

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



المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جاتسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire entre
El Affroun (Blida) et port centre - Cherchell
(Tipaza) du PK19+000 au PK29+000 avec
l'aménagement de la gare Hadjout (Tipaza)**

Présenté par :

**BELABED Yasser
LIANI Hossam Eddine**

Encadré par :

Mr. MORSLI Rabeh

Promotion 2018 /2019

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 promoteur Mr MORSLI pour sa disponibilité permanente, pour son aide et ces orientations précieuses, tout le long de ce projet.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

Nous tenons également à remercier les honorables membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont accordés en acceptant d'évaluer notre travail.

Nous remercions aussi le groupe de la SETS pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage. Spécialement : RAOUF, ABD EL RAHIM, HOUCIN, AHMED, SEDIK, KARIM.

Le groupe de SETI-RAIL pour leurs contribution pour acquisition les données de projet spécialement : BILLEL, HAMZA, IBRAHIM, ADEM.

Que tous ceux ou celles qui nous ont apportés leur soutien et qui nous ont aidé de loin ou de près pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression de notre vive et sincère reconnaissance, en particulier nos parents, nos familles et nos amis.

BELABED ---LIANI

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.

A **mon 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.

A Mes chers frères **raouf** et **ayoub** et à Mes chères sœurs

A mes neveux **ibrahim** et **Aymen** et ma petite nièce **Tassime**.

A mon binôme et confrère : LIANI HOSSEM

A tous mes Amis sans exception.

A tout qui connaît YASSER de près ou de loins.

BELABED YASSER

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

À celle qui m'a transmis la vie, celle qui s'est sacrifiée pour me voir grandir et réussir, à celle qu'aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que je lui éprouve,
À toi chère Maman

Au guide de ma vie, celui qui n'as jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études qui a toujours été présent à mes côtés pour me consoler quand il fallait.
À toi cher Papa

A mon cher frère Pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux

A la mémoire de ma grand-mère, qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, je te dédie aujourd'hui ma réussite. Que Dieu, le miséricordieux, t'accueille dans son éternel paradis.

A toute ma famille, mes amis, A mon binôme Belabed Yasser à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour ma réussite soit possible.

ملخص

تتعلق هذه المذكرة بدراسة تفصيلية أولية لما قبل المشروع لمقطع 10 كم من خط السكة الحديدية العفرون تيبازة من النقطة الكيلومترية رقم 19+000 الى النقطة الكيلومترية رقم 29+000 مع انجاز محطة الحجوط

تم تنفيذ هذا المشروع وفقاً لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF).

برامج النمذجة والحساب المستخدمة في المشروع هي: Autocad 2018، Civil 3D 2018، TALREN V5، globale mappé 19. كلمات مفتاحية: السكك الحديدية، محطة، Civil 3D

Résumé

Le présent mémoire porte sur une étude avant-projet détaillée APD d'un tronçon de 10 km de la ligne ferroviaire El Affroune Tipaza (du Pk 19.00 jusqu'au Pk 29.00) avec aménagement de la gare de Hadjout.

Ce projet a été réalisé suivant les normes de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et les recommandations de la Société nationale de transport ferroviaire (SNTF).

Les logiciels de modélisation et de calcul utilisé dans le projet sont : Autocad 2018, Civil 3D 2018, TALREN V5, globale mappé 19.

Mots clés : Civil 3D, Chemins de fer, Gare.

Abstract

This memory involve the study detailed design (A.P.D) of a section of 10 km of the railway line El Affroune and Tipza between (Pk 19.00 and Pk 29.00) with the construction of Hadjout station.

This projet was realised according to International Railway Union standards (UIC) and the Algerian national railway company recommendations of the (SNTF).

Modeling softwares used in this project are : Autocad 2018, Civil 3D 2018, TALREN V5, globale mappé 19.

Key words : Civil 3D, Railway , station.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE(l'étude de dégradation du ballast)	
I.1.INTRODUCTION	2
I.2. ROLE DE BALLAST	2
I.3. CARACTERISTIQUES ET CRITERES DE QUALITE DU BALLAST.....	3
I.4. DEGRADATION DU BALLAST.....	4
I.5. LE BOURRAGE.....	5
I.5.1. Pourquoi bourré	5
I.5.2. Processus du bourrage	6
I.5.3. Impact du bourrage sur le ballast	8
I.6. OPTIMISATION DE L'OPERATION DE BOURRAGE POUR UN MEILLEUR BALLAST.....	9
I.6.1. Essais réalisés	9
I.6.2. Synthèses	11
I.7. GESTION OPTIMISEE DU BALLAST EN FIN DE VIE	12
I.8. NETTOYAGE ET RENOUVELLEMENT DE BALLAST.....	12
I.9.CONCLUSION	12
CHAPITRE II : CHEMINS DE FER EN ALGERIE	
II.1. INTRODUCTION	13
II.2. AVANTAGES DE CHEMIN DE FER	13
II.3. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN.....	13
II.3.1. Étapes de développement.....	13
II.3.2. réseau actuel en Algérie.....	14
II.4. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES... ..	14
II.4.1. La rocade ferroviaire Nord et ces dessertes	14
II.4.2. La rocade ferroviaire des Hauts Plateaux	15
II.4.3. Ligne Minière.....	15
II.4.4. Pénétrante Ouest.....	15
II.4.5. Pénétrante Est (El Gourzi – Hassi Messaoud)	15
II.4.6. Pénétrante Centre	15
II.4.7. Boucle Sud Est.....	15

II.4.8. Boucle Sud-Ouest	15
II.5. CONCLUSION	16
CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET	
III.1. INTRODUCTION.....	17
III.2. CONTEXTE GÉNÉRAL.....	18
III .3. DÉFINITION DU PROJET DE FIN D’ETUDES.....	18
III.4. PRÉSENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	18
III.4.1. La wilaya de Tipaza.....	18
III.4.2. Caractéristique de relief traversé.....	18
III.4.3. Climat de la région.....	19
III.4.4. Sismicité de la zone	19
III .5. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC	20
III. 6. CARCTÉRISTIQUES DE BASE DU PROJET.....	20
III.7. CONCLUSION.....	20
CHAPITRE IV : SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE	
IV.1. INTRODUCTION	21
IV.2. LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE	21
IV.2.1. Le rail.....	21
IV.2.2. Les traverses.....	24
IV.2.3. Les semelles.....	26
IV.2.4. Les attaches.....	26
III.3. ASSEMBLAGE DES CONSTITUANTS.....	27
IV.4. CONCLUSION.....	27
CHAPITRE V : TRACÉ EN PLAN	
V.1. INTRODUCTION	28
V.2. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN.....	28
V.3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN.....	28
V.3.1. Alignement.....	28
V.3.2. L’arc de cercle.....	29
V.3.3. La courbe de raccordement.....	29
V.4. CONDITIONS DE RACCORDEMENT.....	29
V.4.1. Condition de gauchissement.....	29
V.4.2. Condition du confort dynamique.....	29

V.5. PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ.....	29
V.5.1. Rayon minimum de l'alignement circulaire (Rmin).....	29
V.5.2. Le dévers.....	29
V.6. APPLICATION AU PROJET.....	34
V.7. CALCUL DE L'AXE EN PLAN.....	37
V.7.1. La méthodologie de calcul.....	38
V.7.2. Application au projet.....	38
V.8. DESCRIPTION DU TRACÉ ET LES CONTRAINTES RENCONTREES.....	41
CHAPITRE VI: PROFIL EN LONG	
VI.1. INTRODUCTION	42
VI.2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG.....	42
VI.2.1. Déclivité maximale.....	42
VI.2.2. La longueur minimale des déclivités.....	43
VI.2.3. Rayon minimale en profil en long.....	43
VI.3. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG.....	44
VI.4. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN	44
VI.5. PARAMETRES CINEMATQUES DU PROFIL EN LONG.....	45
VI.6. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG.....	45
VI.7. CONCLUSION.....	46
CHAPITRE VII : ETUDE HYDROLOGIQUE ET ASSINISEMENT	
VII.1. ETUDE HYDROLOGIQUE.....	47
VII.1.1. INTRODUCTION.....	47
VII.1.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE GÉNÉRAL.....	47
VII.1.3. BASSINS VERSANTS.....	48
VII.1.4. CALCUL HYDRAULIQUE.....	49
VII.1.5. APPLICATION AU PROJET.....	52
VII.2. ETUDE D'ASSINISEMENT.....	53
VII.2.1. INTRODUCTION.....	53
VII.2.2. LE DRAINAGE TRANSVERSAL.....	53
VII.2.3. DRAINAGE LONGITUDINAL.....	57
VII.2.4. Calcul hydraulique des ponts.....	58
VII.2.5. CONCLUSION.....	59
CHAPITRE VIII : ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE	

