

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES-ALGERIE

Faculté des sciences

Spécialité : Infrastructure ferroviaire

L.M.D

En vue de l'obtention du diplôme de master

THEME

**CONSTRUCTION D'UNE
NOUVELLE LIGNE FERROVIAIRE
DJELFA – LAGHOUAT.**

Réalisé par :

- ✓ KOUDRI youssra
- ✓ NAMANI Zineeddine

Encadreur:

Mr.H Siguerdjidjene

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant de nous avoir donnée le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

En premier lieu, nous ne remercierons jamais assez la personne de Monsieur Siguerdjidjene qui a aimablement accepté de nous avoir pris en charge et au coté duquel nous avons bénéficiée de précieux conseils tout au long de ce travail.

Nous exprimons notre sincère gratitude à Messieurs M Frihi, CH Berkat et K Boukrou pour leurs bénéfiques soutiens et encadrement.

Nous profitons pour remercier tous membres du département Infrastructure ferroviaire : Enseignants et étudiants pour leur contribution à notre formation sans omettre les membres du jury qui acceptent d'analyser notre travail et assurer notre évaluation.

Yousra et Zineddin

Dédicaces

... je dédie ce travail :

A mon très cher père, que je voulais qu'il soit avec nous aujourd'hui «Que dieu te bénéfice», pour ma mère, grâce à qui bénéficié d'éducation, affection et dévouement«Qu'ALLAH te préserve», je tiens aussi à les remercier de leurs patience leurs effort et leur conseils tout au long de mon cursus.

Ames sœurs Soumia, Asmaa et kawther et mes frère Touhami et Rayan qui comptent beaucoup pour moi et mes chers amies Souraia, Aldjia et Sabrina.

A mes très chers amis d'études Tarek et Billal, Amimer youcef.

A ma famille Sidali, Maya, Adem et Joud.

Je tien aussi à faire une dédicace particulière à mon cher fiancé Youcef qui m'a beaucoup aidé au long de mes Années d'études.

Sans oublier mon binôme «Zineeddine» qui m'a accompagné dans ce travail.

YOUSRA

Dédicaces

... je dédie ce travail :

A mes très chers parents, à ma mère qui je la remercie
de son patience, effort et ses conseils tout au long de mon
cursus,

« Qu'ALLAH te préserve».

A mes sœurs et frère qui comptent beaucoup pour moi,

A mes chers amis Tarek et Bilal.

A tous les membres de ma famille.

A tous qui m'ont aidé pour terminer ce travail.

ZINOUE

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure 1.1 : Localisation du projet Djelfa-Laghouat dans le réseau algérien	08
Figure 1.2 : Gare mixte de Djelfa.....	10
Figure 1.3 : La gare de voyageurs de Laghouat.....	13
Figure 1.4 : La gare de marchandise de Laghouat.....	14
Figure 1.5 : Localisation des variantes de tracé considérées.....	16
Figure 1.6 : Synoptique de la ligne.....	18
Figure 1.7 : Schéma d'implantation similaire.....	19
Figure 1.8 : Travaux de terrassement.....	22
Figure 1.9 : Construction des ouvrages d'art.....	23
Figure 1.10 : Travaux de pose de voie.....	23
Figure 1.11 : La mise en place des équipements de signalisation.....	24
Figure 1.12 : Tâches de diagramme de Gantt.....	25
Figure 1.13 : Diagramme de Gantt.....	26

Chapitre II :

Figure 2.1 : Constituants d'un ouvrage d'art ferroviaire.....	29
Figure 2.2 : Epaisseur des différentes couches.....	32
Figure 2.3 : Schéma de charges LM 71 et valeurs caractéristiques des charges verticales.....	32
Figure 2.4 : Charges SW/0 et SW/2 et valeurs caractéristiques des charges verticales.....	33
Figure 2.5 : Détail d'une poutre de 24.6m de longueur.....	35
Figure 1.6 : Détail d'une poutre de 32.6m de longueur.....	35
Figure 2.7 : Coupe typique du tablier.....	36
Figure 2.8 : Détail d'une pile typique.....	36
Figure 2.9 : Détail du bloc technique.....	37
Figure 2.10 : La direction du vent par rapport au mouvement du convoi.....	45

Chapitre III :

Figure 3.1 : Les différents efforts agissant sur la voie ferrée.....	50
Figure 3.2 : Schéma d'un véhicule sans dévers.....	53
Figure 3.3 : Schéma d'un véhicule avec dévers.....	54

Liste des tableaux :

Chapitre 1 :

Tableau 1.1 : Spécifications des voies de la gare de Djelfa.....	11
Tableau 1.2 : Spécification des voies de la gare de marchandises de Laghouat.....	15
Tableau 1.3 : les informations relatives des ouvrages.....	20
Tableau 1.4 : Description des ouvrages d'art prévus le long du tracé retenu.....	21

Chapitre 2 :

Tableau 2.1 : Classification du sol support selon l'UIC.....	28
Tableau 2.2 : Liste des ponts et viaduc.....	42
Tableau 2.3 : Calcul de d'interpolation double.....	46
Tableau 2.4 Résultat des calcule des coefficients.....	48

Liste des abréviations :

ANESRIF : Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.

Et : Efforts transversal.

Ev : Efforts vertical.

El : Efforts longitudinal.

PCG : Points de Croisement et Garage.

RN : Route National.

h : Heure.

min : Minute.

PK : Point kilométrique.

KN : Kilo Neuton.

UIC : Union internationale des chemins de fer.

OA : Ouvrage d'art.

CW : Chemin de wilaya.

R.D.M : Résistance des matériaux.

ERTMS : European Railway Traffic Management System.

Liste bibliographique :

[1] :Documentation d'entreprise ANESRIF., "Étude d'impact sur l'environnement", "Rapport complémentaire pour Ouvrages d'Art", "Rapport en signalisation & Télécommunication", "Rapport d'étude Géologie – Géotechnique (Ponts et Viaducs ferroviaires)".

[2] :Cours des études master et licence.

[3] : Cours de Siguerjidjene., "Mécanique de la voie",2016.

[4] : Site web., "Dr Nahaoua".,2014.

[5] : Livre d'entreprise ISFF., "Voie ferrée",1998.

[6] : Livres d'entreprise SNTF., "Organisation des chantiers", "Principes généraux de la pose de voie "2011.

Résumé :

Dans notre époque le transport ferroviaire est devenu le moyen le plus utilisé, est pour cette raison le gouvernement algérien a mis en exécution certains projets de chemin de fer pour bien développer ce domaine.

Le projet de la nouvelle ligne Djelfa-Laghouat s'inscrit dans le cadre du grand programme national lancé par les autorités algériennes pour le développement des régions des hauts plateaux.

Il est connu que dans le domaine de chemin de fer les études et l'exécutions de ces genres des projets a beaucoup des problèmes soit techniques ou bien économiques, pour ce là l'étude sur le projet de Djelfa-Laghouat a été technico-économique. Les résultats de cette étude elle sera exécutée sur site.

Notre projet consiste à réaliser une ligne ferroviaire de 108,6 km à une vitesse de 220km/h sans passage à niveau équipée de rails UIC 60 et posés sur des traverses bi bloc avec un système de signalisation ERTMS. Cette ligne comprend une gare mixte de Djelfa (Voyageurs, Marchandises), une gare voyageurs de Laghouat et une gare de marchandises de Laghouat.

Le projet de ligne nouvelle ligne Djelfa-Laghouat a été élaboré sur la base des hypothèses techniques suivantes fournies par l'ANESRIF. Il s'agit :

- D'une seule voie électrifiée d'une longueur de 108,6 km, avec une rampe horizontale maximale de 1,6 % (16 %) ;
- D'un matériel roulant, pour les trains de voyageurs, composé d'une rame électrique mue par deux locomotives de 2 800 kW de puissance. La rame prévoit accueillir dix wagons sur une longueur de 300 mètres pour un poids total de 436 tonnes. La vitesse maximale estimée pour ce type de train est de 220 km/h ;
- D'un matériel roulant, pour les trains de marchandises, composé d'une rame électrique mue par une locomotive de 5 000 kW de puissance. La rame prévoit accueillir jusqu'à 25 wagons sur une longueur de 500 m pour un poids total de 1 326 tonnes. La vitesse maximale estimée pour ce type de train est de 100 km/h.

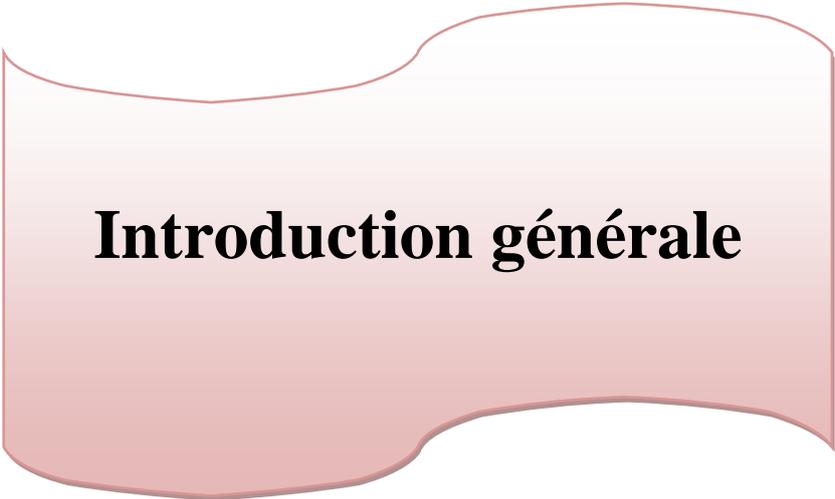
La ligne Djelfa-Laghouat présente un certain nombre des ouvrages d'arts ferroviaire pour franchir des différents obstacles soit naturel ou bien artificiel. Ces ouvrages sont bien étudiés pour répondre au l'exigence de ce projet, parmi ces exigence l'ouvrage doit supporter les charge permanente (Poids propre) Variable (Charge ferroviaire, Trafic, Le vent, La neige) et accidentel (Le séisme).

Sommaire

-Introduction	
Chapitre I : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.	
1.Introduction.....	07
1.1Justification du projet.....	07
1.2Objectif de l'étude.....	07
1.3Localisation du projet.....	07
1.4Les composantes de ligne ferroviaire.....	08
1.4.1Les données de base.....	09
1.4.2Les gares.....	09
1.5La ligne ferroviaire et son tracé.....	16
1.5.1 Les alternatives des tracés considérées.....	16
1.5.2 Le tracé retenu : Justification et description.....	18
1.6 Les points de changements de voie et garage PCG	18
1.6.1 Les points de croisement	19
1.7 Les activités de construction	21
1.8 Contrôle et diagnostique.....	24
1.9 Organisation du chantier	25
1.9.1 Principe du fonctionnement des "chantiers organisés"	25
1.9.2 Exemple d'un chantier organisé.....	25
Chapitre II : Etudes et exécution des ouvrages d'art.	
2Introduction.....	27
2.1Objet.....	27
2.2 Plate forme ferroviaire	28
2.2.1Classification du sol support selon les fiches UIC.....	28
2.2.2 Epaisseur minimale selon la fiche UIC 719R	29
2.2.3Épaisseur des différentes couches	29
2.3 Charges Verticales	30
2.4Charges horizontales	31

2.4.1 Forces centrifuges.....	31
2.4.2 Effort de lacet	32
2.4.3 Accélération et freinage	32
2.4.4 Considérations sismiques.....	32
2.5 Caractéristiques des ouvrages ferroviaires.....	32
2.5.1 Tablier.....	32
2.5.2 Les appuis.....	34
2.5.3 Culées.....	35
2.6 Description détaillée des ponts ferroviaires de la ligne.....	36
2.7 Spécification générales pour la construction des ouvrages d'arts	43
2.7.1 Spécifications géographique	43
2.7.2 Spécifications techniques	43
2.8 Calcul des charges centrifuges et de vent.....	44
2.8.1 Forces centrifuge.....	44
2.8.2 Forces de Vent sur le tablier.....	45
2.8.3 Force de Vent longitudinale (X).....	46
2.8.4 Force de Vent verticale (Z).....	46
2.8.5 Calcul du Coefficient d'exposition (Ce,z).....	47
2.8.6 Calcul de forces de vent ascendant (Fw,asc).....	48
2.8.7 Calcul de forces de vent descendant (Fw,desc).....	48
2.9 Forces de Vent sur les piles.....	48
Chapitre III : Effort et charge agissant sur la voie ferrée.	
3.1 Introduction	50
3.2 Les contraintes dans la voie ferrée.....	50
3.3 La résistance aux efforts verticaux.....	51
3.3.1 Considérations statiques	51
3.3.2 : Considération dynamique.....	51
3.4 La résistance aux efforts transversaux	51
3.5 Le phénomène de "Lacet"	51

3.6 Relation entre les efforts verticaux et transversaux	51
3.6.1 Le déripage.....	52
3.6.2 Le déraillement.....	52
3.6.3 Le renversement ou Basculement.....	52
3.7 Franchissement des courbes et efforts transversaux sur la voie	52
3.7.1 Les principes de l'analyse (GAUTER 1999).....	52
3.7.2 Accélération latéral centrifuge et composante de l'accélération.....	52
3.7.3 Dévers théorique optimal	53
3.8 Accélération latérale non compensée	54
3.8.1 Excès de dévers.....	55
3.8.2 Insuffisance de dévers	55
3.9 Résistance de la voie.....	56
3.9.1 Considérations quasi-statiques.....	56
3.9.2 Stabilisation de la voie ferrée.....	57
3.9.3 Confort des voyageurs.....	57
Conclusion.....	



Introduction générale

Introduction générale.

Introduction :

Dans le cadre de lier le territoire algérien, et de bien faciliter la transportation des voyageurs et des marchandises, pour bien marcher vers le développement de notre pays et surtout dans le domaine de chemin de fer. Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire reliant les villes de Djelfa et Laghouat s'inscrit dans le cadre du grand programme national lancé par les autorités algériennes pour le développement des régions des hauts plateaux.

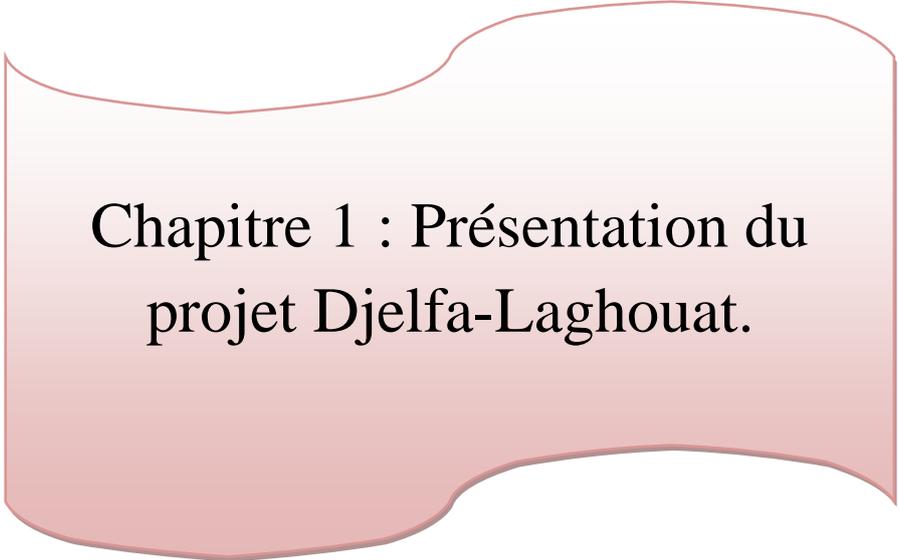
Notre problématique en cours de notre stage pratique est :
Comment peut-on construire une nouvelle ligne ferroviaire dans des conditions désertiques ?

Dans ce travail nous allons observer la démarche scientifique adoptée pour la réalisation de cette ligne, cette dernière s'organise en plusieurs étapes.

Une introduction générale à propos ce thème, dans le premier chapitre nous allons voir une présentation générale du projet Djelfa-Laghouat ainsi que les détails de chaque variante de tracé et le choix du tracé définitif, puis pour le chapitre suivant on a entamer un processus détaillée comportant les différents études et exécution des ouvrages d'art.

D'autre part, dans le dernier chapitre on va accéder à la description des calculs de résistance de la voie ferrée et sa stabilisation.

Cette étude s'achève par une conclusion générale et des recommandations pour bien finir notre travail.



**Chapitre 1 : Présentation du
projet Djelfa-Laghouat.**

1 : Introduction

Le gouvernement algérien a confié à l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) le mandat de mettre en place le projet ferroviaire de la Boucle du Sud. Ce projet consiste à l'implantation d'une voie ferrée permettant de relier les villes de Bou Medfaa, Djelfa, Laghouat, Ghardaïa, Ouargla, de la nouvelle ville de HassiMassaoud, Touggourt et Biskra. Ce nouveau lien ferroviaire aura pour effet de désenclaver les régions du sud, tout en stimulant et orientant leur développement. Il assurera également la liaison de la région centre des hauts plateaux à la région nord du grand Sahara du pays.

1.1 : Justification du projet

Pour la réalisation de projet de la Boucle du Sud a été divisé en plusieurs segments. La présente étude porte sur le second segment1, soit le projet de ligne nouvelle Djelfa-Laghouat.

Ce nouveau lien ferroviaire offrira une alternative de transport additionnelle durable entre les villes de Djelfa, de Laghouat et les régions nordiques du pays, qui ne sont actuellement liées que par des liens routiers et aériens. Il s'agit donc d'un projet dont l'aboutissement améliorera la qualité de vie des résidents de ces villes et de leurs régions, tout en favorisant l'essor économique local et régional dans une perspective de développement durable.

1.2 : Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude d'impact sur l'environnement est de rassembler les informations pertinentes sur la réalisation du projet, ainsi que sur les composantes des milieux physique, biologique et humain, de façon à permettre l'identification et l'analyse des impacts potentiels des activités de construction et d'opération de la nouvelle ligne ferroviaire sur les composantes environnementales.

L'analyse de ces impacts permettra de faire ressortir les grands enjeux environnementaux associés au projet et ainsi de proposer des mesures d'atténuation les mieux adaptées possible aux réalités du projet afin de minimiser les conséquences de sa réalisation sur l'environnement local et régional.

L'étude d'impact sur l'environnement inclura également la préparation d'un programme de suivi environnemental visant les phases de construction et d'opération du projet. Ce programme permettra d'assurer la mise en application des mesures d'atténuation recommandée et leur efficacité à moyen et long terme.

1.3 : Localisation de projet

Le projet de la Ligne nouvelle Djelfa-Laghouat inscrit ses 108 km dans la zone sud de la région des hauts plateaux (Fig 1.1), à environ 300 km au sud d'Alger. Cette région est caractérisée par une alternance de grandes étendues rocailleuses morcelées par des collines et montagnes constituant la zone des monts des Ouled-Nail.

