

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire
TOUGGOURT - HASSI MESSAOUD
du PK104+000 au 126+000 avec
la conception de la gare marchandises**

Présenté par :

ABBAS Ahmed
ARDALLAH Yassine

Encadré par :

Mr BENINAL Abdelaziz
Mr HAMADI Kamel

Promotion 2019 /2020

REMERCIEMENT

Au premier lieu, nous tenons à remercier Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce projet et en particulier notre encadreur Mr BENINAL ABDEALAZIZ pour sa disponibilité permanente, et notre Co-encadreur Mr HAMADI KAMEL pour son aide et ces orientations précieuses, tout le long de ce projet.

Nos remerciements s'adressent également à toute la famille de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics ENSTP

Nous remercions aussi le groupement SSC (SAETI, SETA ET CNIC) pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage. Spécialement : MOHAMMED, MESLEM, AHMED, RABAH

Le groupe de SETI-RAIL pour leurs contributions pour acquisition les données de projet.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.

En fin nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

ABBAS - ARDALLAH

DEDICACE

Au nom d'ALLAH, le très Miséricordieux

Je remercie ALLAH le tout Puissant lément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail, ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

Je dédié ce modeste travail à :

La lumière de ma vie ma très chère mère qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, Je lui souhaite une santé et un bien-être continus.

A mon cher père qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui a toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie,
Qu'Allah te protège.

A mes sœurs : Bouchra, Raouane et Ryhane

A Mes cousins: Azzeddine, Oussama, Ahmed, Moussa, Chouaib, Moutez, Mohammed,
Faycel, Adel

Mon cher binôme Ardallah Yassine

A Tous mes amis et particulièrement : Abdeldjalil, Nassim, Oussama.d, Fadlallah,
abdelhak, abdellatif, Omar, moussa, Ihab, Abdelbari

A tout qui connaît AHMED de près ou de loins.

AHMED ABBAS

DEDICACE

Au nom d'ALLAH, le très Miséricordieux

Je remercie ALLAH le tout Puissant, clément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail, ensuite je remercie infiniment mes parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail :

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère, qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils, donc je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant. Je prie ALLAH le Miséricordieux qu'il te portera récompense, car la mienne ne sera guère complète,

Et te protège et te garde en bonne santé.

À la mémoire de mon père, qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur.

À mon frère et à mes chères sœurs.

À mon binôme et confrère : Abbas Ahmed

À tous mes Amis sans particulièrement,

Yacine, Taher Housseem . Omar, Moussa, Ihab, abdelbari, djamel

Yassine ardallah

ملخص:

هذا المشروع يدرس التصميم التفصيلي لخط السكة الحديدية الجديد الرابط بين المدينتين تقرت و حاسي مسعود المقطع المدروس يمتد من النقطة الكيلومترية 104+000 الى 126+000 مع انجاز محطة لنقل البضائع بالمدينة الجديدة حاسي مسعود.
المشروع صمم وفقا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية UIC و الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية SNTF , باستخدام برنامج الدراسة و التصميم CIVIL 3D والبرنامج GEO5

Résumé:

Le présent mémoire synthétise la conception et l'étude en avant-projet détaillé d'une nouvelle ligne ferroviaire à double voie reliant deux villes TOUGGOURT et HASSI MESSAOUD.

Le tronçon étudié démarre du PK 104+000 au PK 126+000 sur un linéaire de 22 km sur lequel on prévoit un conception d'une gare de marchandise pour la nouvelle ville de HASSI MESSAOUD.

Le projet a été élaboré suivant les normes international UIC (union international de chemin de fer) et les recommandations Algériennes de la SNTF (Société nationale de transport ferroviaire) en utilisant le logiciel de conception « le Civil 3D (Version 2019) , et logiciel GEO5.

Abstract:

This memory summarizes the design and study in detail design of a railway double track connecting two cities TOUGGOURT and HASSI MESSAOUD.

The section starts studied the PK 104+ 000 to PK126+ 000 over a length of 22km On which provides for the completion of a terminal for the transport of goods in the new city of HASSI MESSAOUD.

The project was developed according to international standards UIC(International Railway Union) and the Algerian SNTF recommendations of the (national railway company) using the design program "Civil 3D (Version 2019) and GEO5 software.

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I : ANALYSE DES METHODES DE PROTECTION CONTRE L'ENSABLEMENT : | |
| I.1. INTRODUCTION : | 2 |
| I.2. PROTECTION CONTRE L'ENSABLEMENT : | 3 |
| I.3. LES TECHNIQUES MECANIQUES DE LA LUTTE CONTRE ENSABLEMENT DANS LA REGION (THM) : | 3 |
| I.3.1. Technique de la palissade : | 3 |
| I.3.1.1. Le rehaussement de la palissade : | 6 |
| I.3.1.2. Le quadrillage : | 7 |
| I.3.1.3. L'installation des palissades : | 8 |
| I.3.2. LA TECHNIQUE DE DRAA : | 8 |
| I.4. FIXATION PHYSICO-CHIMIQUE (TECHNIQUE DU MULCH) : | 13 |
| I.5. FIXATION BIOLOGIQUE : | 14 |
| I.6. CONCLUSION : | 14 |
| CHAPITRE II : LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIENS : | |
| II.1. INTRODUCTION : | 15 |
| II.2. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN : | 16 |
| II.2.1. L'histoire des chemins de fer d'Algérie : | 16 |
| II.2.2. Reseau actuel en algerie : | 18 |
| II.3. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES : | 18 |
| II.3.1. La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes : | 19 |
| II.3.2. La rocade ferroviaire des Hauts Plateaux : | 19 |
| II.3.3. Ligne Minière : | 19 |
| II.3.4. Pénétrante Ouest : | 19 |
| II.3.5. Pénétrante Est (El Gourzi – Hassi Messaoud) : | 19 |
| II.3.6. Pénétrante Centre : | 19 |
| II.3.7. Boucle Sud Est : | 20 |
| II.4. CONCLUSION : | 20 |
| CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET : | |
| III.1. INTRODUCTION : | 21 |
| III.2. LOCALISATION DE PROJET : | 21 |
| III.3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : | 22 |
| III.3.1. La ville de Hassi Messaoud..... | 22 |
| III.3.2. Climat de la région. | 22 |
| III.3.3. Infrastructure de base de la wilaya de Ouargla : | 22 |
| III.3.4. Infrastructure aéroportuaire..... | 23 |
| III.4. DESCRIPTION GLOBALE DE PROJET : | 23 |
| III.5. AVANTAGES DU PROJET : | 23 |
| III.6. CARCTERISTIQUE DE NOTRE PROJET : | 23 |
| III.7. CONCLUSION. | 24 |

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE :

| | |
|--|----|
| IV.1. INTRODUCTION : | 25 |
| IV.2. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE : | 25 |
| IV.2.1 : les rails : | 26 |
| IV.2.1.1. Caractéristiques géométriques du rail UIC 60 : | 28 |
| IV.2.1.2. Écartement de rails : | 28 |
| IV.2.1.3. Assemblage de rails : | 29 |
| IV.2.2. LES TRAVERSESES : | 30 |
| IV.2.3. LES ATTACHES : | 32 |
| IV.2.3.1. Les types des attaches : | 32 |
| IV.2.4. Les semelles : | 32 |
| IV.2.5. Le ballast : | 33 |
| IV.3. FIXATION D'UNE VOIE FERREE CLASSIQUE : | 34 |
| IV.4. POSE DE LA VOIE | 34 |
| IV.4.1. Pose provisoire : | 34 |
| IV.4.2. Relevage | 34 |
| IV.4.3. Le bourrage | 34 |
| IV.4.4. Dressage définitif de la voie : | 34 |
| IV.4.5. Eclissage : | 35 |
| IV.4.6. Réglage du ballast : | 35 |
| IV.4.7. Procédé de soudure du rail : | 35 |
| IV.4.8. Dilatation du rail | 35 |
| IV.5. CONCLUSION : | 36 |
| CHAPITRE V : TRACÉ EN PLAN : | |
| V.1. INTRODUCTION : | 37 |
| V.2. LE TRACÉ EN PLAN : | 37 |
| V.2.1. Conditions et règles de tracé : | 37 |
| V.2.2. Les éléments du tracé en plan : | 37 |
| V.2.3. Les conditions de raccordement : | 38 |
| V.2.4. Parametres de conception de la voie : | 38 |
| V.2.4.1. Le rayon minimal : | 38 |
| V.2.4.2. Dévers : | 39 |
| V.2.4.3. Insuffisance de dévers I : | 41 |
| V.2.4.4. Excès de dévers E : | 41 |
| V.2.4.5. La longueur de courbe de raccordement (clothoïde) : | 41 |
| V.2.4.6. Variation de dévers : | 43 |
| V.2.4.7. Variation de l'insuffisance de devers dans le temps (DI/Dt) : | 44 |
| V.3. LES RESULTATS DE CALCUL POUR NOTRE AXE EN PLAN : | 46 |
| V.4. Exemple de calcul d'axe : | 47 |

| | |
|---|----|
| CHAPITRE VI : PROFIL EN LONG : | |
| VI.1. INTRODUCTION : | 50 |
| VI.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG : | 50 |
| VI.3. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG : | 51 |
| VI.4. LE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG : | 51 |
| VI.5. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN : | 51 |
| VI.6. DÉTERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG : | 52 |
| VI.7. APPLICATION DE PROJET : | 53 |
| CHAPITRE VII : ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE : | |
| VII.1. INTRODUCTION : | 54 |
| VII.2. ETUDE GÉOLOGIQUE : | 54 |
| VII.2.1. Introduction : | 54 |
| VII.2.2. Contexte géologique général de la région : | 54 |
| VII.2.3. Contexte géologique local : | 55 |
| VII.3. ETUDE GÉOTECHNIQUE : | 56 |
| VII.3.1. Introduction : | 56 |
| VII.3.2. Campagne de reconnaissance géotechnique : | 56 |
| VII.3.3. Resultats des essais : | 57 |
| VII.3.4. Conditions d'utilisation des sols en remblais [9]: | 64 |
| VII.3.5. Classification des sols : | 64 |
| VII.4. CONCLUSION : | 65 |
| CHAPITRE VIII : TERRASSEMENTS ET ASSISE DE VOIE : | |
| VIII.1. TERASSEMENTS : | 66 |
| VIII.1.1. Introduction : | 66 |
| VIII.1.2. Deblais : | 66 |
| VIII.1.3. Remblais : | 67 |
| VIII.1.4. Reutilisation des sols en remblais : | 69 |
| VIII.2. DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE : | 70 |
| VIII.2.1. Introduction : | 70 |
| VIII.2.2. Les différentes couches constituant l'assise : | 70 |
| VIII.2.2.1. Ballast : | 71 |
| VIII.2.2.2. Sous couche : | 71 |
| VIII.2.2.3. Couche de forme : | 71 |
| VIII.2.3. Classe de portance des plates formes : | 72 |
| VIII.2.4. Calcul de l'épaisseur minimale d'assise ferroviaire : | 73 |
| VIII.2.5. Application au projet : | 74 |
| VIII.2.6. Cubatures : | 75 |
| VIII.3. CONCLUSION: | 75 |
| CHAPITRE IX : ETUDE HYDRAULIQUE : | |
| IX.1. INTRODUCTION : | 76 |
| IX.2. HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE : | 76 |
| IX.2.1. Le climat. : | 76 |
| IX.2.2. La température. : | 76 |
| IX.2.3. Humidité de l'air : | 76 |

| | |
|--|----|
| IX.2.4. Le vent : | 77 |
| IX.2.5. Pulviometrie : | 77 |
| IX.2.6. Caractéristiques morphologiques du bassin versant. | 78 |
| IX.3. ETUDE HYDRAULIQUE : | 79 |
| IX.3.1. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) : | 79 |
| IX.3.2. Temps de concentration[t_c]. | 80 |
| IX.3.3. Coefficient de ruissellement[c] [10] | 81 |
| IX.4. APPLICATION AU PROJET : | 81 |
| IX.5. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES : | 80 |
| IX.5.1. Dimensionnement des dalots[11] : | 82 |
| IX.5.2. Dimensionnement des buses : | 84 |
| IX.5.3. Vérification conditions d'auto curage : | 85 |
| IX.5.4. Dimensionnement des fossés [10]: | 85 |
| CHAPITRE X : PROFIL EN TRAVERS : | |
| X.1. INTRODUCTION : | 87 |
| X.2. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS : | 87 |
| X.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE : | 88 |
| X.4. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES DE NOTRE PROJET : | 89 |
| CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE MARCHANDISE ET LES ATELIERS : | |
| XI.1. INTRODUCTION : | 90 |
| XI.2. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES : | 90 |
| XI.3. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES : | 90 |
| XI.4. GARAGE FRANC : | 90 |
| XI.6. HEURTOIR : | 92 |
| XI.7. LOCALISATION DE LA GARE : | 92 |
| XI.8. PLAN DE LA GARE : | 92 |
| XI.9. GEOMETRIE DE TRACER : | 93 |
| CHAPITRE XII : SIGNALISATION : | |
| XII.1. INTRODUCTION : | 94 |
| XII.2. ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION : | 94 |
| XII.3. IMPLANTATION DES SIGNAUX : | 94 |
| XII.4. LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME GENERAL : | 95 |
| XII.5. TYPE DE SIGNALISATION : | 95 |
| XII.5.1 La signalisation d'arrêt : | 95 |
| XII.5.2 La Signalisation D'annonce D'arrêt | 96 |
| XII.5.3. La Signalisation de limitation de vitesse : | 96 |
| CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF : | |
| XIII.1 DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF | 98 |
| CONCLUSION GENERALE | 99 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : Photo prise de la ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud (Djamaa)..... | 2 |
| Figure I.2: schéma ' Technique de la palissade' | 3 |
| Figure I.3 : Dunes d'arrête (FAO, 2010)..... | 4 |
| Figure I.4 : dunes de déviation (FAO, 2010) | 4 |
| Figure I.5 : palissade de palmier | 5 |
| Figure I.6 : L'utilisation de plaques de fibrociment (CRSTRA, 2015)..... | 6 |
| Figure I.7 : L'utilisation de grillage synthétique..... | 6 |
| Figure I.8 : L'installation d'un réseau de palissades disposées en échiquier (quadrillage)..... | 7 |
| Figure I.9 : Comportement dynamique de la circulation éolienne en présence d'un obstacle (d'après Mainguet et Remini, 2004) | 8 |
| Figure I.10 : Conception et disposition des Drâas perpendiculairement..... | 9 |
| Figure I.11 : Exemple de Draas au niveau de la route reliant Touggourt à Ouargla..... | 10 |
| Figure I.12 : Conception et disposition des Drâas en biais | 10 |
| Figure I.13 : Technique de Venturi mis en place sur la route Touggourt-Djelfa..... | 11 |
| Figure I.14 : Conception et disposition des Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel..... | 11 |
| Figure I.15 : Exemple d'application du dispositif de Dras perpendiculaire au vent dominant (route Touggourt-Djelfa)..... | 11 |
| Figure I.16 : Méthode des cônes EL METHANA | 12 |
| Figure I.17 : Au bord de la route..... | 12 |
| Figure I.18 : L'efficacité de la méthode des cônes..... | 13 |
| Figure I.19 : Technique du Mulch..... | 13 |
| Figure I.20 : l'installation d'une végétation pérenne | 14 |
| Figure II.1 : Le réseau ferré algérien et ses perspectives de développement | 15 |
| Figure II.2 : L'histoire des chemins de fer d'Algérie..... | 18 |
| Figure II.3 : Plan de développement des chemins de fer en Algérie..... | 20 |
| Figure III.1 : localisation du notre projet | 21 |
| Figure III.2 : présentation de la zone d'étude..... | 22 |
| Figure IV.1 : une voie ballastée..... | 25 |
| Figure IV.3 : Le rail Vignole..... | 26 |
| Figure IV.4 : Rail à gorge..... | 27 |
| Figure IV.5 : Rail à double bourrelet | 27 |
| Figure IV.6: Section du rail Vignole 60E1 | 28 |
| Figure IV.07 : Écartement des rails..... | 28 |
| Figure IV.08 : Assemblage par éclissage | 29 |
| Figure IV.09 : Assemblage par des soudures | 30 |
| Figure IV.10 : traverse en bois | 31 |
| Figure IV.11: traverse en métal..... | 31 |
| Figure IV.12: traverse en béton bi-bloc..... | 32 |
| Figure IV.13 : traverse en béton monobloc..... | 32 |
| Figure IV.14 : Les types des attaches..... | 32 |
| Figure IV.15 : Les attache utilisé dans notre projet. | 32 |

| | |
|---|----|
| Figure IV.16 : La semelle..... | 33 |
| Figure IV.17 : Voie ballasté | 33 |
| Figure IV.18 : fixation d'une voie ferrée classique..... | 34 |
| Figure V.1 : Les éléments du tracé en plan..... | 37 |
| Figure V.2 : Les Forces agissent sur le train en courbe | 39 |
| Figure V.3 : courbe de raccordement..... | 43 |
| Figure V.4 : Représente variation du dévers | 44 |
| Figure V.5 : Variation de l'insuffisance de devers dans le temps..... | 44 |
| Figure V.6 : caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements..... | 47 |
| Figure VI.1: représente les éléments du profil en long | 50 |
| Figure VI.2 : éléments de profil en long..... | 52 |
| Figure VII.1 : situation du secteur d'étude sur la carte de zonage sismique du territoire nationale | 55 |
| Figure VII.2 : contexte géologique local..... | 55 |
| Figure VII.3 : photos de sondage SC N° :03 (source : rapport géotechnique) [2]..... | 57 |
| Figure VIII.1: Coup schématique d'un fossé selon Ritchie..... | 66 |
| Figure VIII.2 : Résultats de stabilité d'un déblai avec logiciel GEO5..... | 68 |
| Figure VIII.3 : Résultats de stabilité d'un remblai avec logiciel | 69 |
| Figure VIII.4 : Classes des sols selon leurs aptitudes à réutilisation [3]..... | 70 |
| Figure VIII.5: les différentes couches de la structure d'assises..... | 70 |
| Figure VIII.6 : les différentes épaisseurs d'assise ferroviaire [3]..... | 73 |
| Figure VIII.7 : Les différentes épaisseurs de voie | 75 |
| Figure IX.1 : dimensions du dalot..... | 82 |
| Figure IX.2 : Coup schématique d'un fossé..... | 85 |
| Figure X.1 : profil en travers type | 89 |
| Figure XI.1 : Garage franc | 90 |
| Figure XI.2. Longueur utile..... | 91 |
| Figure XI.3 : représente un heurtoir | 92 |
| Figure XI.4 : les zones de la gare marchandise..... | 92 |
| Figure XII.1 : Exemple d'une signalisation lumineuse..... | 94 |
| Figure XII.2 : Fonctionnement du système général de signalisation | 95 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau V. 1 : Valeur minimale de l'alignement recommandé par [1]..... | 38 |
| Tableau V. 2 : valeur limite du dévers pratique recommandé par [1]..... | 40 |
| Tableau V.3 : valeur limite de l'insuffisance de dévers I selon [1] | 41 |
| Tableau V.4 : valeur limite pour l'excès de dévers selon [1]..... | 41 |
| Tableau V.5 : valeur limite de variation de dévers en fonction de temps[1] | 43 |
| Tableau V.6 : valeur limite de variation de dévers en fonction de la longueur [1]..... | 44 |
| Tableau V.7 : valeur limite de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps [1].. | 44 |
| Tableau V.8 : Récapitulatif des valeurs limite de paramètres d'axe | 45 |
| Tableau V.9 : Les résultats de calcul pour notre axe en plan | 46 |
| Tableau VI.1 : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter [1]..... | 51 |
| Tableau VII. 1 : les essais de reconnaissance géotechnique (essais in situ) [2]..... | 56 |
| Tableau VII. 2 : les essais de reconnaissance géotechnique (essais au laboratoire) [2]..... | 57 |
| Tableau VII. 3 : Description lithologique des sondages [2]..... | 58 |
| Tableau VII. 4 : Description lithologique de puits [2]. | 60 |
| Tableau VII. 5 : Résultats des sondages pressiométriques [2]..... | 60 |
| Tableau VII. 6 : Tableau récapitulatif de l'essai PDL [2]..... | 61 |
| Tableau VII. 7 : Résultats des essais [2]. | 62 |
| Tableau VII. 8 : Résultats des essais cisaillement [2]..... | 63 |
| Tableau VII. 9 : Résultats des essais œdométriques [2]..... | 63 |
| Tableau VIII.1 : les valeurs du dimensionnement sont incluses pour les fossés selon Ritchie (1963) | 66 |
| Tableau VIII.2 : Paramètres des couches du remblai [2]. | 69 |
| Tableau VIII.3 : la détermination classe de portance de la plateforme [3]. | 72 |
| Tableau VIII.4 : les valeurs de facteur (E a b c d f g) [3]. | 73 |
| Tableau VIII.5 : les différentes paramètres de notre projet..... | 74 |
| Tableau VIII.6 : Volume de terrassements et des couches de la voie..... | 75 |
| Tableau IX.1 : Températures moyennes mensuelle [4]..... | 76 |
| Tableau IX.2 : Humidités relatives mensuelles en % [4]..... | 76 |
| Tableau IX.3 : Vitesses du vent mensuelles en m/s [4]. | 77 |
| Tableau IX.4 : Ajustement à une loi log-normale des pluies annuelles [4]. | 77 |
| Tableau IX.5 : Répartition des pluies mensuelle station de Ouargla [4]..... | 77 |
| Tableau IX.6 : Les pluies max journalières de station de Touggourt [4]..... | 78 |
| Tableau IX.7 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants. | 78 |
| Tableau IX.8 : Les pluies journalières maximales [4]. | 79 |
| Tableau IX.9 : Coefficient C1 dépendant de la pente du bassin versant..... | 81 |
| Tableau IX.10 : Coefficient C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité)..... | 81 |
| Tableau IX.11 : Coefficient C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant..... | 81 |
| Tableau IX.12 : Caractéristiques morphologiques du BV1 | 81 |
| Tableau IX.13 : Valeurs des débits de projet calculés. | 82 |
| Tableau IX.14 : Résultats de calcul de dimensionnement des dalots[11]..... | 83 |
| Tableau IX.15 : Résultats de calcul de dimensionnement des buses [10]..... | 84 |

| | |
|--|----|
| Tableau IX.16: vérification conditions d'auto curage [11] | 85 |
| Tableau XI.1: Tableau représentatif pour Les longueurs utile d'une voie de stationnement pour notre projet selon la zone. | 91 |
| Tableau XI.2: Tableau représentatif pour les caractéristiques et le nombre des ADV [5]..... | 93 |
| Tableau XI.3: Tableau représentatif pour les courbes avec la longueur. | 93 |
| Tableau XII. 1 : les signalisations d'arrêt | 95 |
| Tableau XII. 2 : Les signalisations d'avertissement d'arrêt..... | 96 |
| Tableau XII. 2 : La Signalisation de limitation de vitesse..... | 96 |

**INTRODUCTION
GENERALE**

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur des Travaux Publics est par excellence un secteur porteur de croissance économique et créateur d'emplois comme il participe à la redynamisation des autres secteurs économiques. Il constitue de ce fait une base incontournable pour le développement de l'investissement national et étranger.

Pour consolider cette position, le secteur des travaux publics est contraint de déployer des efforts considérables de développement, se traduisant par de très nombreux projets initiés à travers le pays, qui sont indispensables à la réussite du processus de développement national. Les étudiants de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics « ENSTP » sont appelés à élaborer un projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en travaux publics.

Parmi les domaines qui relèvent des travaux publics, l'élaboration d'infrastructure ferroviaire qui a une importance particulière dans notre pays, et présente un des moyens de transport les plus fréquentés grâce aux grands avantages qu'il offre ainsi il est considéré comme l'une des bases de la politique de l'aménagement du territoire.

Dans le présent mémoire on s'intéresse à l'étude en APD d'un tronçon ferroviaire de PK 104+000 à PK 126+000 reliant TOUGGOURT à HASSI MESSAOUD avec la conception de la gare de marchandises de la nouvelle ville HASSI MESSAOUD , passant par les différentes parties de l'étude commençant par la géométrie, la géologie, la géotechnique et l'assainissement.

CHAPITRE I : ANALYSE DES METHODES DE PROTECTION CONTRE L'ENSABLEMENT

I.1. INTRODUCTION.

I.2. PROTECTION CONTRE L'ENSABLEMENT.

**I.3. LES TECHNIQUES MECANIQUES DE LA LUTTE CONTRE ENSABLEMENT
DANS LA REGION (THM).**

I.4. FIXATION PHYSICO-CHIMIQUE (TECHNIQUE DU MULCH).

I.5. FIXATION BIOLOGIQUE.

I.6. CONCLUSION.

I.1. INTRODUCTION :

L'ensablement est un aspect très important qui concerne non seulement le constructeur des routes et de voies ferrées, mais aussi l'agronome, l'urbaniste, l'industriel, le météorologue et le géographe. La compréhension de ce phénomène très complexe exige des investigations de recherche et d'expérimentation pour le maîtriser du fait que la matière est toujours sujette aux aléas de la nature et recouvre à chaque fois ses droits et son équilibre.



Figure I. 1 : Photo prise de la ligne ferroviaire Touggourt-Hassi Messaoud (Djamaa)

Actuellement, il n'existe pas de technique approuvée ou de méthode basée sur une théorie physico-mathématique tendant à lutter efficacement contre le phénomène d'ensablement des voies de communication ou du moins à réduire ses effets à des coûts raisonnables. Par contre, il existe un certain nombre de recommandations et de règles de l'art issues particulièrement de l'expérience millénaire locale.

En effet, la valorisation de ce patrimoine qui a permis à l'homme de vaincre ce phénomène cyclique et de détourner cette énergie éolienne fantastique pour ses activités agricoles et urbanistiques, nous nous sommes intéressés dans le cadre de master à présenter une approche importante pour protéger les tracés d'infrastructures linéaires.

En outre, le phénomène d'activation ne touche pas uniquement les régions de Sahara Algérien mais aussi d'autres régions de ce monde tel que la région du golfe arabe et la capitale mauritanienne, entres autres.

Dans le cadre de notre Projet de Fin d'étude relatif à l'étude APD de la voie ferrée reliant les villes de TOUGGOURT et de HASSI MESSAOUD, nous avons observés la présence d'importantes dunes de sable de part et d'autre de la RN03 entre TOUGGOURT et HASSI MESSAOUD, c'est-à-dire sur la zone ou passera le tracé de la nouvelle ligne ferroviaire. La protection des terres par le couvert végétal est faible ce qui induit des mouvements dunaires et un risque d'ensablement élevé.

Tout le long de la RN3, on se retrouve en plein couloir de vent de sable ou l'on observe des mouvements sableux particulièrement entre les mois de février et mai. Le sable poussé par le vent glisse sur la route et vient s'amasser dès qu'il y a un obstacle.

I.2. PROTECTION CONTRE L'ENSABLEMENT :

La présence de dunes mobiles a été observée tout au long du corridor de la nouvelle ligne ferroviaire où s'insèrent environ les 80 premiers kilomètres du tracé complet du projet. Ces accumulations de sable se déplacent facilement avec l'effet du vent, même interrompant les lignes de communication.

Pour éviter que les sables n'envahissent la nouvelle ligne de chemin de fer, les mesures suivantes sont proposées :

❖ Stabilisation par moyens mécaniques :

- Le profilage
- Technique de palissade
- La technique de Draas.

❖ Fixation biologique :

- Mise en place de la végétation.

I.3. LES TECHNIQUES MECANQUES DE LA LUTTE CONTRE ENSABLEMENT DANS LA REGION (THM) :

I.3.1. Technique de la palissade :

La palissade est un obstacle linéaire opposé au vent dominant pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation du sable en mouvement. Cette accumulation aboutit à la formation d'une dune artificielle qui constitue la première phase de la lutte contre l'ensablement.

Les principales caractéristiques des palissades sont :

- Être perméable au vent afin d'en ralentir la vitesse et permettre le dépôt du sable sans provoquer de phénomène tourbillonnaire. Cette perméabilité favorise l'accumulation du sable de part et d'autre de la palissade dont la surface des vides est comprise entre 30 et 40 % de sa surface totale.
- Avoir une hauteur allant de 1 mètre et 1,20 mètre. Une taille plus importante ne se justifierait pas puisque 95% du sable déplacé par le vent l'est dans les 30 premiers centimètres au-dessus de la surface du sol.

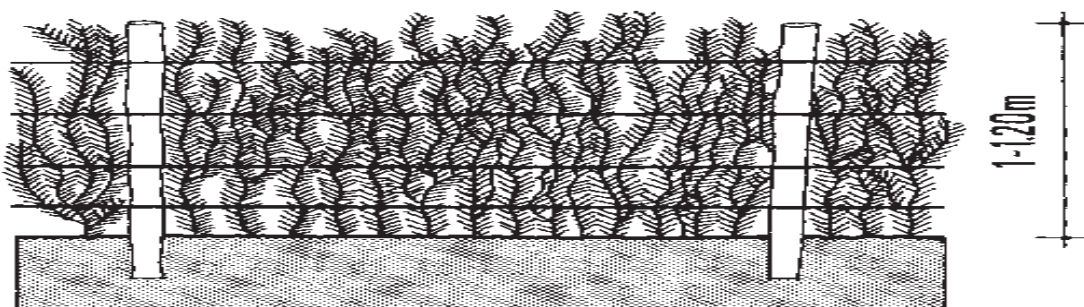


Figure I.2: schéma Technique de la palissade'

- **Arrêter le sable** : qui est destinée à arrêter la progression de sable. Elle se forme à partir d'une palissade orientée perpendiculairement à la direction du vent le plus dangereux

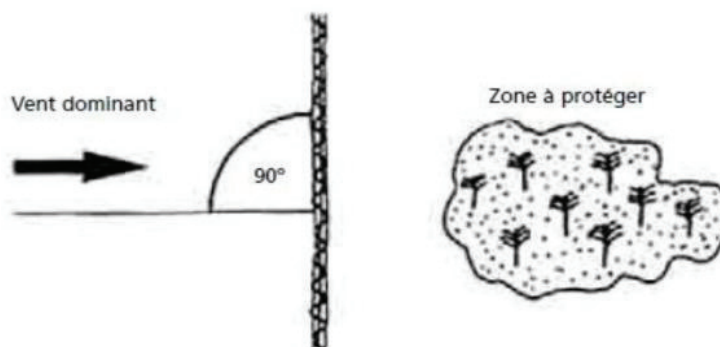


Figure I.3 : Dunes d'arrêt (FAO, 2010)

- **Dévier le sable** : utilisée pour dévier la progression du sable dans une autre direction que celle du vent dominant. Elle se forme à partir d'une palissade dont l'orientation fait un angle de 120 à 140° avec la direction moyenne du vent dominant.

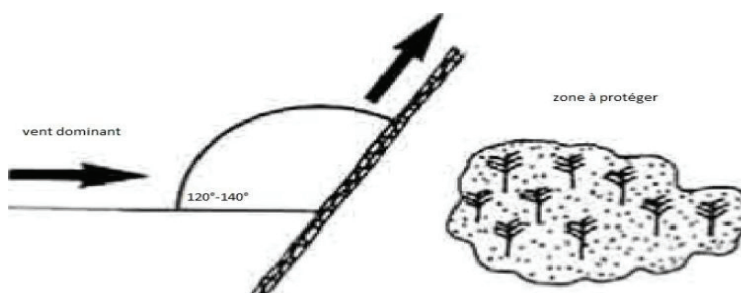


Figure I.4 : dunes de déviation (FAO, 2010)

Pour la confection de palissades, différents types de matériaux peuvent être utilisés dont le choix dépend des conditions d'approvisionnement et du prix de revient :

❖ **L'utilisation de palmes :**

Palmes sèches : les palmes sèches constituent le stock des résidus morts, récoltés après une opération de nettoyage des pieds de palmiers. Elles se présentent sous forme de feuilles de palmes de 1 à 3m de longueur et 5 à 7cm de largeur. La palme sera utilisée complète c'est-à-dire la tige et les feuilles. Ce matériel végétal sera tressé et attaché solidement avec du fil de fer.