VIII.1. ETUDE GÉOLOGIQUE.....	60
VIII.1.1. INTRODUCTION.....	60
VIII.1.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DE LA RÉGION.....	60
VIII.1.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE NOTRE TRONCON.....	60
VIII.1.4. CONCLUSION.....	62
VIII.2. ETUDE GÉOTECHNIQUE.....	62
VIII.2.1. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE.....	62
VIII.2.2. ESSAIS IN SITU.....	64
VIII.2.3. ESSAIS AU LABORATOIRE.....	68
VIII.2.4. CLASSIFICATION DES SOLS.....	71
VIII.2.5 CONCLUSION.....	72
 CHAPITRE IX : DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE	
IX.1. INTRODUCTION.....	73
IX.2. ETABLISSEMENT DE STRUCTURE D'ASSISE.....	73
IX.3. LES CONSTITUANTS DE LA STRUCTURE D'ASSISES.....	73
IX.3.1. La couche de ballast.....	73
IX.3.2. La sous-couche.....	75
IX.3.3. La plateforme.....	76
IX.4. DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES D'ASSISE.....	76
IX.4.1. Classe de portance des plateformes.....	76
IX.4.2. Différents types de structures d'assise.....	77
IX.4.3. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise.....	78
IX.5. APPLICATION A NOTRE PROJET.....	79
 CHAPITRE X : PROFIL EN TRAVERS	
X.1. INTRODUCTION.....	81
X.2. LES DEFERENTS TYPES DE PROFIL EN TRAVERS.....	81
X.2.1. Profil en travers type.....	81
X.2.2. Profil en travers courant.....	81
X.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS.....	81
X.3.1. La plateforme.....	81
X.3.2. L'Emprise.....	81
X.3.3. Assiette.....	81
X.3.4. La voie.....	81

X.3.5. La berme.....	81
X.3.6. Le fossé.....	81
X.4. ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE.....	82
X.5. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES AU PROJET.....	83
 CHAPITRE XI : TERRASSEMENT ET OUVRAGES	
XI.1. TERRASSEMENT.....	84
XI.1.1. INTRODUCTION.....	84
XI.1.2. DEBLAIS.....	84
XI.1.3. REMBLAIS.....	87
XI.1.4. EPAISSEURS DE LA TERRE VEGETALE.....	91
XI.1.5. CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT.....	91
XI.2. OUVRAGES D'ART.....	92
XI.2.1. INTRODUCTION.....	92
XI.2.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET.....	92
XI.2.3. CONCLUSION.....	92
 CHAPITRE XII : AMENAGEMENT DE LA GARE HADJOUT ET LA BIFURCATION DE NADOR	
XII.1. INTRODUCTION.....	93
XII.2. TYPES DES GARES.....	93
XII.3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS.....	93
XII.4. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES.....	93
XII.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE.....	93
XII.5.1. La marge de glissement à l'aval des signaux.....	93
XII.5.2. Garage franc (GF).....	94
XII.5.3. La longueur utile d'une voie de stationnement.....	94
XII.5.4. Heurtoir.....	95
XII.5.5. QUAI.....	95
XII.5.6. appareils de la voie.....	96
XII.6. APPLICATION AU PROJET.....	97
XII.6.1. Aménagement de la gare Hadjout.....	97
XII.6.2. Aménagement de la Bifurcation de Nador.....	100
XII.7. ASSAINISSEMENT DE LA GARE.....	101
XII.7.1. Assainissement transversale.....	101
XII.7.2. Assainissement longitudinal.....	101

XII.8. CONCLUSION.....	101
CHAPITRE XIII : SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION	
XIII.1. SIGNALISATION.....	102
XIII.1.1. INTRODUCTION.....	102
XIII.1.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION.....	102
XIII.1.3. DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX.....	102
XIII.1.4. GENRE ET ETALON DE SIGNALISATION.....	102
XIII.1.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX.....	103
XIII.1.6. SIGNAUX LUMINEUX.....	103
XIII.1.7. VISIBILITE DES SIGNAUX.....	103
XIII.1.8. LES DIFFERENTES CIBLES UTILISÉES.....	103
XIII.1.9. SYSTEME DE SIGNALISATION.....	104
XIII.2. ELECTRIFICATION.....	106
XIII.2.1. INTRODUCTION.....	106
XIII.2.2. LES TYPES DE SYSTEME D'ELECTRIFICATION.....	106
XIII.2.3. APPLICATION AU PROJET.....	107
XIII.2.4. LE GABARIT DE LA CATENAIRE.....	109
CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	
XIV.1. INTRODUCTION.....	110
XIV.2. CADRE REGLEMENTAIRE.....	110
XIV.3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	110
XIV.3.1. Zone d'influence indirecte.....	110
XIV.3.2. Zone d'influence directe.....	110
XIV.4. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT.....	111
XIV.4.1. Environnement physique.....	111
XIV.4.2. ENVIRONNEMENT BIOLOGIQUE.....	111
XIV.4.3. ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL.....	112
XIV.5. EVALUATION DES IMPACTS PREVISIBLES ET LES MESURE A PRENDRE POUR CHAQUE PHASE DU PROJET.....	112
XIV.5.1. Impacts sonores	112
XIV.5.2. Impacts sur les biens de la population.....	113
XIV.5.3. Effet de coupure.....	113
XIV.5.4. Risque d'accidents.....	114
XIV.5.5. Impacts sur la qualité de l'air et de l'eau.....	114

SOMMAIRE

XIV.5.6. Impacts sur la faune et la flore.....	115
XIV.6. CONCLUSION.....	115
CHAPITRE XV : DEVIS ESTIMATIF	116
CONCLUSION GENERALE.....	118

Listes des figures

Figure I. 1:Ballast ferroviaire (image de site alamy.com).....	1
Figure I. 2:Photo de la voie ferrée.....	1
Figure I. 3:Courbe granulométrique prescrite pour un ballast de voie principale	2
Figure I. 4:Tableau de prescriptions pour ballast de voie ferrée pour les classes 1 et 2 selon EN 13450.....	3
Figure I. 5:Le cercle de détérioration- restauration de la voie ferrée.....	4
Figure I. 6:Bourreuse sur chantier.....	5
Figure I. 7:Fonctionnement de la machine bourreuse.....	5
Figure I.8 : Plongée des pioches dans la couche du ballast.....	6
Figure I. 9:serrage des pioches (Force de bourrage).....	6
Figure I.10 : Cycles de bourrage en fonction du tassement de la voie avec le trafic cumulé (selig andWaters1994.....	7
Figure I.11:Banc d’essai reproduisant le bourrage selon (Fisher 1983).....	8
Figure I.12:Déplacement verticale des traverses après un cycle de bourrage (Fischer 1983).....	9
Figure I.13:Banc d’essai bouba.....	9
Figure I.14:Influence des fréquences de bourrage sur la force nécessaire pour obtenir un Bourrage optimal.....	10
Figure II. 1:Plan de développement des chemins de fer en Algérie.....	15
Figure III.1:Plan de localisation du projet.....	17
Figure III. 2 : Carte de zonage sismique d’Algérie (RPOA 2008).....	18
Figure IV.1: Les constituants de la voie ferrée.....	20
Figure IV. 2 : Le rail Vignole (UIC 60).....	21
Figure IV. 3: Rail à gorge.....	21
Figure IV. 4:Rail à double champignon.....	21
Figure IV. 5:Section du rail Vignole 60E1.....	22
Figure IV. 2 : Écartement de la voie.....	22
Figure IV. 3 : Eclissage des rails.....	23
Figure IV. 4:Long rail soudé (LRS).....	23
Figure IV. 5 : Traverse bi-bloc en béton armé.....	24
Figure IV. 6 : les dimensions de traverses V.A.X TYPE U31 NAT.....	24
Figure IV. 7 : Semelles en élastomère.....	25
Figure IV. 8 : les Types des attaches.....	25
Figure IV. 9 : Les Attaches NABLA Utilisées Dans Notre Projet.....	25
Figure IV. 10:Assemblage des constituants.....	26