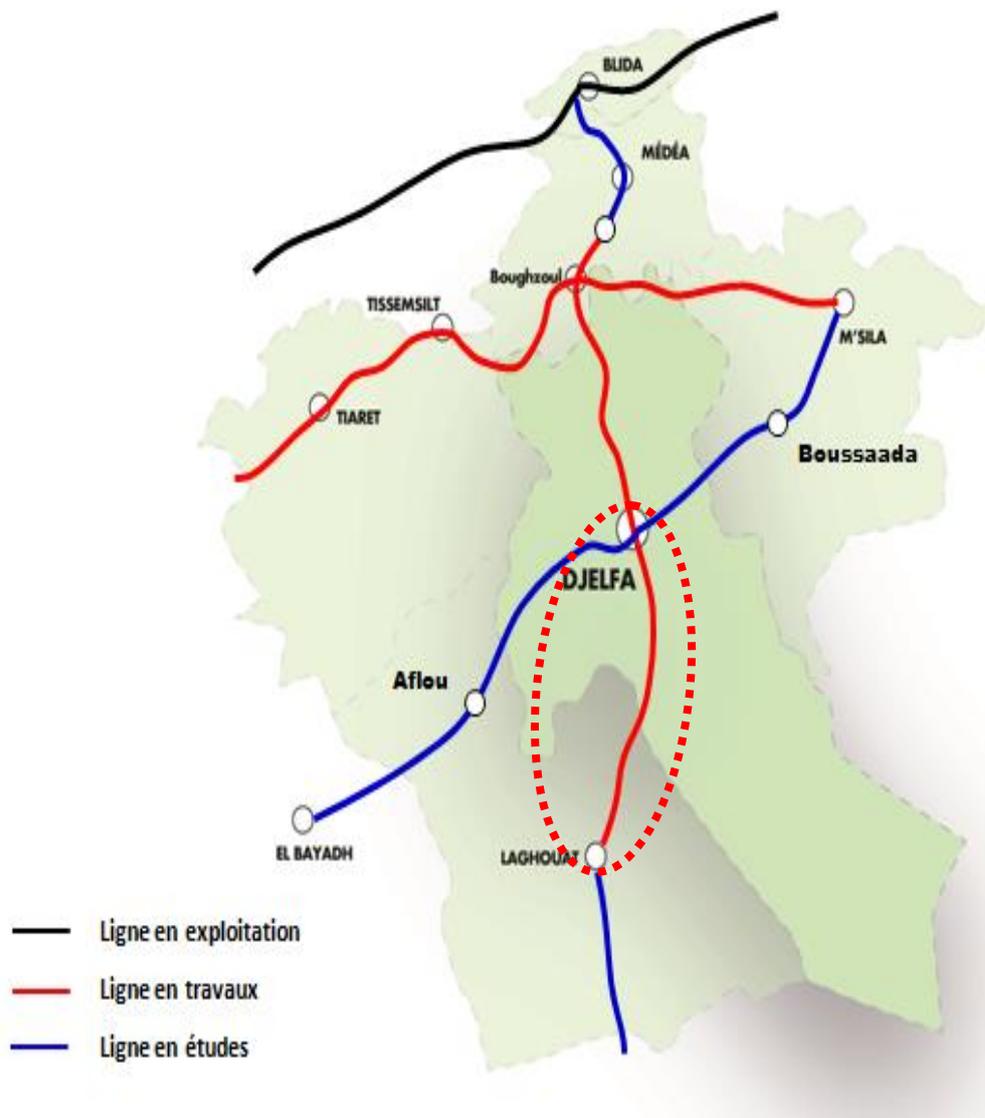


Figure 1.1 : Localisation du projet Djelfa-Laghouat dans le réseau algérien.

Le projet de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat débute au sud-est de la ville de Djelfa, à une altitude de 1 200 mètres, avec l'aménagement d'une gare mixte des marchandises et de passagers. Il se dirige ensuite vers le sud-ouest jusqu'à la ville de Laghouat, à une altitude de 800 mètres, où deux gares distinctes seront aménagées, une de marchandises et une de passagers. La moitié nord du tracé se situe dans la wilaya de Djelfa, alors que la moitié sud est comprise dans la wilaya de Laghouat. Sur son parcours, le projet ferroviaire franchira les limites de six communes, soit du nord au sud, celles de Djelfa, Mouadjebar, Aïn El Ibel, Tadmit, Sidi Makhlouf et Laghouat.

1.4 : Les composantes de la nouvelle ligne ferroviaire

D'une longueur de 108,6 km, la nouvelle ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat comprend des gares de passagers et de marchandises localisées à ses extrémités, trois points de changement de voie et garage (PCG) aménagés aux endroits stratégiques le long du tracé, ainsi qu'un nombre significatif de points de croisement, tel que des Oueds, des voies routières et des

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

pistes qui seront traversées par la ligne sous forme de passages inférieurs ou supérieurs, selon le cas. L'ensemble de ces composantes est présenté dans les sections qui suivent.

1.4.1 : Les données de base

Le projet de ligne nouvelle ligne Djelfa-Laghouat à été élaboré sur la base des hypothèses techniques suivantes fournies par l'ANESRIF. Il s'agit :

- D'une seule voie électrifiée d'une longueur de 108,6 km, avec une rampe horizontale maximale de 1,6 % (16 ‰) ;
- D'un matériel roulant, pour les trains de voyageurs, composé d'une rame électrique mue par deux locomotives de 2 800 kW de puissance. La rame prévoit accueillir dix wagons sur une longueur de 300 mètres pour un poids total de 436 tonnes. La vitesse maximale estimée pour ce type de train est de 220 km/h ;
- D'un matériel roulant, pour les trains de marchandises, composé d'une rame électrique mue par une locomotive de 5 000 kW de puissance. La rame prévoit accueillir jusqu'à 25 wagons sur une longueur de 500 m pour un poids total de 1 326 tonnes. La vitesse maximale estimée pour ce type de train est de 100 km/h.

1.4.2 : Les gares

Le projet de la Ligne nouvelle Djelfa-Laghouat prévoit la construction de trois gares, soit une gare mixte pour voyageurs et marchandises à Djelfa et deux gares distinctes voyageurs et marchandises à Laghouat. Les gares de voyageurs et de marchandises de Laghouat sont géographiquement séparées en raison des contraintes physiques du territoire ne permettant pas l'obtention d'un espace suffisamment vaste pour l'installation des deux gares sur le même site. L'information relative à chacune des gares est présentée ci-après.

- **La gare mixte de Djelfa**

Bien que non opérationnelle, une gare ferroviaire est présente sur le territoire de la ville de Djelfa (Fig 1.2). Cependant, la réutilisation de cette infrastructure de transport pour le projet de la ligne Djelfa-Laghouat s'avère impossible en raison de sa localisation au sein du tissu urbain de la ville qui ne permet pas l'aménagement d'une gare devant être relié à trois futures lignes en plus du lien vers Laghouat, soit celles provenant de Bou Medfaâ, de Bou-Saada et de Aflou. Face à ce constat, la construction d'une nouvelle gare a été proposée.

Cette nouvelle gare sera située au sud-ouest de l'agglomération, soit dans un secteur boisé (moyenne densité) à proximité du nouvel axe de contournement routier de la ville et de la route CW 189. Cette localisation est conforme avec le schéma du plan d'occupation des sols de la ville et prend en compte le projet d'expansion de l'université et l'emplacement de la nouvelle gare routière présentement en construction. Enfin, l'emplacement sélectionné et son orientation favorisent le futur branchement avec trois lignes additionnelles, soit la ligne Bou Medfaâ-Djelfa arrivant du nord; la ligne Bou-Saada-Djelfa arrivant de l'est, et la ligne Aflou-Djelfa arrivant de l'ouest.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

La nouvelle gare de Djelfa aura une vocation mixte lui permettant d'accueillir à la fois les trains de voyageurs et que ceux de marchandises. Elle pourra recevoir environ 32 trains par jours, soit jusqu'à trois trains de voyageurs et six de marchandise simultanément. Les infrastructures prévues pour les trains de marchandises devraient être en mesure de traiter le transport de véhicules, de bétail et de céréales en vrac ainsi que, celui des hydrocarbures et du minerai.

Tel qu'illustré à la figure, la gare de Djelfa se composera de trois grands ensembles étroitement inter reliés, soit la gare des voyageurs, l'aire de la cour de triage et la gare de marchandises. La gare de voyageurs sera située du côté ouest de la voie principale et de la cour de triage. Elle se composera de deux quais de voyageur de 350 mètres de longueur relié entre eux par un passage souterrain accessible par escalier et ascenseur.

Deux voies ferrées seront présentes entre les quais, ainsi qu'une troisième à l'est du quai est. Le quai ouest sera bordé, dans sa partie centrale d'un bâtiment des voyageurs de trois étages avec sous-sol, soit un rez-de-chaussée servant d'aire publique et les autres étages comprenant des bureaux et des locaux d'entretien. Ce bâtiment sera flanqué au nord et au sud par deux autres bâtiments de deux étages abritant respectivement les bureaux techniques et les bureaux de police et de douane.



Figure 1.2 : Gare mixte de Djelfa.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

À l'ouest du bâtiment des voyageurs sera aménagée une place publique comprenant des aménagements paysagers, une buvette et une salle de prière. Cette place sera bordée au nord et au sud par des voies de circulation où se retrouveront le débarcadère (côté nord) et l'embarcadère (côté sud) des autobus. À l'extrémité est de la place publique se retrouvera le stationnement pour les usagers qui devrait offrir environ 100 espaces de stationnement. Les voies de circulation permettant l'entrée et la sortie de la place publique ainsi qu'un sentier piétonnier s'étendent vers le nord-est jusqu'à rejoindre un rond-point faisant jonction avec la nouvelle voie de contournement de la ville de Djelfa.

L'aire de triage se situe à l'est des quais de voyageurs et se composera de sept voies principales et de divers petits segments de voies permettant le remisage de rames de wagon. Une voie de service s'insère entre les voies de la partie nord de la cour de triage; elle relie le quai de marchandise au poste d'aiguillage qui est situé à l'extrémité nord-ouest de la cour de triage. Notons que le passage souterrain reliant les deux quais de passager se poursuit sous la cour de triage pour donner accès au secteur de la gare de marchandises.

La gare de marchandises est située à l'est de la cour de triage. Elle se compose d'une aire d'atelier, d'une cour des conteneurs et d'une zone administrative et technique. L'aire d'atelier est située à l'extrémité sud de la gare ferroviaire du côté est des voies. Cette aire comprend cinq voies distinctes dont quatre donnent accès à un bâtiment couvert servant aux travaux d'entretien. La cour des conteneurs est située du côté est de la cour de triage et s'étend sur l'équivalent de la moitié sud de la cour de triage. Elle est bordée au nord par la voie d'accès reliant la zone administrative et technique au poste d'aiguillage. La cour des conteneurs comprend cinq voies ferrées séparées par des voies de circulation pour camions et trois cours d'entreposage. Un bâtiment, le hall de marchandise occupe la partie nord de la cour d'entreposage centrale. La zone administrative et technique se retrouve à l'est de la cour des conteneurs. Le tiers nord de cette zone est occupé par six bâtiments abritant des bureaux administratifs, des locaux dédiés aux équipes techniques, une salle de prière, une cafétéria, une infirmerie et un vestiaire pour employés. Une aire de stationnement pour les employés d'environ 20 places est présente immédiatement au sud de ces bâtiments. Les deux tiers restants de cette zone sont occupés par l'aire de stationnement réservée aux camions venant livrer ou récupérer des marchandises. Enfin, la voie de circulation mentionnée précédemment se poursuit vers le nord-est pour rejoindre la route de Wilaya 189. Elle sert d'accès à la gare de marchandises.

Ce portique se prolongera au-delà du bâtiment des voyageurs, au-dessus des voies principales du faisceau de voies et constituera une large voûte protégée à la façon des gares du 19^e siècle. La forme de ce portique est inspirée des légères structures traditionnelles procurant l'ombre dans les espaces publics du milieu bâti algérien.

Des jardins latéraux sont aménagés de part et d'autre du bâtiment voyageur permettant l'accès aux quais. Un passage souterrain desservi par des escaliers et des ascenseurs permettra l'accès au quai secondaire depuis le quai principal via une plaza surbaissée aménagée en continuité avec les jardins latéraux.

L'ensemble de la gare aura une longueur totale de 2 107 mètres et comprendra 28 voies ferrées dont les spécifications sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 1.1):

Tableau 1.1 : Spécifications des voies de la gare de Djelfa.

Numéro de la voie	Désignation	Longueur (m)
1	Voie principale	1019
2	Voie arrivée/Départ	1039
3	Voie arrivée/Départ	906
4	Voie de sécurité	75
5	Voie arrivée/Départ	833
6	Voie de sécurité	75
7	Voie arrivée/Départ/Marchandises	850
9	Voie arrivée/Départ/Marchandises	850
11	Voie de circulation	852
13	Voie arrivée/Départ/Marchandises	850
15	Voie de remisage du train voyageur	522
17	Voie de remisage du train voyageur	456
19	Voie de remisage du train voyageur	458
21	Voie de sécurité	75
23	Voie de tiroir	350
25	Voie de débord	430
27	Voie de débord/Hall de marchandise	430
29	Voie de débord	438
31	Voie de débord	407
33	Voie de débord	420
35	Voie du pont dascule et gabarit	190
37	Voie de garage	197
39	Voie atelier	161
41	Voie atelier	161
43	Voie atelier	134
45	Voie atelier	134
47	Voie de sécurité	75
49	Voie de tiroir	350

• La gare de voyageurs de Laghouat

La gare de voyageurs est située à l'entrée nord de la ville juste après le pont de l'oued M'Zi et le contournement de la crête rocheuse (Fig 1.3). L'emplacement a été sélectionné en accord avec les responsables de la ville pour sa proximité de la gare routière. La voie principale sera située au pied des collines et les aménagements de la gare du côté de la ville. Cette disposition permet la prévision d'un dédoublement éventuel de la voie principale sans qu'une révision des aménagements de voie ou des manœuvres dans la gare soit nécessaire, L'aménagement de la

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

nouvelle gare voyageurs cherche à tirer avantage le plus possible de la topographie particulière du site en offrant un concept d'espaces publics sur deux niveaux épousant la dénivellation naturelle.

Cette gare, d'une longueur totale de 959 mètres, pourrait accueillir environ 20 trains par jours soit jusqu'à trois trains simultanément. La figure expose le plan d'implantation de la gare de voyageurs de Laghouat qui se compose de trois secteurs distincts soit la gare proprement dite, l'aire du débarcadère et une place publique. Le secteur de la gare comprend un bâtiment principal de deux étages abritant le hall d'accueil et les bureaux administratifs dans la partie centrale; les locaux des services de police à son extrémité nord et les locaux des équipes techniques à son extrémité sud. Le côté ouest du bâtiment des voyageurs est bordé par le quai principal, suivi de deux voies ferrées d'arrivée/départ, d'un quai intermédiaire et de deux autres voies ferrées (une voie arrivée/départ et la voie principale). Les deux quais feront 325 mètres de longueur et posséderont une section couverte de 88 mètres dans leur partie centrale. Les voyageurs accéderont au quai intermédiaire par un passage souterrain relié à deux édicules. À l'ouest de ces dernières voies débute les dénivellations de la zone de crêtes rocheuses qui forment la limite ouest de la ville de Laghouat. Les trois premières voies mentionnées desservent les deux quais alors que la quatrième relie la gare des voyageurs à celle de marchandises située à un kilomètre plus au sud.



Figure 1.3 :La gare de voyageurs de Laghouat.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

Le secteur du débarcadère se compose, du bâtiment des voyageurs vers l'est :

- D'une marquise qui est en continuité avec le toit du bâtiment des voyageurs;
- D'une voie d'accès pour véhicules au débarcadère;
- De deux stationnements de 26 places chacun, situés de part et d'autre du bâtiment des voyageurs. Le boisement des abords des stationnements et des portions de terrain au sud et au nord de ceux-ci est prévu;
- D'un premier terre-plein avec aménagement paysager séparant la voie d'accès au débarcadère d'une route de contournement projetée;
- D'un deuxième terre-plein aménagé entre les deux chaussées de la route de contournement qui comprendra un aménagement paysager et une tour avec horloge.

Pour sa part, le secteur de la place publique sera localisé au sud de la seconde voie de la route de contournement, s'étendant vers l'est sur une distance d'environ 160 mètres jusqu'à un boulevard projeté. Cette place sera entièrement paysagée. Le plan d'urbanisme de la ville de Laghouat prévoit le développement d'ensembles résidentiels et commerciaux de part et d'autre de cette place publique.

• **La gare de marchandises de Laghouat**

La gare de marchandises de Laghouat est située à environ un kilomètre plus au sud de la gare de voyageurs, au pied de la crête rocheuse. Elle se situe à proximité de la zone industrielle occupant l'ouest de la ville et s'inscrit dans un alignement droit de 2 150 mètres dont la pente est nulle. Dans le cadre du projet, cette gare est considérée comme un terminal et pourra accueillir environ 16 trains par jour et jusqu'à six trains simultanément. Comme pour la gare de Djelfa, elle sera conçue pour traiter le transport de véhicules, de bétail et de céréales ainsi que possiblement des hydrocarbures et du minerai. Elle accueillera également un faisceau de remisage pour les rames de transport de voyageurs qui servira aux opérations de station-service (nettoyage, vidange, etc.) et au lavage des trains.

La gare de marchandises est située à l'extrémité sud du tracé, soit à un kilomètre de la gare des voyageurs. Elle se compose d'une aire de triage, d'une aire d'atelier, d'une cour des conteneurs et d'une zone administrative et technique telle qu'illustrée à la figure. L'aire de triage se situe au pied de la crête rocheuse (le Kef Theniat El Rmel) formant la limite ouest de la ville de Laghouat et se composera de sept voies principales. Une voie de service s'insère entre les voies de la partie nord de la cour de triage. Celle-ci relie le quai de marchandises au poste d'aiguillage qui est situé à l'extrémité nord-ouest de la cour de triage. Un passage piétonnier souterrain relié à deux édicules permet de traverser la voie dans la partie centrale de la cour. Du côté est de la cour, l'édicule est incorporé à un bâtiment technique.

L'accès à la gare des marchandises depuis la route de la Wilaya par une voie d'accès menant à proximité de l'extrémité des voies en tiroir. Une cour de circulation véhiculaire dessert les différentes voies ferroviaires en tiroir de la gare. Un stationnement pour les employés et un stationnement de 10 camions semi-remorques se trouve au sud de l'ensemble. Vous trouverez sur le plan d'implantation de la gare des marchandises, la position d'une halle des marchandises projetée dans une phase ultérieure.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

L'aire d'atelier est située à l'extrémité sud de la gare ferroviaire du côté est des voies. Cette aire comprend cinq voies distinctes, dont quatre donnent accès à un bâtiment couvert servant aux travaux d'entretien.



