Dmax25-S3	50 mm	< 0.50	320
	Pilier	C 30/37–XC4– Dmax25-S3	35 mm	< 0.50	320
	Culée	C 30/37–XC4– Dmax25-S3	35 mm	< 0.50	320
	Tablier	C 30/37–XC4– Dmax25-S3	35 mm	< 0.50	385
ACIER	Acier pour béton armé	B 500 SD	-	-	-
	Acier en plaques	S 355 M	-	-	-
	Acier en profils	S 275	-	-	-

X.4 Croisement avec une route

Le croisement avec une route est souvent rencontré lors de réalisation d'une voie ferrée. Généralement, le choix type de croisement doit prendre en considération la nature et le débit ainsi que la vitesse de base.

- **Passage supérieur** : ce type de croisement est utiliser dans les lignes à grand vitesse ($V \geq 100 \text{ km/h}$), et les condition naturel et topographique de la zone ne le permet pas.



Figure X-1: Passage supérieur d'une voie ferrée.

- **Passage inférieur** : cette solution est rarement envisagée, lorsque la topographie l'exige est le niveau de roulement des trains est élevé.



Figure X-2: Passage inférieur d'une voie ferrée.

- **Passage à niveau** : pour les routes à faible débit.



Figure X-3: Passage à niveau d'une voie ferrée.

X.5 Définition et catégorie des ponts

Les ponts sont des ouvrages par lequel une voie de circulation franchit un obstacle naturel ou artificiel.

- ❖ Une voie routière (pont-route).
- ❖ Piétonne (passerelle).
- ❖ Ferroviaire (pont-rail).

X.5.1 Les ouvrages d'arts de notre tracé

❖ Viaducs

Tableau X-5: les viaduc de tracé et leurs caractéristiques.

P.K initial	P.K final	Nom	P.K.	Longue ur	Schema des portées
36+1	36+	VIADUC OUED	36+	110	10+6 ×
40	250	IGHZER AMOKRANE	195		15+10
37+2	37+	VIADUC OUED	37+	300	30+6 ×
20	520	SOUMMAM	370		40+30
40+9	41+	VIADUC OUED	40+	140	30+2×
05	045	SOUMMAM	975		40+30
43+6	44+	VIADUC OUED	44+	980	30+23 ×
05	585	SOUMMAM	095		40+30
46+2	46+	VIADUC SIDI AICH	46+	180	30+3×
76	456		366		40+30
46+7	47+	VIADUC SIDI AYAD	47+	900	30+21×
92	692		242		40+30

❖ Passages supérieur

Tableau X-6: Passage supérieur de tracé et leurs caractéristiques.

P.K.	P.K. initial	P.K. final	Longueur	Schéma des portées
41+480	0+178,902	0+223,902	45,00 m	14+17+14
42+660	0+151,988	0+234,980	83,00 m	24+35+24

❖ Tunnels

Tableau X-7: Tunnels du tracé et leurs caractéristiques.

Tunnel	Pk initial	Pk final	Nom	Gabarit de l'ouvrage(m)
1	40+206	40+478	Takrietz	9
2	44+646,77	45+553,84	Sidi Aich	8

X.6 Quelques photos lors de réalisation des ouvrage d'art à Sidi Aich



Figure X-4: Travaux de viaduc 44+095 (forage des pieux).



Figure X-5: Travaux de tunnel Sidi Aich (portail entrée).

X.7 Conclusion

Les ouvrages d'arts constituent un élément essentiel dans le contexte d'une voie ferrée. Ils assurent la stabilité, la sécurité et la durabilité de l'infrastructure ferroviaire. Permettent ainsi un fonctionnement fluide et efficace du réseau, tout en contribuant à la beauté du paysage et l'héritage culturel.

Chapitre XI :
Signalisation ferroviaire

XI.1 Introduction

La signalisation ferroviaire est un système de communication visuel et auditif à base de signaux et de la marque conventionnelles utilisé pour guider les conducteurs de train de manière à éviter les collisions et autres incidents sur les voies ferrées et garantir la sécurité des passagers, des équipages de trains et des autres personnes impliquées dans le transport ferroviaire ainsi que pour assurer la régulation du trafic ferroviaire d'une façon entièrement sécurisée. Il existe différents types de signalisation ferroviaires, tel que la signalisation de blocs automatique, la signalisation de bloc manuels et la signalisation des cantons.

XI.2 Types de signalisation

Les lignes à double voie de la circulation des trains se faisant à gauche, les signaux implantés à demeure sont habituellement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent, ou dans la partie gauche au-dessus de cette voie.

Dans certains cas, notamment dans les entre-voies réduites, il peut être fait usage de signaux de type bas installés au ras du sol.

XI.2.1 Signalisation lumineuse

Ce type utilise des signaux lumineux pour indiquer aux conducteurs de trains les conditions de la voie. Les signaux lumineux peuvent être de différentes couleurs (rouge, vert, jaune) et de différentes formes (cercle, croix, triangle).

La signalisation lumineuse est aujourd'hui préférable à la signalisation mécanique car elle présente plusieurs avantages :

- Une meilleure visibilité jour comme la nuit.
- Maintenance facile.
- Une signalisation clignotante.



Figure XI-1: Signalisation lumineuse.

XI.2.2 Signalisation mécanique

Elle utilise des signaux mécaniques pour indiquer les conditions de la voie. Par exemple, un aiguillage peut être placé dans une certaine position pour indiquer aux conducteurs de trains quel chemin prendre.

A l'origine de la signalisation était réalisé à l'aide de signaux mécaniques :

- Le signal est réalisé au moyen d'une aile, d'une cocarde de couleur ou d'un tableau mécanique.
- La visibilité des cocardes est parfois difficile.
- Aussi permettre leur observation de nuit ou par mauvaise visibilité, ces signaux présentent généralement un ou plusieurs feux.
- La signalisation mécanique est simple et moins coûteuse et facile d'emploi.



Figure XI-2: Signalisation mécanique.

XI.2.3 Signalisation acoustique

Elle utilise des signaux sonores pour indiquer aux conducteurs de trains les conditions de la voie. Par exemple, un sifflet d'alarme peut être utilisé pour signaler un danger imminent.

XI.2.4 Signalisation combinés

Lorsque plusieurs signaux lumineux ou mécaniques sont groupés, ils sont généralement combinés : c'est-à-dire que leurs feux ne présentent, de nuit s'il s'agit de signaux tous mécaniques, ou de jour comme de nuit s'il s'agit de signaux lumineux groupés ou non avec des signaux mécaniques, que l'indication ou les indications les plus impératives à observer par le conducteur.

XI.2.5 Signalisation électronique

Elle utilise des systèmes électroniques avancés pour surveiller les mouvements des trains et transmettre des signaux aux conducteurs.

XI.2.6 Signalisation de sécurité

Elle utilise des technologies avancées telles que les capteurs et les caméras pour surveiller les trains et détecter les obstacles ou d'autres dangers potentiels sur les rails.

XI.2.7 Signalisation radio

Elle utilise des systèmes de communication sans fil, pour transmettre des informations entre les différents acteurs du système ferroviaire, notamment les conducteurs de trains, les opérateurs de signalisation et les opérateurs de centre de contrôle. La signalisation ferroviaire ne se limite pas à ces types de signalisation et peut inclure d'autres types de dispositifs en fonction des besoins spécifiques d'une ligne de chemin de fer donnée.

XI.3 Rôle des installations de signalisation

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

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

Les solutions correspondantes mettent en œuvre des dispositifs mécaniques et électriques. Complétés et régis par des prescriptions réglementaires.

Les progrès constants des installations de signalisation ne diminuent pas l'importance de la réglementation, par exemple :

L'obéissance par les mécaniciens aux indications fournies par les signaux est presque uniquement une affaire de réglementation, en cas de dérangement ou de manœuvre exceptionnelle, la sécurité peut ne reposer que sur le respect des règlements.

XI.4 Signal de voie libre (VL)

À l'absence de toute signalisation restrictive un panneau présente un feu vert de voie libre. Le feu vert indique au mécanicien que la circulation en marche normale est autorisée, si rien ne s'y oppose.



XI.5 Fonctions des signaux

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.
- Signaux de ralentissement et de rappel de ralentissement.

XI.5.1 Signalisation d'arrêt

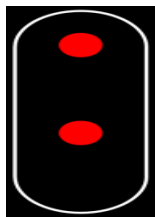
La signalisation d'arrêt peut prendre différentes formes en fonction des pays et des normes en vigueur. Cependant, elle a toujours pour fonction d'indiquer aux conducteurs de train qu'ils doivent arrêter leur train.

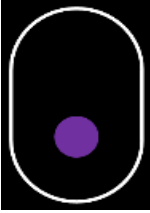
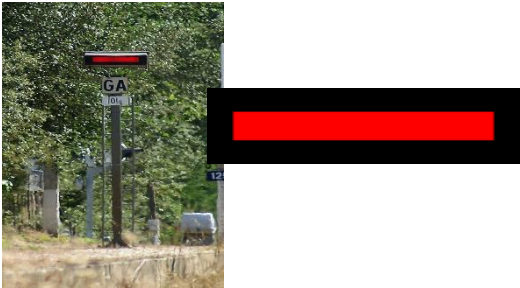

En général, la signalisation d'arrêt est composée d'une forme rouge et d'une forme blanche. La forme rouge est le symbole universel de l'arrêt et est souvent utilisée seule pour indiquer une interdiction de passer. La forme blanche, quant à elle, peut être utilisée pour indiquer d'autres informations complémentaires, comme par exemple un numéro de signal ou la direction à suivre.



A cet effet, les signaux d'arrêt suivants sont utilisés :


- Carré ou carré violet.
- Guidon d'arrêt.
- Sémaphore.
- Feu rouge clignotant (signal assimilé à un signal d'arrêt).
- Disque.
- Le sémaphore.
- Signal d'arrêt à main.

Tableau XI-1: Signaux d'arrêt.

Signal (nom et image)	Description
<p>Carré et carré violet</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Le carré fermé présente deux feux rouges sur une ligne verticale ou horizontale. Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Utilisé sur les voies principales (1), sa fonction essentielle est d'assurer la protection des circulations dans les zones comportant des appareils de voie.

	<ul style="list-style-type: none"> Le carré violet fermé présente un feu violet. Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est utilisé : <ul style="list-style-type: none"> sur voies de service, sur voies principales à l'origine d'itinéraires de refoulement. Dans ce dernier cas des panneaux de type bas sont généralement utilisés.
<p>Guidon d'arrêt</p> 	<p>C'est une bande lumineuse rouge horizontale. Il commande au mécanicien (conducteur) l'arrêt avant le signal, et ne doit être habituellement rencontré que par des mouvements circulant en marche à vue ou en marche en manœuvre.</p> <p>Il sert notamment à la protection :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des passages à niveau (PN) voisins d'établissement, pendant les opérations de manœuvre. Des circulations de manœuvre dans certaines petites gares sur les lignes exploitées en block manuel (cantonement téléphonique ou block par appareils).
<p>Feu rouge Clignotant</p> 	<p>Le feu rouge clignotant est franchissable sans arrêt à la vitesse maximale de 15 km/h. Il commande au mécanicien de circuler en marche à vue. Il peut être utilisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> Sur les lignes équipées du block automatique lumineux (BAL), notamment :

	<ul style="list-style-type: none"> • Sur les parties de voie en rampe prononcée où des difficultés de démarrage seraient à craindre. • Dans les emprises de certaines gares de banlieue pour éviter l'arrêt à quai des trains ne desservant pas ces dernières. • sur toutes les lignes : <ul style="list-style-type: none"> • Pour la réception sur voie occupée (mise en tête d'un engin moteur, soudure de deux trains, ...). • Pour l'accès à une voie principale en impasse très courte. • Pour l'annonce d'un signal d'arrêt implanté à moins de 500 m en aval.
<p>Le sémaphore (S)</p> 	<p>Affecté essentiellement à la fonction d'espacement des circulations sur les lignes à double voie et d'espacement et de protection du nez à nez sur certaines lignes à voie unique.</p> <p>Le sémaphore est implanté à l'origine du canton qu'il protège.</p> <p>Dans les gares, il doit en principe exister un sémaphore au voisinage de chacun des points normaux de départ des trains.</p>
<p>Disque</p> 	<p>Le disque fermé présente un feu rouge et un feu jaune sur une ligne horizontale. Il commande l'arrêt différé après marche à vue. Il n'est généralement utilisé que sur les lignes à block manuel pour la protection des petites gares, des établissements de pleine ligne desservis au passage.</p>

	<p>La protection par disque, mal adaptée aux vitesses élevées, ne doit pas être habituellement utilisée sur les lignes où la vitesse excède 140 km/h.</p> <p>Le disque est implanté à distance d'arrêt du premier point à protéger.</p>
<p>Signal d'arrêt à main</p> 	<p>Le signal d'arrêt à main commande l'arrêt. Il peut être utilisé pour repérer un point qu'un mécanicien ne doit pas dépasser lorsqu'il circule en marche à vue ou en marche en manœuvre (interception de voie, obstacle inopiné, ...).</p> <p>En voie unique le signal d'arrêt à main, placé au point habituel d'arrêt du train en gare, peut être annoncé par un avertissement.</p> <p>Le signal d'arrêt à main est normalement présenté à gauche de la voie ou dans la voie à laquelle il s'adresse.</p>

XI.5.1.1 Signalisation d'annonce d'arrêt

Afin que les mécaniciens soient en mesure de se conformer à leurs indications, certains signaux d'arrêt sont normalement annoncés.





On utilise habituellement à cet effet :

- ❖ L'avertissement.
- ❖ Le feu jaune clignotant.
- ❖ Le feu vert clignotant.

D'autre part, l'accès à une voie principale à quai courte ou partiellement occupée peut-être annoncé par une bande lumineuse jaune horizontale en complément de l'avertissement.

Tableau XI-2: Signaux d'annonce d'arrêt.

Signal (nome et image)	Description
L'avertissement (A)	L'avertissement fermé présente un feu jaune. Il commande au mécanicien d'être en

	<p>mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêt (ou assimilés) annoncés.</p>
<p>Le feu jaune clignotant ((A))</p> 	<p>Lorsque l'avertissement ne peut être implanté à la distance d'arrêt du signal annoncé, il est précédé du feu jaune clignotant.</p> <p>Le feu jaune clignotant commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal d'arrêt annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant, cette distance pouvant n'être que de 500 m (1).</p> <p>(1) Lorsque la distance est inférieure à 500 m, l'avertissement est remplacé par un feu rouge clignotant.</p>
<p>Le feu vert clignotant ((VL))</p> 	<p>Feu vert clignotant(VL)</p> <p>(VL) est équivalent au feu vert fixe pour les trains dont la vitesse ne dépasse pas 160 Km. Ce signal n'est implanté que sur les lignes dont la vitesse plafond est supérieure à 160 Km/h (lignes à 200 Km/h).</p>
<p>La bande lumineuse jaune horizontale (BJ)</p> 	<p>En complément de l'avertissement, la bande jaune peut être utilisée pour indiquer au mécanicien qu'il va entrer sur voie principale à quai courte ou raccourcie (occupation partielle ou fermeture d'un signal d'arrêt intermédiaire); la vitesse maximum d'entrée sur cette voie ne peut être supérieure à 40 km/h.</p> <p>La bande jaune est groupée avec le panneau portant le carré donnant accès à la voie courte ou raccourcie.</p>

XI.5.2 Signalisation de limitation de vitesse

Au franchissement de certaines aiguilles, ou à la traversée de certaines zones situées dans les limites des gares ou en pleine voie, la vitesse des trains doit être limitée à un taux déterminé qui peut être le même pour tous les trains ou au contraire différent selon leur nature ou leur catégorie.

