

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI, TIZI-OUZOU
FACULTÉ DE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT TRAVEAUX PUBLICS



Mémoire de Fin d'Etudes

Filière : Travaux publics
Spécialité : voies et ouvrages d'art

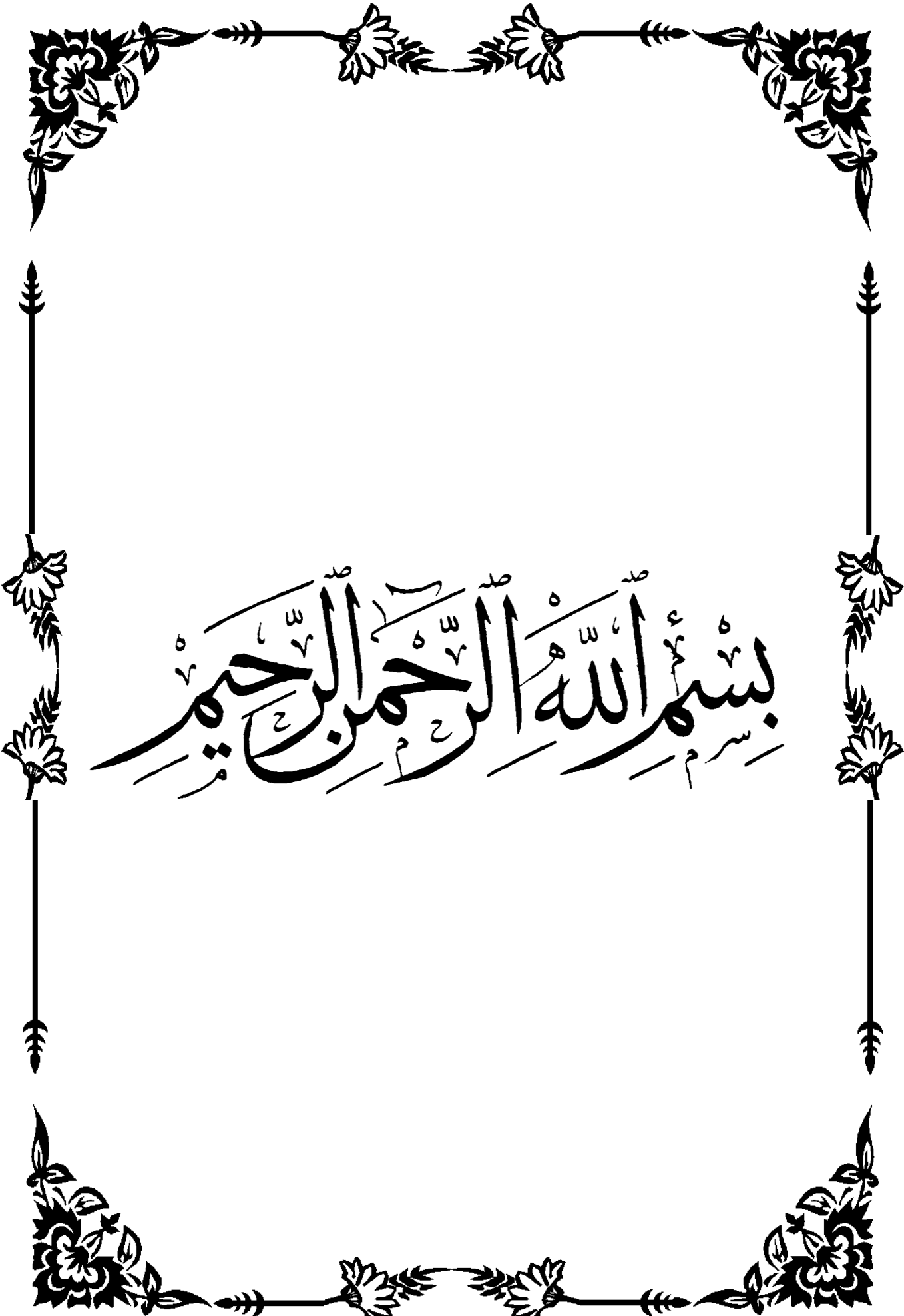
Présentée par :
AMMOUCHAS Mohand said
MOUSSAOUI Abderezak
AMROUCHE Mohand Ameziane

Sujet :

***Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire voie
unique (Ain Beida / Khenchela) Du pk (00+530)
au pk (19+575) Avec L'aménagement de la gare
FKIRNA***

Devant les jurys :

- Mme.MILOUDI Nassima UMMTO Présidente
- Mme FADILA Ghanem UMMTO Examinatrices
- Mr SAHOUI Hamza UMMTO Promoteur

A decorative border with floral motifs and arrows framing the central text.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le Tout Puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la santé qui m'ont permis de réaliser ce travail que je dédie à :

- *Mon très cher père et ma très chère mère.*
- *A mes très chers frères et sœurs qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*
- *A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire. Merci d'être toujours là pour moi.*
- *A tous mes collègues et amis.*
- *À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à mener à terme ce travail.*

AMMOUCHAS MOHAND SAID

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Merci d'être toujours là pour moi.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

MOUSSAOUI ABDEREZAK

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Merci d'être toujours là pour moi.

À tous mes amis et collègues,

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

AMROUCHE MOHAND AMEZIANE.

REMÈRCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadreur **Mr. SAHOUI HAMZA**, pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

RESUME

Le présent projet consiste essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire voie unique (Ain Beida / Khenchela) (Du pk 00+530) au pk (19+575) Avec L'aménagement de la gare Ain Beida avec laménagement de la gare de FKIRNA.

L'identification des caractéristiques techniques les plus appropriées pour la ligne ferroviaire projetée sera basée sur les recommandations ainsi que les pratiques qui sont suivies par la SNTF (Société nationale des transports ferroviaires) et les autres systèmes ferroviaires plus développés normes UIC (union international de chemin de fer), la modélisation géométrique du projet a été exécutée sous logiciel COVADIS.

Summary

This project is mainly to study detailed design (ODA) of a section of the new railway line AIN BAIDA -KHNECHLA (section 20 km), with development of the station FKIRNA.

The identification of the most appropriate specifications for the proposed railway line will be based on the recommendations and practices which are followed by SNTF (National Railway Transport Company) and other more developed rail systems UIC standards (International Federation of Railways), geometric modeling of the project was carried out under COVADIS software.

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	02
----------------------------	----

Chapitre I Etude bibliographique sur le chemin de fer

I.1 Introduction	04
I.2 Historique des chemins de fer	05
I.3 Historique des chemins de fer en Algérie	06
I.4 Historique des chemins de fer Aïn Beïda à Khenchela.....	08
I.5 Union internationale des chemins de fer	09
I.5.1 Présentation	10
I.5.2 mission de l'uic.....	10
I.5.3 Classification des lignes d'UIC.....	10
I.6 Avantages des chemins de fer	11
I.7 Réseaux ferroviaire National.....	12
I.8 Conclusion.....	15

Chapitre II Présentation du Projet

II.1 Introduction	17
II.2 Présentation de la vile de djelfa	17
II.2.1 Histoire.....	17
II.2.2 Situation démographique	17

II.2.3 Situation géorgique	17
II.3 Présentation du projet	18
II.4 Objectifs du projet.....	20
II.5 Données du projet.....	20
II.6 Conclusion.....	21

Chapitre III Tracé en plan

III.1 Introduction.....	23
III.2 Conditions et règles et trace.....	23
III.3 Eléments de trace en plan.....	24
III.4 Courbe et conditions de raccordement	25
III.4.1 clothïode	25
III.4.2 conditions de raccordement	25
III.5 le dévers	25
III.5.1 Dévers théorique.....	26
III.5.2 Dévers pratique (normal).....	27
III.5.3 Insuffisance le dévers.....	27
III.5.4 Excès de de dévers.....	27
III.5.5 Coefficient de dévers	28
III.5.6 Longueur minimum éléments de trace	28
III.5.7 Rayon minimum de l'alignement circulaire.....	28
III.5.8 Raccordement de dévers	29
III.5.9 Gauchissement et variation du dévers	30

III.6 Application pour notre projet.....	30
III.7 Conclusion	33

Chapitre IV
Profil en long

IV.1 Introduction.....	35
IV.2 Eléments géométriques du profil en long.....	35
IV.3 Déclivité maximale.....	36
IV.4 Longueur minimale des éléments du profil en long	37
IV.5 Raccordement en profil en long.....	37
IV.6 Coordination profil en long-tracé en plan	38
IV.7 Conclusion	38

Chapitre V
Profil en travers et calcul des cubatures

V.1 Introduction.....	40
V.2 Constituants du profil en travers type.....	40
V.3 Eléments du profil en travers.....	42
V.4 Profil type de notre projet	43
V.5 Calcul des cubatures	44
V.6 Conclusion	45

Chapitre VI
Géologie et géotechniques

VI.1 Introduction.....	47
VI.2 Géologie.....	47
VI.3 géotechniques.....	57

VI.3.1 Programme de la campagne de reconnaissance	57
VI.3.2 Essais en Laboratoire	57
VI.3.3 Interprétation des résultats... ..	66
VI.4 Terrassement.....	67
VI.5 Conclusion	69

Chapitre VII

La superstructure de voie

VII.1 Introduction.....	71
VII.2 Catégories de la voie.....	72
VII.3 Caractéristique de notre voie.....	72
VII.4 Rails.....	73
VII.4.1 Description	73
VII.4.2 Type de rail.....	73
VII.4.3 Fabrication du rail	76
VII.4.4 Inclinaison du rail.....	76
VII.4.5 Ecartement des rails	77
VII.4.6 Défaut des rails.....	77
VII.5 Longs rails soudés (LRS)	78
VII.5.1 Soudage par forgeage électrique.....	78
VII.5.2 Soudage aluminothermique.....	79
VII.5.3 Avantages et inconvénients des LRS... ..	80
VII.6 traverse	81
VII.6.1 Rôle des traverses.....	83

VII.7 Système d'attache.....	84
VII.7.2 rôle d'attache	84
VII.8 Les appareils de voie	85
VII.8.1 Description	85
VII.8.2 Éléments constitutifs d'un appareil de voie	86
VII.9 Conclusion.....	88

Chapitre VIII **Couches d'assises**

VIII.1 Introduction.....	90
VIII.2 Différentes couches d'assises	90
VIII.2.1 Couche de ballast	90
VIII.2.1.1 Caractéristique du ballast.....	91
VIII.2.2 La sous-couche.....	92
VIII.2.2.1 Rôles de la sous-couche sont multiples.....	93
VIII.2.2.2 Constitution de la sous couche.....	93
VIII.3 dimensionnement des couches d'assises.....	94
VIII.3.1 Classification de la plate-forme	95
VIII.3.1.1 Classe de qualité du sol selon L'UIC (fiche UIC 719R)	95
VIII.3.1.2 Classes de portance de plateforme.....	96
VIII.3.2 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise.....	96
VIII.3.2.1 Paramètres de dimensionnement : E, a, b, c, d, f, g	97
VIII.4 Application au projet.....	99
VIII.5 Conclusion	100

Chapitre IX
Les ouvrages d'Art et les ouvrages hydrauliques

IX.1 Introduction.....	102
IX.2 Influence sur le choix du type d'ouvrage.....	102
IX.3 Croisement avec une route.....	103
IX.4 Définition et catégories des ponts	103
IX.5 Ouvrages d'art de notre projet	104
IX.6 Ouvrages hydrauliques	104
IX.7 Drainage longitudinal.....	105
IX.8 Ouvrages de transport de gaz.....	109
IX.9 Conclusion	110

Chapitre X
La signalisation ferroviaire

X.1 Introduction.....	112
X.2 Importance des signaux	113
X.3 composantes de la signalisation	113
X.4 Signaux d'arrêt et Signaux à distance	117
X.5 Signalisation classique ou latéral.....	117
X.6 Signalisation en cabine	118
X.7 Genre et étalon de signalisation	120
X.8 Les différentes marches des trains	123
X.9 Implantation des signaux	124
X.10 Visibilité des signaux	124

X.11 Description de la ligne projetée	125
X.12 Etat de système de signalisation	125
X.13 Description de système de signalisation	126
X.14 Architecture de la ligne projeté.....	127
X.15 Conclusion	130

Chapitre XI

Amenagement de la gare

XI.1 Introduction	132
XI.2 Types de gares.....	132
XI.3 Etude du plan de masse d'une gare	133
XI.4 Conditions de conception des gares.....	133
XI.5 Aménagement de la gare... ..	134
XI.6 Longueur utile d'une voie de stationnement.....	135
XI.7 Caractéristiques géométriques des gares.....	135
XI.8 Assainissement dans les gares.....	137
XI.9 Devis quantitative et estimative	142
XI.10 Conclusion.....	142
Conclusion générale	144
References bibliographies	146
Annexe.....	149.

N° de la figure	Désignations des figures	N° de page
Fig I-1	Les infrastructures de transport ferroviaire	04
Fig I-2	Histoire de chemin de fer	05
Fig I-3	Réseau ferroviaire algérien pour la période postindépendance	06
Fig I-4	Chemin de fer en Algérie	08
Fig I-5	Logo de l'union internationale des chemins de fer	09
Fig I-6	Réseau ferroviaire National	14
Fig II-1	situation géographique	18
Fig II-2	Localisation de notre projet	19
Fig II-3	Le tronçon de notre projet	19
Fig III-1	Eléments du tracé en plan	24
Fig III-2	le dévers théorique	26
Fig III-3	Raccordement de dévers	30
Fig IV-1	Eléments géométriques du profil en long	36
Fig IV-2	Déclivités maximales admissibles (Source référentielSNTF)	36
Fig IV-3	Schéma du raccordement circulaire	37
Fig V-1	Exemple profil en travers type	41
Fig V-2	la voie	42
Fig V-3	profil en travers types d'une voie unique	45
Fig VI-1	Zones de sismicité (carré rouge/verte : tracé)	48
Fig VII-1	Rail a patin (Vignole)	74
Fig VII-2	Rail à gorge	74
Fig VII-3	Rail DC (double)	74
Fig VII-4	le rail UIC 60 E1	74
Fig VII-5	La géométrie du rail UIC 60 E1	76
Fig VII-6	Inclinaison du rail	77
Fig VII-7	L'écartement entre les rails	77
Fig VII-8	photo d'une barre soudée	78
Fig VII-9	Travers en bois	81
Fig VII-10	Travers en Bi bloc	81
Fig VII-11	Éléments du Travers en béton bi-blocs	82
Fig VII-12	Caractéristiques de la traverse en béton bi-bloc	82

Fig VII-13	Travers en Monobloc	82
Fig VII-14	Travers métalliques	83
Fig VII-15	attaches de type Nabla	84
Fig VII-16	attaches de type vossloh	84
Fig VII-17	Les éléments d'une attache de type Nabla	85
Fig VII-18	Les différents appareils de voie	86
Fig VII-19	Un branchement et ces éléments constitutifs	87
Fig VIII-1	les différentes couches d'assises	90
Fig VIII-2	Schéma montre l'épaisseur (e)	97
Fig VIII-3	Les couches de corps d'assise	100
Fig X-1	signaux ferroviaire	112
Fig X-2	Signaux à main de manœuvre	117
Fig X-3	signal d'arrêt à main	117
Fig X-4	Signal à main de départ	118
Fig X-5	Jalon à damier bleu et blanc	118
Fig X-6	Le block Manuel (BM)	122
Fig X-7	Le block automatique lumineux (BAL)	122
Fig X-8	Le block automatique à permissivité restreinte (BAPR)	123
Fig X-9	PRINCIPE DU SMA1	127
Fig XI-01	Équipement de la gare à voyageurs	134
Fig XI-02	Schématisation de la marge de glissement	136
Fig XI-3	garage franc	137
Fig XI-4	longueur utile	138

N° du Tableau	Désignation du Tableau	N° de page
TAB III-1	longueur minimal à respecter (source fiche SNTF Géométrie)	28
TAB III-2	Valeurs standards des paramètres cinématiques	31
TAB III-3	Calcul récapitulatif des éléments géométriques	33
TAB IV-1	Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF)	37
TAB IV-2	valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter	38
TAB V-1	Les Valeurs des déblais et remblais	45
TAB VI-1	classe de des zones sismiques	49
TAB VI-2	Résultats des essais Au niveau de SP 01 AU PK 8+120	59
TAB VI-3	Résultats des essais Au niveau de SP 02 AU PK 10+547	60
TAB VI-4	Résultats des essais Au niveau de SP 03 AU PK 12+063	60
TAB VI-5	Résultats des essais Au niveau de SP 04 AU PK 13+368	61
TAB VI-6	Résultats des essais Au niveau de SP 05 AU PK 19+122	61
TAB VI-7	Caractéristiques géotechniques d'alluvions	62
TAB VI-8	Caractéristiques géotechniques d'Argile marneuse	63
TAB VI-9	Caractéristiques géotechniques d'Argile tufacée	64
TAB VI-10	Caractéristiques géotechniques de Marne	65
TAB VI-11	Les principales zones de remblai TR1	68
TAB VI-12	L'analyse des mouvements de terre en cette phase APD	69
TAB VII-1	profil UIC 60	75
TAB VII-2	les types de branchement	88
TAB VIII-1	les valeurs du coefficient E selon la plate-forme	97
TAB IX -1	Liste des ouvrages d'art pour notre projet	104
TAB IX -2	Liste des ouvrages Hydraulique de notre projet	106
TAB IX -3	Dimensions des sections de l'assainissement longitudinal pour la ligne ferroviaire	107
TAB X-1	Les Signaux de protection	114
TAB X-2	Les Signaux de cantonnement	115
TAB X-3	Les signaux de limitation de vitesses	116
TAB X-4	Les Signaux de cabine	119
TAB XI-1	La composition des réseaux selon leurs destinations	135
TAB XI-2	Débits d'apports et dimensionnement des drains des Tronçons de la gare F'kirina	141
TAB XI-3	Dimensionnement des collecteurs de la gare F'kirina	141
TAB XI-2	Devis quantitatif et estimatif	142

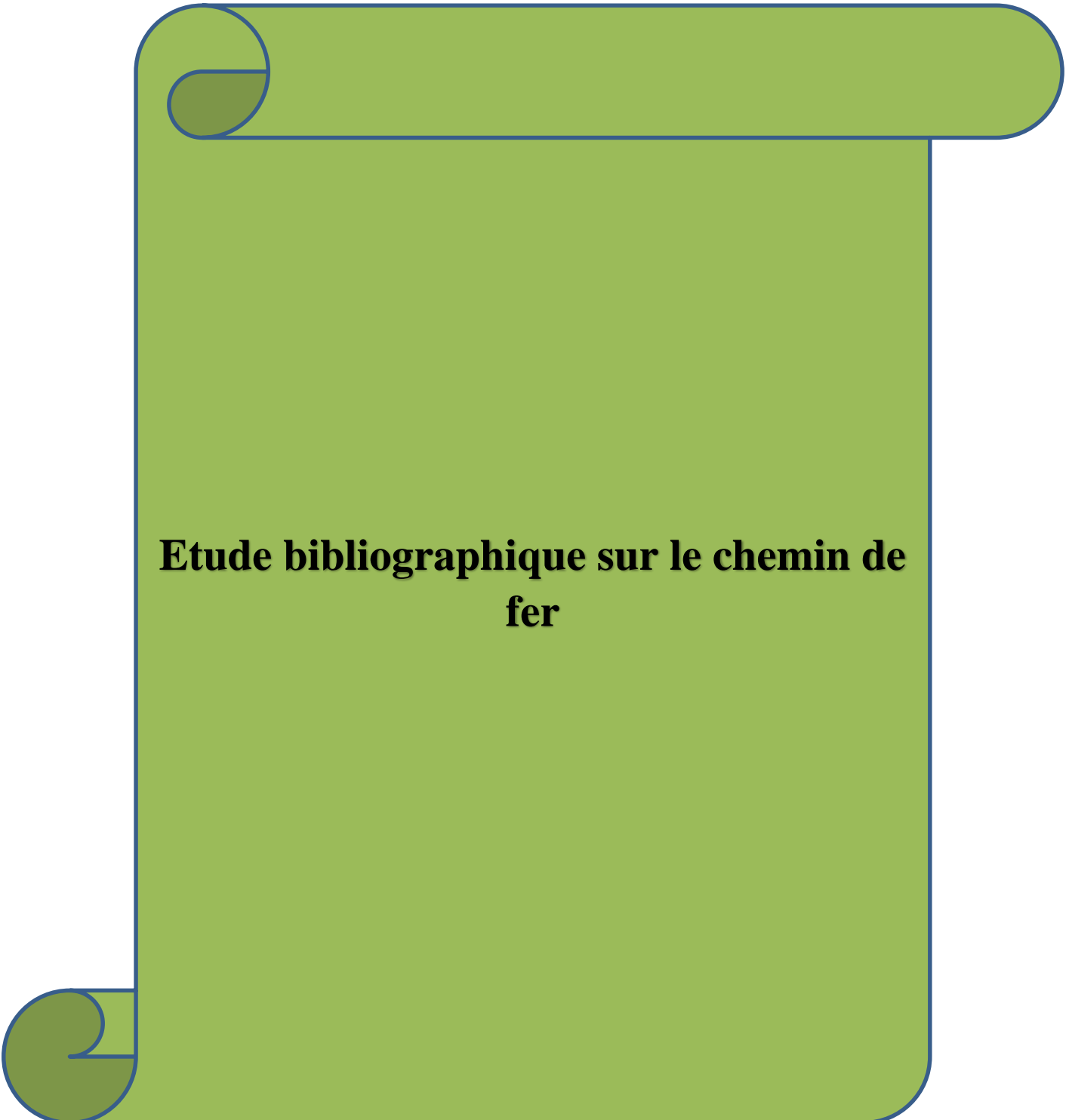


Introduction générale

Introduction générale

Le développement des infrastructures de transports est la pierre angulaire de toute politique d'aménagement du territoire. Cette nouvelle ligne ferroviaire est un projet d'infrastructure majeur qui vise à améliorer les transports ferroviaires dans la région et à renforcer les liens de connectivité entre Oum El Bouaghi, une wilaya de l'est de l'Algérie, et la capitale, Alger, située sur la côte méditerranéenne. L'inauguration de cette voie ferrée représente une étape importante dans le développement des transports en Algérie, offrant un moyen de déplacement plus efficace, durable et rapide entre ces deux régions clés du pays. Elle a le potentiel d'avoir un impact significatif sur la mobilité des personnes et le transport de marchandises, tout en contribuant au développement économique régional. Dans cette introduction, nous explorerons les principaux aspects de ce projet ferroviaire, y compris son importance, ses avantages potentiels et son impact sur la région

Notre travail est intitulé : Etude en APD De La Nouvelle Ligne Ferroviaire voie unique (Ain Beida / Khenchela) (Du pk 00+530 au pk (19+575) Avec L'aménagement de la gare FKIRNA



**Etude bibliographique sur le chemin de
fer**

I.1 Introduction

Le chemin de fer est l'un des moyens de transport les plus emblématiques de l'histoire de l'humanité. Depuis son invention il a révolutionné les déplacements, le commerce et l'industrie dans le monde entier.

L'étude bibliographique que nous présentons se penche sur l'histoire et le développement du chemin de fer, en mettant l'accent sur les ouvrages clés et les travaux de recherche qui ont contribué à notre compréhension de ce système de transport vital

L'infrastructure est composée essentiellement de deux files de rails posés sur des traverses appelée voie ferrées, des appareils de voie, des passages inférieurs et supérieurs, de la signalisation et, le cas échéant des installations de traction électrique (sous-stations, caténares, ...etc.).

Le matériel roulant circule communément en convois, appelé trains ou rames. Les convois sont tractés par des locomotives, ou sont autotractés ; on parlera alors de rame automotrice (électrique) ou d'autorail (diesel).

Le chemin de fer fait appel au roulement acier sur acier, les roues étant munies d'un boudin garantissant le maintien des véhicules sur les rails. Ce système est utilisé aussi par des déclinaisons considérées généralement comme des chemins de fer spécialisé : métros, tramways, chemins de fer à crémaillère.

Enfin, le chemin de fer présente un des moyens de transport les plus fréquentés grâce aux grands avantages qu'il offre ainsi qu'il est considéré comme l'une des bases de la politique de l'aménagement des territoires.



Fig I-1: Les infrastructures de transport ferroviaire

I.2 Historique des chemins de fer

L'histoire du chemin de fer remonte au début du XIXe siècle, lorsque les ingénieurs ont commencé à explorer des moyens de transporter des marchandises et des passagers sur des rails. L'un des premiers systèmes de chemin de fer connus a été mis en place en Grande-Bretagne en 1804, lorsqu'un chariot à vapeur a été utilisé pour transporter du charbon dans une mine.

Au cours des décennies suivantes, les ingénieurs ont perfectionné les systèmes de voies ferrées, les locomotives à vapeur et les wagons pour transporter une grande variété de marchandises et de personnes. En 1829, George Stephenson a construit la locomotive "Rocket", qui est devenue un symbole de la révolution ferroviaire en Grande-Bretagne.

Dans les années 1830, le chemin de fer est devenu un moyen de transport populaire en Europe et en Amérique du Nord, et des réseaux ferroviaires ont été construits pour relier les villes et les industries. Le chemin de fer a révolutionné l'industrie du transport en permettant des déplacements plus rapides et plus économiques des marchandises et des personnes.

Au XXe siècle, la locomotive à vapeur a été remplacée par des locomotives électriques et diesel, et de nouveaux systèmes de contrôle du trafic ferroviaire ont été développés pour améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations ferroviaires.

Aujourd'hui, le chemin de fer est toujours un moyen important de transport pour les marchandises et les passagers à travers le monde. Les trains de marchandises transportent une grande variété de marchandises, notamment des produits chimiques, du pétrole, des aliments et des matériaux de construction. Les trains de passagers transportent des millions de personnes chaque jour dans les villes et entre les villes, offrant un moyen de transport efficace et écologique.

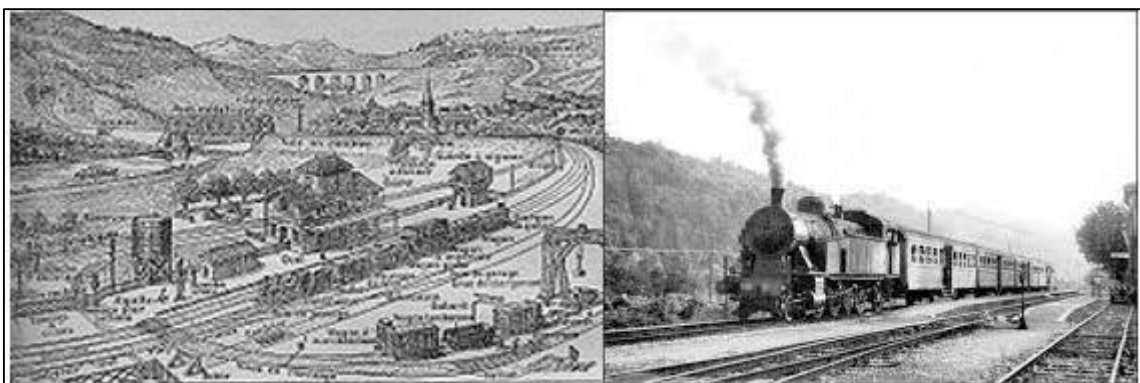


Fig. I-2 : histoire de chemin de fer

I.3 .1. Historique des chemins de fer en Algérie

La réalisation du réseau de chemin de fer algérien s'est faite par étapes successives. Durant la période coloniale, trois programmes ont été initiés par l'administration : le programme de 1857, de 1879 et celui de 1907.

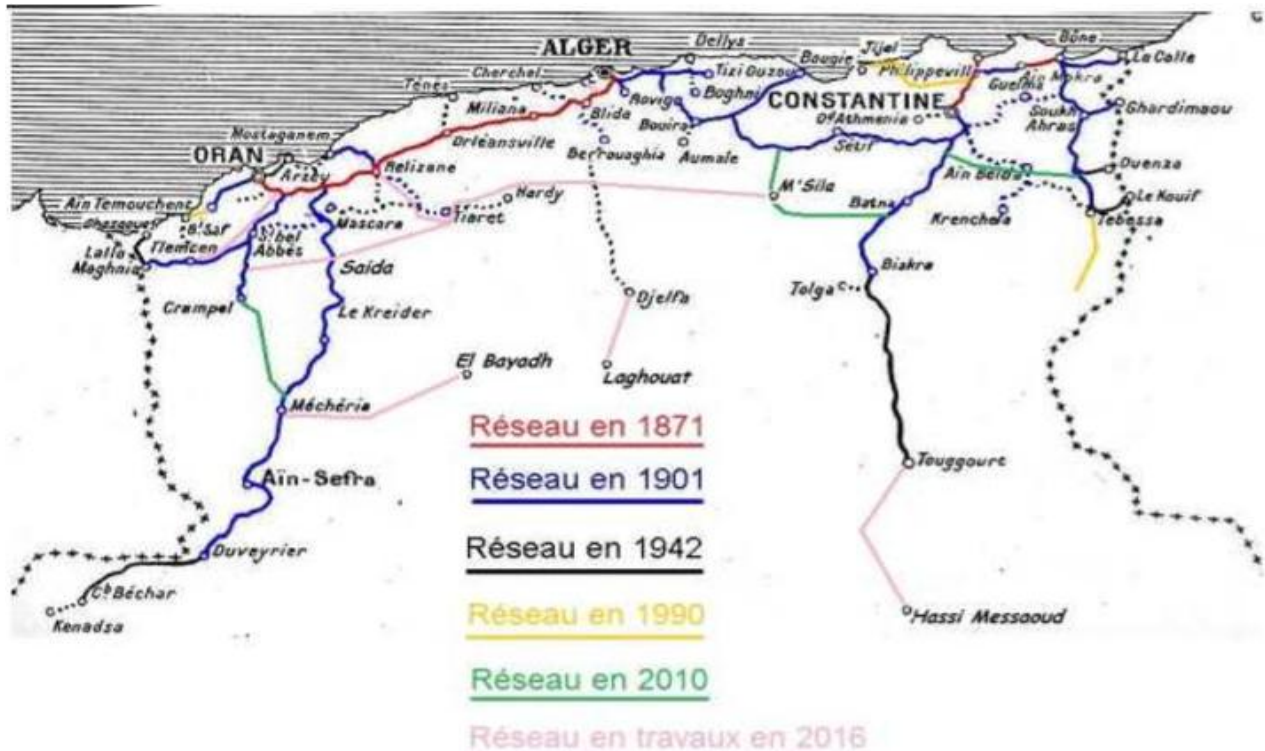


Fig. I-3 : réseau ferroviaire algérien pour la période postindépendance

L'histoire des chemins de fer d'Algérie commença le 8 avril 1857, avec un décret du gouvernement français qui autorisa la construction de 1357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie. Le premier chantier porte sur la construction de la ligne Alger – Blida, La gestion est confiée à la compagnie des chemins de fer algériens.

Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-Denis-du-Sig ainsi que sur liaison avec le port de Philippeville - l'actuelle Skikda- et avec Constantine, mais les problèmes financiers poussèrent la compagnie à interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger, qui fait ouverte le 8 septembre 1862. Cinq d'autres compagnies ont été créées pour construire les lignes restantes : les Compagnies Bône-Guelma (BG), l'Est Algérien (EA), Paris-Lyon- Méditerranée (PLM), l'Ouest Algérien (OA) et Franco-Algérienne.

L'objectif des 1357 km a été atteint et même dépassé avec des tronçons construits représentant 1365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

Le 18 juillet 1879 une nouvelle campagne d'investissement fut lancée à l'échelle nationale pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites "d'intérêt local" est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales. Dans les trente ans qui suivirent, 2 035 km de ligne chemin de fer s'ajoutèrent au réseau, constituant ainsi l'armature du présent réseau ferroviaire algérien.

En 1900 la Compagnie franco-Algérienne, endettée, perd sa concession ; le même sort touche la compagnie Bône-Guelma en 1905 puis celle de l'Est Algérien en 1908.

À partir du 1912 les réseaux des compagnies en faillite passèrent sous le contrôle de la compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'État (CFAE), qui s'appuya sur la compagnie survivante, la filiale algérienne de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée la PLMA.

Le 1 Juillet 1921 les lignes existantes sont réparties entre les compagnies CFAE et PLMA : ce partage dura jusqu'au 30 mai 1938, date à laquelle les lignes "d'intérêt général" des deux compagnies sont nationalisées et rattachées à la SNCF. La gestion des lignes algériennes a été alors confiée à compter du 1 janvier 1939 à l'office des Chemins de fer Algériens (OCFA).

A la fin de la deuxième guerre mondiale, le réseau ferroviaire algérien s'étend sur 5015 km.

Le 30 juin 1959, l'État français et l'OCFA signèrent une convention créant la compagnie des chemins de fer Français en Algérie (CCFA) qui devint en 1963 la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens).

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

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

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

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

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

En 2005, (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 ouverts (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.



Fig. I-4 : chemin de fer en Algérie

- **Le Trafic ferroviaire Algérienne**

Le chemin de fer qui assurait en 1970 près de 30% du trafic national de voyageurs et de Marchandises a vu sa part relative du marché, réduite actuellement à seulement 12.3 % du Trafic marchandises et 16.2% du trafic voyageurs.

Au lendemain de l'indépendance, le Réseau ferroviaire de l'Algérie est passé à 3900 km. Ce réseau est jugé long et très Important à cette époque. Néanmoins, il a subi, au fil des ans, des détériorations et des dégradations dues essentiellement à la négligence et au Manque d'entretien. Par la suite, il S'est avéré qu'il était dépassé et ne répondait pas aux exigences du pays vu la croissance Démographique et les autres défis le trafic ferroviaire total représenter à l'année 2017 par un trafic des voyageurs se voit dans les grandes lignes par un pourcentage de 55.66 % et 44.34 % de trafic commercial ferroviaire (marchandise).

I.4 Historique des chemins de fer d'Ain Beïda à Khenchela

La ligne de chemin de fer d'intérêt local à voie métrique reliant Aïn Beïda à Khenchela a été construite dans le cadre du développement du réseau ferroviaire en Algérie pendant la période coloniale française. Cette ligne, qui s'étendait sur environ 55 km, a été inaugurée en 1910 et reliait la ville d'Ain Beïda à Khenchela, dans la région montagneuse de l'Atlas Saharien.

La ligne était exploitée par la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE), qui était chargée de la construction et de l'exploitation du réseau ferroviaire en Algérie à l'époque coloniale.

Au fil des ans, la ligne a été modernisée et améliorée pour répondre aux besoins de transport locaux, notamment pour le transport de produits agricoles et miniers dans la région. Cependant, comme beaucoup de lignes de

chemin de fer en Algérie, la ligne d'Aïn Beïda à Khenchela a subi des dommages pendant la guerre d'indépendance algérienne dans les années 1950 et 1960.

Aujourd'hui, le réseau ferroviaire algérien continue d'être modernisé et étendu pour répondre aux besoins de transport de la population.

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

L'idée de créer une organisation internationale regroupant les compagnies ferroviaires est née dans le cadre de la Conférence de Portorose tenue en Italie, le 23 novembre 1921, puis de la Conférence internationale de Gênes du 3 mai 1922. Les représentants des Etats ont décidé "la création d'une Conférence permanente des administrations ferroviaires pour l'unification et l'amélioration des conditions d'établissement et d'exploitation des Chemins de fer en vue du trafic international".

La Conférence internationale constitutive de l'UIC s'est tenue le 17 octobre 1922 à Paris. L'UIC compte au moment de sa création 51 réseaux et compagnies ferroviaires de 29 pays, dont le Japon et la Chine, rejoints peu après par les Chemins de fer de l'URSS, du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord.



Fig. I-5 : logo de l'union internationale des chemins de fer

I.5.1 Présentation

□ Membres de l'UIC :

L'U.I.C est une organisation Internationale qui compte :

- **81 membres actifs** : dont les Chemins de fer d'Europe, de Russie, du Proche-Orient, du Maghreb, de l'Afrique du Sud, de l'Inde, du Pakistan, de la Chine, du Japon, de la Corée, du Kazakhstan, et de compagnies a rayonnement mondial telles que Veolia Transport.

- **79 membres associés** : comprenant des Chemins de fer d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Australie.
- **34 membres affiliés** : exerçant des activités connexes ou complémentaires au transport ferroviaire.

I.5.2 Mission de l'U.I.C

Promouvoir le transport ferroviaire à l'échelle mondiale et relever les défis de la mobilité et du développement durable.

□ Objectifs principaux de l'U.I.C :

- Faciliter les échanges de bonnes pratiques entre les membres benchmarking.
- Soutenir les membres dans leurs efforts de développement de nouvelles activités ou denouveaux champs d'activités.
- Proposer de nouvelles pistes d'amélioration des performances techniques environnementales.
- Promouvoir l'interopérabilité, créer de nouveaux standards mondiaux pour les Chemins de fer (y compris standards communs a plusieurs modes de transport).
- Développer des centres d'excellence (technologie et recherche ferroviaire, management, formation etc.

I.5.3 Classification des lignes d'UIC

Union International des Chemins de fer (UIC) a établi une classification des lignes en fonction des charges de trafic supportées par ainsi que du type de trafic.

Le groupe UIC 1 correspond à des lignes très chargées et, à l'opposé, le groupe UIC 9 correspond à des lignes très faiblement chargées.

Ainsi que les grandes lignes du réseau ferré appartiennent en principaux :

- **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.

I.6 Avantages des chemins de fer

La répartition du trafic entre les différents modes de transport résulte des décisions prises par les usagers des transports, lesquelles dépendent des avantages que supposent les différentes solutions possibles, ainsi que l'investissement de l'état dans les chemins de fer est bien justifiable vu les bienfaits de la voie ferrée qui peuvent se résumer comme suit :

- Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles) et peut même concurrencer l'avion vu les grandes Vitesses atteintes par le TGV.
- il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures.
- Le moins couteux parmi tous les autres moyens de transport.
 - Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire.
- Sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route.
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires.
- gain de temps, confort et sécurité.
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

Ces raisons expliquent la préférence des usagers de se déplacer par chemins de fer, ce qui a poussé les gouvernements à investir dans ce mode de transport qui représente dans nos jours un facteur important dans la mesure du développement d'un pays.

D'autre part, sa consommation économique et sa préservation de la nature lui confère le mérite d'être le meilleur système de transport du siècle.

- **Les bienfaits de la voie ferrée**

les bienfaits de la voie ferrée qui peuvent se résumer comme suit:

- Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles) et peut même concurrencer l'avion vu les grandes Vitesses atteintes par le TGV.
- il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures.

- Le moins couteux parmi tous les autres moyens de transport.
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire.
- Sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route.
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires.
- gain de temps, confort et sécurité.
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier).

Ces raisons expliquent la préférence des usagers de se déplacer par chemins de fer, ce qui a poussé les gouvernements à investir dans ce mode de transport qui représente dans nos jours un facteur important dans la mesure du développement d'un pays.

D'autre part, sa consommation économique et sa préservation de la nature lui confère le mérite d'être le meilleur système de transport du siècle.

I.7 Réseau ferroviaire National

Le réseau ferré Algérien a connu beaucoup d'étapes depuis sa naissance jusqu'à Aujourd'hui.

❖ Architecture Générale du reseau actual

La SNTF exploite aujourd'hui un réseau ferroviaire de 4016.25 km avec les caractéristiques Suivantes :

- Longueur totale des lignes du réseau ferroviaire algérien s'élève à 4016.25 Km
- Longueur des lignes en exploitation 4016.25 km (2017)
- Longueur des lignes en double voies : 520.44 km (2015)
- Longueur des lignes en voie unique 3 701.94 km (2015)
- Longueur des lignes électrifiées : 466.38 km. (2017)
- Longueur des lignes pour voie étroite : 164.5 km (2015).

Le réseau comporte en outre 3000 ouvrages d'art, 120 tunnels et 200 gares ouvertes au trafic marchandises et voyageurs et de 200 embranchements, raccordant les unités et zones industrielles et les principaux ports.

- Le Parc Matériel Roulant et les Centres de Maintenance
- La SNTF dispose d'un parc compose de 152 locomotives diesel électriques de ligne à voie normale pour le service fret avec une moyenne d'Age de trente-trois ans
- 39 locomotives diesel électriques de ligne à voie normale pour le service voyageur avec une moyenne d'âge de onze ans
- 14 locomotives électriques de ligne à voie normale avec une moyenne d'Age de dix-sept ans

- 22 locomotives de manœuvre avec une moyenne d'âge de vingt-sept ans
- 23 locotracteurs avec une moyenne d'âge de treize ans
- 25 locomotives diesel électriques à voie métrique avec une moyenne d'âge de trente-trois ans
- 17 automotrices diesel hydrauliques à voie normale acquises en 2008- 2009
- 64 automotrices électriques à voie normale pour la banlieue d'Alger acquises en 2008 et en 2010
- 424 voitures dont 227 destinées au service transport de voyageurs grandes lignes sur voie normale avec une moyenne d'âge de trente-trois ans
- 11 510 wagons dont 4 016 wagons spécialisés en minéraliers, phosphates, céréaliers et citernes, L'âge moyen du parc remorqué à marchandises est de trente-quatre ans.

La SNTF dispose de plusieurs centres pour la maintenance du matériel roulant :

- Base principale de maintenance des locomotives de Rouïba
- Atelier de maintenance ferroviaire de Sidi Bel Abbes, de Mohammadia et de Sidi Mabrouk à Constantine
- Atelier de maintenance, de remisage et de nettoyage des automotrices électriques du Caroubier.

Mises en service en 2011, les installations de Caroubier prennent en charge toutes les activités de maintenance et d'entretien du parc automoteur électrique avec une capacité de traitement de cent vingt rames automotrices :

Centre de maintenance intégrée de Mecheria. Il a été transféré de l'ANESRIF à la SNTF le 12 août 2013. Ce centre est chargé de la maintenance du matériel moteur et remorqué.

□ **Les grands axes du plan de modernisation du rail en ALGERIE :**

- Modernisation des lignes existante : 855 Km.
- Doublement de voie : 430 Km.
- Autre ligne : 1120 Km.
- Ligne des hauts plateaux : 600 Km.
- Boucle du sud : 800 Km.
- Autre ligne en cours de réalisation : 828 Km.
- Lignes projetées : 1400 Km.

❖ Réseau de la rocade :

La future ligne s'étendra sur 600 km et sera portée ensuite à environ un millier de Kilomètres, elle comprendra les lignes suivantes :

- Ain Touta (Aurès)-Moulay Slissen (Sidi Bel Abbès) en passant par M'Sila, Boughzoul, Tiaret et Saida.
- Electrification de la ligne Ain M'Lila -Tébessa et M'Sila Bordj Bou Arréridj.
- Electrification de la ligne Tiaret - Relizane et Saida - Mouhammadia.
- Création de la ligne M'Sila Boughzoul sur plus de 100 km.
- Création de la ligne Boughzoul - Tessemssilt - Tiaret - Saida, sur plus de 300 km.
- Création de la ligne Saida Moulay Slissen, sur 120 km.
- Création de la ligne Mecheria - El Bayadh, sur 170km.
- Création de la ligne Ain Beida - Khenchela, sur 50 km.
- Création de la ligne Djelfa - Laghouat, sur 150 km.
- Amélioration du tracé Boucheougouf - Dreaan - Tébessa, long de 100 km.
- Amélioration et rectification du tracé de ligne minière entre Ouenza Tuilerie et Tébessa.
- Rénovation de la ligne minière Annaba - Tebessa - Djebel Onk.