Figure V. 1 : Les éléments du tracé en plan.....	27
Figure V. 2 : force centrifuge et devers.....	29
Figure V. 3 : Schéma de raccordement de devers.....	33
Figure V. 4 : les éléments de courbe avec clothoïde.....	36
Figure VI. 1:Eléments géométriques du profil en long.....	41
Figure VI. 2 : Déclivités maximales admissibles.....	42
Figure VI. 4:les éléments d'un raccordement en long.....	44
Figure VII. 1 : Situation de la nouvelle ligne ferroviaire EL AFFROUN-CHERCHELL sur la carte du grand bassin côtier Algérois.....	46
Figure VII. 2:délimitation BV et localisation les points de franchissement des oueds sur carte des bassins versants du tracé.....	47
Figure VI 3: dimensions du dalot.....	54
Figure VII. 4:fosse de forme trapézoïdale.....	55
Figure VIII. 1:Extrait de la carte géologique du Hadjout 1/50000 ème.....	60
Figure VIII. 2:extrait de la carte géologique de Tipaza au 1/50000 eme.....	60
Figure VIII. 3:photos de sondage SC11.1-AT (source : rapport géotechnique).....	63
Figure VIII. 4:Profil d'essai au pénétromètre dynamique lourd (PK 21+150).....	64
Figure VIII. 5: photos puit de reconnaissance PU17-AT (source : rapport géotechnique).....	65
Figure VIII. 6:profil préssiométrique de l'essai SP PK 20+050.....	66
Figure IX. 1 : les différentes couches de la structure d'assises.....	72
Figure IX. 2 : Schéma d'une structure d'assise normale.....	76
Figure IX. 3:Schéma d'une structure d'assise avec une couche de forme rapportée.....	77
Figure IX. 4:Epaisseur de couche de forme et de la sous couche (UIC 719R).....	78
Figure IX. 5: Profil en travers des Couches d'assises.....	79
Figure X. 1:Les éléments du profil en travers.....	81
Figure X. 2 : profil en travers type du projet (profil mixte).....	82
Figure XI. 1:les cercles de rupture pour les déblais au PK 28+380 condition statique. (Logiciel TALREN V5).....	85
Figure XI. 2:les cercles de rupture pour les remblais au PK 23+240 condition statique.(logiciel TALREN	88
Figure XI. 3:les cercles de rupture pour les remblais au PK 26+025 condition sismique. (Logiciel TALREN-V5.....	88
Figure XI. 4:Structure d'un remblai courant.....	89
Figure XI. 5:Structure d'un remblai en zone inondable.....	89
Figure XII. 1:Garage franc.....	93
Figure XII. 2:Longueur utile de stationnement et garage franc.....	94
Figure XII. 3:Un heurtoir.....	95

LISTES DES FIGURES

Figure XII. 4:la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie.....	95
Figure XII. 5:implantation d'un appareil de voie sans contraintes.....	96
Figure XII. 6:implantation d'un appareil de voie avec contraintes.....	96
Figure XII. 7:Localisation de la gare D'EL HADJOUT.....	97
Figure XII. 8:Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12.....	98
Figure XII 9:Les appareils de voie type UIC 60E1 300 1/9.....	98
Figure XII. 10:Schéma de la gare de Hadjout.....	98
Figure XII. 11:Coupe transversale de la gare de Hadjout.....	99
Figure XII. 12:schéma de la Bifurcation Nador.....	100
Figure XIII. 1:le systeme europeen de controle des trains (ertms) niveau 1.....	103
Figure XIII. 2:Une balise installée sur la voie.....	104
Figure XIII. 3:L'interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap. 10).....	104
Figure XIII. 4 : Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV.....	105
Figure XIII. 5:Schéma exemplaire du système d'alimentation 2X25 avec poste autotransformateurs.....	106
Figure XIII. 6:Architecture des sous stations, poste de sectionnements et zones neutres pour la ligne AFFROUNE – PORT CENTRE (Cherchell).....	107
Figure XIII. 7:Pantographe.....	107

Liste des tableaux

Tableau III.1.:Précipitations moyennes annuelles (période 1978- 2016).....	19
Tableau III.2 : Catégories de trafic UIC (703 R).....	20
Tableau V. 1:Valeur minimale de l’alignement recommandé par l'UIC (fiche 703 R).....	29
Tableau V. 2 : Valeurs limites du dévers.....	31
Tableau IV. 3 : valeurs limites de l’insuffisance.....	31
Tableau IV. 4 : valeurs limites pour l’excès de dévers.....	32
Tableau V. 6:Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur.....	33
Tableau V. 7 : paramètres du gauchissement.....	33
Tableau V. 8:Valeurs de variation de l’insuffisance de dévers.....	34
Tableau V. 9 : paramètres géométrique du tracé.....	34
Tableau V. 10 : les paramètres significatifs de l'axe en plan entre pk19+000 et29+000.....	37
Tableau V. 11 :les données de l'arc choisi pour l'exemple.....	38
Tableau V. 12:description du tracé et les contraintes rencontrées.....	41
Tableau VI. 1 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités.....	43
Tableau VI.2 : les rayons minimaux de profil en long.....	44
Tableau VI. 3 : Valeurs standards des paramètres cinématiques.....	45
Tableau VI. 4 : les coordonnées des points de profil en long (exemple).....	46
Tableau VII 1:Températures moyennes mensuelles (°C), période (1980 -1992).....	47
Tableau VII. 2:vents moyennes mensuelles (m/s), période (1980 -1992).....	48
Tableau VII 3:Précipitations moyennes mensuelles (période 1978- 2016).....	48
Tableau VII 4:Les caractéristiques des paramètres de bassins versants entre PK 19+000 ET PK 29+000.....	49
Tableau VII. 5 : valeurs des paramètres de Montana pour différentes périodes.....	51
Tableau VII. 6:Désignation des Coefficient de ruissellement par zones.....	51
Tableau VII 7 : Valeurs de Ks selon SETRA.....	54
TableauVII.8:La vérification hydraulique des ouvrages d’assainissement transversaux.....	55
Tableau VII. 9:Dimensions des ouvrages d’assainissement traversent le projet.....	56
Tableau VII. 10 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.....	58
Tableau VII. 11:Calcul hydraulique des ponts de tracé étudié.....	59
Tableau VIII. 1 : programme de reconnaissance géotechnique (essai in situ).....	62
Tableau VIII. 2: programme de reconnaissance géotechnique (Essais au laboratoire)	63

Tableau VIII. 3:Implantation et description des sondages carottés.....	64
Tableau VIII. 4 : Récapitulation des résultats du PDL.....	66
Tableau VIII. 5 : localisation des puits de reconnaissance et description lithographique.....	66
Tableau VIII. 6:Implantation et description des sondages préssiométrique.....	68
Tableau VIII. 7 : classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1).....	69
Tableau VIII.8 : Résultats des essais au laboratoire (1).....	70
Tableau VIII.8 : Résultats des essais au laboratoire (2).....	71
Tableau VIII.10:Résultats de classification des sols.....	72
Tableau IX. 1:Classification de portance des plateformes selon UIC719.....	76
Tableau IX. 2 : épaisseurs des couches.....	80
Tableau X. 1: constituants du profil en travers type.....	82
Tableau XI. 1 : Les principales zones de déblais entre PK19+000 et PK 29+000.....	84
Tableau XI. 2:Les caractéristiques mécaniques des déblais.....	85
Tableau XI. 3 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais.....	86
Tableau XI. 4:les zones déblais rencontrés le long du tracé.....	87
Tableau XI. 5:utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme.....	87
Tableau XI. 6:Réutilisation des matériaux de déblais.....	87
Tableau XI. 7:Les principales zones de remblais entre PK19+000 et PK 29+000.....	87
Tableau XI. 10:Les épaisseurs et volume de la terre végétale.....	91
Tableau XI. 11:Récapitulatif des volumes de terrassement.....	91
Tableau XI. 12:Récapitulatif des volumes des couches d’assise.....	91
Tableau XI. 13:Les ouvrages d’arts projetés du projet.....	92
Tableau XII. 1:Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1.....	96
Tableau XII. 2:caractéristiques appareil de voie de la gare de Hadjout.....	100
Tableaux. XII. 3:caractéristiques appareil de voie de la Bifurcation Nador.....	101
Tableau XIV.1: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sonores).....	112
Tableau XIV. 2: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur les biens de la population).....	113
Tableau XIV. 3: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Effet de coupure).....	113
Tableau XIV. 4: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Risque d’accidents).....	114
Tableau XIV. 5: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la qualité de l’air).....	114
Tableau XIV. 6:évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines).....	114

Tableau XIV. 7:évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la faune et la flore)..... 115

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

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

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

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

L'Algérie a réussi à développer son réseau des chemins de fer en agissant d'une manière optimiste suivant des programmes de développement bien étudiés. Le réseau des chemins de fer algérien est aujourd'hui parmi les plus modernes d'Afrique. L'ambition des pouvoirs publics est de connecter toutes les villes d'Algérie entre elles par le réseau ferroviaire. Actuellement ce réseau est de plus de 4 000 km.