On distingue à ce sujet :

- Les limitations permanentes de vitesse.
- Les limitations temporaires de vitesse, qui peuvent être prévues, lorsqu'elles résultent de travaux organisés à l'avance, ou inopinées, lorsqu'elles résultent de causes accidentelles (y compris les modifications imprévues dans le déroulement de travaux programmés).

Les limitations permanentes de vitesse sont :





- Ou bien mentionnées au L.M.Tr.
- Ou bien signalisées sur le terrain.
- Soit au moyen de signaux de ralentissement et de rappel de ralentissement à 30 ou 60 kilomètres à l'heure, désignés respectivement ralentissement 30 (ou 60) et rappel 30 (ou 60).
- Soit au moyen de tableaux indicateurs de vitesse limite, désignés en abrégé « T.I.V. ».

Les limitations temporaires de vitesse sont signalisées sur le terrain à l'aide de signaux de chantier dont la mise en service est portée à la connaissance des conducteurs dans les conditions indiquées par l'IN 1497 - Règlement S 1 D. Dans le cas particulier d'une limitation inopinée de vitesse, les mesures à prendre en attendant la réalisation d'une telle signalisation de chantier font l'objet de l'IN 1511 Règlement S 2 B.

Si un conducteur n'a pu reconnaître avec certitude l'indication donnée par un T.I.V. à distance, il doit se mettre aussitôt que possible en marche à vue et ne reprendre sa marche normale, si rien ne s'y oppose, qu'après avoir parcouru, à partir de ce T.I.V. à distance, une distance au moins égale à la distance réglementaire de couverture des obstacles sur la section de ligne considérée.

Tableau XI-3: Signaux de limitation de vitesse.

Signal	Description
--------	-------------

	<p>TIV fixe à distance indiquant la vitesse à respecter.</p>
	<p>pancarte Z signal d'exécution indiquant le début de la zone à parcourir à vitesse limitée.</p>
	<p>Pancarte R signal de reprise indiquant la fin de la zone à parcourir à vitesse limitée.</p>
	<p>Ce tableau annonce un TIV pour les lignes équipées de préannonce KVB. Il concerne les trains dont la vitesse autorisée est supérieure à 160 km/h et impose un ralentissement de l'allure à 160 km/h. Il peut être fixé ou mobile, dans ce dernier cas lorsqu'il est ouvert il présente</p> <p style="padding-left: 40px;">trois tirets verticales blanc alignés de manière verticale.</p>

XI.5.3 Signaux de ralentissement et de rappel de ralentissement

XI.5.3.1 Ralentissement 30 et rappel 30

Les aiguilles en pointe qui ne peuvent être franchies en déviation qu'à la vitesse maximale de 30 kilomètres à l'heure sont normalement précédées des deux signaux suivants :

- un ralentissement 30, à distance.
- un rappel 30, toujours groupé et combiné avec le carré qui précède l'aiguille.

Si cela est nécessaire, l'emplacement de l'aiguille (ou de la première aiguille dans le cas d'aiguilles successives) est repéré par un chevron pointe en bas, non éclairé la nuit.

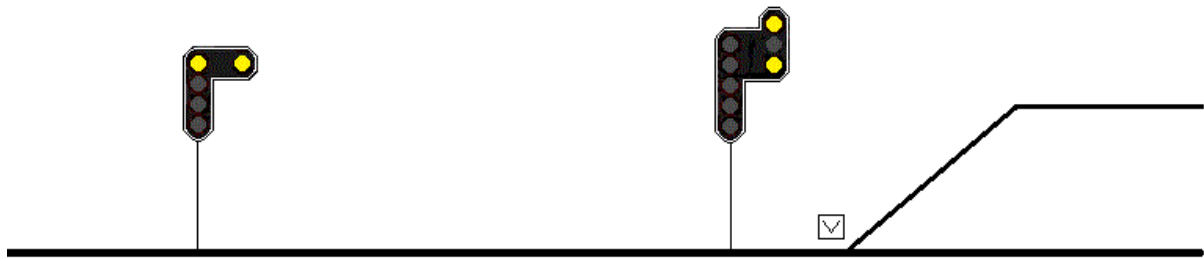


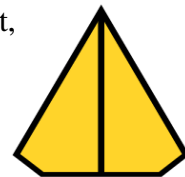
Figure XI-3: Ralentissement 30 et rappel 30.

Le ralentissement 30 fermé présente :

En signalisation lumineuse, deux feux jaunes sur une ligne horizontale ;
présentant deux feux jaunes sur une ligne horizontale, à distance de
ralentissement de la pointe du premier aiguillage pris en pointe.



En signalisation mécanique, une cocarde jaune, triangulaire, pointe en haut,
associée, pour observation de nuit, à deux feux jaunes sur une ligne
horizontale.



Le rappel 30 fermé présente en signalisation lumineuse, deux feux jaunes
sur une ligne verticale.



En signalisation mécanique, une cocarde jaune, triangulaire, pointe en
bas, associée, pour observation de nuit, pour observation de nuit, à
deux feux jaunes sur une ligne verticale.



XI.5.3.2 Ralentissement 60 et rappel 60

Les signaux de Ralentissement à 60 km/h en signalisation lumineuse
caractérisés par le clignotement simultané des feux utilisés en signalisation
lumineuse pour constituer respectivement le ralentissement.



Ralentissement à 60 km/h en signalisation mécanique.



Rappel 60 qui précède l'aiguille Utilisés exclusivement en signalisation lumineuse, les signaux de rappel 60 sont caractérisés par le clignotement simultané des feux utilisés en signalisation lumineuse pour constituer respectivement le rappel 60.



Rappel 60 mécanique.



XI.5.4 Signaux divers

- Des signaux d'indicateurs de direction :

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



- Des signaux de départ de trains :

L'autorisation de départ peut être donnée au conducteur au moyen d'un signal lumineux de départ ou sous la forme manuelle, le signal à main ou sous forme d'une plaque :

- Des signaux propres aux manœuvres.
- Des signaux de sortie des certaines faisceaux ou groupes de voies convergentes telle que :
 - Chevron pointe en haut.
 - Tableau lumineux de correspondance pour voies convergentes.
 - Tableau lumineux indicateur de provenance.
- Des pancartes et des tableaux à inscriptions diverses.

Des pancartes fixes, non éclairées la nuit mais pouvant être réflectorisées, et des tableaux fixes ou mobiles, lumineux, réflectorisés ou mécaniques, portant une inscription en

langage clair ou en abrégé, ou bien un symbole conventionnel, sont employés pour donner certaines indications aux conducteurs ; lorsqu'ils sont mobiles, les tableaux ne donnent pas d'indication particulière en position d'ouverture.

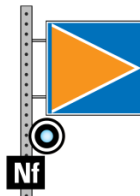
XI.5.5 Signalisation de cabine

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.

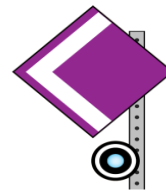
La signalisation de cabine peut être complétée par une signalisation au sol dans certains cas pour repérer les points à ne pas dépasser comme, par exemple :



Repère d'arrêt ETCS.
la TVM.



Repère Nf de la TVM.



Jalon de manœuvre de

Donner des ordres de traction électrique, des informations aux points d'entrée et de sortie du domaine de signalisation de cabine, etc.

Des pancartes ou tableaux indiquent ces ordres et informations.

Ces repères, pancartes ou tableaux sont implantés à gauche de la voie sur les plateformes à une seule voie côté piste, à l'extérieur sur les plateformes à deux voies.

Dans le cas de plan de voie plus complexe, les pancartes ou tableaux sont fléchés.

XI.6 Implantation des signaux

L'implantation des signaux couvre 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).

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.



Figure XI-4: Signal 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.



Figure XI-5: Signaux sur potence.

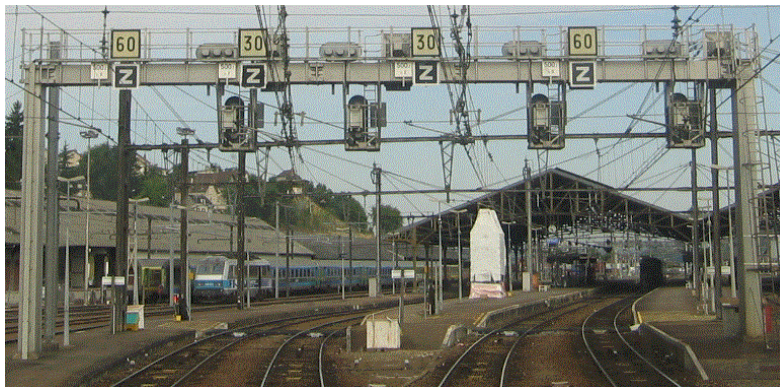


Figure XI-6: Signaux sur portique.

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.



Figure XI-7: Signal de type bas.

XI.7 Visibilité des signaux

Il existe deux conditions principales touchant la visibilité des signaux.

XI.7.1 Visibilité des signaux hauts

Implantés à 2.42 m de l'axe de la voie, à droite ou à gauche et à une hauteur comprise entre 2.8 m et 6.3 m au-dessus du plan de roulement doivent être Visibles à une distance supérieure ou à 10 m du plan de front des tampons.

XI.7.2 Visibilité des signaux bas

Les signaux bas implantés à 1.75 m de l'axe de la voie à droite ou à gauche et à 0.240 au-dessus du plan de roulement doivent rester continus-éléments visibles.

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

XI.7.3 Visibilité normale d'un signal

La visibilité d'un signal est dite "normale" lorsque les indications peuvent être vues de jour et par temps clair, depuis le poste de conduite d'un engin moteur à cabine frontale, sur une distance minimale de :

- 100 mètres sur les voies où la vitesse ne dépasse pas 60 km/h.
- 200 mètres sur les voies où la vitesse est supérieure à 60 sans dépasser 120 km/h.
- 300 mètres sur les voies où la vitesse est supérieure à 120 km/h.

La visibilité est dite "continue" lorsque sur la distance considérée, elle n'est interrompue par aucune éclipse (supports caténaires...) ni par aucun masque éventuel (train croiseur...). Si les deux conditions ci-dessus ne sont pas réalisées, le signal est considéré comme ayant une visibilité réduite.

Dans ce cas son approche doit être signalée. On utilise à cet effet des "mirlitons".

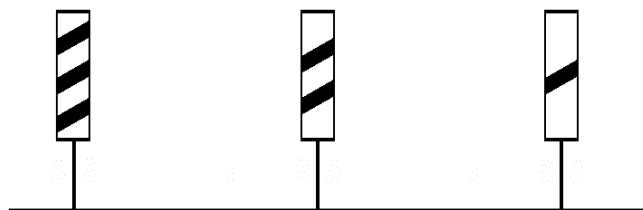


Figure XI-8: Les mirlitons.

XI.8 Application au projet

Le système de signalisation sur notre tracé est le système ERTMS, constitué de plusieurs éléments qui doit atteindre la réglementation ANESRIF et devront être bien protégé face au agressions naturel

Ces éléments de système sont les suivant :

- Enclenchements électroniques.
- Postes de commande locaux
- Cantonnement.
- Compteurs d'essieux
- Éléments de terrain (armoires, boîtiers de terminaux, signaux, appareils de voie, etc.)
- Câbles et installations câblées.
- Enregistreurs juridiques à chaque enclenchement.
- Systèmes d'aide à la maintenance des enclenchements (SAM).

XI.8.1 Signaux à prendre en considération

Tous les signaux de manœuvre et d'espacement sont de type lumineux, de la SNCF.

Ces signaux sont conformes à leurs schémas de situation et présentent les aspects prévus par le règlement général de sécurité et l'avis général de sécurité de la SNTF.

Les cibles utilisées sont les suivantes :

- Cible type 1 ou type C pour les signaux principaux.
- Cibles type 3 ou type H pour les signaux principaux.
- Cible type 4 ou type R pour les signaux d'avertissement.
- Cible type K pour les carrés « violet » de type bas positionnés sur voies principales et à l'origine d'itinéraires de refoulement.

Quelques Spécification des cibles :

- Matériaux de fabrication : tôle d'acier
- Renforcement et dimensionnement : selon les forces participant dans la pratique
- Direction : localisable horizontalement et verticalement (selon le tracé)

XI.9 Conclusion

En résumé, la signalisation ferroviaire joue un rôle essentiel dans la sécurité du transport ferroviaire en assurant une circulation efficace et sécurisée des trains. Bien qu'il reste des défis à relever, les progrès technologiques continuent de favoriser l'efficacité et la sécurité du réseau ferroviaire.

Chapitre XII :

Aménagement de la gare

XII.1 Introduction

Une gare ferroviaire est un lieu où les trains effectuent des stationnements pour embarquer et débarquer des passagers et aussi chargement et déchargement des marchandises.

Les gares ferroviaires ont été créées pour faciliter les déplacements de personnes et de marchandises, en offrant un point de connexion entre les différents trains et les différents modes de transport. Les gares sont généralement situées dans les endroits stratégiques tel quel les centres-villes ou des zones urbaines importantes. Elles sont équipées d'infrastructures spécifiques telles que des quais, des guichets de vente de billets, des magasins, des restaurants et des hôtels pour accueillir les voyageurs. Les gares ferroviaires ont évolué au fil du temps pour s'adapter aux besoins de la société et des voyageurs, offrant désormais une gamme de services modernes pour améliorer leurs expériences de voyage.

XII.2 Types de gares

Il existe 3 types de gare selon l'utilité :

- Gares des voyageurs.
- Gares de triages.
- Gares des marchandises.