Figure I.5 : palissade de palmier

Lorsque le terrain est constitué d'un sol friable ou trop graveleux, on creuse un fossé de 40 cm de profondeur et de 30 cm de large pour y enterrer la base des palmes.

Si le sol est consistant, il est préférable de construire d'abord une levée de terre d'environ 80 cm de hauteur qui supportera la palissade. Les palmes sont enterrées jusqu'à 30 cm dans le fossé ou dans la levée de terre. Elles seront disposées par mètre linéaire comme suit :

- 7 à 9 palmes dressées verticalement et en quinconce de part et d'autre à l'intérieur du fossé,
- 8 à 10 palmes, inclinées à droite ou à gauche par rapport à la verticale et enchevêtrées les unes aux autres.
- 2 palmes, horizontalement, de part et d'autre des autres et fixées à celles-ci, au sommet de la palissade, par des nervures de palmes vertes

❖ **L'utilisation de plaques de fibrociment :**

Si on se heurte à des difficultés d'approvisionnement en palmes, on est contraint d'utiliser d'autres matériaux pour la confection des palissades. Les plaques en fibrociment ont permis l'édification de palissades très efficaces.

Les plaques ont une longueur de 1,25 m et une largeur de 0,92 m, et une épaisseur de 6 mm. Ces plaques sont perforées de 16 trous de 3 cm de diamètre répartis par rangées de quatre trous, ce qui permet d'obtenir une légère perméabilité de la plaque.

La pose des plaques est effectuée, comme pour les palmes, selon la consistance du terrain, soit dans un fossé, soit sur une levée de terre. Ainsi, Chaque plaque est enfouie verticalement, sur une longueur de 0,25 m de telle façon que sa hauteur visible soit 1 mètre. Un espace de 4 cm doit être laissé entre deux plaques successives pour permettre de diminuer la pression du vent sur la palissade et de contribuer à sa perméabilité.



Figure I.6 : L'utilisation de plaques de fibrociment (CRSTRA, 2015).

❖ **L'utilisation de grillage synthétique :**

Plusieurs grillages synthétiques existent sur le marché. La pose du grillage nécessite l'utilisation de piquets en bois de 1.50 m de longueur et de 0.15 m de diamètre à la fin de bout. Ces piquets sont destinés à soutenir le grillage, ils sont enfouis jusqu'à 30 cm dans le sol et rattachés au grillage par du fil de fer recuit. Le bord inférieur du grillage est enfoui sur 10 à 15 cm dans une levée de terre de même hauteur pour empêcher tout affouillement de la base de la palissade.



Figure I.7 : L'utilisation de grillage synthétique.

I.3.1.2. Le rehaussement de la palissade :

❖ **Cas des palmes :**

Lorsque la palissade est constituée par des palmes, les manipulations de rehaussement sont difficiles ou parfois impossibles ; généralement, on en érige une nouvelle avec les mêmes matériaux sur la dune artificielle en voie de formation. Il s'agira de suivre la crête de la première palissade et d'en confectionner une nouvelle identique à la première.

❖ **Cas des plaques de fibro-ciment :**

Le rehaussement de cette palissade ne nécessite pas l'utilisation de nouvelles plaques ; il consiste à extraire partiellement celles qui sont en place, une à une, jusqu'à ce qu'il n'en reste plus que 25 cm enfouis dans le sable et que la hauteur visible soit de 1 mètre. La distance séparant deux plaques successives doit rester égale à 4 cm.

I.3.1.3. Le quadrillage :

Si les vents viennent de directions autres que celle du vent dominant, la technique qui peut être utilisée pour lutter contre l'ensablement consiste en l'installation d'un réseau de palissades disposées en échiquier et portant le nom de quadrillage ou corroyage.

Le quadrillage est un réseau de lignes d'arrêt délimitant entre elles des carrés ou des losanges.

La nature et la technique de mise en place sont similaires à celles des palissades. En effet, chaque élément de clayonnage fonctionne comme une palissade au-delà de laquelle se dépose le sable. Les unités d'espace à l'intérieur du clayonnage se combleront progressivement au fur et à mesure qu'elles piègent le sable. Cette technique Elle est employée dans le cas où les directions des vents sont variables.



Figure I.8 : L'installation d'un réseau de palissades disposées en échiquier (quadrillage)

Les dimensions des mailles du quadrillage varient en fonction de l'intensité du vent à neutraliser, des pentes des versants et de la forme de la dune. Ainsi, les mailles sont d'une façon générale, de dimensions plus faibles sur la face au vent que sur celle située sous le vent et dans les dépressions.

A titre d'exemple, les dimensions moyennes des mailles utilisées sur les dunes pré-sahariennes du Maroc sont uniformément de 10 x 15 m sur les hauts de dunes, 3 x 3 m sur les versants, 4 x 4 m dans les dépressions. (CRSTRA, 2015).

I.3.1.4. L'installation des palissades :

Une fois le choix des matériaux définis et les traitements déterminés on procédera éventuellement aux procédés de lutte mécanique. La concrétisation de la fixation mécanique doit tenir compte des phases suivantes :

- Piquetage et tracé de la palissade
- Ouverture de fossé servant d'assise pour enterrer partiellement la palissade
- Pose des matériaux à la verticale et perpendiculaire à la direction des vents
- Fermeture des lignes ouvertes (tassement).

I.3.2. LA TECHNIQUE DE DRAA :

Le Drâa est constitué par un tas de sable de forme oblongue stabilisé par des matériaux grossiers et/ou des pierres. Ces barrages doivent être orientés d'après la configuration du terrain et l'action des vents dominants.

Il faut ménager entre ces Drâas, des couloirs longitudinaux et transversaux dont la forme, l'emplacement, le nombre et le volume obligent les vents dominants à travailler contre leurs impulsions naturelles et à chasser le sable qui, sans eux, s'accumulerait sur la route. (CRSTRA, 2015).

✓ Comportement dynamique de la circulation éolienne en présence d'un obstacle (Drâas)

Le vent qui rencontre un obstacle le contourne par le haut pour redescendre derrière lui et reprendre sa route. Il se forme devant et derrière l'obstacle une masse d'air comprimé sur lequel glissent et s'accélèrent les filets d'air. Selon Mainguet et Remini (2004), l'effet d'un obstacle sur un fluide donne « naissance » à des convergences et à des divergences. (CRSTRA)

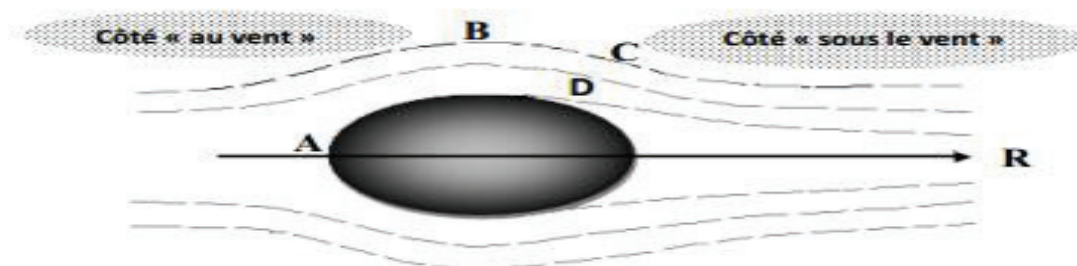


Figure I.9 : Comportement dynamique de la circulation éolienne en présence d'un obstacle (d'après Mainguet et Remini, 2004)

- A l'avant, au point A appelé point d'arrêt ; l'aire amont de l'obstacle, la pression est maximale et la vitesse est faible ou nulle.
- De A en B, selon le théorème de Bernoulli, la pression décroît, la vitesse augmente et les filets d'air y rencontrent une masse d'air comprimé qui leur sert de rampe :

Ils escaladent l'obstacle, sur lequel ils se compriment et accélèrent. C'est une aire d'érosion et de transport ;

- L'arrière au point C, une seconde masse d'air sert de rampe de descente, créant à une distance égale à 2 fois la hauteur de l'obstacle (on dit « $2h$ ») et sur une profondeur de $5h$, une zone tourbillonnaire plus desséchante que le vent normal (Mazerand, 1971 In Soltner ,2005) ;
- A l'aval de l'aire du sillage, les vents de sable après avoir été déviés par les obstacles y retrouvent leur direction initiale.

❖ **Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent monodirectionnel)**

Le dispositif appliqué est basé essentiellement sur le vide ou l'espace laissé entre les tas de remblais (V1) et (V2). Une discontinuité entre les tas de remblais) qui sont opposés au vent dominant (Dispositif en chicane). V1 = variant de 3 à 4m et V2 = variant de 14 à 16m. Les Drâas sont disposés à une distance (D) de 10 à 15m de la plateforme. Sa hauteur est de l'ordre de 3m, sa longueur (L) est variable de l'ordre de 14 à 16m.

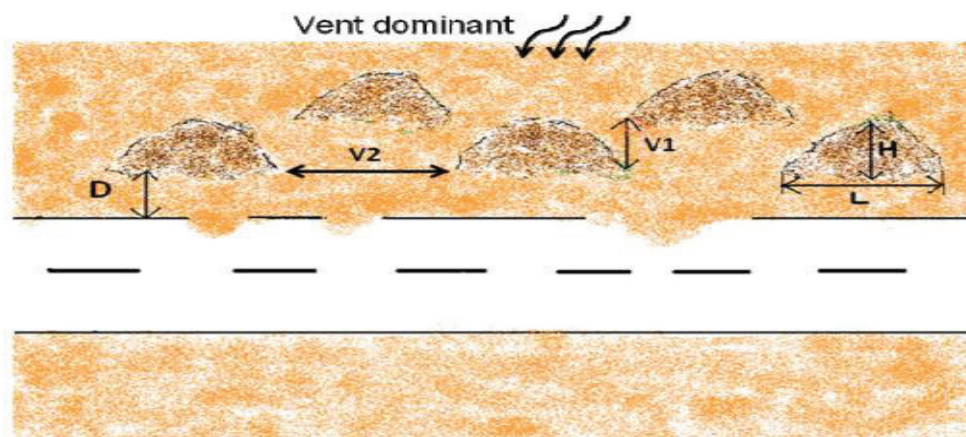


Figure I.10 : Conception et disposition des Drâas perpendiculairement

Lorsque le vent érosif souffle, les turbulences se créent au niveau de chaque Drâa créant à une distance égale à 2 fois la hauteur de l'obstacle (on dit « $2h$ ») et sur une profondeur de $5h$, une zone tourbillonnaire plus desséchante que le vent normal. Des mesures montrent que le vent s'engouffre avec une vitesse de 5m/s et qu'il ressort avec une vitesse au sol de 9m/s . De ce fait, le sable ne se dépose pas mais transite.

Un affouillement éolien se produit à la base de chaque tas de remblais qui tend ainsi à descendre. D'autre part, entre les trois tas de remblais, il se crée un effet de «**sifflet**» se traduisant encore par une accélération de la vitesse du vent et de son énergie cinétique. Sous l'effet de ces deux actions, la dune soumise à ce traitement diminue progressivement de volume et finit par laisser les Drâas sur place comme la figure suivant :



Figure I.11 : Exemple de Draas au niveau de la route reliant Touggourt à Ouargla.

❖ **L'implantation des Drâas en biais par rapport à la voie de circulation (vent monodirectionnel) :**

L'implantation des **Drâas** en biais par rapport à la route ou la voie ferrée. Ils jouent un double rôle préventif :

- Vis-à-vis des vents venants de la direction, ils servent d'écran et de désensableur. Des dépôts se forment.
- Vis-à-vis des vents venant de la direction, ils jouent à la fois le rôle de canalisateurs et d'accélérateurs. Les vents enlèvent les dépôts précédents et passent au-dessus de la chaussée sans déposer. Les Drâas interviennent dans ce cas en tant que canalisateur du vent. Sous ce double effet, le vent se charge en sable au passage de la dune, l'érode et la repousse plus loin.

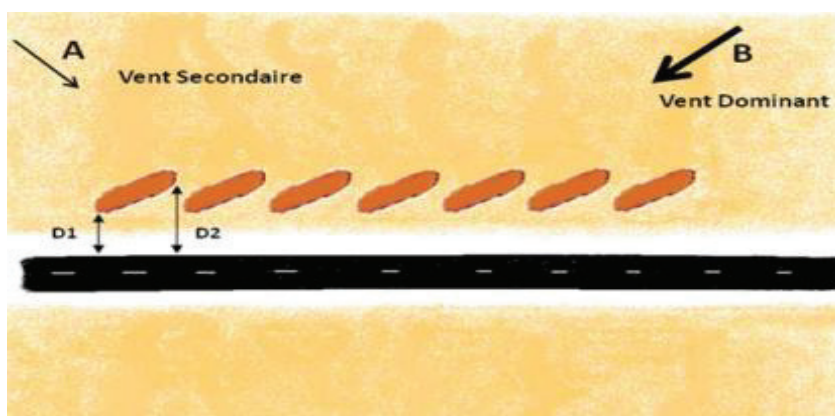


Figure I.12 : Conception et disposition des Drâas en biais

Cette technique (appelé principe de venturi) est testée dans le Sud-est Algérien, consiste à construire, aux abords immédiats des infrastructures, un ouvrage en dur suivant un plan incliné et de forme trapézoïdale pour accroître la vitesse du vent aux abords immédiats de la chaussée.



Figure I.13 : Technique de Venturi mis en place sur la route Touggourt-Djelfa

❖ **Drâas déposés perpendiculairement à la direction du vent dominant (vent bidirectionnel) :**

Sous un régime du vent bidirectionnel, le sable peut être évacué par accroissement de la vitesse du vent par une orientation systématique des **Drâas** de chaque côté de la chaussée.

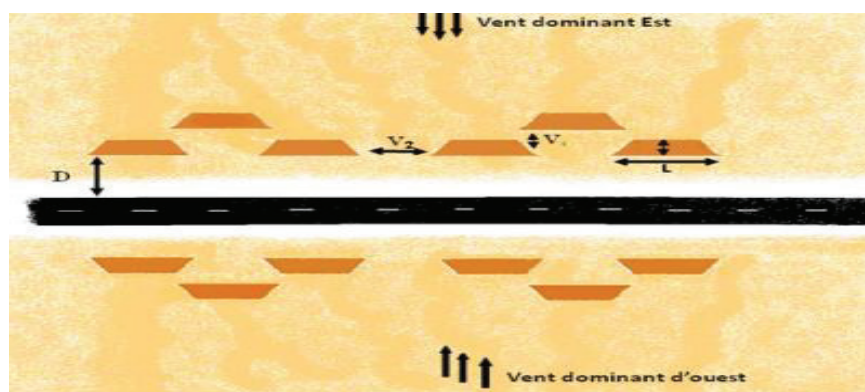


Figure I.14 : Conception et disposition des Drâas en chicane sous un régime du vent bidirectionnel

Le dispositif du tas de remblais qui déposé perpendiculairement au vent dominant au côté droit de la chaussée. Sur L'autre côté le même dispositif est appliqué en parallèle au côté gauche de la chaussée de sorte que le dispositif facilite la circulation du sable. Un exemple d'application de ce type de dispositif est appliqué sur la route Touggourt-Djelfa.



Figure I.15 : Exemple d'application du dispositif de Dras perpendiculaire au vent dominant (route Touggourt-Djelfa)

❖ **Méthode des cônes EL METHANA pour évacuer le sable grâce à l'énergie éolienne :**

Pour les grosses dunes, la pose traditionnelle, sur la crête de chaque édifice dunaire (Sif), en amont du vent des gros tas de remblais, pointus sous forme de cônes en amont du site à protéger. Les tas de remblais sous forme de cônes créent avec le vent et autour d'elle des turbulences. Ces turbulences augmentent ponctuellement la vitesse du vent et son énergie cinétique lui permettant de transporter plus loin le sable remis en mouvement. Un affouillement éolien se produit à la base de chaque cône qui tend ainsi à descendre simultanément au fur et à mesure que diminue le niveau de la crête de la dune.

La vitesse du vent est augmentée aussi par l'ajout des **Drâas** suivant un plan incliné et de forme trapézoïdale aux abords immédiats de la chaussée. Cette technique est très efficace et testée au niveau de la route nationale RN16 (Touggourt-El Oued)



Figure I.16 : Méthode des cônes EL METHANA



Figure I.17 : au bord de la route

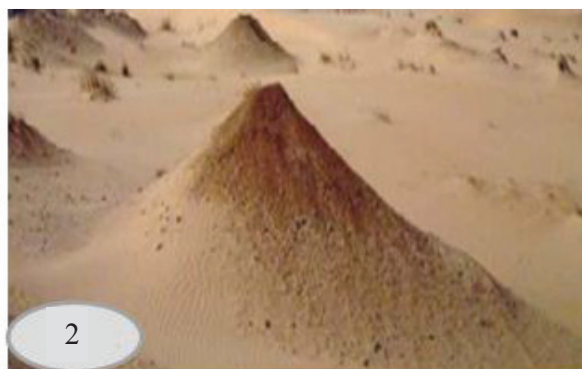


Figure I.18 : L'efficacité de la méthode des cônes

I.4. FIXATION PHYSICO-CHIMIQUE (TECHNIQUE DU MULCH) :

Il ne s'agit plus dans ce cas d'agir sur la vitesse du vent, mais plutôt de protéger le sol ou d'augmenter sa cohésion. Cette technique consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice aussi uniforme que possible pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation. Les procédés utilisés sont divers :

- Paillage à l'aide de résidus agricoles, d'herbes, des sous-produits de l'industrie agroalimentaire.
- Couverture en terre, cette technique utilise le tout venant des carrières pour l'étaler sur la dune.
- Couverture à base de matériaux synthétiques (films plastiques ou des mèches acryliques).
- Pulvérisation d'huiles minérales (asphalte, huiles lourdes, huiles brutes) ou de latex
- Stabilisation à l'aide de produits chimiques (Liants, Unisol 096, Helsel 801, Agrofix 614, Hygromol) (FAO 1980).



Figure I.19 : Technique du Mulch

Ces procédés permettent une fixation temporaire des sables mobiles dont la durée est déterminée par le temps de dégradation des éléments apportés. D'autres critères doivent être pris en compte comme par exemple l'aspect esthétique de la dune fixée. Plus important, le risque de pollution de la nappe phréatique doit être considéré si l'on utilise des produits chimiques, des latex ou des produits dérivés du pétrole.

I.5. FIXATION BIOLOGIQUE :

Lorsque les dunes sont fixées mécaniquement par l'un des procédés précédemment énumérés, il devient possible de rendre cette fixation définitive par l'installation d'une végétation pérenne. Celle-ci ne risque plus, en effet, d'être détruite par des déplacements de sable qui auraient pu déchausser les racines des plants ou détériorer leur partie aérienne par l'effet abrasif du sable.



Figure I.20 : l'installation d'une végétation pérenne

Pour ce faire, les espèces végétales utilisables doivent avoir les caractéristiques suivantes

- Etre adaptées aux conditions locales.
- Etre rustiques et résistantes à la sécheresse.
- Supporter de grands écarts de température entre le jour et la nuit.
- Etre résistantes aux vents violents, au déchaussement et à l'ensevelissement.
- Avoir un enracinement profond.
- Avoir un développement initial rapide afin de fixer et protéger le sol dans un bref délai.

I.6. CONCLUSION :

Le vent est le seul agent morphologique réellement efficace au désert qui, si l'on n'y prend pas garde, peut progresser très vite, au point d'effacer toute intervention humaine : l'échelle ne se mesure plus ni en siècles, ni en décennies, mais plutôt en années. Ce que contrant périodiquement à l'abandon des habitations et plantations ensevelies sous les dunes et ralentit considérablement le développement socio-économique de ces localités, rendant ainsi la vie oasienne très pénible.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

FAO (2010) : Lutte contre l'ensablement L'exemple de la Mauritanie.Rome.59p.

Mainguet, M. et Remini, B. (2004) : Rôle des méga-obstacles dans la formation et le façonnement des ergs : quelques exemples du Sahara. Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface.

(CRSTRA, 2015) TOUGGOURT : Centre de Recherche Scientifique et Technique Sur les Régions Arides Omar El Bernaoui "guide des techniques de lutte contre l'ensablement au Sahara Algérien"

CHAPITRE II :

LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN

II.1. INTRODUCTION.

II.2. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN.

**II.3. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES
FERROVIAIRES.**

II.4. CONCLUSION.

II.1. INTRODUCTION :

La situation actuelle, les prévisions urbanistiques et démographiques et la nécessité d’exploiter d’autres gisements et ressources minérales, comme aussi de satisfaire les besoins de la population à montrer la nécessité d’accélérer, d’assurer le développement du pays par le désenclavement des régions en développant le réseau de l’infrastructure du pays. Il a été lancé un programme immense d’investissement dans le secteur ferroviaire. Plusieurs projets des lignes nouvelles et des modernisations, amélioration des paramètres des lignes des réseaux existants sont en cours des études et déjà en réalisation. Les projets en cours représentent un coût global de 11,4 milliards d’US dollars et sont relatifs à des opérations d’études de lignes nouvelles, d’aménagements ferroviaires régionaux, d’augmentation de capacité de lignes, de construction de gares et d’ouvrages d’arts, et de renouvellement de voies. La carte suivante montre en complexe le programme actuel de développement du réseau ferroviaire algérien, géré par l’ANESRIF.



Figure II.1 : Le réseau ferré algérien et ses perspectives de développement

II.2. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN :

II.2.1. L'histoire des chemins de fer d'Algérie :

L'histoire des chemins de fer d'Algérie commence le 8 avril 1857, avec un décret du gouvernement français qui autorise la construction de 1 357 km de chemins de fer dans la colonie d'Algérie.

Hasard ou coïncidence, c'est le 3 juin 1857 que la route de Sik-el-Meddour au fort Napoléon a été commencée et le 14 juin 1857 qu'a été posée la première pierre du fort Napoléon à Souk-el-Arba.

Le premier chantier, démarré le 12 décembre 1859, porte sur la construction de la ligne Alger-Blida dans la Mitidja

Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-Denis du Sig ainsi qu'une liaison avec le port de Philippeville et avec Constantine, mais les problèmes financiers poussent la compagnie à en interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger, qui sera ouverte le 8 septembre 1862.

Les travaux de construction sont également entrepris pour relier Oran à Saint-Denis du Sig ainsi qu'une liaison avec le port de Philippeville et avec Constantine, mais les problèmes financiers poussent la compagnie à en interrompre les travaux et à développer la ligne d'Alger, qui sera ouverte le 8 septembre 1862.

L'objectif des 1 357 km est atteint et même dépassé, avec des tronçons construits représentant 1365 km de voie et touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

En 1876 roulent des trains de nuit.

Le 18 juillet 1879 une nouvelle campagne d'investissement est lancée à l'échelon national pour renforcer les lignes "d'intérêt général" avec comme objectif d'ajouter 1747 km au réseau existant. La construction de ces lignes dites "d'intérêt local" est laissée à la charge des investisseurs privés et des collectivités locales.

Dans les 30 ans qui suivirent, 2 035 km de lignes de chemin de fer vont s'ajouter au réseau, constituant l'armature du futur réseau ferroviaire algérien.

Entre 1907 et 1946 une 3ème campagne d'investissement ajoute 1 614 km au réseau.

Au début de l'année 1925 on comptait 4724 km de chemins de fer auxquels il faut ajouter 127 km de tramways

En 1941 le Transsaharien relie l'Afrique noire à la Méditerranée.

A la fin de la Seconde Guerre Mondiale le réseau ferroviaire algérien s'étend sur plus de 5 000 km.

Les chemins de fer algériens constituent la pièce maîtresse de l'équipement du pays.

Malheureusement, les lignes construites ... affectent un tracé et des déclivités inconnues en Europe sur les grandes artères.

Il existe 4 écartements différents de voie : voie normale, 1m05, 1 mètre, 0.60 m.

La grande rocade Oujda-Oran-Alger-Constantine-Ghardimaou, longue de 1400 km, est à voie normale, mais connaît de nombreuses et longues rampes atteignant 20 à 30 m/m par mètre. La traction à vapeur, malgré la mise en ligne de machines puissantes telles les « Garatt », monstres articulés de 172 tonnes, n'avait jamais permis de réaliser une exploitation vraiment satisfaisante.

Au cours des dernières années, le réseau s'est entièrement modernisé grâce surtout à l'emploi systématique de la traction diesel. Les voies ont été renforcées, la signalisation transformée, la vitesse et le confort des trains considérablement améliorés.

Ces progrès faisaient il y a quelques années l'étonnement des cent présidents des Chambres de commerce françaises et de l'union Française, invités à visiter l'Algérie. Le président de la délégation affirmait, au cours d'un discours à Alger, que les Chemins de fer algériens constituaient à ses yeux le « couronnement » de l'œuvre française en Algérie.

Dans ce pays, les distances sont grandes : d'un département à l'autre, on compte 500 km. Les rames « Inox » comprenant 6 voitures allégées, tractées par une motrice diesel, grimpent allégrement les flancs du Zaccar et relient Alger à Oran, 420 km en moins de 5 heures.

D'Alger à Casablanca, la distance est plus longue que celle de Paris à Berlin. Depuis le mois de mai (1952), le trajet en chemin de fer ne demande plus qu'une nuit et demie. Il fallait 25 heures avant-guerre.

Même les lignes de pénétration vers le sud, à voie étroite, sont parcourues aujourd'hui par de confortables rames diesel, équipées de bar et de couchettes.

Elles circulent à la satisfaction des touristes entre Oran et Colomb-Béchar (750 km) et entre Biskra et Touggourt. Cette oasis est ainsi à moins de 7 heures de Constantine (450 km).

L'effort patient soutenu par les cheminots d'Algérie, dans des conditions matérielles parfois très dures, est de ceux que l'on peut citer en exemple.

En 1952, on évalue à près d'un milliard de francs les recettes procurées à la S. N. C. F. Par les Algériens à l'occasion de leurs déplacements en France.

« La progression de l'activité minière, enregistrée au cours des dernières années, entraîne la construction dans la région de Bône d'une voie ferrée de 200 km entre ce port et Tebessa. » in Pied-Noir mon frère de Jean Loiseau (1963)

Le 30 juin 1959 l'État français et l'OCFA signent une convention créant la Compagnie des Chemins de Fer Français en Algérie (CCFA) qui devient en 1963 la SNCFA (Société Nationale des Chemins de Fer Algériens)

Pour Daniel Junqa, in le Monde du 29 janvier 1982 : « l'état déplorable dans lequel se trouve le réseau ferré (pas 1 km nouveau de ligne n'a été construit depuis l'indépendance, soit 20 ans) ainsi que la vétusté d'une partie du matériel roulant expliquent sans doute pour une bonne part l'accident. » (Du 27 janvier qui a fait 130 morts et 150 blessés)

Dans les années 1990, le réseau ferroviaire algérien ne mesure que 3572 km, soit 30% de moins qu'en 1945 et à peine autant qu'au début du XXème siècle

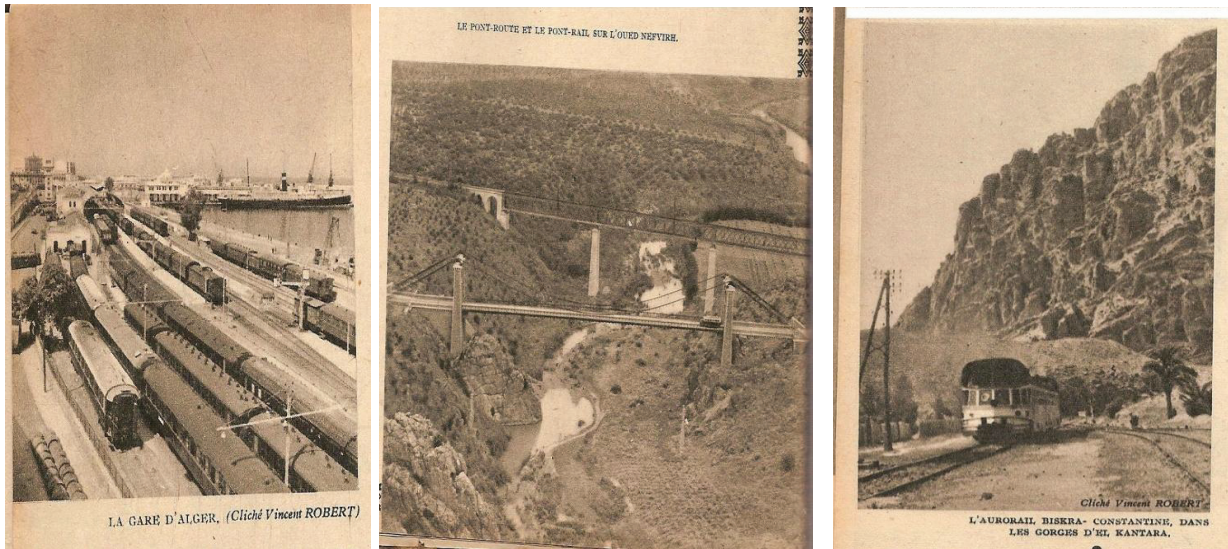


Figure II.2 : L'histoire des chemins de fer d'Algérie

II.2.2. RESEAU ACTUEL EN ALGERIE :

Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes en Afrique. Il sert au transport de personnes et de marchandises. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de 4498Km.

- Longueur des lignes en exploitation : 3750Km.
- Longueur des lignes en double voie : 553Km.
- Longueur des lignes en voie unique : 3217Km.
- Longueur des lignes électrifiées : 323Km
- Nombre de gares en exploitation : 175.
- Nombre de haltes en exploitation : 215.
- Nombre d'Ouvrage d'Art dont l'ouverture est supérieure à 10 m : 553.
- Nombre d'Ouvrage d'Art dont l'ouverture est inférieure à 10 m : 5279.
- Nombre de tunnels : 139.
- Longueur des tunnels : 40Km.
- Nombre de passages à niveau gardé : 267.
- Nombre de passages à niveau non gardé : 959.

D'après la classification mondiale des chemins de fer effectuée par CIA en 2008 :

L'Algérie est classée la 45ème sur 134 pays au monde et occupe la 6ème place au niveau africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays Maghrébins.

II.3. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES :

Ce programme comporte des opérations de renouvellement des voies existantes, et de renforcement des ouvrages d'art anciens (ponts et tunnels), la création de lignes nouvelles, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits des lignes, la modernisation des équipements de signalisation et de télécommunication, la construction d'ateliers de maintenance du matériel roulant et l'électrification des lignes.

II.3.1. La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes :

Elle irrigue la principale ville de Nord de l'Algérie et va frontières Est vers les frontières Ouest sur 1250 km. Les travaux de modernisation et de dédoublement sont en cours sur 848 Km avec une vitesse qui varie entre 160-220 Km/h, de ce fait, il va desservies 60% de la population totale répartie sur 22 Wilayas.