Figure I.4 : La gare de marchandise de Laghouat.

La cour des conteneurs est située du côté est et s'étend sur l'équivalent de la moitié sud de la cour de triage. Elle est bordée au nord par la voie d'accès reliant la zone administrative et technique au poste d'aiguillage. La cour des conteneurs comprend cinq voies ferrées séparées par des voies de circulation pour camions et trois cours d'entreposage. Un bâtiment, le hall de marchandise occupe la moitié nord de la cour d'entreposage centrale.

La gare comprend également un secteur pour le remisage des trains de voyageurs, soit les voies 17,19 et 20. Il est situé à l'extrémité nord de la gare.

La zone administrative et technique se retrouve à l'est de la cour des conteneurs. Le tiers nord de cette zone est occupé par six bâtiments abritant respectivement des bureaux administratifs, des locaux dédiés aux équipes techniques, une salle de prière, une cafétéria, une infirmerie et un vestiaire pour les employés. Une aire de stationnement pour les employés de 20 places est présente immédiatement au sud de ces bâtiments. Les deux tiers restants de cette zone sont occupés par l'aire de stationnement pour les camions venant livrer ou récupérer des marchandises. Enfin, la voie de circulation mentionnée précédemment se poursuit vers l'est pour rejoindre la rue formant la limite ouest de la ville et permettant l'accès à la gare.

L'ensemble de la gare comprendra 24 voies ferrées qui sont présentées à la figure et dont les spécifications sont présentées dans le tableau suivant.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

Tableau1.2 : Spécification des voies de la gare de marchandises de Laghouat.

Numéro de la voie	désignation	Longueur (m)
1	Voie principale	1405
3	Voie d'évitement	1191
5	Voie arrivée/Départ/Marchandises	942
7	Voie arrivée/Départ/Marchandises	852
9	Voie arrivée/Départ/Marchandises	852
11	communication	866
13	Voie arrivée/Départ/Marchandises	867
15	Voie arrivée/Départ/Marchandises	960
17	Voie de remisage	472
19	Voie de remisage	406
21	Voie de remisage	408
23	Voie de tiroir	350
25	Voie de débord	480
27	Voie de débord/Hall de marchandise	480
29	Voie de débord	487
31	Voie de débord	457
33	Voie de débord	469
35	Voie du pont bascule et gabarit	190
37	Voie de garage	197
39	Voie atelier	161
41	Voie atelier	161
43	Voie atelier	134
45	Voie atelier	134
47	Voie de tiroir	330

1.5 : La ligne ferroviaire et son tracé

Le tracé retenu pour le passage de la nouvelle ligne ferroviaire entre les villes de Djelfa et Laghouat est le résultat de l'analyse technico-économique de trois variantes. Les sections qui suivent présentent de façon générale les trois alternatives considérées et détaillent celle qui a été retenue. Une justification du choix du tracé sera également présentée.

1.5.1 : Les alternatives des tracés considérées

Tel que présenté à la figure 1.5, trois principales variantes de tracé ont été considérées pour l'implantation de la ligne ferroviaire Djelfa-Laghouat dont l'une d'entre elles, soit la variante 3, se compose de deux sous variantes. Il est à noter que bien que la figure montre également des variantes au niveau de localisation des gares, aucune analyse n'a été réalisée pour la détermination de l'emplacement de ces dernières puisque ce sont leur plan d'urbanisme

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

respectif qui a orienté leur localisation, soit celle de l'est pour Djelfa et l'option des gares séparées à l'ouest pour Laghouat.



Figure 1.5 :Localisation des variantes de tracé considérées.

- **La variante 1**

La variante 1 quitte la gare de Djelfa en direction du sud et s'incurve vers le sud-est pour aller croiser la Route Nationale aux environs du PK18+000. Elle poursuit ensuite de façon quasi parallèle à la RN1, en direction sud-est jusqu'aux abords de la ville de Laghouat. En chemin, elle croise trois secteurs d'activité agricole, soit au niveau de l'oued Megtaa (PK51+140), à la limite ouest du village agricole d'Ain Benan (PK62+000) et à la limite ouest du village de Sidi Makhlouf (PK63+500 à 66+000). À l'approche des rives d'Oued M' Zi, le tracé bifurque vers l'est, puis vers le sud-est pour traverser l'oued au niveau du pont routier existant. Le tracé reprend ensuite un axe sud-ouest pour longer un ensemble de collines abruptes qui forme la limite ouest de la ville de Laghouat.

- **La variante 2**

Cette variante ressemble beaucoup à la variante 1. En fait, pour les 18 premiers kilomètres le tracé est identique. La différence réside au niveau du PK18+000, où le tracé poursuit sa route vers le sud-ouest en restant du côté est de la RN1, au lieu de croiser cette route comme pour la variante 1. En arrivant à Laghouat, le tracé bifurque également vers l'est puis à nouveau vers le sud-ouest comme le fait la variante 1.

- **La variante 3**

La variante 3 a été considérée dans l'optique d'inclure la ville de Mesaad située à environ 70 km au sud-est de Djelfa, sur le tracé ferroviaire. Deux sous-variantes ont été développées pour

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

relier la gare de Djelfa à la ville de Mesaad. Ces variantes s'unissent ensuite en un tracé unique jusqu'à Laghouat.

Le tracé de la sous-variante 3a sort de la gare de Djelfa en direction sud, bifurque rapidement vers le nord-est sur 5 km, puis vers l'est sur 20 km et encore vers le sud-ouest sur 10 km. La vaste courbe qu'il dessine permet de contourner l'important massif rocheux du Djebel Djellal Chergui. Le tracé s'oriente ensuite vers le sud jusqu'à son croisement avec l'oued El Megta. Après avoir traversé l'oued, le tracé bifurque vers le sud-est sur 8 km pour atteindre la ville de Mesaad. À la hauteur de Mesaad, le tracé s'oriente vers le sud-ouest et suit la rive ouest de l'Oued M'Zi jusqu'à Laghouat pour entrer dans la ville au même endroit que les variantes 1 et 2.

Le tracé de la sous-variante 3b sort de la gare de Djelfa en suivant la même trajectoire que ceux des variantes 1 et 2, et ce, jusqu'au PK33+000. À partir de ce point, il diverge vers l'est sur environ 25 km, traversant une zone de colline en tunnel, puis il se dirige vers le sud-est sur 15 km, longeant la limite ouest de la ville de Mesaad. Il prend ensuite la direction du sud-ouest pour rejoindre la variante 3a, puis continue dans la même trajectoire que cette dernière jusqu'à la ville de Laghouat.

I.5.2 : Le tracé retenu ; justification et description

Ce sont les critères techniques et économiques qui ont eu le plus d'influence dans la sélection de la variante préférable, soit la variante 1 (Fig 1.6). En effet, les deux variantes 3a et 3b présentaient des coûts et des problématiques techniques significatifs (40 à 60 km de tracé de plus à construire, topographie difficile et tunnel). Quant à la variante 2, elle présentait également des coûts importants. Ces derniers proviennent du besoin de construction d'un nombre important d'ouvrages d'art le long du tracé, dont certains de grandes tailles en raison de la présence, en parallèle à la RN1, de certains Oueds dont l'oued El Seder.

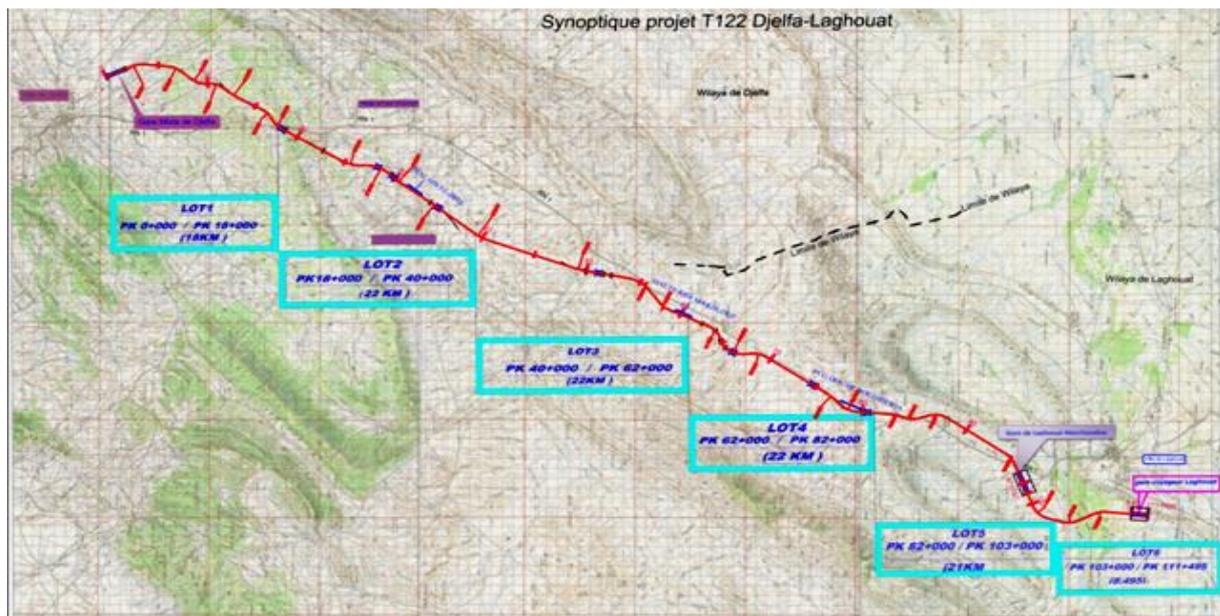


Figure 1.6 : Synoptique de la ligne.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

La variante 1, conservé sensiblement le même tracé, à l'exception du tronçon situé entre les PK53+500 et 58+700 qui a été légèrement reprofilée dans le but d'éloigner le tracé de la RN1.

I.6 : Les points de changement de voie et garage (PCG)

Un total de trois PCG sont prévus entre les gares de Djelfa et de Laghouat (Fig 1.7). Ils se localisent respectivement aux PK31+600, 59+660 et 77+830. Ces PCG sont très importants pour maximiser la capacité du réseau et assurer les exigences de maintenance et d'exploitation. Les trois PCG présentent un schéma d'implantation similaire tel qu'illustré à la figure. Cette implantation s'effectue en alignement droit, en parallèle à la voie principale. L'unique aspect qui les différencie est la longueur. En effet, les deux premiers PCG s'étendent sur environ 1 710 mètres alors que le troisième s'étend sur environ 2 340 mètres. La possibilité d'ajouter deux PCG additionnels, en cas de besoin, a également été prévue.

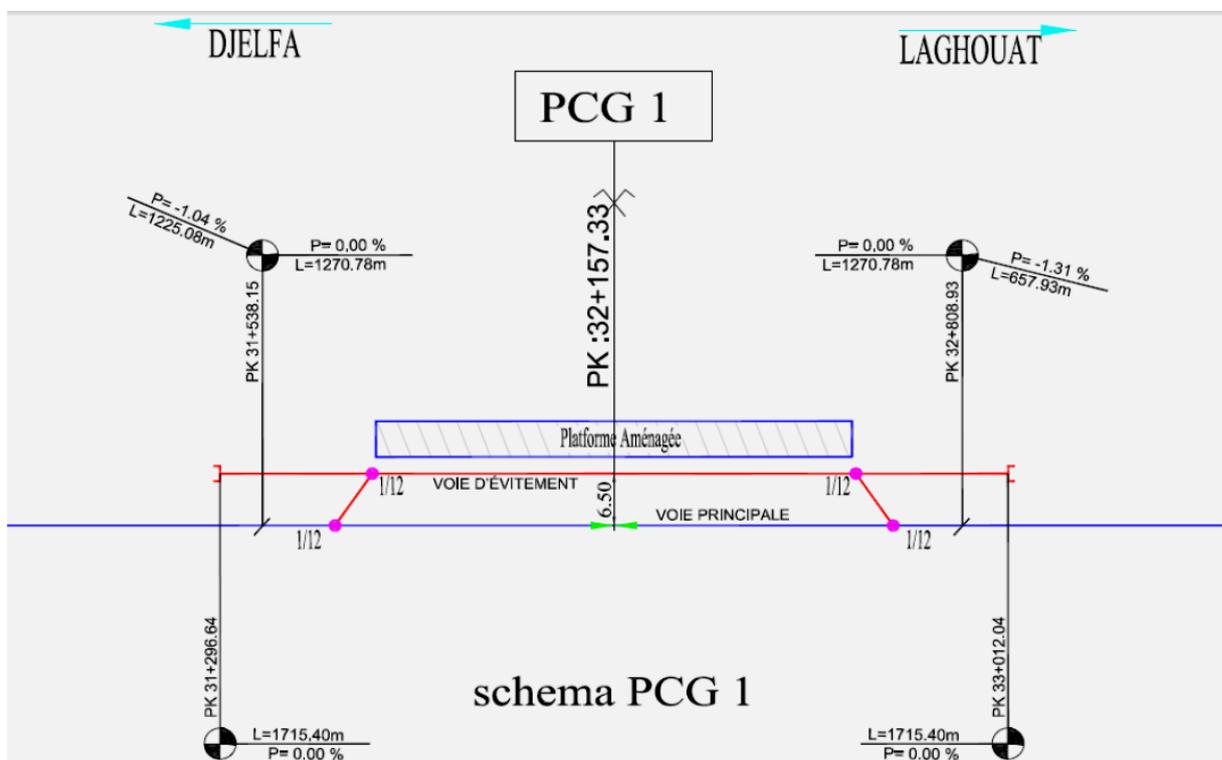


Figure 1.7 :Schéma d'implantation similaire.

Les composantes des PCG comprennent normalement un système d'aiguillage et une plateforme aménagée d'au moins 800 mètres de long, pourvue de deux voies tiroirs d'au moins 350 mètres. Le système d'aiguillage est prévu pour être franchi en voie directe à la vitesse de la ligne principale et en voie déviée à 70 km/h.

1.6.1 : Les points de croisement

Le tracé retenu croise sur son parcours de nombreux Oueds, affluents d'oued, pistes et routes qui nécessiteront l'aménagement d'ouvrages hydrauliques et d'art. Un total de 156 ouvrages hydrauliques, comprenant des buses et des dalots simples ou en série de dimensions diverses, sont prévus pour la construction du tracé. Au niveau des ouvrages d'art, un total de 33 ouvrages comprenant des dalots multicellulaires, des ponts à poutre et des ponts à portique, sera construit. Les tableaux suivants résument les informations relatives à ces ouvrages.

Tableau 1.3 : les informations relatives des ouvrages.

Type	Nombre	Dimension			PK
		Hauteur	Largeur	Ouverture	
Buse	1	-	-	1000mm	67+966
Buse	63	-	-	1500mm	9+3438,9+817, 10+386,11+000,11+535, 11+640,12+316,12+812,13+415,14+315, 15,695, 16+042,16+360,16+748,17+563, 17+866,19+286,21+826,22+800,23+174 71+000,73+550,76+800,79+850,83+540, 84+725,85+327,87+635,89+746,103+775 ,106+975, 107+334, 108+251.
Batterie de buse avec écartement de 20,50 ou 100m	5	-	-	1500mm	48+000 à 48+500, 51+950 à 52+350, 72+825 à 73+225, 76+200 à 76+450, 83+180 à 83+260.
Dalot de type C1	55	2000m m	1500m m	1500mm	0+620, 3+468, 5+361, 6+680, 7+956, 8+678, 8+901, 8+992, 10+664, 11+401, 11+983, 14+800, 17+083, 19+540, 89+280, 90+207, 90+487, 91+900, 92+625, 92+825, 94+125, 102+396, 103+983, 104+455, 104+829,107+725.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

Tableau 1.4 :Description des ouvrages d’art prévus le long du tracé retenu.

Catégorie	NB	Type	Dimension			PK
			Hauteur	Largeur	NB de travée	
Pont ferroviaire	1	Dalot	4,5m	5,0m	-	102+303
Pont ferroviaire	3	Dalot multicel	12,9m	41,4m	3	2+756, 37+610, 89+990
Pont ferroviaire	1	Dalot multicel	12,9m	27,6m	2	39+050
Pont ferroviaire	2	Dalot multicel	-	-	2	71+811, 71+926
Pont ferroviaire	2	Pont à poutres	12,9m	30,0m	1	34+915, 80+467
Pont ferroviaire	3	Pont à poutres	12,9m	40,0m	1	28+163, 28+578, 74+440
Pont ferroviaire	3	Pont à poutres	12,9m	60,0m	2	18+460, 66+372, 86+207
Pont ferroviaire	1	Pont à poutres	12,9m	80,0m	2	29+864
Pont ferroviaire	1	Pont à poutres	12,9m	160,0m	4	51+142
Pont ferroviaire	1	Portique	12,9m	15,0m	1	98+354
Pont routier	1	Pont à poutres	32,0m	40,0m	1	18+698
Pont routier	8	Portique	7,0m	15,0m	1	1+771, 51+598, 63+582, 65+618, 72+540, 89+460, 99+479, 105+506
Pont routier	3	Portique	12,0m	15,0m	1	22+740, 34+074, 49+928
Pont routier	1	Portique	12,9m	90,0m	3	99+875
Pont routier	1	Portique	12,9m	40,0m	1	102+070
Viaduc	1	Pont à poutres	12,9m	440,0m	11	102+820

1.7 : Les activités de construction

Les activités de construction regroupent les travaux de mise en place des composantes du corridor ferroviaire.

Ces activités comprennent, de façon séquentielle, les travaux suivants :

- Transport des matériaux et des divers équipements et circulation des camions de transport ainsi que de la machinerie lourde. Ces véhicules utiliseront les voies locales pour circuler ;

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

- Travaux de terrassement incluant le remblai et déblai (Fig 1.8):

La plateforme sur laquelle seront installés les rails se compose d'une couche de forme, suivi d'un sous-ballast et du ballast. La réalisation de ces composantes impliquera l'utilisation de machinerie lourde, de camions de transport et l'opération des sites d'emprunt (carrières et sablières). Il est question de volumes de déblais d'environ 2 359 028 m³ et de remblais d'environ 7 326 637 m³ résultant en un volume de déblai à évacuer d'environ 704 773 m³.



Figure 1.8 : Travaux de terrassement.

- Mise en place des ouvrages hydrauliques

Ces travaux impliquent le transport des ouvrages hydrauliques, la préparation du site de réception (excavation et terrassement) et leur remblai.