On présente ci-dessus les différents équipements d'une gare ferroviaire :

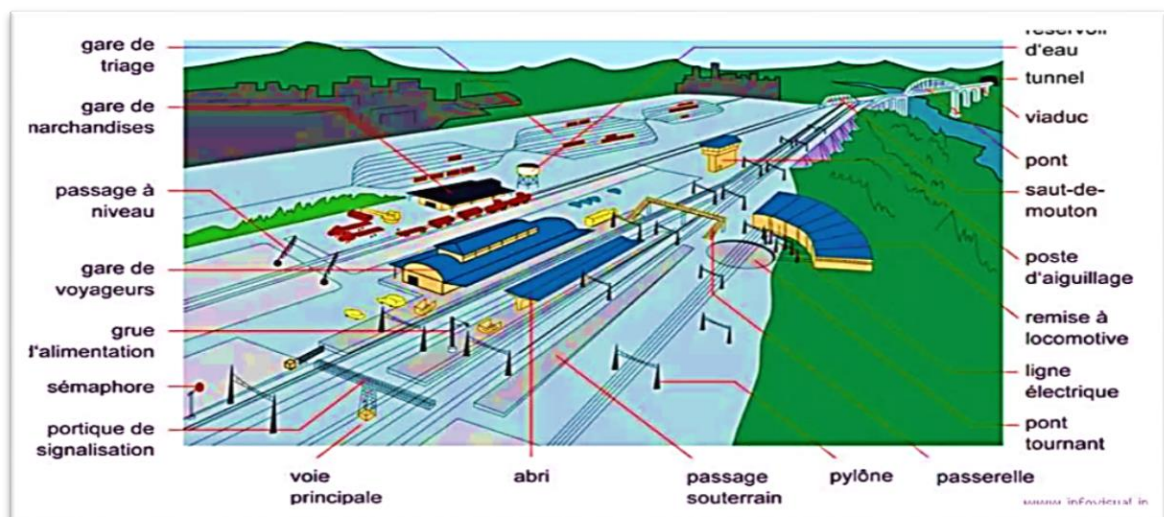


Figure XII-1: Différents équipements d'une gare ferroviaire.

XII.2.1 Gares des voyageurs

Les gares de voyageurs varient considérablement en taille. Les petites gares, qui servent simplement de points d'arrêt, ne disposent souvent pas de personnel permanent et sont appelées « haltes » ou « points d'arrêt ». Les grandes gares principales situées dans les grandes villes sont des centres d'échange entre les modes ferroviaires et les modes de transport urbain tels que les bus, les tramways et les métros. Elles voient passer chaque jour un grand nombre de personnes, comprenant à la fois des voyageurs et des clients qui fréquentent les nombreux commerces qui y sont souvent installés.

Les gares terminus : les bâtiments sont situés à l'extrémité des quais.

Les gares de passage : les bâtiments sont situés le long des voies ferrées.

XII.2.1.1 Installations d'une gare des voyageurs

Une gare ferroviaire typique est équipée de nombreux équipements permettant aux voyageurs de se déplacer efficacement et en toute sécurité. Voici quelques-unes des installations courantes d'une gare ferroviaire :

- ❖ **Bâtiment à voyageurs** : Le BV est l'élément central d'une gare à voyageurs, ce dernier est principalement destiné à l'accueil des voyageurs, il comporte des halls d'attente des guichets de billetterie et une partie administrative.
- ❖ **Abords** : Ils permettent de faciliter le passage du voyageur au transport ferroviaire depuis un autre mode et vice-versa. On y trouve donc :
 - Des parcs de stationnements pour les utilisateurs de voitures particulières.
 - Des gares routières ou arrêts de bus.
 - Des stations de taxis.
 - Des stations de tramway ou de métro dans les grandes villes.
 - Des parkings à vélos.
- ❖ **Quais et voies** : Les plateformes d'accès aux trains doivent présenter un état de surface plan et continu sur toute la longueur de la rame la plus longue appelée à y stationner. Dans les gares à voyageurs, les quais servent à l'embarquement ou au débarquement des voyageurs. Généralement, les gares possèdent au moins un quai et les plus grandes gares en ayant de nombreux. Un quai peut être central et donc bordé par deux voies ou bien latéral et ne comporte qu'une seule voie.
- ❖ **Bâtiments à usages divers (B.U.D)** : Les bâtiments à usage divers, également appelés B.U.D, sont des locaux de service désignés et exclusivement réservés aux employés des

chemins de fer. Parmi ces B.U.D., on peut citer les cabines de signalisation, les magasins, les magasins de coulis et les bureaux.

- ❖ **Installations pour handicapés** : Les gares peuvent disposer de rampes pour les fauteuils roulants, des ascenseurs pour les personnes à mobilité réduite et des places réservées pour les personnes handicapées à bord des trains.

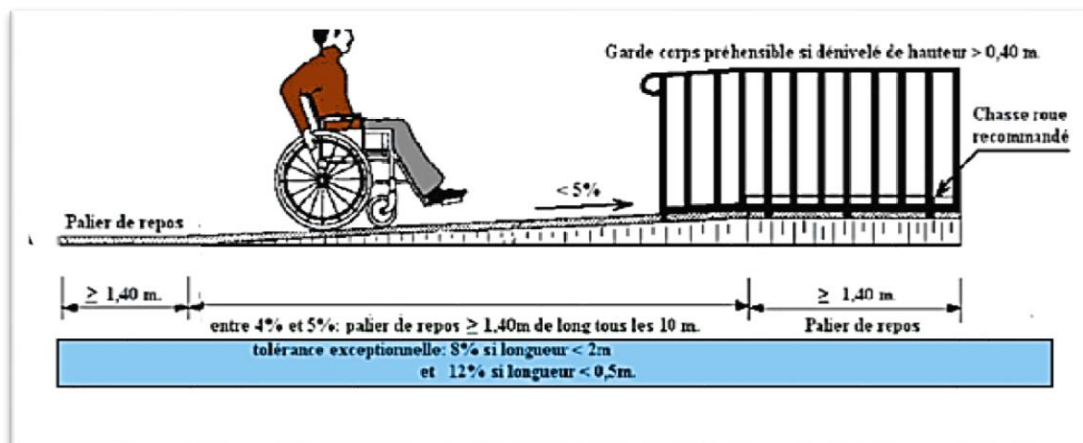


Figure XII-2: Rampe à respecter selon la SNCF.

- ❖ **Passages sous terrain** : Les passages souterrains se trouvent dans les grandes gares de voyageurs, en particulier celles des grandes villes. Ces passages sont conçus pour offrir aux voyageurs un moyen sûr et efficace de passer d'un quai à l'autre ou d'un mode de transport à l'autre.
- ❖ **Passerelle** : c'est un ouvrage d'art qui permet la communication entre deux quais ou franchir une voie ferrée.

XII.2.2 Gare de marchandises

La gare de marchandises ou gare de fret est une gare ferroviaire dédiée à la gestion du transport de marchandises. Elle ne dispose pas d'installations pour les voyageurs et ses bâtiments sont principalement administratifs.

Les grandes villes sont généralement les seules à posséder une gare de marchandises. Les marchandises sont transportées par train massif ou transport combiné.

Elles sont traitées par des embranchements particuliers ou via les installations portuaires. Les voies ferrées desservent directement les quais maritimes ou fluviaux.

XII.2.2.1 Installations des gares de marchandises

- ❖ **Quais de débord** : Les quais de débord sont souvent situés à une extrémité de la gare, permettant aux trains de s'arrêter et de repartir sans avoir besoin de manœuvrer en

marche arrière. Cela facilite le chargement et le déchargement des marchandises, tout en maintenant la fluidité du trafic ferroviaire.

- ❖ **Embranchements particuliers** : Sont de plus en plus intégrés dans la logistique des entreprises clientes du rail.
- ❖ **Embranchements portuaires** : Sont constitués par l'ensemble des voies de marchandises qui s'étendent jusqu'aux quais des ports commerciaux.
- ❖ **Hall à marchandise** : C'est l'élément le plus important dans une gare à marchandise, ce dernier est un bâtiment conçu spécialement pour le stockage (charge et décharge) des wagons portants de la marchandise.



Figure XII-3 : Gare de marchandises.

XII.2.3 Gare de triage

Une gare de triage ferroviaire joue un rôle essentiel dans le transport de marchandises par chemin de fer.

Elle permet de trier et de regrouper les wagons en fonction de leur destination finale. Les locomotives sont utilisées pour déplacer les wagons lentement vers les voies de triage appropriées.

Ces gares se trouvent généralement dans des zones industrielles et facilitent le transfert des marchandises vers des camions pour la dernière étape de livraison.

Les installations de la gare de triage comprennent des voies de triage, des aiguillages, des tours de contrôle, des locaux de triage et des bâtiments administratifs, garantissant ainsi une efficacité maximale dans le processus de tri et de transfert des wagons.



Figure XII-4: Différentes installations des gares de triage.

XII.3 Autre élément de gare

XII.3.1 Réseaux de voie

Le nombre de voies de chaque réseau est variable, selon l'importance de voies.

XII.3.2 Caténaires

Les caténaires, ou lignes aériennes, sont des fils suspendus à des poteaux ou à d'autres structures de support, généralement utilisés dans les chemins de fer et d'autres formes de transport pour fournir de l'énergie électrique aux véhicules motorisés. Ces fils assurent une alimentation électrique constante des véhicules qui circulent sous eux en conservant une forme spécifique appelée courbe caténaire.

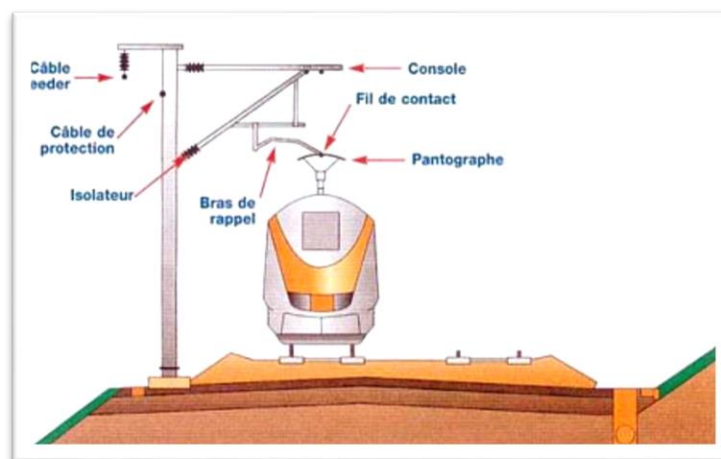


Figure XII-5: Schéma coupe d'une caténaire.

XII.4 Facteur essentielle à prendre en considération pour la réalisation d'une gare ferroviaire

L'installation d'une gare ferroviaire peut être un processus complexe qui nécessite une planification attentive. Voici les étapes générales à suivre :

- ❖ **Étudier les besoins locaux** : Avant de commencer les travaux, il est important de connaître les besoins et les demandes des habitants de la ville ou de la région où sera installée la gare. Et voir si les transports publics sont insuffisants.
- ❖ **Choisir un emplacement** : Une fois les besoins locaux étudiés, il est temps de choisir un emplacement adéquat pour la gare. L'emplacement idéal doit être accessible et facilement repérable. Il doit également disposer de suffisamment d'espace pour les trains, les quais, les parkings, etc.
- ❖ **Conception de la gare** : La conception de la gare peut être complexe, car elle doit tenir compte de nombreux facteurs. Le nombre de quais, la taille du bâtiment, la configuration des voies d'accès, la sécurité des passagers et la sécurité des travailleurs ferroviaires sont tous des points critiques.
- ❖ **Faire une demande d'autorisation** : Pour installer une gare ferroviaire, il est important de demander des autorisations auprès des autorités locales et nationales.
- ❖ **Installer les infrastructures** : Après avoir obtenu les autorisations nécessaires, l'installation de l'infrastructure de transport peut commencer. Il peut s'agir de la construction de quais et de voies, ainsi que de la mise en place de bâtiments tels que des guichets et des salles d'attente. La construction doit respecter les codes et réglementations en vigueur et être conçue pour offrir aux passagers une expérience de transport sûre et efficace.
- ❖ **Équiper la gare** : Pour le bon fonctionnement de la gare il faut équiper les bâtiments avec les équipements de sécurité et de surveillance, des systèmes de communication, des équipements de signalisation et guichet pour les billets.
- ❖ **Tester la gare** : Une fois que toutes les installations sont achevées, il est important de tester la gare pour s'assurer que tout fonctionne correctement. Il est également essentiel de former le personnel ferroviaire et administratif pour qu'ils puissent fonctionner efficacement.

XII.5 Caractéristiques géométrique de la voie

XII.5.1 Déclivité dans les gares

En gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues selon les valeurs reprises dans le tableau suivant :

Tableau XII-1:La déclivité dans les gares .

Activité en gare	Déclivité maximale
Service voyageur seul.	$\leq 10 \text{ ‰}$
Service voyageur et modification de composition des rames.	$\leq 5 \text{ ‰}$
Service voyageur et stationnement prolongé de rames	$\leq 1 \text{ ‰}$

NB : Compris. La pente du projet a été maintenue à 0 ‰ afin d'éviter tout déplacement potentiel des trains.

XII.5.2 Quais

Les gares de voyageurs utilisent généralement des quais pour l'embarquement et le débarquement des passagers.

❖ Longueur des quais

- Grande linge 450m
- Service régional 350m (norme SNTF)
- Banlieue 225m

❖ Largeur des quais

La largeur des quais est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$B_{min} = \frac{1,5 \times N_{min} + S}{L}$$

❖ Dimensionnement de la hauteur du quai

Selon l'UIC 741le dimensionnement est fait comme suite :

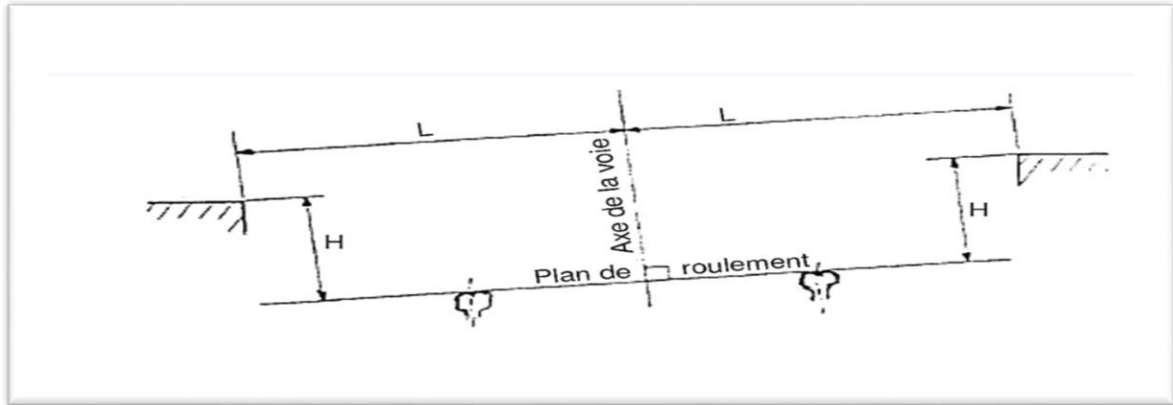


Figure XII-6 : Dessin pour le dimensionnement de la hauteur du quai.