Fig I-6: Réseau ferroviaire National

I.8 Conclusion

En Algérie, Le rail marque une négligence regrettable et complètement oublié jusqu' aux années 80 où il a été un peu redynamisé avec la création de 303 km de lignes nouvelles et le renouvellement de la voie et du ballast sur 800 km.

Après la crise sécuritaire algérienne, le rail a connu une période de stagnation et d'ignorance ce qui a détérioré l'état des infrastructures ferroviaires et du matériel roulant, à partir de l'an 2000, le réseau Algérien a connu l'électrification de 340 km et la réalisation de 500 km de lignes nouvelles.

Aujourd'hui, le secteur ferroviaire connaît une véritable relance, une importante enveloppe allouée au secteur dans le cadre du programme de modernisation de l'infrastructure ferroviaire, une nécessité absolue, compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante, la mise en service d'un réseau moderne aura pour effet de réduire les temps de parcours des trains, et de désenclaver un certain nombre de régions du pays en les reliant au réseau ferroviaire national existant.

Enfin, il s'agit de rénover l'ensemble des voies existantes, procéder à leur dédoublement, électrifier la rocade nord et acquérir de nouveaux équipements en matériel roulant, pour la signalisation ainsi que pour les télécommunications.



Presentation du Projet

II.1 Introduction

Le principal projet structurant est le lancement d'une nouvelle ligne ferroviaire étude de la desserte ferroviaire Ain Beida (wilaya Oum El Bouaghi) / Khenchela dans un rayon de 52 km en ligne droite. La ligne nouvelle Ain Beida - Khenchela a été conçue pour trafic mixte, c'est-à-dire pour trafic voyageurs et trafic marchandises. C'est pourquoi il est nécessaire de considérer pour les paramètres de tracé les deux natures de trafic avec leurs vitesses maximales. La ligne a été tracée pour les vitesses maximales suivantes :

- vitesse maximale trains voyageurs 160 km/h
- trafic marchandises en plaine et en zone montagneuse : 100 km/h

II.2 Présentation de la zone d'étude d'Ain Beida - F'krina

Ce tronçon est situé dans la Wilaya Oum El Bouaghi. Il débute au niveau de la gare d'Ain Beida (altitude de 963 m) et se termine à l'entrée de M'Toussa (altitude de 853 m). Gare d'Ain Beida existante au PK (00+530) (avec raccordement à la ligne Tebessa –M'Lila) Gare intermédiaire de F'krina à construire au PK (19+575)

II.2.1 Histoire

L'histoire de la wilaya d'oum El Bouaghi remonte à de nombreuses années, car elle frappe profondément les racines des époques et des temps primitifs de sorte que la présence humaine en son sein remonte à 8000 ans avant je les antiquités découvertes dans cet état en témoignent de cette période.

II.2.2 Situation démographique

La wilaya d'Oum El Bouaghi, surnommée aussi wilaya de la montagne "Sidi Rghis" , est située à l'est du pays, avec une superficie Totale de 6 287 Km², elle englobe 12 Daïra et 29 Commune et compte une population de 700000Habitants.

II.2.3 Situation géographique

La wilaya d'Oum El Bouaghi est située au nord-est de l'Algérie Figure II-1. La wilaya est issue du découpage administratif de 1974, autrefois elle dépendait de la wilaya de Constantine.



Figure II-1 : situation géographique du projet

II.3 Présentation du projet

Cette ligne nouvelle à voie unique est conçue pour une vitesse maximale de 160 km/h, les caractéristiques géométriques et techniques pour les études d'exécution seront basées sur les caractéristiques fondamentales mentionnées ci-après les paramètres non précisés seront déduits des recommandations UIC et des pratiques de la S.N.T.F

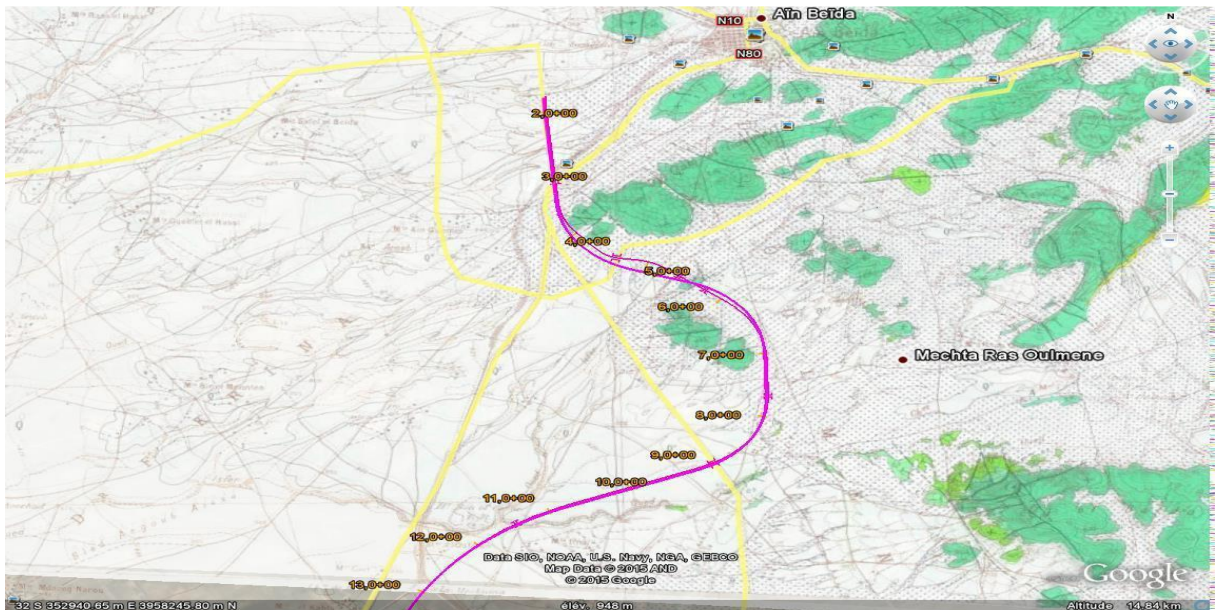


Figure II-2 : Localisation de notre projet



Figure II-3 : Le tronçon de notre projet

II.4 Objectifs du projet

- Relier ces villes au réseau ferré
- Répondre aux besoins de transports sur le plan voyageurs
- La redynamisation du secteur BTPH lors des travaux
- Un gain de temps de transport et une amélioration de la sécurité
- La valorisation et l'optimisation de toutes les potentialités
- L'ouverture des régions les unes aux autres

II.5 Données du projet

□ Caractéristiques générales : (source rapport du projet)

Longueur de section Ain Beida – Khenchela 52 km

- Caractéristiques géométriques selon les standards UIC
- Ligne à voie unique posée sur plate-forme une voie
- pont-rail et pont-route prévus pour double voie
- Trafic mixte voyageurs et marchandises
- Traction électrique
- Ligne sans passages à niveau
- Ligne clôturée de bout en bout

II.6 Choix de catégorie de trafic

La ligne est de trafic mixte avec vitesse de trafic de voyageurs de 160 km/h, donc la ligne est classée dans la deuxième catégorie (**II**) selon les normes UIC (703 R).

Tableau. II. 1 .Catégories de trafic UIC (703 R) [2]

Catégorie I	Lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieurs à 80km/h Et au plus égales à 120 km/h.
Catégorie II	Lignes à trafic mixte, avec vitesses des trains de voyageurs supérieurs à 120 km/h Et au plus égales à 200 km/h.
Catégorie III	Ligne à trafic mixte et vitesses projetées des trains de voyageurs pouvant atteindre 250 km/h. sont données les valeurs utilisées sur les lignes nouvelles des FS et de la DB. Les vitesses maximales sont provisoirement limitées à 200 km/h.
Catégorie IV	Lignes à trafic de voyageurs exclusivement, avec vitesses supérieures à 250 km/h Et pouvant atteindre 30 km/h .sont données les valeurs utilisées sur les lignes TGV de la SNTF.

II.7 Conclusion

Ce projet répondra aux objectifs économiques et aux besoins sociaux de la région, résoudra les problèmes de transport des personnes et En conclusion, le lancement de la nouvelle ligne ferroviaire dépendant d'Ain Beida à Khenchela dans un rayon de 52 km en ligne droite constitue une étape significative pour le développement des infrastructures de transport dans la région. Cette ligne a été minutieusement accélérée pour prendre en compte les différentes natures de trafic, à savoir le transport de passagers et de marchandises. En offrant des vitesses maximales de 160 km/h pour les trains de voyageurs et de 100 km/h pour les trains de marchandises, cette ligne permettra une circulation fluide et efficace, favorisant ainsi les échanges commerciaux et l'accessibilité des zones montagneuses. Ce projet structurant s'inscrit dans une vision globale de modernisation des réseaux de transport et contribue au développement économique et social de la région



TRACE EN PLAN

III.1 Introduction

Le tracé en plan est une représentation graphique du tracé d'une voie ferrée, vu d'en haut, sur un plan horizontal. Il montre la position de la voie ferrée par rapport aux éléments du paysage, tels que les montagnes, les rivières, les routes, les villes et les villages.

Le tracé en plan comprend une série d'alignements droits et de courbes, qui sont conçus pour permettre à un train de circuler en toute sécurité et efficacité. Les courbes sont généralement de rayon fixe et sont reliées entre elles par des courbes de transition, également appelées courbes de raccordement progressif. Ces courbes de transition permettent aux trains de passer en douceur d'un alignement droit à une courbe, et inversement, sans subir de forces latérales excessives.

Le tracé en plan est un élément clé de la conception d'une voie ferrée, car il peut influencer la vitesse maximale des trains, la capacité de la ligne et la sécurité de l'ensemble du système ferroviaire. La construction et l'entretien de la voie ferrée, y compris le tracé en plan, sont réglementés par des normes et des réglementations spécifiques, pour assurer la sécurité et la fiabilité du système de transport ferroviaire.

III.2 Conditions et règles de trace

Le tracé en plan doit assurer un confort technique et un coût économique, et pour atteindre cet objectif, on doit respecter les conditions et les considérations suivantes :

- ✓ Les rayons de courbure des courbes doivent être suffisamment grands pour permettre aux trains de passer sans subir de forces latérales excessives.
- ✓ Les pentes des voies doivent être suffisamment douces pour permettre aux trains de gravir des côtes sans perdre de vitesse, et de descendre des pentes sans subir de forces excessives de freinage
- ✓ Les obstacles naturels tels que les montagnes, les rivières et les vallées doivent être évités ou traversés.
- ✓ Les passages à niveau doivent être évités lorsque cela est possible.
- ✓ Les zones urbaines doivent être contournées autant que possible, ou traversées en toute sécurité en utilisant des ponts et des tunnels.
- ✓ Les voies de débordement doivent être prévues aux stations et aux gares pour permettre aux trains de se croiser sans entrave.
- ✓ La stabilité des sols : les sols doivent être suffisamment stables pour soutenir les rails et les trains, et pour résister aux forces générées par les trains circulant à grande vitesse.

III.3 Eléments de trace en plan

- ✓ Les alignements droits : ce sont des tronçons de voie ferrée qui sont parfaitement droits, sans courbes. Ils sont utilisés pour relier les courbes entre elles, ou pour traverser des zones planes ou peu accidentées.
- ✓ Les courbes : ce sont des tronçons de voie ferrée qui sont courbes, généralement pour contourner des obstacles naturels tels que des montagnes, ou pour suivre le relief du terrain. Les courbes ont des rayons de courbure spécifiques qui dépendent des caractéristiques de la voie ferrée et des limites imposées par les trains qui circulent sur la voie ferrée.
- ✓ Les courbes de transition : ce sont des courbes spéciales qui permettent de passer en douceur des alignements droits aux courbes et vice versa, sans que les trains subissent de forces excessives.
- ✓ Les intersections : ce sont des endroits où deux ou plusieurs voies ferrées se croisent. Les intersections doivent être conçues de manière à permettre aux trains de passer en toute sécurité sans se heurter.
- ✓ Les aiguillages : ce sont des éléments mobiles de la voie ferrée qui permettent de changer la direction d'un train d'une voie à l'autre. Les aiguillages sont contrôlés par des signaux pour garantir la sécurité des trains et des passagers.
- ✓ Les zones de croisement : ce sont des zones où deux trains circulant dans des directions opposées peuvent se croiser sans entrave. Les zones de croisement sont généralement situées dans les gares ou les stations.
- ✓ Les voies de garage : ce sont des voies de service situées dans les gares ou les stations, qui permettent aux trains de stationner et de se reposer entre les trajets.

En utilisant ces éléments de tracé en plan, les ingénieurs peuvent concevoir des voies ferrées qui répondent aux besoins spécifiques des trains qui circulent sur la voie ferrée, tout en garantissant la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire.

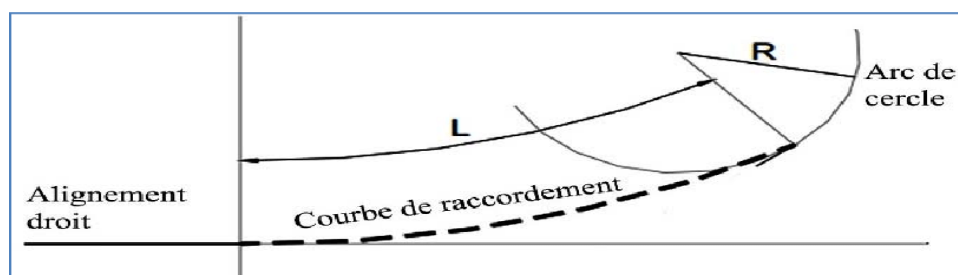


Figure III-1 : Eléments du tracé en plan

III.4 Courbe et conditions de raccordement

III.4.1 Clothoïde

Il existe plusieurs types de courbes de raccordement progressif mais La clothoïde est la plus CRP qui sera appliquée dans le tracé de notre projet pour plusieurs raisons :

- ✓ C'est la CRP idéale en point de vue dynamique.
- ✓ Elle maintient constante la variation de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.
- ✓ Elle satisfait aux exigences d'esthétique et de confort optique.

L'expression mathématique de la clothoïde est, en choisissant pour des raisons d'homogénéité.

$$A^2 = L_{RP} \cdot R$$

A : Paramètre de la clothoïde. **L_{RP}** : Longueur de clothoïde (m). **R** : Rayon de courbe (m).

Conditions de raccordement

Condition de gauchissement : On doit limiter dans les zones de variation de dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.

Condition de confort optique : C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

Condition de confort dynamique : elle assure la stabilité et le confort dynamique par la progression du dévers et de la courbure.

III.5 Dévers

Le dévers est la pente transversale de la voie ferrée, c'est-à-dire l'inclinaison de la voie latéralement par rapport au plan horizontal. Le dévers permet de compenser la force centrifuge générée par la vitesse et la courbure de la voie.

Le dévers permet de contrebalancer cette force en inclinant la voie vers l'intérieur de la courbe. Le dévers est généralement plus important sur les courbes de grand rayon et diminue sur les courbes de plus petit rayon. Il est exprimé en pourcentage de la distance entre le rail extérieur et le rail intérieur de la courbe.

III.5.1 Dévers théorique

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. Mécaniquement la résultante doit être perpendiculaire à la surface de roulement. Tel que, ces forces sont : la force centrifuge (GA) et le poids du véhicule (GB).

Pour faire équilibrer La composante $GC = \frac{mv^2 \cos \alpha}{R}$ de la force centrifuge qui tend à rejeter le

véhicule vers l'extérieur, nous avons la composante $GH = P \sin \alpha$

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

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

$$\sin \alpha = \tan \alpha = \frac{dth}{e} \quad \text{et} \quad \cos \alpha = 1$$

$$\text{Donc} : \frac{mv^2}{R} = \frac{mgdt^h}{e} \quad \rightarrow \quad d = \frac{ev^2}{gR}$$

$$\rightarrow \quad d = \mathbf{11.8} \frac{v^2}{R} \quad [\text{mm}]$$

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h. (IN0272))

R : Rayon de courbe (m)

V : Vitesse (km/h)

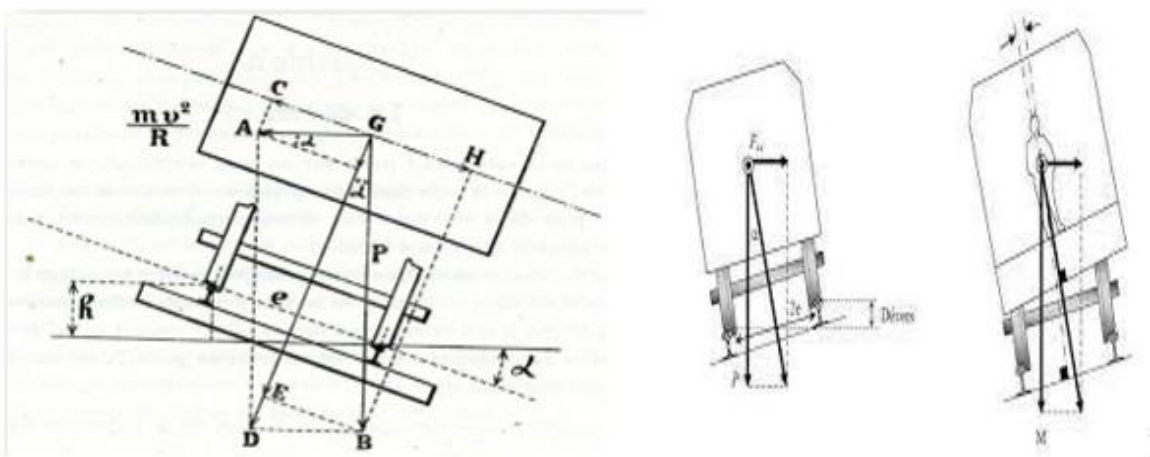


Figure III-2 : le dévers théorique

III.5.2 Dévers pratique (normal)

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

C'est pour cela qu'on prévoit un dévers moyen (dévers normal) qui tient compte des grandes vitesses ainsi que des vitesses réduites. Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

La formule du dévers pratique est : $d_p = \frac{1000 \cdot c}{R}$ [mm] et C : coefficient du dévers.

III.5.3 Insuffisance de dévers

On limite l'accélération non compensée, afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort des voyageurs et un coût raisonnable de l'entretien de la voie. On appelle insuffisance de dévers, la différence entre le dévers théorique des trains rapide et le dévers normal (pratique). Elle est donnée par :

$$I = \frac{11.8 v_{max}^2}{R} - d_p$$

Avec v_{max} : Vitesse des trains de voyageurs (maximale) (km/h)

R : rayon courbe de (m)

III.5.4 Excès de dévers

Lorsque la vitesse d'un train en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers normal.

$$E = d_p - \frac{11.8 v_{min}^2}{R} \text{ [mm]}$$

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

v_{min} : Vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h)

R : rayon courbe de (m)

III.5.5 Coefficient de dévers

Le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers prescrit et lacourbure :

$$c = \frac{R_{min} \cdot D_{Rmin}}{1000}$$

A la création d'une ligne, le respect d'un coefficient de dévers commun à toutes les courbes conduit à avoir un rapport constant entre courbure et insuffisance de devers. La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort.

Le coefficient de dévers est donné par la formule suivante :

$$c = 0.006v^2$$

(SNCF : Conception du tracé de la voie courante $V \leq 220$ km/h. (IN0272))

III.5.6 Longueur minimum des éléments de trace

TAB III-1: longueur minimal à respecter (source fiche SNTF Géométrie)

Valeur limite normale	$\frac{v}{2}$
Valeur limite exceptionnelle	$\frac{v}{3}$

III.5.7 Rayon minimum de l'alignement circulaire

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

Le rayon minimum (normal et exceptionnel), sera défini à partir de l'insuffisance de dévers admissible pour les vitesses maximales et à partir de l'excès de dévers pour les vitesses minimales sans que le dévers maximum ne soit dépassé.

□ **Remarques :**

Le rayon minimum de la courbe devra être déterminé comme suit:

- ✓ Pour la vitesse minimale de circulation des trains (trains lents), l'excès de dévers (E) devra être inférieur à la valeur maximum admissible.
- ✓ Pour la vitesse maximale de circulation des trains (trains rapides), l'insuffisance de dévers (I) devra être inférieure à la valeur maximale admissible.

Donc le rayon minimum doit se traduire par l'équation suivante :

$$\frac{11.8 \times V_{min}^2}{D_{max} - E} \geq R_{min} \geq \frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{rmin} - I}$$

D_{max} : Rayon de courbe (m).

v_{max} : vitesse maximum des trains voyageurs (km/h)

v_{min} : vitesse des trains de marchandises (minimale) (km/h)

I : Valeur admissible d'insuffisance de dévers

E : Excès de dévers (mm)

III.5.8 Raccordement de dévers

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

La longueur de la rampe de dévers est donnée par :

$$dd/dt = [dp \times V_{max} / (3.6 \times L)]$$

N.B : pour notre projet, $dd/dt = 35 \text{ mm/s}$

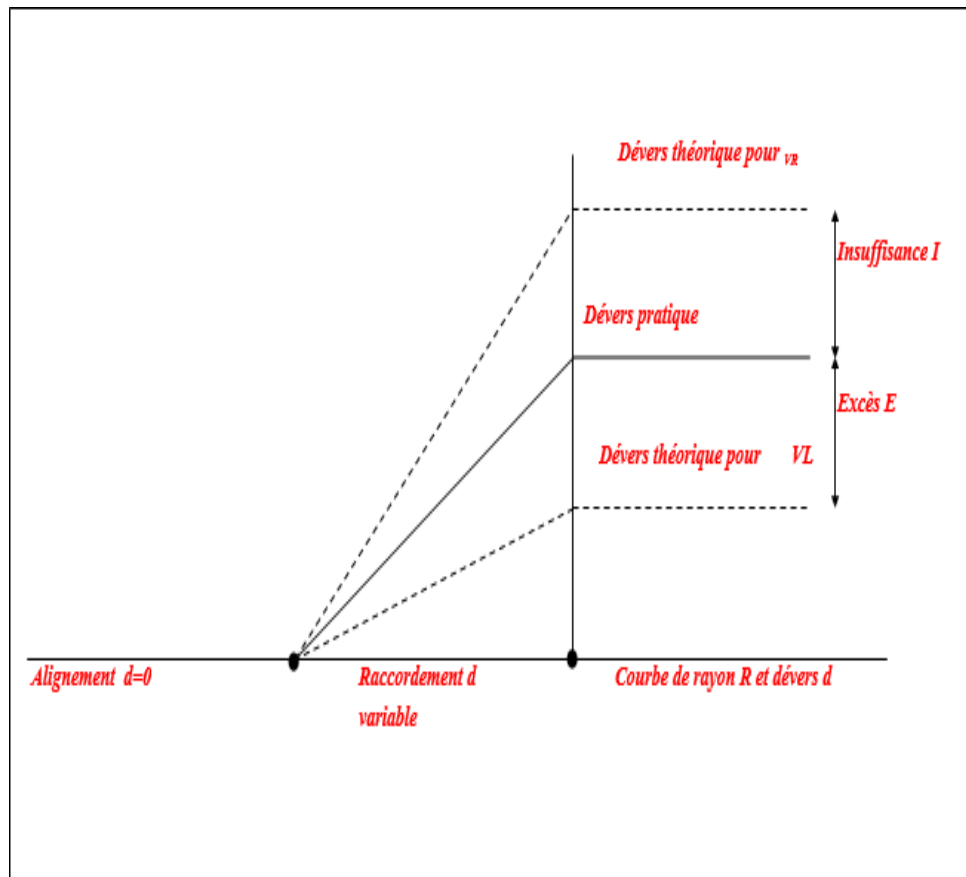


Figure III-3 : Raccordement de dévers

III.5.9 Gauchissement et variation du dévers

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, le problème deviendra très dangereux. Pour régler ce problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur. Le rapport $(\Delta D/\Delta L)$ exprime cette variation en (mm/m).

III.6 Application pour notre projet

Ce chapitre présente les critères de conception du projet et les paramètres géométriques du tracé d'une ligne d'exploration prétendue (Trafic Voyageurs : Vitesse 160 km/h et Marchandises : vitesse 100 km/h) et s'encadrent dans les normes généralement utilisées, notamment les codes UIC.

En conséquence les caractéristiques géométriques et techniques pour cette étude d'APD seront basées sur les caractéristiques fondamentales mentionnées ci-dessus, les paramètres non précisés sur cette dernière seront déduits des recommandations européennes et des pratiques de la S.N.T.F.

De ce fait, nous proposons que dans la phase de projet d'APD, les paramètres géométriques et dynamiques établis dans la Fiche UIC703, SNCF IN0272 et ENV13803 soient considérés.

- ✓ Ligne Ain Beida (wilaya Oum El Bouaghi) / Khenchela (50km) : Voie unique (future double voie).
- ✓ Trafic Voyageurs Grande Ligne et Trafic marchandises.
- ✓ Vitesses : Vitesse Voy d'exploitation de 160 km/h
Vitesse Mar d'exploitation de 80 km/h
- ✓ Longueur utile des quais Grande Ligne : 300m
- ✓ Longueur utile des quais navettes :225m
- ✓ Longueur utile des voies d'évitement :1200m
- ✓ Charge à l'essieu de conception en pleine voie :22.5t
- ✓ Charge à l'essieu de conception pour les ouvrages :25t
- ✓ Ouvrage d'art : Pour double voie
- ❖ **Paramètres géométriques du tracé :**

Les valeurs standards des différents paramètres cinématiques valables pour les lignes mixtes parcourues à 160 km/h sont résumées dans le Tableau 2-3.

Tableau 2-3– Valeurs standards des paramètres cinématiques

Caractéristiques	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Vitesse (Km/h)	160 / 100	/
Dévers maximum(mm)	150 mm	160 mm
Rayon minimum en plan (m)	1118 m	1007 m
Insuffisance de dévers (mm)	120	150
Excès of dévers (mm)	90	110
Taux de variation du dévers (mm/s)	180 / V	216
Taux de variation de l'insuffisance de dévers (mm/s)	35 mm / s	50 mm / s
Longueur minimum des éléments (m)	64 m	32
Rayon de raccordement en profil minimum(m)	8960m	6400 m
Longueurs minimales des pentes et rampes	80 m	64
Déclivité maximum des pentes et rampes en	16‰	16‰
Déclivité maximum des pentes et rampes en gare et évitement	0‰	/

- **détermination du Rayon minimale normale (R_{min}) :** $R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{Dr_{min} + I}$

Application numérique $R_{min} = \frac{11.8 \times 160^2}{150 + 120}$ $R_{min} = 1118.81 \text{ m}$

Calcul de la longueur de la clothoïde (L) : On a: $dd/dt \leq (dd/dt)_{rec}$

Et $dd/dt = [dp \times V_{max} / (3.6 \times L)] [dp \times V_{max} / (3.6 \times L)] \leq (dd/dt)_{rec}$

$L \geq \frac{dp \times V_{max}}{3.6 \times (dd/dt)_{rec}}$ $L \geq \frac{153 \times 160}{3.6 \times 35}$ $L = 194.29 \text{ m}$

- **Calcul du paramètre de clothoïde (A) :**

$A = \sqrt{R \times L}$ $A = \sqrt{1000 \times 194.29}$ Le résultat est : $A = 440.77 \text{ m}$

❖ **Calcul récapitulatif des éléments géométriques :**

Tableau III-3: Calcul récapitulatif des éléments géométrique

Tableau : Valeurs normales des caractéristiques des courbes utilisées									
RC: Raccordement circulaire									
RP: Raccordement Progressif									
N°	Type	V_{max} (km/h)	Rayon (m)	Dévers Pratique (mm)	Clothoïde L(m)	I (mm)	dd/dI Vd=d/L	dd/dt dd=d*V/3,6*L	dd/dI dI=I*V/3,6*L
C1	RP	160	2005	60	80	91	0,75	33	50
C2	RP	160	1000	155	193	147	0,80	36	34
C3	RP	160	1000	155	193	147	0,80	36	34
C4	RP	160	1200	140	222	112	0,63	28	22
C5	RC	160	3500	50	79	36	1	28	20
C6	RC	160	5000	35	56	25	1	28	20
C7	RC	160	5000	35	56	25	1	28	20
C8	RP	160	1200	140	222	112	0,63	28	22

III.7 Conclusion

On peut conclure que L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des trains qui peuvent atteindre une vitesse de 220 km/h.

On a basé dans le calcul sur les paramètres géométriques et techniques recommandés par l'UIC et les règles de la SNCF



PROFIL EN LONG

IV.1 Introduction

Le profil en long de la voie est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires. Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

Le profil en long est l'ensemble d'alignements (paliers) et de courbes (pentes ou rampes) qui représentent la ligne rouge. Cette ligne doit respecter les conditions suivantes :

Se raccorder au réseau existant et aux points à passage obligé.

- Respecter la déclivité maximale qui est de 16‰, et de 0‰ au sein des gares et haltes.
- Le rayon minimum en profil en long est de $Rv_{min} = 0.35vR^2$
- Minimiser les quantités de déblai et remblai et les équilibrés.
- Eviter les angles rentrants en déblais pour assurer l'évacuation des eaux.
- Respecter la longueur minimal des éléments de profil en long ($L_{min} = V/2$)
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.

IV.2 Eléments géométriques du profil en long

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

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

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

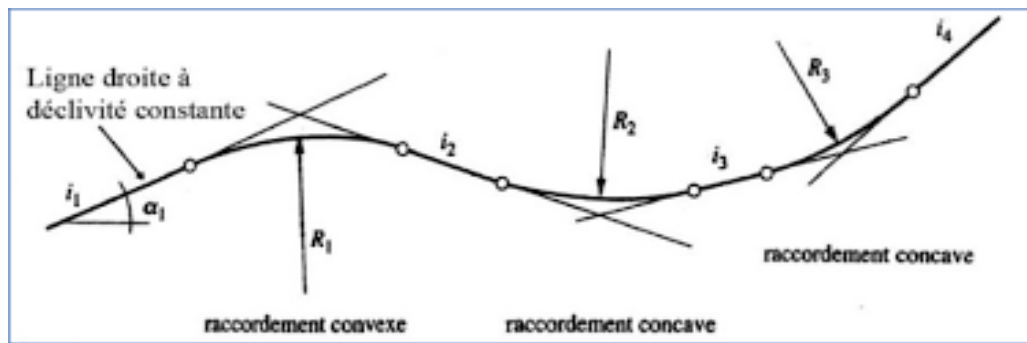


Figure IV-1 : Eléments géométriques du profil en long

IV.3 Déclivité maximale

La déclivité admise varie en fonction de sa longueur.

En principe, les valeurs admissibles à ne pas dépasser sont indiquées ci-après ; cependant dans le cadre d'une étude de variante, ces valeurs pourront être dépassées tout en respectant les dispositions reprises dans la dernière version de l'instruction SNCF/RFF IN 0272.

En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰.

En déclivité de longueur comprise entre 3 000 m et 15 000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰.

En déclivité de longueur supérieure à 15 000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

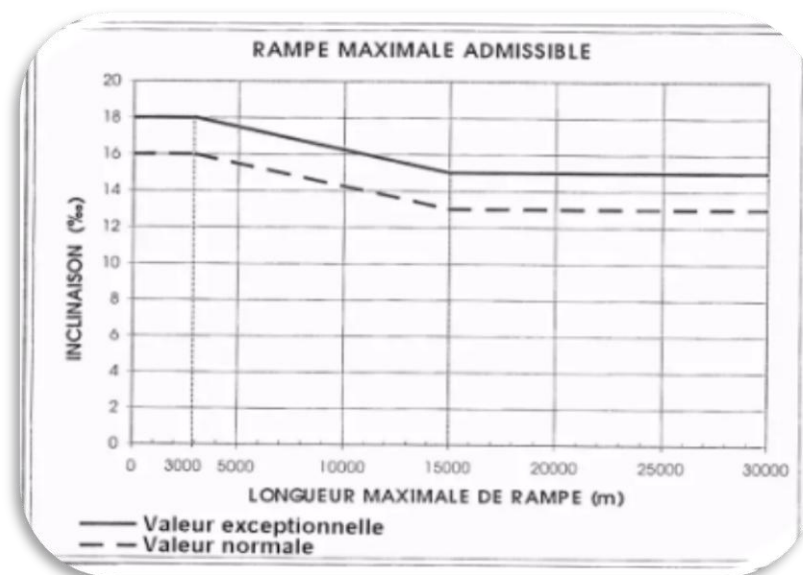


Figure IV-2 : Déclivités maximales admissibles (Source référentiel SNCF)

IV.4 Longueur minimale des éléments du profil en long

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

Tableau IV-1: Valeurs de la longueur minimale des déclivités (Source SNTF)

Longueur minimum des éléments du profil en long	
Valeur maximale normale	$V/2=80$ m
Valeur maximale exceptionnelle	$V/2.5=64$ m

V : Vitesse des trains de voyageurs (maximale)

N.B : Pour notre projet, longueur minimale des déclivités est $V/2 = 160/2 = 80$ m

IV.5 Le raccordement en profil en long

Limites des valeurs des rayons de raccordement en profil (raccordement circulaire) Afin de limiter les accélérations verticales en caisse des véhicules ferroviaires les raccords de déclivité du profil en long doivent respecter les valeurs de rayon du tableau suivant :

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

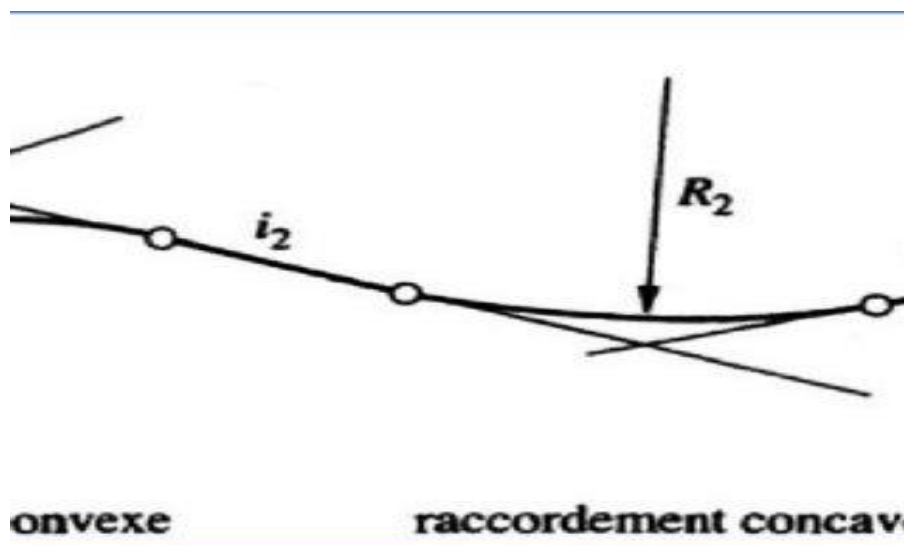


Figure IV-3 : Schéma du raccordement circulaire

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

Tableau IV-2: valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter

Rayon minimum vertical	
Valeur maximale normale	8960 m
Valeur maximale	6400 m

❖ **V** : Vitesse des trains de voyageurs (maximale)

❖ **N.B** : pour notre projet, $R_{v \min} = 0,35V^2 = 8960 \text{ m}$

Le raccordement se fait par une courbe circulaire, l'équation d'un cercle est : $x^2 + (y - R)^2 = R^2$ ou encore de la forme : $x^2 + y^2 - 2RY = 0$

Mais pour un grand rayon ($R \geq 16940 \text{ m}$) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X , surtout lorsque 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.

IV.6 Coordination profil en long-tracé en plan

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

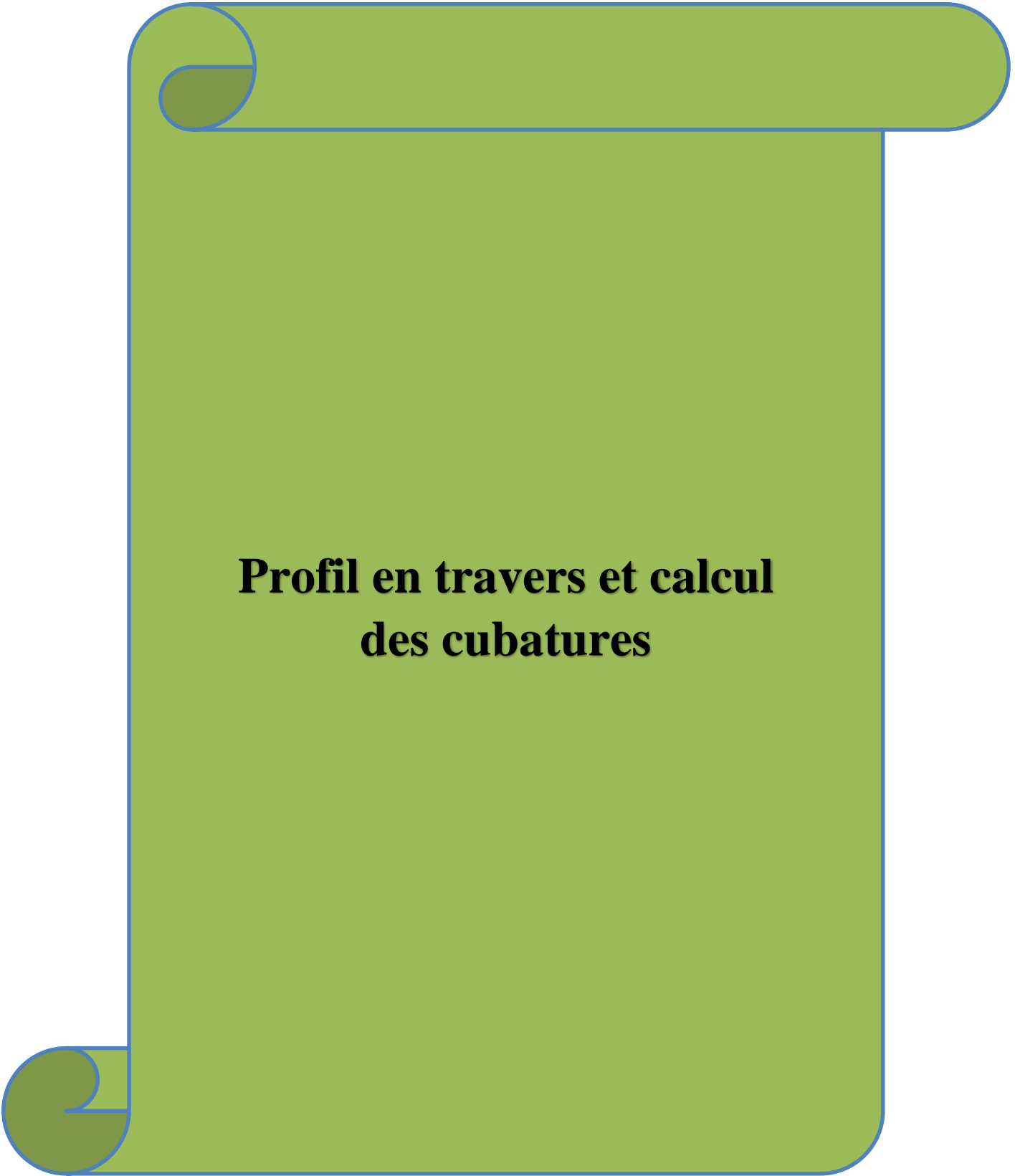
- ✓ Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan.
- ✓ Eviter le placement d'une courbe en profil en long immédiatement après une courbe en tracé en plan.
- ✓ Les points singuliers du tracé en plan ne doivent pas être précédés d'un point élevé.
- ✓ Les points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

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.

IV.7 Conclusion

On peut conclure que La constitution du profil en long est la tâche la plus importante par laquelle on peut évaluer un projet ferroviaire, soit sur le plan économique, soit sur le plantechnique en voyant les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long et l'emplacement des gares.



**Profil en travers et calcul
des cubatures**

V.1 Introduction

Le profil en travers d'une voie ferrée est la section transversale de la voie selon la formule Un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste, L'échelle le plus utilisée est le 1/100, Il existe deux types de profil en travers. On distingue deux types de profil :

- **Profil en travers type:**

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

- **Profil en travers courant :**

Contenant toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, les éléments de la superstructure, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux etc.).

V.2 Constituants du profil en travers type

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

- **Eléments 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 caténaire 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 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.