Parmi ses programmes nationaux de développement des chemins de fer et dans le cadre du Schéma Directeur National des Infrastructures Ferroviaires inscrit au plan quinquennal de l'année 2014, l'état prévoit la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire « EL AFFROUN – port centre Cherchell (TIPAZA). » Dans un linéaire de 40 km. C'est ainsi que notre sujet de fin d'étude est inscrit il s'agit d'une étude en APD d'un tronçon de dix (10) km qui prend son origine avant la gare Hadjout au PK 19+000 et il se termine au PK 29+000. Aussi il est prévu l'aménagement de la gare de Hadjout. C'est L'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires ANESRIF « maitre d'ouvrage délégué » qui est chargée de la gestion de la réalisation de cette nouvelle ligne ferroviaire.

Le mémoire s'articule sur les aspects suivant :

- Recherche bibliographique (l'étude de dégradation du ballast).
- Histoire des chemins de fer en Algérie.
- Présentation du projet et objectifs.
- Superstructure de la voie.
- Dimensionnement des ouvrages hydrauliques issus de l'étude hydrologique et Hydraulique.
- Étude géométrique : tracé en plan, profils en long et en travers.
- Étude géotechnique et leur application dans la stabilité des pentes, et dimensionnement de la structure d'assise.
- Aménagement de la gare de HADJOUT et la bifurcation de NADOR.
- Signalisation et électrification et l'étude de l'impact sur environnement.
- À la fin de notre travail, nous donnerons une estimation du coût global du notre rançon.

CHAPITRE I :

RECHERCHE

BIBLIOGRAPHIQUE

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. ROLE DU BALLAST.**
- 3. CARACTERISTIQUES ET CRITERES DE QUALITE DU BALLAST.**
- 4. DEGRADATION DU BALLAST.**
- 5. LE BOURRAGE.**
- 6. OPTIMISATION DE L'OPERATION DE BOURRAGE POUR UN MEILLEUR BALLAST.**
- 7. GESTION OPTIMISEE DU BALLAST EN FIN DE VIE.**
- 8. NETTOYAGE ET RENOUVELLEMENT DE BALLAST.**
- 9. CONCLUSION.**

I.1. INTRODUCTION :

Notre thème de master repose sur l'étude de dégradation du ballast à cause de trafic et de l'environnement et son comportement sous l'action du bourrage puis on essaie d'optimiser cette opération pour un meilleur fonctionnement de ballast.

Les matériaux granulaires sont utilisés comme matériaux de remplissage dans diverses applications en raison de leurs propriétés d'écoulement, de résistance au cisaillement. Le ballast est un matériau granulaire qui présente la partie supérieure des structures d'assises et entre les traverses. Ce granulat est obtenu par le concassage des roches de carrières (granit, diorite, rhyolite, quartzite, grès). [1]



Figure I. 1:Ballast ferroviaire (image de site alamy.com). [9]

Un empilement de cailloux peut sembler bien peu stable et Pourtant, on n'a rien trouvé de mieux pour stabiliser les voies ferrées en garantissant un confort optimal pareil aux passagers.



Figure I. 2:Photo de la voie ferrée

I.2. ROLE DU BALLAST :

Le Ballaste est non seulement utilisé comme un remplissage stabilisant pour maintenir le nivellement de la voie en assurant aux traverses une position stable dans le sens vertical mais aussi pour maintenir le dressage de la voie en résistant aux efforts transversaux qui tendent à déformer le tracé et permet aussi de résister aux efforts longitudinaux qui tendent à faire cheminer les rails et les traverses (séparément et conjointement) et à fermer les joints de dilatation. Le ballast assure encore plusieurs fonctions :

- La transmission uniforme des charges de véhicules vers la plateforme.
- Permet à la voie de travailler en élasticité.
- Assurer le confort et la sécurité des passagers.

- L'absorption des nuisances sonores par l'amortissement des vibrations.
- Assurer un bon drainage pour limiter les problèmes du gel dégel. [2]

I.3. CARACTERISTIQUES ET CRITERES DE QUALITE DU BALLAST :

Pour un ballast de bonne qualité il y'a des exigences pour le choix du matériau. Il doit être constitué de grains de roches solides et compacts concassées dans un broyeur pour afin d'attendre une forme angulaire ce qui garantit une meilleure portance donc plus de résistance au cisaillement. Le ballast doit répondre aux critères de qualités géométriques et mécaniques fixés par les normes internationales (EN 13450):

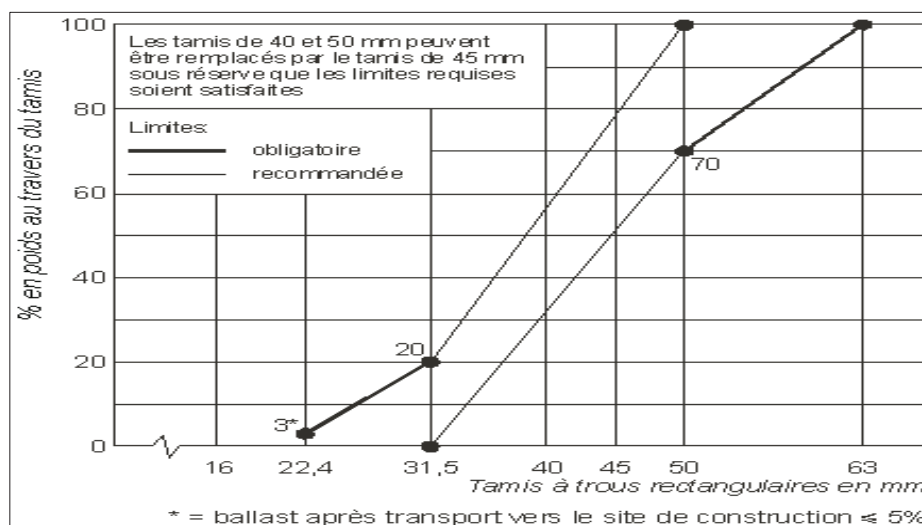


Figure I. 3: Courbe granulométrique prescrite pour un ballast de voie principale. [10]

Les critères de qualité du ballast portent sur :

- **Granulométrie** : le ballast est un matériau granulaire de diamètre variant de 25 à 50 MM. Il provient du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granite, diorite, rhyolite, porphyre, quartzite...).
- **Dureté** : la dureté du matériau ballast est exprimée au moyen d'un coefficient dit de dureté globale (DRG). Ce coefficient est établi à partir de deux types d'essais : – essai Deval, effectué à l'état humide, qui caractérise la résistance à l'attrition, – essai Los Angeles, qui caractérise la fragilité aux chocs. La valeur du coefficient de dureté exigée varie en fonction de la nature des traverses et du trafic.
- **Forme** : les grains de ballast sont polyédriques à arêtes vives. Mais sa peut contenir des grains allongés qui nuisent à la stabilité de la couche compactée car ils sont susceptibles de se rompre et donc de perturber la stabilité du ballast.
Pour cela on définit :
 - les aiguilles comme étant les grains dont la plus grande dimension dépasse une valeur donnée ;
 - les éléments plats définis comme étant d'une classe granulométrique passant au travers d'une grille à fentes. La taille de l'ouverture de la fente est égale à la moitié de la taille du plus grand granulat de la tranche considérée.
 Une norme européenne limite sévèrement la quantité des aiguilles et des éléments plats présents dans le ballast. Le pourcentage en masse d'aiguilles ne doit pas dépasser

7%. Le pourcentage total en masse d'éléments plats passant à travers l'ensemble des grilles s'appelle le coefficient d'aplatissement. Celui-ci ne doit pas dépasser 12%.

- **Propreté** : Enfin les grains de ballast doivent être expurgés du sable, terre, poussières, débris, fines pouvant influencer la rugosité et le frottement entre grains qui sont à l'origine de la résistance macroscopique. [3]

Propriétés	Valeur Catégorie		Grandeurs mesurées
	Classe 1	Classe 2	
Granularité	mm	% massique	Passant
	63	100	
	50	70...99	
	40	30...65	
	31,5	1...25	
	22,4	0...3	
Grains fins	Aucune exigence		Passant
Fines	≤ 0,5% massique		Passant
Forme des grains	SI20 ≤ 20% massique		Indice de forme (SI)
Pierres longues	≤ 4% massique		Pierres longues > 100 mm
Résistance à la fragmentation	LARB16 ≤ 16	LARB24 ≤ 24	Coefficient Los Angeles (LA)
Résistance à l'usure	Aucune exigence		Coefficient Micro-Deval (MDE)
Durabilité	Granulats fragiles		Pétrographie
Durabilité	MS ≤ 3% massique		Valeur de sulfate de magnésium (MS)

Figure I. 4: Tableau de prescriptions pour ballast de voie ferrée pour les classes 1 et 2 selon EN 13450. [10]

I.4. DEGRADATION DU BALLAST :

La dégradation du ballast est due à plusieurs causes :

- Causes de nature mécanique : lié à la charge de trafic ferroviaire. Ces charges sont distribuées sur la surface de contact entre traverse et ballast.
- Cause de natures environnementales : il s'agit de l'influence des agents atmosphériques, les poussières, et les plantes. Pour prévenir des problèmes pareils un désherbage périodique doit être effectué.