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.

La hauteur normale des bordures des quais au-dessus de plan de roulement est fixée à 550 mm ou 380 mm au minimal pour le cas des anciennes gares et des gares frontalières pour des quais concernés par du trafic voyageurs grandes lignes et banlieue dans certain condition une hauteur différente peut être appliquée par exemple 760 mm ou 960 mm.

XII.5.2.1 Détermination de la distance à l'axe de la voie

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm et 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$L (mm) = 1650 + S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

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

I = étant l'écartement de la voie, en millimètres.

R = étant le rayon de la voie, en mètres.

XII.5.2.2 Largeur des toitures des quais

- Pour un quai intermédiaire de 8 m de largeur on prend la largeur de la toiture de 7 m.
- Pour un quai intermédiaire de 6 m de largeur on prend la largeur de la toiture de 5 m.
- Pour un quai extérieur de 6 m de largeur on prend la largeur de toiture de 5,5 m.

❖ **Hauteur libre :**

- $H=3,10\text{m}$.

❖ Entraxe des quais

- e normal $>11,3\text{m}$.
- e minimal $>9,3\text{m}$ (norme SNTF).

XII.5.3 Marge de glissement à l'aval des signaux

La marge de sécurité située à l'aval des signaux désigne la portion de voie qui se trouve au prolongement du parcours d'un train après avoir traversé un signal fermé. Dans certains réseaux ferroviaires, aucun autre train n'est autorisé à circuler dans cette zone de sécurité, qui se doit donc d'être libre de toute occupation. Le respect de cette mesure est primordial pour préserver la sécurité des passagers et prévenir tout risque d'accident.

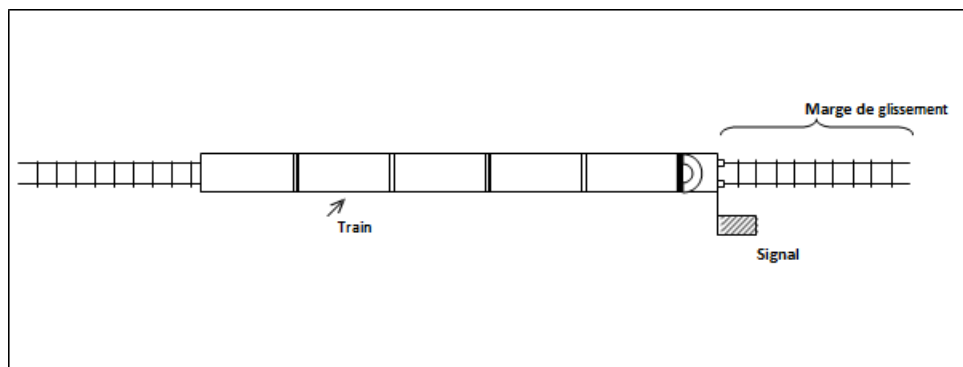


Figure XII-7: Marge de glissement.

XII.5.3.1 But de la marge de glissement

Ce dispositif de sécurité a été conçu pour atténuer les conséquences d'une collision dans le cas où un train n'est pas en mesure de s'arrêter dans la marge prévue en raison de divers facteurs tels qu'un freinage insuffisant ou des rails glissants.

XII.5.3.2 Longueurs de la marge de glissement

La longueur de la marge de glissement se situe entre l'intervalle $50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie :

$$LG = 200 \text{ m pour } V \geq 60 \text{ km/h.}$$

$$LG = 100 \text{ m pour } 40 \text{ km/h} \leq V \leq 60 \text{ km/h.}$$

$$LG = 50 \text{ m pour } V < 40 \text{ km/h. Donc : } 50 \leq LG \leq 200 \text{ m.}$$

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.

XII.5.4 Garage franc

Dans un embranchement ferroviaire, une marque appelée "limite de stationnement libre » ou "limite de garage franc" est placée sur le sol entre les deux voies convergentes. Cette marque est constituée d'une plaque de béton rectangulaire peinte en blanc et indique le point où un train peut s'arrêter sans étendre le gabarit des voies convergentes. Si un train passe au-delà de cette limite, il y a un risque qu'un autre train s'y engage.

L'emplacement du garage franc est mesuré à la distance D du centre de l'aiguillage. L'élément GF est alors déterminé par la formule suivante :

$$\mathbf{GF = 3.57 \times N + 1.}$$

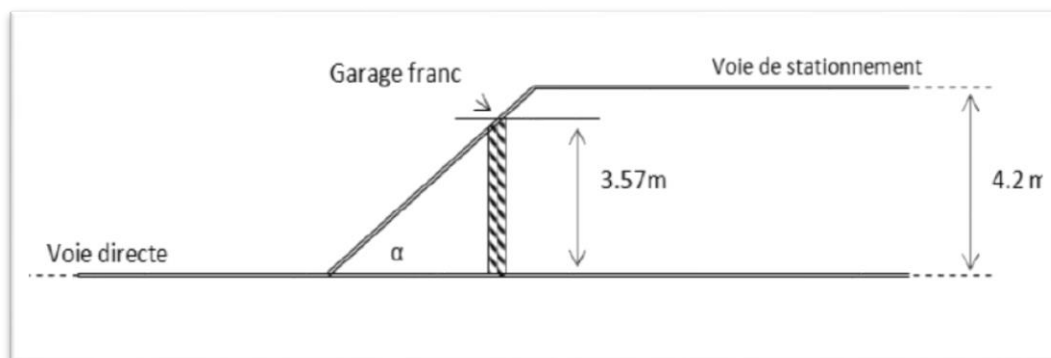


Figure XII-8: Marques de limites de garage franc

XII.5.5 Longueur utile

C'est la longueur nécessaire et suffisante qui permet au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. Cette longueur doit être supérieure à la longueur du train le plus long de la ligne.

XII.5.5.1 Longueur utile d'une voie

La longueur utile d'une voie de stationnement correspond à la distance nécessaire pour qu'un train puisse stationner sur la voie d'évitement sans perturber la circulation sur la voie principale ou les voies d'évitement adjacentes. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$\mathbf{LU = LG + LS + LT + LA + LC}$$

- LU : représente la longueur totale utilisable.

- **LG** : longueur de glissement.
- **LS** : longueur de sécurité.
- **LT** : longueur maximale de train.
- **LA** : est la marge d'arrêt autorisée.
- **LC** : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

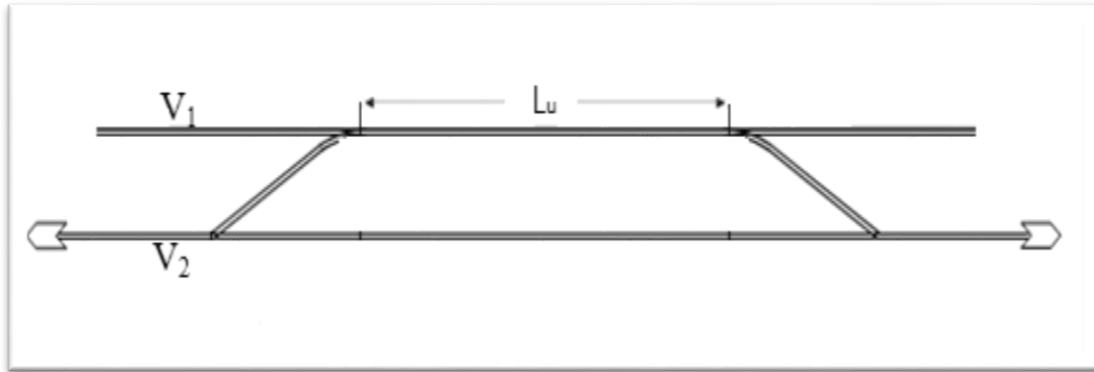


Figure XII-9: Longueur utile.

XII.6 Conditions de conception des gares

Plusieurs conditions doivent être remplies lors de la conception des gares. Ces conditions sont notamment les suivantes :

- ❖ Le respect des règles d'urbanisme en vigueur lors de la conception du bâtiment voyageurs (B.V).
- ❖ La séparation claire des flux de passagers entrants et sortants afin de maintenir l'efficacité et la sécurité et la facilité d'accéder au train.
- ❖ Une grande gare centrale est généralement préférée à plusieurs petites gares en raison de la commodité qu'elle offre aux passagers.
- ❖ Prévoir des aires de stationnement autour de la gare.
- ❖ Un contrôle précis de tous les mouvements et manœuvres, y compris pendant les heures de pointe, est essentiel pour garantir la sécurité et minimiser les retards. Cela comprend le contrôle de la circulation des trains et des piétons, ainsi qu'une signalisation efficace et une communication claire à tous les niveaux du personnel.

XII.7 Sécurité dans les gares ferroviaires

La sécurité dans les gares de voyageurs est un élément essentiel de tout système de transport public. Ces stations sont conçues en tenant compte de la sécurité des passagers et intègrent diverses mesures visant à minimiser les risques potentiels. Ces mesures de sécurité peuvent

inclure un éclairage d'urgence, des panneaux de sortie et des marquages clairs pour guider les passagers en cas d'urgence selon la norme NFC71-830.

En outre, les stations intègrent souvent des caméras de télévision en circuit fermé et d'autres technologies de sécurité pour décourager la criminalité et assurer la sécurité des passagers.

Les stations font également l'objet d'une maintenance et d'inspections régulières afin de s'assurer que les systèmes de sécurité sont en état de marche. Dans l'ensemble, la sécurité des passagers est une priorité absolue lors de la conception et de l'exploitation des gares de voyageurs.

Quelques signalisations obligatoires dans les bâtiments des gares ferroviaires sont sur la figure ci-dessus :

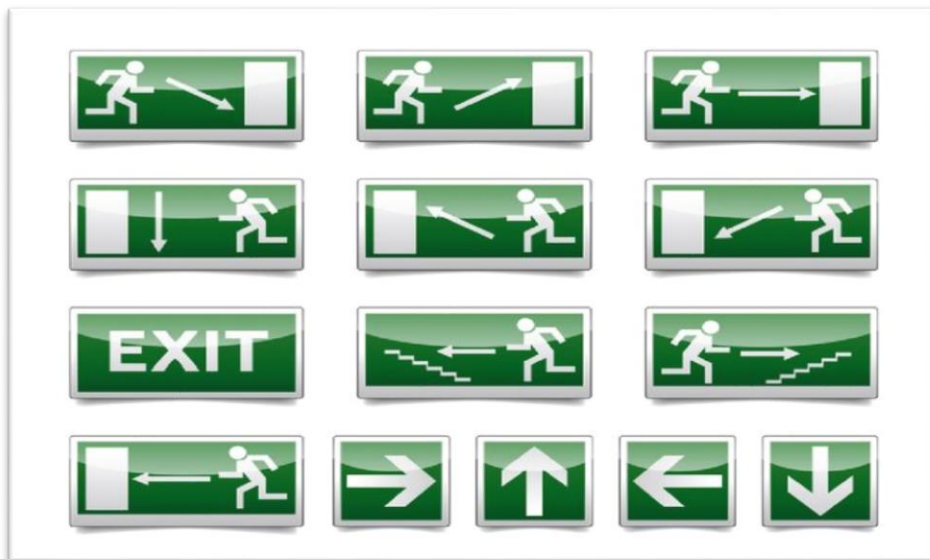


Figure XII-10: Blocs de secours BAES.

XII.8 Application au projet

❖ Situation de la gare

La nouvelle gare de Takrietz est en cours de construction dans le village de Takrietz, commune de Souk-Oufla, à l'ouest de la wilaya de Bejaïa. Avec une superficie d'environ 3900 m², elle sera située à proximité de la route nationale 26. Cette gare est spécifiquement située dans le profil 42+930,91 de l'axe du tracé, s'étendant du P.K. 42+818,41 au P.K. 43+043,41.

❖ Coordonnée géographique de la gare

- Longitude : 4°40'5.24"E.
- Altitude : 36°35'24.56"N.



Figure XII-11: Plan de situation de la gare de Takrietz.



Figure XII-12: Plan de situation à 1 km d'altitude.

- ❖ **Caractéristiques géométrique de la gare :** La gare de Takrietz comprend un bâtiment voyageur d'un seul niveau, qui est divisé en deux parties distinctes : une partie dédiée à l'exploitation et une autre dédiée à la signalisation, aux télécommunications et à l'énergie.

L'aménagement extérieur de la gare est conçu en respectant les gabarits des trains et les spécifications des quais. Une cour sera aménagée à l'extérieur du bâtiment voyageur pour les voyageurs, comprenant un parking et des espaces verts.

Des aménagements sont également prévus du côté de la voirie pour assurer les accès routiers ainsi que l'accueil et la sécurité des voyageurs lors de leur départ et de leur arrivée.

Une passerelle sera installée pour assurer la communication entre les trois quais de la gare et garantir la sécurité des passagers.

❖ **Caractéristiques de bâtiments de voyageur :** Le bâtiment voyageur de la gare de Takriets couvre une surface de 356,32 m² et est divisé en plusieurs zones, dont :

- Hall : 81,34 m².
- Bureaux : 35,90 m².
- Salle de signalisation : 42,67 m².

En outre, d'autres espaces tels que les guichets, les kiosques et les cafétérias sont également inclus dans une surface de plancher totale de 196,41 m².

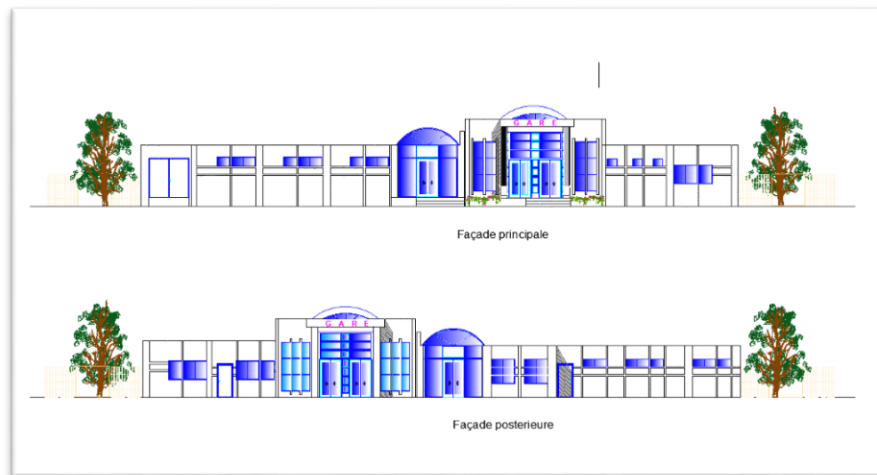


Figure XII-13: Vues principale et postérieure de la gare de Takriets.

❖ **Critères de construction de bâtiment de voyageurs :** Le bâtiment sera construit partir d'une ossature en béton armé et de murs en maçonnerie avec des modules de 5,00 m de long et de 2,00 m de large.