- Construction des ouvrages d'art (Fig 1.9)

Cette activité implique d'importants travaux de terrassement, le transport de matériaux et des composantes des ponts, l'opération de machinerie lourde pour la manipulation et la mise en place des composantes des ponts ainsi que divers travaux d'assemblage et de finition.



Figure 1.9 : Construction des ouvrages d'art.

- Construction des infrastructures ferroviaires (fondation du tracé, traverses en béton, pose des rails et construction des gares et accessoires) :
Ces activités nécessiteront l'utilisation de camions de transport et de machineries lourdes pour le transport et la manipulation des matériaux. L'assemblage des rails sera effectué par soudage, puis ils seront vissés aux traverses. La construction des gares nécessitera l'implication de divers corps de métiers spécialisés dans les bâtiments, les infrastructures ferroviaires, la voirie et les aménagements paysagers.

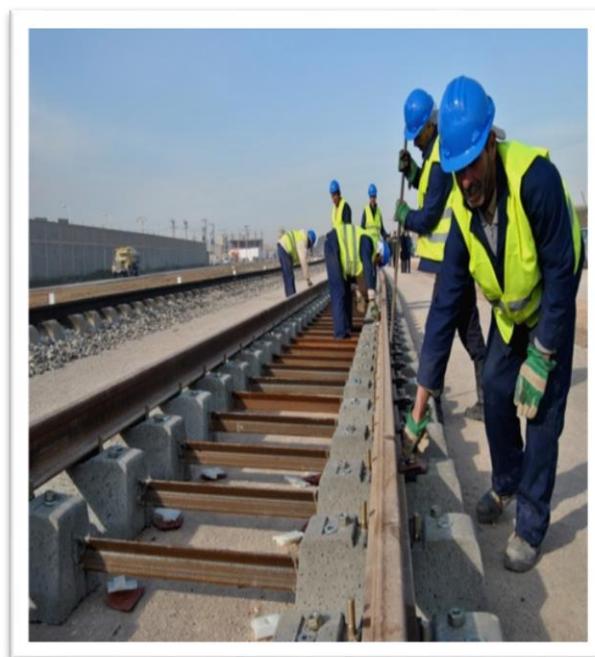
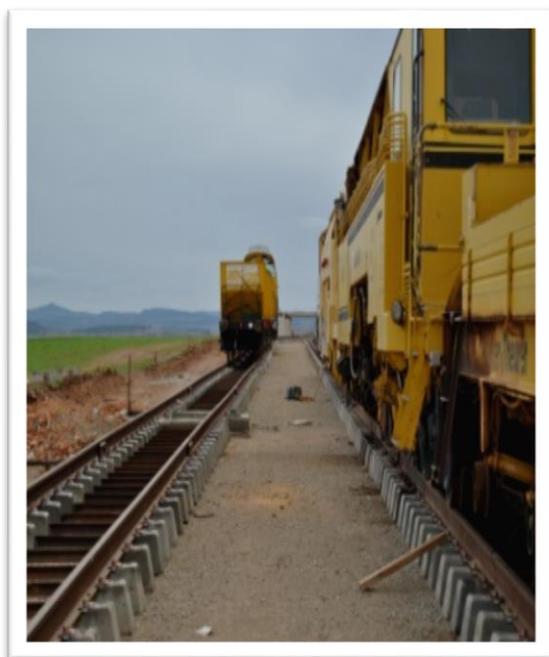


Figure 1.10 : Travaux de pose de voie.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

- Mise en place des équipements liés à la signalisation :

Ces travaux entraîneront des activités de transport et d'assemblage sur place.



Figure 1.11 : La mise en place d'électrification.

- Installation des clôtures aux limites de l'emprise : Ces travaux nécessiteront le transport du matériel, des forages pour les poteaux et l'assemblage des sections de clôtures.

1.8 : Contrôle et diagnostique

Les activités d'entretien et de maintenance sont associées à l'opération du corridor ferroviaire. Ainsi, outre la présence et la circulation des trains, les infrastructures en place nécessiteront des travaux d'entretien et de maintenance qui comprendront :

- L'entretien et la maintenance générale des gares tant au niveau du maintien des bâtiments que des infrastructures ferroviaires (cours de triage, aires d'entretien et de chargement), des voies d'accès et des aménagements paysagers ;
- L'inspection des rails et des équipements en place ;
- Le dessablage de la voie suite à des tempêtes de sable ;
- Le nettoyage des ouvrages hydrauliques afin d'assurer la libre circulation de l'eau ;
- Des interventions ponctuelles lors d'accidents ou de tout événement pouvant endommager les infrastructures. Ces interventions impliqueront l'utilisation de machineries lourdes et de véhicules de transport pour permettre les réparations nécessaires.

1.9 : Organisation du chantier

Les dépenses de main-d'œuvre représentent une part importante des dépenses totales pour la maintenance ou bien la construction de la voie ferrée. L'une des conditions d'une saine gestion est la recherche permanente de l'utilisation optimale de la main-d'œuvre, et celle-ci ne peut être obtenue que par une organisation rationnelle constante de la tâche des brigades.

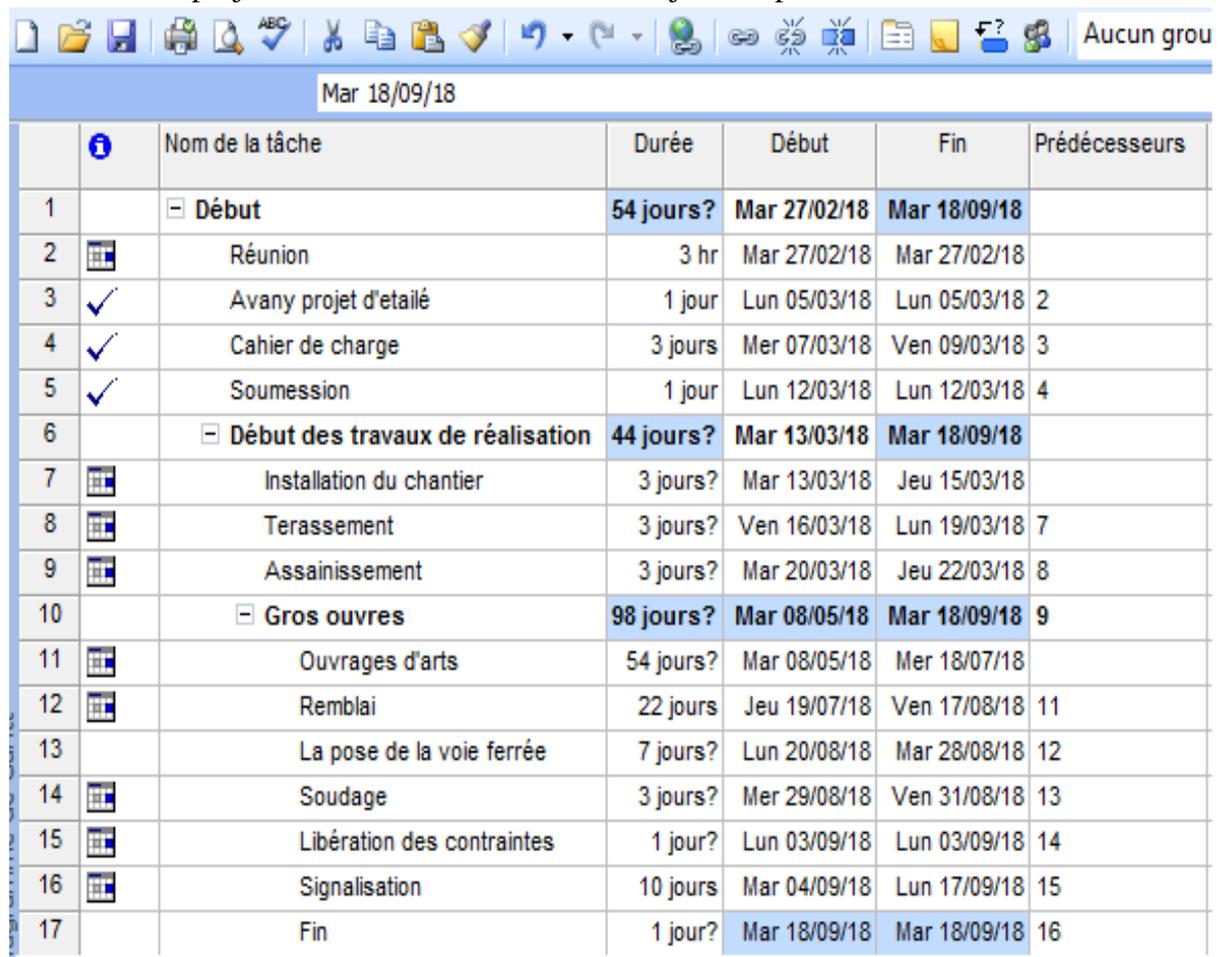
1.9.1 : Principe du fonctionnement des "chantiers organisés"

Le travail est organisé en autant de passes successivement qu'il y a d'opérations élémentaires, chaque passe étant étendue à toute la longueur du tronçon intéressé, ou tout au moins à des zones de plusieurs kilomètres.

Dans le prochain diagramme nous allons voir un exemple d'organisation d'un chantier ferroviaire avec des tâches principales, se la permis de gagner plus du temps et de faciliter le respect de l'ordre des opérations.

1.9.2 : Exemple d'un chantier organisé

Les tâches du projet sont citées avec les nombres des jours et prédécesseurs.



	i	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
1		[-] Début	54 jours?	Mar 27/02/18	Mar 18/09/18	
2		Réunion	3 hr	Mar 27/02/18	Mar 27/02/18	
3	✓	Avany projet d'etaillé	1 jour	Lun 05/03/18	Lun 05/03/18	2
4	✓	Cahier de charge	3 jours	Mer 07/03/18	Ven 09/03/18	3
5	✓	Soumission	1 jour	Lun 12/03/18	Lun 12/03/18	4
6		[-] Début des travaux de réalisation	44 jours?	Mar 13/03/18	Mar 18/09/18	
7		Installation du chantier	3 jours?	Mar 13/03/18	Jeu 15/03/18	
8		Terassement	3 jours?	Ven 16/03/18	Lun 19/03/18	7
9		Assainissement	3 jours?	Mar 20/03/18	Jeu 22/03/18	8
10		[-] Gros ouvres	98 jours?	Mar 08/05/18	Mar 18/09/18	9
11		Ouvrages d'arts	54 jours?	Mar 08/05/18	Mer 18/07/18	
12		Remblai	22 jours	Jeu 19/07/18	Ven 17/08/18	11
13		La pose de la voie ferrée	7 jours?	Lun 20/08/18	Mar 28/08/18	12
14		Soudage	3 jours?	Mer 29/08/18	Ven 31/08/18	13
15		Libération des contraintes	1 jour?	Lun 03/09/18	Lun 03/09/18	14
16		Signalisation	10 jours	Mar 04/09/18	Lun 17/09/18	15
17		Fin	1 jour?	Mar 18/09/18	Mar 18/09/18	16

Figure 1.12 : Tâches de diagramme de Gantt.

Chapitre 1 : Présentation de projet Djelfa-Laghouat.

Diagramme de Gantt :

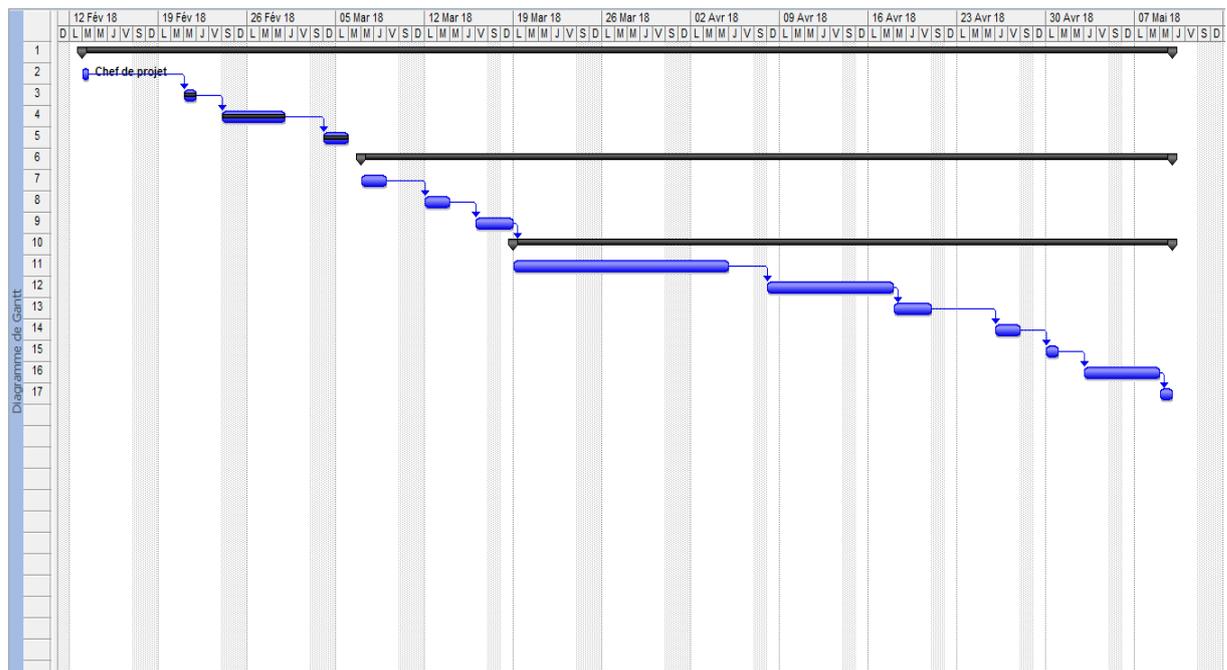
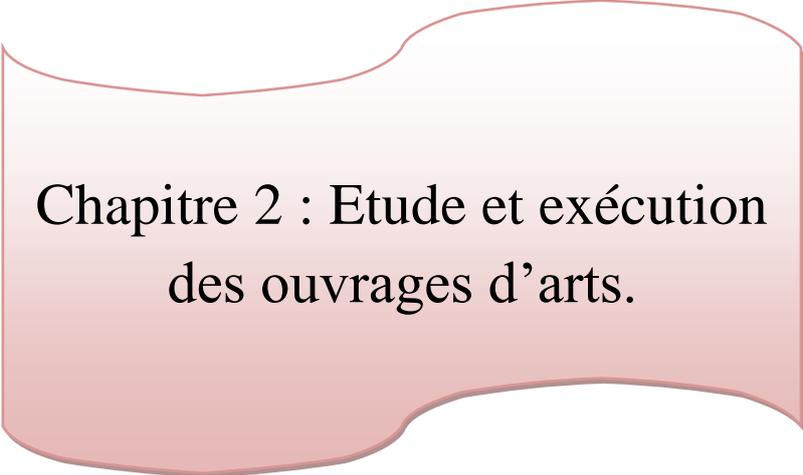


Figure 1.13 : Diagramme de Gantt.



**Chapitre 2 : Etude et exécution
des ouvrages d'arts.**

2 Introduction

Pour élaborer des lignes ferroviaires, on rencontre différents obstacles naturels tels que rivières, montagnes et artificiel tel que les routes, bâtiments...etc.

Pour les franchir, on construit des ouvrages artificiels (Fig 2.1), qui portent le nom : Ouvrage d'art, Ce terme est composé de deux mots :

-«Ouvrages» Indiquant les constructions ;

-«Art» Indiquant l'importance de l'aspect esthétique et architectural dans ces constructions.

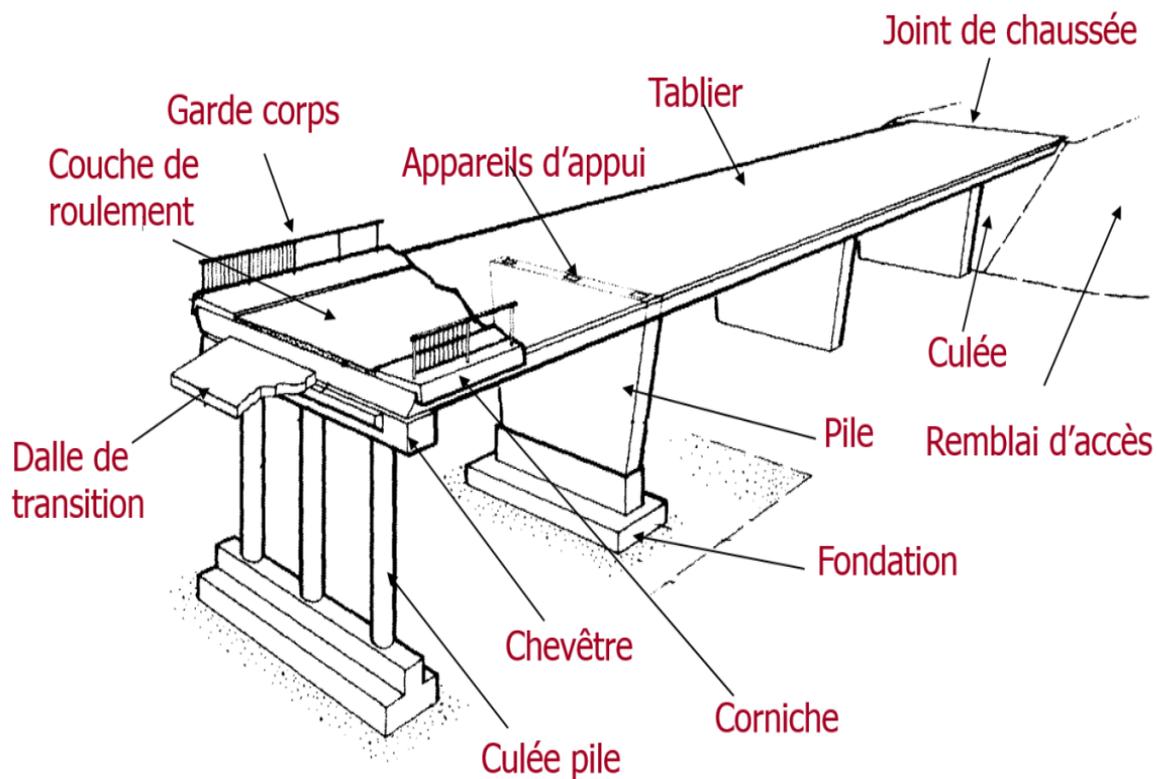


Figure 2.1 : Constituants d'un ouvrage d'art ferroviaire.

D'une manière globale, sur tout le tracé de 110 km sont projetés 40 ouvrages d'art, dont 09 ouvrages sont des passages supérieurs de type routier et 31 ouvrages conçus en passages inférieurs de type ferroviaire.

Le concept des ouvrages est bien adapté aux contraintes que présentent le relief, la nature du sol et le type de franchissement.