II.3.2. La rocade ferroviaire des Hauts Plateaux :

Pour désenclaver les villes des Hauts Plateaux et l'exploitation économique de cette région cette rocade sera parallèle à celle du nord et sera reliée par celle de désert, cet investissement s'étendue sur 1160 Km qui desserve 10 Wilayas qui représentent environ 7 millions d'habitant (approximativement 20 % de la population globale).

II.3.3. Ligne Minière :

- Etude de la nouvelle ligne ferroviaire entre Djebel El Onk et El Oued : 200 km.
- Etude de Dédoublement, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST (Annaba /Djebel-Onk) : 388 km.
- Travaux de renouvellement de voie et ballast : 320 km en cours.

Travaux à lancer :

- Signalisation, télécommunications et énergie 230 km, 31 Gares, ainsi que le renouvellement des voies et ADV et remaniement de la gare de Souk Ahras.
- Travaux d'électrification Annaba (gare maritime) - Poste II (El Hadjar), Drean – Bouchegouf, Souk Ahras-Oued Kébrit, Oued Kébrit – Ouenza, Ain Chenia- Boukhara : 131 km.
- Lancement des travaux de Dédoublement, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST de 388 km (Annaba /Djebel-Onk).

II.3.4. Pénétrante Ouest :

- Modernisation pour une vitesse moyenne de 160 km/h.
- Dotée d'un système de signalisation et télécommunication de type GSM-R.

II.3.5. Pénétrante Est (El Gourzi – Hassi Messaoud) :

- Modernisation pour une vitesse moyenne de 160 km/h.
- Extension de la ligne vers Hassi messaoud à une vitesse de 220 km/h.
- Signalisation et Télécommunication.

II.3.6. Pénétrante Centre :

Relie la wilaya de Blida (Chiffa) à la wilaya de Laghouat sur 390 km.

II.3.7. Boucle Sud Est :

Elle concerne une boucle de 425 km allant de Laghouat à Touggourt en passant par Ouargla.

II.3.8. Boucle Sud-Ouest :

Il s'agit d'une boucle de 1500 km de voies elle reliera toutes les villes-oasis de sud-ouest, en allant de Ghardaïa jusqu'à la jonction avec la ville de Béchar.



Figure II.3 : Plan de développement des chemins de fer en Algérie.

II.4. CONCLUSION :

On peut conclure que La politique de l'Algérie est un peu en retard en ce qui concerne le développement des chemins de fer. Il est plus que nécessaire, pour le développement et l'amélioration des conditions de l'investissement ainsi que pour le commerce et l'augmentation des échanges entre les différentes régions dans le pays, de favoriser ce secteur. Le projet de la boucle du Sud-Est dans lequel s'intègre notre étude, permettra d'atteindre cet objectif et de rendre efficace le niveau de développements de l'économie du pays.

CHAPITRE III : PRESENTATION DE PROJET

III.1. INTRODUCTION.

III.2. LOCALISATION DE PROJET.

III.3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

III.4. DESCRIPTION GLOBALE DE PROJET.

III.5. AVANTAGES DU PROJET.

III.6. CARCTERISTIQUE DE NOTRE PROJET.

III.7. CONCLUSION.

III.1. INTRODUCTION :

Dans le cadre de son programme pour le développement des transports ferroviaires en Algérie, L'Agence Nationale d'Étude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) a adopté un programme de restructuration du réseau ferroviaire national par la modernisation des lignes existantes. Cette modernisation comprend l'augmentation des vitesses de circulation par la rectification du tracé des lignes, la remise en état des plateformes ferroviaire, l'électrification, le renouvellement de la voie et du ballast et la construction de nouvelles lignes moderne.

III.2. LOCALISATION DE PROJET :

Notre projet intitulé « étude de la ligne ferroviaire entre la ville Touggourt et Hassi Messaoud sur une longueur de 22 km du PK 104+000 au PK 126+000». Se situé dans la wilaya d'Ouargla. La réalisation de ce projet a pour objectif le maillage et la densification du réseau, le rapprochement et le désenclavement des villes. Il constituera un plus pour l'économie régionale autant qu'elle présente la meilleure offre de transport dans ces régions.

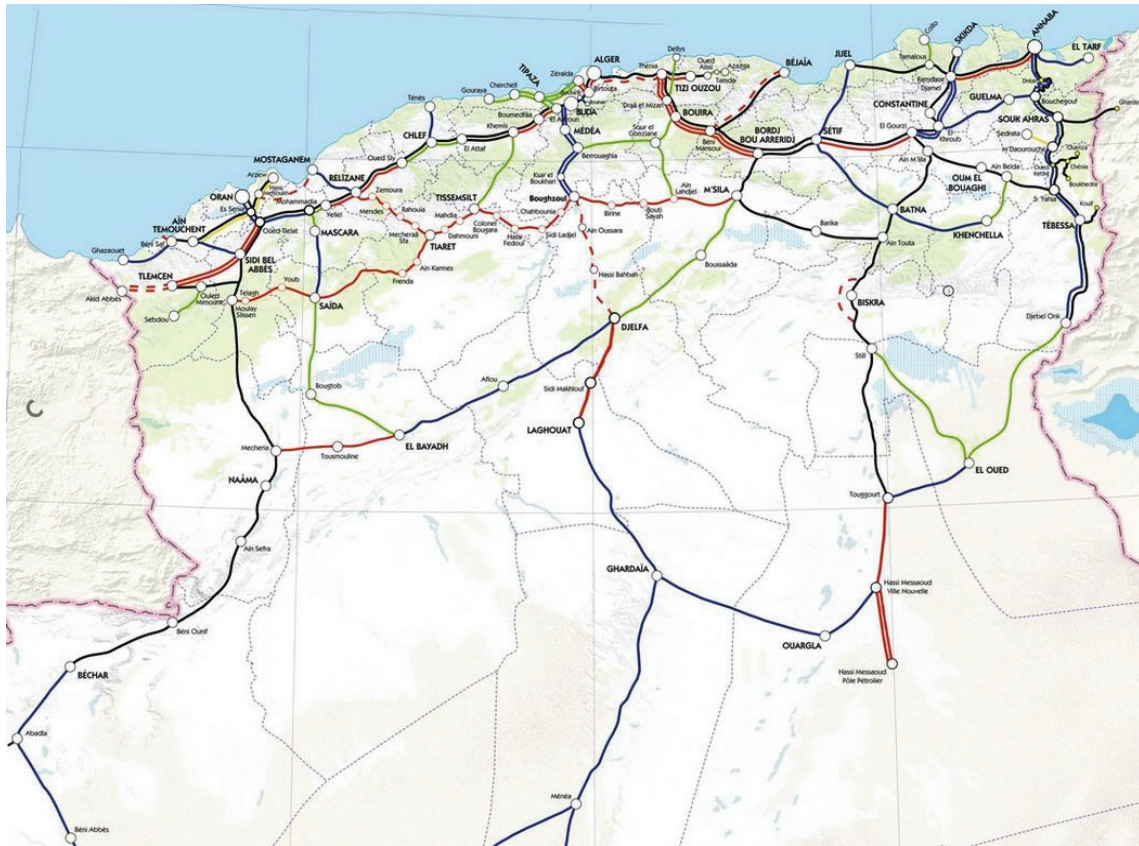


Figure III.1 : localisation du notre projet

III.3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

III.3.1. La ville de Hassi Messaoud :

Hassi Messaoud est une commune de la wilaya d'Ouargla, située à 100 km au sud-est d'Ouargla ; à 180 km au sud de Touggourt et à 800 km au sud-est de la capitale Alger. La ville est largement tournée vers l'exploitation du gisement de pétrole.

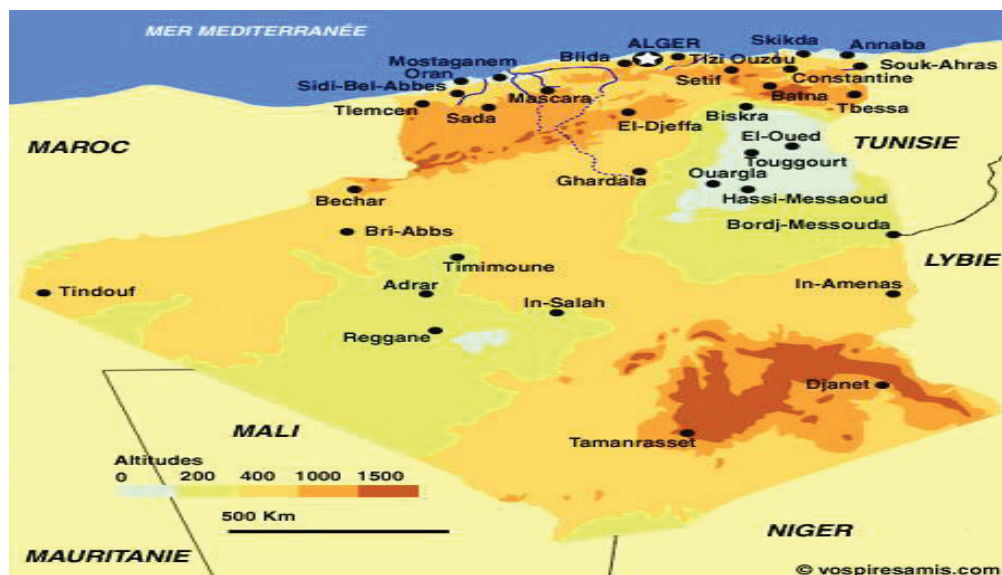


Figure III.2 : présentation de la zone d'étude

III.3.2. Climat de la région.

La ville de Hassi Messaoud (wilaya de Ouargla) est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.

Les températures moyennes mensuelles enregistrées au mois le plus chaud (juillet) sont de 48° C à Touggourt et de 50° C à Hassi Messaoud. Alors que celles du mois le plus froid (janvier) sont de 10,8° C à Touggourt et de 9,7° C à Hassi Messaoud.

Les précipitations sont rares et irrégulières et varient entre 1 mm et 180 mm par année exceptionnelle. Les précipitations moyennes annuelles sont de 77 mm/an à Touggourt et de 48.8 mm/an à Hassi Messaoud.

III.3.3. Infrastructure de base de la wilaya de Ouargla :

Infrastructures routières :

- Routes nationales 1484 km
- Chemins de wilaya 363 km
- Chemins communaux 232 km

III.3.4. Infrastructure aéroportuaire.

Dans la wilaya de Ouargla il existe 3 Aéroports :

- Ain El Beida.
- Hassi Messaoud.
- Touggourt.

III.4. DESCRIPTION GLOBALE DE PROJET :

Le projet à réaliser est une ligne ferroviaire électrifiée devant relier la ville de Touggourt à Hassi Messaoud pole pétrolier, Le long de ce tracé, il est prévu d'installer quatre nouvelles gares :

- La gare voyageurs à Touggourt .
- La gare marchandises à la ville nouvelle de Hassi Messaoud
- La gare voyageurs de la ville nouvelle de Hassi Messaoud.
- La gare voyageurs de Hassi Messaoud pole pétrolier.

III.5. AVANTAGES DU PROJET :

Cependant, ce projet présente de multiples objectifs et avantages :

- La préservation et la pérennité des ressources naturelles.
- La valorisation et l'optimisation de toutes les potentialités.
- La correction des dés équilibres régionaux.
- Le désenclavement de certaines régions.
- Création et développement de l'emploi.
- L'ouverture des régions les unes aux autres.
- L'adaptation et le développement des zones industrielles et des zones économiques.
- Un gain de temps de transport et une amélioration de la sécurité

III.6. CARCTERISTIQUE DE NOTRE PROJET :

- Caractéristique de la voie : ligne mixte (voyageurs et marchandises)
- Vitesse max des trains de voyageurs : 220 km/h
- Vitesse max des trains de marchandises : 100 km/h
- Type de rail : 60 E1.
- Type de traverse : MONOBLOC
- Ecartement de la voie (standard) :1435 mm
- Déclivité maximum des pentes et rampes en pleine voie : 16 %
- Largeur de la plateforme : 12m (DOUBLE VOIE)
- Levé topographique (couloire d'étude).
- Logiciel a utilisé dans l'étude « CIVIL3D 19 »
- Électrification en 25 KV / 50 Hz.
- Charges à l'essieu pour la superstructure de 22.5 tonnes.
- Charges à l'essieu pour les ouvrages d'art de 25 tonnes.
- Entraxe des voies principales : 4.2 m.

III.7. CONCLUSION.

La réalisation des liaisons ferroviaires entre les grandes villes du pays est un facteur qui influe directement sur le développement économique d'une région. En Algérie, malheureusement, le secteur du transport ferroviaire a été un peu négligé au profit du secteur du bâtiment, de la route et des aéroports. Le pays consent actuellement un grand investissement pour la relance de ce secteur, ceci va permettre l'émancipation de nombreuse région qui va sortir en même temps de leur isolement géographique.

CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

IV.1. INTRODUCTION.

IV.2. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE.

IV.3. FIXATION D'UNE VOIE FERREE CLASSIQUE.

IV.4. POSE DE LA VOIE.

IV.5. CONCLUSION.

IV.1. INTRODUCTION :

La voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments d'élasticités et d'amortissements variable qui transmettent à la plateforme, la charge statique et dynamique des roues. La voie classique comporte des rails maintenus par des traverses reposant sur une épaisseur variable de ballast, en principe, isolée de la plateforme avec une sous couche.



Figure IV.1 : une voie ballastée

IV.2. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE :

La voie est constituée d'une plateforme et d'une superstructure qui constitué eux même de divers éléments dont les plus importants sont les rails, les traverses, le système d'attaches et le ballast, et nous allons vous donner un aperçu de chacun de ces éléments dans le présent chapitre.

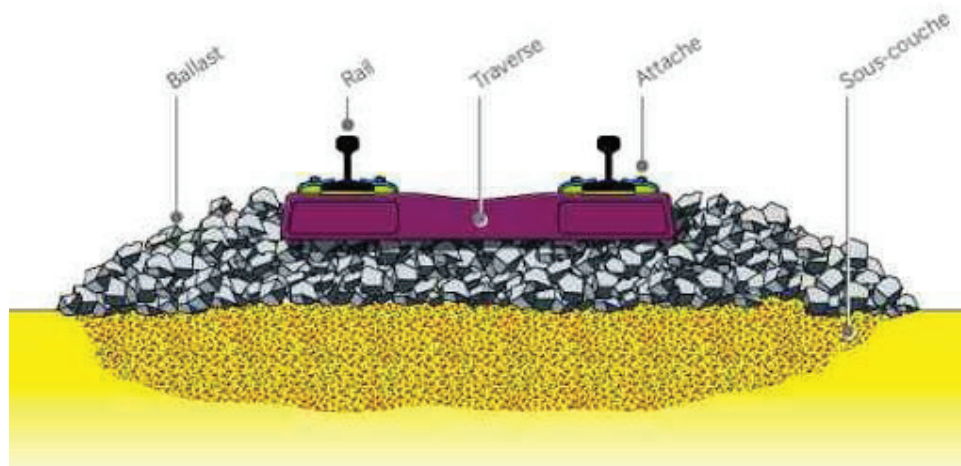


Figure IV.2 : Les constituants de la voie ferrée

IV.2.1 : les rails :

Le rail est une longue barre d'acier profilée, qui est mise bout à bout pour former un chemin de fer, La part du rail est importante (de 30% à 50%) dans le cout d'établissement d'une superstructure de voie neuve.

Les rails servent à la fois de guide et de support de roulement pour les véhicules et souvent utilisés pour la transmission de signaux.

Le rail est l'élément essentiel de la sécurité de la voie, les traverses et le ballast ne servent qu'à attacher le rail et à le supporter.

Il existe 3 types principaux de rails :

- **Le rail Vignole** :il est constitué de 3 parties principales :
 - a) **Le champignon** : c'est la partie supérieure du rail, elle est caractérisé par sa longueur, sa hauteur, le bombement de sa table de roulement et l'inclinaison de sa face latérale.
 - b) **L'âme** : résiste au cisaillement produit par le chargement de la voie. Leur tracé est caractérisé par l'épaisseur de l'âme, la forme des congés de raccordement avec le champignon et le patin, et l'inclinaison de portées d'éclissage.
 - c) **Le patin** : Le patin constitue une sorte de buté contre le renversement du rail suite aux efforts transversaux .il est caractérisé par sa largeur et par l'épaisseur et la forme des ailles.

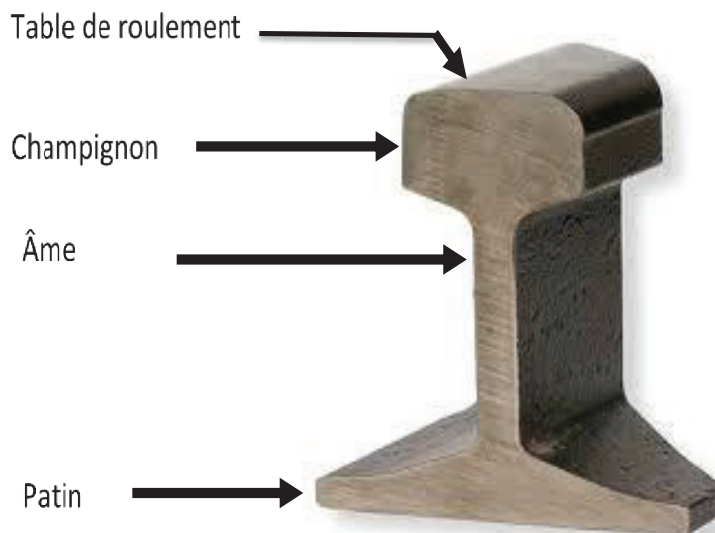


Figure IV.3 : Le rail Vignole

➤ **Rail à gorge :**

Que les sociétés de tramway et les chemins de fer secondaires utilisent dans les agglomérations



Figure IV.4 : Rail à gorge.

➤ **Rail à double bourrelet :**



Figure IV.5 : Rail à double bourrelet

Le rail utilisé dans notre projet « **TOUGGOURT – HASSI MESSAOUD** » sera du type 60E1 (60,21kg/m). La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la version la plus récente de la norme EN 13674-1 intitulée « rails Vignole »

IV.2.1.1. Caractéristiques géométriques du rail UIC 60 :

- Géométrie : rail-60 E1
- Surface de la section : 76.70 cm²
- Hauteur totale : 172 mm.
- Épaisseur âme : 16.5 mm.
- Masse par mètre : 60.21 Kg/m.
- Moment d'inertie, axe xx : 3038.3 cm⁴.
- Module d'inertie champignon : 333.6 cm³
- Épaisseur Champignon : 72 mm
- Module d'inertie patin : 375.5 cm³
- Épaisseur patin : 150 mm.
- Module d'inertie axe yy : 375.5 cm⁴.
- Moment d'inertie axe yy : 512.3 cm⁴.
- Dimension indicative A : 20.456 mm
- Dimension indicative B : 52.053 mm
- Dressage : classe A.
- Nuance : 260 (carbone-manganèse)
- Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW.
- Résistance à la traction ≥ 880 N/mm².
- Allongement $\geq 10\%$.

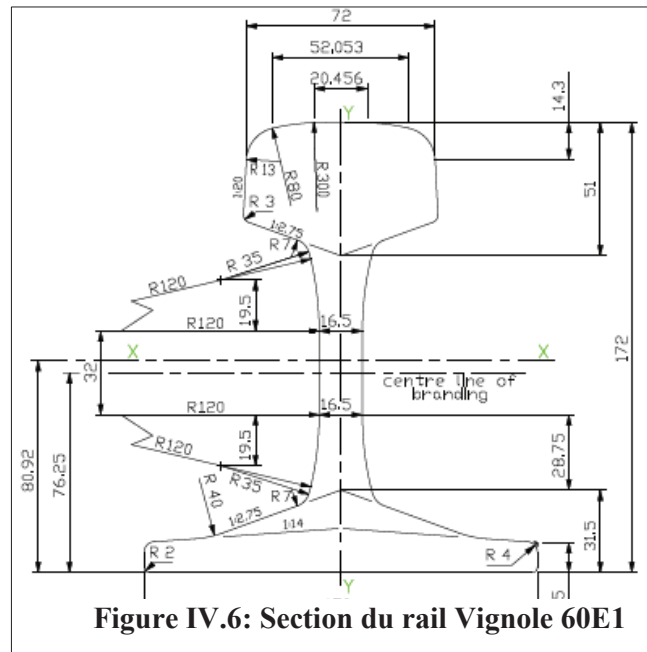


Figure IV.6: Section du rail Vignole 60E1

IV.2.1.2. Écartement de rails :

Une voie ferrée est notamment caractérisée par de ses deux files de rail. Cet écartement dicte les dispositions constructives du matériel roulant, du matériel de voie et des ouvrages d'art. il été convenu que l'écartement doit se mesurer entre les joues intérieures des deux files de rail à 14 mm en dessous du plan de roulement.

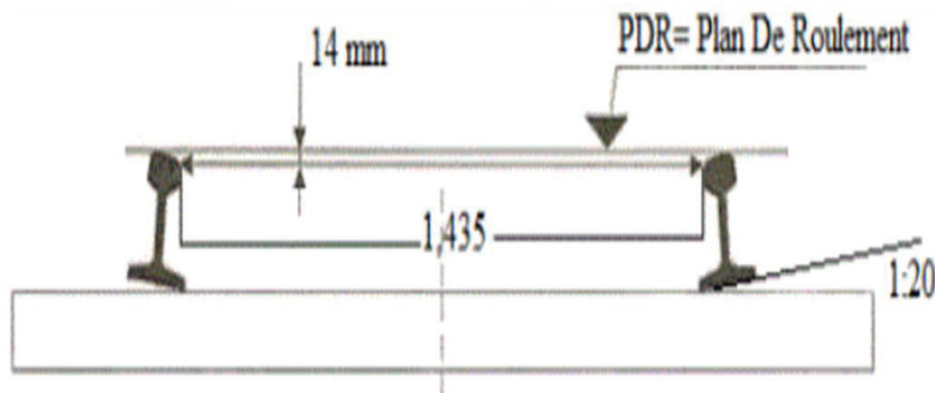


Figure IV.7 : Écartement des rails

IV.2.1.3. Assemblage de rails :

Les rails seront assemblés soit par **éclissage** ou par des **soudures** :

1) L'éclissage :

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses qui sont constituées par deux plaques laminées placées entre le champignon et le patin, toute en respectant les diamètres des trous de perçage et leurs distances, les éclisses doit avoir la même qualité d'acier que le rail, et permettre au rail de se dilater en fonction des variations de température. Le rôle principal de l'éclissage est :

- Relier les rails de façon à ce qu'ils se comportent comme une poutre continue.
- Empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre tout en permettant le mouvement la dilatation pour ce type d'assemblage.



Figure IV.8 : Assemblage par éclissage

2) Soudures :

Les rails sont mis bout à bout et soudés par procédé aluminothermique qui consiste en un apport de métal en fusion dans une lacune créée entre les extrémités de ceux-ci.

➤ **Les longs rails soudés (LRS) :**

Le rail sera livré au moins en barre unitaire de 18 m de long, lesquels seront assemblés en atelier par soudure électrique en barre de 288 m.

Ces barres de 288 m seront par la suite assemblées en voie en long rail soudé grâce à des soudures aluminothermiques. Les soudures aluminothermiques seront réalisées par des soudeurs agréés.

Selon les températures ambiantes dans la région de Hassi Messaoud, lesquelles varient de $+5^{\circ}$ à $+50^{\circ}$, la température idéale de pose ou température neutre devra être déterminée. Cette température neutre reflétera l'état de contraintes nulles dans lequel le rail devrait se trouver lors de sa pose en voie. Le choix de cette température neutre permettra d'éviter :

- D'une part les ruptures de rail liées à une importante compression interne du rail (contraction trop importante du rail) et qui pourraient se produire durant les périodes les plus froides.

- Et d'autre part, les flambages ou ripages de la voie occasionnés par de trop importantes dilatations thermique du rail et qui pourraient se produire lors de températures élevées extrêmes.

Le procédé ou mode opératoire à respecter lors de l'exécution de soudures aluminothermique définira dans le détail les conditions sous lesquelles ces soudures seront réalisées ainsi que la consignation à mettre en œuvre pour assurer la traçabilité d'exécution des soudures.

Bien entendu, il est nécessaire que la fixation du rail sur les traverses soit efficace (Résistance au glissement) et que la résistance longitudinale et transversale ainsi que la rigidité du châssis de la voie dans le ballast soient suffisantes. Evidement, on ne doit pas réaliser en LRS sur les zones instables (argile, remblai non compacts, etc.) les LRS seront interrompus et remplacés par rails posés à joint éclissés.



Figure IV.9 : Assemblage par des soudures

Les LRS présentent deux principaux avantages, qui sont la conséquence de la suppression des joints éclissés :

- une réduction des coûts d'entretien de la voie.
- une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs.

Les inconvénients largement compensés par les avantages, sont par exemple :

- nécessitant un personnel bien formé leur de mise en œuvre et leur de l'entretien
- un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres.

Pour minimiser le risque de déformations de voie, les LRS ne sont en général pas utilisées sur les voies sinueuses ou sur les terrains de mauvaise stabilité

IV.2.2. LES TRAVERSESES :

La traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous le rail, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges de véhicule circulant sur les rails au ballast / béton. Les traverses peuvent être :

- **En bois** : ils assurent la souplesse et l'isolement élastique, néanmoins, leur inconvénient est celui de la sensibilité aux attaques atmosphériques, ainsi des frais d'entretien assez importants.

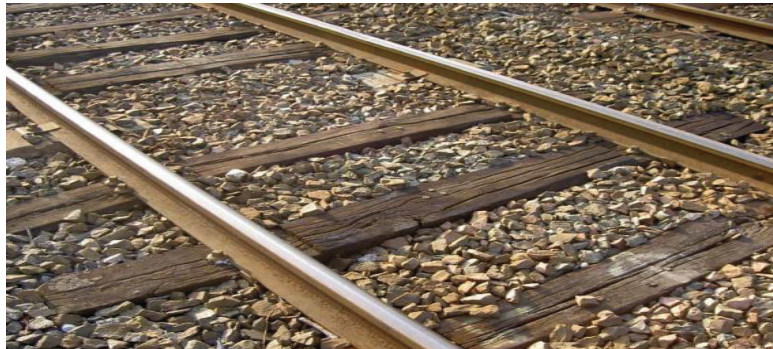


Figure IV.10 : traverse en bois

- **Métallique** : ont une forme d'U renversé, leurs extrémités sont enfoncées dans le ballast pour empêcher tout déplacement, vu leurs légèretés elles sont faciles à poser, cependant, elles sont bruyantes et conductrices d'électricité, donc nécessitent des dispositifs d'isolement couteux. Ce type de traverses ne sont plus utilisés.



Figure IV.11: traverse en métal

- **En béton** : il y a deux type de traverse en béton armé, mono bloc (poutre en béton précontrainte) et traverse bi bloc. Ce type de traverse, formée de 2 blochets reliés par une entretoise métallique.

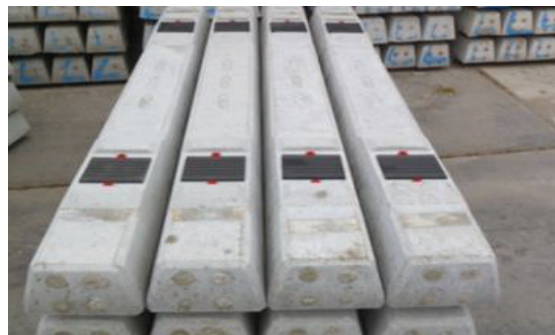


Figure IV.12: traverse en béton bi-bloc Figure IV.13 : traverse en béton monobloc

Le traverse utilisé dans notre projet du type monobloc en béton précontraint pour rail 60-E1 sont utilisées dans toutes les sections de voie courante, les traverses sont posées à raison de 1666 unité au kilomètre (soit au pas de 0.60 m entre axes des traverses)

Mais les voies de service, les voies d'évitement et les voies tiroirs seront équipées par de rails 60-E1 posés sur des traverses bi-bloc de type VAX U31.

IV.2.3. LES ATTACHES :

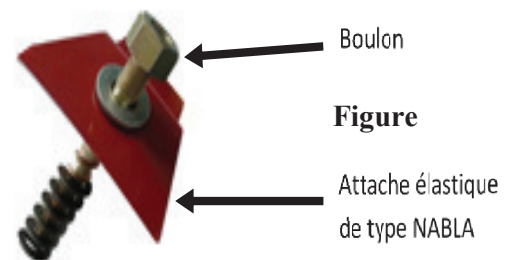
Les attaches sont les pièces responsables de fixer les rails aux traverses et pour l'empêcher de tout déplacement. il sera employé des attaches élastiques, de telle façon à former un intermédiaire élastique entre rail et traverse. Le système recommandé est une attache à lame, ou une attache élastique à fils



Figure IV.14 : Les types des attaches

IV.2.3.1. Les types des attaches :

Les attache utilisé dans notre projet est de type : NABLA



IV.15 : Les attache utilisé dans notre projet.

IV.2.4. Les semelles :

Sont des dispositifs mis entre le rail et la traverse, jouent un rôle très important dans la transmission des charges a la traverse, la stabilité de rail l'absorption des ondes vibratoires mécaniques et acoustique (amortissement). Elles sont en générale en élastomère « caoutchouc » de 9 mm d'épaisseur.



Figure IV.16 : La semelle

IV.2.5. Le ballast :

Le ballast est le lit de pierres ou de graviers sur lequel repose une voie de chemin de fer. Le rôle principale du ballast est de transmettre au sol les efforts engendrés par le passage des trains, Son épaisseur est variable suivant les propriétés des terrains sous-jacents, mais ne descend toutefois jamais au-dessous de 30cm.



Figure IV.17 : Voie ballasté

IV.3. FIXATION D'UNE VOIE FERREE CLASSIQUE :

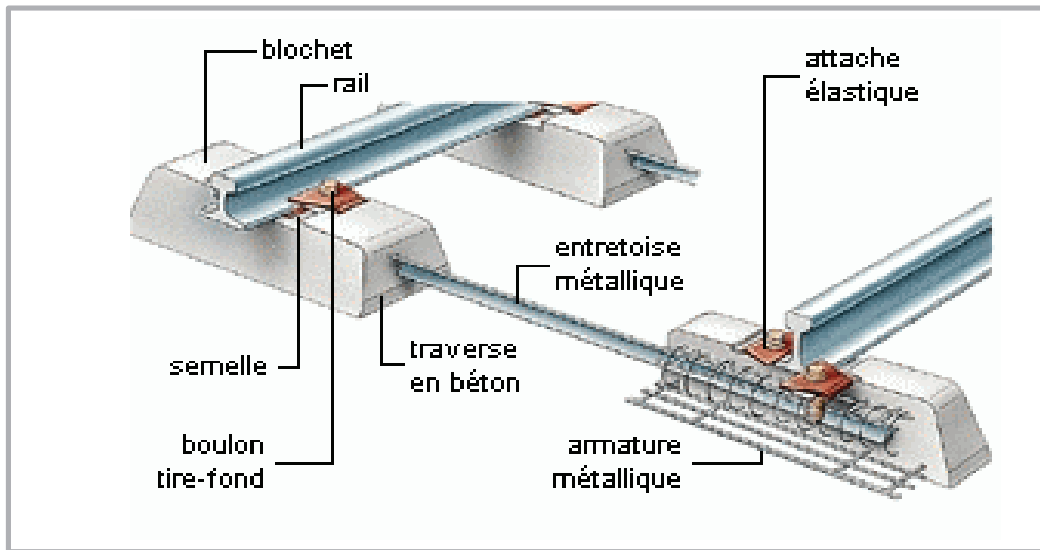


Figure IV.18 : fixation d'une voie ferrée classique

IV.4. POSE DE LA VOIE

IV.4.1. Pose provisoire :

A l'origine de la pose de la voie, le ballast est déversé sur la plateforme et réglé à la hauteur des faces inférieures des traverses, les traverses sont alignées transversalement sensiblement à l'endroit qu'elles doivent occuper, les rails sont déposés provisoirement bout à bout, mais ils sont placés à peu près à leur écartement normal, ils sont éclissés sommairement en ayant soin de placer entre eux une cale provisoire dont l'épaisseur correspond à l'ouverture du joint de dilatation.