Les murs intérieurs auront une épaisseur de 10 cm et le toit plat de chaque côté du bloc central sera légèrement incliné et comportera une couche d'étanchéité, une couche d'isolation et une couche de protection en béton armé.

Le bloc central sera doté d'un dôme vitré et Les fenêtres, les portes extérieures et les bandeaux lumineux seront en aluminium.

Le sol des locaux techniques sera en granit ou en d'autres matériaux choisis par le client, tandis que les zones sanitaires auront un sol en granit, des murs carrelés et des portes en bois.

Toutes les pièces seront équipées de lampes fluorescentes, d'interrupteurs et de prises.

Les façades comporteront des éléments verticaux et des enduits de maçonnerie.
L'accès principal des passagers sera doté d'escaliers et d'une rampe d'accès pour les personnes handicapées.

❖ Caractéristiques géométriques des quais

Tableau XII-2: Caractéristiques géométriques des quais

Paramètre	Valeur			
Nombre de quais	3			
Longueur des quais	225m			
Largeur des quais	6m			
Hauteur des quais	0,55m			
Déclivité	0%			
Entraxe des quais	8m			
Longueur utile	Voie1	Voie2	Voie3	Voie4
	332,9	427,06	384,85	385,89
Distance entre bord de quai et l'axe de la voie	1,65m			

XII.8.1 Dimensionnement des quais

XII.8.1.1 Occupation des passagers

Le dimensionnement des quais est fait en fonction des passagers qui vont utiliser le service ferroviaire tout en assurant la commodité des utilisateurs (bancs, panneaux informatives, passages inférieures, etc.).

Il faut considérer qu'un quai peut être utilisé par deux trains en même temps donc si la capacité maximale d'un train est de 288 passagers assis et 786 passagers debout, le nombre maximum de passagers qui peuvent attendre sur un quai deux trains est de 2.148 personnes.

Aussi il y aura des passagers qui vont descendre des trains qui arrivent à la gare, donc il faut doubler le nombre d'utilisateurs du quai en une même période de temps, soit 4.296 personnes.

Si on considère une occupation par mètre carré de 4 personnes, il est nécessaire 1.074 m² pour les passagers.

XII.8.1.2 Occupation des autres éléments

Il faut aussi ajouter les espaces requis sur un quai pour les passages inférieurs, la disposition de sièges, la disposition de panneaux informatifs, etc. ...

La surface occupée par les passages inférieurs est de 4,68 x 2,50 m avec une surface totale de 11,7 m².

Annexe aux passages inférieurs il y a aussi un ascenseur de dimensions 2,30 x 1,60 mètres qui occupe une surface de 3,68 m².

La surface utilisée pour disposer les bancs (un de chaque côté) est de 2 mètres de longueur par 0,75 mètres de largeur. Comme Il est nécessaire de disposer 5 blocs de bancs sur chaque quai, la superficie totale destinée aux bancs est de 15 m².

La superficie totale occupée par d'autres éléments est de 30,38 m².

XII.8.1.3 Occupation totale et dimensionnement des quais

L'occupation totale physique des quais correspond aux quantités mentionnées ci-dessus plus un pourcentage de confort du 10 %. Cette quantité sera de 1.214,82 m².

Les dimensions des quais pour la gare de Takrietz sont 225 m x 6 m, avec une surface totale de 1.350 m².

❖ Appareil de voie :

Selon la SNTF, les appareils de voies utilisés pour sur notre projet sont les types suivants :

UIC 54-500-1 :12.

UIC54-30061 :9.

UIC54-1200-1 :18,5.

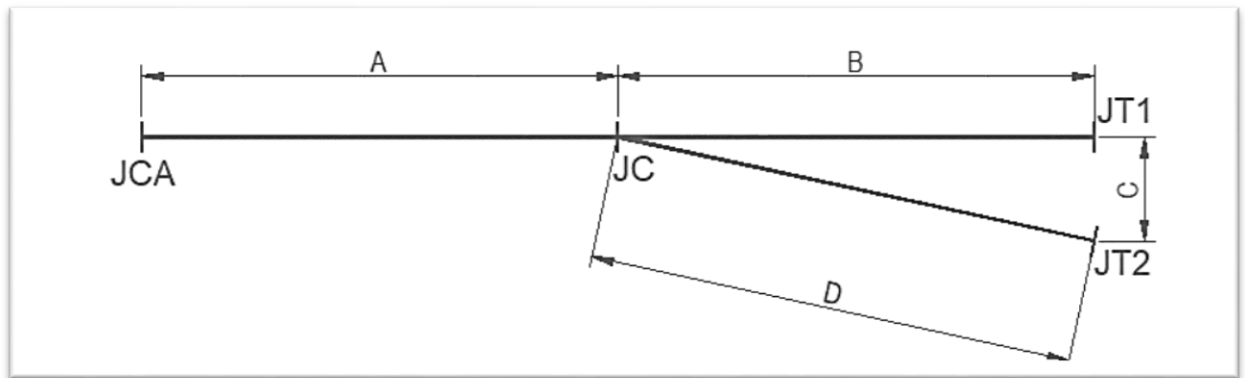


Figure XII-14: Schéma des appareils de voies dans les gares de notre projet.

XII.9 Conclusion

En conclusion, ce chapitre souligne l'importance de l'emplacement stratégique de la gare Takrietz pour assurer une bonne connectivité avec d'autres modes de transport. De plus, la conception de l'infrastructure, y compris les voies, les quais, les équipements et les services, est essentielle pour faciliter les déplacements des passagers. L'objectif ultime de cet aménagement est de créer une gare fonctionnelle, sécurisée et confortable, répondant ainsi aux besoins des voyageurs.

Chapitre XIII : Devis quantitatif et estimatif

	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT(DA)	Montant HT
Installation de Chantier et études d'exécution					
1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1,00	100 000 000,00	100 000 000,00
2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1,00	30 000 000,00	30 000 000,00
3	Etude d'exécution	F	1,00	150 000 000,00	150 000 000,00
Montant:					280 000 000,00
Terrassement général					
1	Décapage terres végétal d'une ép 0.80m	M ³	667 590,00	400,00	267 036 000,00
2	Déblai mis en remblai	M ³	2 278 611,29	400,00	911 444 516,00
3	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0.50m	M ³	141 673,00	1 500,00	212 509 500,00
4	Fourniture et mise en œuvre de sous ballast de 0.25m	M ³	61 654,30	3 000,00	184 962 900,00
Montant:					1 575 952 916,00
Ouvrages hydraulique					
1	Buse circulaire 1500	ML	225,00	30 000,00	6 750 000,00
2	Dalot type 1	M ³	1 700,12	35 000,00	59 504 200,00
3	Fossé trapézoïdaux en béton armé	ML	6 700,00	6 500,00	43 550 000,00
Montant:					109 804 200,00
Travaux de voie					
1	Fourniture et pose de ballast de 0.30m	M ³	71 255,70	125 000,00	8 906 962 500,00
2	Pose de voie UIC 54	ML	43 868,00	6 500,00	285 142 000,00
3	Soudage aluminothermique	U	340,00	9 500,00	3 230 000,00
4	Soudage électrique	U	4 400,00	9 500,00	41 800 000,00
Montant:					9 237 134 500,00
Fourniture de matériel et matériaux de voie					
1	Fourniture de rail neuf UIC 54	T	5 500,00	125 000,00	687 500 000,00
2	Fourniture des travers en béton armé B440	U	68 640,00	5 700,00	391 248 000,00
3	Attache Nabla	U	146 200,00	850,00	124 270 000,00
4	Pose appareil de voie UIC-54-500-1/12	U	10,00	560 000,00	5 600 000,00
5	Pose appareil de de voie UIC 54-300-1/9	U	5,00	500 000,00	2 500 000,00

6	Appareil de de voie UIC 54-300-1/9	U	10,00	11 200 000,00	112 000 000,00
7	appareil de voie UIC-54- 500-1/12	U	5,00	9 800 000,00	49 000 000,00
Montant :					1 372 118 000,00
Signalisation					
Signalisation ferroviaire					4 328 650,00
Montant Total HT					12 579 338 266,00
TVA (19%)					2 390 074 270,54
Montant Total TTC					14 969 412 536,54

**Arrêter le present devé à la somme de : Quatorze Milliard Neuf-Cent Soixante Neuf Million
Quatre-Cent Douze Mille Cinque-Cent Trente Six Dinars et Cinquante-Quatre Centime.**

La modernisation des infrastructures ferroviaires joue un rôle essentiel dans la promotion du développement socio-économique de pays en facilitant les échanges commerciaux et les communications entre les différentes régions du pays.

Le projet de la ligne Beni Mansour - Bejaïa est un investissement majeur qui vise à faciliter le transport de marchandises et à réduire la surcharge du transport routier et répondre aux besoins de transport de la région, Ce projet contribuera au développement économique de la région et offrira une alternative plus efficace et durable pour le transport.

Ce projet de fin d'étude concerne le tronçon du PK 30+000 au PK 50+000 nous a permis d'utiliser le bagage théorique acquis durant les années d'études.

Ce projet nous a offert la chance d'apprendre et d'améliorer nos compétences informatiques en utilisant des logiciels tels que Covadis et Autocad.

Durant notre projet nous avons accordé une attention particulière au respect des normes de conception géométrique du tracé et de sécurité et le confort pour répondre au besoin des usages.

Cours

- Cours FGC/USTHB, Mme f/Aissiou.
- Cours Dr. BEN AMMAR Ben Khadda, Université Mohamed Kheider de Biskra ,2021/2022.
- Cour chemin de fer /GC/ UMMTO, 2022/2023, chapitre (superstructure, infrastructure).

Document ENSTP (l'école nationale supérieur des travaux publics) :

- Mémoires de fin d'étude de L'ENSTP (2015, 2019, 2018, 2021,2022).

Autre document :

- Édition spéciale snf, histoire, modernité et défis.
- EPSF Les signaux – Les régimes d'exploitation des lignes – Les systèmes d'espacement des trains Édition du 5 juillet 2017.
- MERYEM HDIOUD, Principe de la signalisation ferroviaire, Poste à manette libre, Université SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH.

Site web

- Lesiteferroviaire [www.lesiteferroviaire.pagesperso-orange.fr].
- Centre de documentation historique sur l'Algérie [www.cdha.fr].
- APS [aps.dz/economie/150509-les-infrastructures-ferroviaires-hissees-en-veritable-catalyseur-de-developpement].
- SNTF [www.sntf.dz].
- ANESRIF [www.anesrif.dz].

- www.entp.edu.dz.
- www.academia.edu.
- Lguafrique [www.lguafrique.com].
- Autre site tel que (Wikipédia, Ministre de transport algériens, Google...etc.).

 **Document technique :**



Donnée de projet du ligne Beni Mensour Bejaïa proposé par l'ANESRIF (Rapport de synthèse géotechnique, Tracé de la voie ...etc.).

SNTF

- Référentiel technique SNTF-Chapitre 6 (Géométrie de la voie) Version 22/12/2005.

SNCF

- Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ Km/h (Version 1 du 12/09/2006).
- Référentiel Infrastructure, Directive Règlement S1A - Titre I Édition du 05 octobre 2005.

UIC

- Code UIC 719.
- Code UIC 703 R.
- 741F : quais des voyageurs -règle pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie (4 éme éditions, décembre 2005).
- UIC 714R 3eme édition 01/01/1989.

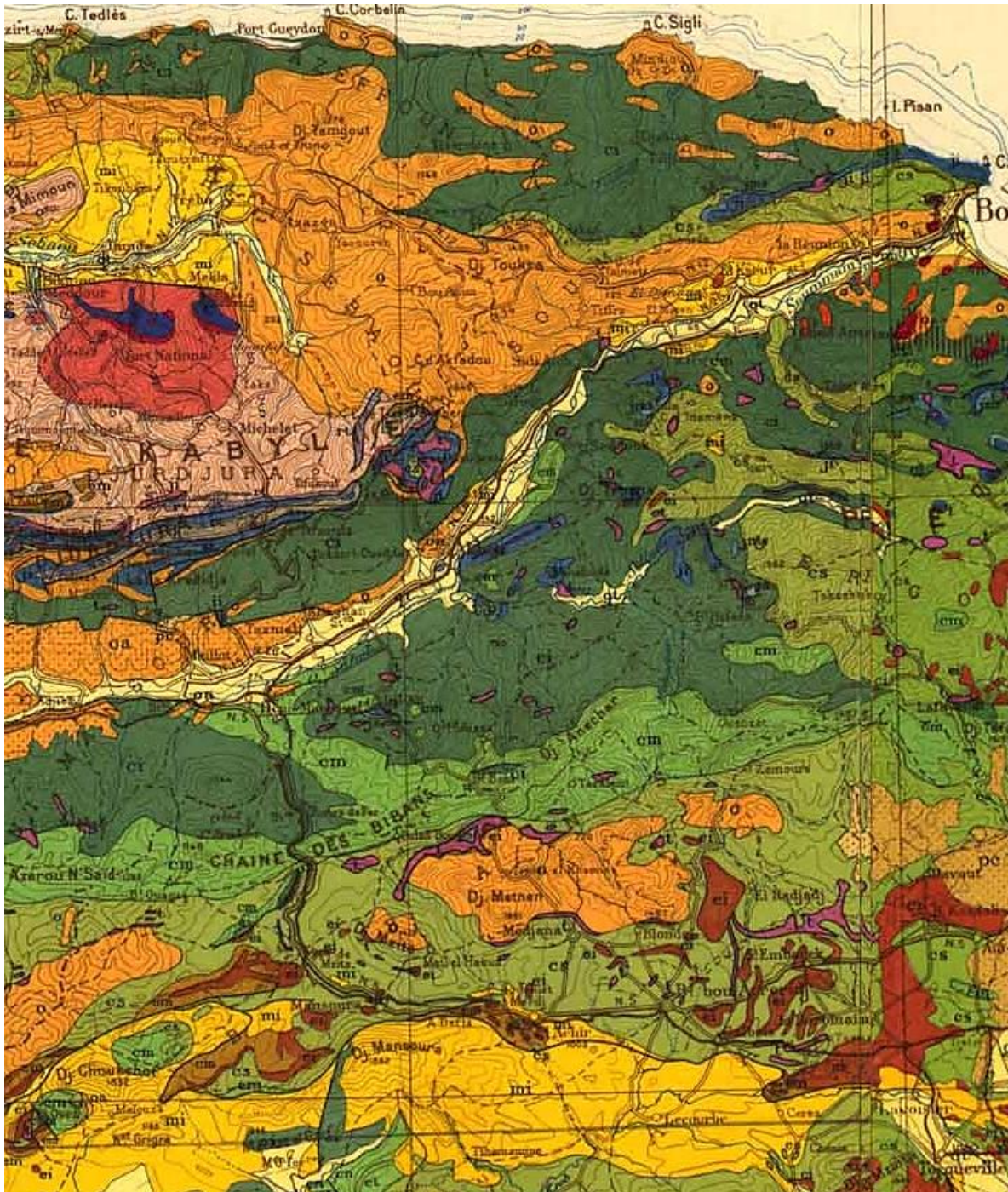
Livres :

- Cours chemins de fer, professé a l'École national des pont et chaussé.
- Route tom1 Michel Faure, entre aleas, chapitre 11 les terrassements routiers.
- Roger rétiveau, la signalisation ferroviaire, école nationale des ponts et chaussées.
- La voie ferrée - géométrie et tracé générale, par robert Rivier.