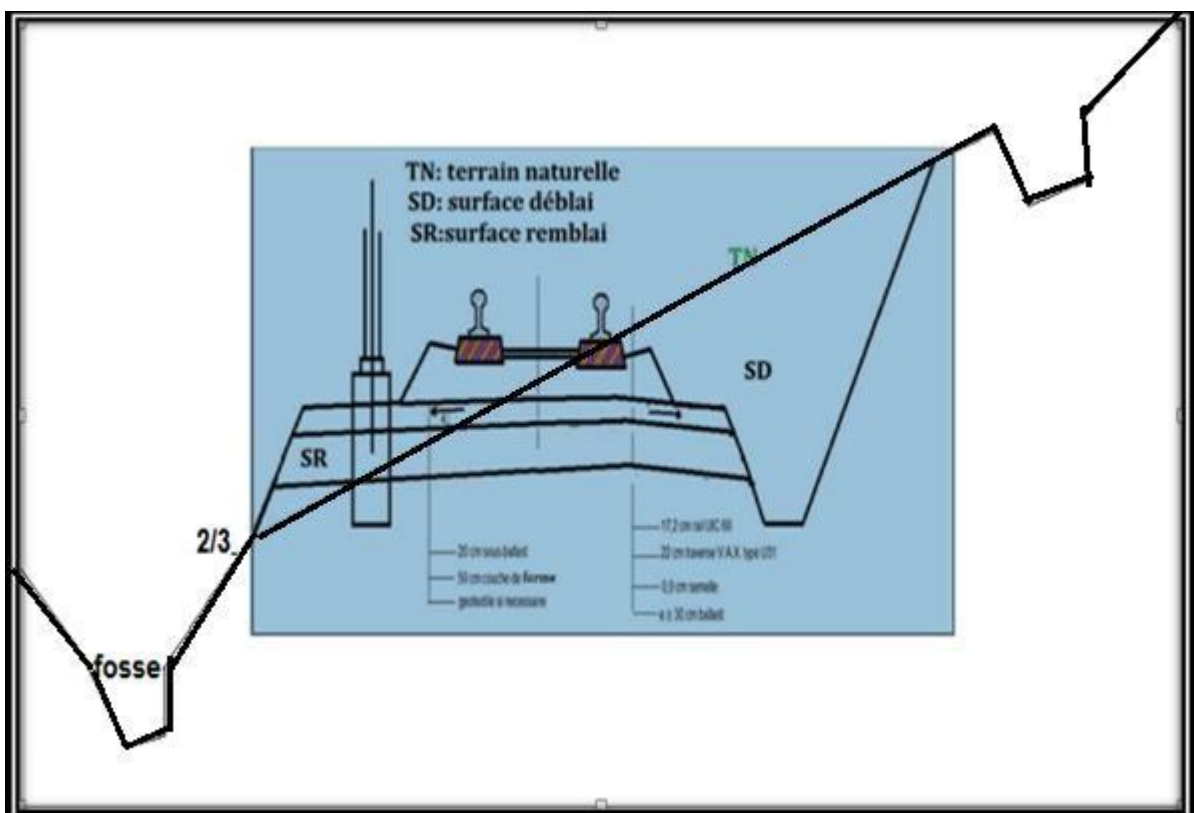


Figure V-1 : Exemple profil en travers type

V.3 Eléments du profil en travers

- **Emprise** : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- **Assiette** : C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.
- **Plate-forme** : Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.
- **La voie** : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- **La berme** : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.). Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- **Le fossé** : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

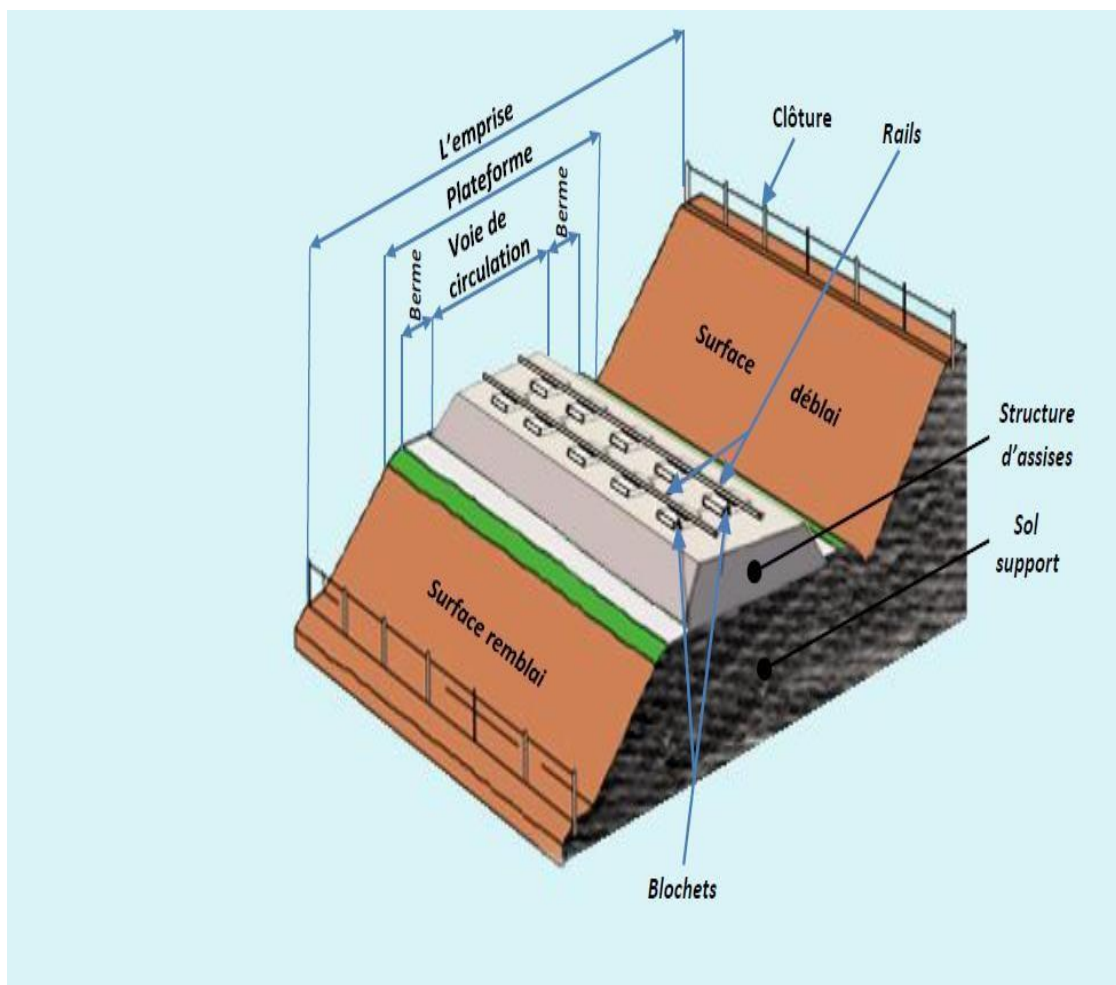


Figure V-2 : la voie

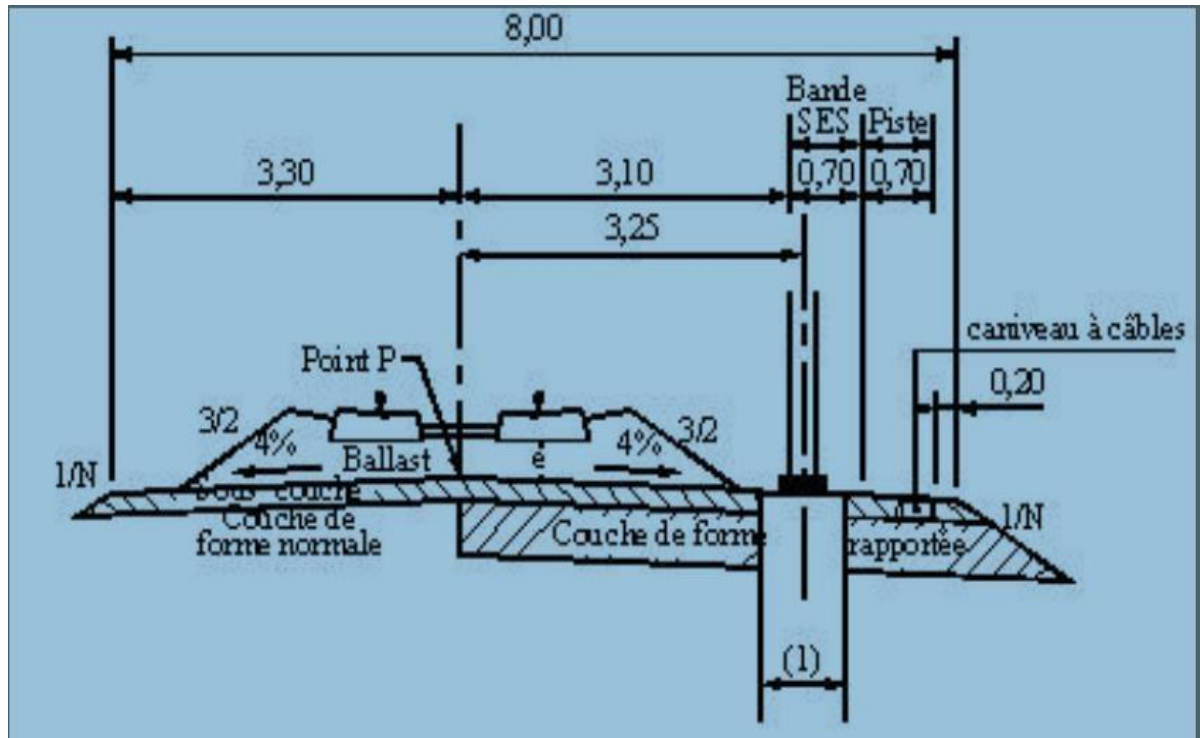


Figure V-3 : profil en travers types d'une voie unique

V.4 Profil type de notre projet

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

- ✓ Type de ligne : voie unique mixte électrifiée.
- ✓ Ecartement de la voie : 1.435 m (universel).
- ✓ Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- ✓ Pente latérale de la plate-forme : 4 %.
- ✓ Pente latérale de la couche de ballast : 2/3.
- ✓ Epaisseur du ballast : 30 cm.
- ✓ Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- ✓ Epaisseur de la couche de fondation : 50 cm

Dans les sections d'ouvrage art (passages inférieurs et supérieurs, Ponts Rail.....) les caractéristiques suivantes seront modifiées

- ✓ Pente latérale de la plate-forme : 4 %.
- ✓ Epaisseur du ballast : 35 cm

En ce qui concerne les gares, il faut tenir en compte les distances entre l'axe et les obstacles ci-après :

- ✓ Entraxe des voies en gares de voyageurs : 4.6 m
- ✓ Largeurs de quai : 8 m

V.5 Calcul des cubatures

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

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

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

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

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

- ❖ Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel

COVADIS, les détails de calcul sont joints dans l'annexe.

Tableau V-1 : Les Valeurs des déblais et remblais

Tronçon	Déblai	Remblai
T 01 : AIN BEIDA / F'KIRINA DU PK 00+530 AU PK 20+400	159 204.80	496 297.39

V.6 Conclusion

On peut en conclure que compte tenu de l'instrumentation nécessaire à l'avenir les voies sont électrifiées afin que les nouvelles lignes soient sur des quais de 6m de large, après ce chapitre nous abordons dans le chapitre suivant Géologie et géotechnique.



Géologie et géotechniques

VI.1 Introduction

Les chemins de fer jouent un rôle essentiel dans le développement des infrastructures de transport à travers le monde. Ils offrent une solution efficace et durable pour le déplacement de marchandises et de passagers sur de longues distances. Cependant, la construction et l'exploitation de voies ferrées ont permis une compréhension approfondie de la géologie et de la géotechnique du terrain sur lesquelles elles sont établies.

L'étude géologique et géotechnique des chemins de fer est une discipline clé qui vise à évaluer la stabilité et la résistance du sol, ainsi que les risques géologiques potentiels tout au long du tracé de la voie ferrée. Cette étude permet de minimiser les impacts environnementaux, d'optimiser la conception des infrastructures ferroviaires et de garantir la sécurité des opérations, la géologie est une composante essentielle de l'étude, car elle fournit des informations sur la composition du sol, les formations géologiques, la présence de matériaux rocheux et d'eau souterraine, ainsi que la tectonique locale. Ces facteurs géologiques peuvent influencer la stabilité du sol, l'érosion, les mouvements de terrain et d'autres phénomènes géotechniques qui pourraient compromettre l'efficacité et la sécurité du chemin de fer.

La géotechnique, quant à elle, se concentre sur l'analyse des propriétés mécaniques du sol et des roches, telles que la résistance à la compression, la perméabilité, la capacité portante et la déformation. Ces caractéristiques géotechniques sont utilisées pour évaluer la compétence de la construction de voies ferrées, la conception des fondations, des talus, des tunnels et des ponts, ainsi que la stabilité des talus adjacents.

L'étude géologique et géotechnique des chemins de fer est généralement réalisée en utilisant des méthodes d'investigation sur le terrain, telles que des levés topographiques, des forages, des essais de laboratoire sur les échantillons de sol et de roche, ainsi que des analyses géophysiques.

Dans notre cas, l'étude géotechnique et géologique a été effectuée sur Longueur de section Ain Beida – Khenchela; section entre **PK 00+530 AU PK PK (19+575)**

VI.2 Géologie

❖ Les zones inondables :

Le tronçon identifié comme zones inondables est surtout localisé entre Fkirina et Baghai entre les PK 16+600 jusqu'au PK 24+625 et du PK 29+200 jusqu'au PK 39+900.

Pour cela, l'étude de drainage est bien prise en compte pour ce tronçon dont les ouvrages hydrauliques sont plus fréquents.

❖ Sismicité du site

D'après le RPOA2008 / version 2008 du ministère des travaux publics les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art, la wilaya de Khenchela et la wilaya de Oum El Bouaghi sont

classées zone « I » ; c'est-à-dire zone à sismicité faible.

Le document technique réglementaire cité ci-avant divise le territoire algérien en 5 zones de sismicité croissante soit :

Zone 0 : Sismicité négligeable

Zone I : Sismicité faible

Zone II a : Sismicité moyenne

Zone II b : Sismicité élevée

Zone III : Sismicité très élevée

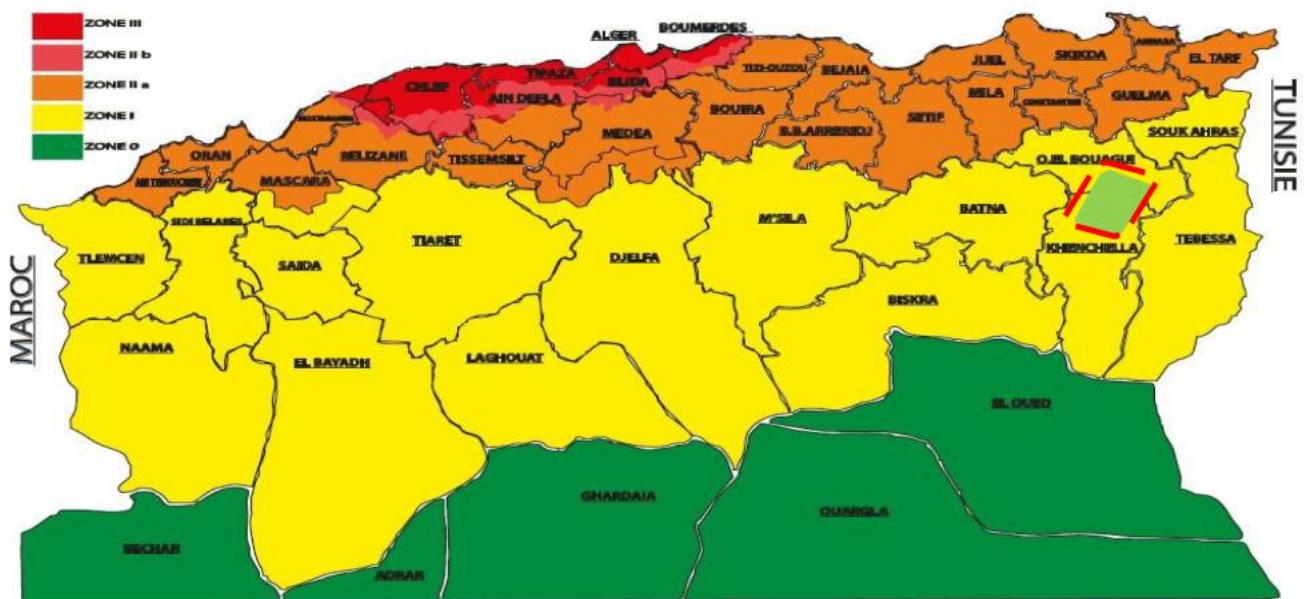


Fig VI-1: Zones de sismicité (carré rouge/verte : tracé)

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa situation et de son importance vis-à-vis des objectifs fixés par la collectivité. Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des règles parasismiques algériennes RPOA 2008 doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci-après

Groupe 1 : Pont stratégique

Groupe 2 : Pont important

Groupe 3 : Pont d'importance moyenne

Les coefficients d'accélération (A) à prendre en considération dans les calculs selon le type de l'ouvrage sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III. 1 : coefficients d'accélération

Groupe de pont	Zone sismique			
	I	IIa	IIb	III
1	0.15	0.25	0.30	0.40
2	0.12	0.20	0.25	0.30
3	0.10	0.15	0.20	0.25

❖ Aperçu géologique local

Le domaine géologique de la région d'Ain Beida constitue la limite orientale des hautes plaines Constantinoises.

Assez loin au Nord se dressent les premières pentes du Tell Constantinois. A l'Est, au-delà du fossé de Terraguelt, se développe la zone des diapirs des monts du Méllègue. Au Sud et à l'Ouest s'étendent les vastes plaines de F'kirina et d'Oum el Bouaghi.

Les premières manifestations tectoniques de la région d'Ain Beida sont liées à un diapirisme, les faciès sont des récifs classiques.

La discordance Miocène atteste sur cette feuille d'Ain Beida de l'existence de la phase atlasique fini-éocène.

Il faut replacer la vaste plaine de F'kirina dans un cadre géologique plus vaste pour constater qu'elle appartient au domaine des plis Atlasiques, orientés sensiblement à Nord 40°.

Ce secteur est épargné par l'important diapirisme qui affecte la région de Khenchela. Plus, au Sud-Ouest du tracé, un rapide coup d'œil sur la carte géologique de Khenchela, permet d'établir une opposition entre deux secteurs:

- à l'Ouest de Khenchela le style tectonique est celui de l'Aurès à faciès autochtones.
- à l'Est de Khenchela l'organisation et les structures sont compliquées par la présence de diapirs triasiques.

❖ Aperçu stratigraphique :

La région du site se situe dans une zone caractérisée par des formations géologiques dont la chronostratigraphie est donnée dans les Figure 8 et Figure 9.

Le tracé coupe les structures anticlinales et synclinales créacées et triasiques à Khenchela à angle droit. Vers le Nord le tracé entre dans le bassin des roches tertiaires. Après il entre dans la vaste dépression de

Garaet et Tarf qui est ouillée avec des sédiments quaternaires. Le tracé reste dans ce bassin quaternaire jusqu'à Ain Beida.

❖ Quaternaire :

Les formations géologiques traversées le long du tracé font partis du Quaternaire qui se constitue de (selon les notices explicatives des cartes géologiques au 1/50.000, feuille Ain Beida, feuille Oum El Bouaghi et feuille Khenchela) :

- Alluvions, Terres arables, Quaternaires indéterminé (Q)
- Encroûtement calcaire
 - Villafranchien probable (Qc)
- Glacis polygéniques nappant les reliefs (Qt)
- Formations dunaires (Qd)
- Sols salés anciens (Qs)
- Sol de sebkha (S)

- « Q » : Ils correspondent à des alluvions anciennes à morphologie très plate ou des limons anciens bruns ou gris sur laquelle un sol brun permet une culture plus efficace que sur les glacis steppiques. Leur âge est difficile à préciser.

- « Qc »: Ces formations perchées par rapport aux surfaces précédentes sont très faciles à repérer.

Entaillées par les cycles qui ont suivi, leurs témoins forment des petites mesas très caractéristiques. Leur abrupt périphérique est suffisamment marqué pour que le fond topographique le représente presque systématiquement. L'aspect le plus fréquemment réalisé est celui de croûtes massives (blanches) développées au-dessus d'horizons tuffacés surmontant eux-mêmes des niveaux à pouppées calcaires. Entaillées et probablement karstifiées (ou dissoutes) elles forment soit de petites mesas, soit des surfaces taraudées de dépressions de formes variées.

Ces formations sont habituellement rapportées au Villafranchien, bien daté plus au Nord-Ouest dans les régions de Sétif.

- « Qt »: Ces glacis couvrent de très vastes surfaces. Leur organisation en pente douce est tout à fait caractéristique. Ils ravinent le cycle antérieur de glacis, facile à reconnaître puisqu'il est caractérisé par des croûtes massives. C'est un nappage complexe à débris bien calibrés, parfois encroûtés. L'aspect est alors celui des croûtes rosâtres feuilletées classiquement attribuées au Tensiftien.

- « Qd »: Les formations dunaires forment un cordon presque continu par exemple à l'Est de la Garaet Guellif. C'est un agglomérat sableux de poussières et de petits débris, raviné par l'érosion actuelle.

- « Qs »: Les sols salés anciens correspondent aux zones plates qui bordent la Garaet Guellif.

Ce sont des sols nettement hydromorphes qui supportent une végétation caractéristique de Salsolacées.

- « S » : Ce sont les vases salées inondées périodiquement de la Garaet Guellif et du Nord de la Garaet et Tarf.

❖ Tertiaire :

(selon les notices explicatives des cartes géologiques au 1/50.000, feuille Ain Beida et feuille Khenchela), Le Tertiaire est remarqué à proximité du tracé et n'affleure qu'aux alentours de Baghai en se dirigeant vers El Hamma et est attribué au Miocène « m3 ».

Tortonien supérieur continental « m3 » : Argiles silteuses beiges et rouges, grès

Cette formation, beaucoup plus développée dans le bassin miocène de Timgad n'affleure ici qu'aux alentours de Baghai. Cette série argilo-silteuse repose probablement en concordance sur le Tortonien gréseux. Ces terrains contiennent des niveaux gréseux friables, ferrugineux, à bois flottés et rares dragées de quartz (diamètre de 0,5 cm environ) et sont corrélés avec le Tortonien supérieur continental plus occidental.

❖ Géologie locale et comportement des matériaux

La nature géologique des terrains traversés tout le long du tracé est présentée en détail dans les profils géotechniques. (Voir plans Annexés)

❖ Résultats de la reconnaissance in-situ

L'analyse des forages et des puits réalisés le long du tracé a permis l'établissement des coupes géologiques montrant la lithologie des terrains traversés en profondeurs ainsi que leurs épaisseurs, ce qui permet de connaître la nature du sol support traversée le long du tracé pour les deux sections du projet présentées ciaprès:

▪ Section I (Ain Beida – M'Toussa)

A la sortie d'Ain Beida, le tracé vient contourner vers l'Est les POS prévus dans le PDAU.

De Ain Beida à 8 km au Sud-Sud-Ouest, le tracé coupe le bassin du quaternaire dont les formations révélées par les puits et les sondages carottés sont comme suit :

- Argile limoneuse parfois sableuse graveleuse à concrétion carbonatée rougeâtre, brunâtre ou jaunâtre est révélée sur tout le tracé.

- Argile tufacée ou tuf peu argileux, cette formation est dispersée sur tout le tracé et à différentes profondeurs. Révélé aux niveaux des puits PU01, PU03 et PU06 entre PK 0+800 et PK 06+000.

- Marne grisâtre et marne jaunâtre, elles constituent le substratum des formations précédentes, cette formation est localisée au début du projet entre le PK 4+500 et le PK 8+120 (SC01 et SC02).

Les formations alluvionnaires sont localisées aux abords des oueds et chaabat. Elles sont constituées de cailloux

et graviers arrondis et sub-arrondis à matrice sablo-limoneuse par fois sablo-argileuse. Révélées entre le PK 4+500 et le PK 13+368 (SC01, SC03-05 et PU2).



Fig. VI-2 étude géologique du PK2+245



Fig. VI-3 étude géologique du PK 5+430



Fig. VI-4 étude géologique du PK 5+500



Fig. VI-5 étude géologique du PK 5+730



Fig. VI-6 étude géologique du PK 6+300



Fig. VI-7 étude géologique du PK 7+670

De Ain Beida à F'kirina du PK 08+000 au PK 23+000 environ Sud-Sud-Ouest de Ain Beida, le tracé coupe toujours le bassin du quaternaire pour passer après dans la vaste dépression de Garaet el Tarf qui est ouillée avec les sédiments du quaternaires.

Les formations révélées par les puits et les sondages carottés sont comme suit :

- Argile limoneuse parfois sableuse graveleuse à concrétion carbonaté rougeâtre, brunâtre ou jaunâtre est révélée sur tout le tracé.

- Argile tufacée ou tuf peu argileux, cette formation est dispersée sur tout le tracée et à différentes profondeurs.

Révéle aux niveaux des sondages entre les PK 11+032 et PK 19+122 (SC4, SC7 et SC8), et au droit des puits (PU12 et PU15) du PK 17+225 au PK 22+349.

Les formations alluvionnaires sont localisées aux abords des oueds et chaabat. Elles sont constitués de cailloux et graviers arrondis et sub-arrondis à matrice sablo-limoneuse par fois sablo-argileuse. Révélées entre PK 4+500 et PK 13+368 (SC01 et SC05) ainsi qu'au droit des puits au PK 4+500, PK12+800 et PK13+267.

L'apparition des gypses (vue à l'œil nue) est notée à partir du PK 16+018 (SC07) jusqu'au PK 26+756 (SC12) ainsi qu'au droit des puits.



Fig. VI-8 étude géologique du PK11+430



Fig. VI-9 étude géologique du PK 11+900



Fig. VI-10 étude géologique du PK12+500



Fig. VI-11 étude géologique du PK14+155



Fig. VI-12 étude géologique du PK18+640- PK18+700
PK16+000. Oued traversé par le tracé qui se dirige vers F'kirina



Fig. VI-13 étude géologique du PK18+640- PK18+700



Fig. VI-14 étude géologique du PK19+965. L'entrée de F'Kirina



Fig. VI-15 étude géologique du PK20+200. Ouvrage d'Art de l'ancien tracé de la voie métrique

VI.3 géotechniques

La conception, la réalisation et la maintenance d'ouvrages complexes (ouvrages d'art, routes, voies ferrées, etc.) nécessitent une connaissance fine du sol, de sa nature, de son comportement.

L'étude géotechnique, en définissant les caractéristiques précises du terrain, en mesurant les déformations, les résistances, permet d'optimiser le dimensionnement des ouvrages et de leurs infrastructures, et de proposer des solutions efficaces.

VI.3.1 Programme de la campagne de reconnaissance

Le programme d'investigation géotechnique exécuté en phase d'avant-projet sommaire (APS), a consisté en la réalisation des travaux suivants :

- ✓ 38 forages, avec prélèvement d'échantillons intacts et remaniés, soumis à divers essais de laboratoire, et la réalisation de 48 essais SPT.
- ✓ 76 puits d'exploration avec prélèvement d'échantillons remaniés soumis à divers essais de laboratoire.
- ✓ 15 essais de pénétration dynamique poussés jusqu'au refus.
- ✓ 10 sondages pression métriques.
- ✓ Repérage des zones d'emprunt et carrières.

VI.3.2 Essais en Laboratoire

Les sondages carottés réalisés nous ont permis de récupérer des échantillons intacts, paraffinés qui ont été acheminés au laboratoire ou ont été réalisées les différents essais physiques, d'identifications et les essais mécaniques.

□ Essais physiques:

- **Le poids volumique du sol sec « γ_d » :**

$$\gamma_d = \frac{W_s}{v}$$

W_s : Poids du sol sec.

- **Degré de saturation S_r :**

Le degré de saturation noté S_r , indique dans quelle proportion les vides sont remplis par l'eau. Il est défini comme le rapport du volume de l'eau au volume des vides. Il s'exprime en pourcentage.

$$S_r = \frac{v_w}{v_v} \times 100$$

Le degré de saturation peut varier de 0% (sol sec) à 100% (sol saturé)

- **Teneur en eau (normes N F P 94-050) :**

C'est la quantité d'eau d'un sol : $W = \frac{W_w}{w_s} \times 100$

- **Essais d'identification :**

- **Analyse granulométrique :**

Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80µm) Qui permet par exemple de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fines) ; C'est un essai qui a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leur dimension ou grosseur.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

- **Analyse sédiment métrique :**

L'analyse granulométrique par sédimentométrie s'adresse à des échantillons de sols ne contenant que des éléments de diamètre inférieur à 100 µm, c'est-à-dire ce qui est désigné sous l'appellation de sols fins.

Elle complète l'analyse granulométrique par tamisage qui est limitée aux grains de diamètre supérieur à 0,063 mm Elle permet de tracer la courbe granulométrique des éléments fins jusqu'à un diamètre d'environ 2 µm.

- **Limites d'atterberg :**

Limite de plasticité (WP) et limite de liquidité (WL), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol :

WP sépare l'état solide de l'état plastique et WL sépare l'état plastique de 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.

- **Essais mécaniques :**

- **Essai Proctor :**

L'essai proctor est un essai routier, il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau, il a donc pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue est appelée « optimum PROCTOR ».

- **Essai de cisaillement à la boîte de Casagrande :**

Les essais de résistance au cisaillement permettent de déterminer la résistance au cisaillement des sols caractérisée par la cohésion « C » et l'angle de frottement « ϕ ».

- **Essais CBR :**

Les essais CBR permettent, selon le processus utilisé, la détermination des indices CBR immédiat et imbibé d'un sol ou d'un matériau utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des couches d'assises.

Cet essai donne une évaluation sur la portance du sol, c'est-à-dire de l'aptitude des matériaux à supporter les charges.

L'indice recherché est un nombre sans dimension exprimant le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part et dans le matériau type d'autre part.

- **Résultats des essais donné un tableau suivant :**

TAB VI-2 Résultats des essais Au niveau de SP 01 AU PK 8+120

Profondeur (m)	Module de déformation E en (Bars)	Pression limite PL en (Bars)	Pression fluage PF en (Bars)
01.50	114.51	11.21	09.88
03.00	142.10	13.84	11.95
04.50	263.10	25.14	13.64
06.00	290.00	27.36	15.92
07.50	305.11	28.41	16.00
09.00	325.33	29.36	17.60
10.50	374.49	30.00	17.75
12.00	384.88	30.21	18.00

TAB VI-3 Résultats des essais Au niveau de SP 02 AU PK 10+547 :

Profondeur (m)	Module de déformation E en (Bars)	Pression limite PL en (Bars)	Pression fluage PF en (Bars)
01.50	102.11	10.01	07.58
03.00	125.32	11.32	08.00
04.50	182.31	16.24	14.54
06.00	201.21	19.32	15.66
07.50	250.22	25.66	16.00
09.00	282.10	27.00	16.55
10.50	285.00	27.22	17.30
12.00	309.54	28.99	17.89

TAB VI-4 Résultats des essais Au niveau de SP 03 AU PK 12+063

Profondeur (m)	Module de déformation E en (Bars)	Pression limite PL en (Bars)	Pression fluage PF en (Bars)
01.50	100.01	09.11	07.23
03.00	135.33	12.01	09.55
04.50	180.01	16.00	14.00
06.00	213.10	18.13	14.22
07.50	248.65	24.36	15.22
09.00	290.32	27.15	15.63
10.50	293.22	27.99	16.01
12.00	315.32	29.00	17.00

TAB VI-5 Résultats des essais Au niveau de SP 04 AU PK 13+368

Profondeur (m)	Module de déformation E en (Bars)	Pression limite PL en (Bars)	Pression fluage PF en (Bars)
01.50	123.54	11.20	07.96
03.00	149.98	13.41	10.20
04.50	196.65	18.00	13.96
06.00	226.36	21.00	14.56
07.50	266.32	27.03	15.63
09.00	302.11	28.99	16.00
10.50	321.33	30.00	16.66
12.00	333.21	31.22	17.20

TAB VI-6 Résultats des essais Au niveau de SP 05 AU PK 19+122

Profondeur (m)	Module de déformation E en (Bars)	Pression limite PL en (Bars)	Pression fluage PF en (Bars)
01.50	136.55	12.00	08.00
03.00	152.10	14.00	08.36
04.50	200.00	18.69	12.18
06.00	235.54	21.21	12.68
07.50	269.89	27.13	15.00
09.00	310.21	29.00	15.99
10.50	321.33	30.00	16.66
12.00	338.00	31.00	17.33

Unité 01 : Alluvions récentes ou actuelles

Les formations alluvionnaires, ce sont des sables, limons, graviers arrondis et sub-arrondis à matrice sablo limoneuse par fois sablo-argileuse. Elles existent sous forme de bandes étroites le long des Oueds et Chabat. Révélées entre le PK 4+500 et le PK 13+368, et en discontinuité au PK 42+971, PK 48+460 et PK 49+200.

TAB VI-7 caractéristiques géotechniques de cette formation

Paramètres	Désignation	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Poids volumique sec	γ_d (t/m ³)	1.54	2.03	2.55
Poids volumique humide	γ_h (t/m ³)	1.85	2.18	2.02
Teneur en eau	W (%)	10.42	27.12	18.77
Degré de saturation	Sr (%)	27.89	99.78	63.84
Granulométrie	< 2mm	44	100	72
< 80 μ m	21	100	60.5	
Limites d'Atterberg	WL (%)	25	68	46.5
WP (%)	13	34	23.5	
IP (%)	14	34	24	
Compression simple	Rc (Bars)	2.64	3.52	3.08
Compressibilité à l'odomètre	Pc (bars)	0.759	4.42	2.58
Cc (%)	0.096	0.283	0.189	
Cg (%)	0.019	0.069	0.44	
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	0.11	0.821	0.465
ϕ_u (°)	3	23	13	
Analyse chimique	Insolubles (%)	57.4	84.2	70.8
Carbonates (%)	13.82	64.23	39.03	
Sulfates (%)	Traces			

Unité 02 : Argile marneuse plus au moins limoneuse

Il s'agit des formations quaternaires, cette formation est rencontrée tout le long du tracé, avec une profondeur plus au moins importante qui peut aller jusqu'à 15m, elle est constituée essentiellement d'argile marneuse d'une consistance compacte, révélées du PK 14+800 au PK 46+200, cette formation peut être gypseuse par endroit : du PK16+018 au PK 26+756, du PK 35+388 au PK 37+540 et au niveau des PK 39+175 et PK 46+910.

TAB VI-8 caractéristiques géotechniques de cette formation

Paramètres	Désignation	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Poids volumique sec	γ_d (t/m ³)	1.57	2.03	1.8
Poids volumique humide	γ_h (t/m ³)	1.92	2.12	2.02
Teneur en eau	W (%)	8.94	23.32	16.13
Degré de saturation	Sr (%)	63.27	98.43	80.85
Granulométrie	< 2mm	96	100	98
	< 80 μ m	59	100	79.5
Limites d'Atterberg	WL (%)	31	71	51
	WP (%)	14	36	25
	IP (%)	14	36	25
VBS	(%)	1.68	6.42	4.05
Compression simple	Rc (Bars)	0.96	23.16	12.06
Compressibilité à l'odomètre	Pc (bars)	0.27	4.46	2.36
	Cc (%)	0.09	0.228	0.16
	Cg (%)	0.013	0.048	0.03
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	0.102	0.692	0.397
	ϕ_u (°)	3	22	12.5
Analyse chimique	Insolubles (%)	27	58.1	42.5
	Carbonates (%)	29.6	65.65	47.6
	Sulfates (%)	1.03	12.8	6.9

Unité 03 : Tuf argileux à Argile tufacée

Il s'agit des formations quaternaires, elle est constituée essentiellement de sable et gravier avec concrétion carbonatées, rencontrée généralement en surface et d'une manière discontinue tout le long du tracé du PK14+890 au PK 19+120 et au niveau des PK 38+580 au Pk 44+602, 49+189, 49+790

TAB VI-9 caractéristiques géotechniques de cette formation

Paramètres	Désignation	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Poids volumique sec	γ_d (t/m ³)	/	/	1.84
Poids volumique humide	γ_h (t/m ³)	/	/	2.06
Teneur en eau	W (%)	/	/	12.73
Degré de saturation	Sr (%)	/	/	75.95
Granulométrie	< 2mm	/	/	100
< 80μm	/	/	74	
Limites d'Atterberg	WL (%)	27	30	28.5
WP (%)	13	15	14	
IP (%)	13	15	14	
VBS	(%)	1.02	2.73	1.8
Compression simple	Rc (Bars)	/	/	2.5
Analyse chimique	Insolubles (%)	7.8	65.2	36.5
Carbonates (%)	33.6	87.18	60.4	
Sulfates (%)	TRACES			

Unité 04 : Marne

Il s'agit d'une formation du crétacé, Cette formation est localisée aux environs du PK 4+500 et au PK8+120

TAB VI-10 caractéristiques géotechniques de cette formation

Paramètres	Désignation	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne
Poids volumique sec	γ_d (t/m ³)	1.54	1.92	1.73
Poids volumique humide	γ_h (t/m ³)	1.96	2.14	2.05
Teneur en eau	W (%)	11.83	27.12	19.47
Degré de saturation	Sr (%)	81.8	99.78	90.79
Granulométrie	< 2mm	93	100	96.5
< 80 μ m	72	100	86	
Limites d'Atterberg	WL (%)	34	68	51
WP (%)	18	34	26	
IP (%)	16	34	25	
Compression simple	Rc (Bars)	2.64	3.52	3.08
Compressibilité à l'odomètre	Pc (bars)	0.709	1.34	1.02
Cc (%)	0.122	0.283	0.20	
Cg (%)	0.016	0.069	0.04	
Cisaillement rectiligne UU	Cu (bars)	0.11	0.235	0.17
ϕ_u (°)	3	3	3	

VI.3.3 Interprétation des résultats

Les résultats ont donné les valeurs suivantes :

- Les IP varient entre 11 et 28 se qui atteste un sol peu plastique à plastique dans l'ensemble.
- La teneur en eau naturelle varie entre 3.9 et 25.8% le sol est donc légèrement humide à humide.
- Les valeurs de VBS sont comprises entre 1.02 et 6.42 caractérisant ainsi des sols sensibles à l'eau.

C2 . La classification GTR

Les résultats ont mis en évidence des sols généralement de classe A avec les sous- classes A1, A2 et rarement A3 dont l'état hydrique est humide (h), moyen (m) sec (s) et très sec (ts). L'état très humide est peu fréquent.

- ✓ Sols de classe A1: Ces sols représentent des limons argileux, des argiles limoneuses, des silts alluvionnaires et des sables fins argileux. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de la teneur en eau.
- ✓ Sols de classe A2:
Ces sols représentent des limons, des argiles et des marnes. Ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée).
- ✓ Sols de classe A3:
Ces sols représentent des argiles, des argiles marneuses et des limons très plastiques. Ils sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible et collants ou glissants à l'état humide, d'où la difficulté de sa mise en œuvre sur chantier. Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes en place.

Un taux de réutilisation estimé à 40% de volume des matériaux extraits des déblais.

Pour les conditions d'utilisations de ces différentes classes de matériaux en remblai ou couche de forme, ils sont bien détaillés dans le GTR (guide technique de réalisation des remblais et couche de forme)

VI.4 Terrassement

Les opérations de terrassement est l'ensemble des travaux de fouille, de transport, d'entassement de terre, pratiqués pour modifier le relief d'un terrain, permettre de réaliser ou renforcer certains ouvrages.

L'opération de terrassement consiste à manipuler, avec des moyens appropriés, des matériaux selon une cinématique classique :

- l'excavation ou l'extraction des matériaux d'une fouille, d'un déblai, d'un emprunt ou carrière.
- le transport des matériaux à pied d'œuvre.
- La mise en œuvre des matériaux, soit mise en dépôt, soit mis en remblai.

Le mouvement des terres économique étant recherché. La simplicité de ces opérations n'est qu'apparente. En effet, les déblais, les remblais, certains dépôts aménagés constituent autant d'ouvrages en terre unitaires formant l'ensemble de l'ouvrage

❖ Remblais

Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) pour une hauteur $H \leq 6\text{m}$ et à 2H/1V pour une hauteur $H > 6\text{m}$ avec une berme de 2m chaque 6m de hauteur. Les pentes de talus pourront être optimisées et cela en fonction des résultats des études de stabilité et des caractéristiques mécaniques des matériaux de réutilisation.

Compte tenu de tous les résultats des travaux et essais de la campagne géotechnique, on ne prévoit pas des tassements significatifs des remblais tous le long du tracé. Les données issues des sondages et puits de reconnaissance, montre pour les assises de remblais, des sols favorables pour la pérennité des remblais en effet le tracé traverse des zones essentiellement formées soit par des argiles marneuses plus au moins limoneuse, marne, tuf argileux argile tufacée et des formations alluvionnaires.

Des purges de 0.50 à 1.0m sont envisageable au niveau des assises recevant les remblais des zones inondables.

Les terres végétales seront décapées et stockées pour leur réutilisation ; ainsi que les talus des remblais seront protégés contre l'érosion et l'infiltration des eaux par la mise en place d'une couche de terre végétale d'environ 0,30 m d'épaisseur.

Les principales zones de remblai le long du tracé sont récapitulées dans le tableau ci-dessous, avec leurs caractéristiques géométriques :

TAB VI-11 Les principales zones de remblai

Début	Fin	PK Hmax	Hmax (axe)	Aléa	Travaux D'investigation géotechnique	Terrain d'assise	Pentes proposées	Longueur (m)	Recommandation
16+010	24+880	20+375	8.40	Zone inondable	SC07 /SC08/ SC10 /SC11/ SP05 /SP06 /SP07 /PU11 PU12/ PU13/ PU14 /PU15 PU16 /PU17/ PU18 PDL09 /PDL10/ PDL11 PDL12/ PDL13/ PDL14/ PDL15	Unité 02 : Argile marneuse plus au moins limoneuse	3/2	8870	Purge sur 0.5 m a 1m , compactage préalable de l'assise et mise en place d'un filtre géotextile et un remblai en matériaux pour zones inondables (Voir PTV zone inondable)

❖ Déblais

Reconnaissance Géotechnique Dans Le Secteur Des Déblais :

Les principales zones de déblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal.

Les principales zones des déblais le long du tracé sont récapitulées dans le tableau ci-dessous, avec leurs caractéristiques géométriques dont la hauteur est variable :

TAB VI-12 L'analyse des mouvements de terre en cette phase APD

Tronçon	Déblai	Remblai
T 01 : AIN BEIDA / F'KIRINA DU PK 00+530 AU PK 20+400	159 204.80	496 297.39

VI.5 Conclusion

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS1, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P2(plateforme moyenne) dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (QS1)



La superstructure de voie

VII.1 Introduction

La voie de chemin de fer est un ensemble d'éléments de nature différente dont les caractéristiques physique et mécanique ne sont pas les mêmes, ces éléments sont essentiellement constitués de: ballast, les traverses, les rails et leurs accessoires.

L'exploitation des voies ferrées réclame que certaines voies se coupent et que d'autres puissent communiquer entre elles. Pour cela on met en place des dispositifs connus sous le nom d'appareils de voie, ce sont les branchements et les traversées.

Chaque voie de chemin de fer a ses propres paramètres qui servent à définir des caractéristiques de cette dernière qui sont :

- Le type de rail utilisé (poids, longueur, section).
- Le mode de fixation des rails aux traverses.
- La longueur des rails en voie (barres normales éclissées ou LRS).
- L'écartement des rails, et les tolérances admises.
- Le type et la densité des traverses (travelage).
- Le tracé en long (rayons de courbure et dévers).
- Le tracé en profil (pente ou rampe).
- Le support (ballast ou béton).
- La charge admise par mètre courant ou à l'essieu.
- La vitesse des trains (voies à grande vitesse).

VII.2 La voie

La voie est constituée par un assemblage d'éléments qui distribuent et transmettent les charges de trains uniformément à la plateforme.

Pour ce projet, la voie est constituée de longs rails soudés en barres continues, posés avec des attaches élastiques sur traverses bi-bloc en béton armé et de ballast.

VII.3 Catégories de la voie

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

- **Les voies de service** : affectées aux manœuvres, elles sont constituées en général par des anciennes voies principales déclassées.
- **Les voies d'évitement** : qui permettent à deux trains qui circulent à contre sens sur une voie unique de se croiser.
- **Les voies de garage** : affectées au stationnement du matériel roulant.
- **Les voies principales** : affectées à la circulation des trains.

VII.4 Caractéristique de notre voie

La ligne est à voie unique reposée sur une plateforme d'une largeur de 08,00 m.

Au-dessus du fond de déblai, respectivement à la surface supérieure de remblai nivelé, les fondations de la plateforme consistent en une couche de fondation et d'un sous-ballast, la superstructure est posée sur le sous-ballast, chaque couche présente une pente de 4 % vers l'extérieur du corps de la plateforme.

La superstructure se compose de rails UIC-60 E1 et de traverses en béton bi bloc sur le ballast, du côté droit de la voie (dans le sens du kilométrage), une bande latérale est prévue pour l'installation d'une conduite de câble pour les télécommunications.

Les talus de remblai et de déblai auront des pentes définies selon les différents types du sol.

Dans les zones de déblai, des fossés capteurs sont prévus à côté du corps de la voie pour l'évacuation des eaux de ruissellement, de même, pour la protection des pieds de talus de remblai contre le trempage, des fossés d'écoulement ont été prévus.

Tous les ouvrages d'art ont été dimensionnés pour une ligne à double voie à écartement standard, à vitesse maximale de 160km/h.

Au niveau des gares le nombre des voies et les distances entre les voies peuvent varier.

Le gabarit GC détermine l'aire à réserver aux véhicules, aménagement des quais et espaces de sécurité, de chaque côté des voies, des éléments garde ballast, des conduites pour câbles, des trottoirs et des garde-corps ont été pris en considération. Sur les ponts, comme dans les sections de pleine voie, un ballastage est prévu. L'épaisseur de chaque couche de la plateforme est définie selon le rapport géotechnique.

VII.5 Rails

VII.5.1 Description

Les rails sont des éléments en acier profilé, assemblés de manière à former une voie ferrée continue. Ils transmettent plusieurs fonctions essentielles : ils fournissent à la fois une surface sur laquelle les trains roulent et un moyen de guidage pour ces derniers.

De plus, les rails jouent un rôle important en tant que conducteurs électriques, permettant le passage du courant de traction pour les véhicules ainsi que des courants de signalisation.