Cette pose provisoire achevée à la faveur de quelques tirefondages de traverses (une sur trois ou quatre), on procède à la mise en place exacte des traverses, celles-ci sont ensuite tirefondées.

Le ballast devant constituer la couche supérieure, est refoulé sous les traverses et la voie est amenée par relèvements successifs à la pince au niveau voulu.

Il s'agit alors de procéder au dressage provisoire en alignement.

IV.4.2. Relevage

Le dressage de la voie dans le sens de la hauteur au niveau donné par les piquets de hauteur et au moyen de mires ou d'un jeu de nivelettes.

IV.4.3. Le bourrage

Il a pour but de donner une bonne assiette aux traverses c'est-à-dire de consolider leur position pour qu'elles n'aient aucune tendance à s'affaisser ou s'incliner de quelque côté que ce soit.

IV.4.4. Dressage définitif de la voie :

Sous l'effet du bourrage, des altérations légères dans la position de la voie peuvent se produire. On les corrige par le dressage définitif qui se fait avec les mêmes outils et les mêmes méthodes que le dressage provisoire mais avec plus de soins encore.

IV.4.5. Eclissage :

La voie étant bourrée et dressée définitivement, on complète l'éclissage des rails et l'on place éventuellement les dispositifs anticheminants.

IV.4.6. Réglage du ballast :

Pour achever la pose de la voie, il ne reste plus qu'à régaler le ballast et les banquettes d'après les profils imposés et à faire la toilette de la voie, des accotements et des fossés.

IV.4.7. Procédé de soudure du rail :

❖ Procédé de soudure aluminothermique :

Il consiste à apporter du métal en fusion, identique à celui du rail, dans un moule entourant le joint, afin de reconstituer le profil. Ce procédé est généralisé sur les chantiers de pose ou de maintenance de la voie.

❖ Procédé de soudure électrique :

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

IV.4.8. Dilatation du rail

Le problème majeur de la voie résulte des différences de températures auxquelles elle soumise, Par exemple, une élévation de température de 40 °C provoque une dilatation de 15.12 mm sur une longueur de 36 m. Pour éviter tout flambage du rail, un joint de dilatation est ménagé entre chaque coupon. Ces joints constituent une rupture de continuité de roulement, entraînant alors des chocs, des vibrations et du bruit.

Dès les années 1960, les réseaux européens ont mené des recherches approfondies pour étudier la dilatation du rail, il est apparu que l'application simple de la loi de dilatation est insuffisante et ne tient pas compte des efforts au niveau des attaches rail-traverses. En effet, la variation de la longueur ne se produit pas uniformément, le rail étant fixé rigidement à chaque traverse et ne pouvant se déplacer du fait efforts de frottements très importants, la dilatation se transforme en contrainte dans le rail, sans variation de longueur. Si le rail est suffisamment long, sa grande portion centrale ne se déplace pas quelle que soit la variation de température, du fait de l'équilibre qui s'établit entre les contraintes dues à la dilatation et les forces de frottement au niveau de chaque traverse.

La technologie du long rail soudé s'applique donc essentiellement grâce au serrage énergétique du rail sur les traverses que permet la traverse en béton, Elle est généralisée pour les voies nouvelles à grandes vitesses et lors des renouvellements de voies de grande ligne.

L'emploi des joints de dilatation est cependant encore nécessaire dans les deux cas suivants :

- ❖ Le franchissement des ouvrages d'art (pont, viaduc) du fait des dilatations différentes entre voies et structure d'ouvrage.
- ❖ Réalisation des isolements électriques, lorsqu'ils sont nécessaires au cantonnement de signalisation, pour laquelle sont utilisés des joints collés. Ces joints de dilatation sont constitués pas les extrémités de rails profilés en biseau adjacents, ne provoquant aucune lacune de roulement.

IV.5. CONCLUSION :

Une voie ferrée est un composé de nombreux éléments répondant chacun à des normes précises selon la vitesse et autres paramètres.

CHAPITRE V : TRACÉ EN PLAN

V.1. INTRODUCTION.

V.2. LE TRACÉ EN PLAN.

V.3. LES RESULTATS DE CALCUL POUR NOTRE AXE EN PLAN.

V.1. INTRODUCTION :

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des véhicules, il est donc indispensable de rechercher la meilleure forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface.

V.2. LE TRACÉ EN PLAN :

Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal, il est constitué en générale d'une succession d'alignements droits et d'arcs de cercles relié entre eux par des courbes de raccordement progressif. En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

V_r : vitesse des trains rapides (voyageurs)

V_l : vitesse des trains lents (marchandises)

V.2.1. Conditions et règles de tracé :

Pour faire un tracé économique et technique, on doit respecter les règles suivantes :

- Éviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou bien dans les endroits les plus étroits.
- Éviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Éviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques (les terrains très plastiques, terrains glissant...).
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.

V.2.2. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN :

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements, des liaisons et des arcs de cercles comme il est schématisé ci-dessous :

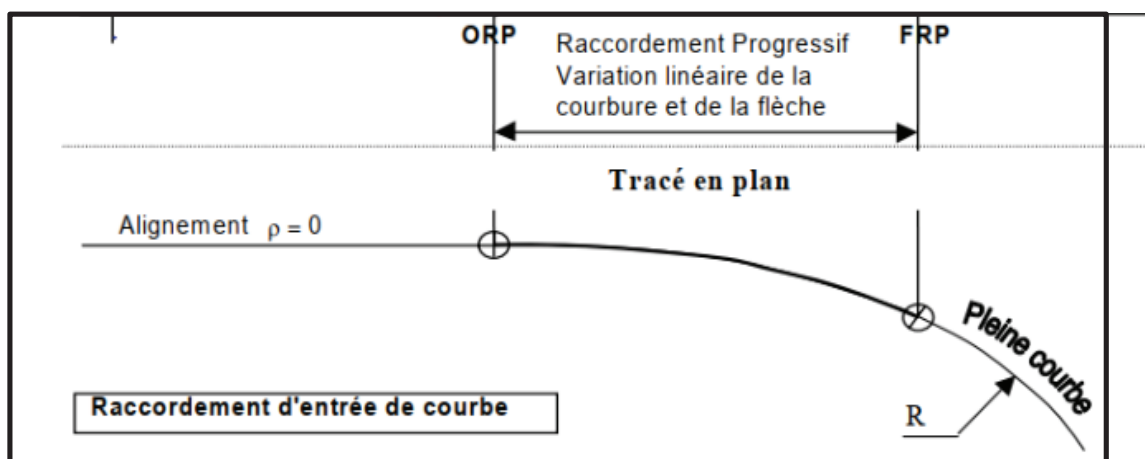


Figure V.1 : les éléments du tracé en plan.

a) L'alignement ($R=\infty$) :

C'est un tracé droit, il est considéré comme étant le meilleur tracé pour le confort et la sécurité qu'il offre aux voyageurs, doit respecter la condition suivante :

Tableau V. 1 : Valeur minimale de l'alignement recommandé par [1]

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Valeur limite normale (m) | V/2 =110 |
| Valeur limite exceptionnelle (m) | V/3 =73.3 |

Ou V est la vitesse rapide 220 km/h.

b) L'arc de cercle :

Dans les zones où les contraintes de terrain ne permettent pas de projeter des alignements droits, on a recours aux raccordements circulaires avec le plus grand rayon possible qui est fonction de la vitesse de circulation de base.

c) La courbe de raccordement :

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, une variation progressive est nécessaire tant pour le confort des voyageurs et pour l'inscription des véhicules dont l'inertie est importante.

V.2.3. LES CONDITIONS DE RACCORDEMENT :

- **Condition de gauchissement :** On doit limiter, dans les zones de variation du dévers la pente relative au profil en long du rail déversé par rapport à l'axe de la voie.
- **Condition du confort optique :** C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.
- **Condition du confort dynamique :** C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

V.2.4. PARAMETRES DE CONCEPTION DE LA VOIE :

V.2.4.1. Le rayon minimal :

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

$$R_{\min} = \frac{11.8}{1+D} V_{\max}^2 \text{ (m)}$$

V.2.4.2. Dévers :

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à le renverser à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieure de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

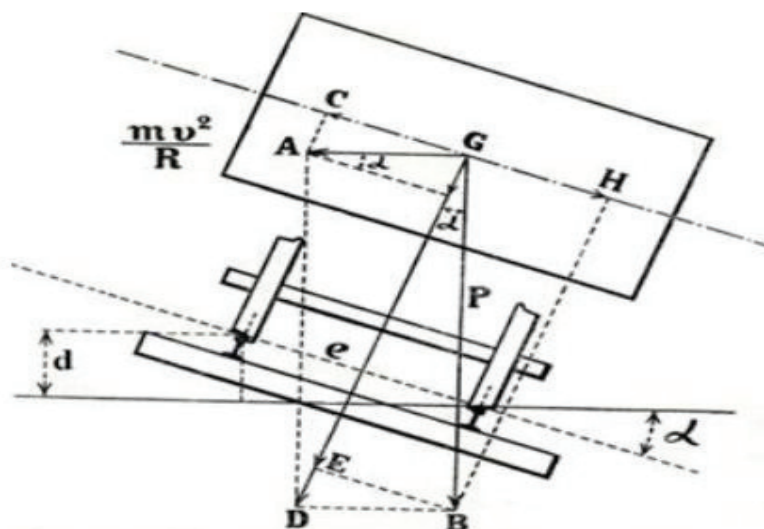


Figure V.2 : Les Forces agissent sur le train en courbe

a) Dévers théorique d_{th} :

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.

Dans une courbe de rayon R , la force de centrifuge vaut : $F = \frac{m \cdot v^2}{R}$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m \cdot v^2}{R \cdot p} \implies \operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{R \cdot g} \text{ et on a } d = e \cdot \sin \alpha$$

Comme α est un petit angle ($\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$)

Alors $d = e \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{e \cdot v^2}{R \cdot g}$ avec V en (m/s)

$$d = \frac{1.5 \cdot v^2}{3.6^2 \cdot R \cdot 9.81} \quad \text{alors} \quad d_{th} = \frac{11.8 \cdot V_{max}^2}{R}$$

d_{th} : en (mm)

R : rayon en (m)

V_{max} : vitesse rapide en (km/h)

b) Dévers pratique d_p :

Le dévers pratique (d_p) de la voie est inférieur au dévers théorique pour les trains les plus rapides (voyageurs) et supérieur à ce dévers pour les trains les plus lents (marchandise). La valeur de dévers pratique doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Eviter l'usure excessive de la voie par les trains.
- Assurer un confort satisfaisant des voyageurs.
- Limiter le déport du matériel roulant.

Ce dévers donné par la formule :
$$d_p = \frac{1000 \cdot C}{R} \text{ (mm)}$$

C : coefficient de dévers $C = 0,006 \times V_{\max}^2$

R : Rayon de raccordement circulaire.

Le dévers de la voie courante doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

1^{ère} condition :

La valeur limite du dévers pratique sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : valeur limite du dévers pratique recommandé par [1]

| | |
|--|-----|
| Valeur limite normale (mm) | 160 |
| Valeur limite exceptionnelle (mm) | 180 |

2^{ème} condition :

La valeur limite du dévers en fonction du rayon R de la courbe et de la variation $\frac{\Delta d}{\Delta L}$ de dévers dans les raccordements adjacents à la pleine courbe résulte du tableau ci-après :

| Variation de dévers (mm/m) | Dévers limite |
|--|--------------------------|
| $\frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 2$ | $d \leq \frac{R-100}{2}$ |
| $2 < \frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 3$ | $d \leq \frac{R-150}{2}$ |
| $3 < \frac{\Delta d}{\Delta L} \leq 4$ | $d \leq \frac{R-250}{2}$ |

V.2.4.3. Insuffisance de dévers I :

La différence entre le dévers théorique et le dévers pratique représenté par l'insuffisance de dévers.

$$I = d_{th(r)} - dp = 11.8 \times \frac{v^2_{max}}{R} - dp \leq I_{rec}$$

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

La limitation de l'insuffisance de dévers I sont définit dans le tableau suivant selon les norme de [SNTF] :

Tableau V.3 : valeur limite de l'insuffisance de dévers I selon [1]

| | |
|---|-----|
| Valeur limite normale(mm) | 150 |
| Valeur limite exceptionnelle(mm) | 160 |

V.2.4.4. Excès de dévers E :

Si les trains les plus rapides circulent avec une insuffisance de dévers, les trains lents sont alors souvent en excès de dévers. L'excès de dévers augmente les efforts exercés sur le rail intérieur par les trains lents, plus spécialement les trains de fret qui ont habituellement des masses par essieu plus élevées. Il est calculé avec la formule :

$$E = dp - d_{th(l)} = dp - 11.8 \times \frac{v^2_{min}}{R} \leq E_{rec}$$

Alors on doit le limiter cette valeur pour diminuer ces efforts. Les valeurs maximales admissible des excès de dévers sont les suivantes :

Tableau V.4 : valeur limite pour l'excès de dévers selon [1]

| | |
|--|-----|
| Valeur limite normale (mm) | 110 |
| Valeur limite exceptionnelle (mm) | 130 |

V.2.4.5. La longueur de courbe de raccordement (clothoïde) :

Le passage d'un alignement à une courbe en dévers ne peut s'effectuer de façon instantanée, aussi bien en plan qu'en profil. Une variation progressive est nécessaire tant pour le confort du voyageur que pour le transport des marchandises et pour l'inscription et pour l'inscription des véhicules dont l'inertie est importance

$$L \geq \frac{d_p * V_{max}}{3.6 * \left(\frac{dd}{dt}\right)_{rec}}$$

d_p : Dévers pratique en(mm).

$\left(\frac{dd}{dt}\right)_{rec}$: Valeur limitée de dévers en fonction du temps (mm/s).

V_{max} : vitesse rapide en (km/h)

Le paramètre de clothoïde (A) est calculé selon l'équation suivante :

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

On utilise ce type de raccordement afin de :

- Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant.
- Introduire progressivement le dévers.
- Respecter les conditions du confort et de sécurité

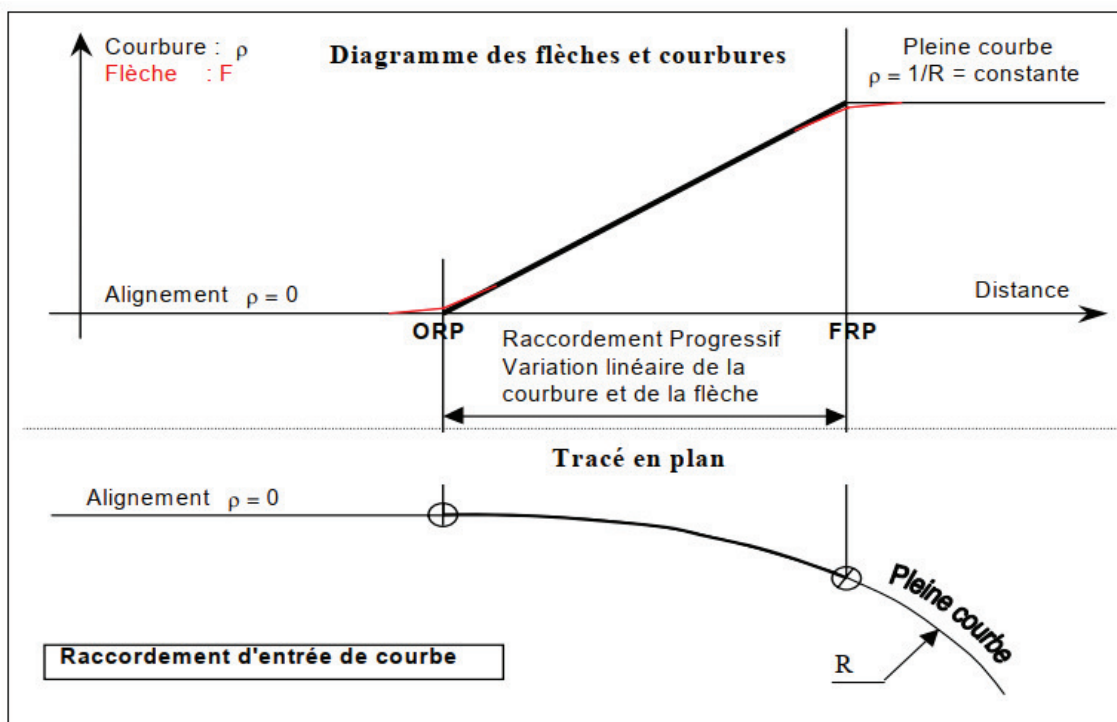


Figure V.3 : courbe de raccordement.

- **ORP** : origine du raccordement progressif
- **FRP** : fin du raccordement progressif

V.2.4.6. Variation de dévers :

➤ **Variation des dévers dans le temps (Dd/Dt) :**

Il est exprimé par la formule :

$$\frac{Dd}{Dt} = \frac{d \times V_{max}}{3.6 \times L_{RP}}$$

La limitation de dévers en fonction du temps dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.5 : valeur limite de variation de dévers en fonction de temps [1]

| | |
|-------------------------------------|----|
| Valeur limite normale (mm/s) | 50 |
| Valeur limite exceptionnelle (mm/s) | 60 |

➤ **Variation en fonction de la longueur (Dd/DL) :**

Dans le raccordement parabolique le dévers varie progressivement de 0 à d, la variation de dévers sur la longueur (**Dd/DL**) peut provoquer un gauchissement de la voie, car les deux files de rails ne sont plus parallèles, c'est-à-dire les quatre roues ne sont pas au même niveau. Alors on doit limiter cette la variation de devers en fonction de la longueur Pour limiter ce problème.

La valeur de (**Dd/DL**) est estimé par la formule :

$$\frac{Dd}{DL} = \frac{3.6 \times Dd}{V_{max} \times Dt}$$

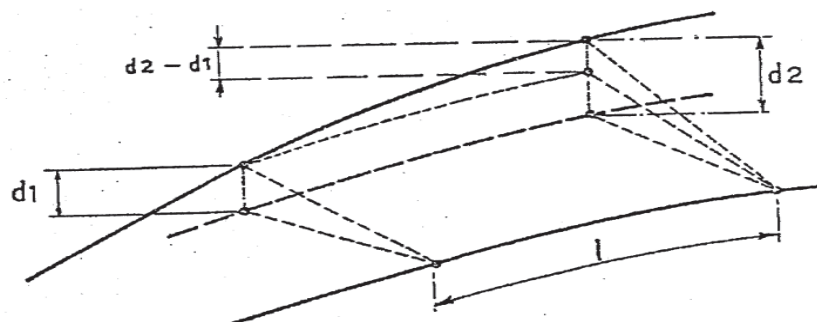


Figure V.4 : Représente variation du dévers

Le tableau suivant reprend les valeurs admissibles de la variation de dévers en fonction de la longueur des courbes de transition Dd/DL exprimées en mm/m.

Tableau V.6 : valeur limite de variation de dévers en fonction de la longueur [1]

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Valeur limite normale (mm/m) | 180/V=0.81 |
| Valeur limite exceptionnelle (mm/m) | 216/V=0.98 |

V.2.4.7. Variation de l'insuffisance de devers dans le temps (DI/Dt) :

Quand la vitesse du train est supérieure à la vitesse d'équilibre, le voyageur ressent l'effet de la force centrifuge non compensée, due à l'insuffisance de dévers. On doit limiter cette variation pour assurer la condition de confort.

$$\frac{DI}{Dt} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L_{RP}}$$

Où L_{RP} est la longueur de raccordement progressif exprimé en m.

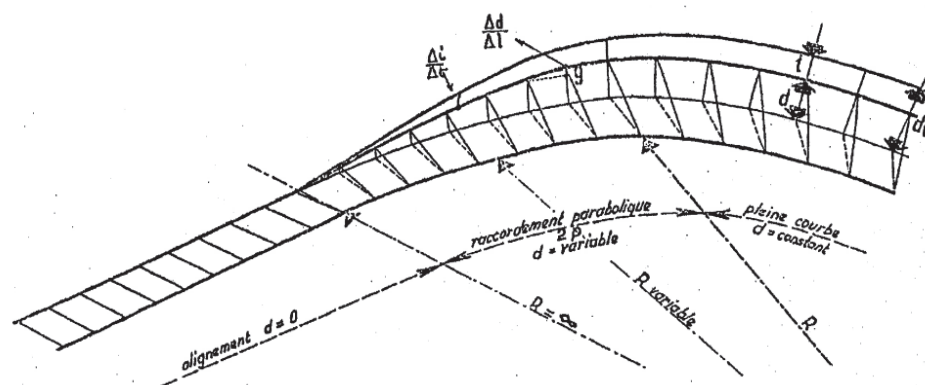


Figure V.5 : Variation de l'insuffisance de devers dans le temps

Les valeurs maximales sont indiquées ci-dessous :

Tableau V.7 : valeur limite de variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps [1]

| | |
|---------------------------------------|----|
| Valeur maximale normale (mm/s) | 75 |
| Valeur maximale exceptionnelle (mm/s) | 90 |

- **Récapitulatif des valeurs limite de paramètres d'axe :**

Tableau V.8 : Récapitulatif des valeurs limite de paramètres d'axe

| Valeur | Limite normale | Limite exceptionnelle |
|------------------------|----------------|-----------------------|
| d_p (mm) | 160 | 180 |
| I (mm) | 150 | 160 |
| E (mm) | 110 | 130 |
| $\frac{Dd}{Dt}$ (mm/s) | 50 | 60 |
| $\frac{Dd}{DL}$ (mm/m) | 0.81 | 0.98 |
| $\frac{DI}{Dt}$ (mm/s) | 75 | 90 |

V.2.4.8. Application au projet :

$$R_{\min} = \frac{11.8}{I+D} V_{\max}^2 \quad \text{A.N : } R_{\min} = \frac{11.8}{160+180} (220)^2 = 1679.76\text{m}$$

$$d_{th} = \frac{11.8}{R} V_{\max}^2 \text{ (pour } R=2000) \quad \text{A.N : } d_{th} = \frac{11.8}{2000} (220)^2 = 285.56 \text{ mm}$$

$$d_p = \frac{1000 \cdot C}{R} \text{ Avec } C = 0,006 \times V_{\max}^2 \quad \text{A.N : } C = 0.006 \cdot (220)^2 = 290.4$$

$$\text{Et } d_p = \frac{1000 \cdot 290.4}{2000} = 145.2\text{mm}$$

On prend $d_p = 146\text{mm} < 160$ **vérifié.**

$$I = d_{th(r)} - dp = 11.8 \times \frac{V^2_{\max}}{R} - dp$$

$$\text{A.N : } I = 11.8 \times \frac{(220)^2}{2000} - 146 = 139.56\text{mm} < 150$$

I c'est Vérifié.

$$E = dp - d_{th(l)} = dp - 11.8 \times \frac{V^2_{\min}}{R}$$

$$\text{A.N : } E = 146 - 11.8 \times \frac{(100)^2}{2000} = 87\text{mm} < 110$$

E c'est Vérifié.

$$L_{RP} \geq \frac{d_p \times V_{\max}}{3.6 \times \left(\frac{dd}{dt}\right)_{\text{rec}}}$$

$$\text{A.N : } L_{RP} \geq \frac{146 \times 220}{3.6 \times 50} = 178.44\text{m}$$

On prend $L_{RP} = 200\text{m}$

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

$$\text{A.N : } A = \sqrt{2000 \times 200} = 632.46\text{m}$$

$$\frac{Dd}{Dt} = \frac{d \times V_{\max}}{3.6 \times L_{RP}}$$

$$\text{A.N : } \frac{Dd}{Dt} = \frac{146 \times 220}{3.6 \times 200} = 44.61 \text{ mm/s} < 50$$

$\frac{Dd}{Dt}$ **C'est Vérifié.**

$$\frac{Dd}{DL} = \frac{3.6 \times Dd}{V_{\max} \times Dt}$$

$$\text{A.N : } \frac{Dd}{DL} = \frac{3.6 \times 44.61}{220} = 0.73\text{mm} < 0.81$$

$\frac{Dd}{DL}$ **C'est Vérifié.**

$$\frac{DI}{Dt} = \frac{I \times V_{\max}}{3.6 \times L_{RP}}$$

$$\text{A.N: } \frac{DI}{Dt} = \frac{139.56 \times 220}{3.6 \times 200} = 42.64 \text{ mm/s} < 75$$

$\frac{DI}{Dt}$ C'est Vérifié.

V.3. LES RESULTATS DE CALCUL POUR NOTRE AXE EN PLAN :

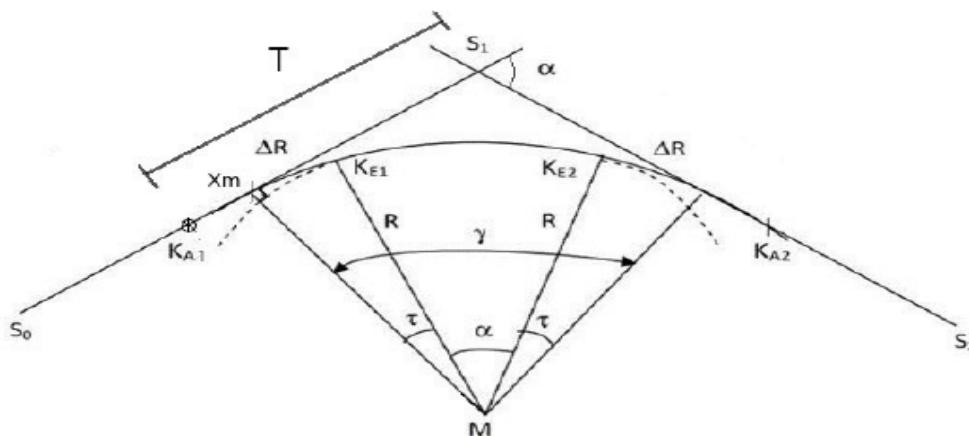
Tableau V.9 : Les résultats de calcul pour notre axe en plan

| R (m) | D _{th(r)} (mm) | D _{th(l)} (mm) | DP (mm) | I (mm) | E (mm) | L (m) | L _{Choisi} (m) | A (m) | DD/DT (mm/s) | DD/DL (mm/m) | DI/DT (mm/s) |
|----------|----------------------------|----------------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2500 | 228.45 | 47.2 | 117 | 111.45 | 69.8 | 143.00 | 180 | 707.107 | 39.72 | 0.65 | 37.84 |
| 2000 | 285.56 | 59 | 146 | 139.56 | 87 | 178.44 | 200 | 632.46 | 44.61 | 0.73 | 42.64 |
| 2000 | 285.56 | 59 | 146 | 139.56 | 87 | 178.44 | 200 | 632.46 | 44.61 | 0.73 | 42.64 |

V.4. Exemple de calcul d'axe :

Le calcul consiste à déterminer tous les points de l'axe point par point du début de tronçons à sa fin, en exprimant leur coordonnée ou directions dans un repère fixe, et à partir par un point dont on connaît les coordonnées, et il doit suivre les étapes les étapes suivantes :

- Calcul des gisements,
- Calcul de l'angle γ entre les alignements,
- Calcul de la tangente T,
- Calcul de la corde polaire SL
- Calcul de l'angle polaire τ
- Vérification de non-chevauchement,
- Calcul de l'arc en cercle,
- Calcul des coordonnées de points particuliers,
- Calcul de kilométrage des points particuliers.



FigureV.6 : caractéristiques principales d'une courbe avec les raccordements

➤ Rayon $R_1 = 2500$ m.

- S_0 ($X=768254.8983$; $Y=3576597.6101$).
- S_1 ($X=769174.0954$; $Y=3572914.5461$).
- S_2 ($X=772351.9433$; $Y=3568153.1078$).

➤ $A = 707.107$ m

Calcul de gisement :

$$\left\{ \begin{array}{l} |\Delta X_0| = |X_{S1} - X_{S0}| = |769174.0954 - 768254.8983| = 919,1971\text{m} \\ |\Delta Y_0| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = |3572914.5461 - 3576597.6101| = 3177,8479\text{m} \\ |\Delta X_1| = |X_{S2} - X_{S1}| = |772351.9433 - 769174.0954| = 3177,8479\text{ m} \\ |\Delta Y_1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = |3568153.1078 - 3572914.5461| = 4761,4383\text{ m} \end{array} \right.$$

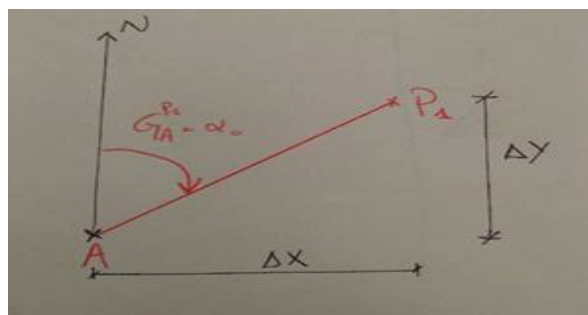
$$\text{Distance} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_0S_1 = \sqrt{919,1971^2 + 3177,8479^2} = 3796,035265\text{m} \\ S_1S_2 = \sqrt{3177,8479^2 + 4761,4383^2} = 5724,509757\text{m} \end{array} \right.$$

Calcul des gisements :

$$G_i^{i+1} = \tan^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} (\text{grade})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{S_1}^{S_0} = 100 + \tan^{-1} \frac{919,19}{3177,84} = 115,57\text{grad} \\ G_{S_2}^{S_1} = 100 + \tan^{-1} \frac{3177,84}{4761,43} = 137,46\text{grad} \end{array} \right.$$



Calcul de l'angle γ :

$$\gamma = |G_{S1}^{S0} - G_{S2}^{S1}| = 21,89 \text{grad}$$

Calcul de l'angle τ :

$$L = A^2/R = (707.107)^2/2500 = 200\text{m}$$

$$\tau = L \times 200/2R\pi = 200 \times 200/2.2500. \pi = 2,54 \text{grad}$$

Calcul de la tangente T :

$$T = X_m + (R + \Delta R) \text{tg } \gamma / 2 \quad \text{Avec : } X_m = L/2 = 100\text{m}$$

$$\Delta R = L^2/24R = (200)^2/24.2500 = 0.66\text{m}$$

$$\text{D'où : } T = 100 + (2500 + 0.66) \text{tg } 21.89 / 2 = 534,10\text{m}$$

Calcul de la distance **S0kA1 :**

$$S_{0kA1} = S_0S_1 - T = 3796,03 - 534,1 = 3261.93\text{m}$$

Calcul de le corde **SL**

$$S_L = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2}$$

$$X_{KE} = L = 200\text{m}$$

$$Y_{KE} = L^2/6R = (200)^2/6.2500 = 2.66\text{m}$$

$$S_L = 200\text{m}$$

Vérification de non chevauchement :

$$\tau < \gamma/2 \rightarrow 2.54 < 10.49 \rightarrow \text{pas de chevauchement}$$

Calcul de l'angle polaire σ :

$$\sigma = \arctan(Y_{ke}/X_{ke}) = 0.84 \text{grad}$$

Calcul de α :

$$\alpha = \gamma - 2 \tau = 16.8 \text{grad}$$

Calcul de La longueur de l'arc :

$$B = K_{E1}K_{E2} = [\pi R (\gamma - 2 \tau)] / 200 = 534,10\text{m}$$

Calcul des cordones des points singuliers :

Le point **KA1 :**

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{KA1} = X_{S1} - T \sin G_{S1}^{S0} \\ Y_{KA1} = Y_{S1} + T \cos G_{S1}^{S0} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{KA1} = 748095,7105\text{m} \\ Y_{KA1} = 3546233,837\text{m} \end{array} \right.$$

Le point KA2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{KA2} = X_{S1} + T \sin G_{S2}^{S1} \\ Y_{KA2} = Y_{S1} + T \cos G_{S2}^{S1} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{KA2} = 745656,4887\text{m} \\ Y_{KA2} = 3597472,248\text{m} \end{array} \right.$$

Le point KE1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{KE1} = X_{KA1} + S_L \sin(G_{S1}^{S0} + \sigma) \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} + S_L \cos(G_{S1}^{S0} + \sigma) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{KE1} = 753365,5816\text{m} \\ Y_{KE1} = 3557832,798\text{m} \end{array} \right.$$

Le point KE2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{KE2} = X_{KA2} + S_L \sin(G_{S1}^{S0} + \sigma) \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} + S_L \cos(G_{S1}^{S0} + \sigma) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{KE2} = 733152,8321\text{m} \\ Y_{KE2} = 3595029,706\text{m} \end{array} \right.$$

Les calculs sont faits à l'aide du logiciel CIVIL 3D

On remarque que le calcul est le même que le calcul automatique.