Les conséquences de dégradation du ballast se résument comme :

- Arrondissement des grains par frottement donc perte de l'angularité et diminution du coefficient du frottement.
- Perte de la perméabilité à cause de remplissage des vides interstitiels et augmentation de la cohésion
- Perte de propriétés de drainage.
- Rupture des grains donc diminution de la granulométrie.
- Lubrification des points de contact entre les grains par les fines produites de la rupture des grains et de la poussière ce qui va diminuer le coefficient du frottement.

- Plastification partielle de la couche par le passage répété des trains donc la perte du comportement élastique et risque de tassement.

A cause des surcharges dynamiques dues au passage répété des trains la géométrie de la voie se déforme ainsi le rail qui était en bon état risque de subir une usure très rapide à cause des défauts de géométrie de la voie de même une voie de bonne géométrie risque de se dégrader rapidement si ses composants comme le rail sont usés.

Les travaux de maintenance doivent veiller à la restauration de matériel et de la géométrie de la voie pour garantir leur efficacité à long terme. [4]

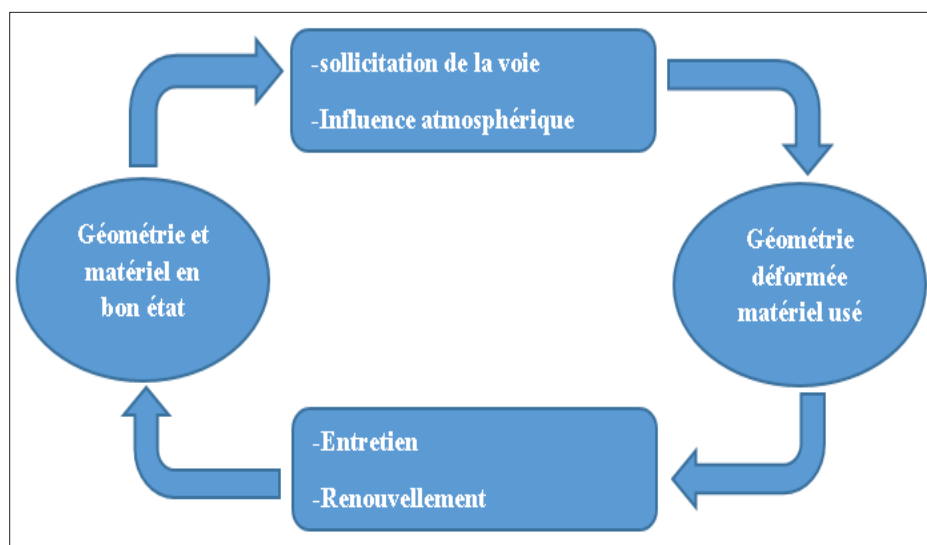


Figure I. 5:Le cercle de détérioration- restauration de la voie ferrée

Notre étude s'intéresse à une opération importante pour l'entretien et la restauration de la voie ferrée c'est bien le bourrage.

I.5. LE BOURRAGE:

I.5.1. Pourquoi bourrer :

Le passage répété des trains génère des sollicitations élevées sur la voie et son ensemble matériel constitué des rails, des traverses et du ballast. Cet ensemble se déforme avant de revenir à sa position initiale.

A long terme, ses sollicitations plastifient partiellement la voie ce qui va provoquer de suite des défauts géométriques.

Pour éviter ce phénomène il faut prévoir un entretien régulier qui permet de rétablir la qualité géométrique initiale de la voie dans le cadre d'opérations de bourrage-nivellement-dressage.



Figure I. 6: Bourreuse sur chantier. [11]

I.5.2. Processus du bourrage :

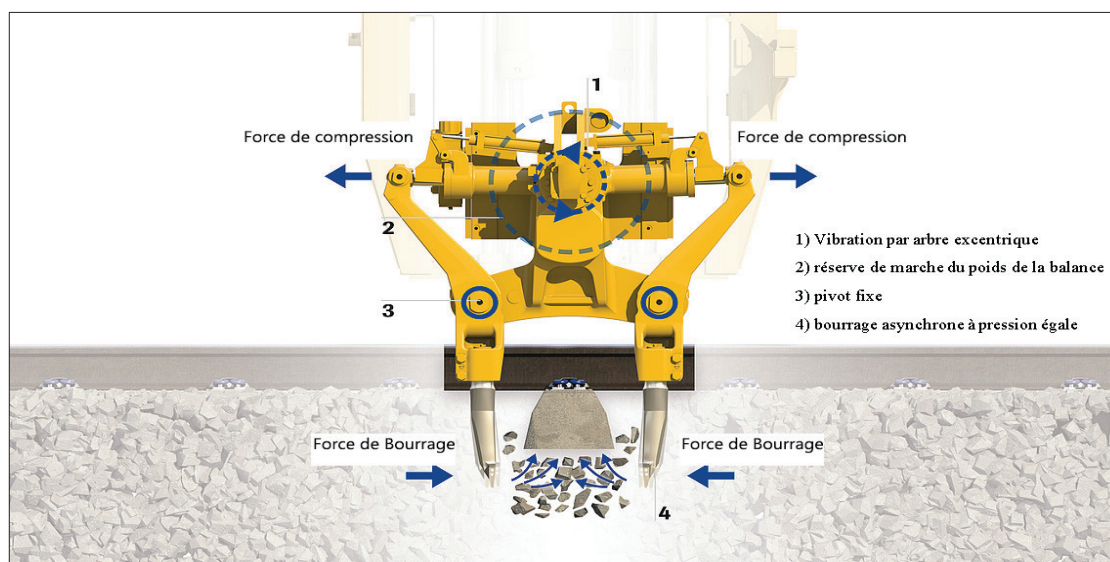


Figure I. 7: Fonctionnement de la machine bourreuse. [11]

Le bourrage est une opération d'entretien de la voie qui permet la correction de la déformation de la voie et de récupérer sa position initiale.

Cette opération d'entretien se fait en trois actions : Bourrage, nivellement, dressage.

Sa réalisation nécessite des machines spéciales avec des pioches qui plongent dans le ballast encadrant les traverses.

On appelle cycle de bourrage l'enchaînement des opérations suivantes :

- Soulèvement du blochet jusqu'à une hauteur déterminée.
- Les bourroirs vibrent et plongent dans le ballast de façon à ce que la partie inférieure descende en dessous de la traverse. Les vibrations ont pour but essentiel, a priori, d'agiter suffisamment la matière granulaire afin de faciliter l'enfoncement des bourroirs dans le ballast. Le matériau est dit dans un état de fluidisé.

- Application simultanée d'un mouvement de serrage ramenant les grains de ballast sous la traverse.
- Remontée des bourroirs et relâchement du blochet.

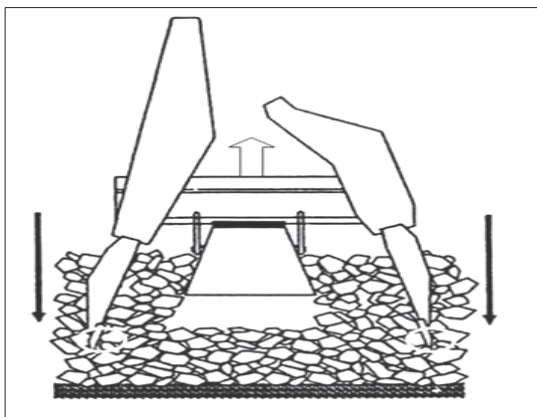


Figure I.8 : Plongée des pioches dans la couche du ballast

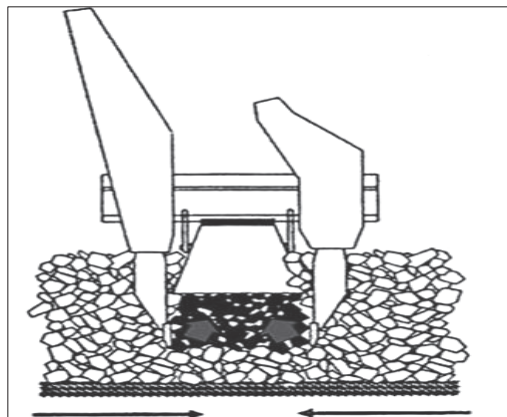


Figure I.9: serrage des pioches (Force de bourrage).