Les rails doivent résister aux diverses contraintes auxquelles ils sont soumis et les transmettre aux autres éléments de l'infrastructure ferroviaire. Ces contraintes comprennent :

- Des forces verticales résultant du poids, avec une répartition inégale de la charge (charges statiques), ainsi qu'un surpoids amélioré par la force centrifuge non compensée (charges quasi statiques) et des surcharges résultant de l'action de la masse (charges dynamiques).
- Des forces transversales subies par les mouvements de lacet et l'effet de la force centrifuge, qui subissent sur le rail, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie.
- Des forces longitudinales principalement dues aux variations

VII.5.2 Type de rail

Le rail utilisé de nos jours est généralement de type "Vignole". Dans sa section transversale, on peut distinguer différentes parties : le patin qui repose sur la traverse, le champignon qui constitue la surface de roulement, et l'âme, un filet vertical qui repose sur le champignon au patin.

Le rail à "double champignon symétrique" a été conçu dans le but de permettre de retourner le rail usé, ce qui aurait dû sa durée de vie. Cependant, ce système présentait un défaut majeur : lorsque le rail était retourné, il était déjà endommagé (présence de perforations dues à l'écrasement au niveau des bords).

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

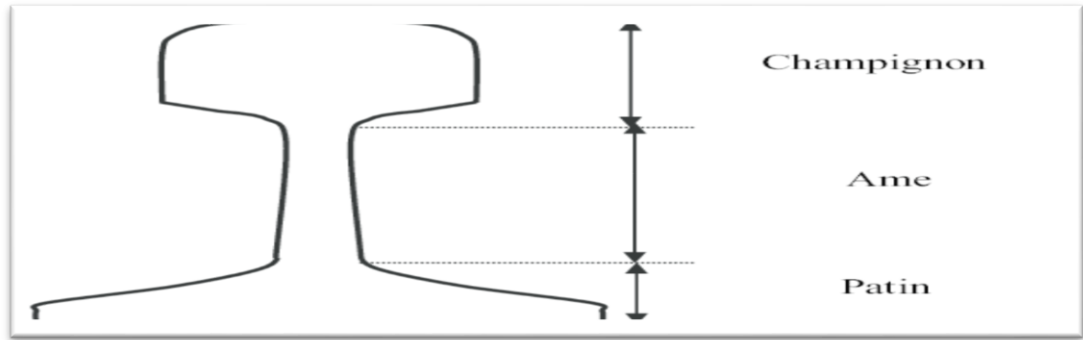


Figure VII-1 : Rail a patin (Vignole)

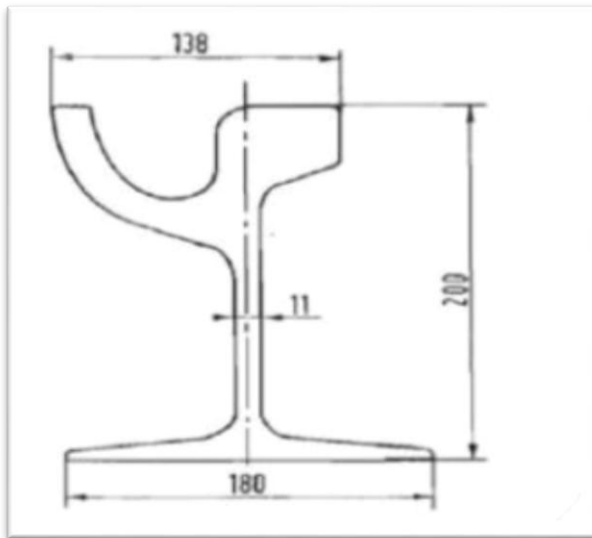


Figure VII-2 : Rail à gorge

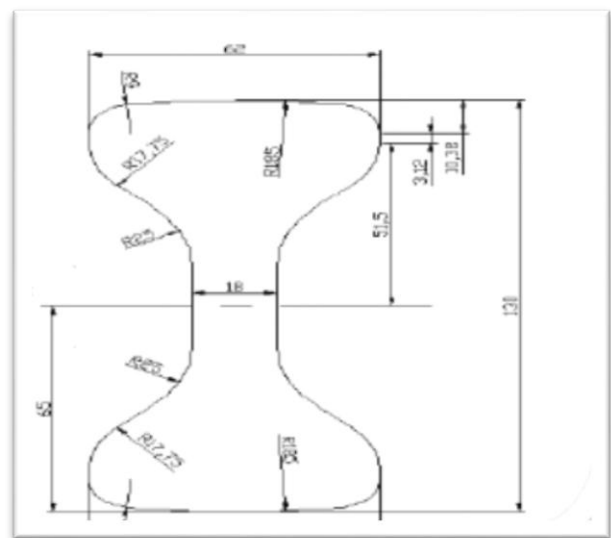


Figure VIII.3. Rail DC(double)

Dans notre projet, Le rail utilisé sera du type 60 E1.



Figure VII-4 : le rail 60 E1

❖ **Caractéristiques de ces rails seront les suivantes**

- ✓ Géométrie : rail -60E 1
- ✓ Surface de la section : 76.70 cm²
- ✓ Moment d'inertie (Axe X – X) : 3038,3 cm⁴
- ✓ Module d'Inertie champignon : 333.6 cm³
- ✓ Module d'inertie patin : 375.5 cm³
- ✓ Moment d'inertie (Axe- Y-Y) : 512,3 cm⁴
- ✓ Dimension indicative A : 20.456 mm
- ✓ Dimension indicative B : 52.053 mm
- ✓ Dressage : classe A
- ✓ Nuance : 260 (carbone-manganèse)
- ✓ Propriétés mécaniques selon la norme EN 13674-1
- ✓ Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW
- ✓ Résistance à la traction ≥ 880 N/mm²
- ✓ Allongement $\geq 10\%$.
- ✓ Longueur minimum des barres élémentaires : 18 m.
- ✓ Barres élémentaires soudées électriquement en atelier en barre continue de longueur ≥ 288 m et soudure aluminothermique en voie

Tableau VII-1 : profil 60 E1

masse linéique théorique	moment d'inertie I_x	Module d'inertie I_x/v	Section	résistance à la traction
60. 21 <i>kg/m</i>	3038.3 <i>cm</i>⁴	335.6 <i>cm</i>³	76.7 <i>cm</i>²	880 <i>N/mm</i>

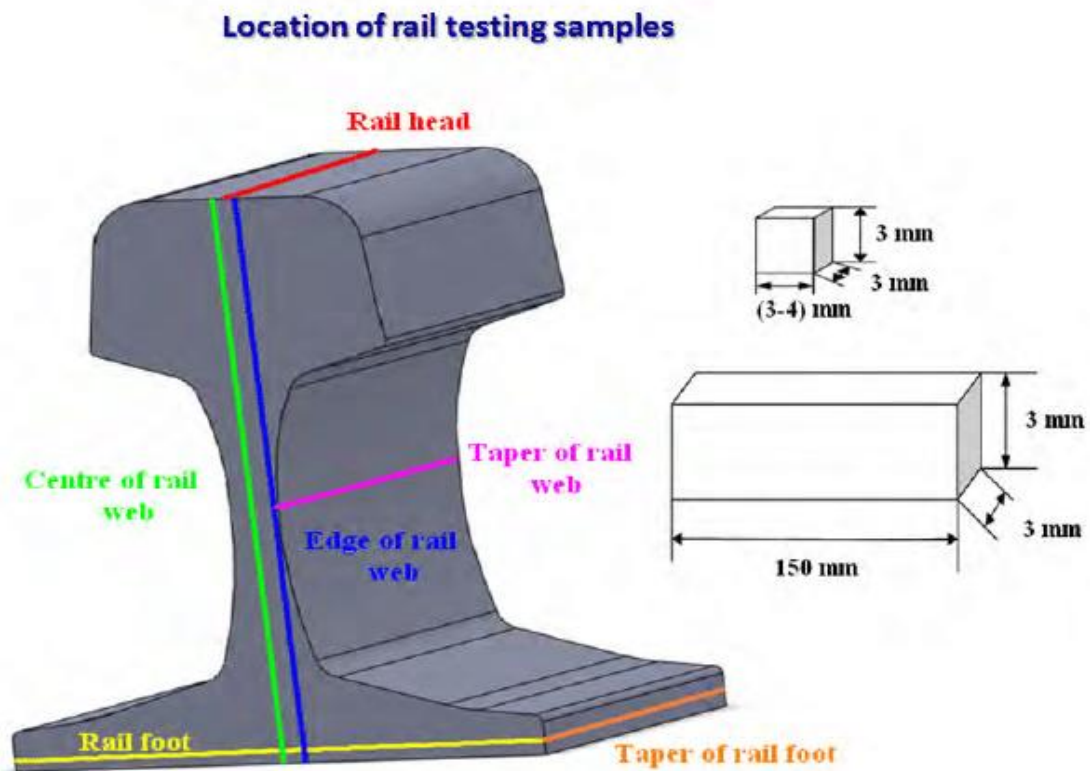


Figure VII-5 : La géométrie du rail UIC 60 E1

VII.5.3 Fabrication du rail

Les rails utilisés en chemins de fer passent par beaucoup d'étapes avant leur mise en service. La première consiste à fabriquer la fonte par réduction du minerai de fer dans les hautsfourneaux puis la conversion de fonte en acier par combustion du carbone excédentaire.

Après l'acier est coulé dans des lingotières de forme allongé mais de profile nettement supérieur à celui de rail, le laminage a lieu à chaud, il doit être terminé aussi basse que possible, ensuite un traitement thermique est programmé avant que le rail soit dressés, fraisés a longueur, percé et alésés.

VII.5.4 Inclinaison du rail

Afin de favoriser le centrage des roues du train, les rails sont inclinés vers l'intérieur selon une pente de 1/20 en voie normale et métrique.

Cette pente est obtenue par entaillage incliné des traverses bois.

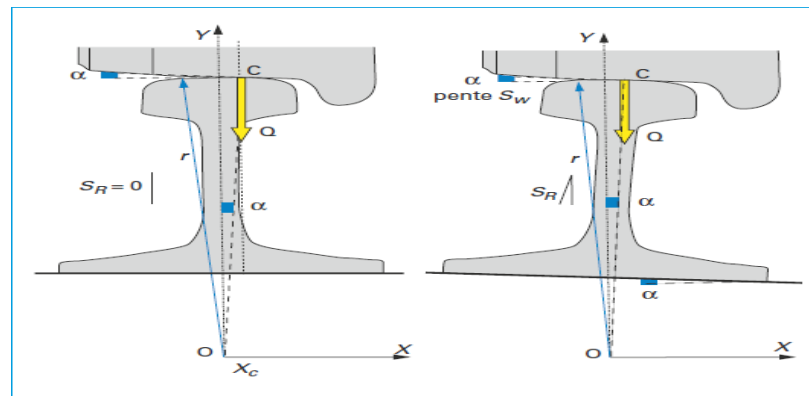


Figure VII-6 : Inclinaison du rail

VII.5.5 Ecartement des rails

L'écartement des rails c est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rails d'une voie ferrée. L'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie « normale », c est le plus utilisé à travers le monde (60%).

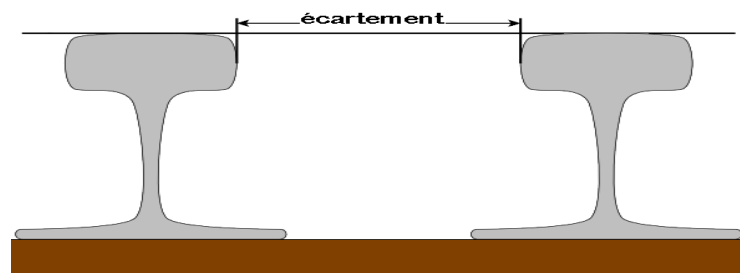


Figure VII-7 : L'écartement entre les rails

VII.5.6 Défaut des rails

On distingue trois catégories de défaut de rails :

- **Rail avarié** : rail ni fissuré ni rompu qui présente d'autres défauts généralement situés en surface.
- **Rail fissuré** : rail présentant, en un point quelconque de sa longueur et quelles que soient les parties intéressées du profil.

Une ou plusieurs solutions de continuité, d'orientation quelconque, visibles ou non, dont le développement risque d'entraîner une rupture à échéance plus ou moins rapprochée.

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

VII.6 Longs rails soudés (LRS)

Les LRS (longs rails soudés) sont largement utilisés sur les réseaux ferroviaires dans le monde parce qu'ils présentent des avantages importants, la fiche code UIC 774-3R et UIC 720, est un document qui fournit les directives pour la pose et l'utilisation de LRS sur la voie ballastée ainsi que les méthodes d'inspection et les critères de sécurité.

La longueur d'un rail est en général de 18m ou de 36 m. La longueur de rail livré au site varie selon la méthode de transport (le moyen de transport disponible). Lorsque le rail est transporté et stocké sur site, le soudage des rails est nécessaire afin de former les longs rails soudés (LRS). La longueur de rail soudé en voie doit être la plus longue possible. Elle peut varier pour tenir compte des règles qui concernent les points particuliers de la voie, (ex les ouvrages d'art) sa fixation, la maintenance, la condition de surveillance ainsi que les influences de la température et les paramètres du matériel roulant.

Les barres élémentaires seront soudées électriquement en atelier en barre continue de 396m de longueur et soudées aluminothermique en voie.

Les joints de rail sont utilisés seulement dans les gares ou dans les rayons de courbe horizontale qui ne sont pas compatibles avec l'exigence d'installation de LRS.



Figure VII-8 : photo d'une barre soudée

VII.6.1 Soudage par forgeage électrique

Il est réalisé à poste fixe ou à l'aide de machines mobiles. Le matériau à rail est chauffé et soudé par courant électrique, aussi le cordon de soudure est réalisé par le matériau que les rails. Ce type de soudage est pratiqué en atelier pour construire des barres longues.

Temps requis : 3 min/soudure.

□ Procédure :

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

□ Avantages :

- ✓ Absence de matériau étranger.
- ✓ Expulsion des impuretés (oxydes) lors du forgeage.
- ✓ Répartition uniforme de la dureté grâce à une zone de réchauffement courte (30-40 mm).
- ✓ Procédé des soudage entièrement mécanisé, ce qui résulte un soudage constant et régulier, de bonne qualité et absence de défauts dus à la fatigue ou le manque de concentration du soudeur.

VII.6.2 Soudage aluminothermique

C'est un processus d'oxydation exothermique de l'aluminium avec du fer ou de l'oxydeferrique. Des additifs supplémentaires et des matériaux d'alliage spécifiques transforment le fer. Ce type de soudage est pratiqué sur site pour le raccord en voie des barres longues ou des appareils de voie, et il ne nécessite que des moyens légers. Les rails à souder sont alignés en laissant un espace précis entre leurs extrémités. Des moules sont ajustés autour du joint entre deux rails le processus récent fait appel à un creuset jetable.

Temps requis : 20 min/soudure.

□ Procédure :

- ✓ Préchauffage : avec un brûleur spécialement conçu. Les moules et les abouts des rails sont préchauffés à 200 0°C environ pendant un temps précis pour atteindre la température correcte pour le soudage.

- ✓ Mise en feu : lorsque la température de préchauffage correcte est atteinte, la réaction est amorcée dans le creuset à l'aide d'un tison spécial. L'acier fondu est obtenu par réaction aluminothermique.
- ✓ Soudage : au moment adéquat, le bouchon fusible au bas du creuset libère l'acier en fusion dans le moule par le passage prévu.
- ✓ Tranchage du rail : il est réalisé lorsque la soudure a pris et avant qu'elle ne soit refroidie. Le tranchage se fait sur la surface de roulement.
- ✓ Meulage du rail : Immédiatement après le tranchage, un meulage rapide est effectué sur le rail.

La finition des soudures est obligatoire afin d'obtenir une continuité parfaite du profilé de rail et elle consiste à éliminer toutes les bavures issues de la soudure aluminothermique et cela demande l'emploi de différents appareils comme l'ébavureuse hydraulique et la meuleuse de profil.

Les travaux de pose et de soudage sont suspendus lorsque des conditions atmosphériques anormales surviennent, notamment lorsque la température mesurée au rail dépasse + 45°C.

VII.6.3 Avantages et inconvénients des LRS

□ Les principaux avantages des LRS sont :

- ✓ Réduction des coûts de maintenance.
- ✓ Réduction des défauts et d'usure de rail.
- ✓ Diminution du bruit et des émissions sonores.
- ✓ Mécanisation plus facile de la pose et de la maintenance de la voie.

□ Principaux inconvénients des LRS sont :

- ✓ Un risque de déformation par flambement de la voie sous les contraintes de compression excessives lors de périodes de très fortes chaleurs.
- ✓ Un risque plus grand par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid.
- ✓ Une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses.

VII.7 traverse

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails. On utilise principalement des traverses en bois, en béton ou métalliques.

□ Travers en bois :

Elles sont fabriquées à partir du bois de chaine ou hêtre qui sont appréciés pour leur résistance, leur flexibilité et la facilité de leur mise en œuvre, mais leur durée de vie est très courte, alors pour régler le problème, on procède à un traitement chimique avec de la créosote et sous pression.

Dans nos jours les traverses en bois ne sont pas utilisées fréquemment vu leur effets négatif sur l'environnement et leur cout élevée.



Figure VII-9 : Travers en bois

□ Travers en béton armé :

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

❖ Travers en Bi bloc :

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



Figure VII-10 : Travers en Bi bloc

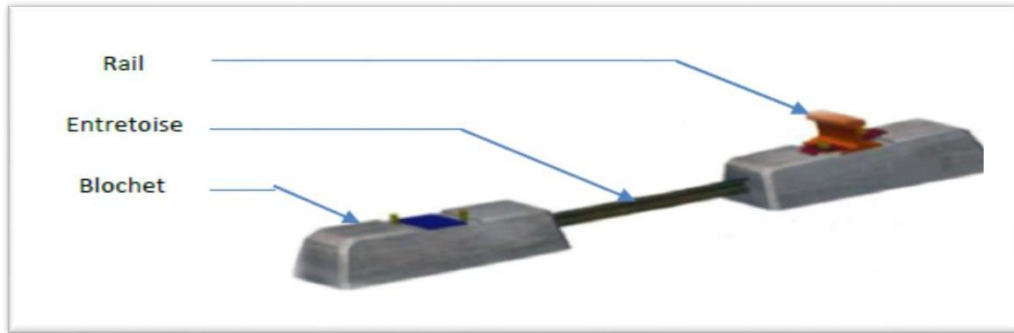


Figure VII-11 : éléments du Travers en béton bi-blocs

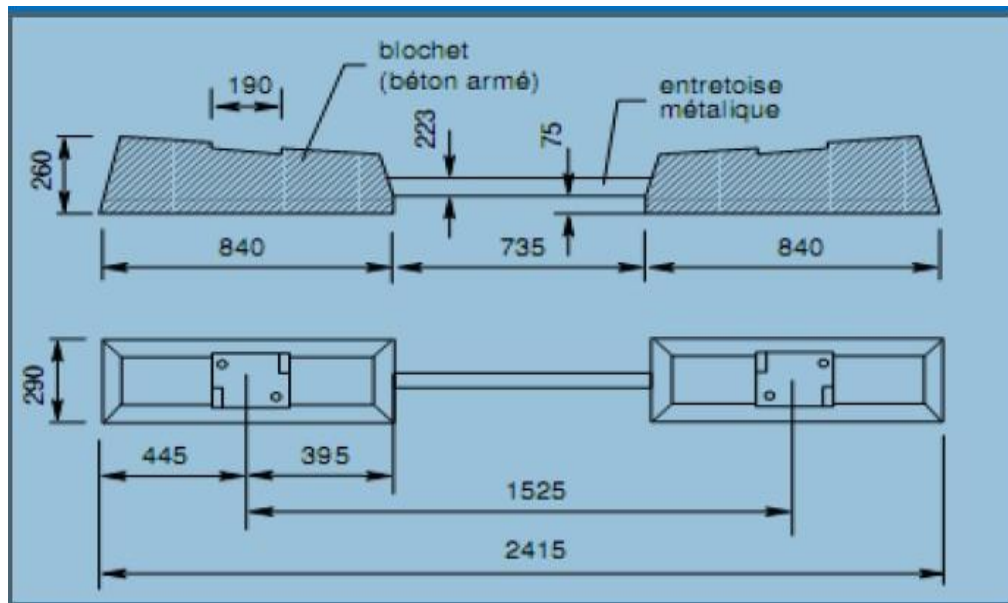


Figure VII-12 : Caractéristiques du traverse en béton bi-bloc

❖ **Travers en Monobloc :**

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

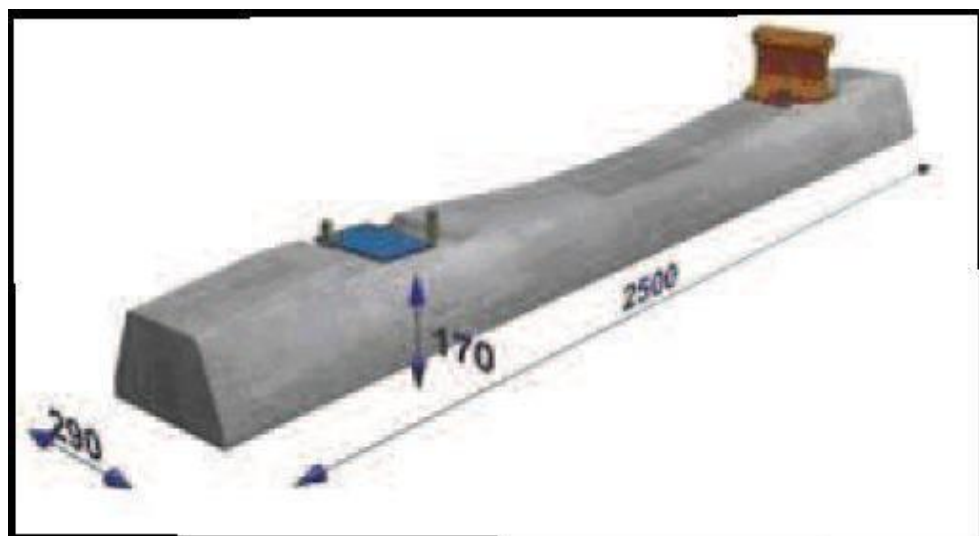


Figure VII-13: Travers en Monobloc

□ Travers métalliques :

Les travers métalliques, en acier, ne sont plus guère utilisés. Elles sont bruyantes, surtout à vitesse élevée, s'ancrent moins bien dans le ballast à cause de leur légèreté.

Elles rendent également très difficile l'entretien de la géométrie de la voie par bourrage. En effet, leur forme ne permet pas aux bourreuses d'insérer du ballast sous la traverse.



Figure VII-14 : Travers métalliques

VII.7.1 Rôle des traverses

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

- ✓ Réalisation et maintien de l'écartement normal (1435 mm) des rails.
- ✓ Répartition et transmission des efforts sur la couche de ballast, à savoir :
 - ✓ Charges verticales des essieux.
 - ✓ Forces centrifuges horizontales.
 - ✓ Efforts longitudinaux.
- ✓ Permettent l'inclinaison de 1/20 aux rails.
- ✓ Amortissement des vibrations des rails.

VII.8 Système d'attache

Le système d'attache est la partie qui transmet les charges entre le rail et les traverses et qui maintient l'écartement. Le système de fixation du rail appliqué sur ce projet se confirme à la norme EN13481-2 (système de fixation des traverses en béton). Plusieurs types et techniques d'attache sont disponibles sur le marché. Mais l'attache élastique est recommandée selon l'exigence du type de traverse en béton armé ainsi que pour la pose en LRS.

Il sera employé des attaches élastiques, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre rail et traverse. Le système recommandé est une attache à lame.

VII.8.1 rôle d'attache

L'attache doit remplir les rôles suivants :

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



Figure VII- 15 : attache de type Nabla

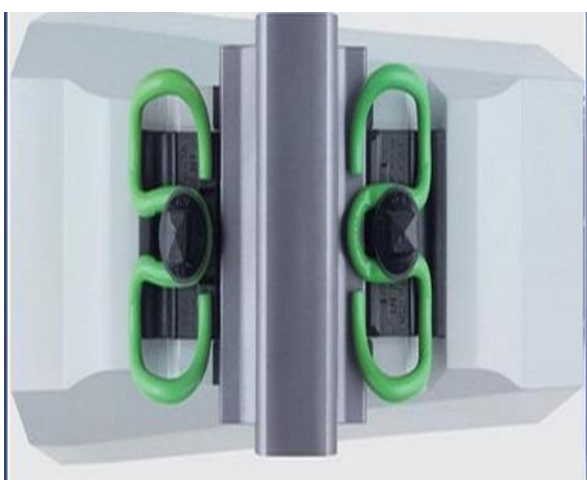


Figure VII-16 : attache de type vossloh

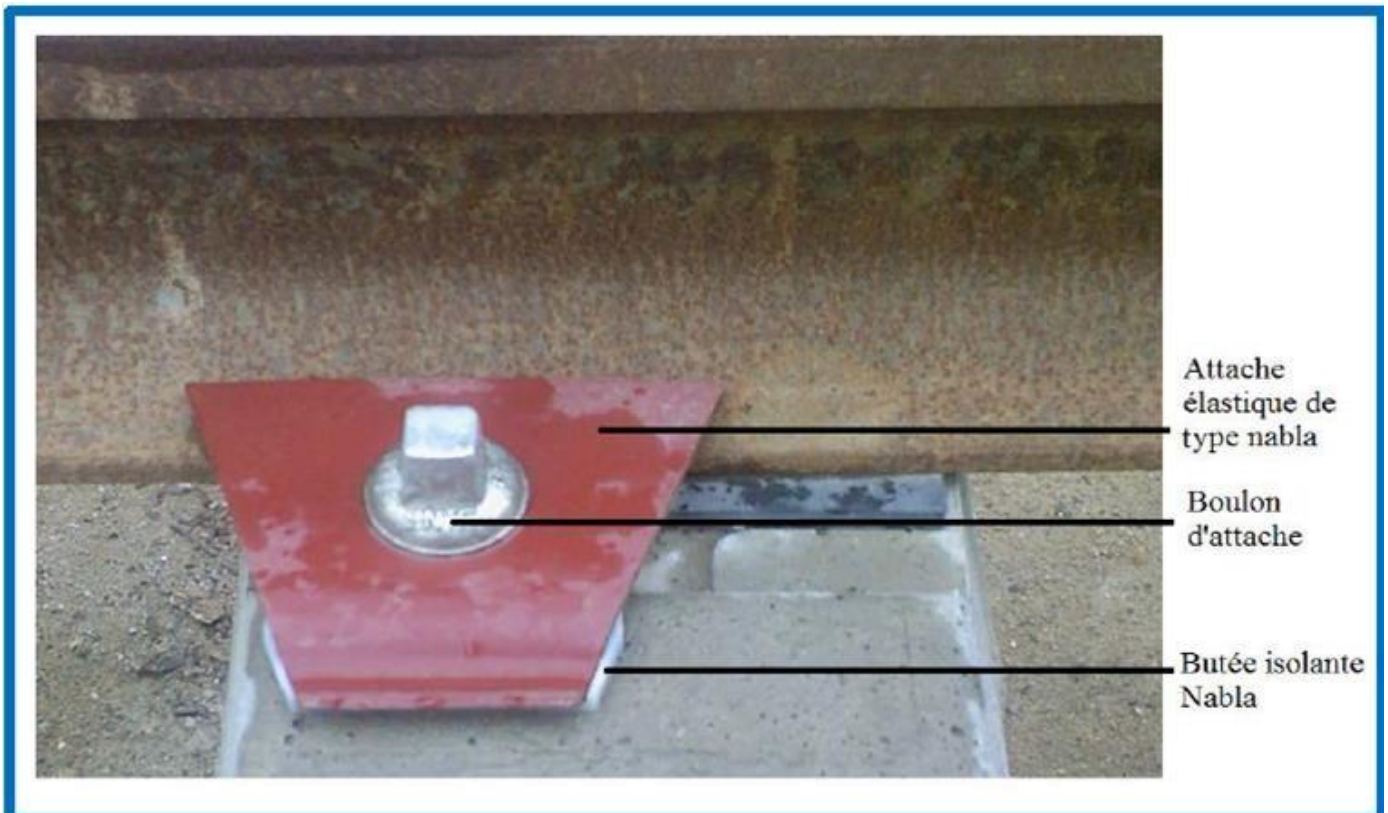


Figure VII-17 : Les éléments d'une attache de type Nabla.

VII.9 Appareils de voie

VII.9.1 Description

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

Les appareils de voie sont des éléments dont les frés d'investissement et de Maintenance sont élevés et qui peuvent perturber sensiblement la circulation des véhicules. Ils doivent être disposés et conçus de façon à obtenir un tracé favorable du point de vue de la dynamique, Actuellement, la durée de vie des appareils de voie est d'environ 30 ans (avec traverses en béton).

Pour les véhicules ferroviaires il est donc nécessaire de prévoir des appareils de voie afin de leur permettre de changer de voie. Ceux-ci peuvent être classés en deux groupes :

- **Groupe 1 (branchement, traversées et traversé jonctions) :** ils permettent aux trains de passer sans discontinuité d'une voie sur une autre. Dans un branchement, les axes de voies se réunissent tandis que dans une traversée, ils se coupent.
- **Groupe 2 (plaques, ponts ou secteurs tournants et chariots transbordeurs) :** ces appareils permettent de passer d'une voie sur une autre de façon discontinue.

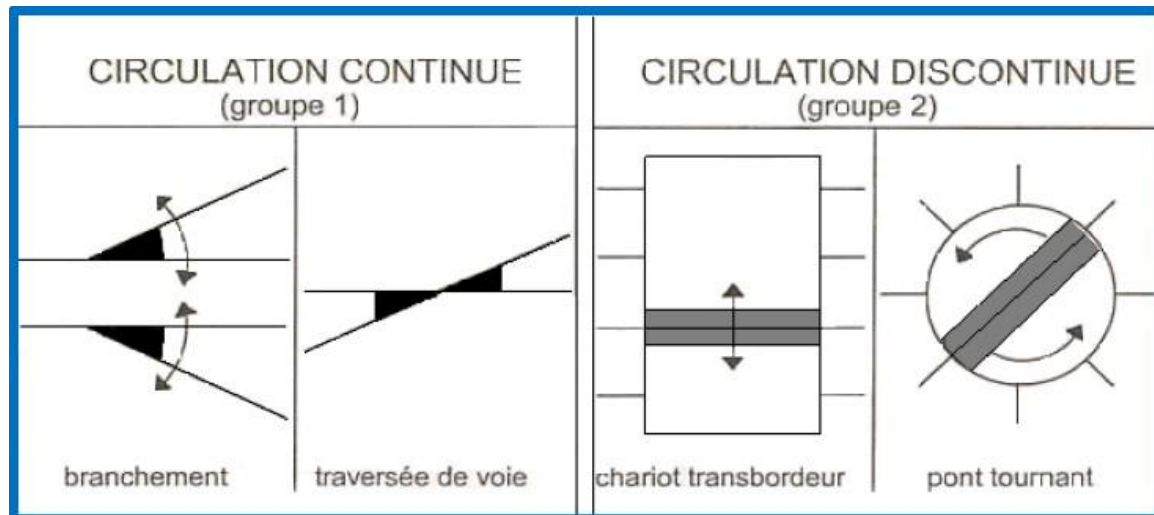


Figure VII-18 : les différents appareils de voie

Dans notre projet, seuls les branchements du groupe 1 seront utilisés. Les véhicules ferroviaires doivent franchir les branchements sans effets dynamiques et sans chocs.

VII.9.2 Eléments constitutifs d'un appareil de voie

Les éléments constitutifs d'un appareil de voie sont :

- ✓ **L'aiguillage :** Partie constituée de rails et de lames usinées et articulées qui assurent la continuité d'un des 2 ou 3 itinéraires divergents à l'origine de la divergence.
- ✓ **la partie intermédiaire :** qui est assimilable à de la voie courante
- ✓ **Le croisement :** Partie de l'appareil assurant la continuité de deux itinéraires sécants au droit de l'intersection entre files opposées et comprenant un cœur de croisement en acier monobloc ou assemblés, 2 rails extérieurs équipés de 2 contre-rails avec entretoises de liaison.

Les éléments de sécurité des appareils de voie sont :

✓ Motorisation :

Un moteur électrique, équipé de tringles rigides, permet le déplacement des 2lames d'aiguille en fonction de l'itinéraire choisi.

✓ Système de verrouillage :

Pour des raisons de sécurité, les appareils de voie parcourus par des trains rapides sont équipés d'un contrôle électrique de position afin d'immobiliser les lames d'aiguille dans la position choisie sur le rail contre aiguille. Pour éviter le calage de l'aiguille par la neige ou le gel, l'aiguillage est équipé de résistances chauffantes, ou de rampes au gaz propane.

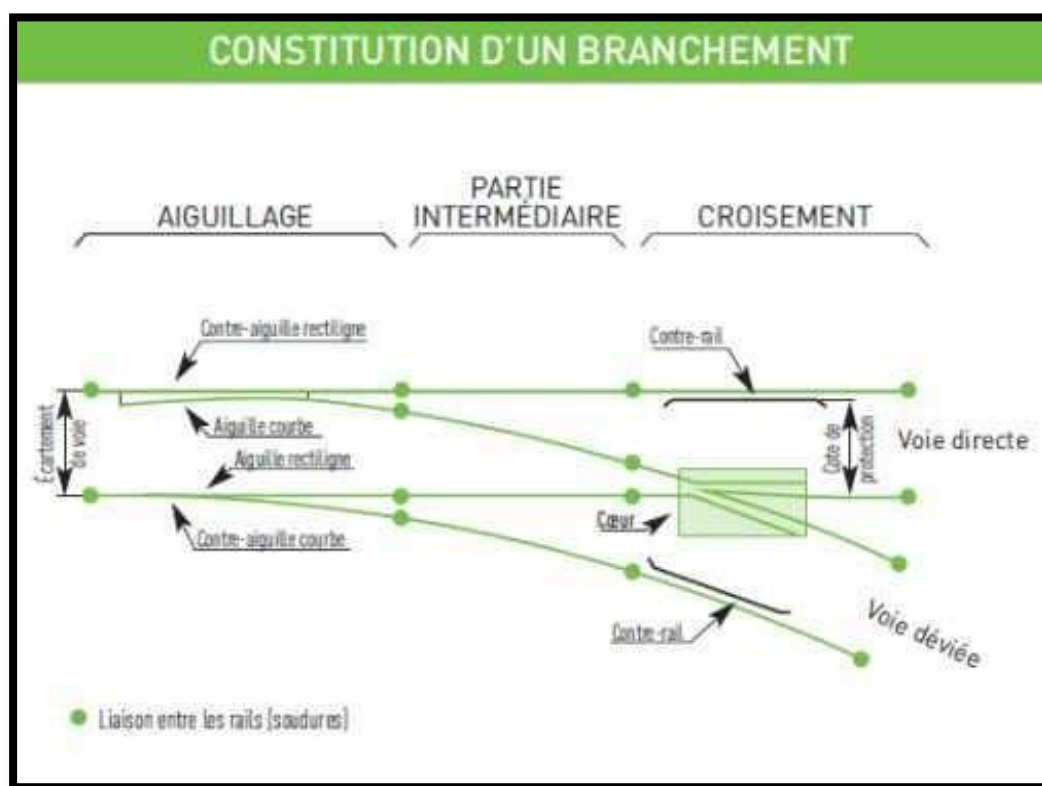


Figure VII-19 : un branchement et ces éléments constitutifs.

Type d'appareils de voie et leur domaine d'application :

Deux facteurs déterminants pour le choix des appareils idéal à utiliser :

- ✓ la vitesse.
- ✓ le tracé.

Le tableau ci-après montre les cas d'application des types de branchement plus courant dans notre pays et En fonction de la vitesse de branchement :

Tableau VII-2 : les types de branchement

Domaine d'emploi du branchement	Vitesse(Km/h)	Type de branchement
<ul style="list-style-type: none"> Dans le réseau des zones industrielles. Dans le réseau d'embranchement Particulier. 	30	R140- 1/6 tg (0,167)
<ul style="list-style-type: none"> Dans les faisceaux de classement, remisage, voie de nettoyage et toutes les voies de manœuvre. 	40	R190- 1/7 tg (0,143) R190- 1/9 tg (0,111)
<ul style="list-style-type: none"> Comme branchement d'entrée et de sortie de voies de quais les trains de voyageurs. Dans le faisceau de transfert de la a gare de marchandises. Dans la voie de circulation des trains marchandises 	50	R300- 1/9 tg (0,111)
<ul style="list-style-type: none"> Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai utilisées par les trains de banlieue ou de voyageurs. Dans les communications des voies de ligne. Dans la bifurcation d'une voie de ligne Comme branchements d'entrée et de sortie des gares. 	60	R500- 1 /12 (0,083)

VII.10 Conclusion

En conclusion, la superstructure joue un rôle essentiel dans la transmission des charges statiques et dynamiques des roues vers la plate-forme, assurant ainsi la stabilité et la sécurité de l'infrastructure. Au cours de ce chapitre, nous avons exploré l'importance de cette superstructure et son impact sur les performances globales du système.



Couches d'assises

VIII.1 Introduction

La structure d'assises ou l'infrastructure de la voie désigne le socle sur lequel repose une voie ferrée. En d'autres termes, il s'agit de la partie inférieure qui supporte la voie, Son rôle principal est de répartir les charges induites par les traverses sur la plate-forme et d'amortir les vibrations de la superstructure, de plus, elle contribue à stabiliser la voie dans les directions longitudinale et latérale. La structure d'assises joue donc un rôle essentiel en assurant, grâce à sa composition et son épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée en termes de rigidité, de résistance et de drainage. Elle garantit en grande partie la stabilité, la durabilité et l'évacuation adéquate des eaux de la voie ferrée.

VIII.2 Différentes couches d'assises

La structure d'assise de la voie ferrée est constituée de différentes couches, à savoir la couche de ballast, la sous-couche et la couche de forme

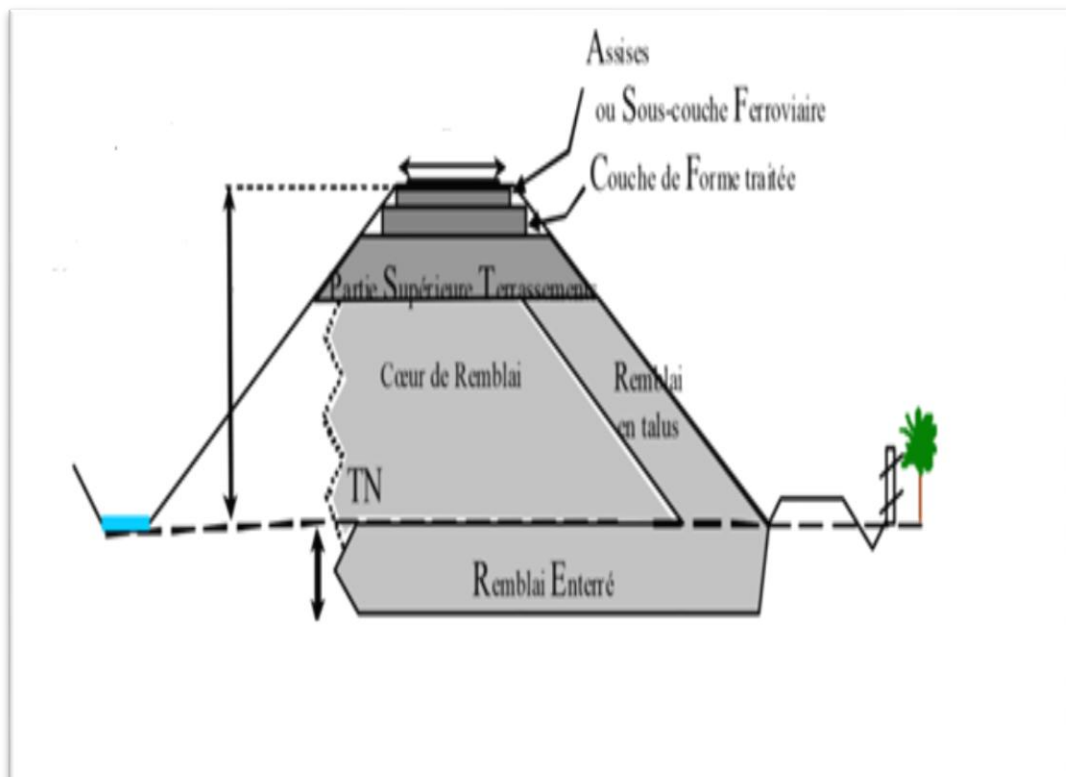


Fig VIII-1. Les différentes couches d'assises

VIII.2.1 Couche de ballast

Le ballast est le terme utilisé pour désigner le lit de pierres placé entre la voie ferrée et la plateforme. Il est constitué de roches dures concassées, telles que le granite, le quartzite, le grès etc.

Sa granulométrie est généralement comprise entre 25 et 63 mm, le ballast remplit plusieurs

fonctions, notamment celle de répartir les charges rapportées par les traversées, de favoriser le drainage des eaux de surface, d'améliorer la stabilité de la voie et de fournir une base solide pour la superstructure de la voie ferrée.

Pour le nivellement, on utilise du gravillon fin avec une granulométrie de 15 à 35 mm et une épaisseur minimale de 30 cm. Cette couche de ballast remplit plusieurs rôles importants notamment:

- Répartition des charges : Elle permet de répartir de manière uniforme les charges concentrées provenant des traverses sur la plate-forme.
- Amortissement des vibrations : Grâce à ses propriétés rhéologiques, le ballast fin contribue à amortir une grande partie des vibrations générées par le passage des trains.
- Drainage efficace : En raison de sa granulométrie spécifique, le ballast fin favorise un drainage rapide de l'eau, ce qui contribue à maintenir la voie en bon état.
- Ajustement du nivellement : Le ballast fin permet un ajustement rapide du nivellement de la voie grâce à des techniques de bourrage et de dressage mécaniques.
- Stabilité de la voie : Par le frottement entre ses éléments et contre les traverses, le ballast fin s'oppose à tout déplacement indésirable de la voie, assurant ainsi sa stabilité. Le choix de la granulométrie du ballast dépend de la nature des traversées utilisées.

En résumé, la couche de ballast en gravillon fin joue un rôle essentiel dans la répartition des charges, l'amortissement des vibrations, le drainage, l'ajustement du nivellement et la stabilité de la voie ferrée.

VIII.2.1.1 Caractéristique du ballast

❖ Caractéristique physiques:

En Algérie, la classe de granulométrie couramment utilisée pour le ballast est de 25/50 mm, conformément aux directives de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires).

La forme des granulats, caractérisée par leur angularité et leur rugosité, est importante. Il est préférable d'avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour favoriser la cohésion de la masse de ballast et assurer un bon maintien en place des traverses grâce au frottement Ballast/traverse, l'homogénéité des granulats est également un critère essentiel.

Un ballast composé de granulats d'âges et de duretés différentes se détériore rapidement, ce qui peut entraîner des problèmes de stabilité de la voie, la propreté des granulats est un aspect crucial. Le ballast doit être exempt d'éléments fins et de débris, car ceux-ci pourraient compromettre sa fonctionnalité et entraîner une dégradation prématurée.

La perméabilité du ballast est un autre aspect important. Elle garantit un bon écoulement de l'eau de pluie à travers le ballast, évitant ainsi l'accumulation d'eau et les problèmes d'infiltration.