CHAPITRE VI : PROFIL EN LONG

VI.1. INTRODUCTION.

VI.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG.

VI.3. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG.

VI.4. LE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG.

VI.5. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN.

VI.6. DÉTERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG.

VI.7. APPLICATION DE PROJET.

VI.1. INTRODUCTION :

Le profil en long est la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé. Elle est composée généralement de la succession de pentes et rampes raccordées par des courbes paraboliques. Ces éléments représentent la ligne rouge ou ligne du projet.

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

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

Le tracé de la ligne rouge doit répondre à certaines conditions :

- La déclivité maximale est de 16‰ en plein voie, et de 0‰ au sein des gares et haltes ;
- Minimiser les quantités de déblai et remblai ;
- Se raccorder au réseau existant ;
- Eviter les angles rentrants en déblai pour une bonne évacuation des eaux ;
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Respecter la longueur minimale des éléments de profil en long ($L_{min} = V/2$) ;
- Respecter le rayon minimal en profil en long qui vaut : $R_v \min = 0.35 VR^2$.

VI.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG :

- **Pente** : tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente).
- **Rampe** : tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée).
- **Palier** : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Courbes de raccordement verticales** : ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge

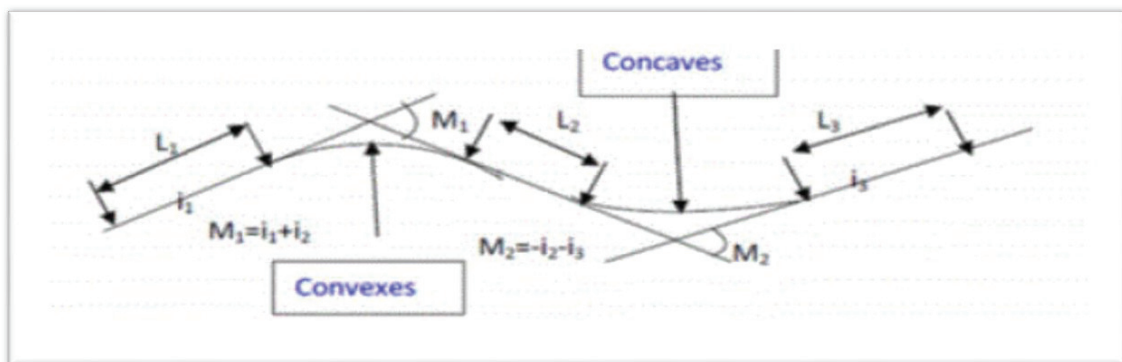


Figure VI.1: représente les éléments du profil en long

VI.3. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG :

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

$$L_{\min} = V/2 = 110\text{m}$$

VI.4. LE RACCORDEMENT EN PROFIL EN LONG :

La succession de deux déclivités en profil en long nécessite un raccordement circulaire permettant d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la Vitesse des véhicules, alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise.

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

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

Tableau VI.1 : valeurs des rayons de raccordement minimaux à respecter [1]

| | |
|-----------------------|-------------------|
| VALEUR NORMALE | $0.35V^2 = 16940$ |
| VALEUR EXCEPTIONNELLE | $0.25V^2 = 12100$ |

VI.5. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN :

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

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

Le respect de ces conditions a pour but de :

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

VI.6. DÉTERMINATION PRATIQUES DU PROFIL EN LONG :

Dans les études des projets, on assimile l'équation du cercle : $X^2 + Y^2 - 2RY = 0$. À l'équation du parabole $X^2 - 2RY = 0 \Rightarrow Y = X^2/2R$
 Pratiquement, le calcul des raccords se fait de la façon suivante :

- Donnée les coordonnées (abscisse, altitude) les points **A, D**.
- Donnée la pente **P1** de la droite (**AS**)
- Donnée la pente **P2** de la droite (**DS**)
- Donnée le rayon **R**

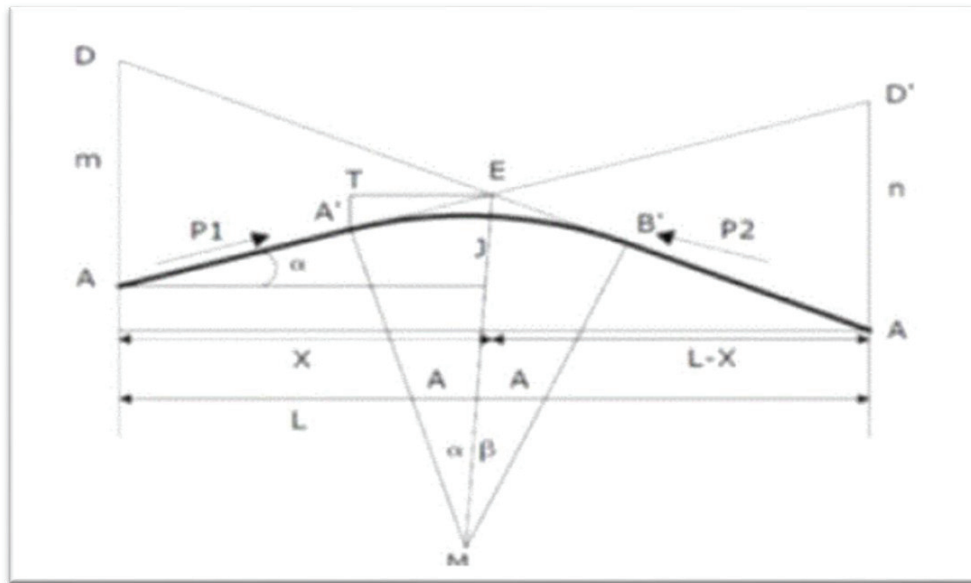


Figure VI.2 : éléments de profil en long.

AA' et **BB'** : Extrémités du raccordement

TT : Tangente de part et d'autre du sommet

AA Et **BB** : deux points connus sur P1 et P2

FF : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche)

XX : Distance entre le sommet et un point A sur P1

(alpha + beta) : Angle de variation, ou de changement de direction

O : Centre du cercle de rayon R

E : Sommet ou point de changement de déclivité

L : Distance entre les deux points A et B.

VI.7. APPLICATION DE PROJET :

Calcul des éléments de profil en long (les trois points de profile en long) :

$$\text{avec } \begin{array}{l} A \left\{ \begin{array}{l} S= 17225\text{m} \\ Z= 152,19\text{m} \end{array} \right. \quad E \left\{ \begin{array}{l} S=18925 \\ Z=135,93\text{m} \end{array} \right. \quad B \left\{ \begin{array}{l} S=21986,92\text{m} \\ Z=131,434\text{m} \end{array} \right.$$

Et **R = 30000 m**

Calcul des pentes (P) :

$$P1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1} = \frac{135,93 - 152,19}{18925 - 17225} = -0,009$$

$$P2 = \frac{\Delta Z2}{\Delta S2} = \frac{131,434 - 135,93}{21986,92 - 18925} = -0,001$$

Calcul de tangente T :

$$T = R \times (P1 + P2) / 2 = 30000 \times (0,009 + 0,001) / 2 = 165,496\text{m}$$

Calcul de la flèche F :

$$F = T^2 / 2R = (165,496)^2 / 2 \times 30000 = 0,45\text{m}$$

Calcul de la cote de point au milieu de raccordement parabolique :

$$Z_G = Z_E - F = 135,93 - 0,45 = 135,473518\text{m}$$

Calcul des PK et cotes des points A' et B' :

$$\left\{ \begin{array}{l} ZA' = ZE - T \times P1 = 137,51\text{m}. \\ P_{KA'} = S_E - T = 18+759\text{m}. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} ZB' = ZE + T \times P2 = 136,17\text{m} \\ P_{KB'} = S_E + T = 19+090\text{m} \end{array} \right.$$

Les résultats du calcul d'axe manuel sont comparables au calcul numérique obtenu par le logiciel Civil 3D (Les résultats du calcul sont joints à l'annexe N02).

CHAPITRE VII :

ETUDE

GÉOLOGIQUE ET

GÉOTECHNIQUE

VII.1. INTRODUCTION.

VII.2. ETUDE GÉOLOGIQUE.

VII.3. ETUDE GÉOTECHNIQUE.

VII.4. CONCLUSION.

VII.1. INTRODUCTION :

Les études géotechniques sont nécessaires pour mesurer dès l'avant-projet sommaire, l'incident des choix du profil en long et d'une manière générale du tracé est en terme de coût. On peut dire aussi que la géotechnique est une science empirique qui se fait en partie sur les données recueillies lors des essais en laboratoire et sur terrain.

L'étude géotechnique du site s'est basée essentiellement sur la description géomorphologique et lithologique, l'interprétation des mouvements gravitaires et l'estimation des tassements, le recensement des gîtes a matériaux et en fin le dimensionnement de l'assise.

VII.2. ETUDE GÉOLOGIQUE :

VII.2.1. INTRODUCTION :

L'étude géologique s'avère d'une nécessité et importance indiscutable, et doit intervenir bien en amont de toute étude pour contribuer au choix du tracé, à détecter ses points critiques (durs), et à bien connaître la nature du terrain qui servira d'assise pour le projet, afin d'éviter ou du moins limiter d'éventuels problèmes pouvant se poser en phase de réalisation ou après.

VII.2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DE LA RÉGION :

D'après la carte géologique de la région d'Ourgla (1/200 000), le projet concerné par notre étude se développe principalement sur une partie de l'Atlas Saharien, on distingue deux formation lithologique :

1. Glacis et affleurement des grés érodés ; grés et les argiles sableuses.
2. Dunes des sables éolienne ; amas des sables vivre ou fixés.

VII.2.2.1. Sismicité :

Le document technique réglementaire D.T.R. concernant les règles parasismiques algériennes (RPOA 2008), élaboré par le CTTT et le CGS (centre national de recherche appliquée en génie parasismique), divise le territoire algérien en cinq (05) zones sismique :

Zone 0 : sismicité négligeable

Zone I : sismicité faible

Zone IIa : sismicité moyenne

Zone IIb : sismicité élevée

Zone III : sismicité très élevée

Ces zones sont représentées sur la figure suivant :

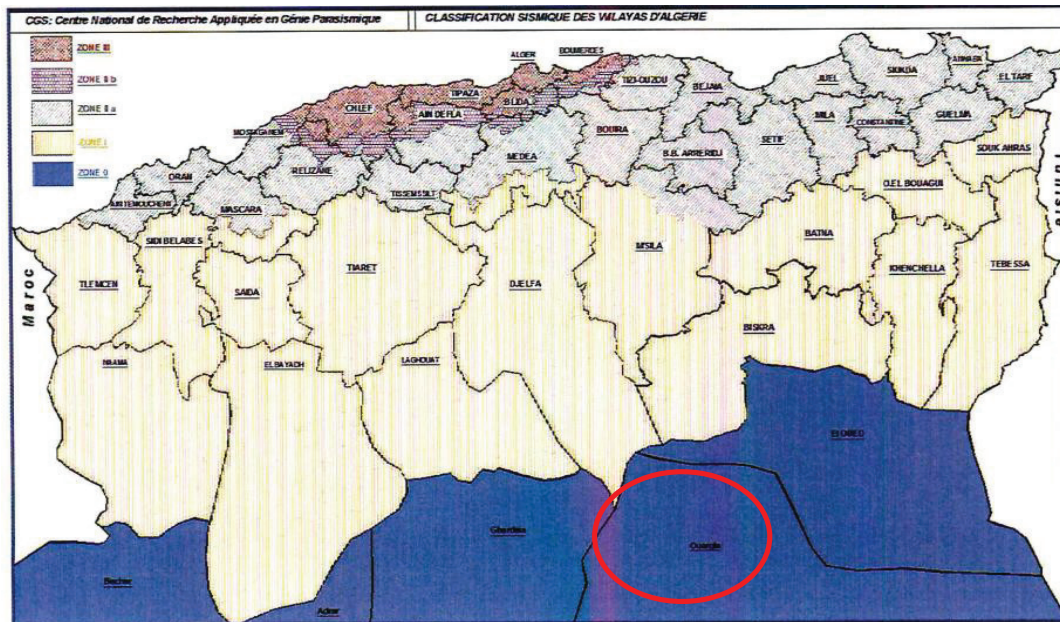


Figure VII. 1 : situation du secteur d'étude sur la carte de zonage sismique du territoire nationale

La région de Ouargla est caractérisée par une sismicité négligeable (**Zone 0**)

VII.2.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE LOCAL :

D'après la carte géologique ci-dessous, le site étudié est localisé et implanté sur des formations calcaires travertins qui habituellement recouverte par des amas sableux

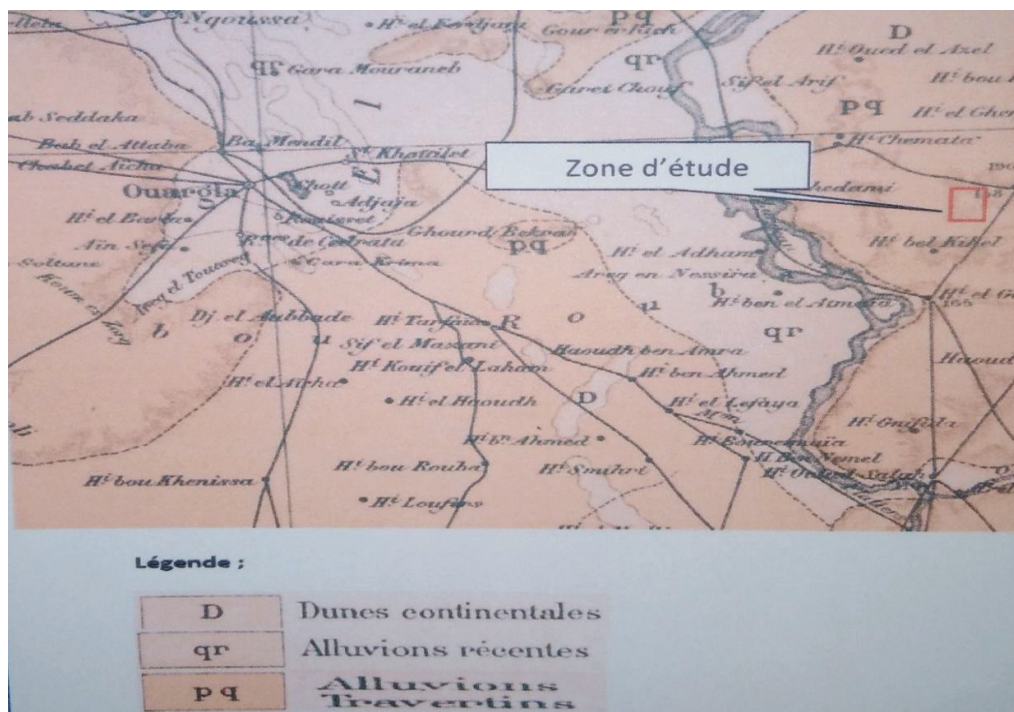


Figure VII. 2 : contexte géologique local

VII.3. ETUDE GÉOTECHNIQUE :

VII.3.1. INTRODUCTION :

L'étude géotechnique doit connaître les caractéristiques globales des sols de la plateforme, avec classification des sols de diverses manières, afin de prévoir le comportement géotechnique des différentes formations que va traverser le projet du chemin de fer ainsi que les zones d'emprunt

VII.3.3. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE :

La campagne de reconnaissance géotechnique comprend l'exécution de puits d'exploration, de forages, l'installation de piézomètres, une série d'essais in-situ comme les essais pressiométriques et des essais de pénétration dynamique ainsi qu'une batterie d'essais en laboratoire comprenant des essais d'identification et des essais mécaniques.

VII.3.2.1. Essais in situ :

Tableau VII. 1 : les essais de reconnaissance géotechnique (essais in situ) [2].

| N° : | désignation | objectifs |
|------|--|--|
| 1 | Sondage carotte XP P94-202 | - identification du sol - distinction des types de formation - prélèvement des échantillons |
| 2 | Les puits de reconnaissance | - Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés. |
| 3 | Essai de préssiométrie NF P94-110-1 | - Détermination des pressions limites et de fluage |
| 4 | Essai de pénétration dynamique NF P94-114 | - Détermination de la succession des différentes couches de sol - Capacité portante du sol |

VII.3.2.2. Essais au laboratoire :

Les essais en laboratoire prévus pour notre projet de voie ferrée sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau VII.2 : les essais de reconnaissance géotechnique (essais au laboratoire) [2].

| Essais | Description | norme | objectifs |
|-----------------------------|---|--------------|--|
| Essai physique | Analyse granulométrique | NF P94-057 | Classification des sols Et dimensionnement de la plateforme |
| | Teneur en eau naturelle | NF P94-050 | |
| | Densité apparente sèche | NF P94-050 | |
| | Valeur bleu méthylène VBS | NF P94-068 | |
| Essais mécaniques | Essai de la compressibilité à l'œdométrique | NF P94-090-1 | Déterminations Les paramètres mécanique Pour étude stabilisation des remblais et déblais. Etude tassement des sols |
| | Essai de cisaillement uniaxial | NF P94-071-1 | |
| Analyse chimiques sommaires | Teneur en carbonates | NF P94.048 | Déterminations de pourcentage de matériaux organique |
| | Teneur en sulfates | NF P94.009 | |
| | Teneur en matière organique | NF P94.047 | |

VII.3.3. RESULTATS DES ESSAIS :

VII.3.3.1. Essais in situ :

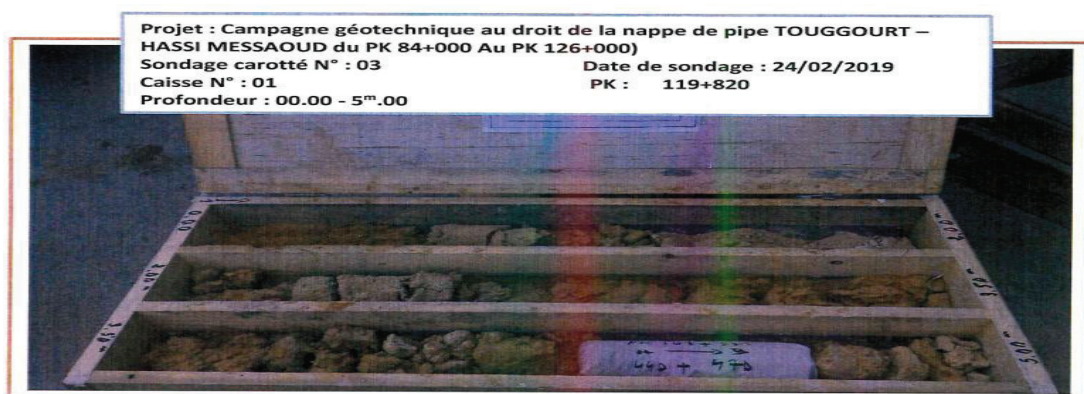


Figure VII.3 : photos de sondage SC N° :03 (source : rapport géotechnique) [2].

a. Résultats des Sondages Carottés :

Les sondages carottés fournissent la meilleure qualité d'échantillon permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols. Ils sont indispensables pour la recherche des gisements de minerais, d'eau, d'hydrocarbures mais aussi l'étude et une meilleure connaissance du socle rocheux en général. Les sondages carottés permettent de visualiser les terrains traversés, de préciser avec certitude leur disposition géométrique, d'effectuer un certain nombre d'essais de laboratoire et in situ.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VII.3 : Description lithologique des sondages [2].

| sondage | PK | REMBLAI/ DEBLAI | Matériaux | |
|---------|---------|--------------------|----------------|--|
| | | | Profondeur (m) | description |
| Sc1 | 109+175 | R | 1-0.60m | Sable limoneux rougeâtre |
| | | | 1.60-4.00m | Sable gypseux |
| | | | 4.00-5.00 | Grès fragmenté |
| Sc2 | 109+375 | R | 0-1.20m | Sable limoneux gypseux |
| | | | 1.20-5.00m | Limon sableux gypseux avec précipitation carbonaté |
| Sc3 | 109+820 | R | 0.0-1.00m | Sable limoneux |
| | | | 1.00-5.00m | Sable gypseux carbonaté |
| Sc4 | 115+550 | R | 0.0-2.00m | Limon sableux |
| | | | 2.00-5.00m | Sable fin gypseux carbonaté légèrement limoneux |
| Sc5 | 116+000 | R | 0.00-1.0m | Sable limoneux |
| | | | 1.00-3.50m | Sable gypseux carbonaté |
| | | | 3.50-5.00m | Limon sableux gypseux carbonaté |
| Sc6 | 119+775 | R | 0.00-1.00m | Encroutement gréseux calcaire |
| | | | 1.00-5.00m | Sable gypseux carbonaté |
| Sc7 | 121+650 | R | 0.00-5.00m | Sable fin |

| | | | | |
|------|----------|---|--------------|---|
| Sc8 | 122+000 | R | 0.00-5.00m | Sable fin |
| Sc9 | 122+675 | R | 0.00-2.50m | Sable fin |
| | | | 2.50-3.50m | Sable argileux gypseux |
| | | | 3.50-5.00m | Sable fin |
| Sc10 | 121+000 | D | 0.00-1.00m | Sable |
| | | | 1.00-1.50m | Encroutement calcaire |
| | | | 1.50-2.50m | Sable fin |
| | | | 2.50-7.20m | Sable calcaire |
| | | | 7.20-9.00m | Sable argileux |
| | | | 9.00-12.00m | Sable gypseux |
| SC11 | 120+880 | D | 12.00-13.00m | Argile sableuse gypseuse |
| | | | 0.00-1.20m | Limon sableux avec précipitation carbonatés |
| | | | 2.00-5.00m | Sable fin gypseux |
| | | | 5.00-11.50m | Encroutement calcaire gréseux gypseux |
| | | | 11.50-12.50m | Argile sableuse |
| SC12 | 121+075 | D | 12.50-13.00m | Calcaire gréseux gypseux |
| | | | 0.00-4.50m | Sable gypseux |
| | | | 4.50-7.50m | Sable argileux gypseux |
| | | | 7.50-9.00m | Sable |
| | | | 9.00-9.50m | Sable gypseux |
| SC13 | 121+175 | D | 9.50-14.00m | Sable argileux |
| | | | 0.00-5.00m | Sable |
| | | | 5.00-6.50m | Sable argileux gypseux |
| | | | 6.50m-10.50m | Sable gypseux |
| | | | 10.50-12.00m | Sable argileux gypseux |
| SC14 | 124+0.50 | D | 12.00-15.00m | Argile |
| | | | 0.00-2.00m | Sable |
| | | | 2.00-5.00m | Sable argileux |
| | | | 5.00-8.50m | Sable argileux gypseux |
| | | | 8.50-16.50m | Sable gypseux |
| SC15 | 124+100 | D | 16.50-17.00m | argile |
| | | | 0.00-1.00m | Sable |
| | | | 1.00-3.50m | Sable argileux |
| | | | 3.50-4.25m | Gypse |
| | | | 4.25-7.50m | Sable gypseux |
| | | | 7.50-15.00m | Sable |

b. Résultats des puits de reconnaissance :

Cet essai permet de Déterminer de l'épaisseur des dépôts de couverture (de remblais, d'alluvion, de terrasse, dunaire ou de croûtes de précipitation).

Sept (07) puits de reconnaissance de 1 à 4 m de profondeur notés PU1 AU PU7, au retro-chargeur ont été effectués pour cette section des déblais.

Le tableau ci-dessous résume la localisation de ces puits d'investigations :

Tableau VII. 4 : Description lithologique de puits [2].

| PU N° : | PK | lithologie |
|---------|---------|-------------------------|
| PU1 | 109+975 | sable |
| PU2 | 110+700 | sable |
| PU3 | 112+575 | tuf sableux caillouteux |
| PU4 | 113+875 | tuf sableux |
| PU5 | 117+775 | sable graveleux |
| PU6 | 120+650 | sable graveleux |
| PU7 | 124+000 | sable limoneux |

c. Résultats des essais Préssiométrique :

L'essai préssiométrique est un essai de chargement statique du terrain en place, effectuée grâce à une sonde cylindrique dilatable radialement introduite dans un forage.

L'essai permet d'obtenir une courbe de variation volumique de sol en fonction de la contrainte appliquée, et de définir une relation contrainte déformation du sol en place dans l'hypothèse d'une déformation plane.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus au cours de sondage préssiométrique.

Tableau VII. 5 : Résultats des sondages préssiométriques [2].

| Essai | pk | Remblai/déblai | profondeur | LITHOLOGIE |
|-------|---------|----------------|------------|----------------|
| SP1 | 106+500 | R | 1-2m | Sable grossier |
| | | | 2-5m | Sable argileux |
| SP2 | 109+675 | R | 1-6m | Sable grossier |
| | | | 6-9m | Sable argileux |
| SP3 | 116+000 | R | 1-3m | Sable grossier |
| | | | 3-8m | Sable argileux |
| SP4 | 121+175 | D | 1-11m | Tuf gypseux |
| | | | 11-15m | Sable grossier |
| SP5 | 124+050 | D | 1-13m | Tuf gypseux |
| | | | 13-17m | Sable grossier |

d. Résultats des essais Pénétromètre dynamique lourd PDL :

Ce type d'essai met en œuvre un matériel simple et robuste. Il consiste à faire pénétrer dans le sol par battage des tiges métalliques à l'aide d'un mouton tombant en chute libre.

Cet essai permet d'une part de déterminer la résistance du sol par battage ainsi de localiser une profondeur potentielle d'assise des fondations.

Les résultats sont présentés sous forme de diagramme appelés pénétrogramme donnant la résistance de pointe R_p (en bars) du sol en fonction de la profondeur en mètres.

R_p : la résistance de pointe calculée à partir de la formule des hollandais

Tableau VII. 6 : Tableau récapitulatif de l'essai PDL [2].

| Essai | PK | Profondeur(m) | Refus | Rpmin(bar) | Rpmax(bar) | Qadm(bar) |
|-------|-----------------|---------------|---------------|------------|------------|-----------|
| PDL | 106+075 GARE | 0.00-3.00m | sans refus | 30 | 130 | 1.5 |
| | | 3.00-10.50m | sans refus | 50 | 80 | 2.5 |

VII.3.3.2. Essais au laboratoire :

- Echantillons Prélevés des puits de reconnaissance :

Tableau VII. 7 : Résultats des essais [2].

| Puits de reconnaissance | PK | Identification Wn(%) | Argilosité VBS | Granulométrie | | | Proctor normal | | CBR (%) | CLASSIFICATON GTR | CLASSIFICATON UIC |
|-------------------------|---------|----------------------|----------------|---------------|---------|-------|----------------|-----------|---------|--------------------------|-------------------|
| | | | | Dmax(%) | 2mm (%) | 80µm | Wopn(%) | γd (t/m3) | | | |
| PU1 | 109+975 | 0.80 | 0.125 | ≤ 50 | 99 | 3.66 | / | / | / | B₁ | QS1 |
| PU2 | 110+700 | 6.19 | 0.48 | ≤ 50 | 96 | 22.46 | 11.8 | 1.91 | 13.85 | B_{5S} | QS2 |
| PU3 | 112+575 | 5.38 | 0.08 | 93.64 | 44 | 40.2 | 9.0 | 1.81 | 22.12 | C_{1A1ts} | QS1 |
| PU4 | 113+875 | 5.38 | 0.11 | 93.31 | 47 | 15.58 | 12.9 | 1.75 | 17.78 | C_{1B5s} | QSA2 |
| PU5 | 117+775 | 7.02 | 0.39 | ≤ 50 | 92 | 25.89 | 12.9 | 1.70 | 20.65 | B_{5s} | QS2 |
| PU6 | 120+650 | 6.53 | 0.48 | ≤ 50 | 91 | 29.39 | 12.6 | 1.68 | 30.22 | B_{5s} | QS2 |
| PU7 | 124+000 | 6.16 | 0.93 | ≤ 50 | 84 | 41.38 | 17.9 | 1.59 | 8.38 | A_{1ts} | QS1 |

• **Echantillons Prélevés de sondage :**

Les échantillons prélevés de sondage ont été soumis aux essais et leurs résultats sont présentés dans le tableau (Voir l'Annexe géotechnique).

Essai de cisaillement :

Tableau VII. 8 : Résultats des essais cisaillement [2].

| Sondage | PK | Remblai /déblai | Profondeur(m) | Cisaillement rectiligne | |
|---------|---------|-----------------|---------------|-------------------------|--------|
| | | | | Φ (degré) | C(kpa) |
| Sc1 | 109+175 | R | 2.00-2.40m | 22.05 | 50.42 |
| Sc3 | 109+820 | R | 4.20-4.50m | 33.62 | 09.00 |
| Sc5 | 116+000 | R | 2.70-3.00m | 37.42 | 16.81 |
| Sc6 | 119+775 | R | 3.00-3.50m | 35.00 | 15.45 |
| Sc13 | 121+175 | D | 14.00-14.50m | 21.18 | 23.94 |

Les résultats des couples de cisaillement caractérisent un sol d'un frottement moyen et une cohésion faible à moyenne, cette différence est due à la présence des gypses avec une teneur variante

Essai de compressibilité :

Tableau VII. 9 : Résultats des essais œdométriques [2].

| Sondage | pk | Profondeur(m) | Compressibilité à l'œdomètre | | |
|---------|---------|---------------|------------------------------|-------|------|
| | | | PC(BAR) | Cc% | Cg% |
| Sc13 | 121+175 | 12.00-13.00m | 1.02 | 17.61 | 4.65 |
| | | 14.00-14.50m | 0.32 | 17.27 | 5.32 |

Les résultats d'essai de compressibilité à l'œdomètre indiquent un sol moyennement compressible et gonflant.

VII.3.4. CONDITIONS D'UTILISATION DES SOLS EN REMBLAIS [9] :

Selon « GTR » ; les matériaux rencontrés se situent dans la catégorie **A1-C1B5** et **B5**, ces sols sont autorisés à utiliser en remblai et en couche de forme ces matériaux présentant un état hydrique sec à très sec, ils pourront être réutilisés en remblais courant de hauteur moyenne, en adaptant le compactage à la nature et l'état hydrique des matériaux selon les recommandations du **GTR**

VII.3.5. CLASSIFICATION DES SOLS :

La classification du sol support basée sur la nature géotechnique du sol support. On distingue quatre classes de qualité du sol selon référentiel UIC 719 « union internationale des chemins de fer » sont :

QS0 : sols impropres à la réalisation d'une plateforme correcte.