Il y'a plusieurs paramètres qui règlent le cycle de bourrage et donc sa qualité et son efficacité ces paramètres sont :

- **Fréquence de vibration** : Les fréquences utilisées par les bourreuses de dernière génération varient entre 35 Hz et 45 Hz selon les constructeurs. Pour une bourreuse manuelle, la fréquence de vibration peut monter jusqu'à 60 Hz. En règle générale, l'amplitude des signaux de vibration varie entre 5 mm et 10 mm.
- **Force de serrage** : elle dépend de la qualité du ballast et de sa réaction. On considère qu'elle est maximale quand les bourroirs sont scellés contre le ballast. L'équilibre est obtenu quand la force de serrage est égale à la réaction du ballast. La force appliquée au niveau du vérin du groupe de bourrage entraîne une force au niveau de la base des bourroirs de l'ordre de 16 kN. De plus, certaines bourreuses sont équipées d'un dispositif permettant d'exercer une contre-pression de manière à ne pas créer de chocs brusques sur le ballast lors du serrage pour éviter de casser les grains.
- **Temps de serrage** : Le temps de serrage des bourroirs est de l'ordre de la seconde et dépend de la fréquence des vibrations. Le serrage des bourroirs a pour but d'apporter sous la traverse le ballast nécessaire pour compenser le vide laissé par la filtration des éléments fins vers les sous-couches pendant la vibration et par le « relevage » et la correction des défauts. Des essais réalisés au milieu des années 1980 sur le temps de serrage, ont montré qu'il n'y a pas d'altération de la qualité du bourrage au-dessus d'une seconde. Mais il est alors recommandé d'effectuer deux plongées successives sur la même traverse.
- **Profondeur de plongée** : définie comme étant la différence de hauteur entre la surface inférieure des blochets et le bord supérieur du pied des bourroirs. Cette distance est comprise entre 15 mm et 20 mm. La force de pénétration dans le ballast dépend du poids du dispositif de bourrage. Les vitesses de pénétration peuvent aller jusqu'à 2 m/s.

- **Forme des bourroirs** : Suivant les constructeurs la forme varie très légèrement mais globalement elle garde la forme d'un T renversé. [4]

Tableau I. 1: Paramètres qui pilotent le bourrage

Paramètres	Plage de variation
Fréquence de vibration	35-45 Hz
Force de serrage	16-19 KN
Amplitude de vibration	5-10 mm
Temps de serrage	0.8-1 s
Distance de plongée	15-20 mm
Vitesse de plongée	1-2 m/s

I.5.3. Impact du bourrage sur le ballast :

Le Bourrage est une opération nécessaire pour rattraper la géométrie initiale de la voie mais il est non seulement étendu au zones qui n'ont pas besoin d'être ajustées donc peut ne pas être économique. De plus il endommage le ballast par la pénétration des pioches qui provoque une augmentation des particules fines par rupture des arêtes des grains ce qui mène à long terme à une dégradation du ballast et à une perte de ses performances.

C'est vrai que le bourrage puisse corriger la géométrie de la voie, mais le ballast vieillit et ne peut jamais récupérer la qualité qu'il avait lors de sa mise en place.

Un bourrage est efficace pour 40-70 millions de tonnes de passage, ce qui est équivalent à environ 5 années de trafic. En faisant plusieurs cycles de bourrages cet intervalle se raccourcis avec le nombre des opérations subis

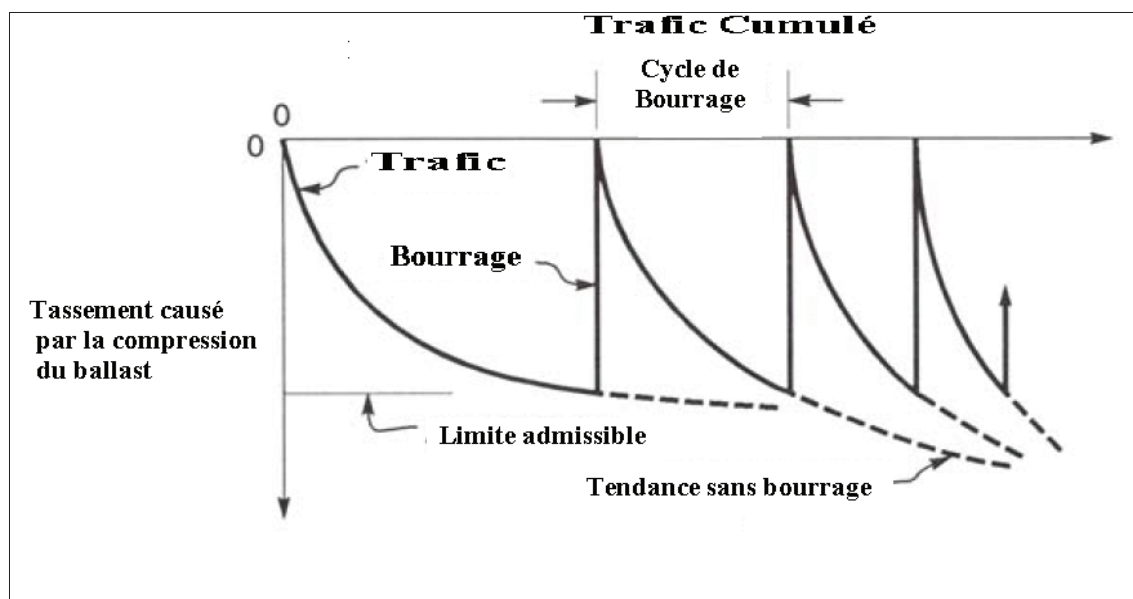


Figure I.10 : Cycles de bourrage en fonction du tassement de la voie avec le trafic cumulé (Selig and Waters 1994). [12]

La figure 10 nous montre que le cycle de bourrage diminue avec la cumulation de trafic a un certain point l'opération de bourrage ne sera plus rentable le ballast est dit vieux donc un renouvellement de la voie sera nécessaire. La durée de vie du ballast varie entre 200 et 500 millions de tonnes cumulées, soit 20 à 50 ans environ d'exploitation, selon la densité de trains sur la ligne selon (Lichtberger, B. 2005.Track Compendium). [5]

I.6. OPTIMISATION DE L'OPERATION DE BOURRAGE POUR UN MEILLEUR BALLAST :

On cherche à optimiser l'opération de bourrage on se basant sur les résultats des études et des essais concernant le comportement du ballast.

I.6.1. Essais réalisés :

- **Thèse de Fischer (1983) :** c'est une étude qui porte sur le déplacement vertical du ballast sous l'action de bourrage (vibration serrage) avec la variation de fréquence et d'amplitude de vibration. [6]

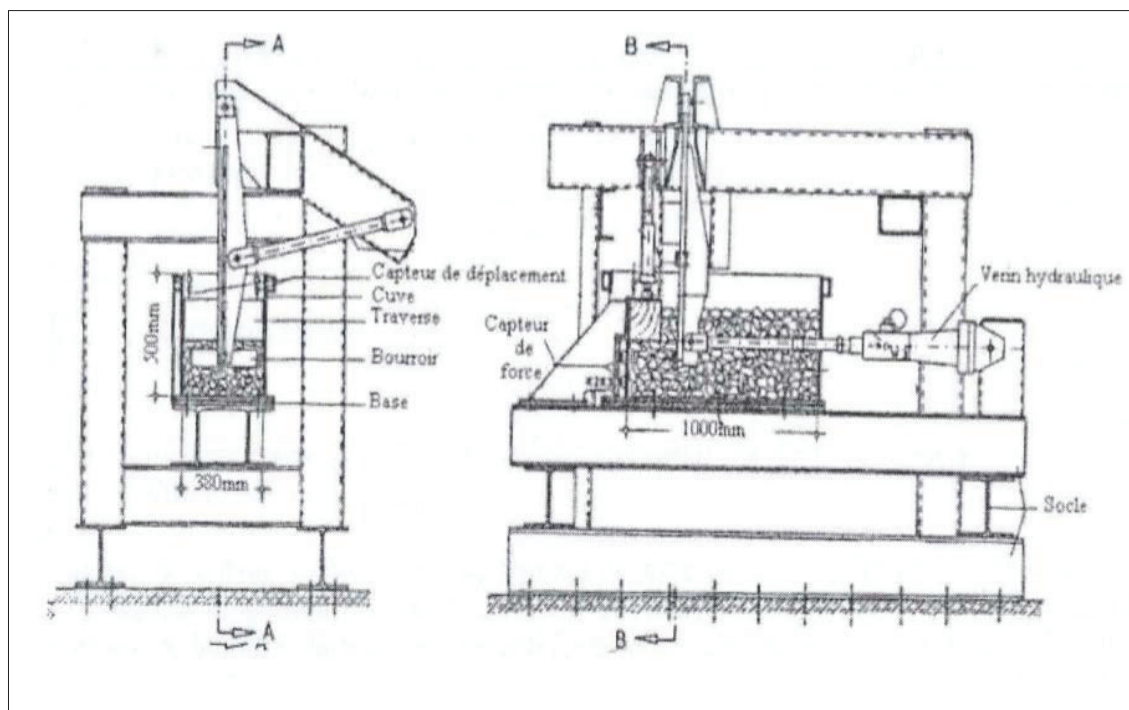


Figure I.11: Banc d'essai reproduisant le bourrage selon (Fisher 1983). [13]