Enfin, la densité du ballast est prise en compte. Une densité appropriée permet de mieux lester la voie et de lui permettre de résister aux différents efforts auxquels elle est soumise, assurant ainsi sa stabilité et sa durabilité.

❖ **Caractéristiques mécaniques :**

La résistance à l'attrition est un facteur important à prendre en compte pour le ballast, en raison des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux. Pour évaluer cette résistance à l'attrition, un essai appelé essai DEVAL est réalisé.

Dans cet essai le ballast est soumis à des conditions de frottement à la fois à l'état sec (DS) et à l'état humide (DH), selon les recommandations de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires), une valeur de DS supérieure à 14 est requise pour les pierres dures, tandis qu'une valeur de DH supérieure à 6 est préconisée.

Pour les pierres carbonatées, une valeur de DS supérieure à 12 est recommandée, ces critères de résistance à l'attrition permettent de s'assurer que le ballast sera capable de résister aux contraintes mécaniques imposées par les charges et les vibrations, assurant ainsi sa durabilité et sa performance dans le temps.

La résistance aux chocs du ballast est attribuée en sa capacité à résister à la fragmentation due aux chocs et à l'usure par frottement des granulats. Cela est réalisé à l'aide de l'essai de Los Angeles, où un coefficient 'LA' inférieur à 25% est considéré comme acceptable.

La dureté du lest est importante pour résister aux charges appliquées et à l'usure par abrasion provoquée par les vibrations des charges roulantes. La difficulté est compensée en prenant en compte à la fois la résistance à l'attrition et la résistance aux chocs, et elle est exprimée par le coefficient de difficulté relatif global « DRG ». Ce coefficient peut varier en fonction de la nature des traversées et du trafic.

La résistance à la compression du ballast est également un facteur essentiel. Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent entraîner des ruptures, il est donc important que les granulats présentent une résistance à la compression suffisante, cette résistance est estimée par un essai en laboratoire, où en Algérie, une résistance à la compression supérieure à 14 KN/cm² (Document SNTF) est considérée comme appropriée.

VIII.2.2 La sous-couche

La structure de l'assise de la voie comprend plusieurs couches, de haut en bas. Tout d'abord, il y a une couche de sous-ballast constituée de gravier de granulométrie 0/31,5 mm. Ensuite, il y a une couche de fond de teint qui peut être constituée de gravier compacté à 100 % de la norme OPN

(Opérations de Passage Normalisées), bien que cela ne soit pas nécessaire pour les sols de meilleure qualité.

Enfin s'il est nécessaire, il peut y avoir une couche anti-contaminante constituée de sable propre, éventuellement renforcée par une feuille géotextile.

VIII.2.2.1 Rôles de la sous-couche sont multiples

La sous-couche joue un rôle crucial dans les chemins de fer, remplissant plusieurs fonctions essentielles

1. Répartition des charges : La sous-couche assure une répartition uniforme des charges obtenues par les traverses et les rails sur la plate-forme, cela réduit les contraintes localisées et garantit une répartition équilibrée des charges sur l'ensemble de la structure de la voie.

2. Stabilité et support : La sous-couche offre une base solide et stable pour la voie ferrée, elle aide à maintenir la stabilité des traverses et des rails, en prévenant les déformations et les mouvements indésirables.

3. Amortissement des vibrations : La sous-couche contribue à l'absorption des vibrations émises par le passage des trains. Elle joue un rôle essentiel dans la réduction des nuisances sonores et des vibrations ressenties par les passagers et les riverains.

4. Drainage : La sous-couche assure le drainage adéquat de la voie en permettant l'évacuation rapide de l'eau de pluie. Cela prévient l'accumulation d'eau et favorise la stabilité du ballast.

5. Nivellement : En cas de déformation ou de tassement du ballast, la sous-couche permet d'ajuster rapidement et efficacement le nivellement de la voie. Cela garantit une surface de roulement régulière et sûre pour les trains.

VIII.2.2.2 Constitution de la sous couche

❖ Sous-ballast :

La construction des couches d'un chemin de fer peut varier selon les pays et les normes spécifiques en vigueur. Cependant, je vais vous donner une explication générale de la constitution des canapés typiques d'un chemin de fer.

1. La couche de ballast : C'est la couche inférieure et la plus profonde du système de voie ferrée. Elle est composée de gros graviers, de pierres concassées ou de granulats similaires. Le ballast remplit plusieurs fonctions, notamment la répartition des charges, la stabilisation de la voie, l'évacuation de l'eau et la réduction des vibrations, le ballast est généralement posé sur une couche de géotextile pour éviter que les particules fines ne remontent vers la surface.

2. Couche de sous-ballast : Au-dessus du ballast, il peut y avoir une couche de sous-ballast. Cette couche est composée de matériaux tels que du sable, des graviers plus des ailettes ou des matériaux granulaires similaires. Le sous-ballast offre une meilleure répartition de la charge et une stabilité accumulée de la voie en utilisant les mouvements du ballast.

3. Couche de traverse : Les traverses, généralement en béton ou en bois traité sont installées sur le sous-ballast, les traverses servent de support pour les rails et aident à maintenir leur position correcte, elles sont régulièrement espacées le long de la voie ferrée.

4. Couche de voie : C'est la couche supérieure où les rails sont fixés, elle peut être constituée de divers matériaux, notamment du béton, de l'asphalte ou des traverses en bois, La couche de voie assure une surface plane et stable pour le passage des trains.

5. Rails : Les rails sont posés sur la couche de voie et configurés aux traverses à l'aide de dispositifs de fixation tels que des crampons en acier ou des attaches élastiques, les rails forment une piste continue sur laquelle les trains circulent.

VIII.3 Dimensionnement des couches d'assises

Le dimensionnement des canapés d'assise dans la construction d'une voie ferrée doit tenir compte à la fois des problèmes de portance et des problèmes de gel.

En ce qui concerne la portance, l'épaisseur totale de la couche d'assise, comprenant le ballast et le sous-ballast, dépend de plusieurs facteurs :

1. Classe de portance de la plate-forme : La résistance du sol de la plate-forme doit être désignée afin de déterminer sa capacité à supporter les charges de la voie ferrée. La classe de portance attribuée à la plate-forme permet de définir l'épaisseur minimale requise pour les canapés d'assise.

2. Espacement des traverses : L'espacement entre les traverses influe sur la répartition des charges et donc sur l'épaisseur nécessaire des canapés d'assise. Un espacement plus étroit des traverses peut permettre de réduire l'épaisseur des canapés d'assise, car la charge est mieux répartie.

3. Caractéristiques de trafic : Les charges de trafic, telles que le tonnage supporté, la charge d'essieu et la vitesse des trains, doivent être prises en compte pour dimensionner les canapés d'assise. Des calculs d'ingénierie sont réalisés pour déterminer les charges axiales et latérales contenues sur les canapés d'assise, ce qui permet de choisir les matériaux appropriés et leur épaisseur.

En ce qui concerne les problèmes de gel, il est essentiel de prendre des mesures pour éviter les dommages causés par le gel et le dégel du sol. Cela peut inclure l'utilisation de matériaux granulaires spéciaux dans les canapés d'assise qui offrent le drainage et indiquent la susceptibilité

au gel. Les recommandations spécifiques pour le dimensionnement des canapés d'assise en fonction des problèmes de gel peuvent varier en fonction du climat et des conditions géologiques locales.

Il convient de noter que le dimensionnement précis des canapés d'assise nécessite une expertise en ingénierie et une connaissance approfondie des normes et des recommandations spécifiques du pays ou de l'organisme responsable de la construction de la voie ferrée.

VIII.3.1 Classification de la plate-forme

On fait la classification de la plate-forme selon l'UIC (Fiche 719 R), Pour classer les plates-formes il faut tout d'abord connaître la classe de qualité de chaque sol composant la plate-forme, puis estimer la classe de portance de la plate-forme.

Une bonne connaissance de la qualité de la plate-forme est nécessaire, car elle représente l'emprise au sol, et constitue la base de la voie ferrée. Pour bien remplir son rôle elle doit être stable et saine.

VIII.3.1.1 Classe de qualité du sol selon L'UIC (fiche UIC 719R)

La classification de la plate-forme selon l'UIC (Fiche 719 R) repose sur la détermination de la classe de qualité de chaque sol composant la plate-forme, ainsi que sur l'estimation de la classe de portance de la plate-forme. Il est essentiel de bien connaître la qualité de la plate-forme, car elle constitue la base de la voie ferrée et doit être stable et saine.

Selon les règlements de l'Union Internationale des Chemins de Fer (Fiche UIC 719R), la qualité du sol dépend de deux paramètres principaux : la nature géotechnique du sol, désignée par des études géotechniques, et les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales. Pour ces dernières, l'influence sur la portance des sols est considérée comme bonnes si certaines conditions sont remplies. Par exemple, la couche supérieure du sol ne doit pas être en contact avec une nappe d'eau naturelle, la plate-forme ne doit pas présenter de percolations nocives transversales, longitudinales ou verticales, et le drainage des eaux de pluie doit être adéquate avec des dispositifs de drainage en bon état de fonctionnement. Si au moins l'une de ces trois conditions n'est pas remplie,

La classification des sols en fonction de leur qualité selon l'UIC distingue ainsi quatre classes de qualité QSi, en tenant compte de la nature du sol et des conditions hydrogéologiques et hydrologiques.

Il est important de noter que ces éléments de classification et de qualité du sol sont spécifiques à l'UIC et aux réglementations en vigueur, et peuvent varier en fonction (QS0 = sols impropre, QS1 = sols médiocres, QS2 = sols moyens, QS3 = bons sols) constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

VIII.3.1.2 Classes de portance de plateforme

La portance d'une plateforme dépend :

- De la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).
- De la qualité du sol constituant le corps de remblais ou du sol en place du fond du Déblai.

On peut distinguer, en fonction des paramètres ci-dessus les trois classes de portance de plateforme suivantes :

P3 : bonne plate – forme.

P2 : plate-forme moyenne.

P1 : plate –forme mauvaise.

VIII.3.2 Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise

L'épaisseur de la couche d'assise (e = épaisseur du ballast + épaisseur du sous couche) est donnée par la formule suivante :

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

« E » - des classes de portance (P1, P2 ou P3).

« a » - de l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714).

« b » - de la type de traverses.

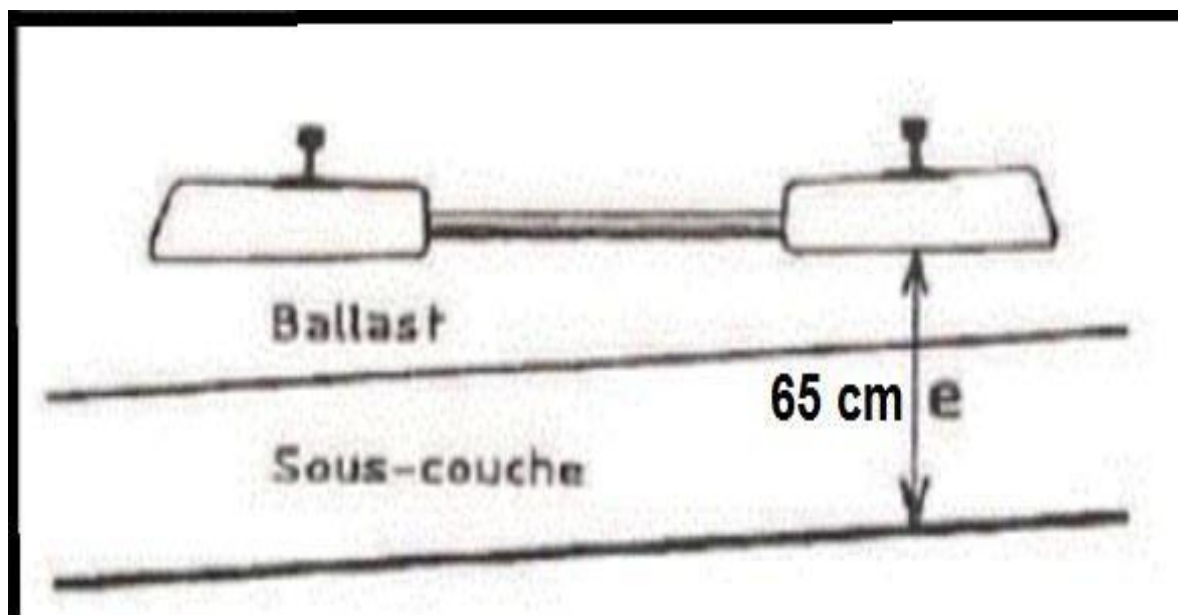
« c » - des conditions de travail.

« d » - de la charge maximale d'essieu des véhicules.

« f » - de la vitesse.

« g » - de installation de géotextiles.

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



- Valeur de E et l'utilisation des géotextiles

Figure VIII-2 : Schéma montre l'épaisseur (e)

VIII.3.2.1 Paramètres de dimensionnement : E, a, b, c, d, f, g

Classe de qualité du sol support	Couche de forme mise en œuvre		Classe de portance de la plate-forme	E (m)
	qualité	Epaisseur min (m)		
QS1	QS1	-	P1	0.70 + géotextile
	Sol traité aux liants	0.30	P2	0.55+géotextile
	QS2	0.55	P2	0.55+géotextile
	QS3	0.40	P2	0.55
	QS3	0.50	P3	0.45
QS2	QS2	-	P2	0.55
	QS3	0.40	P3	0.45
QS3	QS3	-	P3	

Tableau VIII-1 : les valeurs du coefficient E selon la plate-forme.

❖ Les Valeurs de a :

- 0 m pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à $V > 160$ km/h quel que soit le groupe (UIC)).
- -0.05 m pour les lignes de groupes UIC (3,4).
- -0.10 m pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
- -0.15 m pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.

❖ Les Valeurs de b :

- 0 m pour les travers en bois de longueurs $L = 2.6$ m
- $(2.50 - L)/2$ m : pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mètre si $L > 2.5$, b peut être négatif).

❖ Les Valeurs de c :

- 0 m pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
- -0.1 m : à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8 et 9 sans voyageurs".
- -0.05 m : à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC "7, 8 et 9 sans voyageurs".

❖ Valeurs de d :

- 0 m lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 20 tonne/essieu.
- 0.05 m lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
- 0.12 m lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.

❖ **Valeurs de f :**

- 0 m pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
- 0.05 m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues a grande vitesse.
- 0,10 m pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues a grande vitesse.

❖ **Valeurs de g :**

- + géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
- 0 (Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VIII.4 Application au projet

Épaisseur de la couche de forme : Le sol de notre projet est classé en QS1 « Bon sol » et la classe de portance de la plateforme est de type P2. Alors, d'après la fiche UIC 703.

Les paramètres de dimensionnement de notre projet :

- ✓ $a = -0.1$ m : lignes UIC7 avec voyageurs.
- ✓ $b = (2.5 - 2.24) / 2 = 0.13$ m : traverses en béton de longueur $L = 2.24$ m.
- ✓ $c = 0$ m : nouvelle ligne.
- ✓ $d = 0,05$ m : la charge de l'essieu remorqué est de 22 ,5 tonnes
- ✓ $f = 0$: la classe de portance de la plate-forme est de type P2
- ✓ g : Plus le géotextile car notre sol est de type QS1.

Donc :

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

$$= 0.55 - 0.1 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 0.1 = 0.73$$

On prend : $e = 0.75$ m

Les épaisseurs des différentes couches

- ballast : 30cm
- Sous-ballast : 25cm
- Couche de fondation : 20cm

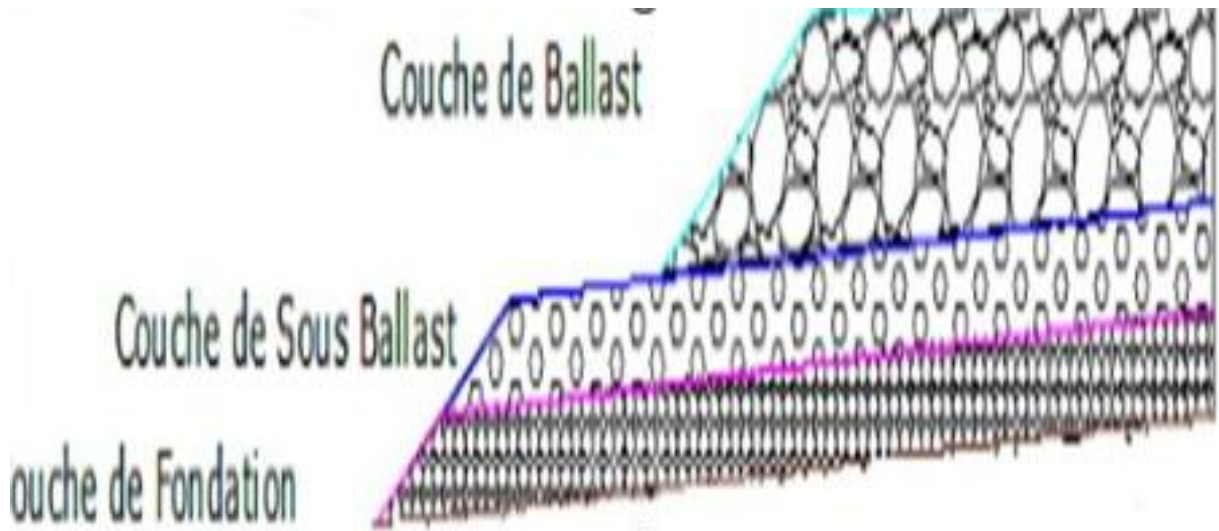


Figure VIII-3 : Les couches de corps d'assise

VIII.5 Conclusion

Le processus de dimensionnement a été essentiel pour déterminer les épaisseurs nécessaires des différentes couches, garantissant ainsi la capacité à supporter et à diffuser la charge transmise par le matériel roulant. Dans le respect des normes de l'UIC en vigueur en Algérie, nous avons établi les critères de conception pour chaque couche afin de répondre aux exigences de qualité et de performance.

En poursuivant notre étude, le prochain chapitre portera sur les ouvrages d'art. Ces structures spécifiques sont conçues pour franchir des obstacles tels que des cours d'eau, des vallées ou des routes. Les ouvrages d'art comprennent des ponts, des viaducs, des tunnels et d'autres éléments de génie civil nécessaires pour maintenir la continuité



**Les ouvrages d'Art et les
ouvrages hydrauliques**

IX.1 Introduction

Concevoir de meilleurs itinéraires qui répondent aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité latérale des voies ferrées et des traversées projetées diverses infrastructures existantes ainsi que des voies navigables, nous devons fournir ce Une nouvelle série des œuvres suivantes :

- Ponts Rail.
- Ponts routiers.
- Passages inférieures (Ponts cadre).
- Les ouvrages hydrauliques (buses, Dalots).
- Tunnels ferroviaires.

IX.2 Influence sur le choix du type d'ouvrage

Dans tous les cas le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées, ces conditions sont de deux sortes :

Données naturelles :

Écoulement des eaux nature du sol, etc....

Exigences techniques :

Elles sont portées, programme de charge gabarit, etc.... Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :

- ✓ La voie portée, ou l'obstacle franchi
- ✓ Programme de charges.
- ✓ Gabarit.
- ✓ Tirait d'eau.
- ✓ Adaptation architecturale à la région.
- ✓ Surjection à respecter pendant la construction.

IX.3 Croisement avec une route

En général, les problèmes de croisement doivent prendre en considération la nature et le débit de chaque voie traversée afin d'analyser cas par cas tous les types de croisements en fonction de la vitesse de base maximale.

On prévoit en effet, trois solutions possibles :

Passage supérieur : Si la vitesse des trains est importante \square 100 km/h et si la topographie le permet pas.

Passage à niveau : pour les routes de faibles débits

Passage inférieur de la route : rarement envisagée, c'est lorsque la topographie l'exige (niveau de roulement de train élevé).

IX.4 Définition et catégories des ponts

D'une façon générale, un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant à une voie de circulation (dite voie portée) de franchir un obstacle naturel ou artificiel : rivière, vallée, route, voie ferrée, canal, etc.

La voie portée peut être :

- ✓ Une voie routière (pont-route).
- ✓ Piétonne (passerelle).
- ✓ ferroviaire (pont-rail).

IX.5 Ouvrages d'art de notre projet

Tableau IX -1: Liste des ouvrages d'art pour notre projet

OA	PK Début	PK Fin	Nature	Type	L (longueur)	l (largeur)	Surface
1	8+106,15	8+106,15	Pont Suspendu	Portique	45,90	7,00	321,30
2	10+577,11	10+577,11	Dalot	8 x (3.72 x 7m)	61,54	12,85	790,79
3	11+015,91	11+015,91	Pont Suspendu	Portique	45,90	7,00	321,30
4	13+254,38	13+254,38	Pont Suspendu	Portique	50,10	7,00	350,70
5	15+989,09	15+989,09	Pont Suspendu	Portique	50,10	7,00	350,70
6	19+066,75	19+066,75	Pont Suspendu	Portique	50,10	7,00	350,70
7	20+325,00	20+404,00	OF	4 x 20.00 ml	95,69	13,45	1287,03

IX.6 Ouvrages hydrauliques

Les ouvrages hydrauliques dans les chemins de fer sont des éléments cruciaux du système ferroviaire qui permettent de gérer efficacement l'eau, notamment pour le drainage, la protection contre les inondations et la fourniture d'eau pour diverses applications.

Voici quelques-uns des principaux types d'ouvrages hydrauliques que l'on peut trouver dans les chemins de fer :

- ✓ Les ponts et les tunnels aquatiques
- ✓ Les canaux d'irrigation
- ✓ Les systèmes de drainage
- ✓ Les réservoirs d'eau
- ✓ Les barrages et les digues
- ✓ Les pompes et les stations de pompage
- ✓ Les passerelles pour la faune
- ✓ Les systèmes de gestion des eaux usées

Tableau IX -2: Liste des ouvrages Hydraulique de notre projet

	PK (APS)	PK PROJET (APD)	Côte Plate forme	Côte F.S.R	Côte radier	Hauteur remblai (m)	longueur droite (m)	Angle de biais (gr)
Dalot a prolonger	0+564	0+563	961,15 0	961,800	951,82	8,08	19,1	100
	3+153	3+152	966,95 0	967,600	965,12	0,58	7,7	100
	3+172	3+171	966,95 0	967,600	965,08	0,62	7,8	100
	4+335	4+336	966,95 0	967,600	957,68	8,02	19,0	100
	5+119	5+119	969,50 2	970,152	967,52	0,73	7,9	100
	1+219	1+218	960,75 0	961,400	956,87	2,63	10,8	100
	1+450	1+450	960,75 0	961,400	954,56	4,94	14,3	100
	1+747	1+746	960,75 0	961,400	956,97	2,53	10,7	100
	2+730	2+731	965,71 1	966,361	963,81	0,38	14,2	100
	2+856	2+856	966,66 9	967,319	964,38	1,04	8,4	100
	3+050	3+050	966,95 0	967,600	964,08	1,62	9,3	100
	3+551	3+551	966,95 0	967,600	964,96	0,74	7,9	100
	4+111	4+112	966,95 0	967,600	964,33	1,37	8,9	100
4+667	4+668	967,29 0	967,940	959,59	6,45	16,6	100	
Dalot projeter	6+801	6+801	953,20 4	953,854	948,43	3,52	18,0	76
	13+400	13+419	887,91 9	888,569	884,22	0,85	9,8	43
	16+615	16+630	869,07 0	869,720	865,47	0,75	9,5	31
	17+202	17+202	867,48 1	868,131	862,68	3,55	18,0	100

IX.7 DRAINAGE LONGITUDINAL

❖ Assainissement de la plateforme :

Les dispositifs de drainage longitudinaux ont pour fonction de recevoir ou de drainer Les eaux de pluie qui s'écoulent sur la Plate-forme dans les structures d'assise, les eaux de ruissellement des talus et des bassins versants et les eaux internes éventuelles.

Les deux premiers cas peuvent être traités en utilisant des dispositifs courants peu profonds qui

assainissent les structures d'assise. Le troisième, au contraire, exige que ces dispositifs atteignent une certaine profondeur afin de rabattre une nappe phréatique et drainent la plateforme sur une hauteur suffisante. L'étude du drainage longitudinal doit vérifier qu'il existe une continuité d'écoulement de tout point jusqu'à un exutoire.

On peut classer les drainages :

- ✓ Par leur position : drainages de déblai ou de remblai (pour le drainage, les remblais de hauteur inférieure à 1,50 m sont assimilables à des déblais)
- ✓ Par leur nature : drainages à ciel ouvert (tous types de fossés et cunettes) ou enterrés (collecteurs drainants ou non)
- ✓ Par leur destination : drainages superficiels qui ne collectent que les eaux de ruissellement et drainages profonds destinés également à rabattre la nappe phréatique.

Les drainages des remblais sont des drainages superficiels (sauf cas particulier pour des raisons géotechniques de stabilité), les drainages des déblais peuvent être superficiels ou profonds.

❖ Dimensionnement des fosses :

Un fossé d'une section en forme carrée (avec déclivité du talus 3:2), sera mis en place dans les zones de déblai, au niveau des accotements de la Plate-forme. Les fossés sont divisés en 3 types selon de débit nécessaire :

- ✓ Type 1 : $Q < 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, largeur du lit / profondeur = 0,5 / 0,5 m ;
- ✓ Type 2 : $0,5 \leq Q < 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, Largeur du lit / profondeur = 0,7 / 0,7 m ;
- ✓ Type 3 : $1,0 \leq Q < 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$, largeur du lit / profondeur = 0,8 / 0,9 m.

L'écoulement des eaux du drainage longitudinal se fera toujours par gravité, sans avoir recours à des stations de pompage, en lui assurant une pente qui sera la même que celle de la Plate-forme (pente du profil en long).

Au niveau des endroits où la pente est très faible (relief relativement plat), la pente est augmentée jusqu'à 0.1%, pour assurer l'écoulement des eaux.

Le calcul des débits engendrés par les écoulements ruisselés sur les talus du terrain naturel et les plates-formes de la voie ferroviaire, a été effectué pour une période de retour de 10 ans. Il a été calculé en appliquant la formule suivante (méthode Rationnelle) :

$$Q_{10} = 0.278 \times C_r \times I_{10} \times A \text{ avec } I_{10} = a / t c^b$$

Avec :

- **Q₁₀** : Débit décennal (en m³/s) ;

- **Cr** : Coefficient de ruissellement pondéré. Pour la pondération du coefficient de ruissellement de la Plate-forme de la voie, les valeurs suivantes sont retenues
- $C = 0.95$ pour la chaussée
- $C = 0.70$ pour les talus.
- **I10** : Intensité de pluie décennale (en mm/h)
 - **A** : Surface active de la Plate-forme de la voie ou talus (en km²) ;
 - **tc** : temps de concentration (en heure). Pour l'assainissement longitudinal, le temps de concentration est égal à 15 min, (0.25 h)
 - **a** et **b** : paramètres de Montana.

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

$$Q = k_s \times A \times R_h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

- **Q** : Débit décennal (en m³/s);
- **Ks** : Coefficient de rugosité Strickler ($K_s = 70$; correspondant à des fossés consolidés revêtement en béton grossier) ;
- **A** : Superficie de la section du fossé ;
- **Rh** : Rayon hydraulique ;
- **I** : Pente (La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique au gradient du profil en long de la voie).

Tableau IX -3: Dimensions des sections de l'assainissement longitudinal pour la ligne ferroviaire Ain Beida – Khenchela, du PK 00+000 au PK 20+400.

PK	RIVE	TYPE	S (km ²)	Cr	Q (m ³ /s)	b	ht	pent e m/m	Q sat (m ³ /s)	V (m/s)	Exutoire
PK 01+925 AU PK 02+975	DROITE	TALUS	0.014	0.7	0.2	0.5	0.5	0.008	1.00	2.27	1-Buse Ø 1000 PK 1+818 et PK 02+143 ; 2-Buse Ø 1000 PK 02+519; 3-dalot : PK 02+731 C1, 4-dalot : PK 02+856 C1,
		PLATE-FORME		0.95							
PK 03+125 AU PK 03+725	DROITE	TALUS	0.007	0.7	0.1	0.5	0.5	0.001	0.36	0.82	Buse Ø 1500 PK 03+171; Buse Ø 1500 PK 03+774;
		PLATE-FORME		0.95							

PK 03+850A U PK 04+050	DROITE	TALUS	0.00 3	0.7	0.04	0.5	0.5	0.00 1	0.36	0.82	dalot PK 04+112 type C1
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 04+850 AU PK 05+575	DROITE	TALUS	0.01 1	0.7	0.2	0.5	0.5	0.00 1	0.36	0.82	dalot PK 04+668 B2; dalot PK 05+119 type 2.5x1.5; Buse Ø 1500 PK 05+708
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 06+900 AU PK 07+275	DROITE	TALUS	0.00 4	0.7	0.05	0.5	0.5	0.00 3	0.64	1.45	Buse Ø 1500 PK 07+329
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 06+925 AU PK 07+300	GAUCHE	TALUS	0.00 4	0.7	0.06	0.5	0.5	0.00 3	0.64	1.45	Buse Ø 1500 PK 07+329
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 07+400 AU PK 07+500	GAUCHE	TALUS	0.00 1	0.7	0.02	0.5	0.5	0.01 6	1.45	3.29	Buse Ø 1500 PK 07+538
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 07+400 AU PK 07+500	DROITE	TALUS	0.00 1	0.7	0.02	0.5	0.5	0.01 6	1.45	3.29	Buse Ø 1500 PK 07+538
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 07+750A U PK 08+425	DROITE	TALUS	0.00 6	0.7	0.1	0.5	0.5	0.01 6	1.45	3.29	1-Buse Ø 1500 PK 08+056 ; 2-Buse Ø 1500 PK 08+812
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 07+750A U PK 08+425	GAUCHE	TALUS	0.00 1	0.7	0.02	0.5	0.5	0.01 6	1.45	3.29	1-Buse Ø 1500 PK 08+056 ; 2-Buse Ø 1500 PK 08+812
		PLATE - FORME		0.9 5							
PK 09+525	GAUCHE	TALUS	0.00 0	0.7	0.01	0.5	0.5	0.00 2	0.56	1.27	

AU PK 10+450		PLATE - FORM E		0.9 5							1-Buse Ø 1500 PK 09+889 ; 2-dalot PK 10+592
PK 09+550 AU PK 10+450	DROITE	TALU S PLATE - FORM E	0.00 8	0.7 0.9 5	0.1	0.5	0.5	0.00 2	0.56	1.27	1-Buse Ø 1500 PK 09+889 ; 2-dalot PK 10+592
PK 11+100 AU PK 11+975	DROITE	TALU S PLATE - FORM E	0.00 9	0.7 0.9 5	0.1	0.5	0.5	0.00 6	0.85	1.93	Buse Ø 1500 PK 12+329
PK 11+100 AU PK 11+975	GAUCHE	TALU S PLATE - FORM E	0.00 7	0.7 0.9 5	0.1	0.5	0.5	0.00 6	0.85	1.93	Buse Ø 1500 PK 12+329
PK 12+675 AU PK 13+875	DROITE	TALU S PLATE - FORM E	0.01 0	0.7 0.9 5	0.2	0.5	0.5	0.00 7	0.96	2.18	1-Buse Ø 1500 PK 14+134; 2-dalot PK 13+419 2x4x3
PK 12+675 AU PK 13+875	GAUCHE	TALU S PLATE - FORM E	0.00 7	0.7 0.9 5	0.1	0.5	0.5	0.00 7	0.96	2.18	1-Buse Ø 1500 PK 14+134; 2-dalot PK 13+419 2x4x3
PK 14+275 AU PK 16+450	GAUCHE	TALU S PLATE - FORM E	0.02	0.7 0.9 5	0.3	0.5	0.5	0.00 1	0.36	0.82	Dalot PK 16+630 (2x3x3)
PK 14+375 AU PK 16+475	DROITE	TALU S PLATE - FORM E	0.02	0.7 0.95	0.4	0.5	0.5	0.00 1	0.36	0.82	Dalot PK 16+630 (2x3x3)

IX.8 Ouvrages de transports de gaz

Les points de croisement constatés sur le tracé avec les ouvrages de transport de Gaz sont suivant ;

- Au **PK 0+633.775**, conduite de Gaz proche de la gare ferroviaire de Ain El Beida (la distance entre la conduite et la gare presque 372m)

- AU **PK 1+183.775**, conduite de Gaz à l'intérieure de la gare ferroviaire de Ain El Beida (1+025 au 1+261.36)

- AU **PK 4+233.775**, une conduite de Gaz à proximité du couloir ferroviaire

- AU **PK 17+097.41**, une conduite de Gaz à l'entrée de la gare ferroviaire de F'Kirina

- AU **PK 17+984.62**, une conduite de Gaz à l'entrée de la gare ferroviaire de F'Kirina

- AU **PK 19+083.775**, une conduite de Gaz à l'entrée de la gare ferroviaire de F'Kirina

- AU **PK 23+121.25**, une conduite de Gaz à proximité de la route nationale

IX.9 conclusion

Nous pouvons conclure que les structures les plus couramment utilisées dans ce projets sont dalot et Passages inférieurs, viaducs, après ce chapitre, nous abordons dans le chapitre suivant signalisation ferroviaire.

La signalisation ferroviaire

X.1 Introduction

La signalisation ferroviaire est un système d'informations destiné à renseigner le conducteur d'une circulation ferroviaire lui donnant, sous forme de codes réalisés par des signaux de forme, de combinaisons, de couleur diverse, dont la signification est prédéfinie, disposés le long des voies ou en cabine, toutes les informations qui lui sont nécessaires afin de régler la marche de son convoi et rouler en toute sécurité. Les informations données par ce moyen peuvent concerner une limitation de vitesse à respecter, un arrêt non prévu à la marche à exécuter, l'information d'une direction géographique vers laquelle le convoi va s'engager, des prescriptions concernant la traction électrique, etc. La signalisation est un des éléments de base de la sécurité ferroviaire.

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



Figure X-1 : signaux ferroviaires

X.2 Importance des signaux

La signalisation ferroviaire est un moyen de donner des ordres des au conducteur d'un véhicule et a pour objectif d'éviter :

- le rattrapage des trains qui circulent dans le même sens sur la même voie
- la prise en écharpe, c'est-à-dire la collision latérale de trains qui circulent sur des itinéraires convergents
- le nez à nez, c'est-à-dire la collision frontale de trains qui circulent en sens contraire sur la même voie
- le déraillement
- la collision avec un obstacle.

On prévient ces risques notamment par :

- ✓ la mise en place d'une signalisation
- ✓ l'établissement d'un régime d'exploitation de la ligne (double voie, voie banalisée, voie unique)
- ✓ la mise en place d'un système d'espacement des trains
- ✓ la mise en œuvre de procédures d'exploitation

X.3 Composantes de la signalization

□ Les signaux et les plaques :

Les signaux mécaniques étant en cours de disparition la distinction technique traditionnelle entre signaux mécaniques et électriques n'a plus réellement d'usage, il existe au Les signaux de protection et de cantonnement.

- Les signaux de limitation de vitesses.

Qui peuvent présenter deux états :

- ouvert ou effacé.
- fermé ou présenté.

Et qui quand ils sont fermés ou présentés, présentent :

- soit une indication d'annonce.
- soit une indication d'exécution.



Il existe aussi des signaux indicateurs de direction dont les fonctions sont très différentes selon les pays.

Tableau X-1 : Les Signaux de protection

Signal	Description
	<p>Carré</p> <p>Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi. C'est un signal de protection utilisé pour protéger des appareils de voie ou des parties de voie (aiguilles, traversées, zones de stationnement, ou pour l'arrêt des trains en ligne (STEM) et donc à éviter le nez à nez ou la prise en écharpe.</p>
	<p>Carré violet</p> <p>Équivalent au carré, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule, n'autorise pas le départ en ligne.</p>
	<p>Guidon d'arrêt</p> <p>Le guidon d'arrêt est utilisé pour protéger des appareils de voie isolés ou des passages à niveau, à la place d'un signal d'arrêt à main. Ce signal commande l'arrêt.</p>
	<p>Disque</p> <p>Le disque commande l'arrêt différé, c'est-à-dire marche à vue le plus tôt possible, suivi d'un arrêt obligatoire (même si les signaux rencontrés ensuite indiquent la voie libre) avant le premier quai ou appareil de voie rencontrés. La marche peut ensuite continuer après une autorisation verbale.</p>

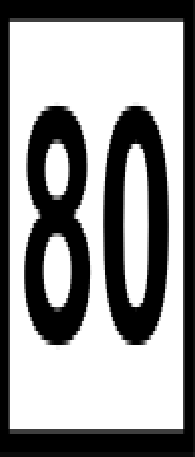


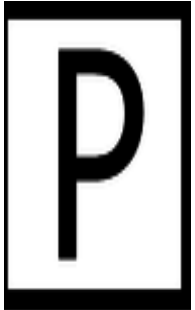
Les signaux de protection sont destinés à interdire l'accès à un itinéraire, à une aiguille, etc....

Tableau X-2 : Les Signaux de cantonnement

Signal	Description
	<p style="text-align: center;">Sémaphore</p> <p>Le sémaphore commande l'arrêt, et peut être franchi en marche à vue après l'arrêt complet dans certains cas. C'est un signal de cantonnement, il sert à espacer les trains et donc à éviter le rattrapage.</p> <p>Si le feu rouge du sémaphore est affiché sur un panneau pouvant présenter l'indication "carré" avec plaque "Nf", un petit feu blanc (nommé « œilleton ») doit aussi être allumé pour confirmer que ce qui est affiché est bien un sémaphore, et non un carré dont l'un des feux rouges serait grillé.</p>
	<p style="text-align: center;">Feu rouge clignotant</p> <p>Le feu rouge clignotant est une variante du sémaphore qui autorise la marche à vue sans arrêt préalable, à condition de ne pas dépasser les 15 km/h au franchissement du signal.</p>

Les signaux de cantonnement sont destinés à assurer l'espace des circulations de même sens.

Tableau X-3 : Les signaux de limitation de vitesses

Signal	Description
	<p>Ces tableaux (de type Tableau Indicateur de Vitesse ou TIV) annoncent une limitation de vitesse. Ils peuvent être fixes ou mobiles, lumineux ou anciennement mécaniques.</p> <p>Lorsqu'ils sont fixes, ils annoncent une pancarte Z.</p> <p>Lorsqu'ils sont mobiles, ils annoncent un TIV de rappel lumineux ou anciennement mécanique à chiffres blancs sur fond noir.</p>
	<p>Cette pancarte indique l'entrée dans une zone à vitesse limitée (Zone d'action)</p>
	<p>Cette pancarte indique la sortie d'une zone à vitesse limitée (Reprise de vitesse).</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 trois tirets verticales blanc alignés de manière verticale.</p>

X.4 Signaux d'arrêt et Signaux à distance

Les signaux transmettent des informations ou des ordres, et ceux-ci doivent toujours être pris en compte. Sachant qu'un train en marche peut mettre beaucoup de temps à s'arrêter,

Un signal d'arrêt est normalement annoncé par un signal à distance.

□ Signaux d'arrêt :

La catégorie des signaux d'arrêt peut être différenciée en trois parties :

- signal de protection : protégé l'accès à une aiguille, une zone de manœuvres, un passage à niveau
- signal de block : protégé l'accès à une ligne séparant deux établissements.
- signal de cantonnement : signal d'espacement, protégé l'accès à une section de ligne.

□ Signaux à distance :

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

X.5 Signalisation classique ou latéral

Signalisation classique est constituée de signaux implantés ou présentés le long de la voie elle est ainsi également appelée signalisation latérale. Elle peut être implantée sur des poteaux, des potences, des portiques.

Une signalisation mobile ou temporaire chantier par exemple, peut venir compléter la signalisation fixe permanente.

La signalisation comporte différents type de signaux :

- signaux lumineux.
- signaux mécaniques : en voie disparition.
- signaux à main ou mobiles : lampes, drapeaux.
- signaux acoustiques : pétards, coups de klaxon.

Le respect des signaux est impératif, condition sine qua non de la sécurité.



Figure X-2 : signaux à main de manœuvre



Figure X-3 : signal d'arrêt à main



Figure X-4 : Signal à main de départ



Figure X-5 : jalon à damier bleu et blanc

X.6 Signalisation en cabine

Avec l'avènement des trains à grande vitesse, la signalisation latérale ne permettait plus la circulation en toute sécurité, car au-delà d'une certaine vitesse, l'informations qu'elle donne ne peuvent plus être perçues par le conducteur.

On a donc dû inventer des systèmes où ces mêmes informations sont affichées directement dans le poste de conduite. On peut même combiner les deux, c'est-à-dire un système de signalisation en cabine et une signalisation latérale au cas où le premier défaille, ainsi que pour les convois dont le poste de conduite n'est pas équipé du module d'affichage ad hoc.

La signalisation en cabine ou de cabine consiste à afficher les informations habituellement données par la signalisation latérale directement en cabine. Ceci est devenu nécessaire avec l'avènement des trains à grande, ouvrant des vitesses commerciales très élevées : le temps de présence d'un signal dans le champ de vision du conducteur est considéré comme insuffisant, aux vitesses supérieures à 160 km/h, pour avoir l'assurance qu'il soit vu et correctement interprété.

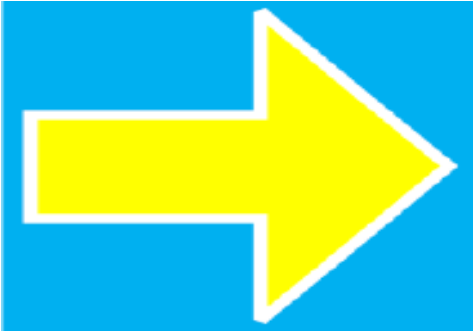
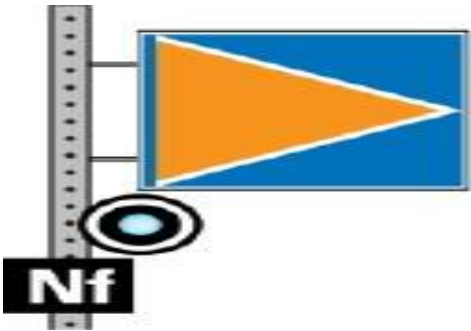
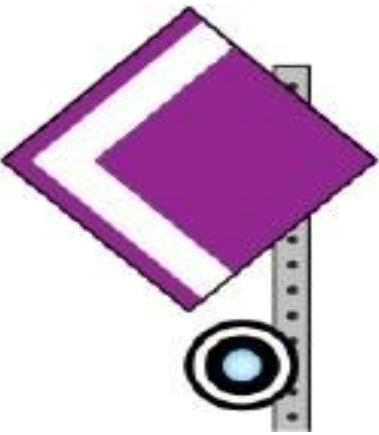
□ principe :

La signalisation en cabine indique au conducteur la vitesse limite qu'il ne doit pas dépasser et annonce les réductions de vitesse à effectuer, jusque 0 km/h si l'arrêt est nécessaire ; suivant le système le conducteur sera également averti d'une zone où le pantographe doit être abaissé, où toute demande de courant doit être suspendue, etc.

Tous les systèmes de en cabine effectuent en même temps un contrôle de la vitesse.

Une signalisation latérale peut être installée en plus de la signalisation en cabine, soit pour pallier les éventuelles défaillances de la signalisation en cabine, soit pour permettre à des convois non équipés de circuler sur le tronçon. Plusieurs systèmes de signalisation en cabine peuvent également être installés sur un même tronçon.