QS1 : sols médiocres.

QS2 : sols moyens.

QS3 : bons sols.

D'autre part on s'intéresse à classer les sols selon la classification GTR pour la réalisation des remblais et des couches de forme celle-ci nous permis de diviser les sols selon leur nature géotechnique en six classe différentes chaque classe se diviser en sous classes définissant la nature et l'état hydrique des sols, les classes sont :

Classe A : sols fins.

Classe B : sols sableux et graveleux avec fines.

Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments.

Classe D : sols insensible à l'eau.

Classe R : matériaux rocheux.

Classe F : sols organiques sous-produits industriels.

VII.3.5.1. Applications au projet :

Tenant compte de l'essai in situ (PU7) PK 124+000 :

- **Classifications selon GTR [9] :**
- **Classe des sols selon la nature :**

$d_{max} \leq 50$ et le passant à $80\mu m$ est de **41.38%** $>35\% \Rightarrow$ donc classe de ce sol est A.

$VBS=0.93 < 2.5 \Rightarrow$ alors la sous classe de sol sera : A1 (limons peu plastiques, lœss, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...)

- **Classification selon l'état hydrique :**

$$W_n=6.16\% \quad W_{opn}=17.9\%$$

$$W_n=6.16 < 0.7 * W_{opn}=0.7 * 17.9=12.53$$

Donc selon classifications GTR le sol est de classe : **A_{1ts}**

- **Classifications selon UIC719R [3] :**

Pour le même sol de PU7 (A_{1ts})

A₁ : Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arène peu plastiques... (selon GTR)

Le passant à 80µm est de **41.38%** > **40%** ⇒ QS1 (selon UIC719R)

VII.4. CONCLUSION :

La réalisation des essais d'identifications et les essais mécaniques aux laboratoires et sur site (in-situ) sur plusieurs échantillons du sol prélevés de nombreuse profondeurs, nous ont permis de faire deux classifications du sol :

- Selon la classification GTR :

En général le sol est limoneux (limon peu plastique, sable fins peu pollués, sols sableux et graveleux avec fines, sols comportant des fines et des gros éléments).

- Selon la classification UIC719R :

La classe de qualité du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS2 (sols moyens).

CHAPITRE VIII : TERRASSEMENTS ET ASSISE DE VOIE

VIII.1. TERASSEMENTS.

VIII.2. DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE.

VIII.3. CUBATURES.

VIII.4. CONCLUSION.

VIII.1. TERASSEMENTS :

VIII.1.1. INTRODUCTION :

La performance d'une ligne dépend principalement de la qualité de sa fondation. Ce qui nécessite des aménagements spécifiques du terrain tels que déblais, remblais, talus conçus de manière adéquate pour répondre aux charges de trafic prévues et différents charges dynamique.

VIII.1.2. DEBLAIS

En général, la section type projetée pour le couloir adopte un talus de pente 3H/2V, avec des bermes de 3 m de large tous les 6 m de hauteur pour les sols et roches molles, et de 1H/2V avec la même disposition de bermes pour les terrains rocheux. Il sera recommandé de disposer des fossés revêtus dans la berme pour contrôler l'eau d'écoulement et éviter son infiltration dans les déblais. Comme critère général, lorsque les déblais sont effectués dans des terrains rocheux, il peut être nécessaire de disposer des caniveaux au pied des talus pour récupérer les possibles blocs qui pourraient se détacher. Ces caniveaux portent le nom de fossé type Ritchie.

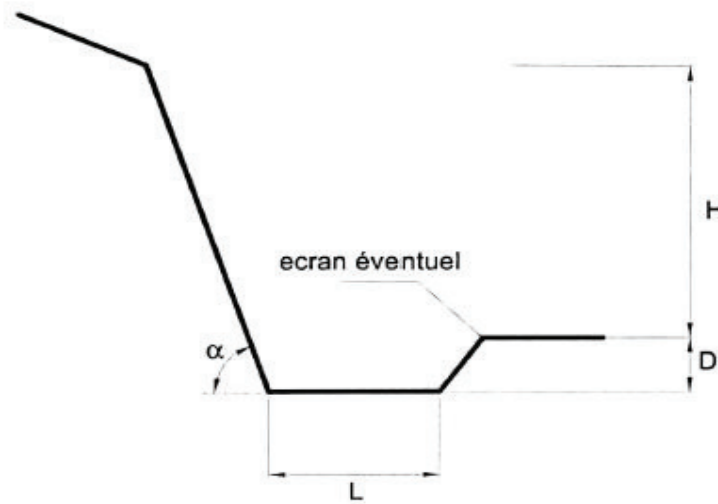


Figure VIII.1: Coup schématique d'un fossé selon Ritchie

Dans la tableau suivante les valeurs du dimensionnement sont incluses pour les fossés Selon Ritchie (1963).

Tableau VIII.1 : les valeurs du dimensionnement sont incluses pour les fossés Selon Ritchie (1963).

| TALUS DE 0.5H/1V | | | TALUS DE 0.75H/1V | | | TALUS DE 1H/1V | | |
|------------------|-----|---------|-------------------|-----|---------|----------------|-----|---------|
| H | L | D | H | L | D | H | L | D |
| 4.5-9 | 3 | 1.2 | 0-9 | 3 | 0.9 | 0-9 | 3 | 0.9 |
| 9-18 | 4.5 | 1.8 | 9-18 | 4.5 | 1.2 | 9-18 | 3 | 0.5*(F) |
| 18-30 | 6 | 1.8*(F) | >18 | 4.5 | 1.8*(F) | >18 | 4.5 | 1.8*(F) |
| >30 | 7.6 | 2.4*(F) | | | | | | |

Remarque : Généralement il sera nécessaire de poser un écran quand le D>0,9 m.

1 *(F) permet diminuer D à 1,2 m si une défense est utilisée.

La géométrie des talus en déblais choisie basée sur la géométrie de la plateforme ferroviaire, type de structure d'assise retenu et type de drainage. Tout en assurant la stabilité de l'ouvrage

En respectant coefficient globale de sécurité F :

- $F \geq 1.5$ pour la stabilité à court terme.
- $F \geq 1.3$ pour la stabilité à long terme.
- $F \geq 1$ pour la stabilité sous la sollicitation sismique.

Des dispositifs d'assainissements de drainage (fossé de crête, fossé en pied de talus et éventuellement des descentes d'eau) seront mis en œuvre pour capter et canaliser les eaux de ruissellement vers des exutoires appropriés, limitant ainsi le risque d'érosion des talus.

VIII.1.3. REMBLAIS

Pour exécution des remblais il est toujours nécessaire de débarrasser le sol de tout ce qui pourrait nuire à la liaison du terrain en place avec les remblais tels que les racines, souche et débris de tout nature et la terre végétale sur une épaisseur suffisante.

La largeur de la partie supérieure du remblai (arase terrassements) est fonction :

- La géométrie de la plateforme ferroviaire.
- Type de structure d'assise retenu.

Pour la mise en place des remblais on remblaie d'abord les parties les plus basses ; on dispose les remblais par couches successives de 20cm d'épaisseur pour améliorer compactage et augmenter la cohésion des remblais.

La densité de la crête de remblai ne sera pas inférieure au maximum obtenu dans l'essai Proctor Modifié. La densité de compactage de la fondation, du noyau et des flancs ne sera pas inférieure à 95 % du maximum obtenu par l'essai Proctor Modifié. L'humidité optimale du matériel, immédiatement après le compactage, sera telle que le degré de saturation dans cet instant soit compris entre les valeurs du degré de saturation correspondantes, dans l'essai Proctor Modifié, à l'humidité de moins de deux pour cent (-2 %) et de plus d'un pour cent (+1 %) de l'optimale du cet essai

Il est estimé nécessaire d'utiliser comme référence l'essai Proctor Modifié, où l'énergie de compactage est supérieure à celle de l'essai Proctor Normal, afin de favoriser la rupture des particules qui formeraient le remblai, en réduisant sa structuration.

Avant la construction des remblais, il faudra retirer la couche de terre végétale, de sol faible ou le matériel originaire des anciens remblais, effectuer un scarifiage et compactage du terrain de siège du remblai et substituer par le sol de caractéristiques non inférieures à celle du sol QS1, pour réduire de possibles effondrements.

Il est considéré important que la surface des remblais présente une pente transversale d'au moins 4 % afin d'éviter les marécages de l'eau de pluie.

Les surfaces d'appui des remblais doivent accomplir les conditions nécessaires pour éviter l'entrée d'eau. À cette fin, il faudra disposer des tranchées drainantes dans la fondation des remblais dans lesquelles l'affluence d'eaux phréatiques peut se produire sur la surface couverte par eux, et les fossés revêtus aux pieds des remblais qui peuvent être touchés par l'eau de ruissellement.

Les rembourrages avec hauteur $H > 10$ m, doivent être réalisés avec des matériaux classifiés comme B3 depuis la fondation jusqu'à une hauteur égale à $H - 10$ m, et avec du matériel classifié comme QS2 ou QS3, dans les 10 mètres supérieurs.

La transition de déblai à remblai sera réalisée avec une pente 3H :1V.

Les remblais se trouvant à proximité des cours d'eau, ou pouvant être affectés par une nappe d'eau en cas de crue, devront être protégés face au creusement au moyen de la mise en place de manteau d'enrochement.

Les conditions sur les facteurs de sécurité précédents doivent être vérifiées pour assurer la stabilité des talus en remblai.

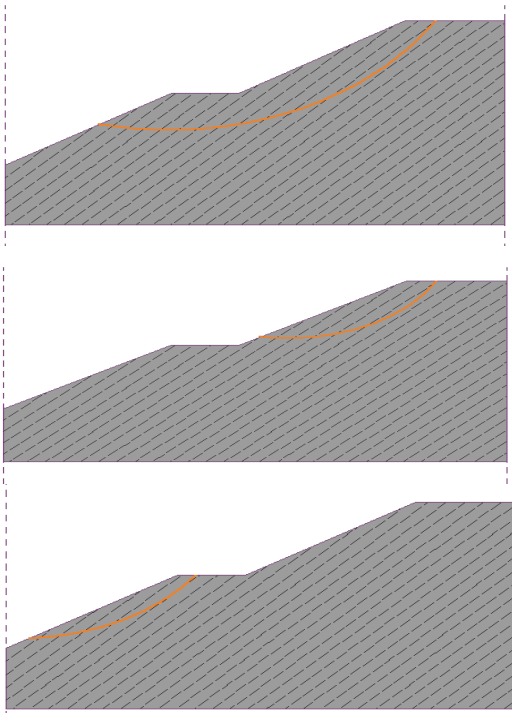
Vérification de stabilité avec modèle numérique « GEO5 » :

1-DEBLAI :

- Position : PK 110+650
- Hauteur Totale : 12 m.
- Couches : Sable calcaire « Asc »
- Paramètres Long terme : $\gamma=2t/m^3$ $C'=9kg/cm^2$ $\Phi'=33.62^\circ$
- Pente proposée : **2H/1V**, Risberme : 4 m, Hauteur : 6 m.
- Sismicité négligeable ZONE 0

Etat de contrainte effective :

$$\gamma = 2t/m^3 \quad C' = 9kg/cm^2 \quad \Phi' = 33.62^\circ$$



Vérification de la stabilité de pente (Bishop)

Somme des forces actives : $F_a = 381,62$ kN/m
 Somme des forces passives : $F_p = 920,32$ kN/m
 Moment de glissement : $M_a = 7119,94$ kNm/m
 Moment résistant : $M_p = 17170,63$ kNm/m
 Coefficient de sécurité = 2,41 > 1,50
Stabilité de pente ADMISSIBLE

Vérification de la stabilité de pente (Bishop)

Somme des forces actives : $F_a = 164,94$ kN/m
 Somme des forces passives : $F_p = 365,55$ kN/m
 Moment de glissement : $M_a = 1627,34$ kNm/m
 Moment résistant : $M_p = 3606,75$ kNm/m
 Coefficient de sécurité = 2,22 > 1,50
Stabilité de pente ADMISSIBLE

Vérification de la stabilité de pente (Bishop)

Somme des forces actives : $F_a = 110,93$ kN/m
 Somme des forces passives : $F_p = 248,02$ kN/m
 Moment de glissement : $M_a = 1433,86$ kNm/m
 Moment résistant : $M_p = 3205,90$ kNm/m
 Coefficient de sécurité = 2,24 > 1,50
Stabilité de pente ADMISSIBLE

Figure VIII.2 : Résultats de stabilité d'un déblai avec logiciel GEO5 2020

2-REMBLAIS :

- Position : PK 108+650
- Hauteur Totale : 14 m.
- Couches : sol support : Sable grossier et le remblai constitue de matériaux "B₃"
 La couche de forme et la couche de fondation « QS3 »
- Paramètres Long term :

Tableau VIII.2 : Paramètres des couches du remblai [2].

| sol | C (Kpa) | Φ | $\gamma_s(t/m^3)$ |
|---------------------------------|----------|--------|--------------------|
| QS3(UIC719R) | 45 | 20° | 2 |
| QS2(UIC719R) ou B3(GTR) | 32 | 26° | 1.8 |
| sol support (Sable grossier) | 50 | 22.05° | 1.9 |

- Pente proposée **3H/2V**. Risberme : 3 m, Hauteur : 6 m.
- Etat de contrainte totale
- Surcharge : 30Kpa
- Sismicité négligeable ZONE 0

Vérification de la stabilité de pente (Bishop)

Somme des forces actives : $F_a = 588,40$ kN/m

Somme des forces passives : $F_p = 1010,77$ kN/m

Moment de glissement : $M_a = 25736,48$ kNm/m

Moment résistant : $M_p = 44211,24$ kNm/m

Coefficient de sécurité = 1,72 > 1,50

Stabilité de pente **ADMISSIBLE**

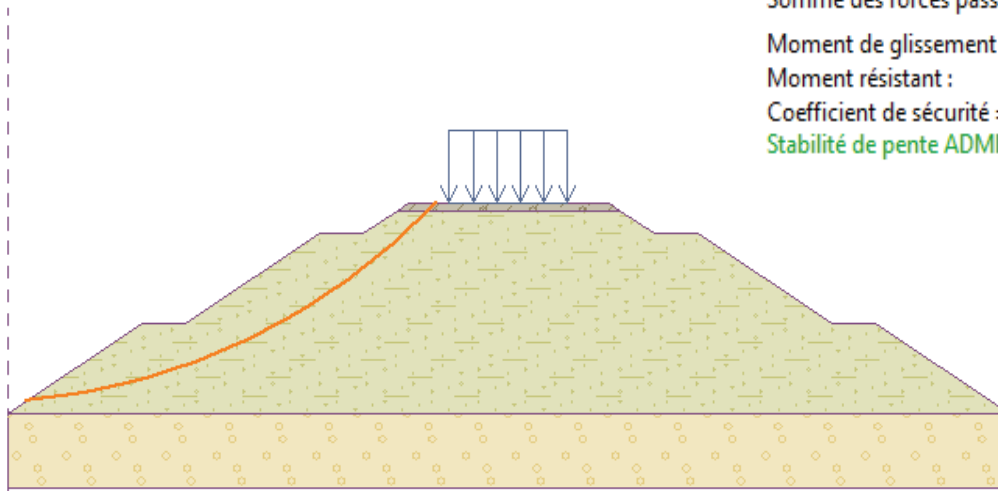


Figure VIII.3 : Résultats de stabilité d'un remblai avec logiciel GEO5 2020

VIII.1.4. REUTILISATION DES SOLS EN REMBLAIS :

Afin de réduire le cout d'emprunt, on peut réutiliser les sols extraits des déblais pour mettre on remblais selon leur aptitude à la réutilisation ; pour cela le référentiel technique UIC 719R exige des conditions de réutilisation des sols sont :

- Les sols non réutilisables : sols 0.1 à 0.6, 1.1 « lorsque ces sols sont très plastiques ou moyennement plastiques » et 1.2.
- Les sols réutilisables sous certaines conditions « teneur en eau, conditions climatiques, hauteur limitée de remblai, enveloppe de matériaux médiocres par une protection de meilleure qualité, couche sandwich) : sols 1.1 (lorsque ces sols sont peu plastiques), 1.3 à 1.5, 2.1 et 2.2.
- Les sols toujours réutilisables : sols 2.3, 3.1 et 3.2.

| Classification des sols (Identification géotechnique) | | |
|--|--|---|
| 0.1 Sols organiques | 1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (1) (sauf sols 0.2) | 2.1 Sols comportant de 5 à 15 % de fines (1) |
| 0.2 Sols fins (comportant plus de 15 % de fines (1)) foisonnés, humides et donc non compactables | 1.2 Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés | 2.2 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) mais uniformes ($C_u \leq 6$) |
| 0.3 Sols thixotropes (2) (quick-clay par exemple) | 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (1) (sauf sols 0.2) | 2.3 Roches moyennement dures Par exemple : Si $25 < \text{MDE} \leq 40$ et $30 < \text{LA} \leq 40$ |
| 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) | 1.4 Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1,7 \text{ t/m}^3$ et de friabilité faible - Schistes non altérés | 3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines (1) |
| 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) | 1.5 Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40 | 3.2 Roches dures Par exemple : Si $\text{MDE} \leq 25$ et $\text{LA} \leq 30$ |
| 0.6 Sols mixtes "minéraux organiques" (2). | | |

Figure VIII.4 : Classes des sols selon leurs aptitudes à réutilisation [3].

VIII.2. DIMENSIONNEMENT D'ASSISE FERROVIAIRE :

VIII.2.1. INTRODUCTION :

La couche d'assise a pour but d'assurer le bon comportement de la voie ferrée du point de vue de la rigidité, de la stabilité et du drainage. Elle comprend la couche de ballast, la sous-couche (sous-ballast et couche de fondation)

Le dimensionnement des structures d'assise des voies ferrées fait l'objet de la fiche UIC-719R. la détermination de l'épaisseur globale de la structure d'assise dépend de plusieurs facteurs de nature différente

- Le type et l'espacement des traverses ;
- Les caractéristiques du trafic (tonnage supporté, charge de l'essieu, vitesse) ;
- La classe de portance de la plateforme.

VIII.2.2. LES DIFFERENTES COUCHES CONSTITUANT L'ASSISE :

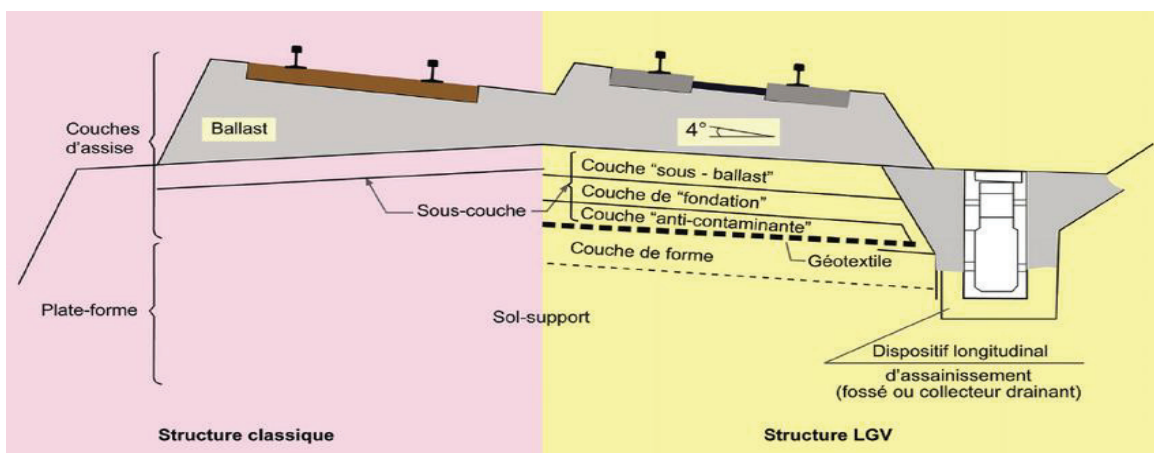


Figure VIII.5: les différentes couches de la structure d'assises.

VIII.2.2.1. Ballast :

Le ballast est un élément considéré comme faisant partie de la superstructure. La couche (ballast) et le matériau (ballast) ne sont évoqués ici que dans la mesure où ils influent sur la qualité des ouvrages en terre et des couches d'assise.

➤ Caractéristique de ballast :

Les matériaux pour le ballast doivent provenir entièrement du broyage de pierres dures, homogènes. Les exigences suivantes devront être satisfait selon la norme NFP 53-695 :

- ✓ Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives.
- ✓ La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant : (25/50mm).
- ✓ Résistance à la compression : $RC \geq 1200 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ Résistance à la fragmentation Los-Angeles : $\leq 19 \%$
- ✓ Résistance à l'usure Micro Deval : $\leq 6 \%$
- ✓ Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière étrangère. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1,6mm ne doit pas excéder 0,5 %.

➤ L'effet du sable sur le ballast :

Dans les zones désertiques (cas de notre projet), le sable influence négativement sur le ballast, sous l'effet du vent et du déplacement des dunes de sable, ce dernier introduit facilement dans les cavités de la couche du ballast, ceux qui résultent :

- Diminuer la perméabilité de la couche de ballast.
- Chute de la portance de la couche de ballast due aux grains de sables qui se trouvent entre les granulats de ballast et qui causent le glissement de ces derniers entre eux. Pour affronter ça, l'intervention humaine est nécessaire pour le nettoyage de la couche de ballast, on intervient aussi par la réalisation des écrans protecteurs (arbres naturelles, mur de soutènement...etc.)

VIII.2.2.2. Sous couche :

Est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plateforme. Elle a des rôles multiples :

- Amélioration de la portance par action sur la raideur et meilleur répartition des charges transmises.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Anticontamination entre plate-forme et ballast.
- Protection contre l'érosion et le gel.
- Evacuation des eaux zénithales.

La sous couche peut être mono ou multicouche (Sous ballast, Fondation et Anti-contaminant).

- **Sous ballast** : constitué de grave propre bien graduée comprise entre 0 et 31.5 mm, permet la transmission et la répartition des charges sur la plateforme.
- **Fondation** : Constituée de grave compacté à 95% de l'optimum Proctor, d'une épaisseur minimale de 15cm. Elle protège la plateforme contre l'action des

engins lors de la construction de la voie et n'est généralement pas nécessaire pour des substrats rocheux ou les sols de bonne qualité.

- **Anti-contaminant** : en sable moyen propre d'une épaisseur minimale de 15cm, pour éviter la contamination de la sous-couche par les éléments fins de la plateforme.

VIII.2.2.3. Couche de forme :

Elle est située sur la plate-forme dont la partie supérieure est appelée la partie supérieure des terrassements et qui est inclinée conformément à la sous-couche (4 % pour notre projet), son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm. Située en remblai, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleur. Situé en déblai, cette couche de forme est obtenue en général par le compactage du fond de feuille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants.

VIII.2.3. CLASSE DE PORTANCE DES PLATES FORMES :

La portance d'une plateforme dépend de :

- a) La qualité d'un sol constituant le corps de remblai ou du sol en place du fond de déblai.
- b) La qualité et l'épaisseur de la couche de forme (lorsqu'elle existe).

On distingue, en fonction des paramètres ci-dessus, les trois classes de portance des plates-formes suivantes :

P1 : plate-forme médiocre.

P2 : plate-forme moyenne.

P3 : plate-forme bonne.

Plateforme proposée : Compte tenu de ce qui précède, notamment la classe des qualités du sol support est en majorité QS2, ainsi que les prescriptions données par les UIC-719R, nous conseillons d'opter pour une plateforme de type P3 (Bonne plateforme) dimensionnée préalablement pour un type de sol (QS3) avec épaisseur minimale de 0.35m

Le tableau suivant permet la détermination de la classe de portance de la plateforme :

Tableau VIII.3 : la détermination classe de portance de la plateforme [3].

| Classe de portance de la plateforme | Classe de portance envisagée pour la plateforme | Couche de forme à mettre en œuvre Pour obtenir cette classe de portance | |
|-------------------------------------|---|---|-----------|
| | | Classe de qualité | Epaisseur |
| QS1 | P1 | QS2 | - |
| | P2 | QS3 | 0.50 |
| | P2 | QS3 | 0.35 |
| | P3 | QS2 | 0.50 |
| QS2 | P2 | QS3 | - |
| | P3 | QS3 | 0.35 |
| QS3 | P3 | QS3 | - |

VIII.2.4. CALCUL DE L'ÉPAISSEUR MINIMALE d'ASSISE FERROVIAIRE :

Pour la détermination de l'épaisseur minimale (en m) des couches d'assise, on utilise la norme UIC719R qui nous donne l'épaisseur de l'ensemble (ballast + sous-couche) par l'expression suivante :

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

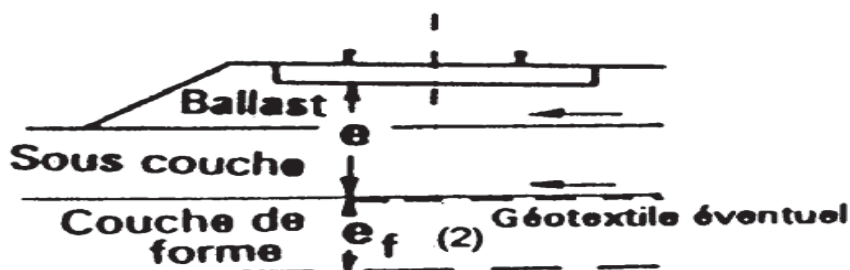


Figure VIII.6 : les différentes épaisseurs d'assise ferroviaire [3].

- E: facteur dépend des classes de portance (P1, P2, P3),
- a: facteur dépend de l'UIC groupes (groupes 1 à 6, UIC 714),
- b: facteur dépend du type de traverses,
- c: facteur dépend des conditions de travail,
- d: facteur dépend de la charge maximale d'essieu des véhicules,
- f: facteur dépend de la vitesse,
- g: facteur dépend d'installation de géotextiles.

Tableau VIII.4 : les valeurs de facteur (E a b c d f g) [3].

| | | |
|----------|--------------------------------|---|
| E | =0.70 m | pour les plates-formes de classe de portance P1. |
| E | =0.55 m | pour les plates-formes de classe de portance P2. |
| E | =0.45 m | pour les plates-formes de classe de portance P3. |
| a | =0 | pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 ou lignes à $V \geq 160$ km/h quel que soit le groupe UIC. |
| a | =-0.05 | pour les lignes de groupes UIC 3 et 4. |
| a | =-0.010 | pour les lignes de groupe UIC 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs. |
| a | =-0.15 | pour les lignes de groupe UIC 7, 8, 9 sans voyageurs. |
| b | = 0 | pour les traverses en bois de longueur $L = 2.60$ m. |
| b | $(2.50-L)/2$ | pour les traverses en béton de longueur L. L et b en mètre (si $L > 2.5$, b peut être négatif). |
| c | = 0 | pour un dimensionnement normal. |
| c | =-0.10 | A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que « 7,8,9 sans voyageur » |

| | | |
|----------|---------------|---|
| c | =-0.10 | A titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC « 7,8,9 sans voyageur » |
| d | = 0 | lorsque la charge nominale maximale d'essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 200 KN. |
| d | = 0.05 | 0.05m lorsque cette charge est \leq 225 KN. |
| d | = 0.12 | lorsque cette charge est \leq de 250 KN. |
| f | =0 | pour toutes les lignes parcourues à $V \leq 160$ Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse. |
| f | =0.05 | pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. |
| f | =0.10 | pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse. |
| g | =+1 | géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. |
| g | =0 | (pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3 |

VIII.2.5. APPLICATION AU PROJET :

Couche d'assise :

Tableau VIII.5 : les différents paramètres de notre projet

| Paramètre | valeur | Critère de choix |
|-----------|-------------|---|
| E | 0.45 | La plates-formes de classe de portance P3 |
| a | 00 | $V \geq 160$ km/h |
| b | 0.13 | les traverses en béton $L=2.245$ |
| c | 00 | Un dimensionnement normal. |
| d | 0.05 | La charge est \leq 225 KN. |
| f | 00 | $V \leq 160$ Km/h |
| g | 00 | la couche de forme est en sol QS3 |

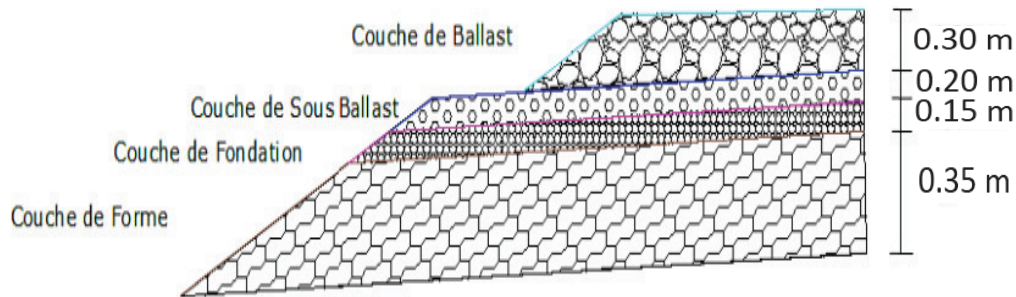
Alors $e = 0.45 + 0.13 + 0.05 = 0.63\text{m}$

On prend $e = 65\text{cm}$

Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm (selon UIC 719R)

Donc les épaisseurs des différentes couches :

| Couche | Epaisseur (cm) | Matériaux |
|-----------------------------|----------------|---------------------------------|
| BALLAST | 30 | GC (grave concassée) 22.4/63 |
| SOUS BALLAST | 20 | GNT (0/31.5) |
| COUCHE DE FONDATION | 15 | GNT (0/31.5) |
| COUCHE DE FORME DE TYPE QS3 | 35 | TUF |
| EPAISSEUR TOTAL | 100 | |



FigureVIII.7 : Les différentes épaisseurs de voie

VIII.3. CUBATURES :

Le volume total du différentes couches de projet sont comme ci-après :

TableauVIII.6 : Volume de terrassements et des couches de la voie

| | Déblai | Remblai | Ballast | Sous Ballast | Couche de fondation | Couche de forme |
|--------------------|------------|------------|----------|--------------|---------------------|-----------------|
| Volume (m3) | 2179215,58 | 1098633,31 | 90 549.8 | 60 770.6 | 45 973.4 | 113 049.2 |

VIII.4. CONCLUSION :

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

CHAPITRE IX :

ETUDE

HYDRAULIQUE

IX.1. INTRODUCTION.

IX.2. HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE.

IX.3. ETUDE HYDRAULIQUE.

IX.4. APPLICATION AU PROJET.

IX.5. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES.

IX.1. INTRODUCTION :

La voie ferrée est un ouvrage qui se développe linéairement sur le terrain, et qui apporte par ses déblais et remblais des modifications qui perturbent les écoulements d'eau naturels préexistants provenant des précipitations atmosphériques ainsi que des affleurements d'eaux souterraines. D'autre part, la protection de la plateforme nécessite un bon drainage et une évacuation correcte des eaux pluviales de manière à empêcher la submersion et éviter toute stagnation des eaux de ruissellement dans les points bas après averses.

IX.2. HYDROLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE :

IX.2.1. Le climat.