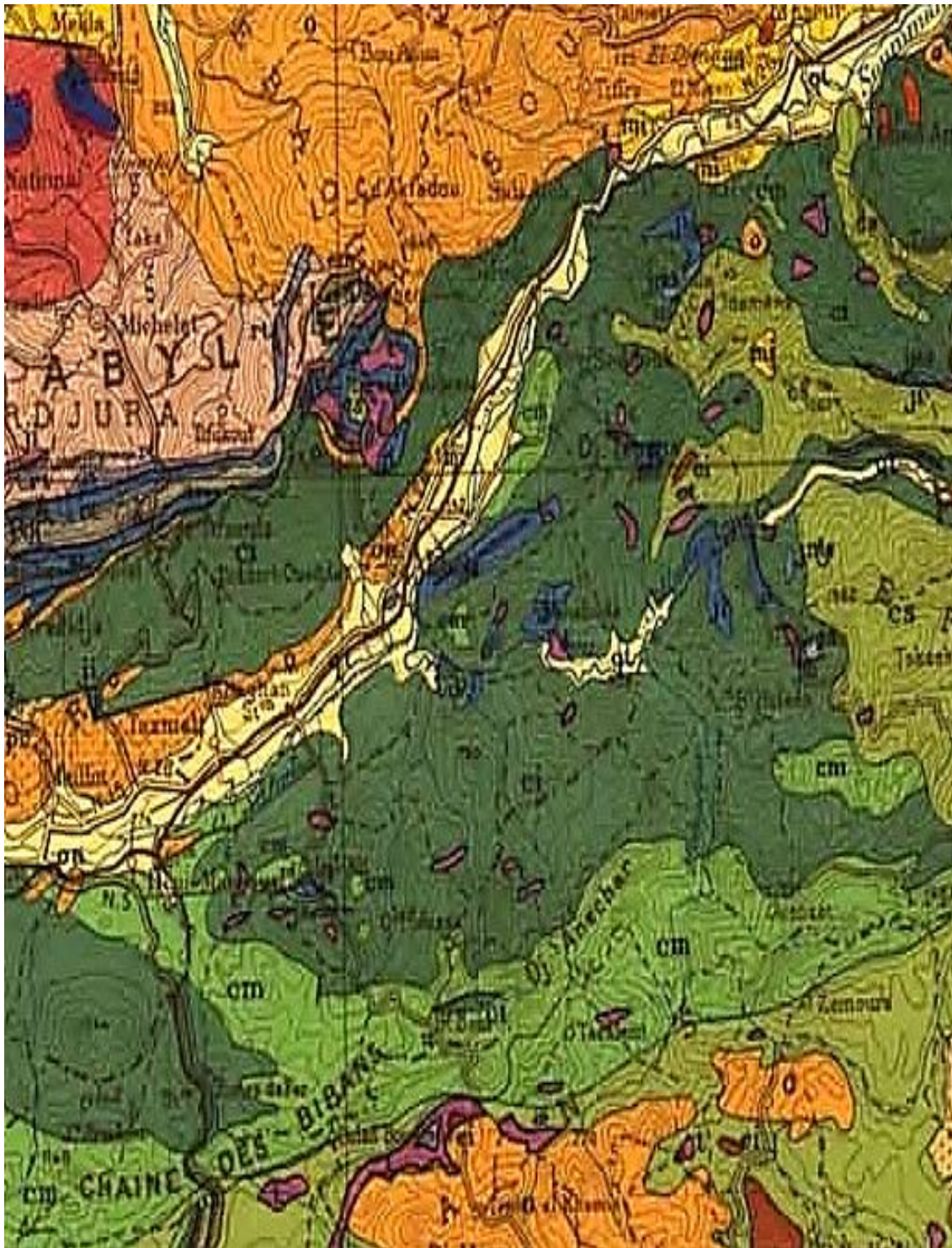
Mémoires de fin d'études :

- Bouzeboudja Manal Ouguenoun, HAMZA Ligne ferroviaire El Affroun – Tipaza : Etude en APD du tronçon El Affroun -Bourkika avec aménagement d'une gare, 2021/2022 UMMTO.
- Ben Mohamed el-Mehdi, benzeggouta Salah Eddine, tahir cherif, étude de l'exécution de la ligne senia-arzew tronçon el- mouhgoun-arzew ville 2017/2018 université m'hamed bougara de boumerdes.
-
- Djellouli Samir, Djouber Mohamed, Etude et dimensionnement d'un tronçon ferroviaire à trafic mixte, Projet de la nouvelle ligne ferroviaire Saida-Tiaret, 2019/2020, université ibn Khaldoun de Tiaret.

Carte géologique de la région du site de notre projet



Carte géologique de notre zone d'étude



Clé de lecture de la carte géologique

TERRAINS SÉDIMENTAIRES

A	Alluvions actuelles: laas, marécageux, dayas, chotts, sebkhas, limons et croûtes gypso-salines
D	Dunes récentes
qt	Quaternaire continental: alluvions, regs, terrasses
qm	Quaternaire marin: plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent
qC	Calabrien: grès marins et formations dunaires associées
qV	Villafranchien: calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges
pV	Pliocène continental et Villafranchien non séparés (pV)
pe	Pliocène continental; poudingues, calcaires lacustres
p	Pliocène marin conglomérats, marnes bleues, mollasses, grès et formations dunaires subordonnées
mp	Pontien (localement équivalent du mc)
ms	Miocène terminal marin et lagunaire: couches à Tripoli, marnes à gypse
mm	Miocène supérieur marin: calcaires, grès, argiles
mc	me Miocène continental antépontien
mi	Miocène inférieur marin (Burdigalien)
oa	Aquitainien continental (pouvant inclure localement la base du Burdigalien)
oc	Oligocène continental (pouvant inclure localement l'Éocène sup. continental)
o	Oligocène marin incluant localement l'Éocène supérieur)
em	Eocène moyen marin
ee	ee Eocène moyen et inférieur continental
ei	Eocène inférieur marin
cs	cs Crétacé supérieur marin
osc	osc Crétacé supérieur continental
esm	esm Crétacé supérieur marin non subdivisé
cm	cm Crétacé moyen (marin ou lagunaire)
ct	ct Turonien
cn	cn Cénomannien
e	e Crétacé marin non subdivisé
ci	Crétacé inférieur ci - faciès marins normaux; ciP - rivières ou subévaporées; ciC - continentaux ou lagunaires
ciP	
ciC	
js	js Jurassique sup. et moyen
jms	jms Jurassique sup. et moyen marins non séparés
js1	js1 Portlandien et Kimmeridgien (pouvant inclure localement le Berrhasien)
js2	js2 Lusitanien
js3	js3 Oxfordien et Callovien
jm	jm Jurassique moyen (pouvant inclure localement l'Aalénien supérieur)
ji	ji Jurassique inf. marin
ji1	ji1 Aalénien et Toarcien
ji2	ji2 Domérien et Pliensbachien
ji3	ji3 Lotharingien à Rhétien
ji1-2	ji1-2 Aalénien à Domérien
ji2-3	ji2-3 Pliensbachien à Rhétien
t	t Trias marin ou lagunaire
rt	rt Permo-Trias: grès rouges, conglomérats
hs	hs Westphalien D et Stéphalien
hWC	hWC Westphalien C (hWC)
hWAB	hWAB Westphalien AB (hWAB)
hN	hN Namurien
h	h Carbonifère non subdivisé
hD	hD Dinantien
hV	hV Viséen
hT	hT Tournaisien
d	d Dévonien (sup. ds; moyen dm; inf. di)
ss	ss Gothlandien
si	si Ordovicien

TERRAINS MÉTAMORPHIQUES

	Métamorphisme faible de ej et ci (Région d'Oran)
	Métamorphisme de contact
	Microschistes, schistes satinés
	Gneiss
	Pegmatites
	Calcaires métamorphiques (calcaires, cipolines)
	Amphibolites, pyroxénites, grenatites, etc...

ROCHES IGNÉES

	γ Granites, granodiorites
	μ Microgranites, microgranodiorites
	Diorites, gabbros, dolérites
	Rhyolites, dellérites, dacites et tufs associés
	Andésites et tufs associés
	Basalts et tufs associés
	Phonolites
	Serpentines
	Roches associées au Trias (diorites, ophites, gabbros, etc...)

Les lettres: q(Quaternaire), t(Tertiaire), s(Secondaire), rt(Permo-Trias), h(Dévonien et Carbonifère), x₁₋₂₋₃(Préambrien), ajoutées aux indices des roches éphémères précèdent l'âge chaque fois qu'il a été possible de le faire.

CARTE GÉOLOGIQUE DE L'ALGÉRIE

(2^{ème} édition)

Dressée d'après la 1^{ère} édition et les travaux récents par MM. Cornet A., Dalloni M., Deleau P., Flandrin J., Gautier M., Gourinard Y., Gousskov N., Lafitte R., avec la collaboration de MM. Aymé A., Bertrami J., Caire A., Chadenson L., Cheylan G., Clair A., Cornet G., Creys H., Drooger C., Dubourdieu G., Duplan L., Durand-Delga M., Durozay G., Genin P., Glaçon J., Glangeaud L., Guillemot J., Billy J., Karpoff R., Lucas G., Marks P., Maltaver M., Moussu H., Murawow P., Rast A., Raven Th., Sudran G., Thiébaud J., Van de Fliert R. J., Visse L., Voitte C., du Service géologique de la Société Nationale de Recherche et d'Exploitation des Pétroles en Algérie et des Services géologiques du Maroc et de la Tunisie pour leurs Territoires respectifs.

Manuscrit mis au point par les soins de M. Bouillon, Chef des Travaux graphiques.


Carte éditée en 1951-1952, M. G. Bélier, Ingénieur Général des Mines, étant Directeur du Service de la Carte géologique, MM. R. Lafitte, L. Royer, H. Termier, Conseillers scientifiques.

ASSEMBLAGE

ORAN NORD	ALGER NORD	CONSTANTINE NORD
ORAN SUD	ALGER SUD	CONSTANTINE SUD

Echelle: 500.000^e

Puit de reconnaissance ,phase APD avec photo

 <p>LOG DE SONDAGE Projet Réhabilitation et modernisation des installations ferrovières (BMR-Bejaia) No PR-V-30,2 Localisation 30+175 Profondeur 2</p> <p>X= 642 036 Y= 4 039 800 Z= Date 06/12/09</p>									
Hm	Recup	NS	Lithologie	Ech	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
0.		Y							Terre végétale.
-1.									Argiles brunes graveleuses et caillouteuses compactes.
-2.									





LOG DE SONDAGE

Projet Réhabilitation et modernisation des installations ferrovières (BMR-Bejaia)

No PR-31,0

Localisation 31+000

Profondeur 2.5

X= 642 434

Y= 4 040 540

Z=

Date 06/12/09

Hm	Recup	NS	Lithologie	Ech	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
-0.		V							Terre végétale.
-1.									Argiles brunes graveleuses et caillouteuses compactes.
-2.									





LOG DE SONDAGE

Projet Réhabilitation et modernisation des installations ferrovières (BMR-Bejaia)

No PR-V-36,9

Localisation 36+950


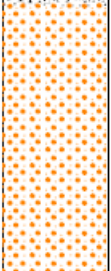
Profondeur 3

X= 645 878

Y= 4 045 124

Z=

Date 06/12/09

Hm	Recup	NS	Lithologie	Ech	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
-0.		V							Remblais.
-1.									Cailloux et blocs dans une matrice argileuse rougeâtre.
-2.									
-3.									





LOG DE SONDAGE

Projet Réhabilitation et modernisation des installations ferrovières (BM-Bejaia)

No PR-43,4

Localisation PK43+450



Profondeur 3

X= 4 050 059

Y= 648 990

Z=

Date

Hm	Recup	NS	Lithologie	Ech	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
-0.		V							Terre végétale
-1.									Argiles limoneuses brunes avec des débris de végétaux et ocres gris
-2.									
-3.									





LOG DE SONDAGE

Projet Réhabilitation et modernisation des installations ferrovières (BM-Bejaia)

No PR-48,8

Localisation PK48+800

Profondeur 3

X= 4 053 574

Y= 652 850

Z=

Date

Hm	Recup	NS	Lithologie	Ech	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
-0.		V							Terre végétale
-1.									Argiles blanchâtres graveleuses et caillouteuses avec parfois présence de blocs
-2.									
-3.									