Tableau X-4: Les Signaux de cabine

Signal	Description
	<p>Repère d'arrêt ETC</p> <p>European train control system (système européen de contrôle commande des trains)</p>
	<p>Repère Nf</p> <p>(Non franchissable)</p>
	<p>Jalon de manœuvre de la TVM</p> <p>(Transmission voie machine)</p>

X.7 Genre et étalon de signalisation

Les signaux implantés soit à gauche de la voie concernée sur des mats ou parfois au sol, soit au-dessus de la voie sur des potences. Cependant il peut arriver qu'exceptionnellement, les signaux soient implantés à droite de la voie, dans le cas par exemple d'I.P.C.S, installations permanentes de contre-sens, ou quand l'installation à gauche n'est pas possible faute place.

□ **Les signaux peuvent être :**

- mécaniques : sous forme de cocardes ou d'ailes mobiles.
- lumineux : sous forme de panneaux lumineux.
- simples : deux aspects possibles.
- multiples : au moins trois aspects possibles.

□ **Les signaux peuvent afficher :**

- l'aspect fermé : l'aspect le plus restrictif du signal.
- un aspect ouvert : le ou un des aspects permissifs du signal

□ **Les différentes formes de signaux :**

Un signal mécanique simple se présente sous la forme d'une cocarde ou d'une aile de couleur mobile.

- fermé, il présente l'aile étendue horizontalement, ou bien la cocarde dans un plan perpendiculaire à la voie, c.-à-d. visible.
- ouvert, il présente l'aile rabattue en oblique ou verticalement, ou bien la cocarde dans un plan parallèle à la voie, c.-à-d. effacée.

Un signal mécanique multiple peut afficher plusieurs cocardes en même temps ; plus restrictive qui doit être observée.

Un signal lumineux est constitué d'un panneau noir avec une bordure blanche, sur lequel peuvent être affichés des feux de couleur.

Si des aspects combinables sont affichés en même temps, ils doivent être pris en compte en tant qu'aspects combiné.

□ **Pancartes et tableaux :**

Les tableaux indicateurs donnent des informations ou des ordres ne concernant pas la protection des circulations. Ils concernent les limitations de vitesse, les indications de direction, les indications propres aux marches de manœuvre, et beaucoup d'autres indications spécifiques.

Les tableaux peuvent être :

- fixes : toujours visible.
- effaçables : pouvant être masqués, et dans ce cas :
- mécaniques.
- lumineux.

□ **Les blocks :**

Le block est un système permettant de superviser l'entrée des trains sur une voie séparant deux établissements.

L'envoi d'un train sur block et sa réception par un établissement se font par l'intermédiaire de postes à relais, ou se trouvent les commandes relatives aux blocks.

Sur les lignes peu fréquentées, on utilise le block manuel BM, l'entrée sur une voie en BM est règlementée par un signal de block ouvert manuellement par un agent-circulation.

Sur les lignes à moyenne fréquentation, on utilise le block automatique à permissivité restreinte BAPR, qui est un système d'espacement par signaux en partie ou totalement automatiques.

Sur les grandes lignes, on utilise le block automatique BAL, qui a remplacé le block automatique mécanique BAM, qui est un système d'espacement par signaux automatiques permissifs, c.-à-d. pouvant être passés à l'état fermé, sous certaines conditions.

Les lignes à voie multiple sont habituellement divisées en cantons, ce qui permet d'envoyer plusieurs trains sur le même block. Chaque canton est précédé d'un signal de cantonnement, entièrement automatique, commandant l'entrée sur le canton suivant.

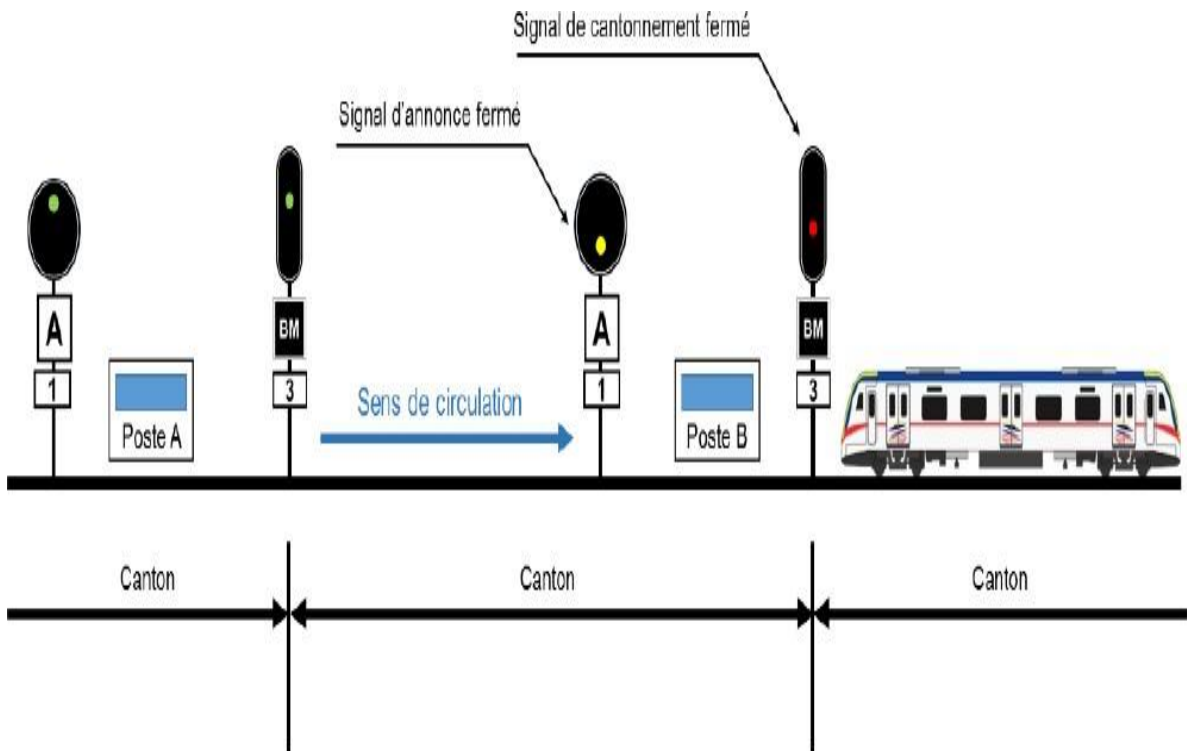


Figure X-6 : Le block manuel (BM)

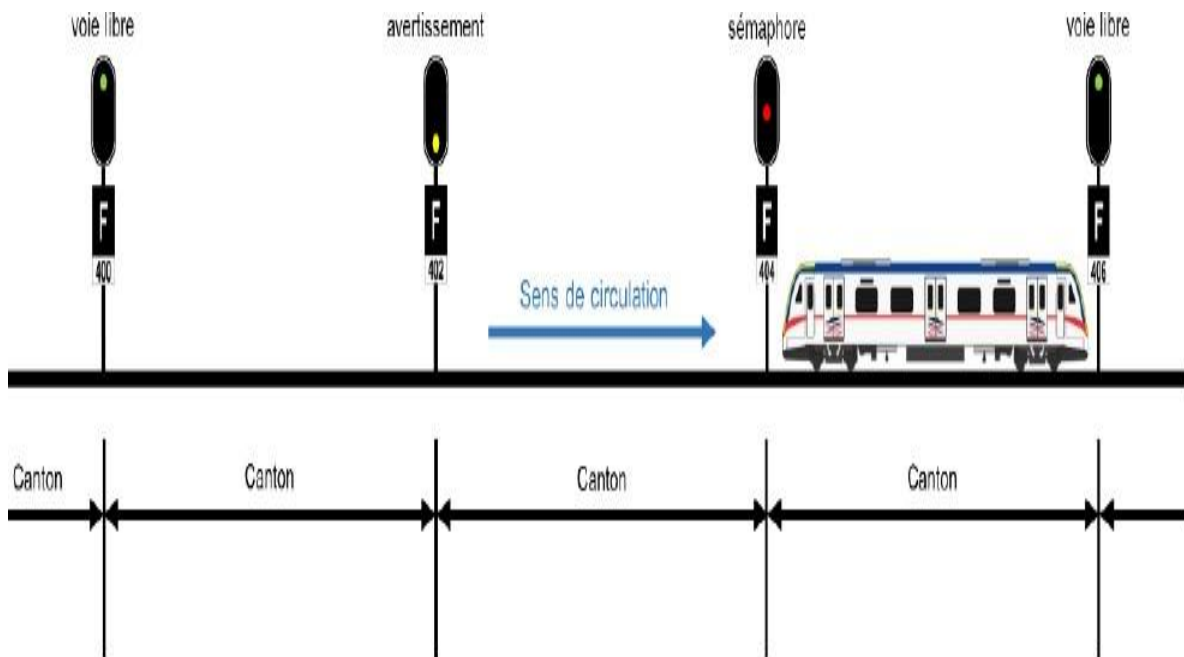


Figure X-7 : Le block automatique lumineux (BAL)

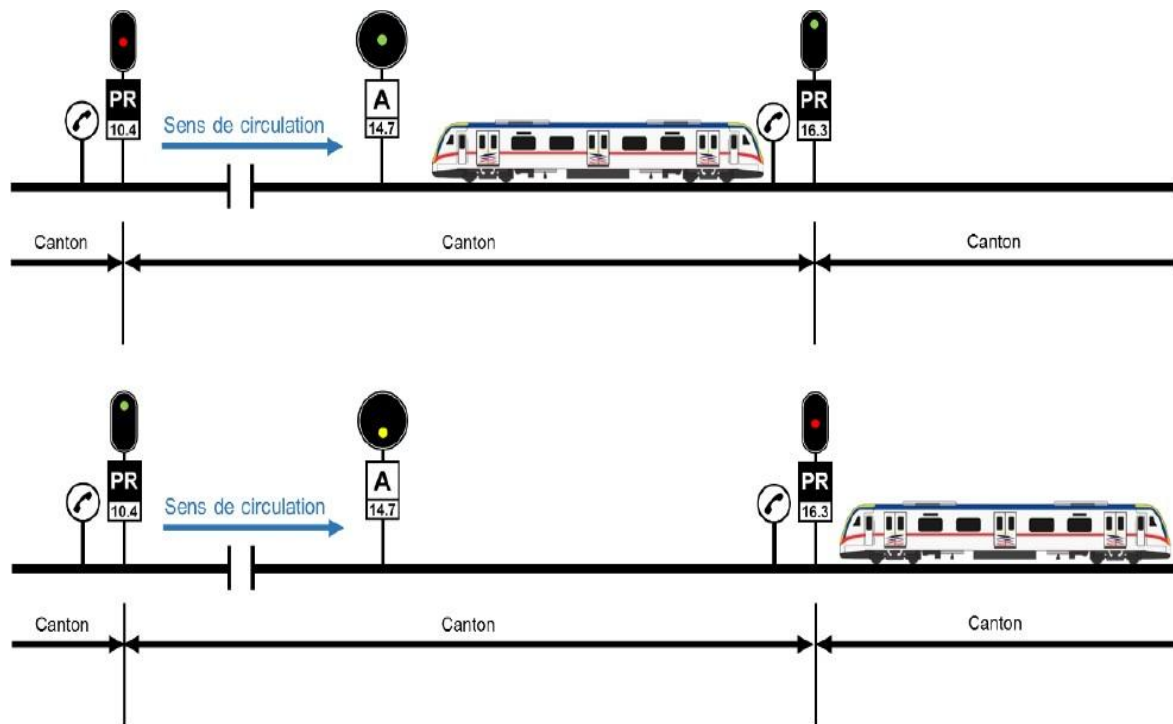


Figure X-8 : Le block automatique à permissivité restreinte (BAPR)

X.8 Différentes marches des trains

En circulation ferroviaire, il existe 4 types de marche :

La marche à vue impose à un conducteur de s'avancer avec prudence, compte tenu de la partie de voie qu'il aperçoit devant lui, de manière à pouvoir s'arrêter avant une queue de train, un signal d'arrêt ou un obstacle. En outre, il ne doit pas dépasser la vitesse de 30 km/h.

L'obligation de marcher en manœuvre impose au conducteur de s'avancer avec prudence, sans dépasser la vitesse de 30 km/h et en se tenant prêt à obéir aux signaux qu'il pourrait rencontrer et d'obéir à toute injonction d'un agent de manœuvre.

Lorsque le conducteur est en tête du mouvement ou refoule un véhicule, la vitesse doit être réglée en tenant compte du nombre de véhicules de la circulation, du freinage réalisé éventuellement réduit au seul freinage de l'engin moteur et du profil de la voie pour être en mesure de s'arrêter au point indiqué ou si nécessaire dans la partie de voie libre visible.

La marche en manœuvre est en général commandée le panneau G.

La marche avec prudence impose à un conducteur de limiter sa vitesse compte tenu du motif qui lui a été indiqué.

Exemple : passage à niveau en raté d'ouverture.

Lorsque un train n'est ni en marche à vue, ni en marche en manœuvre et ni en marche prudente, il est en marche normale ; la vitesse limite du train dépend de la section de ligne concernée, de la vitesse limite des différents éléments du convoi ainsi que de leur capacité de freinage combinée.

X.9 Implantation des signaux

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

Ces distances sont appelées respectivement :

- ✓ distance d'arrêt.
- ✓ distance de ralentissement.
- ✓ La distance d'implantation d'un signal à distance est en fonction :
- ✓ du profil moyen de la partie de la voie intéressée, déclivité moyenne.
- ✓ de la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- ✓ des caractéristiques de freinage des circulations.
- ✓ Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite

X.10 visibilité des signaux

□ Visibilité des signaux hauts :

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2.42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est 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.

□ Visibilité des signaux bas :

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche à 1.75 m de l'axe de la voie et à 0.240 au-dessus du plan de roulement, doivent rester continus-éléments visibles.

❖ Pour notre projet

X.11 Description de la ligne projetée

La nouvelle liaison ferroviaire Ain Beida - Khenchela a pour objet de relier la région de Khenchela au réseau ferré algérien pour améliorer la situation de la wilaya au niveau des transports.

Cette nouvelle ligne permettra de mettre en œuvre et d'assurer le développement des secteurs économique de la région qui requiert des moyens de transports de masse pour les personnes et les marchandises.

La liaison Ain Beida – Khenchela est une ligne mixte à voie unique, dont la longueur s'élève à 52 km.

La vitesse maximum de la ligne est de 160 km/h pour les trains voyageurs et 100 km/h pour les trains marchandises.

Caractéristiques de la ligne :

- Voie unique.
- Rail UIC 60 avec un écartement standard (1435 mm).
- La ligne électrifiée en 1x25kV
- Pas de passages à niveau.

X.12 Etat de système de signalisation de la ligne

La ligne projetée AIN BEIDA – KHENCHELA sera raccordée à la ligne TEBESSA – AIN M'LILA EN GARE DE AIN BEIDA.

Le projet Tebessa Ain M'Lila est considéré comme terminé, réceptionné avec l'ensemble des installations en état de marche.

La gare d'Ain Beida est pilotée du point de vue de la signalisation par le poste local à relais d'Ain Beida fourni par le projet Tebessa M' Lila et commandée par le PCC de Oum El Bouaghi.

La gare d'Ain Beida est dotée d'un poste à relais type PRG/SMA1 extensible et pouvant intégrer les itinéraires supplémentaires pour gérer le trafic des circulations ferroviaires en destination et en provenance de la nouvelle ligne ABK.

X.13 Description du système de signalisation

L'ensemble de la ligne (gares et blocks) sera équipé d'une signalisation qui comprendra une signalisation latérale lumineuse classique et des postes d'enclenchements. Les principaux éléments considérés au sein du système de signalisation :

- Enclenchements à relais type PRG/SMA1 à commande informatique.
- ETCS niveau 1
- Poste de commande central (PCC).
- Postes de commandes locales.
- Système de cantonnement automatique voie unique de gare en gare.
- Compteurs d'essieux.
- Installations à la voie (répartiteurs, boîtiers d'autorisations AUAG et ATR, signaux, moteurs d'aiguilles, pédales des compteurs d'essieux et balises.)
- Câbles et installations câblées.
- Systèmes d'aide à la maintenance des enclenchements (SDM).

Toutes les installations devront obéir à la réglementation de la SNTF et devront être convenablement protégées face aux éventuels actes de vandalisme et agression du milieu où elles se trouvent.

Tous les matériaux et équipements seront adaptés pour un fonctionnement dans les conditions environnementales applicables en Algérie sans aucune dégradation de performance.

L'intervalle de température que l'équipement de signalisation devra supporter est le suivant : [-30 à +70] °C

Indice IP : Les équipements installés dans les locaux : Au minimum IP 31

Les équipements installés en extérieur (sauf balises) : Au minimum IP 55

Balises : Au minimum IP 66

Manchons : IP 68

X.14 Architecture fonctionnelle projeté

On prévoit d'installer en tant qu'éléments de sécurité essentiels des enclenchements à relais type PRG (SMA1) dans toute la ligne (gares et blocks) et des postes de commandes locales dans toutes les gares.

Le poste géographique tout relais est un système modulaire . Son principe d'assemblage par module permet de l'adapter à toutes gares, indifféremment de la disposition des voies et du déroulement de l'exploitation .

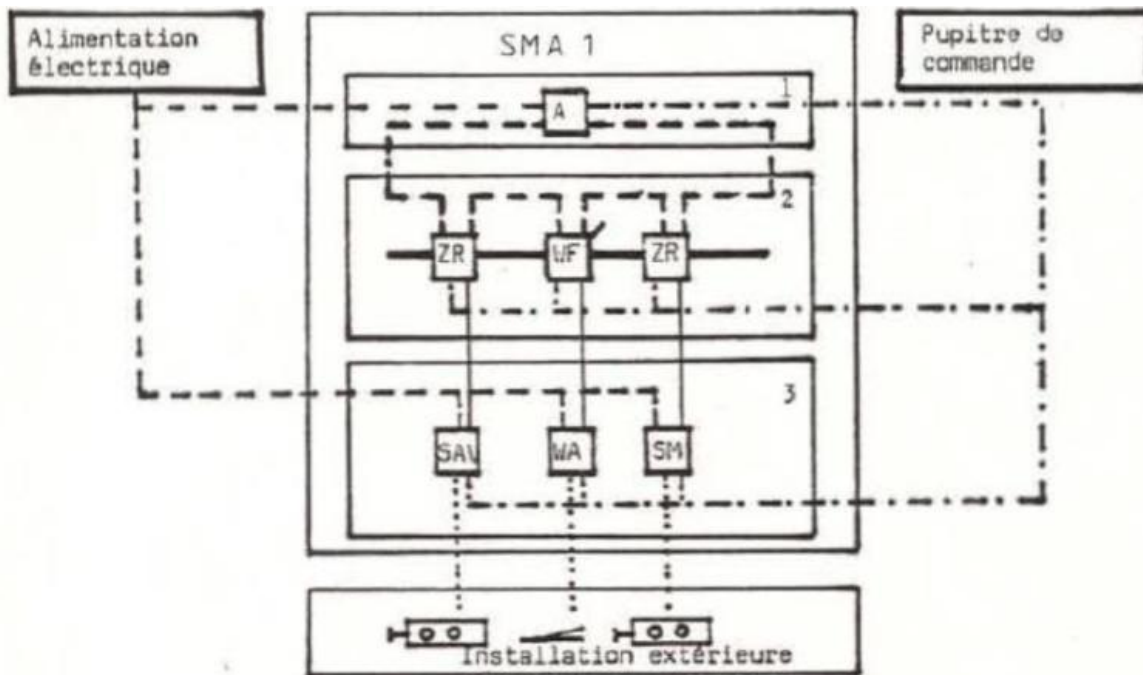


FIGURE X -9_ PRINCIPE DU SMA1

Au niveau des fonctions, le système de relays modulaire se subdivise en trois niveaux :

- Les groupes du niveau supérieur (groupe de couplage) pour le couplage central des groupes et leur surveillance.
- Les groupes reliés par câbles géographiques, pour la formation, la surveillance et l'annulation d'itinéraire.
- Les groupes de commande et de surveillance de signaux et d'aiguilles.

A chaque élément en compagnie, p. ex. Aiguilles, signaux, voies correspond un type de groupe défini regroupant les circuits nécessaires, leur commande et leur surveillance.

Certains types comprennent plusieurs unités fonctionnelles identiques les groupes "géographiques" sont reliés entre eux, suivant la disposition des voies, par des câbles géographiques de 20 conducteurs et à connecteurs automatiques.

Le câblage des connecteurs aux emplacements des groupes est réalisé suivant un programme adapté à chaque cas d'exploitation.

Des câbles circulaires de 20 conducteurs relient le groupe de couplage aux groupes «géographiques» et autres groupes de commande. Les câbles circulaires comprennent des conducteurs circulaires auxquels tous les groupes raccordés sont connectés en parallèle et des conducteurs circulaires qui traversent tous les groupes en série.

Les circuits travaillent suivant le principe de "sécurité positive" (Fail safe) et offrent une haute fiabilité. Comme éléments de commutation, le relais de signalisation K 50 à contacts à couplage rigide et autonettoyants par frottement est employé exclusivement (conforme à UIC-code 736 i, type C). Il est l'élément de base des quatre modèles utilisés :

- Relais normal
- Relais magnétique autocollant
- Relais à courant fort
- Relais à verrouillage

Les groupes sont enfichables et comprennent un nombre déterminé de rangées de relais.

Des broches de codage disposées à la partie arrière du boîtier permettent d'éviter toute confusion entre les différents types de groupes lors de leur montage.

Les groupes sont montés dans des châssis identiques.

- Le type de cantonnement prévu pour le contrôle des trains entre les gares sera le block automatique de voie unique avec enclenchement de gare en gare sans sémaphores (block absolu).
- Un PCC sera installé dans la gare de KHENCHELA ; il aura à commander et à superviser toutes les gares.
- La connexion d'enclenchement entre la ligne et le Poste de Commande Centrale est matérialisée à travers les câbles fibres optiques fournis par le système de communications (02 câbles 72 FO) via interfaces de communication redondantes afin de maintenir un niveau de disponibilité adéquat du système de communications.
- La disponibilité des connexions avec le Poste de Commande est assurée par la commutation automatique au niveau des interfaces pour pallier à la défaillance ou à la dégradation d'un des éléments d'interface de transmission.

Gares de FKIRINA, M'TOUSSA, BAGHAI et KHENCHELA

Il sera installé dans chaque gare un enclenchement à relais type PRG/SMA1 qui prend en charge les itinéraires de la gare plus un poste de commande locale.

Gare de AIN BEIDA

La gare d'Ain Beida est pilotée du point de vue de la signalisation par le poste local à relais type PRG (SMA 1) d'Ain Beida fourni par le projet Tebessa M' Lila. Elle est commandée à distance par le PCC de Oum El Bouaghi. la nouvelle ligne ABK a généré de nouveaux itinéraires en gare de AIN BEIDA. Ces itinéraires seront intégrés dans le poste à relais type SMA 1 existant

L'ensemble des équipements de signalisation nécessaires pour cette adaptation sont schématisés avec une couleur différente sur le plan du schéma de signalisation de la gare d'Ain Beida .

Le PCC de Oum El Bouaghi sera mis à jour pour intégrer la commande à distance des nouveaux équipements.

Les locaux techniques existants d'Ain Beida pour la ligne Tebessa M'Lila seront utilisés pour y placer les matériels supplémentaires (nouveaux) de ce projet

❖ Compteurs d'essieux

Pour la détection automatique de la présence des trains, un système de détection d'occupation d'une section de voie déclenché directement par le train et indiquant l'état libre ou occupé de la voie est nécessaire.

Le système de détection de la présence des trains choisi est celui de la détection par compteurs d'essieux. Chaque section de ligne est délimitée à ses extrémités par des points de comptage qui comptent les essieux entrants et sortants. La section n'est signalée comme libre que lorsque ces comptages donnent des résultats égaux.

Dans le cas d'un comptage incorrect dû à un dérangement, la position initiale du système de contrôle des zones à base de compteurs d'essieux se fait par une action dite «balayage».

La préparation de la position initiale du contrôle des zones se fait dans le poste à commande centrale ou locale par le chef de sécurité en tant qu'action comptée ; ce qui prépare uniquement la libération de la zone. La zone reste occupée. La libération de cette zone se fait uniquement après le passage d'un train qui doit franchir un signal fermé, le comptage correct des essieux étant impératif.

La libération de la zone se fait uniquement après cette procédure, la zone de compteur d'essieux étant mise en position initiale.

Le système de comptage d'essieux présente les avantages suivants :

- ✓ Entièrement indépendant du type et de l'état de superstructure (isolée, souillée, corrosion sur les rails).
- ✓ Aucun joint d'isolement de rail n'est nécessaire.
- ✓ Éloignement important du poste d'enclenchements possible.
- ✓ Transmission des signaux au poste d'enclenchements protégée très efficacement contre les parasites.
- ✓ Système très fiable nécessitant peu d'entretien et des coûts réduits sur le cycle de vie.

Les principales caractéristiques des compteurs d'essieux seront :

- ✓ Niveau d'intégrité de la sécurité SIL-4, conçu selon la norme CENELEC (EN-126- et EN-129)
- ✓ Architecture ouverte, modulée et configurable.
- ✓ Détecteur électromagnétique pour la détection de la direction.
- ✓ Facilité d'installation et ajustement sans équipement additionnel.
- ✓ Software programmable de maintenance préventive, enregistrement et télédiagnostic.

❖ Commande électrique des appareils de la voie

Tous les appareils de voie se trouvant sur les itinéraires ou qui remplissent une protection contre les mouvements convergents de même que tous les aiguillages et taquets sur les itinéraires de manœuvre seront équipés de commandes

électriques à distance.

La vitesse de passage par l'aiguille se fera en fonction du rayon de conception des appareils de voie.

Les vitesses appliquées sur les appareils de voie installés sont :

- ✓ Appareil de voie de type UIC 60 R500-tg1/12 : vitesses maximum de 60 km/h en voie dévié.
- ✓ Appareils de voie de type U I C 6 0 R 300-tg1/9. La vitesse maximum sera de 30 km/h en voie dévié.

Les moteurs d'aiguilles doivent posséder un dispositif de verrouillage des lames d'aiguille.

Les moteurs d'aiguilles doivent posséder les caractéristiques suivantes :

- ✓ Commande perdue et alimentation du moteur coupée en fin de course des contacts.
- ✓ Le moteur doit posséder un dispositif manuel qui permet d'effectuer la manœuvre de l'aiguille, en cas de coupure de l'alimentation, par un levier ou une manivelle.
- ✓ Moteur talonnable.
- ✓ Triphasé 380 V.

❖ Alimentation Electriques des équipements de signalisations

L'alimentation électrique se fera en nominal à partir du réseau Basse Tension de la SONELGAZ. Cette alimentation sera secourue par un Groupe Electrogène et système d'alimentation sans interruption (ASI). L'ensemble de ces éléments est décrit dans le lot énergie.

X.12 Conclusion

Même si de nombreuses évolutions sont apparues, notamment avec la mise en œuvre de systèmes informatiques, les principes de base et les rôles de la signalisation ferroviaire restent inchangés.

L'avenir verra l'apparition de nouvelles fonctions, aussi bien d'aide à l'exploitation, à la conduite des trains et à la maintenance qu'en ce qui concerne la modernisation de l'existant, et à la fois pour les trains de grandes lignes que pour les transports urbains. La signalisation et les automatismes ferroviaires sont un domaine qui se prête particulièrement aux innovations, même si la sécurité ferroviaire implique d'office le recours à des technologies éprouvées

Aménagement de la gare

XI.1 Introduction

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction : permettre la montée ou la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises et pour certaines d'entre elles, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

Les gares ont progressivement acquis une importance historique, sociologique et esthétique qui dépasse largement leur simple fonction technique. Elles sont à l'image des chemins de fer un des éléments caractéristiques du développement industriel et de l'urbanisation du XIXe siècle. Les gares ferroviaires sont apparues en Angleterre durant les années 1820, puis en France, et finalement dans les autres pays touchés par l'industrialisation, dont les colonies. Elles sont à l'image des types d'organisation à l'origine de la création et du développement des chemins de fer dans le monde. Devenues purement fonctionnelles et victimes d'une relative perte d'identité au cours des années 1950, les gares connaissent un renouveau architectural depuis, en partie grâce à l'apparition des trains à grande vitesse au début des années 1980 et au développement de la desserte ferroviaire péri-urbaine.

À l'origine de la création des chemins de fer, les premières gares furent appelées « embarcadères » (lieu d'embarquement) par analogie avec la voie d'eau, ou parfois « débarcadères ». Le terme « gare », venu de la voie fluviale, désignait sur les lignes à voie unique, les points dotés d'une voie d'évitement (de garage) destinée à permettre le croisement des trains.

XI.2 types de gares

- **Gare marchandise** : les gares de marchandises assuraient la totalité du traitement du trafic de marchandises. Elles étaient dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles s'opérait le transbordement des chargements entre les wagons et les véhicules routiers assurant la livraison terminale vers les installations des clients (expéditeurs ou destinataires). Le trafic, assuré essentiellement selon le principe du wagon isolé, passait par le relais des gares de triage.
- **Gares de triage** : Les gares de triage assurent la recomposition des trains dits lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolés.
- **Gares de voyageurs** : Les gares de voyageurs sont de tailles très variables.

Les gares peu importantes, qui constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel permanent, sont appelées « haltes » ou "points d'arrêt".

Les gares principales situées dans les grandes villes sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les divers modes de transport urbains (bus, tramway, métro); on les appelle alors pôles d'échanges. On distinguera deux types de gares de voyageurs :

- **Les gares terminus** : Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé symétriquement : un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivées.

- **Les gares de passage** : Le bâtiment est généralement le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. On accède aux quais par une passerelle ou un souterrain. Il arrive qu'il soit placé au-dessus des quais. Les installations d'accueil des voyageurs peuvent aussi se trouver sous les quais.

XI.3 Etude du plan de masse d'une gare

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

- Catégories de la voie** : elle permet de déterminer le rôle et les constituants de la gare.
- Le trafic** : c'est un élément très important pour estimer et évaluer l'importance de la gare afin de l'aménager d'une manière convenable.
- L'emplacement de la gare** : généralement, c'est l'élément qui définit et détermine les deux éléments précédents.

XI.4 Conditions de conception des gares

Les gares doivent répondre à un certain nombre de condition :

- l'étude du bâtiment de voyageurs (B.V) doit respecter le plan d'urbanisme.
- Il faut veiller à la séparation des flux de voyageurs entrant et sortants.
- une grande gare centrale est préférable à la solution de plusieurs gares.
- aménager aux abords des gares des parcs de stationnement de voitures.

- analyser avec précision tous les mouvements et manœuvre qui comporte aussi l'exploitation de la gare aux heures de pointe.

XI.5 Aménagement de la gare

□ Installations d'une gare à voyageur :

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

- **Le bâtiment de voyageurs (B.V) :** C'est un espace réservé aux voyageurs dans lequel on peut trouver une salle d'attente, guichet de billet, poste de sécurité, kiosque...etc.
- **Les bâtiments à usages divers (B.U.D) :** Qui comprennent des locaux de service exclusivement réservés aux agents du chemin de fer, tels que cabine de signalisation, magasin, magasin des coulis, bureaux....
- **Quais :** C'est une bande parallèle à la voie ferrée qui permet l'accès aux trains.
- **Abris de quais :** C'est une installation sur le quai qui a pour but de protéger les voyageurs des intempéries.
- **Les passages sous terrain et les passerelles :** ils sont construits dans les gares afin de permettre aux voyageurs de traverser la voie et de changer le quai en pleine sécurité.

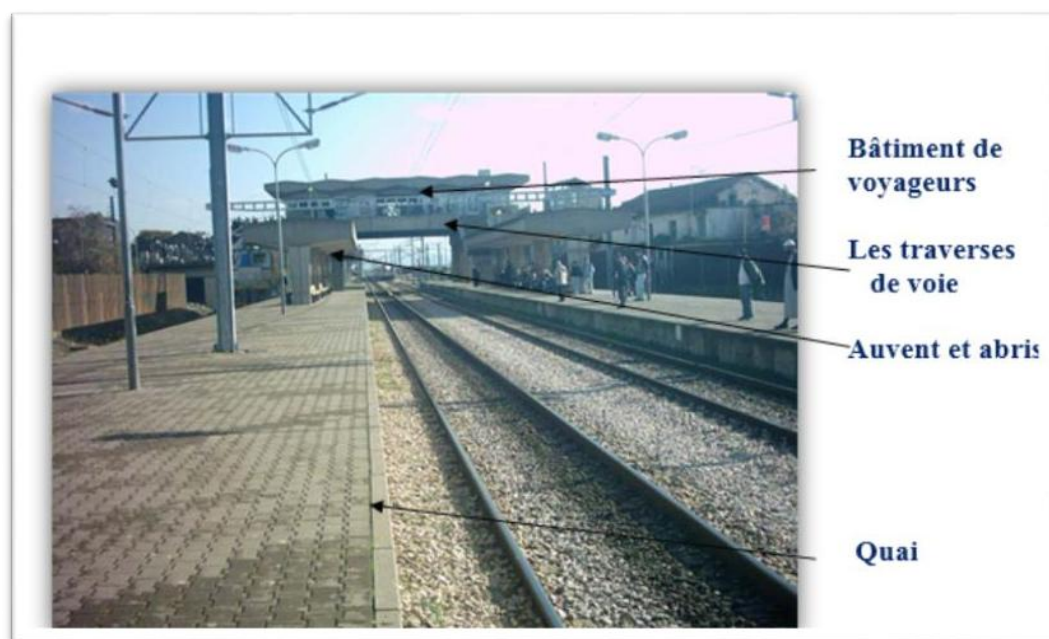


Figure XI-01 : équipement de la gare à voyageurs

□ Gare de marchandises :

Les installations de la base d'une gare de marchandises sont :

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

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

□ Réseau de voie :

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

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

TAB XI-1: La composition des réseaux selon leurs destinations

Réseau de voies	Voies composant le réseau
• Destiné au transport de voyageurs	<ul style="list-style-type: none"> • Voie principale • Voie de déplacement • Voie de gare
• Destiné au aux ateliers d'entretien des véhicules	<ul style="list-style-type: none"> • Voie de liaison • Voie d'entretien
• Destiné à l'aire d'approvisionnement encarburant	<ul style="list-style-type: none"> • Voie d'approvisionnement
• Destiné au service de la maintenance la voie	<ul style="list-style-type: none"> • Voie d'acheminement vers le hangar demaintenance • Voie de hangar

□ Composition des réseaux selon leurs destinations :

Le tracé de réseau d'une gare et sa signalisation ne peuvent se faire qu'en analysant avec précision tous mouvements et manœuvres comprises qui comportent l'exploitation de la gare aux jours de pointe de trafic.

- Grâce à une telle analyse, il est possible de proportionner les moyens aux besoins de signalisation moderne qui coûtent cher, et est donc économiquement intéressant de limiter non seulement le nombre des voies, mais celui des liaisons à ce qui est indispensable.

- La modernisation d'une gare se traduit maintenant, en général par des simplifications dans le schéma des voies, car, les progrès de la signalisation en

Supprimant les temps perdus en attente d'information des itinéraires et l'analyse rationnelle des mouvements permettant de s'en passer simultanément autrefois considérés comme indispensables.

□ Marge de glissement à l'aval des signaux :

C'est le tronçon de voie situé au prolongement d'un parcours du train à l'aval d'un signal fermé, et aucune autre circulation de train n'est autorisée dans cette marge, qui, pour certains réseaux, doit être libre de toute occupation.

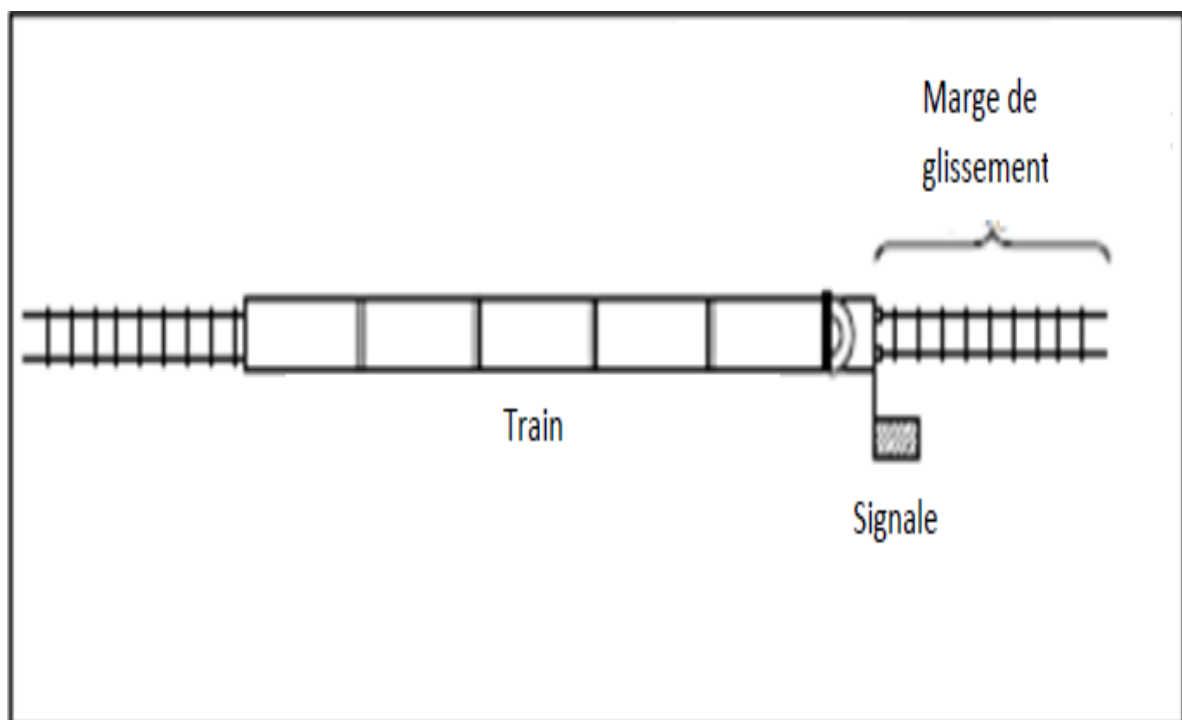


Figure XI-02 : Schématisation de la marge de glissement

a) But de la marge de glissement :

Elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsqu'un train n'a pas pu d'arrêter avant cette marge, faute de freinage ou rails glissants.

b) Longueurs de la marge de glissement :

1- $50 \leq LG \leq 200$, 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 = 200m pour $V \geq 60$ km/h

LG = 100m pour $40 \text{ km/h} \leq V \leq 60$ km/h

LG = 50 m pour $V < 40$ km/h.

2 - LG = 50m : à l'aval des signaux de blocs

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

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

□ **Garage franc :**

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gare. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément GF :

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

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

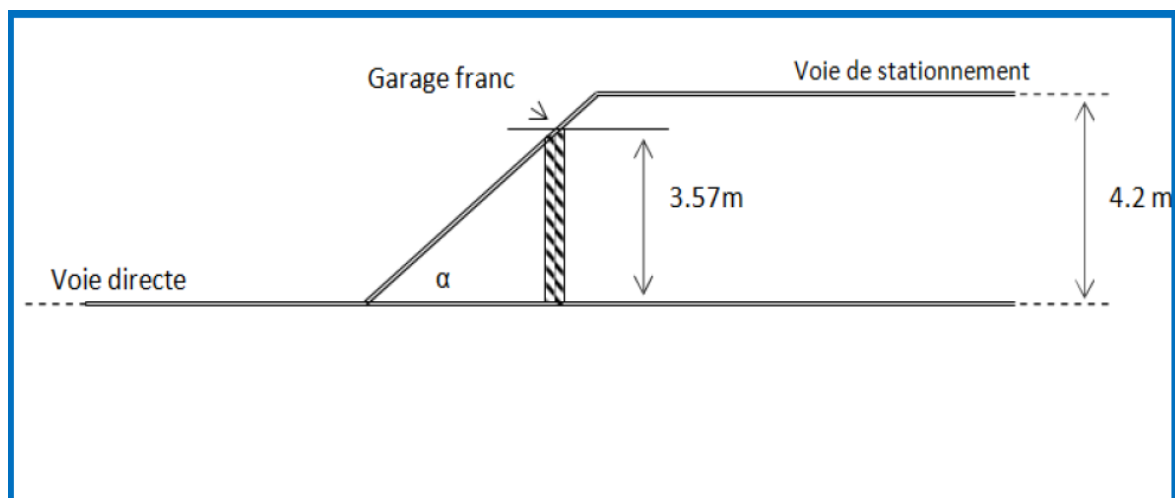


Figure XI-3 : garage franc

XI.6 La longueur utile d'une voie de stationnement

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs, elle est donnée par la formule suivante :

$$LU = LG + LS + LT + LA + LC$$

- **LU** : longueur utile.
- **LG** : longueur de glissement.
- **LS** : longueur de sécurité.
- **LT** : longueur maximale de train.
- **LA** : marge de tolérance d'arrêt.
- **LC** : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

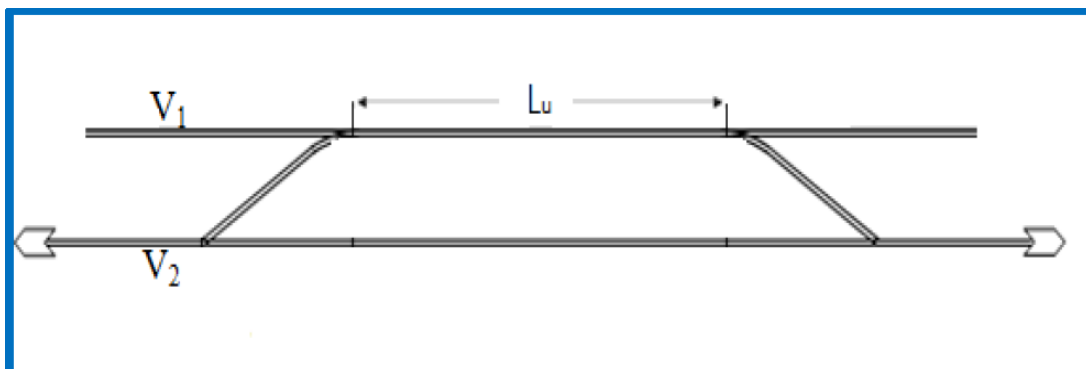


Figure XI-4 : longueur utile.

XI.7 Caractéristiques géométriques des gares

- **Déclivité dans les gares** : en gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues.
Dans notre projet, la déclivité est de **0 ‰** afin d'éviter tous déplacement possible des trains.
- **La longueur de quai (normes SNTF)** :
 - Grande ligne 450 m.
 - Service régional 350 m.
 - Banlieue 225 m.

- **La largeur des quais** : la largeur des quais est donnée par la formule suivante :

$$B_{\min} = (1.5 \times N_{\min} + S)/L$$

N_{\min} : nombre de voyageurs sur le quai qui est égale à 80 % des voyageurs au départ du train.

S : surface prise par les bâtiments voyageurs sur les quais.

L : longueur d'un quai est égale à la longueur du plus grand train.

1.5 : surface prise par un voyageur.

Cependant, la **SNTF** recommande pour une telle gare

- Quai intermédiaire $B > 8 \text{ m}$
- Quai extérieur $B \geq 6 \text{ m}$
- **Hauteur des quais** : la hauteur du bord du quai devra être de 350, 550 ou de 760 mm au-dessus de la surface de roulement, et cela selon le type du matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter dans ce quai.
- **La distance à l'axe de la voie** : pour les bordures de quai implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée

à :

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

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S (\text{mm}) = (3750/R) + ((I-1435)/2)$$

- R : le rayon de la voie (m).
- I : l'écartement de la voie (mm).