2.1 Objet

Le présent chapitre a pour objet d'exposer les détails des ouvrages d'art ferroviaires de type ponts et viaduc projetés sur la nouvelle ligne ferroviaire.

Il présente la méthode et la situation de chaque ouvrage, la conception choisie ainsi que le type de fondation adopté sur la base des données géotechniques.

2.2 Plateforme ferroviaire

2.2.1 Classification du sol support selon les fiches UIC

La classification élaborée par l'Union internationale des chemins de fer (UIC) a été adoptée pour la classification du sol support le long du tracé (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Classification du sol support sel

PK (Début)	PK (Fin)	Nature pétrographique	Classe de la Plate forme
1+200	2+640	Calcaire tufacé	Qs2
		Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	
5+680	6+350	Calcaire tufacé	Qs2
8+020	8+220	Calcaire tufacé	Qs2
9+840	10+340	Calcaire tufacé	Qs2
10+500	10+900	Calcaire tufacé	Qs2
12+500	13+150	Calcaire tufacé	Qs2
17+220	17+380	Argile sableuse et argile limoneuse	Qs2
18+050	19+940	Calcaire et dolomie	Qs3
20+250	20+460	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs3
		Calcaire et dolomie	
20+660	20+960	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs3
		Calcaire et dolomie	
21+550	21+650	Argile sableuse et argile limoneuse	Qs2
21+860	22+250	Argile sableuse et argile limoneuse	Qs2
		Limons argileux et limon sableux	
23+450	23+750	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs2
		Limons argileux et limon sableux	
28+400	38+820	Grés	Qs2
42+550	43+520	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs2
		Grés	
45+120	45+800	Grés	Qs2
48+650	49+850	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs2
		Grés	
52+840	56+200	Grés	Qs2
57+950	58+980	Argile sableuse et argile limoneuse	Qs2
		Grés	
61+940	62+380	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs2
63+580	63+980	Grés	Qs2
64+450	64+650	Encroûtements calcaires gravelo-caillouteux Et les terrasses alluviales anciennes	Qs2
		Grés	
67+750	68+500	Limons argileux et limon sableux	Qs2
		Grés	
72+560	80+100	Grés	Qs2
100+080	100+160	Calcaire et dolomie	Qs3
103+270	103+600	Calcaire et dolomie	Qs3
105+000	105+650	Argile sableuse et argile limoneuse	Qs2
108+300	108+610	Argile sableuse et argile limoneuse	Qs2

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

Cette classification se base sur les caractéristiques géotechniques ainsi que sur les conditions hydrauliques et hydrogéologiques. Quatre classes de terrain sont identifiées : QS0, QS1, QS2, QS3, et cela en partant des terrains les plus mauvais au terrain les plus bons selon les caractéristiques géotechniques.

2.2.2 Epaisseur minimale selon la fiche UIC 719R

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

- Une couche de ballast ;
- Une sous-couche qui comprend les couche de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminante et géotextile.

L'épaisseur de l'ensemble ballast+sous-couche est donnée par l'expression suivante :

$$e = E + a + b + c + d + f(2.1)$$

Où :

- E : classe de la plate forme ;
- a : classe de la voie ;
- b : type et longueur de la traverse ;
- c : linge nouvelle ;
- d : la charge maximal a l'axe ;
- f : Géotextile.

Les données de base pour l'élaboration des coupes transversales types à prendre en considération sont :

1. Système de la voie : rail UIC sur des traverses en béton (monobloc) ;
2. Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm ;
3. Structure d'assise établie d'après les fiches UIC 719 R.

Dans ce contexte et pour homogénéiser la structure d'assise, nous considérons que la partie supérieure du terrassement est de type QS2 tout le long du tracé. Considérant que c'est une voie Rapide ($V > 220$ km/h), ce qui nécessite la mise en place d'une couche de forme de type S3 au niveau des sections ou le sol est de type QS2. Dans les zones ou la plate forme est de nature rocheuse, la couche de forme n'a pas été adoptée.

2.2.3 Épaisseur des différentes couches

Pour assurer un bon fonctionnement hydraulique des couches d'assise et une longue durée de vie de plateforme :

- Le ballast doit reposer sur une "Sous-couche" correctement pentée transversalement vers des dispositifs de collecte longitudinaux (Cas de déblai) ou vers l'extérieur (Cas de remblai) ;
- La sous-couche est suffisamment dense pour diminuer l'infiltration de l'eau dans la plate-forme ;
- La sous-couche a la possibilité elle-même de s'essorer transversalement vers les dispositifs de collecte ou vers l'extérieur ;
- Il faut bien respecter les épaisseurs de chaque couche pour assurer un bon fonctionnement de ces couches.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

La figure suivante (Fig 2.2) contient les épaisseurs de chaque couche, cette plate-forme est structurée pour supporter certaines charges.

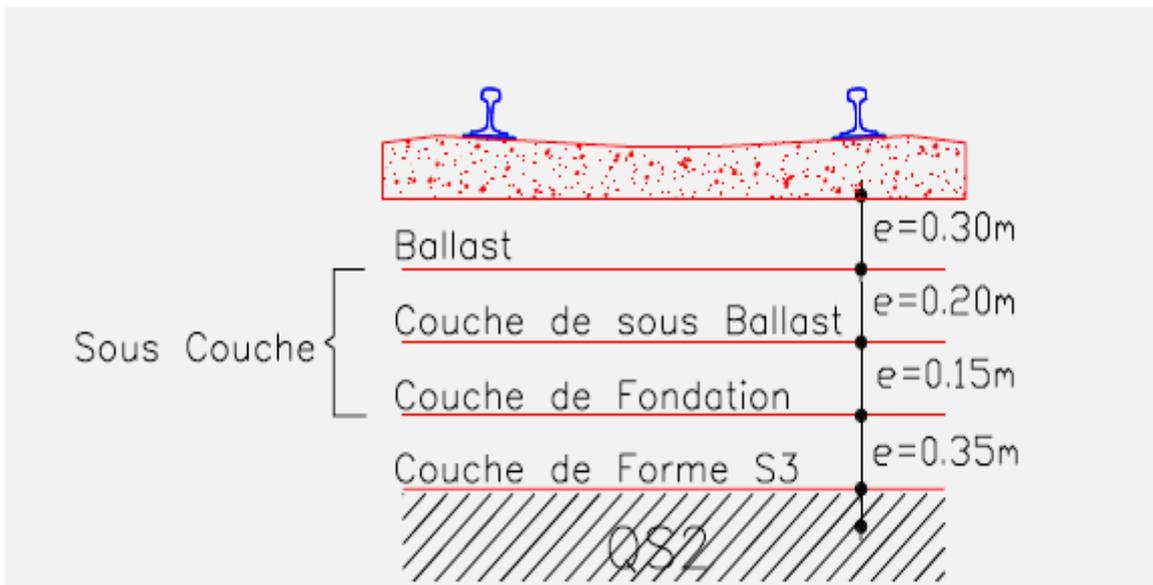


Figure 2.2 : Epaisseur des différentes couches.

2.3 Charges Verticales

- Enveloppe LM 71, SW/0 et SW/2

Le modèle LM 71 (Fig 2.3) représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire normal. Il peut être fractionné pour obtenir les effets les plus défavorables. Le schéma du chargement LM71 est illustré à la Figureci-après.

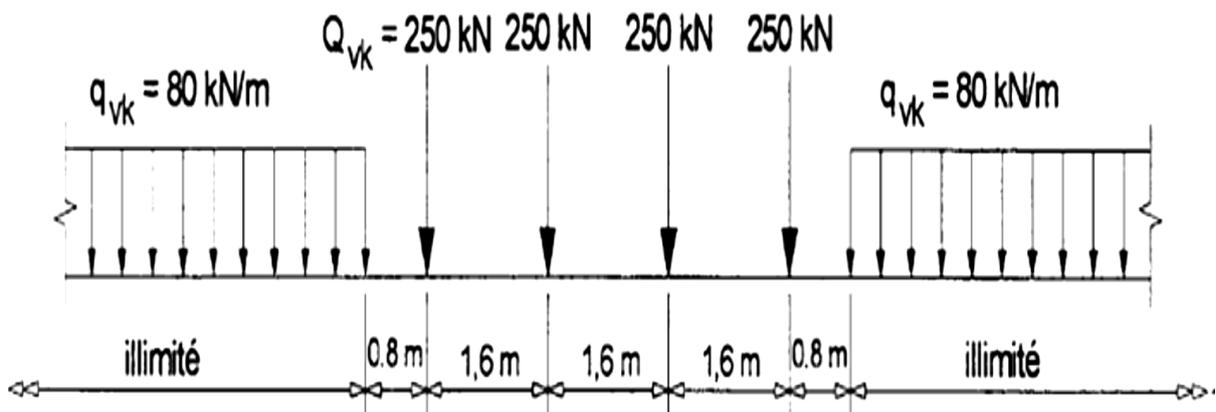


Figure 2.3 : Schéma de charges LM 71 et valeurs caractéristiques des charges verticales.

Le modèle SW/0 ne s'applique que sur les ouvrages à travées continue ;

Le modèle SW/2 représente l'effet statique du chargement vertical dû à un trafic ferroviaire lourd et est à prendre en compte pour ce projet.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

Le schéma des chargements SW/0 et SW/2 est illustré à la Figure ci-après (Fig2.4).

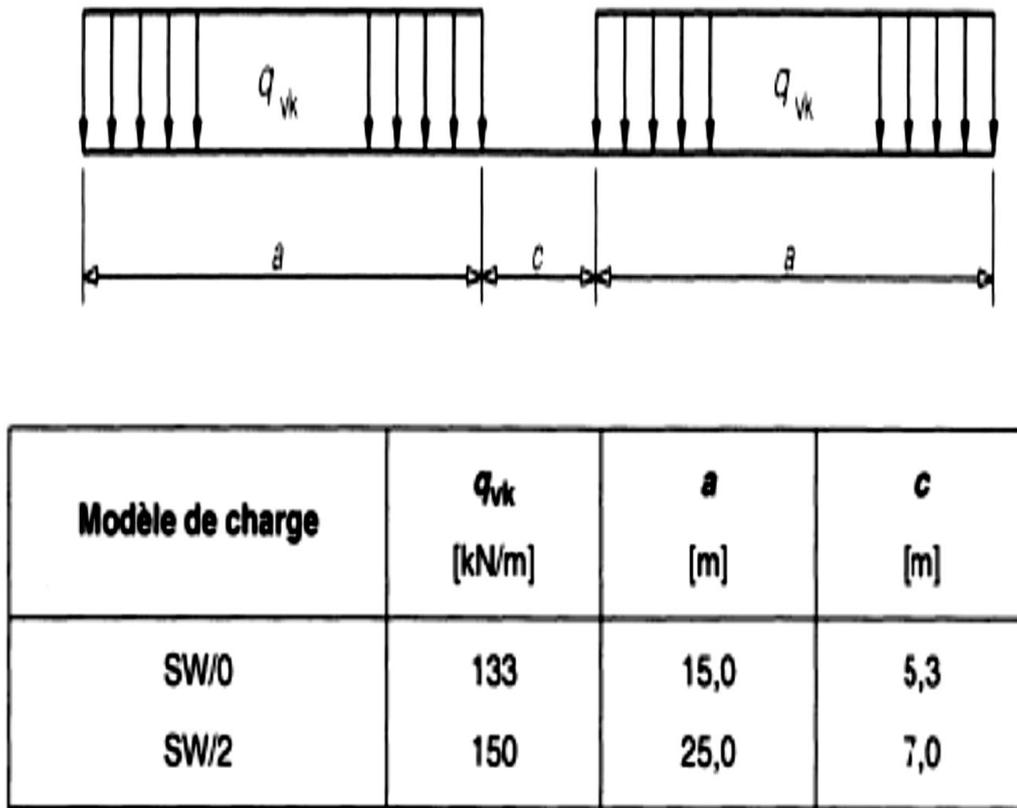


Figure 2.4 : Charges SW/0 et SW/2 et valeurs caractéristiques des charges verticales.

Les valeurs caractéristiques des charges LM 71 et SW/0 doivent être multipliées par un coefficient α pour obtenir les charges classifiées à introduire dans les justifications.

Pour ce projet, la valeur retenue est : $\alpha = 1,00$.

2.4 Charges horizontales

2.4.1 Forces centrifuges

L'action de force centrifuge est considérée comme une charge transversale qui agit au centre de gravité du train. La charge est calculée selon la vitesse du trafic v et le rayon de courbure de l'ouvrage R . La portion de la charge centrifuge considérée comme agissante simultanément avec les autres composantes des charges de trafic.

$$\delta = \frac{v^2}{R} (2.2)$$

2.4.2 Effort de lacet

L'effort de lacet (100 KN) est à prendre en compte que pour les ponts non ballastés, donc n'est pas considéré pour les ouvrages du présent projet. Dû à la possibilité du niveau minimum de ballast non respecté dû au niveau de l'entretien, l'effort de lacet a été considéré pour les charges d'appareils d'appui et des piles.

2.4.3 Accélération et freinage

La transmission des effets de ces actions aux piles et culées est réalisée par les appareils d'appui fixés. L'intensité est déterminée à la suite d'une analyse de l'ensemble du pont à l'aide d'un modèle intégrant l'interaction voie-ouvrage.

2.4.4 Considérations sismiques

Il est à noter que les ouvrages d'art situés aussi bien à Djelfa qu'à Laghouat sont situés dans une région assignée à la zone sismique zone I, l'accélération sismique de base est de 0.15g.

2.5 Caractéristiques des ouvrages ferroviaires

Ce sont des franchissements en passages inférieurs sur oueds ou affluents d'oueds. Ils sont conçus en ponts à travées simples successives de 24m et 32m de longueur. Le projet totalise 12 ouvrages ferroviaires de type pont et viaduc.

2.5.1 Tablier

Le tablier est constitué de six poutres préfabriquées en béton précontraint, elles sont espacées transversalement de 2.00m. L'entre axe des deux voies est de 4.20m. Un entraxe d'au moins 3.25 m est établi entre l'axe des poteaux caténares et l'axe de la voie. Un passage de 70cm permettant la circulation du personnel est prévu latéralement pour chaque côté en voie double portant ainsi la largeur du tablier à 12.90m.

La poutre pour les travées de 32.6m est en forme de « I » d'une hauteur de 2.50m. La semelle supérieure est large de 1.60m et d'épaisseur variable de 12/28 cm. La semelle inférieure est de 80cm de large et d'épaisseur variable de 30/58.5cm. La poutre pour les travées de 24m est aussi en forme de «I» avec une hauteur de 2.10m et une largeur de semelle supérieure de 160cm. L'Épaisseur de la semelle supérieure varie de 12/28 cm. La semelle inférieure à une largeur de 75cm et une épaisseur variable de 30/55cm.

Des entretoises d'about en béton armé (largeur 125cm x hauteur 160cm) sont prévues. Elles sont surmontées par un hourdis en béton armé de 60cm d'épaisseur. Les poutres sont supportées par les chevêtres des piles et des culées par l'intermédiaire des appareils d'appuis à pot. Les détails du dimensionnement des poutres de 24.6m et de 32.6m sont illustrés dans les (Figures 2.5 ; 2.6).

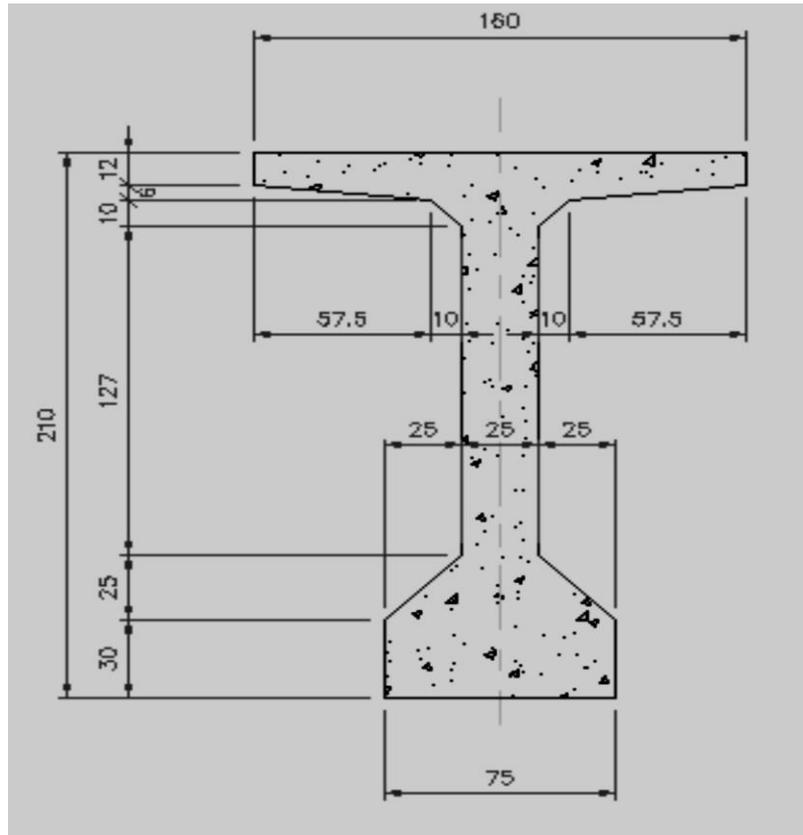


Figure 2.5: Détail d'une poutre de 24.6m de longueur.