La région est caractérisée par un climat très chaud en été (souvent plus de 40°) et très froid en hiver. Juin, juillet et août sont les mois les plus chauds. En hiver, il gèle presque partout, il existe donc de grands écarts de température entre l'hiver et l'été. L'amplitude des variations thermiques annuelles, qui est l'une des particularités au Sahara. Avec la chaleur, l'été, le vent est l'autre caractéristique permanente du Sahara. Par sa situation, la région est soumise, à des vents dominants et les vents de sable sont fréquents et violents.

IX.2.2. La température.

Tableau IX.1 : Températures moyennes mensuelle [4].

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Tc° | 9.9 | 12.5 | 15.4 | 19.5 | 24.6 | 29.9 | 32.7 | 32.3 | 27.4 | 20.8 | 14.5 | 10.3 |

Le gradient de température moyenne du mois le plus froid au mois le plus chaud varie de 9.9°C à 32.7°C pour la région.

Les mois les plus chauds correspondent à juillet et août, la température moyenne est supérieure à 30°C. Les mois les plus froids sont enregistrés de décembre à février.

IX.2.3. Humidité de l'air :

Dans le tableau suivant sont mentionnées les humidités de l'air mensuelle pour la station de Touggourt :

Tableau IX.2 : Humidités relatives mensuelles en % [4].

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|----|------|----|------|------|------|----|------|------|------|------|
| mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| humidité en % | 65.5 | 58 | 51.2 | 47 | 41.6 | 38.7 | 34.2 | 37 | 47.6 | 55.9 | 63.7 | 67.2 |

IX.2.4. Le vent :

Les vitesses du vent sont relativement fortes elles varient de 2.5 à 4.7 m/s, le mois d'avril enregistre en moyenne les vents les plus forts.

Tableau IX.3 : Vitesses du vent mensuelles en m/s [4].

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Vent en (m/s) | 2.9 | 3.4 | 4.0 | 4.7 | 4.2 | 4.4 | 3.5 | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 2.8 |

IX.2.5. PULVIOMETRIE :

IX.2.5.1. Acquisition des données

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (A N R H) et de l'Office National de la Météorologie (O N M). Il s'agit d'observations journalières reportées sur des tableaux de cumuls mensuels (T.C. M). A partir de ces données mensuelles nous avons reconstitué les valeurs de pluies annuelles. La pluie de référence correspond à une durée de pluie variable ; avec des périodes de retour de 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans.

IX.2.5.2. Pluies annuelles.

L'ajustement à une loi Log-normale des pluies annuelles des stations de la région nous montre que la distribution statistique présente un caractère nettement symétrique. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles des stations disponibles dans la région pour différentes fréquences.

Tableau IX.4 : Ajustement à une loi log-normale des pluies annuelles [4].

| Période de retour | fréquence | U.GAUSS | TOUGGOURT |
|-------------------|-----------|---------|-----------|
| 10 ans | 0.9 | 1.282 | 110.6 |
| 20 ans | 0.95 | 1.645 | 136.8 |
| 50 ans | 0.98 | 2.054 | 173.8 |
| 100 ans | 0.99 | 2.327 | 203.8 |

IX.2.5.3. Précipitations mensuelles :

Les pluies moyennes mensuelles représentées par le tableau traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle. La station prise en considération dans la région d'étude, fait ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre relativement humide.

Tableau IX.5 : Répartition des pluies mensuelle station de Ouargla [4].

| | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|
| mois | Sept | oct | nov | déc | jan | fév | mars | avr | mai | juin | juil | Aout |
| P en mm | 1.0 | 5.0 | 8.9 | 7.3 | 5.6 | 3.1 | 4.5 | 4.5 | 1.5 | 1.1 | 0.1 | 0.5 |
| P en % | 2.3 | 11.5 | 20.7 | 17.1 | 13.1 | 7.2 | 10.4 | 10.5 | 3.4 | 2.6 | 0.1 | 1.1 |

IX.2.5.4. Précipitations maximales journalières :

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles.

Théoriquement les valeurs extrêmes s'ajustent à une loi des valeurs extrêmes, en Algérie, il est vérifié que les pluies journalières maximales annuelles s'ajustent à une loi de Gumbel. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies max journalières de station de touggourt pour différentes fréquences.

Tableau IX.6 : Les pluies max journalières de station de Touggourt [4].

| Période de retour | Fréquence | U.GUMBEL | TOUGGOURT |
|-------------------|-----------|----------|-------------|
| 10 ans | 0.9 | 2.25 | 27.4 |
| 20 ans | 0.95 | 2.97 | 32.1 |
| 50 ans | 0.98 | 3.902 | 38.3 |
| 100 ans | 0.99 | 4.6 | 52.9 |

IX.2.5.2. Les pluies de courte durée :

Nous ne disposons pas dans la région de pluviographe, pour l'estimation des intensités de pluies on a tenu compte des résultats de l'étude de K. Body basée sur les données de pluies journalières max annuelles.

La relation obtenue est la suivante :

$$P_t = 1,13 * P_j\% (t / 24)^b$$

P_t : pluie correspondante à un pas de temps t .

P_j% : pluie journalière maximale de fréquence voulue.

b : paramètre climatique, b = 0,14 pour Touggourt

IX.2.6. Caractéristiques morphologiques du bassin versant.

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des bassins versant que traverse l'axe du projet :

Tableau IX.7 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants.

| N°BV | PK | S(km ²) | P(km) | L(km) | H _{MAX} (m) | H _{MIN} (m) | H _{MOY} (m) | KC | P% |
|------|---------|---------------------|-------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|------|------|
| BV1 | 122+675 | 18.40 | 19.67 | 3.93 | 172 | 135 | 153.5 | 1.29 | 0.94 |
| BV2 | 124+925 | 16.29 | 15.63 | 4.52 | 172 | 133 | 152.5 | 1.07 | 0.86 |

IX.3. ETUDE HYDRAULIQUE :

IX.3.1. Calcul du débit maximal dans les bassins (les débits de crue) :

➤ **Méthode rationnelle [10].**

$$Q = 0.278 * C * I * S$$

Q : Débit de crue de période de retour voulue (m^3/s) ;

I : Intensité de pluie pour le temps de concentration du BV (mm/h)

C : Coefficient de ruissellement ;

S : Surface du bassin versant (km^2).

Le passage des pluies journalières maximales (Pj_{max}) aux pluies de durées égales au temps de concentration ($P_{TC}\%$) s'effectue à l'aide de la relation de K.BODY qui s'écrit par la relation suivante :

$$P_{TC}(\%) = 1.13 * Pj_{max}(\%) \times (TC / 24)^b$$

Où :

$P_{TC}(\%)$: Pluie de durée égale au temps de concentration pour une fréquence donnée.

$Pj_{max}(\%)$: Pluie journalière maximale fréquentielle.

T_c : Temps de concentration.

b : Coefficient climatique (Pour la région de TOUGGOURT $b = 0.14$).

L'intensité de pluie est définie suivant la relation suivante :

$$I(t) = \frac{P_{TC}(\%)}{TC}$$

Tableau IX.8 : Les pluies journalières maximales [4].

| Pluie de période de retour | Fréquence | Pj_{max} (mm) |
|----------------------------|-----------|-----------------|
| $Pj10$ | 0.9 | 27.4 |
| $Pj20$ | 0.95 | 32.1 |
| $Pj50$ | 0.98 | 38.3 |
| $Pj100$ | 0.99 | 52.9 |

IX.3.2. Temps de concentration [t_c].

Le choix des formules de détermination du temps de concentration se fait en fonction de la superficie du bassin versant :

a / Superficie inférieur à 5 km² [10]:

Il est calculé par la formule des petits bassins :

$$T_c = 0.127 \sqrt{\frac{S}{I}}$$

T_c : Temps de concentration en heure

S : Surface du bassin versant en km²

I : Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

b / Superficie comprise entre 5 et 25 km² [10]:

T_c est calculé par la formule de PASSINI :

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}$$

T_c : en heures

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

I : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

c / Superficie comprise entre 25 et 200 km² [10]

T_c est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

L : Longueur du cours d'eau principal en km

S : Surface du bassin versant en km²

H_{moy} : Attitude moyenne du bassin versant en (m)

H_{min} : Attitude minimale du bassin versant en (m)

IX.3.3. Coefficient de ruissellement[c] [10]

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

Tableau IX.9 : Coefficient C1 dépendant de la pente du bassin versant

| Pente | C1 | | |
|------------------|------|------|------|
| ≤3.5% | 0.01 | 0.03 | 0.05 |
| Entre 3.5 et 11% | 0.06 | 0.08 | 0.10 |
| Entre 11 et 35% | 0.12 | 0.16 | 0.20 |
| >à35% | 0.22 | 0.26 | 0.30 |

Tableau IX.10 : Coefficient C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).

| Nature du sol | C2 | | |
|----------------|------|------|------|
| imperméable | 0.22 | 0.26 | 0.30 |
| Peu perméable | 0.10 | 0.15 | 0.20 |
| Perméable | 0.06 | 0.08 | 0.10 |
| Très perméable | 0.03 | 0.04 | 0.05 |

Tableau IX.11 : Coefficient C3 : dépendant de la couverture végétale du bassin versant

| Couverture végétale | C3 | | |
|-----------------------------|------|------|------|
| Rocheux | 0.22 | 0.26 | 0.30 |
| Prairie | 0.17 | 0.21 | 0.25 |
| Labours champs | 0.07 | 0.11 | 0.15 |
| Foret et territoire sableux | 0.03 | 0.04 | 0.05 |

IX.4. APPLICATION AU PROJET :

$$Q = 0.278 * C * I * S$$

$$I(t) = \frac{PTC(\%)}{TC}$$

Tenant compte le bassin versant N°1 :

Tableau IX.12 : Caractéristiques morphologiques du BV1

| N° BV | PK | S(km ²) | P(km) | L(km) | H _{MAX} (m) | H _{MIN} (m) | H _{MOY} (m) | KC | P% |
|-------|---------|---------------------|-------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|------|------|
| BV1 | 122+675 | 18.40 | 19.67 | 3.93 | 172 | 135 | 153.5 | 1.29 | 0.94 |

- **Calcul temps de concentration d'eau Tc :**

S < 10 km² alors Tc est calculé par la formule de PASSINI

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}$$

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{18.40 \times 3.93}}{\sqrt{0.0094}} = 4.64 \text{ h}$$

- **Calcul de $P_{tc}(\%)$** : Hauteur totale maximale des précipitations

$$P_{tc} (\%) = 1.13 * P_j \max(\%) \times (TC / 24)^b$$

$$P_{tc} (\%) = 1.13 * 52.9 \times (4.64 / 24)^{0.14} = 47.49 \text{ mm}$$

- **Calcul de l'intensité :**

$$I(t) = \frac{PTC(\%)}{TC}$$

$$I(t) = \frac{47.49}{4.64} = 10.23 \text{ mm/h}$$

- **Calcul du débit maximal :**

$$Q = 0.278 * C * I * S$$

$$Q = 0.278 * 0.2 * 10.23 * 18.40$$

$$Q = 10.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau IX.13 : Valeurs des débits de projet calculés.

| BV | PK | S (km ²) | L (km) | I moy % | c1 | C2 | C3 | C | TC | P(TC) | L'intensite | Q(m ³ /s) |
|----|---------|----------------------|--------|---------|------|-----|------|-----|------|-------|-------------|----------------------|
| 1 | 122+675 | 18.4 | 3.93 | 0.94 | 0.06 | 0.1 | 0.04 | 0.2 | 4.64 | 47.49 | 10.23 | 10.47 |
| 2 | 124+925 | 16.29 | 4.52 | 0.86 | 0.06 | 0.1 | 0.04 | 0.2 | 4.88 | 47.83 | 9.80 | 8.87 |

IX.5. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES :

IX.5.1. Dimensionnement des dalots [11] :

Ouvrages de sections rectangulaires ou carrées, disposés sous le tracé, identifiés par la largeur (B) et la hauteur (H). Dans notre projet, les dalots sont en béton.

- $H_r = 0.80 \times H$ (la hauteur de remplissage)

- $K_s = 70$.

- $I = 1\%$

- surface mouillée : $S_m = 0.8 \cdot h \times b$

- périmètre mouillée : $P_m = 1.6 \cdot h + b$

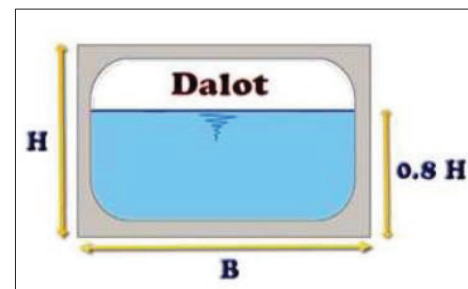


Figure IX.1: dimensions du dalot

$$R_h = \frac{0.8 \times H \times B}{B + 2(0.8H)} = \frac{0.8 \times H \times B}{B + 1.6 H}$$

En utilisant la formule de Manning –Strickler :

$$Q = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q = K_S \times (0.8 \cdot h \times b) \left(\frac{0.8 \cdot h \times b}{1.6 \cdot h + b} \right)^{2/3} I^{1/2} \quad Q = K_S (0.8 h \times b)^{5/3} \frac{1}{(1.6 h + B)^{2/3}} I^{1/2}$$

$$K_S (0.8 h \times b)^{5/3} I^{1/2} = Q (1.6 h + b)^{2/3} \quad (0.8 h \times b)^{5/3} = \frac{Q}{K_S \times I^{1/2}} (1.6 h + b)^{2/3}$$

$$h = \frac{1}{0.8 b} \left(\frac{Q}{K_S \times I^{1/2}} \right)^{3/5} (1.6 h + b)^{2/5}$$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative, On propose un dalot carré avec une seule cellule : $b = h$.

Application numérique :

Tenant compte de BV N°1

$$Q = 10.47 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{et} \quad \left(\frac{Q}{K_S \times I^{1/2}} \right)^{3/5} = 1.27$$

Après le calcul itératif on prend $b=2\text{m}$; $h=2\text{m}$

$$Q_C = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q_C = 70 \times 3.2 \times (0.62)^{2/3} \times (0.01)^{0.5} = 16.20 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Tableau IX.14 : Résultats de calcul de dimensionnement des dalots [11].

| BV | PK | Qa (m3/s) | I(M/M) | b | h | SM | PM | RH | Qc(hr=0.8h) (m3/s) | QPS (m3/s) |
|----|---------|-----------|--------|-----|-----|------|------|------|--------------------|------------|
| 1 | 122+675 | 10.469 | 0.01 | 1.8 | 1.8 | 2.59 | 4.68 | 0.55 | 12.23 | 16.13 |
| 2 | 124+925 | 8.874 | 0.01 | 1.6 | 1.6 | 2.05 | 4.16 | 0.49 | 8.94 | 11.78 |

IX.5.2. Dimensionnement des buses :

Les ouvrages de sections circulaires, disposés sous le tracé, identifié par le diamètre (\emptyset). On calcule les dimensions de la buse par la formule de Manning Strickler.

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

K_s : coefficient de rugosité de Strickler dépend de la nature de la surface de L'écoulement

R_h : rayon hydraulique ($R_h = S_m/P_m$). Avec (S_m : section mouillée, P_m : périmètre mouillé).

S_m : section utile de l'ouvrage (m^2).

I : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

Pour le dimensionnement des buses, on prend $Q_s = Q_a$

- **Calcul de rayon hydraulique R_h :**

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{\pi R^2}{2\pi R} \quad R_h = \frac{R}{2}$$

$$Q_a = K_S \cdot \left(\frac{R}{2}\right)^{2/3} \cdot S_m \cdot I^{1/2} \quad Q_a = K_S \cdot \left(\frac{R}{2}\right)^{2/3} \cdot \pi R^2 \cdot I^{1/2}$$

$$Q_a = K_S \cdot \frac{R}{2^{2/3}} \cdot \pi R^2 \cdot I^{1/2} \quad Q_a = K_S \cdot \frac{R^{8/3}}{2^{2/3}} \cdot \pi \cdot I^{1/2}$$

$$R^{8/3} = \frac{2^{2/3} \cdot Q_a}{K_S \pi \cdot I^{1/2}}$$

$$d = 2 * \left(\frac{2^{2/3} \cdot Q_a}{K_S \pi \cdot I^{1/2}} \right)^{3/8}$$

Tableau IX.15 : Résultats de calcul de dimensionnement des buses [10]

| BV | PK | Qa (m3/s) | I(M/M) | D Calcule | D commercial | SM | PM | RH | QPS (m3/s) |
|----|---------|-----------|--------|-----------|--------------|-------|-------|------|------------|
| 1 | 122+675 | 10.469 | 0.01 | 1.8 | 2 | 3.141 | 6.283 | 0.5 | 13.85 |
| 2 | 124+925 | 8.874 | 0.01 | 1.692 | 1.8 | 2.544 | 5.654 | 0.45 | 10.46 |

IX.5.3. Vérification conditions d'auto curage :

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

- $V > 0.6$ m/s pour $Q = 0.1 Q_{ps}$
- $V > 0.3$ m/s pour $Q = 0.01 Q_{ps}$

Tableau IX.16: vérification conditions d'auto curage [11]

| pk | Ouvrages prévus | Qa(m3/s) | Qps(m3/s) | Vps | q=0.1qps | | | q=0.01qps | | |
|---------|-----------------|----------|-----------|------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | | | | | Rq | Rv | V>0.6 | Rq | Rv | V>0.3 |
| 122+675 | Dalot | 10.46 | 16.13 | 5.13 | 0.1 | 0.638 | 3.27 | 0.01 | 0.315 | 1.61 |
| 124+925 | Dalot | 8.87 | 11.78 | 4.63 | 0.1 | 0.638 | 2.95 | 0.01 | 0.315 | 1.46 |

IX.5.4. Dimensionnement des fossés [10] :

Les fossés sont des structures linéaires initialement creusées pour drainer, collecter ou faire circuler des eaux. Les terres d'excavation rejetées sur les côtés forment les berges.

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

$$Q = KS * I^{1/2} * S_m * R_h^{2/3}$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \text{ donc } e = n * h$$

La surface mouillée :

$$S_m = \left(b * h + 2 * \frac{h * e}{2} \right)$$

$$S_m = b * h + n * h^2$$

Le périmètre mouillé :

$$P_m = b + 2 * B$$

$$P_m = b + 2 * \sqrt{e^2 + h^2}$$

$$P_m = b + 2 * h * \sqrt{1 + n^2}$$

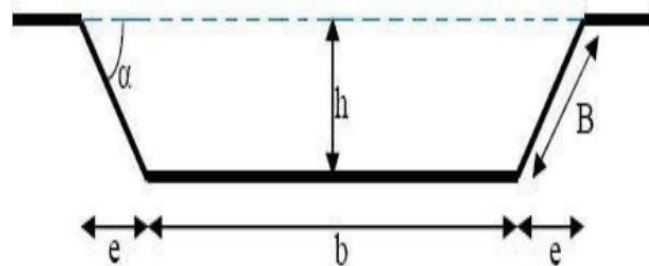


Figure IX.2 : Coup schématique d'un fossé

Le rayon hydraulique :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{b * h + n * h^2}{b + 2 * h * \sqrt{1 + n^2}}$$

Notre projet dans une zone saharienne avec faible pluviométrie et coefficient de perméabilité plus élevée. Les fossés ne sont pas vraiment utiles donc on utilise des fossés pour un autre rôle de protection contre l'ensablement avec des dimensions bien étudiées pour collecter le sable avant qu'il arrive à l'infrastructure ferroviaire.

Un fossé en terre de largeur de 3m et avec une pente de 4% dans les zones de mouvement de sable a coûté de trace.

Cette solution pour gagner le temps et faire un nettoyage des fossés de façon périodique pour éviter le remplissage.

CHAPITRE X :

PROFIL EN

TRAVERS

X.1. INTRODUCTION.

X.2. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS.

X.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE.

X.4. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES DE NOTRE PROJET.

X.1. INTRODUCTION :

Le profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, il nous renseigne sur les éléments de la superstructure et de l'infrastructure, sur les valeurs des pentes des talus sur le mode d'assainissement et sur les systèmes éventuels de protection de la voie (ensablement et éboulement).

Il Ya deux types de profil en travers :

- **Profil en travers type**
- **Profil en travers courant**

X.2. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS :

A- Couches d'assise :

Les couches d'assise contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur au bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast et la sous couche.

B- Plateforme :

C'est la Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plateforme est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

C- Couche de forme :

La partie supérieure de la plate-forme est aménagée en couche de forme généralement pente transversalement.

D- Emprise :

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

E- Assiette :

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

F- La voie :

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

G- La berme :

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

H- Drainage longitudinal :

Les drainages longitudinaux recueillent et évacuent les eaux de ruissellement, d'infiltration ou souterraines. D'une manière générale, on peut distinguer :

- Les dispositifs de drainage profonds (drains, collecteurs drainants, collecteurs).
- Les fosses.

X.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS TYPE :

A- Eléments de superstructure :

- Le type de rail utilisé.
- La valeur de l'écartement de la voie.
- La distance entre les axes (cas de plusieurs voies).
- Le type de traverse utilisé.
- La valeur de devers en courbe (maximum).
- L'épaisseur de la couche de ballast.

B- Eléments d'infrastructure :

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

C- Eléments du talus (remblai ou déblai) :

- La pente de chaque talus
- Les ouvrages de consolidation éventuels.

D- Eléments d'assainissement :

- Type et dimensions des fossés (assainissement longitudinale)

E- Eléments de protection de la voie :

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

Deux types de profil en travers se rencontre :

- **Profil homogène** : ce sont des profils complètement en remblai ou déblai.
- **Profil hétérogène (mixte)** : ce sont des profils partiellement en remblai et partiellement en déblai.

X.4. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES DE NOTRE PROJET :

- Type de ligne : double voie mixte électrifiée.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme : 13.6 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Largeurs de la berme : 3 m.
- Entraxe : 4.2m.
- Pente latérale de la couche de ballast : 3H/2V
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20cm.
- Couche de fondation : 15cm
- Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
- Pente (déblai : 3H /2V et remblai : 3H / 2V).
- Fossé trapézoïdale en terre de 3m de largeur et une pente 4%.

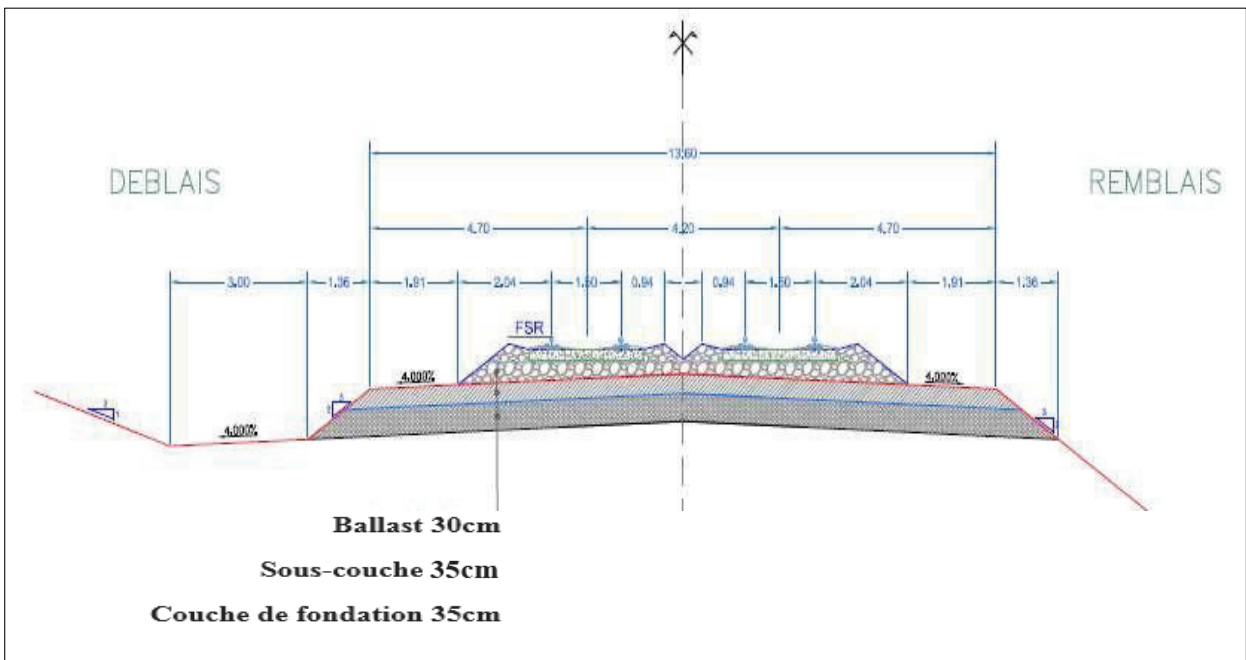


Figure X.1 : profil en travers type

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE MARCHANDISES ET LES ATELIERS

XI.1. INTRODUCTION.

XI.2. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES.

XI.3. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES.

XI.4. GARAGE FRANC.

XI.5. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT.

XI.6. HEURTOIR.

XI.7. LOCALISATION DE LA GARE.

XI.8. PLAN DE LA GARE.

XI.9. GEOMETRIE DE TRACER.

XI.1. INTRODUCTION :

Une gare est un lieu d'arrêt de trains ou on peut y affecter des manœuvres d'échanges de machine, elle a des fonctions multiples : permettre la montée et la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises elle doit comporter au moins un agent circulation qui commande des aiguillages et des signaux, ainsi que les aménagements nécessaires pour effectuer les opérations relatives à la circulation définies par les réglementations.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents constituants d'une gare marchandise, et de donner une conception des voies et l'utilisation de l'espace de la gare.

XI.2. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES :

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

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

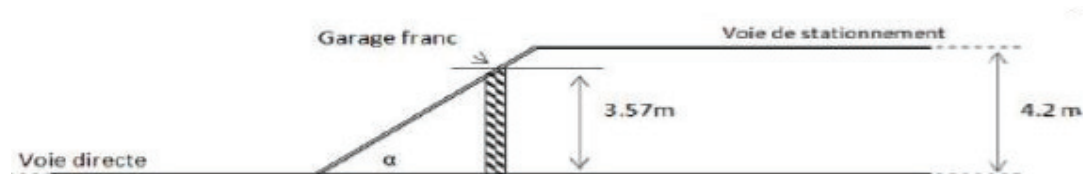
XI.3. CONDITIONS DE CONCEPTION DES GARES :

Les gares doivent répondre à un certain nombre de conditions :

- L'étude de bâtiment de voyageurs (B.V) doit être coordonnée avec l'intérieur du plan d'urbanisme.
- Il faut élaborer le plan de gare de sorte à maximaliser le traitement des besoins du transport des voyageurs et des marchandises, en tenant compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes, des plans d'urbanisme futurs.
- Le terrain doit disposer de l'espace nécessaire, mais également tenir compte d'éventuelles extensions futures de la ville.

XI.4. GARAGE FRANC :

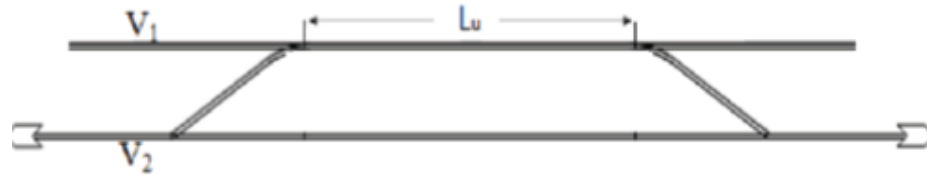
Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les trains en gares. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance de 3.57m. (C'est la distance minimale pour respecter le gabarit dynamique).



FigureXI.1 : Garage franc

XI.5. LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT :

C'est la longueur nécessaire permettant au train de stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines. La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. La longueur minimale LU donnée par la norme SNTF est de 1200 m pour la voie principale et 800m pour la voie de service.



FigureXI.2. Longueur utile

Elle est donnée par la formule suivante :

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

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

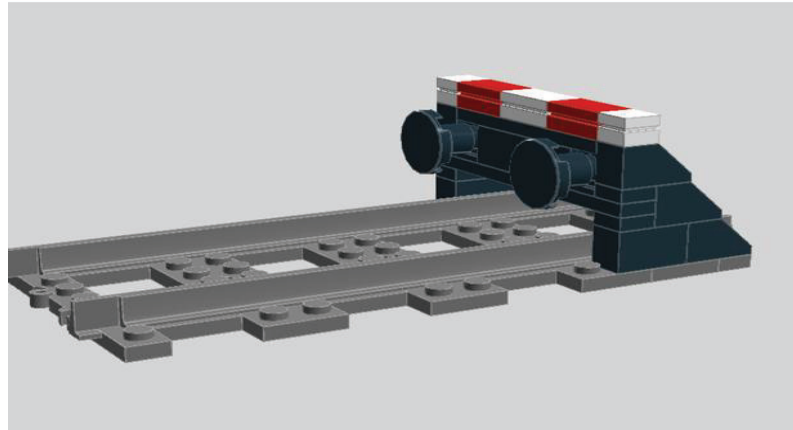
Les longueurs utile d'une voie de stationnement pour notre projet selon la zone :

Tableau XI.1: Tableau représentatif pour Les longueurs utile d'une voie de stationnement pour notre projet selon la zone.

| | ZONE A | ZONE B | ZONE C | ZONE D |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| V01 | 1130m | 200m | 135m | 300 |
| V02 | 1080m | 240m | 65m | 250 |
| V03 | 910m | 240m | 65m | |
| V04 | 850m | | 65m | |
| V05 | 785m | | | |
| V06 | 718m | | | |
| G01 | | | 280m | |
| G02 | | | 220m | |
| G03 | | | 185m | |
| G04 | | | 144m | |
| G05 | | | 120m | |

XI.6. HEURTOIR :

Un heurtoir est un dispositif placé à l'extrémité d'une voie ferrée, pour arrêter d'éventuels véhicules en dérive et les empêcher de continuer leur chemin en dehors de la voie.



FigureXI.3 : représente un heurtoir

XI.7. LOCALISATION DE LA GARE :

La gare de marchandise et les ateliers à partir de PK 105+100

XI.8. PLAN DE LA GARE :

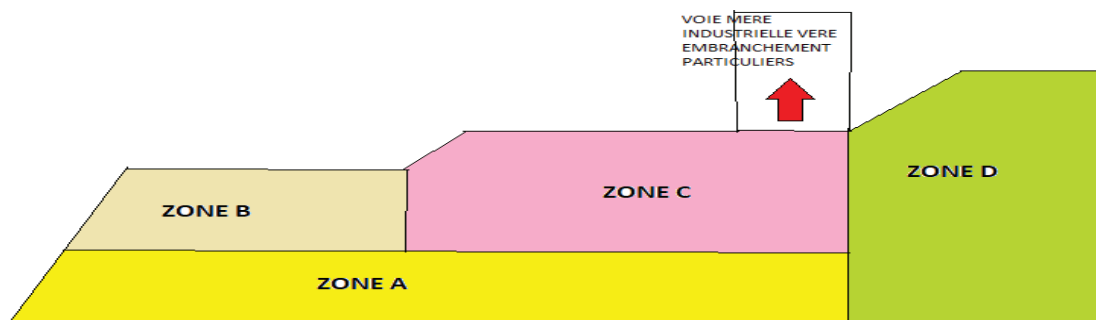
Plan de la gare repartie sur 04 zone selon le service :

ZONE A : avec 6 lignes pour service de passage/dépassements de trains sans arrêt.

ZONE B : avec 3 lignes (voie de contournement, voie pour l'équipements de maintenance de la voie) et station de service. Atelier de maintenance de la voie

ZONE C : avec 4 lignes (01reparation,02traction,01inspection) terminer par l'atelier de maintenance et 05 voies pour stationnement plus un bâtiment technique et parking pour les ateliers.