- **L'entre axe des quais** :

- e normal > 11.3 m.
- e minimal > 9.3 m.

□ La gare de projet :

La gare de Fkirina est située à l'est de la wilaya d'Oum El Bouaghi.

- La longueur du quai : Pour notre gare on prend 225 m comme longueur des quais.
- Largeur des quais : On prend $B= 6$ m pour les quais extérieurs, et 8 m pour les quais intermédiaires.
- Hauteur des quais : On prend pour notre cas $h= 55$ cm.
- Entre-axe des quais : On prend: $e= 4.2$ m (entre quai A et B).
- éloignement de 1.65m

XI.8 Assainissement dans les gares

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

Les couches de sous-ballast ainsi que la couche de forme sont réalisées de manière à être dotées d'une pente transversale aux voies de 4 % orientée dans la direction du drain ou caniveau projeté.

Des regards pour les drains sont placés tous les 50 m, ainsi que des regards de visite projetés chaque changement de direction, permettant l'intervention et le nettoyage.

Les schémas du drainage des gares sont représentés sur les plans de drainage des gares.

Les tableaux suivants représentent le dimensionnement des différents tronçons des gares avec :

A [m²]	: Surface drainé	J [m/m]	: pente de pose.
C	: Coefficient de ruissellement.	Q_{sat} [m³/s]	: Débit de saturation de l'ouvrage
I [mm/h]	: Intensité de pluie.	V [m/s]	: vitesse d'écoulement dans l'ouvrage.
Q_{app} [m³/s]	: Débit d'apport décennale.	b [m]	: largeur de fond d'ouvrage.
S_m [m²]	: Surface mouillé d'ouvrage.	h[m]	: hauteur de l'ouvrage.
P_m [m]	: Périmètre mouillé d'ouvrage	m	: Fruit des berges.
R_h [m]	: Rayon Hydraulique.		

➤ Gare de F'kirina

TAB XI-2: Débits d'apports et dimensionnement des drains des Tronçons de la gare F'kirina

Tronçon	Calcul hydrologique				Calcul hydraulique							
	A (m ²)	C	I _{10 Ans} (mm/h)	Q _{app} Tronçon (m ³ /s)	Dimension D'ouvrage	Type	S _m (m ²)	P _m (m)	R _h (m)	J (m/m)	Q _{Sat} (m ³ /s)	V (m/s)
R01-R07	1849	0.9	39.47	0.018	Ø300	Drain semi perforé	0.035	0.471	0.075	0.002	0.028	0.79

TAB XI-3: dimensionnement des collecteurs de la gare F'kirina

Tronçon	Q _{app} Tronçon (m ³ /s)	Dimension D'ouvrage	Type	S _m (m ²)	P _m (m)	R _h (m)	J (m/m)	Q _{Sat} (m ³ /s)	V (m/s)
R06-R07	0.018	Ø400	collecteur en béton armé	0.1078	0.8857	0.122	0.002	0.118	1.10

XI.9 Devis quantitative et estimative

TAB XI-4 : Devis quantitatif et estimatif

RECAPITULATION		
N° LOTS	DESIGNATIONS DES LOTS	MONTANT TOTAL
LOT N° 01	INSTALLATION DE CHANTIER	241 000 000,00
LOT N° 02	DEGAGEMENT DES EMPRISES	50 491 400,00
LOT N° 03	TERRASSEMENTS GENERAUX	2 849 727 144,40
LOT N° 04	DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS	458 208 035,08
LOT N° 05	TRAVAUX VOIE	1 568 475 167,97
LOT N° 06	OUVRAGES D'ART	1 450 406 571,29
LOT N° 07	TRAVAUX DE BATIMENT	170 206 173,39
MONTANT DU MARCHE H T		6 788 514 492,14
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)		1 289 817 753,51
MONTANT DU MARCHE EN T T C		8 078 332 245,65

XI.10 Conclusion

La gare de FKIR NA est aménagée d'une manière à satisfaire aux besoins des usagers de cette région en termes de déplacement et communication avec d'autre région

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, cette étude sur la nouvelle ligne ferroviaire en Algérie a été bien plus qu'une simple exploration académique. Elle a également joué un rôle fondamental dans mon développement professionnel et m'a offert une opportunité d'apprentissage exceptionnelle.

En tant qu'étudiant en fin de cycle, cette recherche m'a permis d'acquérir une expérience précieuse en matière de recherche, de collecte de données, d'analyse critique et de résolution de problèmes complexes. Ces compétences sont essentielles pour ma future carrière dans le domaine du transport et de l'infrastructure.

De plus, cette étude m'a également donné l'occasion d'explorer en profondeur le secteur ferroviaire, d'interagir avec des experts de l'industrie et de comprendre les enjeux réels liés à un projet d'une telle envergure. Ces connaissances pratiques sont inestimables pour mon développement professionnel et ma capacité à contribuer de manière significative à des projets similaires à l'avenir.

Enfin, Ce travail nous a permis de développer notre côté informatique, par l'utilisation des logiciels comme AUTOCAD, COVADIS.

Le développement des lignes ferroviaires en Algérie représente une étape cruciale vers un avenir plus durable et connecté.

Bibliographie

Bibliographie

• **Fiches U.I.C :**

- 703R : caractéristiques de trace des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.
- 719R : ouvrage en terre et couche d'assises ferroviaires (2^{ème} éditions, 01.01.94).
- -UIC 703 et les normes de l'IN 0272 SNCF du 12/09/2006.
- UIC 760 : Passages à niveau, signalisation routière (1-1-1972) ;
- UIC 761 : Directives applicables aux systèmes automatiques des passages à niveau (janvier 2004)
- UIC 762 : Mesures de sécurité aux passages à niveau situés sur des lignes parcourues à des vitesses comprises entre 120 et 200 km/h
- Fiche UIC703, SNCF IN0272 et ENV13803

• **Livres et cours :**

- La voie ferrée-technique de construction et d'entretien, par Jean ALIAS, 2^{ème} édition –Paris 1984.
- LES CHEMIN DE FER (Pierre Weil).
- La voie ferrée - Géométrie et tracé générale, par Robert E. RIVIER.
- Cours de chemins de fer (Paris tech 2011-2012), par Philippe POULIGNY.
- Cours d'exploitation des chemins de fer-ULYSSE LAMALLE.
- Infrastructures de transport, mobilité et croissance. Rapport Michel Didier et Rémy Prud'homme.
- Système de transport 1, par Robert Rivier.
- Mémoires de fin d'étude de la nouvelle ligne ferroviaire TIARET-SAIDA
- Document-pedagogique-signaux-regimes-exploitation-v1.

- **Documents de base :**

- Rapport technique ABK TR1 de l'étude de APD Ain baida-khnechla.

- **Sites internet :**

- Alstom transport, [<http://www.transport.alstom.com>], France.

- Ministère des transports algériens [www.ministere-transport.gov.dz].

- INFRARAIL [www.infrarail.dz].

- ANESRIF [www.anesrif.dz].

- Dictionnaire visuel [www.infovisuel.info].

- Ainsi que d'autres sites (Google, Wikipédia....etc.).

- Site de S.N.T.F [www.sntf.dz]

- GOOGLE EARTH



ANNEXES

CARACTERISTIQUE PLANIMETRIQUE

**TRONCON 01 AIN BEIDA - F'KIRINA
DU PK 0+350 AU PK 20+400**

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
DR1	ANG=201.1438 (g)	651.8705			
			0+652	352,273.2614	3,961,317.6860
CLO2	A=400.500				
	R=2,005.000	80.000			
			0+732	352,272.3561	3,961,237.6925
ARC3	XC=354,277.3522				
	YC=3,961,241.6694				
	R=2,005.000	108.887			
			0+841	352,275.5279	3,961,128.8655
CLO4	A=400.500				
	R=2,005.000	80.000			
			0+921	352,281.0906	3,961,049.0605
DR5	ANG=195.1463 (g)	1,301.5724			
			2+222	352,380.2279	3,959,751.2691
CLO6	A=439.318				
	R=1,000.000	193.000			
			2+415	352,401.1005	3,959,559.4815
ARC7	XC=353,386.2179				
	YC=3,959,731.3649				
	R=1,000.000	1,196.606			
			3+612	353,186.1283	3,958,751.5872
CLO8	A=439.318				
	R=1,000.000	193.000			
			3+805	353,377.2378	3,958,725.2181
DR9	ANG=106.6813 (g)	297.9504			
			4+103	353,673.5489	3,958,694.0058
CLO10	A=439.318				
	R=1,000.000	193.000			
			4+296	353,864.6584	3,958,667.6366
ARC11	XC=353,664.5689				
	YC=3,957,687.8590				
	R=1,000.000	855.499			
			5+151	354,535.4284	3,958,179.3910
CLO12	A=439.318				
	R=1,000.000	193.000			
			5+344	354,619.2573	3,958,005.6357
DR13	ANG=173.4308 (g)	470.3468			

ANNEXE

			5+815	354,809.9065	3,957,575.6601
CLO14	A=516.140				
	R=1,200.000	222.000			
			6+037	354,893.5608	3,957,370.1157
ARC15	XC=353,756.3217				
	YC=3,956,987.1180				
	R=1,200.000	1,538.577			
			7+575	354,447.1981	3,956,005.9504
CLO16	A=516.140				
	R=1,200.000	222.000			
			7+797	354,258.2220	3,955,889.6123
DR17	ANG=266.8323 (g)	2,765.0275			
			10+562	351,860.0492	3,954,513.3333
CLO18	A=525.833				
	R=3,500.000	79.000			
			10+641	351,791.6794	3,954,473.7541
ARC19	XC=353,567.9351				
	YC=3,951,457.9763				
	R=3,500.000	2,261.239			
			12+903	350,334.0168	3,952,796.5474
CLO20	A=525.833				
	R=3,500.000	79.000			
			12+982	350,304.3536	3,952,723.3284
DR21	ANG=224.2654 (g)	901.0920			
			13+883	349,969.1500	3,951,886.9043
CLO22	A=529.150				
	R=5,000.000	56.000			
			13+939	349,948.2212	3,951,834.9622
ARC23	XC=345,317.5402				
	YC=3,953,720.9085				
	R=5,000.000	1,539.041			
			15+478	349,159.1923	3,950,520.6414
CLO24	A=529.150				
	R=5,000.000	56.000			
			15+534	349,123.1890	3,950,477.7491
DR25	ANG=244.5741 (g)	749.9619			
			16+284	348,639.9540	3,949,904.2276
CLO26	A=529.150				
	R=5,000.000	56.000			
			16+340	348,603.9507	3,949,861.3353
ARC27	XC=352,445.6027				
	YC=3,946,661.0682				
	R=5,000.000	1,094.423			
			17+434	348,000.7023	3,948,950.7975

ANNEXE

CLO28	A=529.150				
	R=5,000.000	56.000			
			17+490	347,975.2434	3,948,900.9193
DR29	ANG=229.9264 (g)	948.5744			
			18+439	347,545.5768	3,948,055.2362
CLO30	A=516.140				
	R=1,200.000	222.000			
			18+661	347,439.0068	3,947,860.5843
ARC31	XC=346,423.9506				
	YC=3,948,500.6319				
	R=1,200.000	101.820			
			18+762	347,381.1124	3,947,776.8631
CLO32	A=516.140				
	R=1,200.000	222.000			
			18+984	347,236.6115	3,947,608.4409
DR33	ANG=247.1056 (g)	2,182.5019			

Cubatures Déblai Remblai (compensé)

PK	Surface de déblai (m ²)	Volume de déblai (m ³)	Surface de remblai (m ²)	Volume de remblai (m ³)	Vol. déblai cum. (m ³)	Vol. remblai cum. (m ³)	Vol. net cum. (m ³)
0+530	11.37	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00
0+550	9.73	211.05	1.38	21.39	211.05	21.39	189.66
0+575	5.18	186.35	5.76	89.28	397.40	110.67	286.73
0+600	1.65	85.34	11.47	215.36	482.74	326.03	156.71
0+625	2.25	48.79	9.06	256.62	531.53	582.65	-51.12
0+650	2.13	54.81	9.19	228.16	586.34	810.80	-224.46
0+675	2.14	53.41	9.41	232.56	639.75	1,043.37	-403.61
0+700	1.64	47.21	9.31	234.09	686.96	1,277.46	-590.50
0+725	1.51	39.29	12.98	278.60	726.25	1,556.06	-829.80
0+750	1.50	37.59	12.66	320.40	763.84	1,876.45	-1,112.61
0+775	0.60	26.29	14.39	338.14	790.14	2,214.60	-1,424.46
0+800	0.29	11.17	16.25	383.09	801.30	2,597.68	-1,796.38
0+825	0.45	9.24	14.61	385.77	810.54	2,983.45	-2,172.91
0+850	0.36	10.17	13.12	346.63	820.71	3,330.08	-2,509.37
0+875	0.51	10.95	15.79	361.36	831.66	3,691.44	-2,859.78
0+900	0.82	16.69	15.64	392.90	848.36	4,084.35	-3,235.99
0+925	0.88	21.27	13.07	358.90	869.63	4,443.25	-3,573.62
0+950	1.03	23.80	9.64	283.81	893.43	4,727.06	-3,833.63
0+975	2.14	39.57	6.77	205.06	933.01	4,932.12	-3,999.11
1+000	2.08	52.78	8.42	189.84	985.79	5,121.96	-4,136.17
1+025	1.52	45.01	10.19	232.64	1,030.80	5,354.60	-4,323.80
1+050	1.69	40.12	9.58	247.10	1,070.92	5,601.70	-4,530.77
1+075	1.98	45.92	10.36	249.24	1,116.84	5,850.94	-4,734.10
1+100	0.76	34.31	13.07	292.89	1,151.14	6,143.82	-4,992.68
1+125	1.01	22.10	12.98	325.60	1,173.24	6,469.43	-5,296.18
1+150	1.09	26.23	12.36	316.71	1,199.47	6,786.13	-5,586.66
1+175	1.20	28.65	14.75	338.81	1,228.13	7,124.94	-5,896.82
1+200	0.88	25.98	17.73	405.92	1,254.11	7,530.87	-6,276.76
1+225	0.57	18.12	16.65	429.67	1,272.22	7,960.54	-6,688.32
1+250	0.51	13.45	16.57	415.28	1,285.68	8,375.82	-7,090.15
1+275	0.93	17.93	13.51	375.99	1,303.60	8,751.81	-7,448.21
1+300	1.06	24.81	11.81	316.42	1,328.42	9,068.23	-7,739.81

ANNEXE

1+325	1.21	28.34	6.52	229.04	1,356.76	9,297.26	-7,940.50
1+350	2.06	40.84	4.50	137.70	1,397.60	9,434.96	-8,037.36
1+375	1.82	48.41	4.81	116.43	1,446.01	9,551.39	-8,105.38
1+400	1.59	42.58	5.84	133.15	1,488.59	9,684.54	-8,195.95
1+425	1.27	35.77	12.20	225.47	1,524.36	9,910.01	-8,385.66
1+450	0.77	25.55	17.44	370.51	1,549.91	10,280.52	-8,730.61
1+475	1.77	31.73	7.42	310.79	1,581.64	10,591.32	-9,009.67
1+500	1.18	36.86	9.67	213.67	1,618.50	10,804.98	-9,186.48
1+525	1.22	30.00	9.32	237.44	1,648.50	11,042.43	-9,393.93
1+550	1.45	33.30	8.38	221.36	1,681.80	11,263.78	-9,581.98
1+575	1.60	38.12	8.90	216.07	1,719.92	11,479.85	-9,759.94
1+600	1.02	32.72	12.34	265.46	1,752.63	11,745.31	-9,992.67
1+625	1.15	27.09	12.19	306.51	1,779.72	12,051.82	-10,272.10
1+650	2.00	39.44	10.41	282.42	1,819.16	12,334.24	-10,515.08
1+675	2.08	51.00	9.54	249.30	1,870.16	12,583.54	-10,713.38
1+700	1.41	43.55	10.37	248.82	1,913.71	12,832.36	-10,918.64
1+725	1.53	36.71	5.65	200.22	1,950.42	13,032.58	-11,082.16
1+750	1.38	36.29	8.62	178.34	1,986.71	13,210.91	-11,224.20
1+775	2.95	54.09	1.45	125.84	2,040.80	13,336.76	-11,295.96
1+800	1.85	60.07	3.12	57.16	2,100.87	13,393.91	-11,293.04
1+825	1.36	40.12	5.82	111.83	2,140.99	13,505.74	-11,364.75
1+850	0.95	28.81	4.59	130.15	2,169.81	13,635.89	-11,466.08
1+875	0.76	21.42	4.68	115.82	2,191.23	13,751.71	-11,560.48
1+900	1.78	31.82	3.35	100.38	2,223.04	13,852.09	-11,629.04
1+925	1.34	39.08	1.05	55.11	2,262.12	13,907.19	-11,645.07
1+950	3.25	57.44	0.01	13.35	2,319.56	13,920.54	-11,600.98
1+975	4.98	102.87	0.00	0.17	2,422.43	13,920.70	-11,498.28
2+000	6.49	143.36	0.00	0.00	2,565.79	13,920.70	-11,354.91
2+025	25.53	400.20	0.00	0.00	2,965.99	13,920.70	-10,954.71
2+050	174.99	2,506.49	0.00	0.00	5,472.48	13,920.70	-8,448.23
2+075	69.37	3,054.57	0.00	0.00	8,527.05	13,920.70	-5,393.66
2+100	11.14	1,006.39	0.00	0.00	9,533.44	13,920.70	-4,387.27
2+125	14.75	323.58	0.00	0.00	9,857.01	13,920.70	-4,063.69
2+150	11.26	325.05	0.00	0.00	10,182.06	13,920.70	-3,738.65
2+175	9.19	255.60	0.00	0.00	10,437.66	13,920.70	-3,483.04
2+200	13.36	281.96	0.00	0.00	10,719.62	13,920.70	-3,201.08
2+225	19.63	412.38	0.00	0.00	11,132.00	13,920.70	-2,788.70
2+250	25.44	563.35	0.00	0.00	11,695.35	13,920.70	-2,225.35

ANNEXE

2+275	35.60	763.03	0.00	0.00	12,458.38	13,920.70	-1,462.32
2+300	28.39	799.84	0.00	0.00	13,258.22	13,920.70	-662.48
2+325	32.64	762.86	0.00	0.00	14,021.08	13,920.70	100.38
2+350	35.41	850.69	0.00	0.00	14,871.77	13,920.70	951.07
2+375	35.24	887.14	0.00	0.00	15,758.92	13,920.70	1,838.21
2+400	29.06	807.98	0.00	0.00	16,566.90	13,920.70	2,646.19
2+425	30.36	747.11	0.00	0.00	17,314.01	13,920.70	3,393.31
2+450	23.47	676.92	0.00	0.00	17,990.93	13,920.70	4,070.23
2+475	15.11	484.90	0.00	0.00	18,475.83	13,920.70	4,555.13
2+500	14.75	374.78	0.00	0.00	18,850.61	13,920.70	4,929.90
2+525	5.98	259.95	0.00	0.00	19,110.56	13,920.70	5,189.85
2+550	9.69	196.44	0.00	0.00	19,306.99	13,920.70	5,386.29
2+575	11.95	271.46	0.00	0.00	19,578.45	13,920.70	5,657.75
2+600	18.83	386.20	0.00	0.00	19,964.66	13,920.70	6,043.95
2+625	16.31	441.01	0.00	0.00	20,405.66	13,920.70	6,484.96
2+650	16.17	407.70	0.00	0.00	20,813.36	13,920.70	6,892.66
2+675	15.98	403.53	0.00	0.00	21,216.90	13,920.70	7,296.19
2+700	10.09	327.19	0.00	0.00	21,544.09	13,920.70	7,623.38
2+725	1.41	144.22	1.02	12.81	21,688.31	13,933.51	7,754.79
2+750	4.60	75.33	0.00	12.81	21,763.64	13,946.32	7,817.32
2+775	6.58	140.17	0.00	0.00	21,903.81	13,946.32	7,957.48
2+800	4.28	136.11	0.00	0.00	22,039.92	13,946.32	8,093.60
2+825	0.76	63.16	3.27	41.10	22,103.08	13,987.43	8,115.65
2+850	0.64	17.47	4.45	96.95	22,120.54	14,084.38	8,036.17
2+875	0.58	15.23	5.88	129.64	22,135.77	14,214.02	7,921.76
2+900	0.83	17.60	0.68	82.31	22,153.37	14,296.32	7,857.04
2+925	3.40	52.91	0.04	8.99	22,206.28	14,305.32	7,900.96
2+950	2.76	77.10	0.14	2.21	22,283.37	14,307.52	7,975.85
2+975	1.79	56.94	0.46	7.51	22,340.32	14,315.03	8,025.28
3+000	0.48	28.39	3.67	51.85	22,368.71	14,366.89	8,001.82
3+025	0.46	11.76	7.82	144.13	22,380.47	14,511.02	7,869.45
3+050	0.58	13.00	11.90	247.40	22,393.47	14,758.42	7,635.05
3+075	0.80	17.15	3.02	187.33	22,410.63	14,945.75	7,464.88
3+100	0.66	18.23	0.70	46.71	22,428.85	14,992.46	7,436.40
3+125	2.46	39.05	0.69	17.45	22,467.91	15,009.91	7,458.00
3+150	1.12	44.75	2.51	40.25	22,512.65	15,050.16	7,462.49
3+175	0.84	24.46	3.29	72.83	22,537.11	15,122.99	7,414.12
3+200	4.55	67.45	0.00	41.29	22,604.56	15,164.28	7,440.28

ANNEXE

3+225	7.04	145.23	0.00	0.00	22,749.79	15,164.28	7,585.51
3+250	8.70	197.42	0.00	0.00	22,947.21	15,164.28	7,782.93
3+275	10.12	236.11	0.00	0.00	23,183.32	15,164.28	8,019.04
3+300	10.11	253.81	0.00	0.00	23,437.13	15,164.28	8,272.84
3+325	12.10	278.75	0.00	0.00	23,715.88	15,164.28	8,551.59
3+350	15.00	340.20	0.00	0.00	24,056.08	15,164.28	8,891.80
3+375	14.93	375.73	0.00	0.00	24,431.81	15,164.28	9,267.52
3+400	12.98	350.29	0.00	0.00	24,782.09	15,164.28	9,617.81
3+425	10.58	295.58	0.00	0.00	25,077.68	15,164.28	9,913.39
3+450	10.73	267.34	0.00	0.00	25,345.02	15,164.28	10,180.74
3+475	11.87	283.64	0.00	0.00	25,628.66	15,164.28	10,464.38
3+500	26.54	481.24	0.00	0.00	26,109.90	15,164.28	10,945.62
3+525	59.80	1,084.32	0.00	0.00	27,194.21	15,164.28	12,029.93
3+550	1.22	767.26	5.30	66.52	27,961.47	15,230.80	12,730.67
3+575	3.01	52.80	0.09	67.66	28,014.28	15,298.46	12,715.81
3+600	3.22	78.00	0.00	1.15	28,092.27	15,299.61	12,792.66
3+625	3.24	81.00	0.01	0.11	28,173.27	15,299.72	12,873.55
3+650	4.62	98.45	0.00	0.11	28,271.72	15,299.83	12,971.89
3+675	2.49	89.02	0.37	4.58	28,360.74	15,304.41	13,056.32
3+700	2.48	62.21	0.87	15.49	28,422.94	15,319.90	13,103.04
3+725	2.19	58.43	0.93	22.58	28,481.37	15,342.48	13,138.89
3+750	1.55	46.80	2.14	38.45	28,528.17	15,380.93	13,147.24
3+775	1.22	34.66	3.47	70.21	28,562.83	15,451.14	13,111.69
3+800	1.27	31.19	2.26	71.67	28,594.01	15,522.81	13,071.20
3+825	0.82	26.22	4.12	79.70	28,620.23	15,602.51	13,017.72
3+850	1.79	32.64	0.66	59.74	28,652.87	15,662.25	12,990.63
3+875	3.25	63.01	0.03	8.63	28,715.89	15,670.88	13,045.01
3+900	6.45	121.31	0.00	0.33	28,837.20	15,671.20	13,166.00
3+925	10.54	212.45	0.00	0.00	29,049.65	15,671.20	13,378.44
3+950	9.73	253.47	0.00	0.00	29,303.12	15,671.20	13,631.92
3+975	6.40	201.69	0.00	0.00	29,504.81	15,671.20	13,833.61
4+000	3.98	129.79	0.00	0.00	29,634.60	15,671.20	13,963.40
4+025	2.54	81.57	0.92	11.52	29,716.17	15,682.72	14,033.45
4+050	2.54	63.60	1.17	26.11	29,779.77	15,708.83	14,070.94
4+075	2.50	63.05	0.42	19.84	29,842.82	15,728.67	14,114.15
4+100	1.14	45.48	5.01	67.85	29,888.31	15,796.52	14,091.78
4+125	0.93	25.91	7.88	161.07	29,914.21	15,957.60	13,956.62
4+150	0.97	23.78	8.37	203.04	29,937.99	16,160.64	13,777.35

ANNEXE

4+175	0.59	19.49	4.20	157.13	29,957.48	16,317.77	13,639.71
4+200	0.51	13.80	6.36	132.08	29,971.28	16,449.86	13,521.42
4+225	0.61	14.09	7.81	177.14	29,985.36	16,626.99	13,358.37
4+250	0.29	11.32	13.10	261.36	29,996.68	16,888.36	13,108.32
4+275	0.56	10.74	14.87	348.18	30,007.42	17,236.54	12,770.88
4+300	0.43	12.41	17.59	403.73	30,019.82	17,640.27	12,379.55
4+325	0.38	10.04	21.68	488.09	30,029.86	18,128.36	11,901.50
4+350	0.63	12.58	21.12	531.44	30,042.44	18,659.80	11,382.64
4+375	0.26	11.15	17.18	475.72	30,053.59	19,135.52	10,918.07
4+400	0.13	4.92	9.72	334.54	30,058.51	19,470.06	10,588.46
4+425	0.03	2.01	12.91	281.45	30,060.52	19,751.51	10,309.02
4+450	0.13	2.01	11.53	303.82	30,062.54	20,055.32	10,007.21
4+475	0.12	3.12	12.13	294.05	30,065.66	20,349.37	9,716.29
4+500	0.10	2.71	15.73	346.27	30,068.37	20,695.64	9,372.73
4+525	0.05	1.88	38.37	671.57	30,070.24	21,367.21	8,703.03
4+550	0.00	0.64	33.01	885.98	30,070.88	22,253.19	7,817.69
4+575	0.26	3.29	26.77	742.35	30,074.17	22,995.54	7,078.63
4+600	0.63	11.19	22.93	617.09	30,085.36	23,612.63	6,472.73
4+625	1.00	20.38	16.29	487.03	30,105.74	24,099.67	6,006.07
4+650	0.67	20.89	20.31	454.61	30,126.63	24,554.28	5,572.35
4+675	0.40	13.49	28.12	601.42	30,140.12	25,155.71	4,984.41
4+700	0.64	13.04	22.71	631.31	30,153.16	25,787.02	4,366.14
4+725	0.38	12.78	21.24	546.20	30,165.94	26,333.22	3,832.72
4+750	0.01	4.92	15.49	456.72	30,170.86	26,789.94	3,380.92
4+775	0.08	1.13	10.32	321.02	30,171.99	27,110.95	3,061.03
4+800	0.11	2.43	5.91	201.88	30,174.42	27,312.83	2,861.58
4+825	1.12	15.41	1.57	93.05	30,189.83	27,405.89	2,783.94
4+850	2.34	43.28	0.28	22.96	30,233.12	27,428.85	2,804.27
4+875	6.25	107.14	0.00	3.42	30,340.25	27,432.27	2,907.98
4+900	11.75	224.15	0.00	0.00	30,564.40	27,432.27	3,132.13
4+925	18.38	375.01	0.00	0.00	30,939.41	27,432.27	3,507.14
4+950	24.42	532.71	0.00	0.00	31,472.12	27,432.27	4,039.85
4+975	31.65	697.73	0.00	0.00	32,169.85	27,432.27	4,737.58
5+000	33.51	810.53	0.00	0.00	32,980.39	27,432.27	5,548.12
5+025	30.77	799.59	0.00	0.00	33,779.97	27,432.27	6,347.70
5+050	23.75	678.27	0.00	0.00	34,458.24	27,432.27	7,025.97
5+075	16.46	500.37	0.00	0.00	34,958.61	27,432.27	7,526.34
5+100	11.97	353.90	0.00	0.00	35,312.51	27,432.27	7,880.24

ANNEXE

5+125	3.01	186.57	0.18	2.26	35,499.08	27,434.53	8,064.55
5+150	15.05	224.95	0.00	2.26	35,724.03	27,436.79	8,287.23
5+175	22.00	461.24	0.00	0.00	36,185.27	27,436.79	8,748.47
5+200	30.71	656.22	0.00	0.00	36,841.49	27,436.79	9,404.70
5+225	37.92	857.89	0.00	0.00	37,699.38	27,436.79	10,262.59
5+250	39.85	972.07	0.00	0.00	38,671.46	27,436.79	11,234.66
5+275	38.17	975.25	0.00	0.00	39,646.71	27,436.79	12,209.92
5+300	49.28	1,093.22	0.00	0.00	40,739.93	27,436.79	13,303.13
5+325	61.04	1,379.08	0.00	0.00	42,119.01	27,436.79	14,682.22
5+350	61.52	1,532.08	0.00	0.00	43,651.09	27,436.79	16,214.30
5+375	51.45	1,412.12	0.00	0.00	45,063.21	27,436.79	17,626.42
5+400	35.48	1,086.53	0.00	0.00	46,149.73	27,436.79	18,712.94
5+425	27.55	787.82	0.00	0.00	46,937.55	27,436.79	19,500.76
5+450	23.65	640.01	0.00	0.00	47,577.56	27,436.79	20,140.77
5+475	16.13	497.22	0.00	0.00	48,074.78	27,436.79	20,637.98
5+500	15.49	395.19	0.00	0.00	48,469.96	27,436.79	21,033.17
5+525	10.84	329.08	0.00	0.00	48,799.05	27,436.79	21,362.25
5+550	5.49	204.14	0.00	0.00	49,003.19	27,436.79	21,566.39
5+575	1.06	81.95	1.11	13.87	49,085.14	27,450.66	21,634.48
5+600	2.54	44.99	4.63	71.73	49,130.13	27,522.39	21,607.74
5+625	0.39	36.61	11.19	197.73	49,166.74	27,720.11	21,446.62
5+650	0.00	4.92	19.50	383.59	49,171.66	28,103.70	21,067.96
5+675	0.00	0.00	26.90	580.03	49,171.66	28,683.73	20,487.93
5+700	0.00	0.00	35.45	779.38	49,171.66	29,463.11	19,708.55
5+725	0.00	0.00	32.86	853.85	49,171.66	30,316.95	18,854.71
5+750	0.00	0.00	30.69	794.41	49,171.66	31,111.37	18,060.29
5+775	0.00	0.00	32.74	792.84	49,171.66	31,904.21	17,267.45
5+800	0.00	0.00	35.58	853.93	49,171.66	32,758.14	16,413.52
5+825	0.00	0.00	35.25	885.33	49,171.66	33,643.47	15,528.19
5+850	0.00	0.00	35.15	880.00	49,171.66	34,523.47	14,648.19
5+875	0.00	0.00	37.21	904.56	49,171.66	35,428.03	13,743.63
5+900	0.00	0.00	35.81	912.75	49,171.66	36,340.78	12,830.88
5+925	0.00	0.00	31.78	844.81	49,171.66	37,185.59	11,986.07
5+950	0.00	0.00	26.30	725.94	49,171.66	37,911.53	11,260.13
5+975	0.00	0.00	21.69	599.80	49,171.66	38,511.33	10,660.33
6+000	0.00	0.00	16.19	473.49	49,171.66	38,984.82	10,186.84
6+025	0.00	0.00	14.67	385.34	49,171.66	39,370.17	9,801.49
6+050	0.00	0.00	15.31	374.27	49,171.66	39,744.44	9,427.22

ANNEXE

6+075	0.00	0.00	16.24	393.97	49,171.66	40,138.40	9,033.26
6+100	0.00	0.00	15.71	399.00	49,171.66	40,537.40	8,634.26
6+125	0.00	0.00	17.61	416.10	49,171.66	40,953.51	8,218.15
6+150	0.00	0.00	16.23	422.63	49,171.66	41,376.14	7,795.52
6+175	0.00	0.00	13.79	374.99	49,171.66	41,751.13	7,420.53
6+200	0.00	0.00	12.77	331.84	49,171.66	42,082.97	7,088.69
6+225	0.00	0.00	14.59	341.86	49,171.66	42,424.83	6,746.83
6+250	0.00	0.00	18.38	411.93	49,171.66	42,836.76	6,334.90
6+275	0.00	0.00	24.96	541.44	49,171.66	43,378.20	5,793.46
6+300	0.00	0.00	23.78	608.86	49,171.66	43,987.06	5,184.60
6+325	0.00	0.00	20.81	557.07	49,171.66	44,544.13	4,627.53
6+350	0.00	0.00	13.75	431.80	49,171.66	44,975.93	4,195.73
6+375	0.00	0.00	12.23	324.52	49,171.66	45,300.45	3,871.21
6+400	0.00	0.00	17.37	369.70	49,171.66	45,670.15	3,501.51
6+425	0.00	0.00	23.68	512.81	49,171.66	46,182.96	2,988.70
6+450	0.00	0.00	29.81	668.29	49,171.66	46,851.25	2,320.41
6+475	0.00	0.00	31.00	759.63	49,171.66	47,610.88	1,560.78
6+500	0.00	0.00	30.60	769.46	49,171.66	48,380.35	791.31
6+525	0.00	0.00	31.30	773.24	49,171.66	49,153.59	18.07
6+550	0.00	0.00	33.97	815.12	49,171.66	49,968.71	-797.05
6+575	0.00	0.00	33.36	840.71	49,171.66	50,809.42	-1,637.76
6+600	0.00	0.00	34.52	847.74	49,171.66	51,657.16	-2,485.50
6+625	0.00	0.00	34.31	859.68	49,171.66	52,516.84	-3,345.18
6+650	0.00	0.00	36.65	886.35	49,171.66	53,403.18	-4,231.52
6+675	0.00	0.00	39.60	952.55	49,171.66	54,355.73	-5,184.07
6+700	0.00	0.00	36.63	952.41	49,171.66	55,308.14	-6,136.48
6+725	0.00	0.00	35.44	900.45	49,171.66	56,208.59	-7,036.93
6+750	0.00	0.00	38.48	923.44	49,171.66	57,132.03	-7,960.37
6+775	0.00	0.00	39.67	976.32	49,171.66	58,108.35	-8,936.69
6+800	0.00	0.00	52.78	1,155.20	49,171.66	59,263.55	-10,091.89
6+825	0.00	0.00	32.98	1,071.40	49,171.66	60,334.96	-11,163.30
6+850	0.00	0.00	22.20	689.08	49,171.66	61,024.03	-11,852.37
6+875	0.00	0.00	15.17	466.67	49,171.66	61,490.70	-12,319.04
6+900	0.00	0.00	9.55	308.74	49,171.66	61,799.44	-12,627.78
6+925	0.91	11.37	3.17	158.82	49,183.03	61,958.26	-12,775.23
6+950	12.38	166.29	0.00	39.49	49,349.32	61,997.75	-12,648.43
6+975	35.57	600.10	0.00	0.00	49,949.42	61,997.75	-12,048.33
7+000	61.20	1,211.15	0.00	0.00	51,160.57	61,997.75	-10,837.18

ANNEXE

7+025	64.27	1,570.11	0.00	0.00	52,730.68	61,997.75	-9,267.07
7+050	66.81	1,640.50	0.00	0.00	54,371.18	61,997.75	-7,626.57
7+075	64.94	1,649.37	0.00	0.00	56,020.55	61,997.75	-5,977.20
7+100	40.61	1,321.13	0.00	0.00	57,341.68	61,997.75	-4,656.07
7+125	32.77	917.94	0.00	0.00	58,259.63	61,997.75	-3,738.12
7+150	42.52	941.57	0.00	0.00	59,201.20	61,997.75	-2,796.55
7+175	60.56	1,289.22	0.00	0.00	60,490.42	61,997.75	-1,507.33
7+200	67.77	1,605.43	0.00	0.00	62,095.85	61,997.75	98.10
7+225	61.52	1,616.44	0.00	0.00	63,712.29	61,997.75	1,714.54
7+250	45.75	1,339.52	0.00	0.00	65,051.81	61,997.75	3,054.06
7+275	19.64	816.02	0.00	0.00	65,867.83	61,997.75	3,870.08
7+300	0.19	247.33	6.55	81.88	66,115.16	62,079.63	4,035.53
7+325	0.00	2.34	17.34	298.52	66,117.50	62,378.15	3,739.35
7+350	0.00	0.00	13.32	382.97	66,117.50	62,761.12	3,356.38
7+375	0.00	0.00	9.29	282.31	66,117.50	63,043.43	3,074.07
7+400	0.61	7.63	4.24	168.94	66,125.13	63,212.37	2,912.76
7+425	1.67	28.50	0.90	64.14	66,153.63	63,276.52	2,877.12
7+450	3.77	67.99	0.00	11.18	66,221.62	63,287.70	2,933.92
7+475	4.22	99.81	0.00	0.00	66,321.43	63,287.70	3,033.73
7+500	0.97	64.84	0.74	9.25	66,386.27	63,296.95	3,089.33
7+525	0.00	12.15	8.44	114.71	66,398.43	63,411.66	2,986.76
7+550	0.00	0.00	13.00	267.89	66,398.43	63,679.55	2,718.88
7+575	0.00	0.00	15.93	361.35	66,398.43	64,040.90	2,357.53
7+600	0.00	0.00	14.33	377.89	66,398.43	64,418.78	1,979.64
7+625	0.00	0.00	14.48	360.02	66,398.43	64,778.81	1,619.62
7+650	0.00	0.00	16.10	382.19	66,398.43	65,161.00	1,237.42
7+675	0.00	0.00	18.63	434.08	66,398.43	65,595.09	803.34
7+700	0.00	0.00	16.73	442.01	66,398.43	66,037.10	361.33
7+725	0.00	0.00	11.38	351.45	66,398.43	66,388.54	9.88
7+750	1.22	15.29	0.53	148.96	66,413.71	66,537.50	-123.78
7+775	0.59	22.70	2.43	37.10	66,436.41	66,574.60	-138.19
7+800	0.57	14.57	2.27	58.77	66,450.98	66,633.37	-182.39
7+825	0.99	19.56	2.17	55.47	66,470.53	66,688.84	-218.31
7+850	0.99	24.74	2.98	64.39	66,495.27	66,753.23	-257.95
7+875	0.49	18.41	4.99	99.62	66,513.68	66,852.85	-339.16
7+900	0.22	8.76	7.71	158.73	66,522.45	67,011.58	-489.13
7+925	0.28	6.16	6.51	177.71	66,528.60	67,189.29	-660.69
7+950	0.46	9.24	5.40	148.81	66,537.85	67,338.11	-800.26

ANNEXE

7+975	0.51	12.22	4.94	129.28	66,550.06	67,467.39	-917.33
8+000	0.62	14.23	4.12	113.35	66,564.29	67,580.73	-1,016.44
8+025	2.26	36.03	1.88	75.02	66,600.32	67,655.75	-1,055.43
8+050	10.51	159.57	0.00	23.47	66,759.89	67,679.23	-919.34
8+075	11.69	277.47	0.00	0.00	67,037.36	67,679.23	-641.87
8+100	1.59	165.99	0.82	10.25	67,203.35	67,689.48	-486.13
8+125	6.25	98.01	0.00	10.25	67,301.37	67,699.73	-398.37
8+150	1.73	99.77	0.51	6.38	67,401.14	67,706.12	-304.98
8+175	0.42	26.89	4.71	65.29	67,428.03	67,771.41	-343.38
8+200	0.28	8.75	5.10	122.62	67,436.78	67,894.03	-457.25
8+225	0.41	8.55	5.21	128.86	67,445.33	68,022.90	-577.56
8+250	0.31	8.89	5.81	137.81	67,454.22	68,160.70	-706.49
8+275	0.53	10.48	5.00	135.13	67,464.70	68,295.83	-831.14
8+300	0.78	16.47	3.58	107.23	67,481.16	68,403.07	-921.90
8+325	2.32	38.80	1.20	59.80	67,519.96	68,462.86	-942.90
8+350	1.90	52.70	1.33	31.71	67,572.66	68,494.57	-921.91
8+375	0.84	34.18	2.46	47.45	67,606.84	68,542.02	-935.18
8+400	0.23	13.37	3.82	78.55	67,620.20	68,620.58	-1,000.37
8+425	0.20	5.37	8.31	151.69	67,625.57	68,772.27	-1,146.69
8+450	0.00	2.48	9.69	225.03	67,628.05	68,997.30	-1,369.25
8+475	0.00	0.00	10.30	249.91	67,628.05	69,247.21	-1,619.16
8+500	0.00	0.00	11.68	274.85	67,628.05	69,522.07	-1,894.02
8+525	0.00	0.00	11.37	288.14	67,628.05	69,810.21	-2,182.16
8+550	0.00	0.00	11.99	292.01	67,628.05	70,102.21	-2,474.16
8+575	0.00	0.00	12.10	301.15	67,628.05	70,403.36	-2,775.31
8+600	0.00	0.00	10.46	282.02	67,628.05	70,685.38	-3,057.33
8+625	0.00	0.00	10.83	266.17	67,628.05	70,951.55	-3,323.50
8+650	0.00	0.00	12.27	288.76	67,628.05	71,240.32	-3,612.27
8+675	0.00	0.00	12.87	314.27	67,628.05	71,554.59	-3,926.54
8+700	0.00	0.00	12.29	314.54	67,628.05	71,869.13	-4,241.08
8+725	0.00	0.00	8.56	260.70	67,628.05	72,129.83	-4,501.78
8+750	0.07	0.91	7.49	200.63	67,628.96	72,330.46	-4,701.50
8+775	0.00	0.91	10.59	225.95	67,629.87	72,556.42	-4,926.55
8+800	0.00	0.00	13.21	297.46	67,629.87	72,853.88	-5,224.01
8+825	0.00	0.00	14.51	346.47	67,629.87	73,200.35	-5,570.48
8+850	0.00	0.00	16.23	384.31	67,629.87	73,584.66	-5,954.79
8+875	0.00	0.00	16.90	414.20	67,629.87	73,998.86	-6,368.99
8+900	0.00	0.00	16.72	420.27	67,629.87	74,419.13	-6,789.26