On a trois bancs d'essais de ballast dimensions (1x038x0.25m) qui comprend aussi un bout de traverse et une pioche en profondeur, on va les tester sur 3 amplitudes de vibration 1,3et5 pour les deux pioches en augmentant la fréquence de vibration à chaque fois. Le ballast est renouvelé à chaque fréquence.

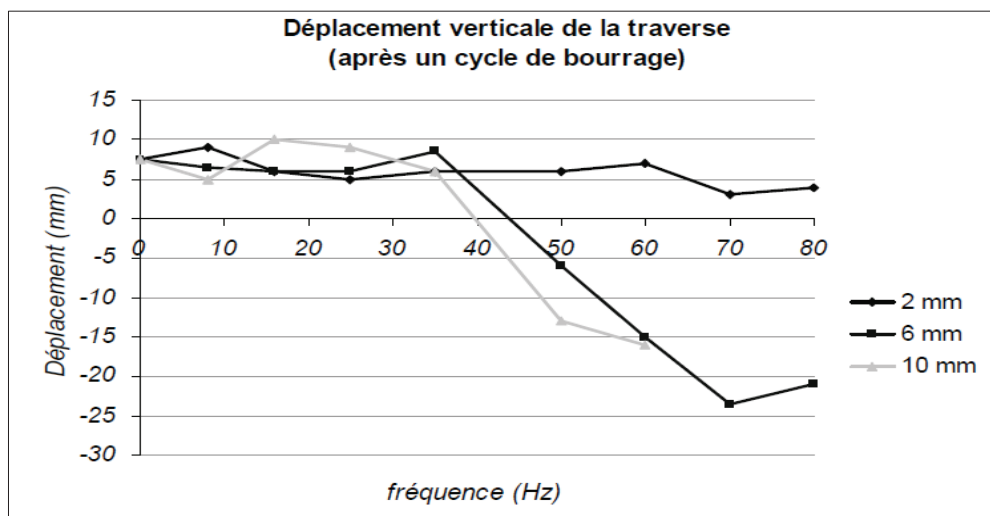


Figure I.12: Déplacement verticale des traverses après un cycle de bourrage (Fischer 1983). [13]

On peut classer le comportement du ballast en fonction de la fréquence de vibration appliquée :

- **Fréquences < 35 Hz** : le ballast se comporte comme un solide et son arrangement requiert l'action de grandes forces ;
- **Fréquences moyenne (35 à 50 Hz)** : le ballast est dans un régime visqueux, et l'action conjointe de la fréquence des vibrations et de la force du serrage permet un réarrangement contrôlé des grains.
- **Fréquence > 50 Hz** : la vibration engendre l'effondrement de la structure constituée de ballast. Les déplacements des grains ne sont plus maîtrisables, même pour des faibles forces: on assiste à une liquéfaction du ballast.

L'amplitude de la vibration accélère le passage de l'état solide à visqueux ou liquide. D'ailleurs, on peut observer qu'une amplitude de vibration de 2 mm inhibe le passage aux régimes visqueux et liquide pour les fréquences de travail, et le ballast reste en régime solide.

➤ **Essai BOUBA(LCPC) :**

Développé au LCPC, réalisé sur un Banc d'essai Bouba (Bourrage du Ballast).



Figure I.13: Banc d'essai bouba. [14]

Les vibrations sont appliquées sur une boîte délimitée par une paroi en plexiglas, Une plaque bourroir se déplace horizontalement avec une amplitude contrôlée, l'action de serrage et la vibration sont découplées afin de mieux maîtriser l'évolution du système, en particulier sous le blochet. Le banc d'essai ne reproduit pas la rentrée des bourroirs dans le ballast. La possibilité de visionner l'ensemble du phénomène grâce à la paroi en plexiglas a permis de définir deux critères de qualité de bourrage : un critère lié à la compacité des grains sous le blochet et un critère lié au nombre de grains en contacts sous le blochet. [7]

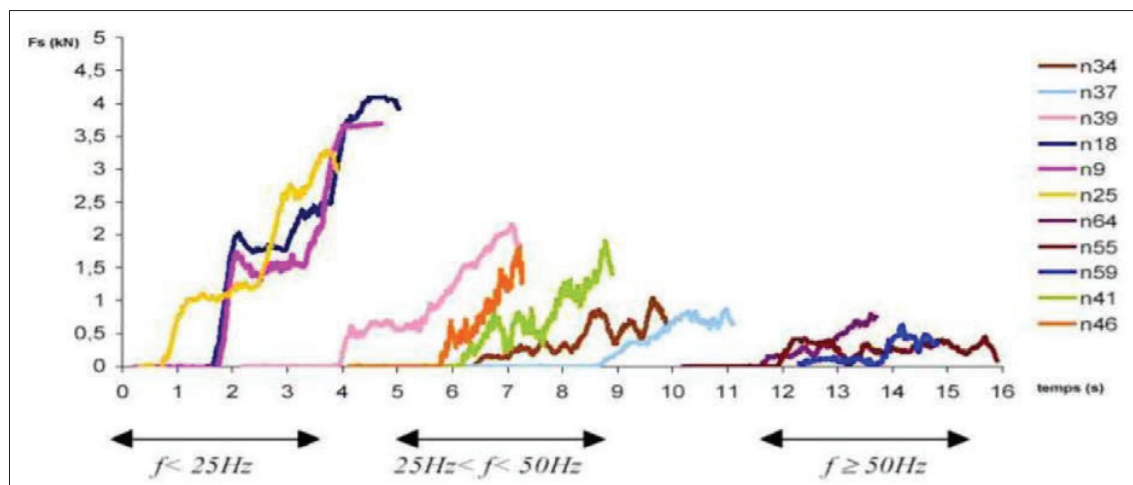


Figure I.14:Influence des fréquences de bourrage sur la force nécessaire pour obtenir un bourrage optimal. [14]

Le ballast peut suivre trois comportements :

- **Un comportement solide** : pour les fréquences inférieures à 25 Hz, les grains sont soumis essentiellement aux forces de serrage.
- **Un comportement viscoélastique** : pour les moyennes fréquences (inférieures à 50Hz) où les efforts de serrage et les vibrations se combinent pour obtenir un bourrage efficace.
- **Un comportement liquide** : pour les hautes fréquences (supérieures à 50 Hz) où les vibrations entraînent une forte diminution de la résistance des grains de ballast à l'avancée du bourroir. Les simulations numériques permettent de retrouver qualitativement les observations faites lors de l'expérimentation.

I.6.2. Synthèses :

De nombreuses études ont été réalisées pour mieux comprendre le comportement du ballast soumis à vibration. Le bourrage a été considéré pendant longtemps comme un processus empirique basé sur des retours d'expérience.

Un bourrage optimal se fait en appliquant des fréquences entre 25 et 50 Hz. En bénéficiant du comportement viscoélastique du ballast dans cet intervalle, l'action conjointe de la fréquence des vibrations et de la force du serrage permet un réarrangement contrôlé des grains. Le bourrage dans des conditions de vibration inférieures à 25 Hz nécessite des grandes forces de serrage à cause de comportement solide du ballast. Dans des conditions de vibration supérieure à 50 Hz le ballast s'écoule sous l'action des faibles forces de serrage on dit que le ballast se liquéfie à cause du comportement liquide dans cet intervalle.