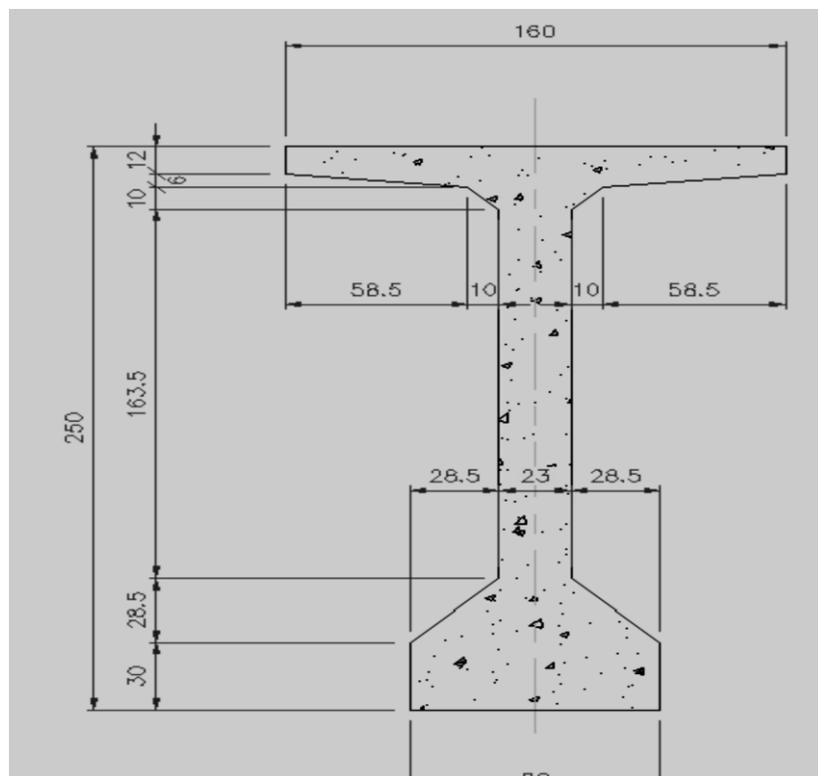
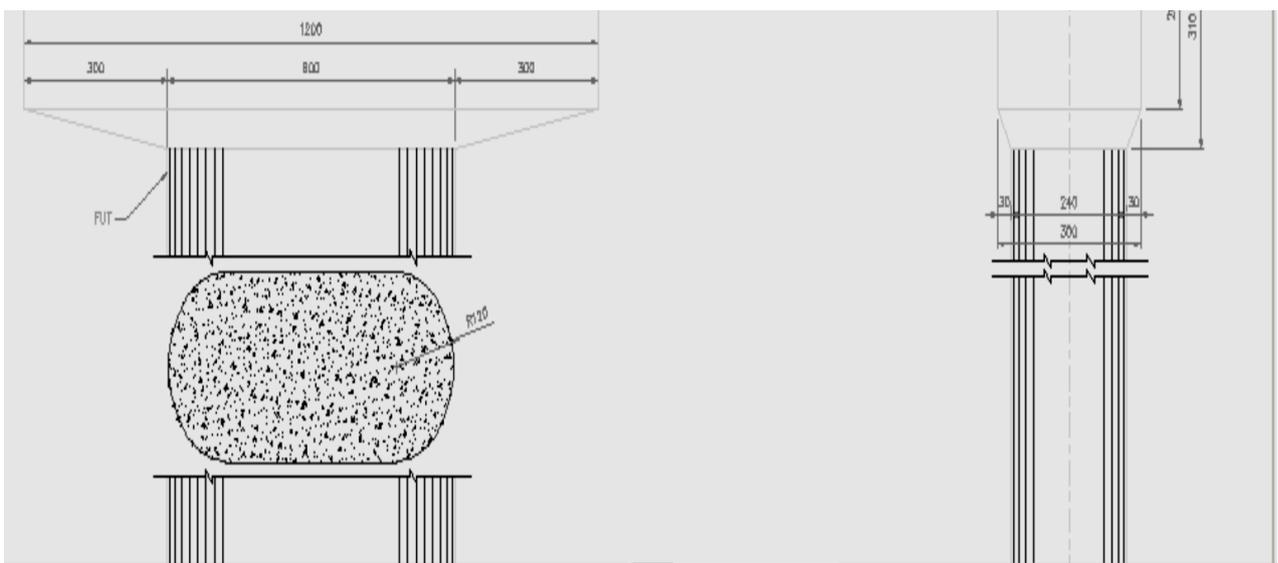
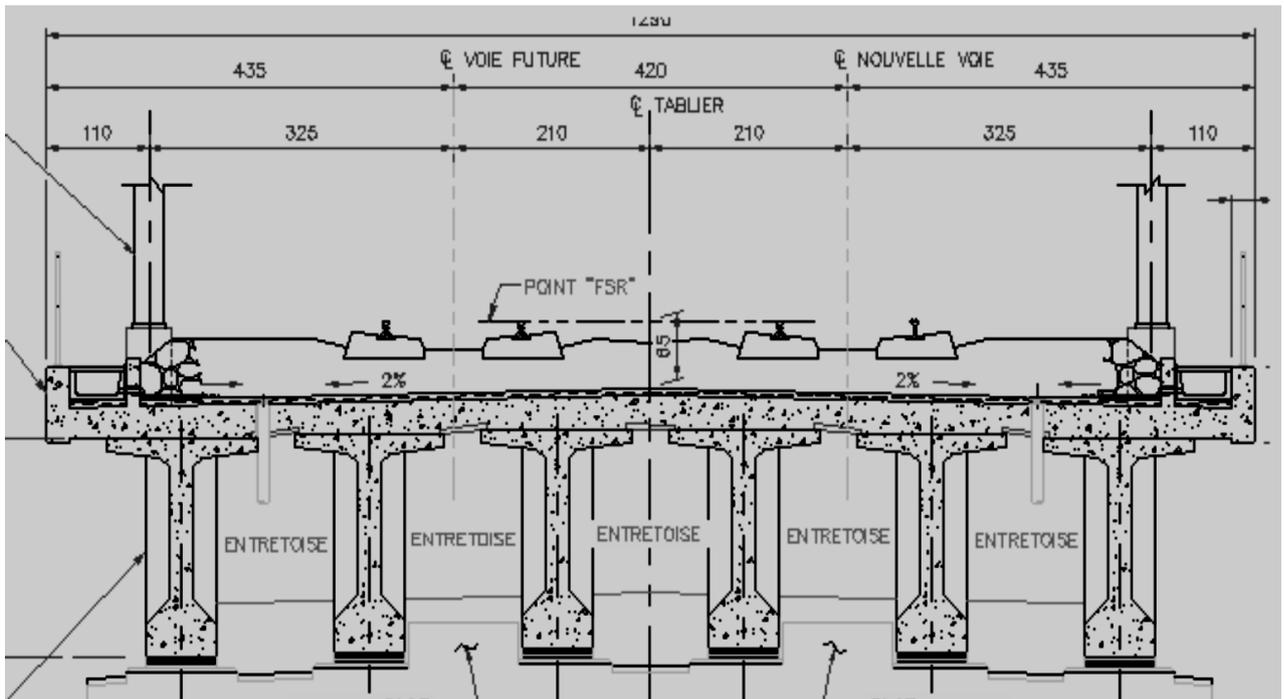


Figure 2.6 : Détail d'une poutre de 32.6m de longueur.

2.5.2 Les appuis

Les appuis intermédiaires des ponts sont constitués de piles en béton armé de type rectangulaire avec extrémités en forme de demi-cercles (Fig II.8). Pour tous les ponts, une dimension des piles avec dimensions 2.40m x 6.00m ont été utilisées.

Les piles s'appuient soit sur des semelles tête de pieux ou bien sur des semelles superficielles, dont les dimensions varient en fonction des charges axiales trouvées dans les pieux ou bien selon la pression calculé sous la semelle.



2.5.3 Culées

Les culées sont du type remblayé, elles sont constituées d'un voile en béton armé « mur de front », sur lequel s'appuient le tablier et des murs latéraux « mur en retour » pour soutenir les terres latéralement.

Dans certains cas, des murs de soutènement en béton armé sont également prévus en prolongement des murs en retour des culées.

Les culées s'appuient soit sur des semelles tête de pieux ou bien sur des semelles superficielles, dont les dimensions varient en fonction des charges axiales trouvées dans les pieux ou bien selon la pression calculé sous la semelle.

Afin d'éviter les tassements aux abords des ponts rails, on adopte la solution de « bloc technique » sur tous les ouvrages ferroviaires. C'est un remblai dont la géométrie et les constituants sont bien définis. En complément des exigences particulières applicables à tous les remblais, les blocs techniques sont projetés pour satisfaire aux fonctions suivantes :

- Transition remblai-ouvrages d'art ;
- Transition de la plateforme ferroviaire aux abords du tablier;
- Atténuer les déformations différentielles ;
- Éviter les poussées hydrauliques derrière les culées.

Ces blocs techniques (Fig II.9) sont essentiellement définis par le type et la géométrie de l'ouvrage d'art, la hauteur du remblai ferroviaire, le biais de l'ouvrage et le phasage des travaux. Ces paramètres déterminent l'implantation, la géométrie, les matériaux constitutifs ainsi que les procédures d'exécution.

Les murs garde-grève mesurent 2.7m de hauteur pour une poutre de 24.6m de travée et de 3m pour une portée de 32.6m.

Les murs en retour sont conçus pour les situations de projet durables en plus des situations de projets accidentels, comprenant entre autres l'effet du déraillement du train selon deux scénarios précisés par l'Eurocodes.

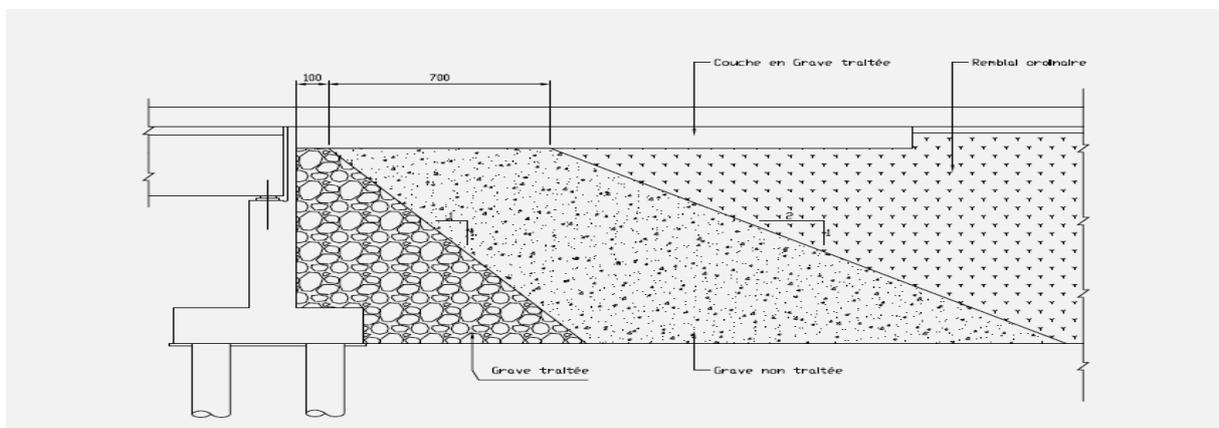


Figure 2.9 : Détail du bloc technique.

2.6 Description détaillée des ponts ferroviaires de la ligne

-Pont ferroviaire N° 06

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont qui se situe au PK 018+ 417.35, il franchit Oued Ben Graba.

- Données géotechniques ;

L'ensemble des appuis du pont sera fondé sur des semelles superficielles, vu la nature rocheuse des terrains en place. Il s'agit de calcaires dolomitiques, en bancs centimétriques, qui s'offrent en affleurement à partir de la surface au niveau du lit mineur de l'oued et avec une couverture formée d'encroûtements calcaires sur les versants.

Un ancrage de 1,00 m de profondeur dans le substratum rocheux calcaire est recommandé. Considérant la nature rocheuse des formations, les tassements sont nuls.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage droit à deux travées de 32 m de longueur, La pile est du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elle a une hauteur approximative de 6.6m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevêtre.

La semelle de la pile a les dimensions suivantes: 11.0m x12.0m x 3.0m ;

La semelle de la culée fixe est de dimensions 13.80mx9.60mx2.00m ;

La semelle de la culée mobile est de dimensions 13.80mx7.60mx2.00m.

-Pont ferroviaire N° 11

- Situation de l'ouvrage

Le pont franchit Oued LAOURAHAI SIDA au PK 028+ 136.136

- Données géotechniques ;

L'inspection des affleurements au niveau des berges de oued « LAOURAHA » a montré une couche d'argile limoneuse de consistance ferme, faisant 2,00 m d'épaisseur, surmontant un sable consolidé à gréseux, et des grès rocheux sont visibles sur le lit mineur de l'oued.

Des fondations superficielles sont recommandées pour cet ouvrage, avec une profondeur d'ancrage dans les sables consolidés de 2,00 m par rapport au terrain naturel.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage biais (70 grades) à deux travées de 24m de longueur. La pile est du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elle a une hauteur approximative de 5.0m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevêtre.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

La semelle de la pile a les dimensions suivantes : 9.00mx11.00mx3.00m.

-Pont ferroviaire N° 13

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont franchit Oued AIN ROUMANIA au PK 029+ 829.57

- Données géotechniques ;

Le terrain en place est formé par une alternance de grès rocheux et d'argilites. L'ouvrage peut être fondé sur les grès dont l'affleurement est visible en surface même sur le lit de l'oued.

Des fondations superficielles sont recommandées à partir de 1,30 m de profondeur par rapport au terrain naturel.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage biais (70 grades) à trois travées de 24m de longueur. Les piles sont du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Ils ont une hauteur approximative de 8,7m et 8,3m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevêtre.

Les semelles des piles sont de dimensions : 10.00m x 12.50m x 3.00m

Les semelles des culées sont de dimensions : 13.80m x 9.60m x 2.00 m.

-Pont ferroviaire N° 15

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont se situe au PK 34+ 917.90, il franchit la vallée de Oued ISSHAK.

- Données géotechniques ;

L'inspection visuelle du site de l'ouvrage montre des affleurements rocheux de type grès recouvert d'une très faible couche de limons graveleux au niveau des berges (sur 1,00 m d'épaisseur). Sur le lit de l'oued affleurent les grès peu couverts de sable.

Des fondations superficielles ancrées dans les grès à une profondeur de 1,00 m par rapport au terrain naturel sont recommandées.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage droit (100 grades) à travée unique de 32m de longueur.

La semelle de la culée fixe est de dimensions 13.80mx9.60mx2.00m.

La semelle de la culée mobile est de dimensions 13.80mx7.60mx2.00m.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

-Ouvrage ferroviaire N° 20

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont se situe au PK 51+057.90, il franchit la vallée d'Oued EL MAGTAA.

- Données géotechniques ;

Un forage a été effectué au niveau de cet ouvrage.

En raison de l'importance des dimensions de l'ouvrage, des fondations profondes sont recommandées.

- Description de l'ouvrage ;

Les piles sont du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Ils ont des hauteurs approximatives de 5,5m; 6,0m; 6,7m; 4,8m, mesurées du dessus de la semelle au-dessous du chevet. C'est un ouvrage droit (100 grades) à cinq travées de 32 m de longueur.

Les semelles tête de pieux des piles sont de dimensions : 13,20m x 9,60m x 3,00/4,00m, elles relient trois files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre. Les semelles tête de pieux des culées sont de dimensions : 13.80mx9.60mx2.00m, elles relient trois files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre.

-Pont ferroviaire N° 25

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont se situe au PK 66+330.26, il franchit la vallée d'Oued BEKEDECH

- Données géotechniques ;

Un forage a été effectué pour cet ouvrage. Pour les résultats et interprétation des essais se reporter au rapport géotechnique

Considérant l'importance de l'ouvrage, des fondations profondes sont recommandées.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage droit (100 grades) à deux travées de 32m de longueur.

La pile est du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elle a une hauteur approximative de 6,4m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevet.

La semelle tête de pieux de la pile est de dimensions : 13,20m x 9,60m x 3,00/4,00m, elle relie trois files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre.

Les semelles tête de pieux des culées sont de dimensions 13.80mx9.60mx2.00m, elles relient trois files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

-Pont ferroviaire N° 29

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont franchit Oued LABIEDH au PK 74+437.30

- Données géotechniques ;

Un puits de reconnaissance a montré des formations de limons sableux peu graveleux et des grès.

Ces formations recoupées par le puits d'exploration sont également celles observées sur le site de l'ouvrage, avec quelque variation pour l'épaisseur de la couverture, où celle-ci disparaît par endroits laissant place au grès.

Nous recommandons des fondations superficielles ancrées dans les grès.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage droit (100 grades) de deux travées de 24m de longueur.

La pile est du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elle a une hauteur approximative de 3,3m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevêtre.

La semelle de la pile a les dimensions suivantes : 9.00mx11.00mx3.00m

La semelle de la culée fixe est de dimensions 13.80mx9.60mx2.00m.

La semelle de la culée mobile est de dimensions 13.80mx7.60mx2.00m.

Des murs de soutènement en béton armé sont prévus au niveau de la culée mobile de l'ouvrage.

-Pont ferroviaire N° 30

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont se situe au PK 80+452,60, il franchit la vallée de Oued EL OUARENA.

- Données géotechniques ;

Les investigations géotechniques ont montré des formations de sables limoneux peu graveleux, limons sableux peu argileux et peu graveleux.

Des fondations profondes sont recommandées pour cet ouvrage.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage biais (70 grades) à une travée de 32m de longueur.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

Les semelles tête de pieux des culées sont de dimensions : 13.80mx9.60mx2.00 m, relie trois files de quatre pieux de 1.20m de diamètre.

Des murs de soutènement sont prévus au niveau des deux culées de l'ouvrage.

-Pont ferroviaire N° 31

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont se situe au PK 86+175.60, il franchit Oued METLILI.

- Données géotechniques ;

Le terrain est formé par une alternance de calcaire et d'argilites. Cependant les couches calcaires sont dominantes et l'on ne retrouve les couches d'argilites qu'en faibles bancs centimétriques et parfois décimétriques.

Des fondations superficielles sont recommandées pour cet ouvrage, avec un ancrage dans les calcaires.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage biais (70 grades) à deux travées de 32 m de longueur.

La pile est du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elle a une hauteur approximative de

4,5m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevron.

La semelle de la pile a les dimensions suivantes : 9.00mx11.00mx3.00m

La semelle de la culée fixe est de dimensions 13.80mx9.60mx2.00m.

La semelle de la culée mobile est de dimensions 13.80mx7.60mx2.00m.

Des murs de soutènement en béton armé sont prévus au niveau des culées de l'ouvrage.

-Pont ferroviaire N° 36

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont se situe au PK99+795.34, il franchit Oued METLILI.

- Données géotechniques ;

Les alluvions ont une épaisseur dépassant les 20,00 m. l'ouvrage à proximité de OA 30, s'inscrit sur le même type de sol, celui de la terrasse alluvionnaire, formée par des cailloux et graviers, dans une matrice sablo limoneuse, à concrétions carbonatées. Aux environs du site de cet ouvrage (100,00 m), un puits artisanal existant faisant 20,00 m de profondeur montre

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

des parois stables sans aucun soutènement, avec un niveau d'eau à 18,00 m de profondeur, ce qui atteste de la bonne consistance et compacité de ces formations.

Considérant l'importance des dimensions de cet ouvrage, ainsi que les affouillements éventuels, des fondations profondes sont recommandées.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage droit (100 grades) à trois travées de 32 m de longueur.

Les piles sont du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elles ont des hauteurs approximatives de 4,6m et 4,9m mesurées du dessus de la semelle au-dessous du chevet.

Les semelles tête de pieux des piles sont de dimensions : 13,20m x 9,60m x 3,00/4,00m, elles relient trois files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre. Les semelles tête de pieux des culées sont de dimensions 13.80mx13.20mx2.00 m, relient quatre files de quatre pieux de 1.20m de diamètre.

Des murs de soutènement en béton armé sont prévus au niveau des culées de l'ouvrage.