ANNEXE

8+925	0.00	0.00	15.16	398.53	67,629.87	74,817.66	-7,187.79
8+950	0.00	0.00	15.07	377.92	67,629.87	75,195.57	-7,565.70
8+975	0.00	0.00	13.66	359.13	67,629.87	75,554.70	-7,924.83
9+000	0.00	0.00	13.31	337.11	67,629.87	75,891.81	-8,261.94
9+025	0.00	0.00	12.90	327.56	67,629.87	76,219.37	-8,589.50
9+050	0.13	1.68	11.20	301.14	67,631.55	76,520.51	-8,888.96
9+075	0.00	1.68	20.27	393.37	67,633.23	76,913.88	-9,280.65
9+100	0.00	0.00	21.87	526.82	67,633.23	77,440.70	-9,807.47
9+125	0.00	0.00	21.70	544.61	67,633.23	77,985.31	-10,352.08
9+150	0.00	0.00	21.82	544.02	67,633.23	78,529.33	-10,896.10
9+175	0.00	0.00	22.41	552.88	67,633.23	79,082.21	-11,448.98
9+200	0.00	0.00	23.46	573.28	67,633.23	79,655.49	-12,022.26
9+225	0.00	0.00	21.32	559.70	67,633.23	80,215.19	-12,581.96
9+250	0.00	0.00	18.24	494.44	67,633.23	80,709.63	-13,076.40
9+275	0.00	0.00	19.41	470.62	67,633.23	81,180.25	-13,547.02
9+300	0.00	0.00	20.81	502.84	67,633.23	81,683.08	-14,049.86
9+325	0.00	0.00	20.99	522.50	67,633.23	82,205.58	-14,572.36
9+350	0.00	0.00	20.20	514.79	67,633.23	82,720.38	-15,087.15
9+375	0.00	0.00	18.97	489.57	67,633.23	83,209.95	-15,576.72
9+400	0.00	0.00	18.51	468.46	67,633.23	83,678.40	-16,045.18
9+425	0.00	0.00	16.30	435.09	67,633.23	84,113.49	-16,480.26
9+450	0.16	1.94	4.24	256.68	67,635.17	84,370.17	-16,735.01
9+475	0.00	1.94	11.50	196.72	67,637.10	84,566.89	-16,929.79
9+500	0.00	0.00	9.38	261.06	67,637.10	84,827.95	-17,190.84
9+525	0.00	0.00	6.80	202.29	67,637.10	85,030.23	-17,393.13
9+550	0.08	0.94	6.83	170.37	67,638.05	85,200.60	-17,562.56
9+575	0.07	1.80	6.43	165.77	67,639.85	85,366.37	-17,726.53
9+600	0.10	2.14	6.39	160.28	67,641.99	85,526.65	-17,884.67
9+625	0.10	2.48	6.54	161.67	67,644.46	85,688.33	-18,043.87
9+650	0.07	2.07	7.15	171.16	67,646.53	85,859.49	-18,212.96
9+675	0.11	2.19	6.44	169.89	67,648.72	86,029.38	-18,380.66
9+700	0.11	2.72	6.23	158.39	67,651.44	86,187.77	-18,536.33
9+725	0.22	4.19	5.30	144.13	67,655.63	86,331.90	-18,676.27
9+750	0.20	5.30	5.38	133.47	67,660.93	86,465.37	-18,804.45
9+775	0.24	5.51	5.10	130.93	67,666.44	86,596.30	-18,929.86
9+800	0.32	7.04	5.74	135.42	67,673.47	86,731.73	-19,058.25
9+825	0.30	7.76	6.11	148.08	67,681.23	86,879.81	-19,198.57
9+850	0.41	8.84	5.69	147.54	67,690.07	87,027.34	-19,337.27

ANNEXE

9+875	0.57	12.28	4.21	123.83	67,702.35	87,151.17	-19,448.83
9+900	1.99	32.07	1.53	71.85	67,734.42	87,223.03	-19,488.61
9+925	8.69	133.54	0.00	19.17	67,867.96	87,242.19	-19,374.24
9+950	14.65	291.69	0.00	0.00	68,159.65	87,242.19	-19,082.54
9+975	13.17	347.71	0.00	0.00	68,507.36	87,242.19	-18,734.83
10+000	12.72	323.68	0.00	0.00	68,831.04	87,242.19	-18,411.15
10+025	13.42	326.85	0.00	0.00	69,157.89	87,242.19	-18,084.30
10+050	15.64	363.27	0.00	0.00	69,521.16	87,242.19	-17,721.03
10+075	17.70	416.76	0.00	0.00	69,937.92	87,242.19	-17,304.27
10+100	18.85	456.91	0.00	0.00	70,394.83	87,242.19	-16,847.36
10+125	19.61	480.77	0.00	0.00	70,875.60	87,242.19	-16,366.60
10+150	19.73	491.85	0.00	0.00	71,367.44	87,242.19	-15,874.75
10+175	17.14	460.96	0.00	0.00	71,828.40	87,242.19	-15,413.79
10+200	12.70	373.01	0.00	0.00	72,201.41	87,242.19	-15,040.78
10+225	7.41	251.38	0.00	0.00	72,452.79	87,242.19	-14,789.40
10+250	5.39	160.02	0.00	0.00	72,612.81	87,242.19	-14,629.38
10+275	2.45	98.03	0.31	3.92	72,710.84	87,246.12	-14,535.27
10+300	1.87	54.06	0.27	7.30	72,764.90	87,253.42	-14,488.52
10+325	2.24	51.39	0.02	3.65	72,816.29	87,257.07	-14,440.78
10+350	2.61	60.64	0.04	0.81	72,876.93	87,257.88	-14,380.95
10+375	1.99	57.58	0.39	5.35	72,934.51	87,263.23	-14,328.72
10+400	1.08	38.42	1.69	25.92	72,972.94	87,289.15	-14,316.21
10+425	0.57	20.60	4.24	74.09	72,993.54	87,363.23	-14,369.70
10+450	0.21	9.72	6.08	128.97	73,003.26	87,492.21	-14,488.95
10+475	0.00	2.63	8.64	183.93	73,005.89	87,676.14	-14,670.25
10+500	0.00	0.00	13.64	278.50	73,005.89	87,954.64	-14,948.75
10+525	0.00	0.00	20.62	428.32	73,005.89	88,382.97	-15,377.08
10+550	0.00	0.00	27.29	598.90	73,005.89	88,981.86	-15,975.98
10+575	0.00	0.00	37.51	810.07	73,005.89	89,791.93	-16,786.04
10+600	0.00	0.00	31.97	868.57	73,005.89	90,660.50	-17,654.61
10+625	0.00	0.00	31.54	793.89	73,005.89	91,454.39	-18,448.51
10+650	0.00	0.00	32.31	798.11	73,005.89	92,252.51	-19,246.62
10+675	0.00	0.00	36.03	854.26	73,005.89	93,106.77	-20,100.88
10+700	0.00	0.00	42.12	976.95	73,005.89	94,083.72	-21,077.84
10+725	0.00	0.00	46.96	1,113.61	73,005.89	95,197.33	-22,191.44
10+750	0.00	0.00	49.29	1,203.23	73,005.89	96,400.56	-23,394.67
10+775	0.00	0.00	47.87	1,214.57	73,005.89	97,615.14	-24,609.25
10+800	0.00	0.00	46.21	1,176.04	73,005.89	98,791.17	-25,785.29

ANNEXE

10+825	0.00	0.00	43.78	1,124.91	73,005.89	99,916.09	-26,910.20
10+850	0.00	0.00	40.32	1,051.22	73,005.89	100,967.31	-27,961.42
10+875	0.00	0.00	34.62	936.73	73,005.89	101,904.04	-28,898.15
10+900	0.00	0.00	30.33	811.89	73,005.89	102,715.93	-29,710.04
10+925	0.00	0.00	26.41	709.22	73,005.89	103,425.16	-30,419.27
10+950	0.00	0.00	23.72	626.65	73,005.89	104,051.81	-31,045.92
10+975	0.00	0.00	20.67	554.96	73,005.89	104,606.77	-31,600.88
11+000	0.00	0.00	18.78	493.17	73,005.89	105,099.94	-32,094.05
11+025	0.00	0.00	14.42	415.02	73,005.89	105,514.96	-32,509.07
11+050	0.00	0.00	11.39	322.64	73,005.89	105,837.60	-32,831.71
11+075	0.00	0.00	9.68	263.39	73,005.89	106,100.99	-33,095.10
11+100	0.03	0.44	8.11	222.42	73,006.32	106,323.41	-33,317.09
11+125	0.16	2.39	5.67	172.22	73,008.71	106,495.63	-33,486.92
11+150	0.78	11.76	2.73	104.98	73,020.47	106,600.61	-33,580.14
11+175	2.20	37.28	0.57	41.35	73,057.76	106,641.96	-33,584.21
11+200	7.88	125.99	0.00	7.18	73,183.75	106,649.15	-33,465.39
11+225	11.28	239.52	0.00	0.00	73,423.27	106,649.15	-33,225.87
11+250	13.44	309.00	0.00	0.00	73,732.27	106,649.15	-32,916.87
11+275	16.24	370.98	0.00	0.00	74,103.25	106,649.15	-32,545.90
11+300	17.33	419.57	0.00	0.00	74,522.82	106,649.15	-32,126.33
11+325	19.40	459.15	0.00	0.00	74,981.97	106,649.15	-31,667.17
11+350	20.28	496.05	0.00	0.00	75,478.03	106,649.15	-31,171.12
11+375	21.57	523.13	0.00	0.00	76,001.15	106,649.15	-30,647.99
11+400	23.42	562.44	0.00	0.00	76,563.59	106,649.15	-30,085.56
11+425	27.96	642.28	0.00	0.00	77,205.87	106,649.15	-29,443.27
11+450	19.09	588.10	0.00	0.00	77,793.97	106,649.15	-28,855.17
11+475	18.56	470.69	0.00	0.00	78,264.66	106,649.15	-28,384.48
11+500	16.29	435.62	0.00	0.00	78,700.29	106,649.15	-27,948.86
11+525	16.94	415.33	0.00	0.00	79,115.62	106,649.15	-27,533.53
11+550	9.13	325.91	0.00	0.00	79,441.52	106,649.15	-27,207.62
11+575	7.22	204.38	0.00	0.00	79,645.91	106,649.15	-27,003.24
11+600	6.50	171.52	0.00	0.00	79,817.42	106,649.15	-26,831.72
11+625	4.24	134.33	0.00	0.00	79,951.75	106,649.15	-26,697.39
11+650	4.63	110.96	0.10	1.19	80,062.71	106,650.34	-26,587.63
11+675	1.15	72.24	1.69	22.30	80,134.94	106,672.64	-26,537.69
11+700	0.81	24.43	2.74	55.30	80,159.37	106,727.94	-26,568.56
11+725	0.65	18.20	3.37	76.29	80,177.58	106,804.23	-26,626.65
11+750	0.82	18.40	2.82	77.28	80,195.98	106,881.51	-26,685.53

ANNEXE

11+775	0.91	21.65	2.32	64.16	80,217.63	106,945.67	-26,728.05
11+800	0.62	19.14	3.39	71.40	80,236.76	107,017.08	-26,780.32
11+825	0.51	14.14	3.88	90.96	80,250.90	107,108.04	-26,857.14
11+850	0.23	9.18	5.06	111.84	80,260.08	107,219.88	-26,959.80
11+875	0.20	5.29	5.91	137.18	80,265.36	107,357.05	-27,091.69
11+900	0.21	5.04	5.47	142.20	80,270.40	107,499.25	-27,228.85
11+925	0.15	4.47	5.26	134.10	80,274.87	107,633.35	-27,358.48
11+950	0.33	6.02	4.93	127.36	80,280.90	107,760.71	-27,479.82
11+975	0.31	8.01	5.85	134.74	80,288.91	107,895.45	-27,606.54
12+000	0.00	3.89	7.29	164.24	80,292.80	108,059.69	-27,766.89
12+025	0.00	0.00	9.91	215.02	80,292.80	108,274.71	-27,981.92
12+050	0.13	1.62	6.08	199.87	80,294.42	108,474.58	-28,180.16
12+075	0.00	1.62	7.92	174.91	80,296.04	108,649.49	-28,353.45
12+100	0.00	0.00	8.92	210.47	80,296.04	108,859.96	-28,563.92
12+125	0.00	0.00	9.23	226.93	80,296.04	109,086.89	-28,790.85
12+150	0.00	0.00	11.00	252.91	80,296.04	109,339.80	-29,043.76
12+175	0.00	0.00	11.39	279.89	80,296.04	109,619.69	-29,323.65
12+200	0.00	0.00	12.65	300.48	80,296.04	109,920.17	-29,624.13
12+225	0.00	0.00	12.58	315.37	80,296.04	110,235.54	-29,939.50
12+250	0.00	0.00	12.76	316.82	80,296.04	110,552.36	-30,256.31
12+275	0.00	0.00	13.01	322.09	80,296.04	110,874.45	-30,578.41
12+300	0.00	0.00	13.55	331.91	80,296.04	111,206.36	-30,910.31
12+325	0.00	0.00	16.06	370.11	80,296.04	111,576.47	-31,280.43
12+350	0.00	0.00	17.92	424.84	80,296.04	112,001.31	-31,705.26
12+375	0.00	0.00	16.67	432.41	80,296.04	112,433.72	-32,137.68
12+400	0.00	0.00	15.70	404.55	80,296.04	112,838.27	-32,542.22
12+425	0.00	0.00	15.10	384.99	80,296.04	113,223.25	-32,927.21
12+450	0.00	0.00	14.27	367.14	80,296.04	113,590.40	-33,294.36
12+475	0.00	0.00	13.04	341.35	80,296.04	113,931.75	-33,635.70
12+500	0.00	0.00	12.32	317.01	80,296.04	114,248.76	-33,952.71
12+525	0.00	0.00	13.85	327.10	80,296.04	114,575.86	-34,279.82
12+550	0.00	0.00	11.13	312.24	80,296.04	114,888.10	-34,592.06
12+575	0.00	0.00	10.57	271.32	80,296.04	115,159.43	-34,863.39
12+600	0.00	0.00	10.33	261.32	80,296.04	115,420.75	-35,124.71
12+625	0.00	0.00	10.21	256.81	80,296.04	115,677.56	-35,381.52
12+650	0.00	0.00	9.04	240.64	80,296.04	115,918.21	-35,622.17
12+675	0.00	0.00	7.21	203.11	80,296.04	116,121.32	-35,825.27
12+700	0.05	0.68	7.33	181.71	80,296.72	116,303.03	-36,006.31

ANNEXE

12+725	0.02	0.93	7.50	185.32	80,297.65	116,488.35	-36,190.69
12+750	0.03	0.60	7.10	182.43	80,298.26	116,670.77	-36,372.52
12+775	0.05	1.03	6.53	170.37	80,299.29	116,841.14	-36,541.85
12+800	0.04	1.12	6.78	166.47	80,300.41	117,007.61	-36,707.20
12+825	0.04	0.90	6.88	170.81	80,301.31	117,178.42	-36,877.11
12+850	0.26	3.72	5.30	152.23	80,305.03	117,330.65	-37,025.62
12+875	0.38	8.05	4.82	126.46	80,313.08	117,457.11	-37,144.03
12+900	0.47	10.70	4.30	113.95	80,323.78	117,571.06	-37,247.28
12+925	0.37	10.58	4.30	107.52	80,334.37	117,678.58	-37,344.21
12+950	0.61	12.26	3.66	99.56	80,346.63	117,778.13	-37,431.51
12+975	0.58	14.79	3.78	92.99	80,361.42	117,871.13	-37,509.71
13+000	0.27	10.59	5.55	116.66	80,372.01	117,987.79	-37,615.77
13+025	0.25	6.49	5.78	141.69	80,378.51	118,129.48	-37,750.97
13+050	0.27	6.45	5.29	138.37	80,384.95	118,267.84	-37,882.89
13+075	0.29	6.93	4.75	125.52	80,391.88	118,393.36	-38,001.48
13+100	0.29	7.26	5.47	127.85	80,399.14	118,521.21	-38,122.07
13+125	0.44	9.14	4.43	123.79	80,408.27	118,645.00	-38,236.72
13+150	0.51	11.88	4.12	106.84	80,420.15	118,751.84	-38,331.68
13+175	0.75	15.78	2.42	81.76	80,435.94	118,833.60	-38,397.66
13+200	0.20	11.93	5.37	97.40	80,447.87	118,931.00	-38,483.13
13+225	0.18	4.86	5.82	139.90	80,452.73	119,070.90	-38,618.18
13+250	0.78	12.07	2.96	109.80	80,464.79	119,180.71	-38,715.91
13+275	0.41	14.95	4.12	88.46	80,479.74	119,269.17	-38,789.43
13+300	0.34	9.44	5.00	113.93	80,489.18	119,383.10	-38,893.92
13+325	0.36	8.75	4.77	122.13	80,497.93	119,505.23	-39,007.30
13+350	0.53	11.12	3.65	105.24	80,509.05	119,610.48	-39,101.43
13+375	0.59	13.99	3.75	92.47	80,523.05	119,702.94	-39,179.90
13+400	0.51	13.77	3.39	89.28	80,536.82	119,792.22	-39,255.40
13+425	0.08	7.41	24.00	342.42	80,544.23	120,134.65	-39,590.42
13+450	0.18	3.29	3.63	345.36	80,547.52	120,480.01	-39,932.49
13+475	0.96	14.34	1.66	66.09	80,561.86	120,546.10	-39,984.24
13+500	1.22	27.33	1.50	39.50	80,589.18	120,585.59	-39,996.41
13+525	1.12	29.29	1.97	43.39	80,618.48	120,628.99	-40,010.51
13+550	0.95	25.90	2.04	50.13	80,644.38	120,679.11	-40,034.73
13+575	0.98	24.19	1.98	50.25	80,668.58	120,729.37	-40,060.79
13+600	0.60	19.82	4.23	77.61	80,688.40	120,806.98	-40,118.58
13+625	0.33	11.60	4.78	112.60	80,700.00	120,919.58	-40,219.58
13+650	0.47	9.91	4.15	111.64	80,709.91	121,031.22	-40,321.31

ANNEXE

13+675	0.47	11.70	3.62	97.12	80,721.62	121,128.34	-40,406.73
13+700	0.53	12.52	3.70	91.48	80,734.14	121,219.82	-40,485.68
13+725	0.52	13.15	3.57	90.82	80,747.29	121,310.64	-40,563.35
13+750	0.40	11.52	4.38	99.32	80,758.80	121,409.96	-40,651.16
13+775	0.40	9.99	4.50	111.02	80,768.79	121,520.98	-40,752.19
13+800	0.30	8.72	5.02	119.00	80,777.51	121,639.98	-40,862.47
13+825	0.16	5.80	5.58	132.46	80,783.31	121,772.44	-40,989.13
13+850	0.04	2.57	7.17	159.40	80,785.89	121,931.85	-41,145.96
13+875	0.00	0.52	7.92	188.69	80,786.41	122,120.54	-41,334.13
13+900	0.00	0.00	9.08	212.48	80,786.41	122,333.02	-41,546.61
13+925	0.00	0.00	10.25	241.59	80,786.41	122,574.60	-41,788.20
13+950	0.00	0.00	10.17	255.23	80,786.41	122,829.83	-42,043.43
13+975	0.00	0.00	9.74	248.79	80,786.41	123,078.62	-42,292.21
14+000	0.00	0.00	10.87	257.59	80,786.41	123,336.21	-42,549.81
14+025	0.00	0.00	11.90	284.62	80,786.41	123,620.83	-42,834.43
14+050	0.00	0.00	9.56	268.27	80,786.41	123,889.10	-43,102.70
14+075	0.00	0.00	11.41	262.21	80,786.41	124,151.32	-43,364.91
14+100	0.00	0.00	14.41	322.81	80,786.41	124,474.13	-43,687.72
14+125	0.00	0.00	16.00	380.11	80,786.41	124,854.24	-44,067.84
14+150	0.00	0.00	16.13	401.62	80,786.41	125,255.86	-44,469.46
14+175	0.00	0.00	16.87	412.56	80,786.41	125,668.43	-44,882.02
14+200	0.00	0.00	16.73	420.05	80,786.41	126,088.48	-45,302.07
14+225	0.00	0.00	15.12	398.17	80,786.41	126,486.65	-45,700.24
14+250	0.00	0.00	12.04	339.47	80,786.41	126,826.12	-46,039.71
14+275	0.00	0.00	11.34	292.22	80,786.41	127,118.34	-46,331.93
14+300	1.74	21.80	0.89	152.87	80,808.20	127,271.21	-46,463.01
14+325	39.21	511.97	0.54	17.89	81,320.18	127,289.11	-45,968.93
14+350	0.00	490.17	14.17	183.94	81,810.35	127,473.04	-45,662.70
14+375	0.04	0.54	11.37	319.23	81,810.88	127,792.28	-45,981.39
14+400	0.54	7.34	4.11	193.50	81,818.23	127,985.78	-46,167.55
14+425	0.78	16.59	3.42	94.15	81,834.82	128,079.93	-46,245.11
14+450	2.69	43.42	0.37	47.35	81,878.24	128,127.28	-46,249.04
14+475	3.74	80.35	0.00	4.60	81,958.59	128,131.88	-46,173.29
14+500	6.50	128.03	0.00	0.00	82,086.62	128,131.89	-46,045.27
14+525	8.81	191.42	0.00	0.00	82,278.04	128,131.89	-45,853.85
14+550	11.47	253.46	0.00	0.00	82,531.50	128,131.89	-45,600.38
14+575	13.26	309.10	0.00	0.00	82,840.60	128,131.89	-45,291.29
14+600	15.30	357.02	0.00	0.00	83,197.62	128,131.89	-44,934.27

ANNEXE

14+625	17.98	415.98	0.00	0.00	83,613.60	128,131.89	-44,518.29
14+650	19.66	470.47	0.00	0.00	84,084.06	128,131.89	-44,047.82
14+675	22.34	525.04	0.00	0.00	84,609.10	128,131.89	-43,522.78
14+700	24.88	590.33	0.00	0.00	85,199.43	128,131.89	-42,932.45
14+725	27.85	659.24	0.00	0.00	85,858.68	128,131.89	-42,273.21
14+750	30.35	727.60	0.00	0.00	86,586.28	128,131.89	-41,545.61
14+775	32.24	782.37	0.00	0.00	87,368.64	128,131.89	-40,763.24
14+800	33.90	826.73	0.00	0.00	88,195.38	128,131.89	-39,936.51
14+825	35.81	871.40	0.00	0.00	89,066.78	128,131.89	-39,065.11
14+850	38.07	923.49	0.00	0.00	89,990.27	128,131.89	-38,141.61
14+875	44.33	1,030.01	0.00	0.00	91,020.28	128,131.89	-37,111.60
14+900	45.61	1,124.25	0.00	0.00	92,144.54	128,131.89	-35,987.35
14+925	48.26	1,173.33	0.00	0.00	93,317.87	128,131.89	-34,814.02
14+950	52.52	1,259.72	0.00	0.00	94,577.59	128,131.89	-33,554.30
14+975	55.54	1,350.81	0.00	0.00	95,928.39	128,131.89	-32,203.49
15+000	58.17	1,421.47	0.00	0.00	97,349.86	128,131.89	-30,782.03
15+025	62.32	1,506.13	0.00	0.00	98,855.99	128,131.89	-29,275.90
15+050	65.10	1,592.76	0.00	0.00	100,448.75	128,131.89	-27,683.14
15+075	69.17	1,678.41	0.00	0.00	102,127.16	128,131.89	-26,004.73
15+100	73.13	1,778.73	0.00	0.00	103,905.89	128,131.89	-24,226.00
15+125	78.68	1,897.65	0.00	0.00	105,803.54	128,131.89	-22,328.35
15+150	88.69	2,092.11	0.00	0.00	107,895.65	128,131.89	-20,236.24
15+175	95.12	2,297.57	0.00	0.00	110,193.22	128,131.89	-17,938.66
15+200	139.78	2,936.26	0.00	0.00	113,129.48	128,131.89	-15,002.41
15+225	102.73	3,031.39	0.15	1.91	116,160.86	128,133.80	-11,972.93
15+250	106.62	2,616.82	0.00	1.91	118,777.68	128,135.71	-9,358.03
15+275	112.30	2,736.42	0.00	0.00	121,514.10	128,135.71	-6,621.61
15+300	113.93	2,827.87	0.00	0.00	124,341.96	128,135.71	-3,793.74
15+325	110.53	2,805.81	0.00	0.00	127,147.77	128,135.71	-987.94
15+350	100.67	2,640.06	0.00	0.00	129,787.83	128,135.71	1,652.12
15+375	77.36	2,225.39	0.00	0.00	132,013.22	128,135.71	3,877.51
15+400	53.51	1,635.90	0.00	0.00	133,649.13	128,135.71	5,513.42
15+425	37.42	1,136.64	0.00	0.00	134,785.77	128,135.71	6,650.06
15+450	29.25	833.38	0.00	0.00	135,619.15	128,135.71	7,483.44
15+475	29.66	736.36	0.00	0.00	136,355.50	128,135.71	8,219.79
15+500	26.62	703.41	0.00	0.00	137,058.91	128,135.71	8,923.20
15+525	23.10	621.40	0.00	0.00	137,680.31	128,135.71	9,544.60
15+550	18.76	523.24	0.00	0.00	138,203.55	128,135.71	10,067.84

ANNEXE

15+575	18.43	464.87	0.00	0.00	138,668.42	128,135.71	10,532.71
15+600	20.79	490.25	0.00	0.00	139,158.67	128,135.71	11,022.96
15+625	24.13	561.53	0.00	0.00	139,720.20	128,135.71	11,584.50
15+650	24.57	608.72	0.00	0.00	140,328.92	128,135.71	12,193.21
15+675	25.28	623.10	0.00	0.00	140,952.02	128,135.71	12,816.31
15+700	27.92	665.06	0.00	0.00	141,617.08	128,135.71	13,481.37
15+725	28.72	708.04	0.00	0.00	142,325.12	128,135.71	14,189.42
15+750	28.54	715.71	0.00	0.00	143,040.84	128,135.71	14,905.13
15+775	28.49	712.90	0.00	0.00	143,753.74	128,135.71	15,618.03
15+800	28.42	711.46	0.00	0.00	144,465.20	128,135.71	16,329.49
15+825	28.38	710.09	0.00	0.00	145,175.29	128,135.71	17,039.58
15+850	28.49	710.94	0.00	0.00	145,886.23	128,135.71	17,750.52
15+875	29.71	727.46	0.00	0.00	146,613.69	128,135.71	18,477.98
15+900	29.33	737.90	0.00	0.00	147,351.59	128,135.71	19,215.88
15+925	28.37	721.14	0.00	0.00	148,072.73	128,135.71	19,937.02
15+950	26.27	682.92	0.00	0.00	148,755.65	128,135.71	20,619.94
15+975	134.63	2,011.22	0.00	0.00	150,766.87	128,135.71	22,631.16
16+000	27.66	2,028.60	0.00	0.00	152,795.46	128,135.71	24,659.75
16+025	22.47	626.57	0.00	0.00	153,422.04	128,135.71	25,286.33
16+050	19.76	527.79	0.00	0.00	153,949.83	128,135.71	25,814.12
16+075	22.18	524.20	0.00	0.00	154,474.02	128,135.71	26,338.31
16+100	20.16	529.20	0.00	0.00	155,003.22	128,135.71	26,867.51
16+125	15.40	444.48	0.00	0.00	155,447.69	128,135.71	27,311.98
16+150	12.99	354.86	0.00	0.00	155,802.56	128,135.71	27,666.85
16+175	11.35	304.19	0.00	0.00	156,106.74	128,135.71	27,971.03
16+200	10.06	267.58	0.00	0.00	156,374.33	128,135.71	28,238.62
16+225	9.58	245.49	0.00	0.00	156,619.81	128,135.71	28,484.11
16+250	8.88	230.80	0.00	0.00	156,850.61	128,135.71	28,714.90
16+275	6.50	192.24	0.00	0.00	157,042.85	128,135.71	28,907.14
16+300	5.54	150.44	0.00	0.00	157,193.29	128,135.71	29,057.58
16+325	4.78	129.04	0.00	0.00	157,322.33	128,135.71	29,186.62
16+350	3.60	104.85	0.01	0.07	157,427.18	128,135.78	29,291.40
16+375	1.87	68.42	0.50	6.37	157,495.60	128,142.15	29,353.45
16+400	0.85	33.99	1.62	26.57	157,529.59	128,168.72	29,360.87
16+425	0.51	16.96	3.02	58.07	157,546.56	128,226.79	29,319.76
16+450	0.26	9.60	4.75	97.23	157,556.15	128,324.02	29,232.14
16+475	0.05	3.90	6.81	144.54	157,560.05	128,468.56	29,091.50
16+500	0.00	0.64	7.75	182.04	157,560.69	128,650.60	28,910.09

ANNEXE

16+525	0.00	0.00	9.38	214.14	157,560.69	128,864.74	28,695.95
16+550	0.00	0.00	12.31	271.15	157,560.69	129,135.89	28,424.80
16+575	0.00	0.00	17.85	377.07	157,560.69	129,512.95	28,047.74
16+600	0.00	0.00	26.95	560.05	157,560.69	130,073.00	27,487.69
16+625	0.00	0.00	34.86	772.67	157,560.69	130,845.67	26,715.02
16+650	0.00	0.00	34.80	870.73	157,560.69	131,716.40	25,844.29
16+675	0.00	0.00	35.02	872.69	157,560.69	132,589.09	24,971.60
16+700	0.00	0.00	35.72	884.22	157,560.69	133,473.31	24,087.38
16+725	0.00	0.00	36.95	908.39	157,560.69	134,381.70	23,178.99
16+750	0.00	0.00	37.89	935.52	157,560.69	135,317.22	22,243.47
16+775	0.00	0.00	39.26	964.33	157,560.69	136,281.55	21,279.14
16+800	0.00	0.00	39.84	988.75	157,560.69	137,270.30	20,290.39
16+825	0.00	0.00	38.00	973.06	157,560.69	138,243.36	19,317.33
16+850	0.00	0.00	36.79	934.91	157,560.69	139,178.27	18,382.42
16+875	0.00	0.00	34.69	893.59	157,560.69	140,071.86	17,488.83
16+900	0.00	0.00	37.22	898.88	157,560.69	140,970.74	16,589.95
16+925	0.00	0.00	41.53	984.30	157,560.69	141,955.04	15,605.65
16+950	0.00	0.00	44.97	1,081.23	157,560.69	143,036.27	14,524.42
16+975	0.00	0.00	44.78	1,121.82	157,560.69	144,158.09	13,402.60
17+000	0.00	0.00	47.63	1,155.03	157,560.69	145,313.12	12,247.57
17+025	0.00	0.00	45.90	1,169.08	157,560.69	146,482.19	11,078.50
17+050	0.00	0.00	46.46	1,154.53	157,560.69	147,636.72	9,923.97
17+075	0.00	0.00	43.86	1,129.03	157,560.69	148,765.76	8,794.93
17+100	0.00	0.00	44.04	1,098.71	157,560.69	149,864.47	7,696.22
17+125	0.00	0.00	44.01	1,100.59	157,560.69	150,965.06	6,595.63
17+150	0.00	0.00	43.86	1,098.33	157,560.69	152,063.38	5,497.30
17+175	0.00	0.00	46.96	1,135.19	157,560.69	153,198.57	4,362.12
17+200	0.00	0.00	47.47	1,180.37	157,560.69	154,378.95	3,181.74
17+225	0.00	0.00	49.09	1,207.02	157,560.69	155,585.97	1,974.72
17+250	0.00	0.00	49.98	1,238.42	157,560.69	156,824.39	736.30
17+275	0.00	0.00	52.14	1,276.58	157,560.69	158,100.97	-540.28
17+300	0.00	0.00	50.01	1,276.93	157,560.69	159,377.90	-1,817.21
17+325	0.00	0.00	46.98	1,212.44	157,560.69	160,590.34	-3,029.65
17+350	0.00	0.00	45.67	1,158.13	157,560.69	161,748.47	-4,187.78
17+375	0.00	0.00	46.90	1,157.04	157,560.69	162,905.51	-5,344.82
17+400	0.00	0.00	48.07	1,187.09	157,560.69	164,092.60	-6,531.91
17+425	0.00	0.00	49.36	1,217.86	157,560.69	165,310.46	-7,749.77
17+450	0.00	0.00	49.54	1,236.29	157,560.69	166,546.75	-8,986.06

ANNEXE

17+475	0.00	0.00	49.60	1,239.35	157,560.69	167,786.11	-10,225.42
17+500	0.00	0.00	55.64	1,315.60	157,560.69	169,101.70	-11,541.01
17+525	0.00	0.00	58.08	1,421.53	157,560.69	170,523.23	-12,962.54
17+550	0.00	0.00	60.17	1,478.17	157,560.69	172,001.41	-14,440.72
17+575	0.00	0.00	64.91	1,563.56	157,560.69	173,564.97	-16,004.28
17+600	0.00	0.00	66.51	1,642.80	157,560.69	175,207.77	-17,647.08
17+625	0.00	0.00	67.98	1,681.22	157,560.69	176,888.99	-19,328.30
17+650	0.00	0.00	68.49	1,705.97	157,560.69	178,594.96	-21,034.27
17+675	0.00	0.00	70.16	1,733.18	157,560.69	180,328.14	-22,767.45
17+700	0.00	0.00	71.33	1,768.66	157,560.69	182,096.79	-24,536.10
17+725	0.00	0.00	71.01	1,779.34	157,560.69	183,876.13	-26,315.44
17+750	0.00	0.00	75.18	1,827.43	157,560.69	185,703.56	-28,142.87
17+775	0.00	0.00	71.87	1,838.17	157,560.69	187,541.73	-29,981.04
17+800	0.00	0.00	71.47	1,791.81	157,560.69	189,333.54	-31,772.85
17+825	0.00	0.00	70.13	1,770.00	157,560.69	191,103.54	-33,542.85
17+850	0.00	0.00	68.29	1,730.27	157,560.69	192,833.81	-35,273.12
17+875	0.00	0.00	70.17	1,730.79	157,560.69	194,564.60	-37,003.91
17+900	0.00	0.00	73.25	1,792.72	157,560.69	196,357.31	-38,796.63
17+925	0.00	0.00	73.73	1,837.15	157,560.69	198,194.47	-40,633.78
17+950	0.00	0.00	72.81	1,831.65	157,560.69	200,026.12	-42,465.43
17+975	0.00	0.00	71.93	1,809.20	157,560.69	201,835.32	-44,274.63
18+000	0.00	0.00	67.30	1,740.36	157,560.69	203,575.68	-46,014.99
18+025	0.00	0.00	68.34	1,695.48	157,560.69	205,271.16	-47,710.47
18+050	0.00	0.00	66.35	1,683.66	157,560.69	206,954.82	-49,394.13
18+075	0.00	0.00	65.33	1,646.03	157,560.69	208,600.86	-51,040.17
18+100	0.00	0.00	61.94	1,590.83	157,560.69	210,191.69	-52,631.00
18+125	0.00	0.00	61.42	1,542.02	157,560.69	211,733.71	-54,173.02
18+150	0.00	0.00	61.33	1,534.40	157,560.69	213,268.11	-55,707.42
18+175	0.00	0.00	59.22	1,506.89	157,560.69	214,775.00	-57,214.31
18+200	0.00	0.00	55.03	1,428.18	157,560.69	216,203.17	-58,642.49
18+225	0.00	0.00	51.29	1,329.03	157,560.69	217,532.20	-59,971.51
18+250	0.00	0.00	43.95	1,190.55	157,560.69	218,722.75	-61,162.06
18+275	0.00	0.00	32.31	953.28	157,560.69	219,676.03	-62,115.34
18+300	0.00	0.00	31.67	799.69	157,560.69	220,475.72	-62,915.03
18+325	0.00	0.00	46.21	973.50	157,560.69	221,449.22	-63,888.53
18+350	0.00	0.00	49.77	1,199.79	157,560.69	222,649.01	-65,088.32
18+375	0.00	0.00	51.81	1,269.75	157,560.69	223,918.76	-66,358.07
18+400	0.00	0.00	52.16	1,299.68	157,560.69	225,218.44	-67,657.75

ANNEXE

18+425	0.00	0.00	50.44	1,282.51	157,560.69	226,500.95	-68,940.26
18+450	0.00	0.00	50.76	1,264.91	157,560.69	227,765.86	-70,205.17
18+475	0.00	0.00	51.70	1,280.76	157,560.69	229,046.62	-71,485.93
18+500	0.00	0.00	56.69	1,354.96	157,560.69	230,401.58	-72,840.89
18+525	0.00	0.00	60.87	1,469.59	157,560.69	231,871.17	-74,310.48
18+550	0.00	0.00	63.40	1,553.40	157,560.69	233,424.57	-75,863.88
18+575	0.00	0.00	62.79	1,577.29	157,560.69	235,001.86	-77,441.17
18+600	0.00	0.00	63.10	1,573.56	157,560.69	236,575.42	-79,014.73
18+625	0.00	0.00	58.67	1,522.17	157,560.69	238,097.59	-80,536.90
18+650	0.00	0.00	55.54	1,427.15	157,560.69	239,524.74	-81,964.05
18+675	0.00	0.00	53.99	1,368.55	157,560.69	240,893.29	-83,332.60
18+700	0.00	0.00	52.18	1,326.48	157,560.69	242,219.77	-84,659.08
18+725	0.00	0.00	49.77	1,273.76	157,560.69	243,493.53	-85,932.84
18+750	0.00	0.00	46.81	1,206.80	157,560.69	244,700.32	-87,139.64
18+775	0.00	0.00	43.31	1,126.09	157,560.69	245,826.41	-88,265.72
18+800	0.00	0.00	40.55	1,047.89	157,560.69	246,874.31	-89,313.62
18+825	0.00	0.00	36.64	964.85	157,560.69	247,839.16	-90,278.47
18+850	0.00	0.00	30.05	833.56	157,560.69	248,672.72	-91,112.03
18+875	0.00	0.00	21.16	640.12	157,560.69	249,312.84	-91,752.15
18+900	0.00	0.00	18.25	492.70	157,560.69	249,805.54	-92,244.85
18+925	0.00	0.00	19.49	471.79	157,560.69	250,277.32	-92,716.63
18+950	0.00	0.00	19.50	487.34	157,560.69	250,764.66	-93,203.97
18+975	0.00	0.00	16.98	455.99	157,560.69	251,220.65	-93,659.96
19+000	0.00	0.00	18.54	444.01	157,560.69	251,664.65	-94,103.96
19+025	0.00	0.00	18.61	464.37	157,560.69	252,129.02	-94,568.33
19+050	0.00	0.00	19.06	470.82	157,560.69	252,599.84	-95,039.15
19+075	0.00	0.00	22.69	521.83	157,560.69	253,121.67	-95,560.98
19+100	0.00	0.00	36.37	738.19	157,560.69	253,859.87	-96,299.18
19+125	0.00	0.00	36.74	913.77	157,560.69	254,773.63	-97,212.94
19+150	0.00	0.00	37.21	924.27	157,560.69	255,697.91	-98,137.22
19+175	0.00	0.00	38.23	943.00	157,560.69	256,640.91	-99,080.22
19+200	0.00	0.00	50.46	1,108.69	157,560.69	257,749.60	-100,188.91
19+225	0.00	0.00	59.97	1,380.38	157,560.69	259,129.98	-101,569.29
19+250	0.00	0.00	58.00	1,474.57	157,560.69	260,604.55	-103,043.86
19+275	0.00	0.00	56.01	1,425.14	157,560.69	262,029.69	-104,469.00
19+300	0.00	0.00	55.88	1,398.74	157,560.69	263,428.42	-105,867.73
19+325	0.00	0.00	56.39	1,403.46	157,560.69	264,831.89	-107,271.20
19+350	0.00	0.00	56.43	1,410.28	157,560.69	266,242.16	-108,681.47

ANNEXE

19+375	0.00	0.00	55.73	1,402.00	157,560.69	267,644.17	-110,083.48
19+400	0.00	0.00	56.88	1,407.69	157,560.69	269,051.85	-111,491.16
19+425	0.00	0.00	57.80	1,433.52	157,560.69	270,485.37	-112,924.68
19+450	0.00	0.00	61.03	1,485.35	157,560.69	271,970.72	-114,410.03
19+475	0.00	0.00	61.90	1,536.68	157,560.69	273,507.40	-115,946.71
19+500	0.00	0.00	64.37	1,578.38	157,560.69	275,085.78	-117,525.09
19+525	0.00	0.00	67.44	1,647.62	157,560.69	276,733.40	-119,172.71
19+550	0.00	0.00	69.24	1,708.58	157,560.69	278,441.98	-120,881.29
19+575	0.00	0.00	70.05	1,741.17	157,560.69	280,183.15	-122,622.46
19+600	0.00	0.00	71.83	1,773.47	157,560.69	281,956.61	-124,395.92
19+625	0.00	0.00	71.70	1,794.14	157,560.69	283,750.75	-126,190.06
19+650	0.00	0.00	76.57	1,853.47	157,560.69	285,604.23	-128,043.54
19+675	0.00	0.00	73.46	1,875.36	157,560.69	287,479.58	-129,918.89
19+700	0.00	0.00	76.59	1,875.53	157,560.69	289,355.11	-131,794.42
19+725	0.00	0.00	79.34	1,949.06	157,560.69	291,304.17	-133,743.48
19+750	0.00	0.00	80.19	1,994.05	157,560.69	293,298.22	-135,737.53
19+775	0.00	0.00	83.56	2,046.81	157,560.69	295,345.03	-137,784.34
19+800	0.00	0.00	90.48	2,175.45	157,560.69	297,520.49	-139,959.80
19+825	0.00	0.00	98.07	2,356.87	157,560.69	299,877.36	-142,316.67
19+850	0.00	0.00	105.34	2,542.73	157,560.69	302,420.09	-144,859.40
19+875	0.00	0.00	108.61	2,674.41	157,560.69	305,094.49	-147,533.80
19+900	0.00	0.00	111.83	2,755.50	157,560.69	307,849.99	-150,289.30
19+925	0.00	0.00	114.02	2,823.12	157,560.69	310,673.11	-153,112.42
19+950	0.00	0.00	114.00	2,850.25	157,560.69	313,523.37	-155,962.68
19+975	0.00	0.00	115.39	2,867.44	157,560.69	316,390.81	-158,830.12
20+000	0.00	0.00	115.46	2,885.67	157,560.69	319,276.48	-161,715.79
20+025	0.00	0.00	115.17	2,882.89	157,560.69	322,159.36	-164,598.67
20+050	0.00	0.00	113.90	2,863.34	157,560.69	325,022.71	-167,462.02
20+075	0.00	0.00	114.67	2,857.03	157,560.69	327,879.73	-170,319.04
20+100	0.00	0.00	113.36	2,850.26	157,560.69	330,730.00	-173,169.31
20+125	0.00	0.00	118.68	2,900.50	157,560.69	333,630.49	-176,069.80
20+150	0.00	0.00	123.40	3,026.02	157,560.69	336,656.51	-179,095.82
20+175	0.00	0.00	116.63	3,000.33	157,560.69	339,656.84	-182,096.15
20+200	0.00	0.00	110.41	2,837.93	157,560.69	342,494.77	-184,934.08
20+225	0.00	0.00	110.12	2,756.62	157,560.69	345,251.39	-187,690.70
20+250	0.00	0.00	110.52	2,758.07	157,560.69	348,009.46	-190,448.77
20+275	0.00	0.00	113.57	2,801.21	157,560.69	350,810.68	-193,249.99
20+300	0.00	0.00	115.28	2,860.75	157,560.69	353,671.42	-196,110.73

ANNEXE

20+325	0.00	0.00	124.18	2,993.26	157,560.69	356,664.68	-199,103.99
20+350	0.00	0.00	137.76	3,274.19	157,560.69	359,938.87	-202,378.18
20+375	0.00	0.00	166.71	3,805.86	157,560.69	363,744.72	-206,184.03
20+400	0.00	0.00	120.17	3,585.98	157,560.69	367,330.71	-209,770.02