LOG DE SONDAGE

Projet Réhabilitation et modernisation des installations ferrovières (BM-Bejaia)

No PR-49,6

Localisation PK49+600


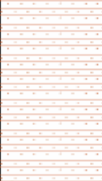

Profondeur 2

X= 4 053 943

Y= 653 539

Z=

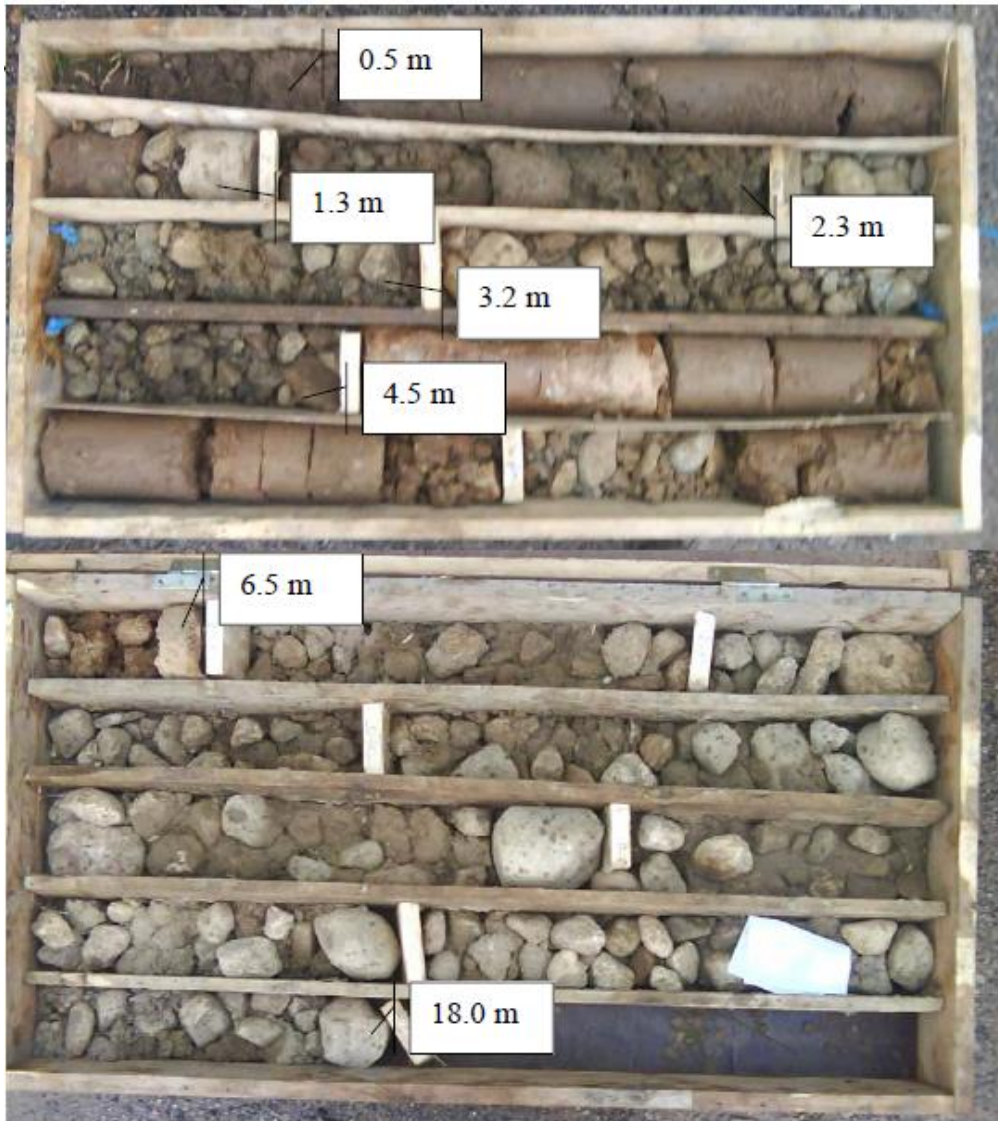
Date

Hm	Recup	NS	Lithologie	Ech	mon ?	nom ?	nom ?	Tubage	Description des couches
-0.		V							Terre végétale
									Argiles rougeâtres légèrement graveleuses
-1.									Graves argileuses rougeâtres très compactes
-2.									



Etude géotechnique, photo des caisses de sondage

S-V-31.1



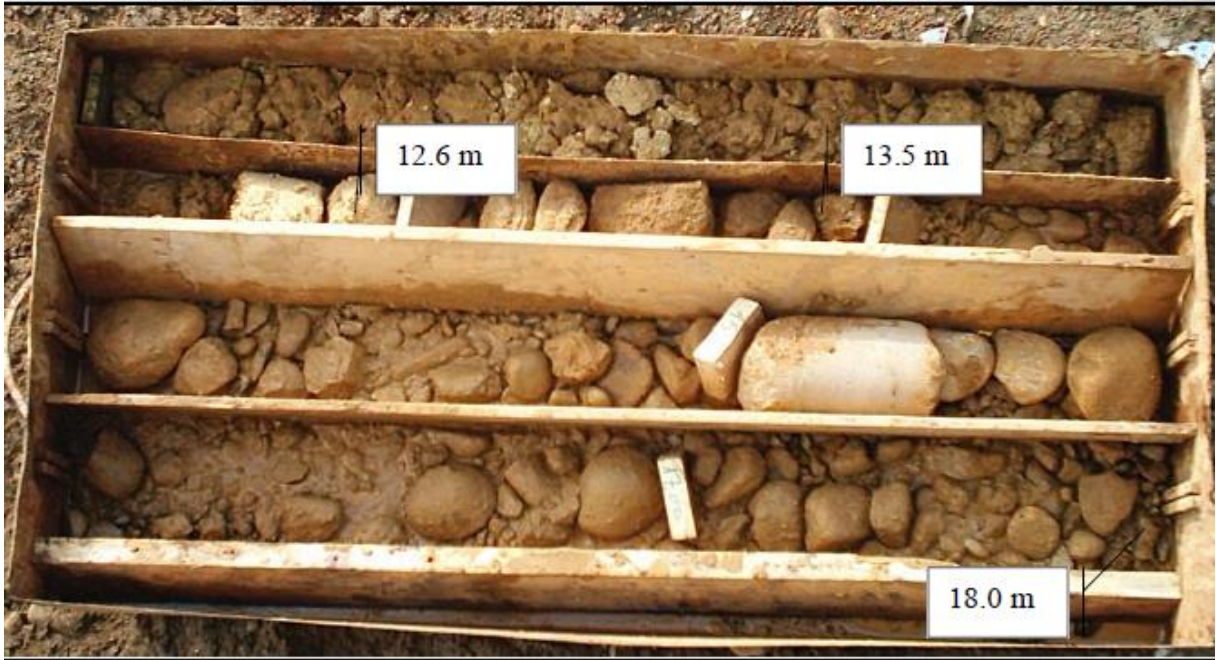
S-V-36.8



S-T-45.3



S-V-48.8



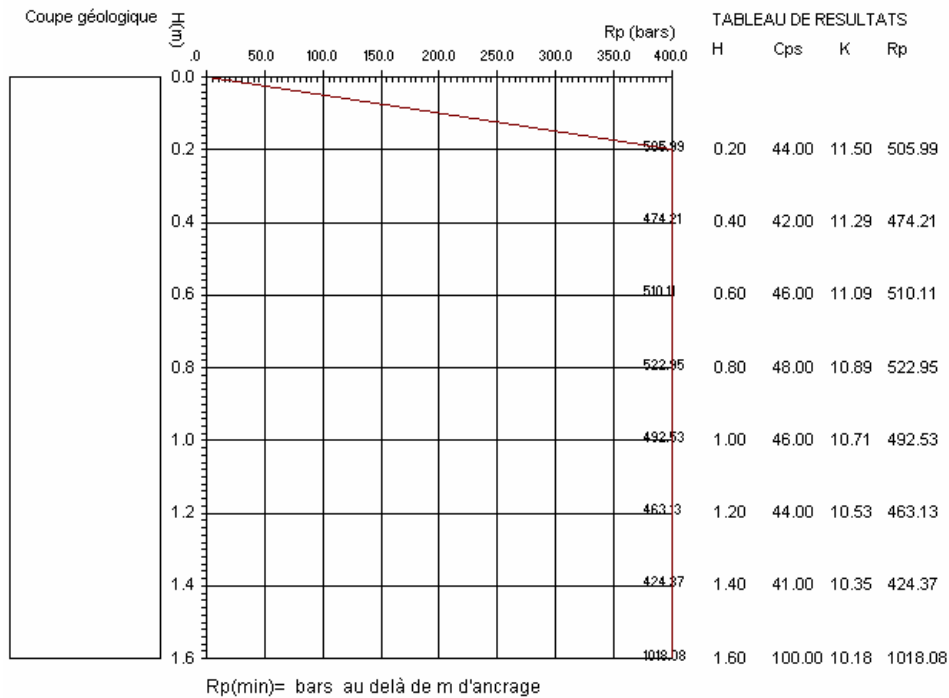
S-V-50.1



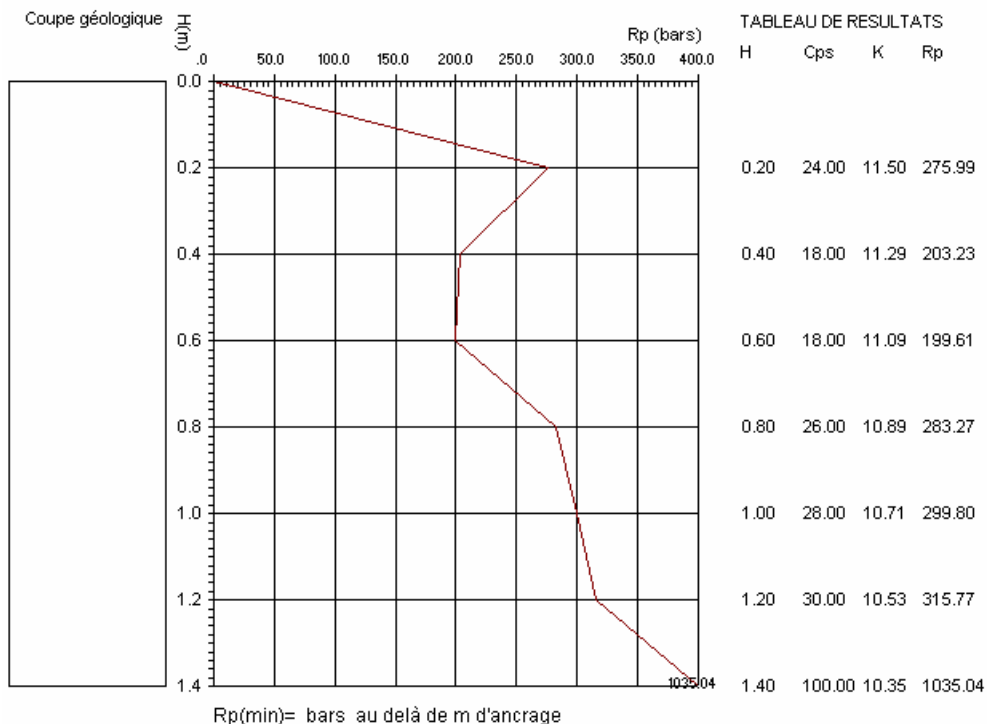
Les Résultats des essais de pénétromètre dynamique



PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD TYPE BORRO NFP 94-115
Titre COMPAGNE GEOTECHNIQUE POUR LA REHABILITATION DE LA VOIE FERR...
Chantier B.MANSOUR - BEJAIA
Localisation PK 30+175 X=642 036 Y=4 039 800
No du sondage / date PD 30.2



PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD TYPE BORRO NFP 94-115
Titre COMPAGNE GEOTECHNIQUE POUR LA REHABILITATION DE LA VOIE FERR...
Chantier B. MENSOUR - BEJAIA
Localisation PK34+000 x = 643 615 y = 4 043 255
No du sondage / date PD-34,0 06/12/09





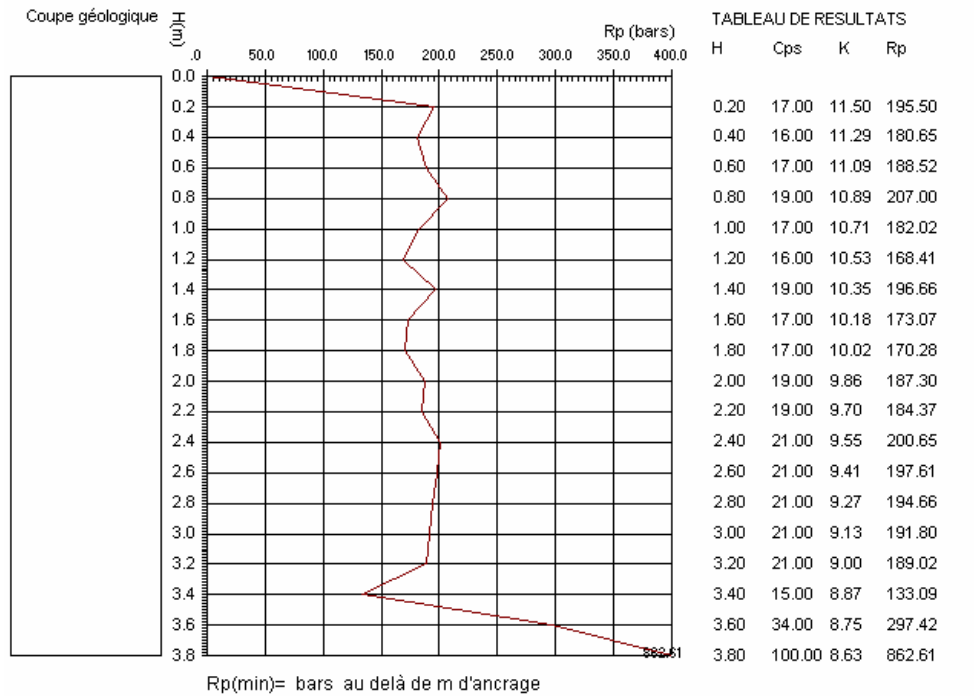
PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD TYPE BORRO NFP 94-115

Titre COMPAGNE GEOTECHNIQUE POUR LA REHABILITATION DE LA VOIE FERR...

Chantier B. MENSSOUR - BEJAIA

Localisation PK39+000 x = 647 446 y = 4 046 409

No du sondage / date PD-39,0 06/12/09



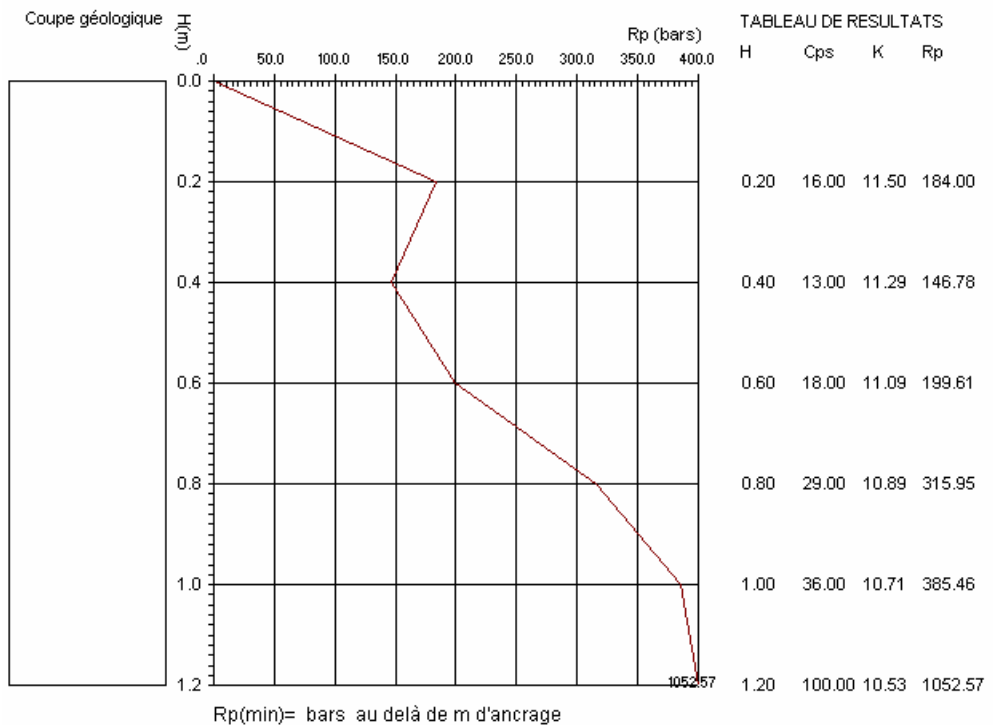
PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD TYPE BORRO NFP 94-115

Titre COMPAGNE GEOTECHNIQUE POUR LA REHABILITATION DE LA VOIE FERR...