ZONE D : avec 02 voies (zone de stockage de semi-remorque et quai de chargement et déchargement) plus parking camions.



FigureXI.4 : les zones de la gare marchandise

XI.9. GEOMETRIE DE TRACER :

En termes généraux le tracé de la ligne principale se développe en droit, ainsi que les autres lignes qui sont parallèles à celle-ci. Pour permettre la liaison entre les différentes lignes, il a été nécessaire de placer 31 appareils de changement de voie dont leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau XI.2: Tableau représentatif pour les caractéristiques et le nombre des ADV [5].

| GEOM | TANGENT | RAYON | DEVIATION | V _{MAX} VOIE DEVIEE | TYPE | NOMBRE DE ADV |
|------|---------|-------|-----------|------------------------------------|------|------------------|
| UIC | 1/12 | 500m | D/G | 65 | 60E1 | 2 |
| UIC | 1/9 | 300m | D/G | 50 | 60E1 | 3 |
| UIC | 1/7 | 190m | D/D | 40 | 60E1 | 9 |
| UIC | 1/7 | 190m | D/G | 40 | 60E1 | 15 |
| UIC | 1/9 | 300m | D/D | 50 | 60E1 | 4 |
| UIC | 1/12 | 500m | D/D | 65 | 60E1 | 2 |

Ainsi que 7 courbes en plan sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau XI.3: Tableau représentatif pour les courbes avec la longueur.

| Courbe N°: | Rayon(m) | Longueur(m) | Devers | V _{max} (km/h) |
|------------|----------|-------------|--------|-------------------------|
| C1 | 300 | 101.59 | 0 | 50 |
| C2 | 200 | 67.72 | 0 | 40 |
| C3 | 200 | 56.75 | 0 | 40 |
| C4 | 200 | 286.55 | 0 | 40 |
| C5 | 200 | 55.5 | 0 | 40 |
| C6 | 200 | 83.8 | 0 | 40 |
| C7 | 200 | 56.75 | 0 | 40 |

CHAPITRE XII : SIGNALISATION

XII.1. INTRODUCTION.

XII.2. ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION.

XII.3. IMPLANTATION DES SIGNAUX.

XII.4. LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME GENERAL.

XII.5. TYPE DE SIGNALISATION.

XII.1. INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire est l'ensemble des signaux conventionnels du réseau ferré, destinés à assurer la sécurité des usagers du rail.

Dans ce projet on propose d'utiliser le système européen de surveillance du trafic ferroviaire (Européen Rail Traffic Management System ERTMS). Ce système a permis l'harmonisation de la signalisation ferroviaire européenne.

XII.2. ROLE DES INSTALLATIONS DE SIGNALISATION :

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

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

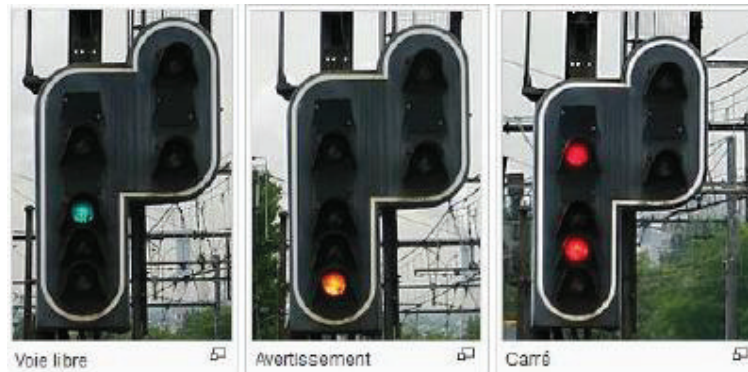


Figure XII.1 : Exemple d'une signalisation lumineuse.

XII.3. IMPLANTATION DES SIGNAUX :

L'implantation des signaux se fait normalement du côté où les trains circulent : généralement à gauche car les trains circulent le plus souvent à gauche.

Dans certains établissements ou sur certaines sections de ligne, lorsque la configuration du lieu l'impose, les signaux peuvent être implantés à droite. Ils sont alors équipés d'une flèche blanche désignant la voie à laquelle ils s'adressent.

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

XII.4. LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME GENERAL :

La gestion optimale de la circulation dans les grands centres ferroviaires comme sur les lignes se fait par un système automatique informatisé et centralisé. Les numéros des trains, identifiés à la périphérie d'une zone équipée, sont affichés sur un écran et/ou sur un tableau de contrôle optique classique. En progressant, les trains actionnent sur le terrain des localisateurs qui font déplacer les numéros sur le support de visualisation et en fonction de son avancement les signaux se déclenchent sur le trajet.

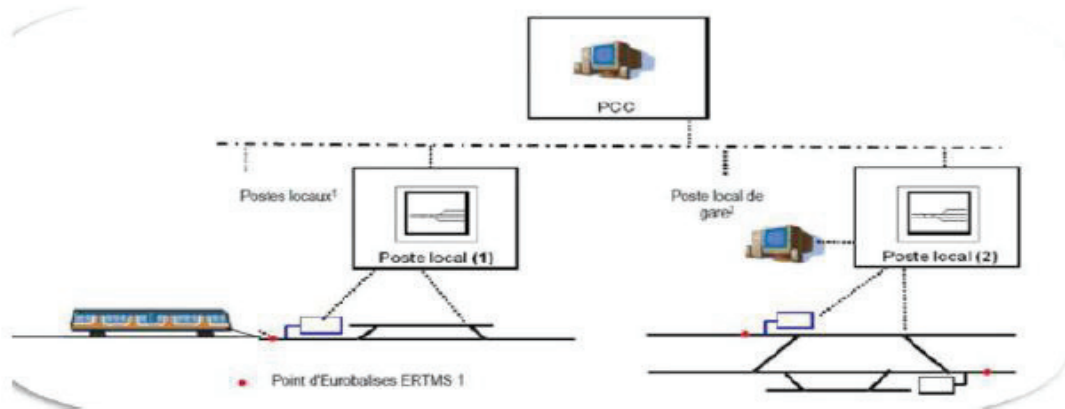





Figure XII.2 : Fonctionnement du système général de signalisation

XII.5. TYPE DE SIGNALISATION :




5-1- La signalisation d'arrêt :

Tableau XII. 1 : les signalisations d'arrêt

| désignation | Image | Explications |
|--------------------------------|---|--|
| Le carré (C) |  | Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Utilisé sur les voies principales, sa fonction essentielle est d'assurer la protection des circulations dans les zones comportant des appareils de voie |
| Le sémaphore |  | Il commande au mécanicien l'arrêt avant le signal. Il est affecté essentiellement à la fonction d'espacement des circulations sur les lignes à double voie et d'espacement et de protection du nez à nez sur certaines lignes à voie unique. |
| Le feu rouge clignotant |  | Le feu rouge clignotant est franchissable sans arrêt à la vitesse maximale de 15 km/h. Il commande au mécanicien de circuler en marche à vue. Son implantation est à moins de 500m en aval du signal d'arrêt. |



XII.5.2 La Signalisation D'annonce D'arrêt



Tableau XII. 2 : Les signalisations d'avertissement d'arrêt.

| désignation | Image | Explications |
|--------------------------------------|--|---|
| L'avertissement (A) |  | Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêt (ou assimilés) annoncés. L'avertissement est implanté, en principe, à une distance égale ou supérieure à la distance d'arrêt du Signal qu'il annonce. Cette distance ne doit cependant pas dépasser 3 000 m. |
| Le feu jaune clignotant |  | Lorsque l'avertissement ne peut être implanté à la distance d'arrêt du signal annoncé, il est précédé du feu jaune clignotant qui sera à 500m de l'arrêt |
| Le feu vert clignotant ((VL)) |  | Ce signal vient en complément de la signalisation de base normalement établie pour la vitesse maximale de 160 km/h. |

XII.5.2. La Signalisation de limitation de vitesse :

Tableau XII. 2 : La Signalisation de limitation de vitesse.

| indication | Image | Explications |
|--|---|--|
| Limitations permanentes de vitesse signalisée |  | Des pancartes «Z» et «R», non éclairées la nuit, à lettre blanche sur fond noir, repèrent l'origine et la fin de la partie de voie à franchir à vitesse limitée. |
| Vitesse égale à 30 km/h |  | La signalisation comporte un ralentissement 30 (R), présentant deux feux jaunes sur une ligne horizontale, à distance de ralentissement de la pointe du premier aiguillage pris en pointe. |

| | | |
|--|---|---|
| <p>Vitesse égale à 60 km/h</p> |  | <p>Les signaux de ralentissement 60 ((R)) et de rappel de ralentissement 60 (I) sont caractérisés par le clignotement simultané des feux utilisés pour constituer respectivement le ralentissement 30 et le rappel 30).</p> |
| <p>Vitesse supérieure à 60 km/h</p> |  | <p>implanté à distance de ralentissement du premier aiguillage pris en pointe,</p> |

CHAPITRE XIII :
DEVIS QUANTITATIF
ET ESTIMATIF

CHAPITREXIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

| Désignation | Unité | Prix unitaire (DA) | Quantité | Montant (DA) |
|---|----------------|--------------------|------------|----------------------|
| Installation générale du chantier | | | | |
| Installation générale du chantier | F | 123 110 024.7 | 1 | 123 110 024.7 |
| Terrassement | | | | |
| Remblai | M ³ | 800.00 | 1098633.31 | 878906648 |
| Déblais | M ³ | 1000.00 | 2179215.58 | 2179215580 |
| Fourniture et mise en œuvre de la couche de ballast | M ³ | 4164.45 | 90 549.8 | 377090114.6 |
| Sous ballast | M ³ | 3200.00 | 60 770.6 | 194465920 |
| Couche de fondation | M ³ | 3200.00 | 45 973.4 | 147114880 |
| Couche de forme | M ³ | 2800.00 | 113 049.2 | 316537760 |
| totale | | | | 4093330902.60 |
| Travaux de la voie | | | | |
| Fourniture des rails NEUFS 60 E1 (60,21 kg/m) | T | 107 306.04 | 2649.24 | 284279453.4 |
| Fourniture des attachés NABLA | U | 434.72 | 293336 | 127519025.9 |
| Pose de la voie | M | 5 318.13 | 51982 | 276447033.66 |
| Fourniture des traverses monobloc | U | 7 000 | 73304 | 513128000 |
| Fourniture des traverses bi-bloc | U | 4 167 | 13298 | 55412766 |
| Soudure aluminothermique | U | 20 562.74 | 4864 | 100017167.36 |
| Soudure électrique | U | 17000 | 304 | 5168000 |
| Fourniture d'un branchement simple UIC 60-190 - 1:7 | U | 8 885 565.50 | 24 | 213253572 |
| Fourniture d'un branchement simple UIC 60-300 - 1:9 | U | 12 626 324.23 | 7 | 88384269.61 |
| Fourniture d'un branchement simple UIC 60-500 -1:12 | U | 15 433 581.05 | 4 | 61734324.2 |
| Traverses de Garage Franc | U | 247 746 | 34 | 8423364 |
| Pose d'un branchement simple UIC 60-190 - 1:7 | U | 191 601.47 | 24 | 4598435.28 |
| Pose d'un branchement simple UIC 60-300 - 1:9 | U | 251 441.52 | 7 | 1760090.64 |
| Pose d'un branchement simple UIC 60-500- 1:12 | U | 291 608.95 | 4 | 1166435.8 |
| Pose de Garage Franc | U | 1140 | 34 | 38760 |
| Totale | | | | 1741330697.85 |
| Assainissement généraux | | | | |
| Dalot en béton armé | M3 | 32000 | 37 | 1184000 |
| Totale | | | | 1184000 |
| TOTALE FINALE | | | | 5958955625.15 |

Le cout total de notre projet « Cinq Milliard Neuf Cent Cinquante-Huit Million Neuf Cent Cinquante-Cinq Mille Six Cent Vingt-Cinq Dinar Algérien et Quinze Centime »

**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion générale

Le programme de la relance économique qui a pour objet le développement durable du pays, donne une place importante et un grand intérêt au domaine des travaux publics, et cela en s'intéressant à l'amélioration et l'aménagement d'infrastructures de qualité, qui permettent d'offrir les meilleurs services pour les utilisateurs des voies ferrées et les autoroutes, et qui répondent à l'offre et à la demande en matière de transport.

Sachant que notre pays souffre énormément des problèmes de trafic, ce programme vient donc pour donner un nouveau souffle à notre économie, en aménageant et en réalisant divers projets importants dans le domaine des travaux publics.

Un de ces projets d'aménagement, est la réalisation de la voie ferrée qui relie la ville de TOUGGOURT et la ville de HASSI MESSAOUD, qui est elle-même considérée comme une grande infrastructure contribuant au développement de notre économie.

Pour notre étude nous avons respecté toutes les normes U.I.C qu'on ne peut pas négliger en évitant les contraintes rencontrées sur le terrain et on a pris en considération, le confort, la sécurité des usagers ainsi que l'économie et l'environnement. Ce projet de voie ferrée nous a permis non seulement d'exprimer et d'appliquer nos connaissances acquises durant les cinq années de notre formation, mais aussi de mieux appréhender notre avenir dans le monde professionnel.

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1]. SNTF, Référentiel technique, chapitre06 géométrie de la voie, version 2 2005.
- [2]. Rapport géotechnique (1.2.3) SETS
- [3]. Code UIC 719R, ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires, 2ème édition 1994.
- [4]. Rapport hydrologique SETIRAIL
- [5]. ADV –SNTF.
- [9] GTR, guide technique, Conception et réalisation des terrassements, 2007.
- [10]. Cours M. RAHMANI ENSTP.
- [11]. Cours M. LEFKIR ENSTP.

**LISTE
DES ANNEXES**

ANNEXE N01 : AXE EN PLAN

Client : ENSTP
Logiciel civil 3d 2019

Préparé par : ABBAS ET ARDALLAH
Date : 05/09/2020 09 :21 :53

Axe en plan: projet TOUGGOURT-HASSI MESSAOUD
Description : la ligne ferroviaire TOUGGOURT-HASSI MESSAOUD
Plage d'abscisse : Début: 0+00.00, Fin: 219+90.33

| Elem | Caractéristiques | Longueur | Abscisse | X | Y |
|-------|------------------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| | | | 0+00.00 | 768254.8983 | 3576597.6101 |
| DR1 | ANG=184.4297 (g) | 3261.7095 | | | |
| | | | 32+61.71 | 769044.7110 | 3573432.9704 |
| CLO2 | A=707.1068 | | | | |
| | R=2500.0000 | 200.0000 | | | |
| | | | 34+61.71 | 769095.7197 | 3573239.5992 |
| ARC3 | XC=771495.1702 | | | | |
| | YC=3573941.4802 | | | | |
| | R=2500.0000 | 659.8533 | | | |
| | | | 41+21.56 | 769361.9264 | 3572637.9195 |
| CLO4 | A=707.1068 | | | | |
| | R=2500.0000 | 200.0000 | | | |
| | | | 43+21.56 | 769470.7168 | 3572470.1132 |
| DR5 | ANG=162.5337 (g) | 3660.2735 | | | |
| | | | 79+81.84 | 771502.6445 | 3569425.6310 |
| CLO6 | A=632.4555 | | | | |
| | R=2000.0000 | 200.0000 | | | |
| | | | 81+81.84 | 771610.8707 | 3569257.4698 |
| ARC7 | XC=769893.9326 | | | | |
| | YC=3568231.7390 | | | | |
| | R=2000.0000 | 2281.9925 | | | |
| | | | 104+63.83 | 771541.8016 | 3567098.3688 |
| CLO8 | A=632.4555 | | | | |
| | R=2000.0000 | 200.0000 | | | |
| | | | 106+63.83 | 771423.0488 | 3566937.4686 |
| DR9 | ANG=241.5380 (g) | 4161.9254 | | | |
| | | | 148+25.75 | 768896.1090 | 3563630.4762 |
| CLO10 | A=632.4555 | | | | |
| | R=2000.0000 | 200.0000 | | | |
| | | | | | |

ANNEXE N01 : AXE EN PLAN

| | | | | | |
|-------|------------------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| | | | 150+25.75 | 768777.3562 | 3563469.5760 |
| ARC11 | XC=770425.2252 | | | | |
| | YC=3562336.2058 | | | | |
| | R=2000.0000 | 1732.6284 | | | |
| | | | 167+58.38 | 768494.4324 | 3561814.6320 |
| CLO12 | A=632.4555 | | | | |
| | R=2000.0000 | 200.0000 | | | |
| | | | 169+58.38 | 768552.9892 | 3561623.4195 |
| DR13 | ANG=180.0205 (g) | 5031.9470 | | | |
| | | | 219+90.33 | 770106.4050 | 3556837.2530 |

ANNEXE N01 : PROFIL EN LONG

Client : ENSTP
Logiciel civil 3d 2019

Préparé par : ABBAS ET ARDALLAH
Date : 05/09/2020 09 :23 :31

Profil en long : LIGNE ROUGE

Description : la ligne ferroviaire TOUGGOURT-HASSI MESSAOUD

longueur d'axe : 21986.920m

| Elément | Caractéristiques des éléments | Longueur | Abscisse | Z |
|---------|-------------------------------|-----------|-----------|---------|
| | | | 0+00.00 | 134.566 |
| D1 | PENTE= 0.00% | 3005.2674 | | |
| | | | 30+05.27 | 134.566 |
| ARC1 | S= 30+82.90 Z=134.566 | | | |
| | R= -40000.0000 | 155.2723 | | |
| | | | 31+60.54 | 134.868 |
| D2 | PENTE= 0.39% | 2641.2693 | | |
| | | | 58+01.81 | 145.121 |
| ARC2 | S= 58+86.04 Z=145.448 | | | |
| | R= -35000.0000 | 168.4580 | | |
| | | | 59+70.27 | 146.180 |
| D3 | PENTE= 0.87% | 1125.5613 | | |
| | | | 70+95.83 | 155.967 |
| ARC3 | S= 71+75.00 Z=156.656 | | | |
| | R= -25000.0000 | 158.3462 | | |
| | | | 72+54.17 | 156.843 |
| D4 | PENTE= 0.24% | 2530.2430 | | |
| | | | 97+84.42 | 162.817 |
| ARC4 | S= 98+50.55 Z=162.973 | | | |
| | R= -35000.0000 | 132.2625 | | |
| | | | 99+16.68 | 162.879 |
| D5 | PENTE= -0.14% | 7180.7905 | | |
| | | | 170+97.47 | 152.697 |
| ARC5 | S= 172+25.00 Z=152.517 | | | |
| | R= -30000.0000 | 255.0529 | | |
| | | | 173+52.52 | 151.252 |
| D6 | PENTE= -0.99% | 1444.3521 | | |
| | | | 187+96.88 | 136.923 |

ANNEXE N01 : PROFIL EN LONG

| | | | | |
|------|------------------------|-----------|-----------|---------|
| ARC6 | S= 189+25.00 Z=135.652 | | | |
| | R= -30000.0000 | 256.2553 | | |
| | | | 190+53.13 | 135.476 |
| D7 | PENTE= -0.14% | 2933.7868 | | |
| | | | 219+86.92 | 131.434 |

ANNEXE N03 : GEOTECHNIQUE

| Sondage | | SC1 | |
|-------------------------|---------------------------------|---|---|
| Profondeur | (m) | 02 ^{m.00} - 02 ^{m.40} | 03 ^{m.25} - 03 ^{m.50} |
| État d'échantillon | | Paraffiné | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 20.18 | 10.31 |
| Masse volumique sèche | (γ_d) t/m ³ | 1.56 | 1.77 |
| Masse volumique humide | (γ_h) t/m ³ | 1.88 | 1.95 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 65 | 90.79 |
| | 80 μ m (%) | 32.11 | 6.58 |
| | 2 μ m (%) | / | / |
| VBS | | 2.53 | 1.79 |
| Classification LCPC | | GA | SA |
| Sondage | | SC2 | |
| Profondeur | (m) | 03 ^{m.00} - 03 ^{m.50} | 04 ^{m.40} - 04 ^{m.70} |
| État d'échantillon | | Paraffiné | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 32.79 | 32.46 |
| Masse volumique sèche | (γ_d) t/m ³ | / | 1.35 |
| Masse volumique humide | (γ_h) t/m ³ | / | 1.78 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 99.87 | 99.49 |
| | 80 μ m (%) | 35.29 | 50.86 |
| | 2 μ m (%) | / | / |
| VBS | | 1.50 | 1.12 |
| Classification LCPC | | SL | SL |
| Sondage | | SC3 | |
| Profondeur | (m) | 02 ^{m.90} - 03 ^{m.20} | 04 ^{m.20} - 04 ^{m.50} |
| État d'échantillon | | Paraffiné | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 12.80 | 24.62 |
| Masse volumique sèche | (γ_d) t/m ³ | 1.77 | 1.52 |
| Masse volumique humide | (γ_h) t/m ³ | 1.99 | 1.90 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 94.00 | 99.67 |
| | 80 μ m (%) | 45.55 | 26.70 |
| | 2 μ m (%) | / | / |
| VBS | | 0.86 | 1.17 |
| Classification LCPC | | SL | SL |
| Sondage | | SC4 | |
| Profondeur | (m) | 02 ^{m.60} - 02 ^{m.95} | 03 ^{m.60} - 04 ^{m.00} |
| État d'échantillon | | Paraffiné | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 19.10 | 6.89 |
| Masse volumique sèche | (γ_d) t/m ³ | 1.68 | 1.58 |
| Masse volumique humide | (γ_h) t/m ³ | 2.0 | 1.69 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 83.57 | 99.67 |

ANNEXE N03 : GEOTECHNIQUE

| | | | |
|-------------------------|------------------------------------|---|---|
| | 80 µm (%) | 4.37 | 3.79 |
| | 2 µm (%) | / | / |
| VBS | | 0.21 | 0.20 |
| Classification LCPC | | Sm | Sm |
| Sondage | | SC5 | |
| Profondeur | (m) | 01 ^m .60 - 01 ^m .80 | 02 ^m .70 - 03 ^m .00 |
| État d'échantillon | | Paraffiné | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 21.37 | 14.95 |
| Masse volumique sèche | (γ _d) t/m ³ | 1.61 | 1.86 |
| Masse volumique humide | (γ _h) t/m ³ | 1.96 | 2.14 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 98.97 | 97.75 |
| | 80 µm (%) | 17.64 | 17.90 |
| | 2 µm (%) | / | / |
| VBS | | 0.25 | 0.20 |
| Classification LCPC | | SL | SL |
| Sondage | | SC6 | |
| Profondeur | (m) | 03 ^m .00 - 03 ^m .50 | 03 ^m .50 - 03 ^m .70 |
| État d'échantillon | | intact | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 2.42 | 10.02 |
| Masse volumique sèche | (γ _d) t/m ³ | / | / |
| Masse volumique humide | (γ _h) t/m ³ | / | / |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 98.80 | 92.66 |
| | 80 µm (%) | 2.38 | 5.20 |
| | 2 µm (%) | / | / |
| VBS | | ES /73.35 | 0.48 |
| Classification LCPC | | Sb | SL |
| Sondage | | SC7 | |
| Profondeur | (m) | 01 ^m .70 - 02 ^m .00 | 04 ^m .00 - 04 ^m .50 |
| État d'échantillon | | intact | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 5.90 | 26.37 |
| Masse volumique sèche | (γ _d) t/m ³ | / | / |
| Masse volumique humide | (γ _h) t/m ³ | / | 0.77 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 98.52 | 99.65 |
| | 80 µm (%) | 6.97 | 53.00 |
| | 2 µm (%) | / | / |
| VBS | | 0.20 | 2.14 |
| Classification LCPC | | SA | SA |
| Sondage | | SC8 | |
| Profondeur | (m) | 02 ^m .50 - 02 ^m .80 | 03 ^m .50 - 03 ^m .90 |
| État d'échantillon | | intact | |
| Teneur en eau naturelle | (wn) % | 26.77 | 28.26 |

ANNEXE N03 : GEOTECHNIQUE

| | | | |
|---|---------------------------------|--|--|
| Masse volumique sèche (γ_d) t/m³ | | 1.44 | 1.40 |
| Masse volumique humide (γ_h) t/m³ | | 1.82 | 1.79 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 98.92 | 99.80 |
| | 80 μm (%) | 37.54 | 31.22 |
| | 2 μm (%) | / | / |
| VBS | | 0.08 | 0.66 |
| Classification LCPC | | SA | SA |
| Sondage | | SC9 | |
| Profondeur (m) | | 02^m.50 - 03^m.00 | 03^m.50 - 03^m.80 |
| État d'échantillon | | Intact | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 19.89 | 18.83 |
| Masse volumique sèche (γ_d) t/m³ | | / | 1.59 |
| Masse volumique humide (γ_h) t/m³ | | 0.92 | 1.89 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 96.97 | 98.79 |
| | 80 μm (%) | 37.88 | 51.60 |
| | 2 μm (%) | / | / |
| VBS | | 2.77 | 3.46 |
| Classification LCPC | | SA | SA |

| | | | | | |
|---|---------------------------------|--|--|--|--|
| Sondage | | SC10 | | | |
| Profondeur (m) | | 01^m.50 - 02^m.00 | 07^m.50 - 08^m.00 | 11^m.75 - 12^m.00 | 12^m.40 - 12^m.80 |
| État d'échantillon | | Parrafiné | | | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 13.87 | 14.53 | 35.19 | 26.04 |
| Masse volumique sèche (γ_d) t/m³ | | / | 1.55 | 1.41 | 1.51 |
| Masse volumique humide (γ_h) t/m³ | | / | 1.77 | 1.91 | 1.90 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 90.39 | 88.73 | 98.58 | 99.07 |
| | 80 μm (%) | 19.59 | 56.68 | 79.37 | 96.78 |
| | 2 μm (%) | / | / | / | / |
| VBS | | 0.82 | / | / | 5.66 |
| Classification LCPC | | SA | SA | SA | SA |
| Sondage | | SC11 | | | |
| Profondeur (m) | | 02^m.00 - 02^m.30 | 10^m.00 - 10^m.25 | 11^m.00 - 11^m.50 | 12^m.50 - 12^m.75 |
| État d'échantillon | | Parrafiné | | | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 2.20 | 37.53 | 32.63 | 28.21 |
| Masse volumique sèche (γ_d) t/m³ | | 1.79 | 1.34 | 1.38 | 1.44 |
| Masse volumique humide (γ_h) t/m³ | | 1.83 | 1.84 | 1.83 | 1.84 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 97.23 | 99.92 | 99.72 | 99.71 |
| | 80 μm (%) | 30.10 | 98.15 | 96.61 | 95.63 |
| | 2 μm (%) | / | / | / | / |
| VBS | | 0.125 | 2.97 | 6.33 | 6.60 |
| Classification LCPC | | SL | SL | SA | SA |

ANNEXE N03 : GEOTECHNIQUE

| Sondage | | SC12 | | | | |
|--|-----------|---|---|---|---|---|
| Profondeur (m) | | 09 ^m .00 - 09 ^m .30 | 10 ^m .50 - 11 ^m .00 | 11 ^m .10 - 11 ^m .70 | 12 ^m .20 - 12 ^m .80 | 13 ^m .50 - 13 ^m .80 |
| État d'échantillon | | Parrafiné | | | | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 25.13 | 24.89 | 24.16 | 26.06 | 19.48 |
| Masse volumique sèche (yd) t/m ³ | | 1.62 | 1.57 | 1.61 | 1.56 | 1.69 |
| Masse volumique humide (yh) t/m ³ | | 2.03 | 1.96 | 1.99 | 1.96 | 2.02 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 93.18 | 100 | 99.95 | 99.57 | 96.87 |
| | 80 µm (%) | 58.10 | 100 | 98.75 | 96.65 | 10.52 |
| | 2 µm (%) | / | / | / | / | / |
| Argilosité | WL (%) | / | 75 | 91 | 91 | 52 |
| | IP (%) | / | 20 | 43 | 43 | 21 |
| Classification LCPC | | Lt | Lt | Lt | Lt | Lt |

| Sondage | | SC13 | | | | |
|--|-----------|---|---|---|---|---|
| Profondeur (m) | | 04 ^m .00 - 05 ^m .00 | 06 ^m .10 - 06 ^m .30 | 10 ^m .50 - 10 ^m .70 | 12 ^m .00 - 13 ^m .00 | 14 ^m .00 - 14 ^m .50 |
| État d'échantillon | | Parrafiné | | | | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 6.25 | 22.61 | 26.16 | 25.22 | 32.14 |
| Masse volumique sèche (yd) t/m ³ | | 1.62 | 1.48 | 1.48 | 1.59 | 1.37 |
| Masse volumique humide (yh) t/m ³ | | 1.72 | 1.81 | 1.87 | 1.99 | 1.81 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 74.60 | 97.60 | 93.20 | 99.95 | 99.98 |
| | 80 µm (%) | 56.10 | 72.48 | 59.53 | 98.76 | 95.82 |
| | 2 µm (%) | / | / | / | / | / |
| VBS | | 1.75 | 4.29 | / | WL=85 (%) IP=36 (%) | WL=86 (%) IP=43 (%) |
| Classification LCPC | | SL | SL | / | Lt | Lt |

| Sondage | | SC14 | | | | | |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|
| Profondeur (m) | | 05 ^m .00 - 05 ^m .20 | 05 ^m .60 - 05 ^m .70 | 07 ^m .10 - 07 ^m .50 | 11 ^m .30 - 11 ^m .50 | 12 ^m .70 - 13 ^m .00 | 15 ^m .00 - 15 ^m .30 |
| État d'échantillon | | Parrafiné | | | | | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 31.30 | 31.47 | 35.85 | 6.55 | 22.67 | 16.62 |
| Masse volumique sèche (yd) t/m ³ | | 1.31 | 1.28 | / | 1.69 | 1.59 | 1.69 |
| Masse volumique humide (yh) t/m ³ | | 1.72 | 1.68 | 0.84 | 1.80 | 1.95 | 1.97 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 98.21 | 98.34 | 95.50 | 99.01 | 99.63 | 99.74 |
| | 80 µm (%) | 55.32 | 49.63 | 44.65 | 26.07 | 12.64 | 93.53 |
| | 2 µm (%) | / | / | / | / | / | / |
| VBS | | 2.64 | 1.83 | 0.80 | 1.32 | 0.90 | 4.33 |
| Classification LCPC | | SA | SA | SA | SA | SA | SA |

| Sondage | | SC15 | | | | |
|--|-----------|---|---|---|---|---|
| Profondeur (m) | | 01 ^m .60 - 02 ^m .00 | 05 ^m .00 - 05 ^m .30 | 08 ^m .00 - 08 ^m .30 | 10 ^m .50 - 10 ^m .70 | 10 ^m .70 - 11 ^m .00 |
| État d'échantillon | | intact | | | | |
| Teneur en eau naturelle (wn) % | | 24.54 | 43.15 | 15.36 | 12.18 | 16.00 |
| Masse volumique sèche (yd) t/m ³ | | 1.49 | 1.19 | 1.97 | 1.82 | 1.72 |
| Masse volumique humide (yh) t/m ³ | | 1.86 | 1.71 | 2.27 | 2.04 | 1.99 |
| Granulométrie | 2 mm (%) | 97.89 | 98.03 | 97.06 | 99.15 | 99.04 |
| | 80 µm (%) | 38.34 | 38.37 | 9.29 | 12.46 | 19.30 |
| | 2 µm (%) | / | / | / | / | / |
| VBS | | WL=81 (%) IP=36 (%) | 1.32 | 0.74 | 0.49 | 0.49 |
| Classification LCPC | | Lt | SA | SA | SA | SA |