-Pont ferroviaire N° 38

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont franchit Oued EDAKHLA au PK 102+046.27

- Données géotechniques ;

L'investigation effectuée pour cet ouvrage comporte un forage. Pour les résultats et interprétations des essais se reporter au rapport géotechnique

Des fondations profondes sont recommandées. Les pieux sont de type foré de 1,20m de diamètre.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage droit (100 grades) à deux travées de 24m de longueur.

La pile est du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elle a une hauteur approximative de 7,7m mesurée du dessus de la semelle au-dessous du chevet.

La semelle tête de pieux de la pile est de dimensions : 13,2m x 7,40m x 3,00/4,00m elle relie deux files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre. Les semelles tête de pieux des culées sont de dimensions : 13.80mx9.60mx2.00 m, relient trois files de quatre pieux de 1.20m de diamètre pour une bonne stabilité de l'ouvrage.

Des murs de soutènement en béton armé sont prévus au niveau des culées de l'ouvrage.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

-Pont ferroviaire N° 40

- Situation de l'ouvrage ;

Le pont franchit Oued M'ZI au PK 102+613.20

- Données géotechniques ;

L'investigation effectuée pour cet ouvrage comporte deux forages.

Considérant l'importance de l'ouvrage, nous recommandons d'adopter des fondations profondes afin de limiter les risques des tassements ainsi que le risque d'affouillements au niveau de l'oued. L'étude hydraulique devra préciser la profondeur d'affouillement pour prendre tout les mesures pour le choix des types des fondations.

- Description de l'ouvrage ;

C'est un ouvrage biais (70 grades) à 13 travées de 32 m de longueur.

Les piles sont du type rectangulaire avec extrémités en demi-cercle. Elles ont des hauteurs approximatives entre 6,9m et 9,8m mesurées du dessus de la semelle au-dessous du chevêtre.

Les semelles tête de pieux des piles sont de dimensions : 13,2m x 7,40m x 3,00/4,00m elles relient trois files de quatre pieux en béton armé de 1.20m de diamètre.

Les semelles tête de pieux des culées sont de dimensions : 13.80mx13.20mx2.00 m, relient quatre files de quatre pieux de 1.20m de diamètre pour mieux atteinte la stabilité de l'ouvrage.

Des murs de soutènement en béton armé sont prévus au niveau de la culée mobile de l'ouvrage.

Tableau 2.2: Liste des ponts et viaduc.

N° d'OA	PK	Longueur(m)	Largeur(m)	Fondation
OA6	018+417,36	64,4	12,90	Superficielle
OA11	028+136,13	48,5	12,90	Superficielle
OA13	029+829,57	73,1	12,90	Superficielle
OA15	034+917,90	31,7	12,90	Superficielle
OA20	051+057,90	162,5	12,90	Profond
OA25	066+330,26	64,5	12,90	Profond
OA29	074+437,30	48,4	12,90	Superficielle
OA30	080+452,60	31,7	12,90	Profond
OA31	086+175,60	64,2	12,90	Superficielle
OA36	099+795,34	97,3	12,90	Profond
OA38	102+046,27	48,9	12,90	Profond
OA40	102+613,20	423,8	12,90	Profond

2.7 Spécification générales pour la construction des ouvrages d'arts

Dans la construction des ouvrages d'arts y a toujours des conditions qu'il faut bien les suivre, Parmi ces conditions :

2.7.1 Spécifications géographiques

- La localisation géométrique ;

Dans une présentation d'un ouvrage d'art on trouve toujours sa situation géométrique où bien le point kilométrique qui indique exactement la localisation de ce dernier et l'obstacle qu'il a franchi pour des raisons techniques, géographiques ...etc.

- Données géotechniques ;

Dans ces données-là, il faut étudier le type de sol ainsi que les affouillements de la région et indiquer l'importance de l'ouvrage, pour bien choisir les types des fondations à utiliser.

- Description de l'ouvrage ;

La description de l'ouvrage est très importante, dans laquelle on doit citer le nombre, type, dimensions et la longueur des travées, des piles, des semelles...

2.7.2 Spécifications techniques

Les ouvrages d'arts ferroviaires sont parmi les constructions les plus importants dans un projet de chemin de fer par rapport à l'exécution et comme ils sont bien précis qu'il faut suivre des calculs pour assurer une longue durée de vie et le bon fonctionnement d'ouvrage.

Prochainement en va citer quelques points qu'il faut les prendre en considération dans la construction d'un ouvrage d'art :

- **Le vent**

Ce phénomène peut être un avantage comme il peut être un inconvénient pour le franchissement d'un ouvrage, la figure suivante nous montre les cas les plus fréquents.

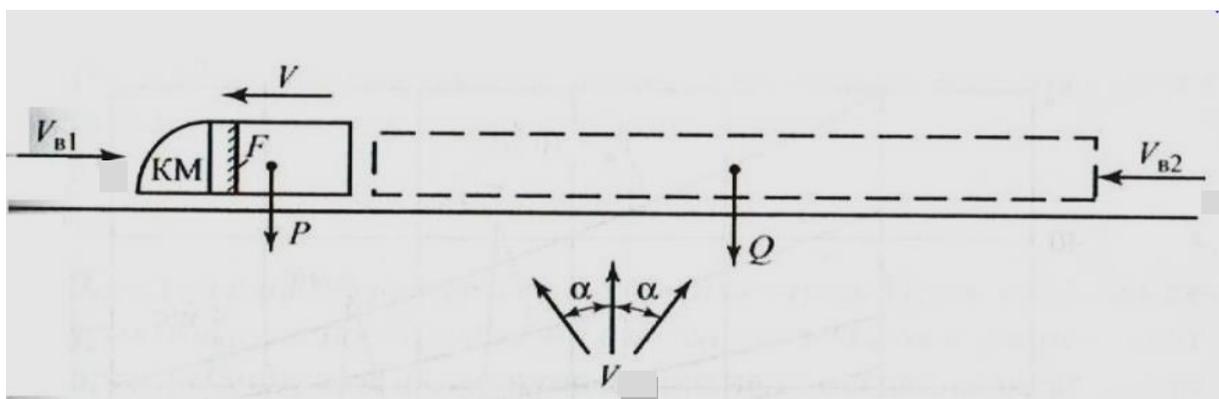


Figure 2.10 : La direction du vent par rapport au mouvement du convoi.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

Cette figure montre les différentes directions du vent qu'il peut les prendre, comme il forme un angle (α) causé par cette division.

L'avantage du vent acquis grâce à une des directions est celle qu'elle prend la même direction de franchissement car elle joue le rôle d'une force génératrice.

L'inconvénient causé par l'une des divisions de ce phénomène est celle qu'elle prend la direction contraire de franchissement car il joue le rôle d'une force résistante.

2.8 Calcul des charges centrifuges et de vent

2.8.1 Forces centrifuge

$$1 - \frac{V - 120}{1000} \left(\frac{814}{V} + 1.75 \right) \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{LF}} \right)$$

- Pour une travée 24,60 m:

LM-71, F= 0.8201

SW/2, F= 0,64

- Pour une travée : 32,60 m :

LM-71, F= 0.8078

SW/2, F= 0,62

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{127 * r} (F * Q_{vk})$$

Charge utilisée : $Q_{tk} = 16,3\% \times Q_{vk}$ (pour un LM-71, L=32.6m , $v_{max}=160$ km/h, rayon de courbure min = 1000m).

Charge totale pour LM71 pour L=32.6 : $Q_{vk} = 3096$ kN

$L_{eff} = 32,6$ m

504 kN / travée de 32.6m

$q_{tk} = 15,5$ kN/m

Commentaire : Cette charge distribuée sera appliquée à tous les ponts courbes peu importe le rayon de courbure conservativement.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (masse volumique de l'air,

$V_b =$ (vitesse de référence du vent)

$A_{ref} =$ (aire de référence)

$C =$ (coefficient de force du vent)

$C_{dir} = 1$ (coefficient de direction)

$C_{season} = 1$ (coefficient de saison, valeur recommandée par l'EN)

$V_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ (valeur de base de la vitesse du vent) valeur supposée

$L_t = 32,6 \text{ m}$ (travée typique)

$b = 12,87 \text{ m}$ (largeur tablier)

$h_p = 2,5$ (hauteur de la poutre)

$h_{dalle} = 0,3$ (hauteur de la dalle)

$h_{ballast} = 0,3$ (hauteur ballast)

$h_{rail} = 0,2$ (hauteur du rail)

$h_{train} = 4,0$ (hauteur du train considéré)

2.8.2 Forces de Vent sur le tablier

- Force de Vent latéral (Y)

$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$

$V_b = 26 \text{ m/s}$

Les valeurs recommandées du coefficient C sont données dans le tableau 8.2 de l'EN, des interpolations linéaires peuvent être utilisées pour des valeurs intermédiaires de b/d_{tot} et de Z_e .

$Z_e =$ hauteur de référence, c'est la distance entre le niveau du sol le plus bas et celui du centre de la structure du tablier, en ne tenant pas compte des autres parties (garde-corps...etc) des aires de référence.

$d_{tot} = h_p + h_{dalle} + h_{ballast} + h_{rail} + h_{train}$

$d_{tot} = 7,3 \text{ m}$

$b/d_{tot} = 1,8$

$H_{sol} = 40 \text{ m}$

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

$$Z_e = H_{sol} + (h_p + h_{dalle})/2$$

$$Z_e = 41,4 \text{ m}$$

- Calcul de C: interpolation double

	$Z_e \leq 20\text{m}$	Z_e	Z_e
b/d_{tot}	20	41.4	50
0.5	6.7		8.3
1.8	5.6	6.5	6.9
4.0	3.6		4.5

Tableau 2.3 : Calcul de d'interpolation double

$$C = 6.5$$

$$A_{ref,y} = d_{tot} \cdot L_t \text{ (aire de référence transversale) } 237\text{m}^2$$

$$F_{wy} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,y}$$

$$F_{wy} = 642 \text{ kN}$$

$$F_{wy} = 19,7 \text{ kN/m}$$

2.8.3 Force de Vent longitudinale (X)

Les valeurs recommandées par l'EN:

Pour les ponts à poutres pleines, 25% des forces du vent dans la direction des X

$$F_{wx} = 25\% \times F_{wy}$$

$$F_{wx} = 160 \text{ kN}$$

$$F_{wx} = 4,9 \text{ kN/m}$$

2.8.4 Force de Vent verticale (Z)

1. On définit le coefficient de force $C_{f,z}$ à la fois dans le sens ascendant et descendant. la valeur recommandée $C_{f,z}$ est prise égale à 0,9, cette valeur tient compte de l'influence d'une pente transversale éventuelle du tablier, de la pente du terrain et des fluctuations de l'angle d'incidence du vent par

2. L'aire de référence $A_{ref,z}$ est égale à l'aire en plan ;

3. Il convient de ne prendre en compte aucun facteur d'effet d'extrémités ;

4. La hauteur de référence Z est la même que pour $C_{f,x}$ (Z_e , voir calcul de force transversale) ;

5. Sauf spécification contraire, l'excentricité de la force dans la Z peut être fixée à $b/4$.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

$C_{fz} = 0,9$ (valeur recommandée par l'EN)

$A_{ref,z} = b \times L_t$ (aire de référence transversale)

$A_{ref,z} = 420 \text{ m}^2$

2.8.5 Calcul du Coefficient d'exposition ($C_{e,z}$)

$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2$ (pression dynamique de référence)

$q_b = 0,414 \text{ kN/m}^2$

Suivant la catégorie et paramètre du terrain:

type de terrain = type III (ref. EN 1991-1-4)

$z_0 = 0,3 \text{ m}$ (longueur de rugosité)

$z_{min} = 5 \text{ m}$ (hauteur minimale à considérer)

$z_{max} = 200 \text{ m}$ (hauteur maximale à considérer, valeur selon EN)

$Z = Z_e = 41,4 \text{ m}$ (hauteur considérée)

$z_{0,II} = 0,05$ (catégorie de terrain II, tableau 4.1)

$K_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$

$K_r = 0,215$

$C_{0,z} = 1,0$ (coefficient orographique, valeur suggérée selon l'EN)

$C_{r,z} = K_r \cdot \ln(z/z_0)$

$C_{r,z} = 1,061$

$V_{m,z} = C_{r,z} \cdot C_{0,z} \cdot V_b$

$V_{m,z} = 27,59 \text{ m/s}$

$K_1 = 1,0$ (Coefficient de Turbulence, valeur suggérée selon l'EN)

$I_{v,z} = K_1 / (C_{0,z} \cdot \ln(z/z_0))$ (intensité de la turbulence)

$I_{v,z} = 0,203$

$q_{p,z} = (1 + 7 \cdot I_{v,z})^{0,5} \cdot \rho \cdot V_{m,z}^2$ (pression dynamique de pointe)

$q_{p,z} = 1,13 \text{ kN/m}^2$

$C_{e,z} = q_{p,z} / q_b$ (coefficient d'exposition en fonction de z)

$C_{e,z} = 2,73$

2.8.6 Calcul de forces de vent ascendant ($F_{w,asc}$)

$$C_{force,asc} = C_{e,z} * C_{f,z}$$

$$C_{force,asc} = 2,45$$

$$F_{w,asc} = 1/2 * \rho * V_b^2 * C_{force,asc} * A_{ref,z}$$

$$F_{w,asc} = 426 \text{ kN}$$

$F_{w,asc} = 13,1 \text{ kN/m}$ (force de vent distribuée selon travée typique)

2.8.7 Calcul de forces de vent descendant ($F_{w,des}$)

$$C_{force,des} = C_{e,z} * (-C_{f,z})$$

$$C_{force,des} = -2,45$$

$$F_{w,des} = 1/2 * \rho * V_b^2 * C_{force,des} * A_{ref,z}$$

$$F_{w,des} = -426 \text{ kN}$$

$F_{w,des} = -13,1 \text{ kN/m}$ (force de vent distribuée selon travée typique)

2.9 Forces de Vent sur les piles

Calcul du coefficient de force de pile rectangulaire

$H_p = 40 \text{ m}$ (hauteur de pile considérée)

$w_{moy} = 5 \text{ m}$ (largeur de pile moyenne considérée)

$$A_{ref,p} = H_p * B$$

$A_{ref,p} = 200 \text{ m}^2$ (aire de référence de pile)

$$c_{f,p} = c_{f,0} * r * \psi_r \quad (\text{réf. EN 1991-1-4, eq 7.9})$$

$c_{f,0} = 2,4$ (conservateur) (réf. EN 1991-1-4, fig 7.23)

$\psi_r = 1$ (effets d'arrondis négligeables)

ψ_λ calcul selon cas 4

HP	λ
15	70
40	70
50	70

Tableau 2.4 Résultat des calculs des coefficients.

Chapitre 2 : Etudes et exécution des ouvrages d'art.

$$\lambda = 70$$

$$\psi = A/A_c$$

$$A = 200$$

$$A_c = 200$$

$$\psi = 1$$

$$\psi \lambda = 0.92$$

$$c_{f,p} = 2.21$$

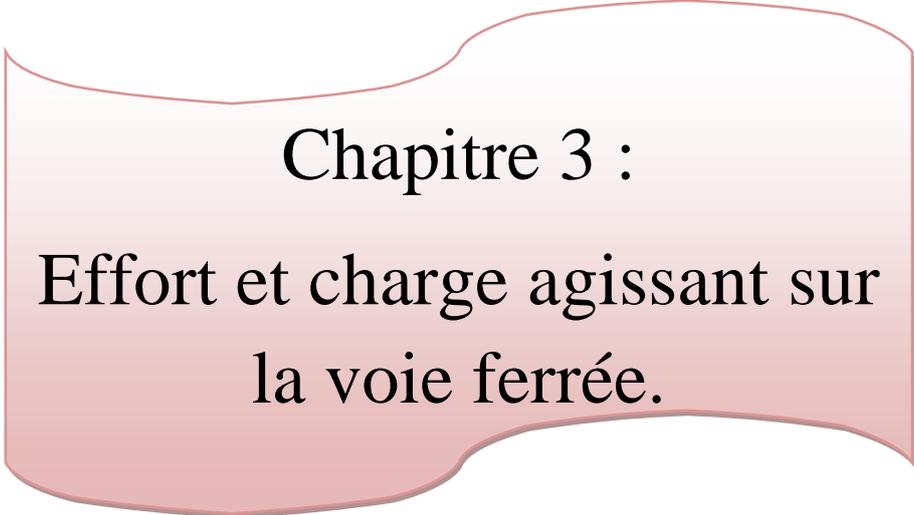
$$C_{force,pile} = C_{e,z} \cdot c_{f,p}$$

$$C_{force,pile} = 6.02$$

$$F_{w,pile} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_{force,pile} \cdot A_{ref,p}$$

$$F_{w,pile} = 499 \text{ kN}$$

$$\mathbf{F_{w,pile} = 12,5 \text{ kN/m}} \text{ (force de vent distribuée selon pile typique)}$$



Chapitre 3 :
**Effort et charge agissant sur
la voie ferrée.**

3.1 Introduction

Le chemin de fer présente deux caractéristiques fondamentales.

La première : Grâce au contact d'une roue en acier sur un rail en acier, la résistance au roulement est très faible. Notons que l'effort de traction est limité à 3 % du poids à déplacer en palier soit sept fois moins important que pour la route.

La seconde : Il assure le guidage des véhicules attelés en convoi, ce qui dans les transports est un facteur essentiel de la sécurité des circulations. La découverte de ces deux avantages, se perd dans la nuit des temps, mais ce n'est qu'au début du XIX^e siècle dans les mines de charbon en Angleterre et en Allemagne d'abord puis en France sur les lignes Saint-Etienne/Andrieux en 1828 et Saint-Etienne/Lyon en 1832 que le chemin de fer prend son essor.

3.2 Les contraintes dans la voie ferrée

Les contraintes dans la voie ferrée peuvent être classées en trois familles selon les trois directions spéciales (Fig 3.1).

- **Les efforts longitudinaux :** générés par les accélérations, les freinages et la dilatation des rails.
- **Les efforts transversaux :** générés par les circulations (force centrifuge non compensée et mouvement de lacet), par les défauts de dressage de la voie, par les mouvements éventuels du terrain et par la dilatation des rails.
- **Les efforts verticaux :** générés par les circulations, les défauts de nivellement, les mouvements éventuels du terrain et par la dilatation des rails.