Chantier B. MENSSOUR - BEJAIA

Localisation PK43+450 x = 648 990 y = 4 050 059

No du sondage / date PD-43,4 06/12/09





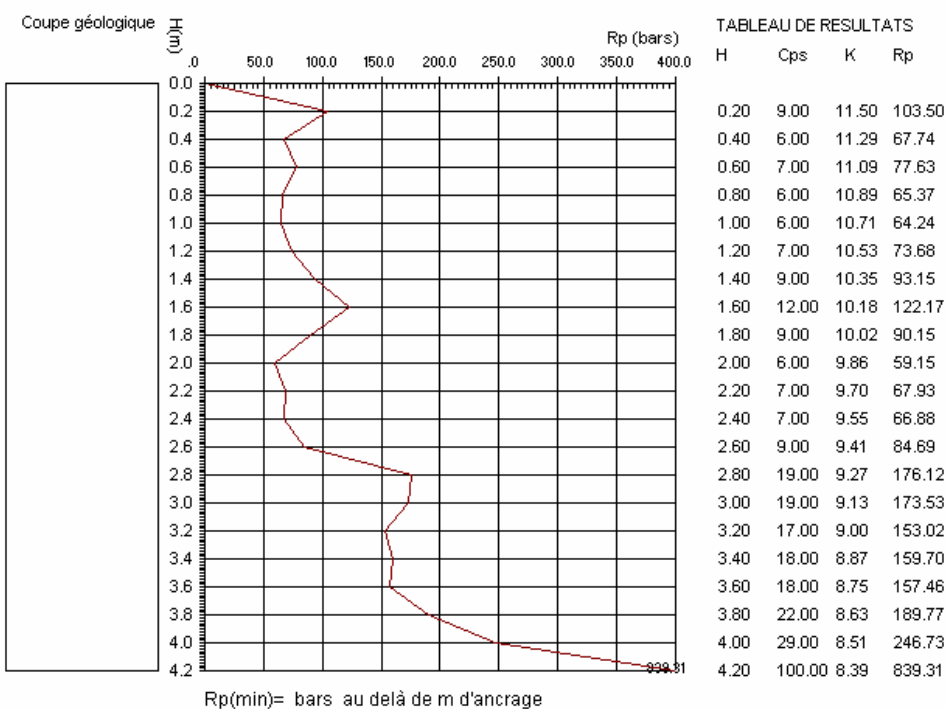
PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD TYPE BORRO NFP 94-115

Titre COMPAGNE GEOTECHNIQUE POUR LA REHABILITATION DE LA VOIE FERR...

Chantier B. MENSSOUR - BEJAIA

Localisation PK45+150 x = 650 199 y = 4 051 257

No du sondage / date PD-V-45,1 06/12/09



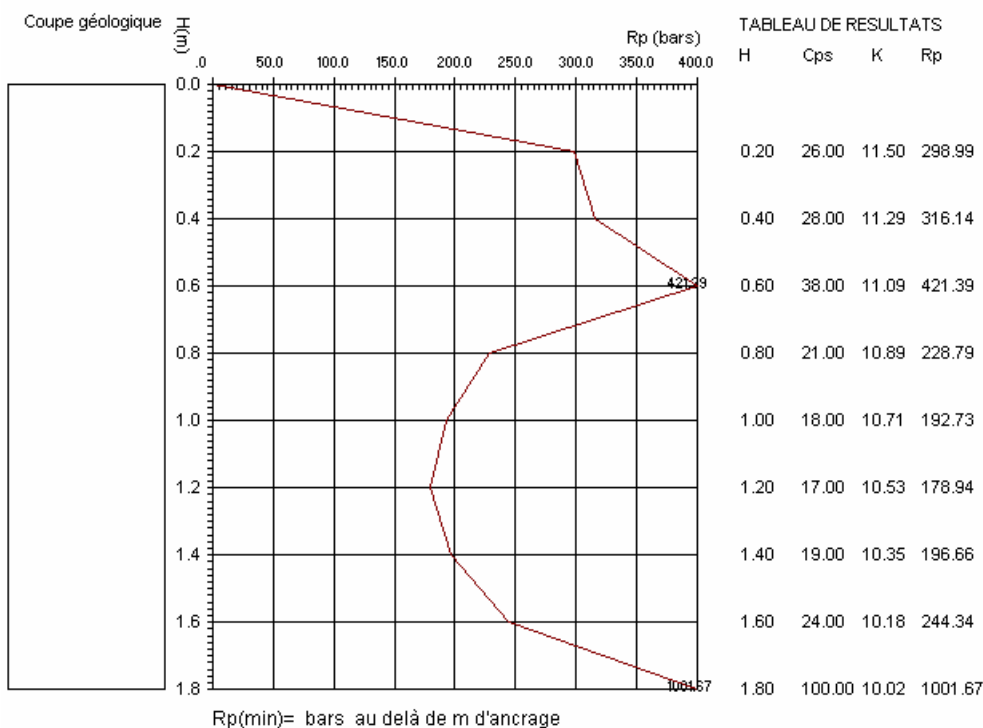
PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD TYPE BORRO NFP 94-115

Titre COMPAGNE GEOTECHNIQUE POUR LA REHABILITATION DE LA VOIE FERR...

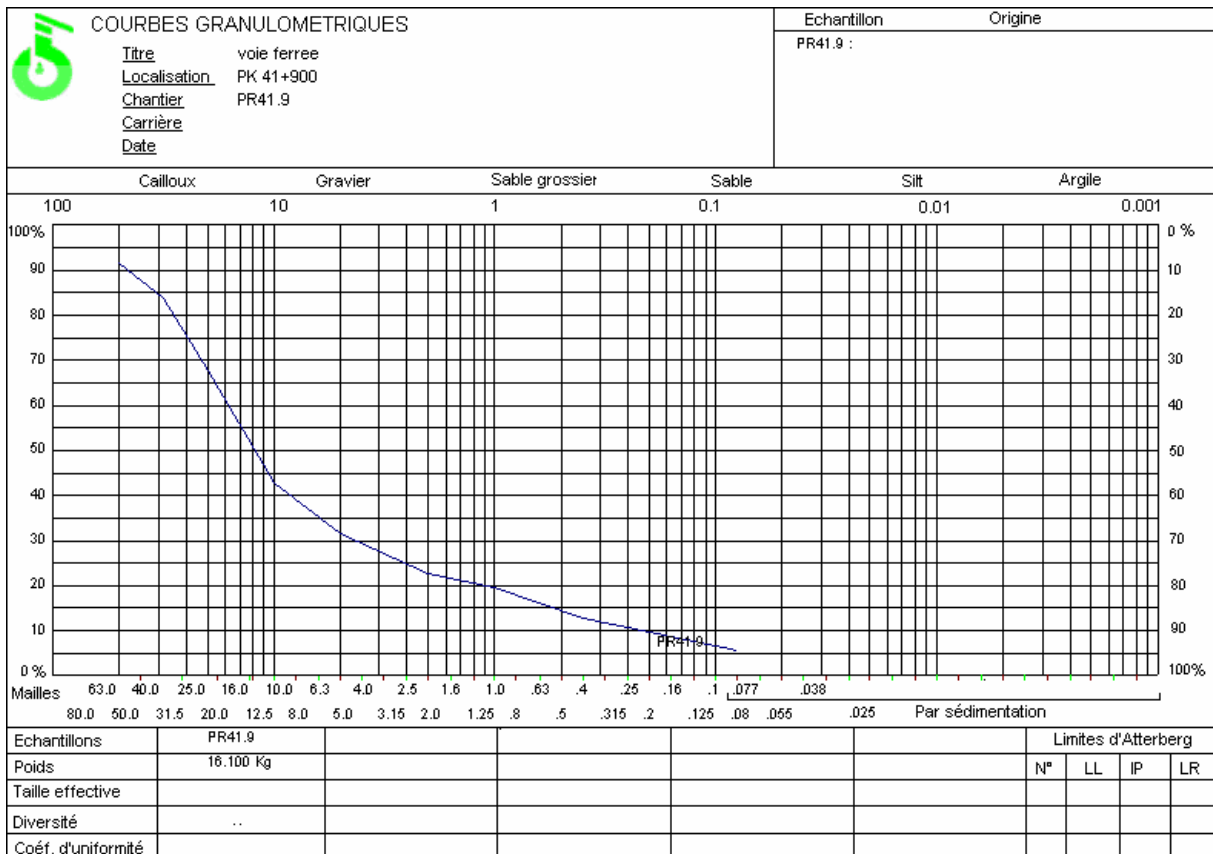
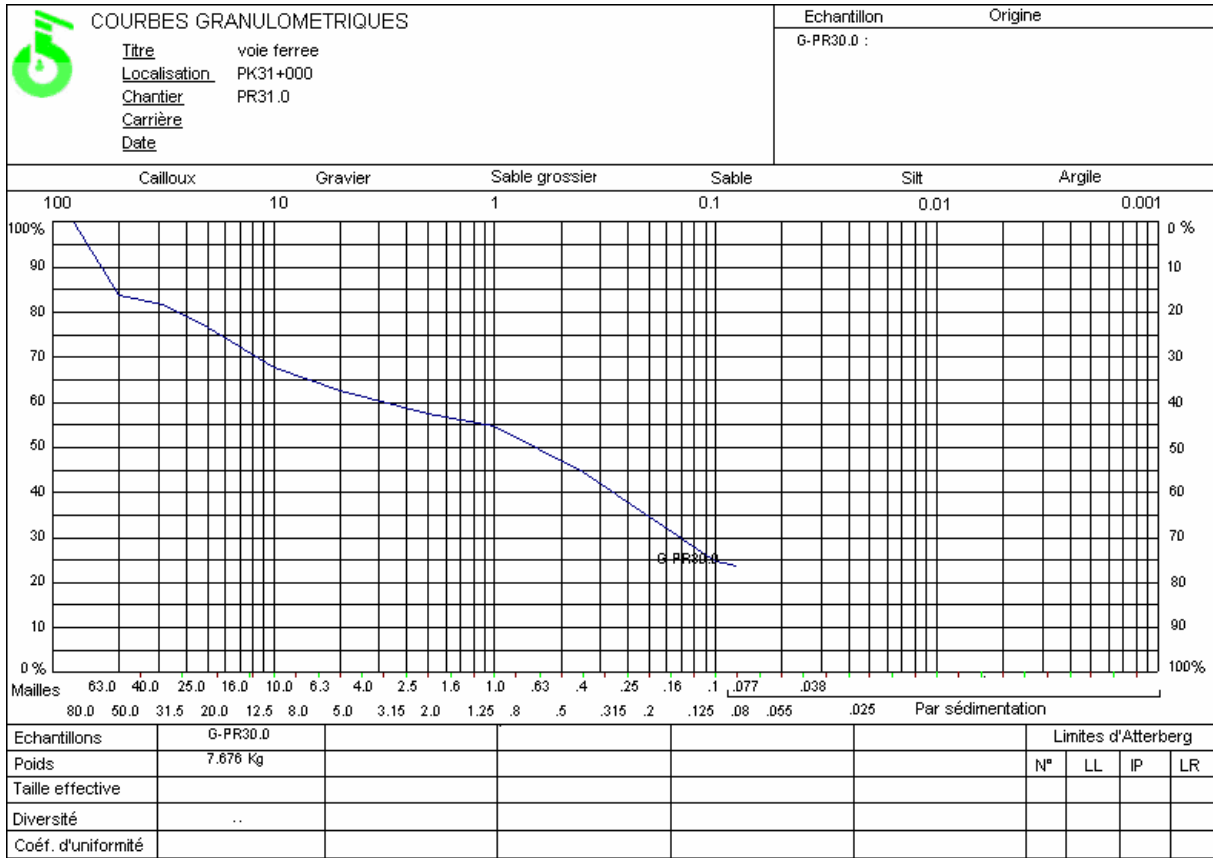
Chantier B. MENSSOUR - BEJAIA

Localisation PK49+600 x = 653 539 y = 4 053 943

No du sondage / date PD-49,6 06/12/09



Etude géotechnique, courbe granulométriques



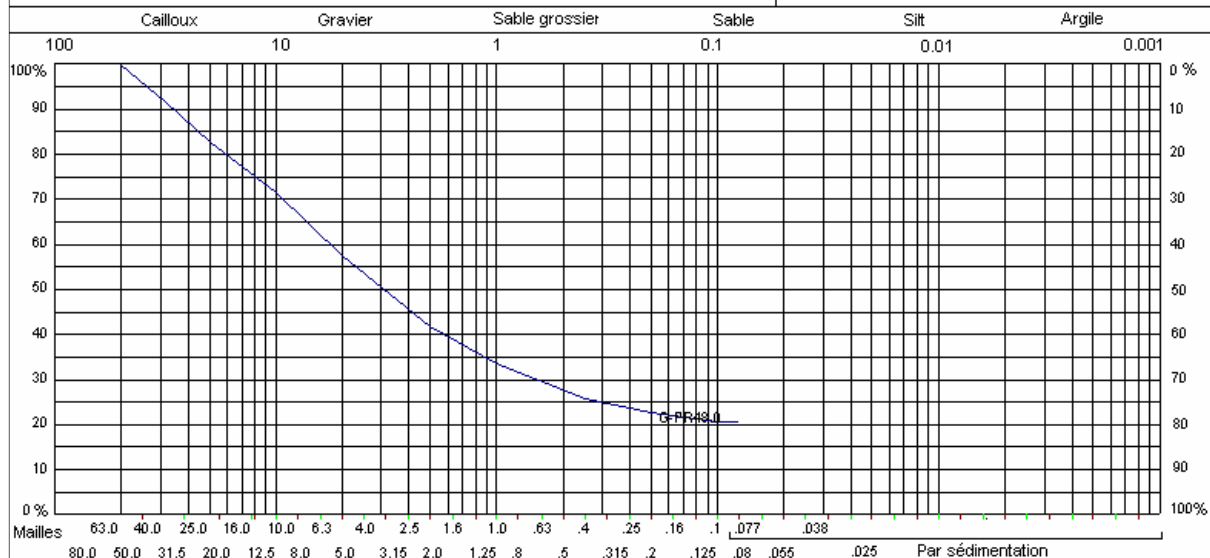


COURBES GRANULOMETRIQUES

Titre voie ferree
Localisation PK48+000
Chantier PR48.0
Carrière
Date

Echantillon Origine

G-PR48.0 :



Echantillons	G-PR48.0					Limites d'Atterberg			
Poids	0.415 Kg					N°	LL	IP	LR
Taille effective									
Diversité	...								
Coéf. d'uniformité									