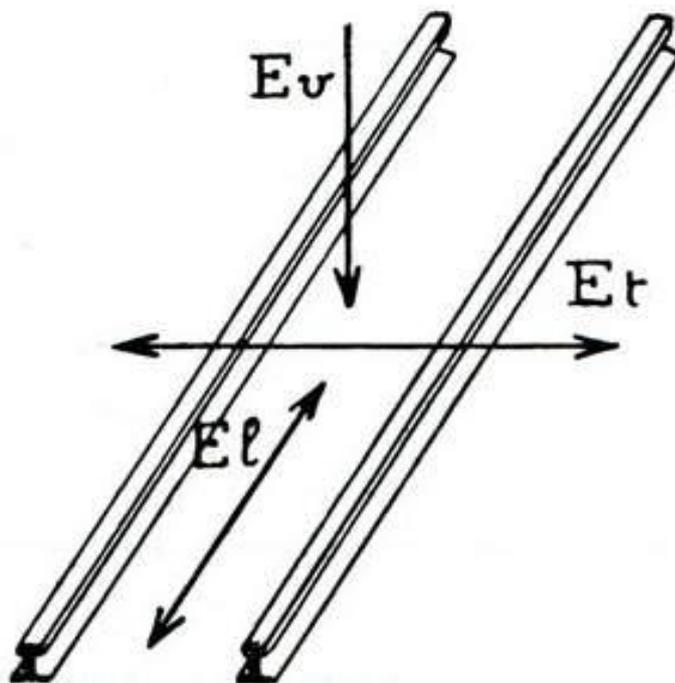


Figure 3.1 : Les différents efforts agissant sur la voie ferrée.

3.3 La résistance aux efforts verticaux

3.3.1 Considérations statiques :

La résistance statique aux efforts verticaux peut être cernée par un simple calcul de résistance des matériaux (R.D.M) qui donne des indications intéressantes sur les facteurs sur lequel on peut agir (Résistance du ballast, Densité du travelage, Masse linéaire du rail...etc.) pour améliorer une situation donnée.

3.3.2 : Considération dynamique

La résistance dynamique due aux surcharges dynamiques dues :

- A la répartition du poids de la locomotive entre les essieux qui varie par suite des dénivellations accidentelles du rail ;
- En courbe, la charge d'un essieu se répartit inégalement entre les deux roues.

3.4 La résistance aux efforts transversaux

Les efforts transversaux **Et** se produisent :

- Au contact du bourelet du rail et de la surface de roulement du bandage, ces efforts ont pour limite le produit "**f * p**" de la charge **p** de la roue par le coefficient de frottement. Dans les conditions moyennes **f=1/6**.
- Quand ces efforts **Et** sont suffisants pour vaincre le frottement, la roue glisse sur le rail et c'est alors un choc du mentonet du bandage qui se produit contre la face latérale du bourelet du rail.
- Ces efforts sont provoqués par la circulation en courbe et le mouvement de "Lacet".

3.5 Le phénomène de "Lacet"

Sous l'effort de la conicité des bandages et de l'inclinaison du rail, le véhicule (Train) prend un mouvement d'oscillation transversal ; le coefficient d'amortissement croît avec la vitesse de sorte qu'à partir d'une certaine vitesse dite critique, l'amplitude du mouvement s'amplifie au lieu de s'atténuer et les efforts transversaux augmentent ce qui risque d'entraîner la déformation de la voie.

3.6 Relation entre les efforts verticaux et transversaux

Les risques dérapage, déraillement et renversement provoqués par les efforts transversaux sont étroitement liés aux efforts verticaux.

Un essieu est un effet soumis à la fois à une charge totale **P** et transversale **H**, une roue à un effort vertical **Q** et transversal **Y**.

$$\text{Où } \begin{cases} H = Y_1 + Y_2 \\ P = Q_1 + Q_2 \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} Y_1 \neq Y_2 \\ Q_1 \neq Q_2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Chapitre 3 : Effort et charge agissant sur la voie ferrée.

Ces trois types de risques appellent les mesures de sureté les plus restrictives.

3.6.1 Le déripage

C'est le déplacement latéral de la voie (Déformation irréversible).

Il provient d'une valeur excessive du rapport H/P. Pour éviter tout risque de déformation irréversible les valeurs maximales de H admises sont :

$H_{\max} 0,85(1+P/3)$ → Cas de pose sur traverse en bois.

$H_{\max} 0,85(1,5+P/3)$ → Cas de pose sur traverse en béton.

3.6.2 Le déraillement

Il provient d'une valeur excessive de l'un des rapports Y/Q (Y_1/Q_1 ; Y_2/Q_2), Il nécessite cette valeur pendant un minimum de temps, celui nécessaire à la montée du boudin sur le rail, les règles de sécurité contre le déraillement imposent le respect de la condition $Y/Q < 0,8$ (Y_1/Q_1 ou $Y_2/Q_2 < 0,8$).

3.6.3 Le renversement ou Basculement

Il est la conséquence d'un allègement excessif des charges s'exerçant sur les roues intérieurs des essieux sous l'effet de poncées transversales (Vent, Force centrifuge).

3.7 Franchissement des courbes et efforts transversaux sur la voie

3.7.1 Les principes de l'analyse (GAUTER 1999)

L'analyse qui suit du franchissement des courbes repose sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

- La voie est inscrite dans une courbe circulaire parfaite ;
- Le véhicule est parfait ;
- Ainsi donc, il n'est tenu compte d'un types des défauts dans le système voie /Véhicule, comme les défauts d'alignement des rails, les anomalies dans le dévers de la voie, ces défauts produisent des efforts entre le rail et la roue, qui se rajoutent aux autres efforts dus aux charges du véhicule ;
- L'analyse est donc essentiellement axée sur la formulation des accélérations latérales non composées au niveau de la voie, c'est à dire entre la roue et le rail.

3.7.2 Accélération latéral centrifuge et composante de l'accélération

Lorsqu'un véhicule franchit une courbe circulaire sans dévers (Fig 3.2), il se trouve soumis à deux types d'accélérations appliquées sur son centre de gravité.

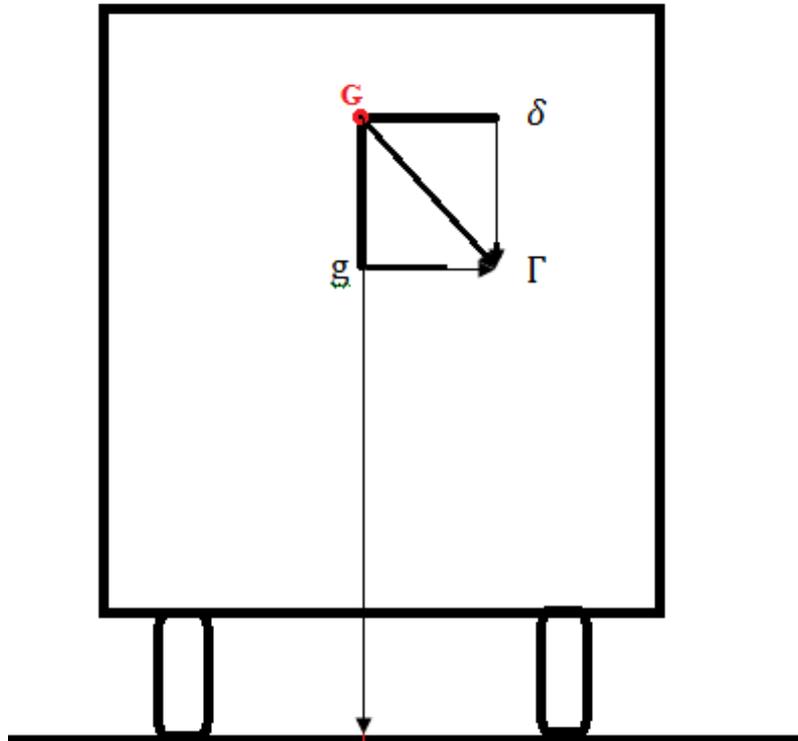


Figure3.2 : Schéma d'un véhicule sans dévers.

Où :

g : L'accélération de pesanteur est égale à $9,81 \text{ m/s}^2$;

δ : L'accélération latérale centrifuge ;

Γ : L'accélération à laquelle est soumis le véhicule est la somme vectorielle des deux accélérations considérées g et δ .

Dans ce cas précis d'une courbe sans dévers, l'accélération latérale δ_v exercée au niveau de la voie est égale à $\delta_v = \delta = \frac{v^2}{R}$ (3.2)

3.7.3 Dévers théorique optimal

Le dévers est la différence de niveau entre les deux files de rails (Surélévement de la file extérieure des rails par rapport à la file intérieure) (Fig 3.3).

Le dévers théorique optimal est celui pour lequel la composante totale s'exerçant sur le véhicule est perpendiculaire au plan de la voie, dans ce cas l'accélération latérale au niveau de la voie et parallèle à son propre plan, devient nulle ; elle est dit parfaitement compensée par le dévers optimal.

$$\delta_v = 0 \quad \longleftrightarrow \quad \delta_{lat} = \delta_v \text{ est compensée.}$$

L'angle de dévers théorique de la voie α est défini par les expressions suivantes :

$$\sin \alpha = \frac{d}{B} \quad (3.3)$$

Où :

d : Dévers théorique (mm) ;

B : Distance entre les cercles de roulement.

Dans le cas de voie à écartement international (1,435m=1435mm), $B= 1500\text{mm}$.

$$\tan \alpha = \frac{\delta}{g} = \frac{v^2}{Rg} \quad (3.4)$$

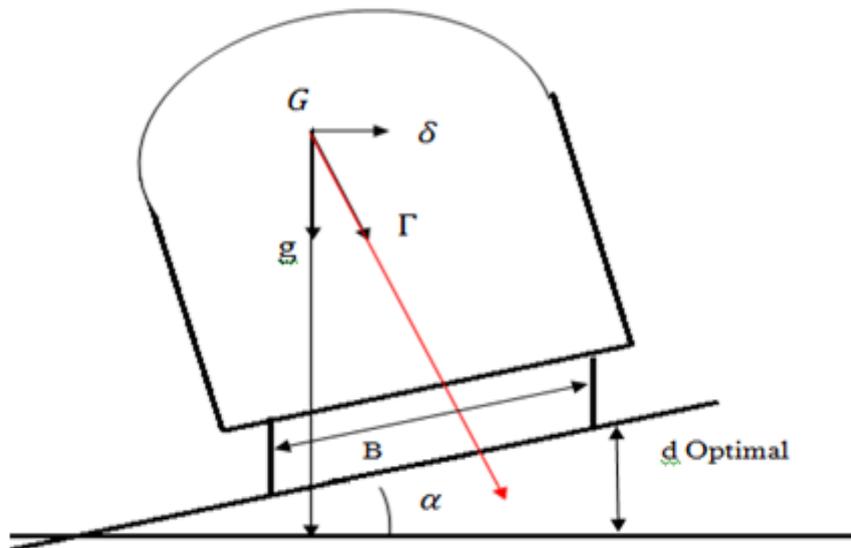


Figure3.3 : Schéma d'un véhicule avec dévers.

α : L'angle de dévers étant faible $\tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$ (α en radian).

Et dans ces conditions théorique idéals où Vitesse/Devers sont ajustés de manière à annuler l'accélération latérale au niveau de la voie, l'équilibre s'écrit :

$$\sin \alpha = \tan \alpha \Leftrightarrow \frac{d}{B} = \frac{v^2}{Rg} \quad (3.5)$$

$$\frac{d}{B} - \frac{v^2}{Rg} = 0$$

Le dévers théorique $d_{\text{opt}} = \frac{v^2 B}{Rg}$

3.8 Accélération latérale non compensée

La compensation théorique ne pouvant être atteinte que pour un seul couple Vitesse – Dévers, l'inévitable diversité de vitesse de circulation donnera lieu, sur un tronçon de voie dont le dévers d a été fixé une fois pour toutes à des accélérations latérales non compensées δ_{nc} au niveau de la voie.

Chapitre 3 : Effort et charge agissant sur la voie ferrée.

Ces effets peuvent s'exprimer sans la forme d'insuffisances ou excès de dévers selon le sens de l'écart avec le dévers réel.

3.8.1 Excès de dévers

L'accélération latérale non compensée peut être dirigée vers l'intérieur de la courbe, elle est dite négative et résulte d'un excès de dévers, les véhicules exercent alors leur effort sur le rail intérieur.

3.8.2 Insuffisance de dévers

Pour une vitesse de circulation donnée, l'insuffisance de dévers I est par définition, la différence existante entre le dévers théorique d pour cette vitesse et le dévers effectif D de la voie.

$$I = d - D \rightarrow d = I + D = \frac{v^2 B}{Rg} \quad (3.6)$$

La relation entre l'accélération compensée et l'insuffisance de dévers on peut la représenter par la formule : $\delta_{nc} = \frac{gI}{B}$ (3.7)

L'accélération latérale non compensée δ_{nc} pouvant s'exprimer comme la différence entre l'accélération latérale centrifuge et l'accélération compensée. On peut l'écrire :

$$\delta_{nc} = \frac{v^2}{13R} - g \frac{d}{B} \quad (3.8)$$

Où :

V : Vitesse (Km/h) ;

R : Rayon (m) ;

B : Ecartement de la voie (mm) ;

δ_{nc} : Accélération non compensée (m/s^2).

Cette expression relie tous les paramètres fondamentaux de l'équilibre quasi-statique d'un véhicule au niveau de la voie au cours du franchissement d'une courbe qui sont :

- La vitesse du véhicule V ;
- La géométrie de la courbe exprimée par le rayon R , le dévers d et l'écartement B entre les cercles de roulement ;
- L'accélération latérale non compensée.

Exemple d'application

$$v^2 = 13R \left(\delta_{nc} + g \frac{d}{B} \right)$$

$$v = 3,6\sqrt{R(\delta_{nc} + g\frac{d}{B})}$$

La vitesse maximale permissible sur une voie donnée étant principalement dictée par l'accélération latérale admissible, ainsi que par le dévers maximal de la voie.

$$\begin{cases} \delta_{nc} = 0,65 \left(\frac{m}{s^2}\right) \\ d = 160mm \\ B = 1500mm \\ R = 300m \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} v_{max}=81km/h \\ \text{ou bien} \\ v = 4,7\sqrt{R} \end{array}$$

3.9 Résistance de la voie

3.9.1 Considérations quasi-statiques

La résistance aux efforts verticaux est paramétrée par plusieurs coefficients

- Le module de la voie

C'est le rapport entre la charge supportée par la voie à son enfoncement.

$$K = \frac{r}{Z} \quad (3.9)$$

Où :

r : Charge uniformément répartie sur un rail,

Z : étant l'enfoncement correspondant à une charge (r) uniforme répartie sur un rail.

- Coefficient de réaction de traverse

C'est le rapport de charge d'une traverse à son enfoncement.

$$P = \frac{R}{Z} \quad (3.10)$$

Où :

R : Réaction verticale d'une traverse par file de rail ;

Z : étant l'enfoncement correspondant à la réaction vertical (R) d'une traverse par file de rail.

En désignant par la distance entre deux traverse consécutives ; on relie P et K par la relation suivante :

$$P = \frac{R}{Z} = R\frac{K}{r} = lr\frac{K}{r} = Kl \quad (3.11)$$

Où :

K : L'élasticité.

- Le coefficient de ballast

Qui traduit la pression moyenne sur la surface d'appuie de la traverse.

$$C = \frac{l}{s} = \frac{R}{zS} = \frac{P}{z} \quad (3.12)$$

Où :

P : la pression moyenne exercées sur la surface S d'appuie de la traverse.

En fait, la voie est constitué par une chaine de matériaux ayant chacun leur élasticités propre.

3.9.2 Stabilisation de la voie ferrée

Une voie récemment posée ou affectée de travaux de remaniement de ballast ne dispose que d'une partie de sa résistance définitive, elle est dite déconsolidée ou encore non stabilisée.

Sous les charges des circulations, la résistance augmente progressivement selon une loi logarithmique rapidement au début, puis lentement ensuite.

En réalité, la résistance définitive de la voie n'est acquise qu'après le passage d'environ 5000 00t (Tonne).

Toutefois, après écoulement de 1000 000t (Tonne), on peut considérer que la voie a acquis 90% de sa résistance définitive. Cette stabilité correspond à l'état de résistance du ballast qui dépend du procédé de stabilisation artificielle par engin dit « Stabilisateur dynamique » exerçant sur la voie un effort statique vertical et un effort dynamique de fréquence 25 Hz à 45Hz.

L'emploi de stabilisateur ne restitue que partiellement la stabilité de la voie, il permet d'accélérer le processus et dispense du respect du délai minimum.

D'une manière générale, on considère que la stabilisation est pratiquement acquise lorsque l'on satisfait à la double condition de délai et de tonnage supporté.

3.9.3 Confort des voyageurs

La notion de confort fait intervenir non seulement les mouvements imposés au corps humain par le véhicule, mais aussi tout l'environnement, notamment le bruit, mais le problème essentiel est celui de la fatigue provoquée par les mouvements du véhicule.

Deux cas se présentent, celui de voyageur assis et celui de voyageur debout.

Dans le cas d'un voyageur assis, ce sont les accélérations aléatoires ressenties qui interviennent essentiellement, en adoptant comme critère l'espace de temps au bout duquel le

Chapitre 3 : Effort et charge agissant sur la voie ferrée.

voyageur commence à ressentir une sensation nette de fatigue, on constate qu'un régime d'accélération de 0,05g peut être supporté pendant **5h30min** s'il agit dans un plan transversal.

Les valeurs moyennes atteintes dans les véhicules modernes circulant à vitesses élevées sont au plus de l'ordre de 0.025g.

Dans le cas d'un voyageurs debout, la situation est différente, un régime d'accélération aléatoire de 0.025g qui créent une impression désagréable qu'il convient de limiter.

Les accélérations dans le plan vertical peuvent provoquer des nausées, et le plan transversal, ce sont surtout des problèmes d'équilibre qui interviennent et sont plus aisément supportés.

Conclusion :

Le chemin de fer est devenu le transport le plus utilisé dans notre époque parmi les autres modes, dans ce travail nous avons vu la démarche scientifique de la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire, ce projet est considéré comme une expérience positive pour le développement du réseau ferré national.

En conclusion, on peut dire que le train est un facteur essentiel de rapprochement des distances qui assure le trafic des voyageurs et des marchandises entre les grandes villes dans les meilleures conditions, aussi bien d'un moyen de transport stratégique en matière de redynamisation des activités industrielles en reliant leurs sites aux principaux ports du territoire.

Bref, notre expérience durant notre stage, elle nous a appris de mieux assimiler notre formation et de déceler certaines réalités relatives au contact avec le monde d'entreprise.

Ces réalités font appel non seulement aux connaissances acquises lors de la formation, mais aussi à un certain savoir faire et savoir être.

A la fin, Comme toutes les expériences, on a trouvé beaucoup de difficultés soit dans le domaine théorique ou bien pratique mais avec un peu de curiosité et de patience on a bien passé obstacles-là, et nous voulons dire que ce projet sera mis en service les plus prochains délais.