I.7. GESTION OPTIMISEE DU BALLAST EN FIN DE VIE:

La conservation de l'environnement et la remise en état des sites est un engagement que les entreprises doivent honorer par la gestion ou le recyclage de leurs déchets. Dans le domaine ferroviaire la gestion du ballast est une opération délicate depuis sa mise en place, son entretien, et son changement. 30 à 50% du ballast peut être réutilisé sur la voie après criblage sur place. Les particules non retenues sont évacuées pour être réemployées dans les travaux routiers surtout. [8]

I.8. NETTOYAGE ET RENOUVELLEMENT DE BALLAST:

Le nettoyage et le renouvellement du ballast est un processus long et coûteux qui est également très perturbant pour le trafic de train. Ainsi, la nécessité de ce processus doit être considérée soigneusement. En gros, le nettoyage et le renouvellement du ballast sont nécessaires lorsque le ballast devient tellement encrassé qu'il ne peut pas remplir ses fonctions.

Lors du nettoyage du ballast, il faut faire attention à ne pas enlever ou endommager les couches de sous-ballast existante. Il faut également veiller à ce que la largeur et l'inclinaison de la surface coupée sont tels que l'eau accumulée dans le ballast nettoyé est capable de s'écouler librement.

L'avantage économique du nettoyage et du renouvellement du ballast ne se produira que si le système de drainage fonctionne également. Ainsi, un programme de nettoyage et de renouvellement du ballast devrait également permettre l'installation ou la réparation du système de drainage. C'est aussi souhaitable évaluer les causes de l'encrassement du ballast et envisager de prendre des mesures pour les corriger.

I.9.CONCLUSION :

Le ballast est une partie importante de l'entretien des voies. C'est aussi une partie récurrente, et est donc conçu pour être maintenue. De plus, le ballast est la seule partie de l'Infrastructure facile à entretenir. Pour limiter les coûts d'entretien et la perturbation du trafic, l'entretien du ballast doit être minimisé.

Le passage cumulé de trafic mène à un tassement de la couche du ballast donc à des défauts géométriques pour la voie une opération de bourrage est donc nécessaire pour les corrections de géométrie. Cependant, le bourrage ne devrait être fait que lorsqu'il est nécessaire pour minimiser les dommages au ballast.

Les propriétés du ballast changent avec l'action de plusieurs cycles de ballast il devient de plus en plus encrassé, plus facile à tasser Les causes de l'encrassement doivent être bien comprises afin de réduire le taux de détérioration des performances du ballast.

La réduction du taux de détérioration suite au bourrage nécessite une optimisation de cette opération Un bourrage optimal se fait en appliquant des fréquences entre 25 et 50 Hz. En bénéficiant du comportement viscoélastique du ballast dans cet intervalle, l'action conjointe de la fréquence des vibrations et de la force du serrage permet un réarrangement contrôlé des grains.

Même avec une optimisation pareille du bourrage le ballast se dégrade avec plusieurs cycles de l'opération. Un renouvellement du ballast est donc nécessaire. Un taux de 30 à 50% des matériaux peut rester intact, le taux restant sera renouvelé par un nouveau ballast est utilisé dans d'autre travaux.

LA BIBLIOGRAPHIE :

- [1] .www.futura-sciences.com .
- [2], [3].Mémoire de doctorat de Chiara PADERNO EPFL sur Comportement du ballast sous l'action du bourrage et du trafic ferroviaire.
- [4].Mémoire de Emilien Azéma.Etude numérique de milieux granulaires à grains polyédriques : rhéologie quasistatique,dynamique vibratoire et application au procédé de bourrage du ballast.. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2007.
- [5].E.T. and Waters, J.M., Track Geotechnology and Substructure. Lichtberger, B. 2005.
- [6].Fischer, J. (1983). "Einfluss von Frequenz und Amplitude auf die Stabilisierung von Oberbauschotter," PhD, TU, Graz.
- [7]. X. Oviedo. Etude du comportement du ballast par un modèle micromécanique. PhD thesis, LCPC, 2001(essai de Bouba).
- [8].Track Substructure Maintenance--From Theory to PracticebyErnest T.Selig, P.h.D., P.E.
- [8]. <http://www.cotita.fr>.
- Figure 1(alamy.com). [9]
- Figures 3,4(EN 13450). [10]
- Figures 6,7(/www.plassertheurer.com).[11]
- Figure 10 (Selig and Waters 1994). [12]
- Figures 11,12 (Fisher 1983). [13]
- Figures 13,14(LCPC). [14]

CHAPITRE II :

CHEMINS DE FER EN

ALGERIE

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. AVANTAGES DE CHEMIN DE FER.**
- 3. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN.**
- 4. LE PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES
FERROVIAIRES.**
- 5. CONCLUSION.**

II.1. INTRODUCTION :

Le transport est un service nécessaire pour de nombreuses activités de la vie courante c'est un élément important dans le développement d'un pays donc l'être humain a toujours chercher de le développer il est même devenue de plus en plus sa préoccupation majeure, il essaie toujours d'exploiter la totalité de l'espace par le transport routier, chemins de fer, transport aérien et maritimes.

Le chemin de fer est une invention spectaculaire qui se présente dans la civilisation humaine depuis la révolution industrielle en l'Europe dans le IX^{ème} siècle. Il englobe le métro, le tramway et la voie ferrée. En Algérie le transport ferroviaire a fait ses débuts à la fin du XIX^e durant la colonisation française de l'Algérie.

II.2. AVANTAGES DE CHEMIN DE FER :

Le chemin de fer présente plusieurs avantages par rapport aux autres moyens de transport on peut citer :

- Possibilité de remorquer des charges élevées car le contact métal sur métal limite à une faible valeur la résistance au roulement.
- Rapidité et sécurité vis-à-vis des accidents car le dépassement est impossible, absence des obstacles.
- Un débit supérieur à celui d'une autoroute à 4 voies.
- Coût de transport réduit par rapport au transport routier.
- Transport Non ou peu polluant.

II.3. LE RESEAU FERROVIAIRE ALGERIEN :

II.3.1. Étapes de développement:

En Algérie le chemin de fer a passé par différentes étapes de développement :

- En 1857 c'était prévu la réalisation de 1357 km de chemins de fer ce projet a été réalisé par six compagnies.
- En 1879 renforcer les lignes de chemins de fer existantes avec plus de 1700 km Ce projet a été confié à des investisseurs privés et des collectivités locales.
- En 1959, création de la compagnie des chemins de fer Français en Algérie (CCFA) qui devint en 1963 la Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNCF).
- En 1976, l'état algérien a divisé la SNCF en trois organismes distincts : La SNTF, ANESRIF et la SIF.
- En 1999, le linéaire en voies ferrées existant ne dépassait pas les 1800 km. Donc ils ont lancé beaucoup de projet comme la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbés vers Béchar, donc le total de linéaire obtenu après à la réception de ce projet est de 6.000km.
- En 2005, l'ANESRIF est créée pour gérer un nouveau programme pour développer le réseau à 12 500 km en 2025.

- En 2010, 315 km de nouvelles voies sont ouvertes (Bordj Bou Arreridj à M'Sila, Ain Touta à M'Sila, nouvelle ligne de Béchar), les lignes de banlieue d'Alger ont été électrifiées.
- En 2011, il s'est hissé au niveau de 4000 km après l'achèvement de certains projets, dont la pénétrante de l'ouest qui va du Sud de Sidi Bel Abbés vers Béchar.
- En 2015 sur un programme de 2 300 km de nouvelles lignes, 1 324 km sont en travaux dont la majeure partie concerne la partie ouest de la boucle des hauts plateaux.

II.3.2. Réseau actuel en Algérie :

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 dont [1]:

- 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 45^{ème} sur 134 pays au monde et occupe la 6^{ème} place au niveau africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays Maghrébins. [2]

II.4. 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.4.1. 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.4.2. 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'étend sur 1160 Km qui desservent 10 Wilayas qui représentent environ 7 millions d'habitant (approximativement 20 % de la population globale).

II.4.3. Ligne Minière :

- Etude de la nouvelle ligne ferroviaire entre Djebel El Onk et El Oued : 200 km.
- Etude de Dédoublage, 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 –Boucheouf, Souk Ahras-Oued Kébrit, Oued Kébrit – Ouenza, Ain Chenia-Boukhara : 131 km.
- Lancement des travaux de Dédoublage, Modernisation et/ou rectification du tracé pour augmenter le trafic de la ligne minière EST de 388 km (Annaba /Djebel-Onk).

II.4.4. Pénétrante Ouest :

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

II.4.5. 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.4.6. Pénétrante Centre :

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

II.4.7. Boucle Sud Est :

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

II.4.8. 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.

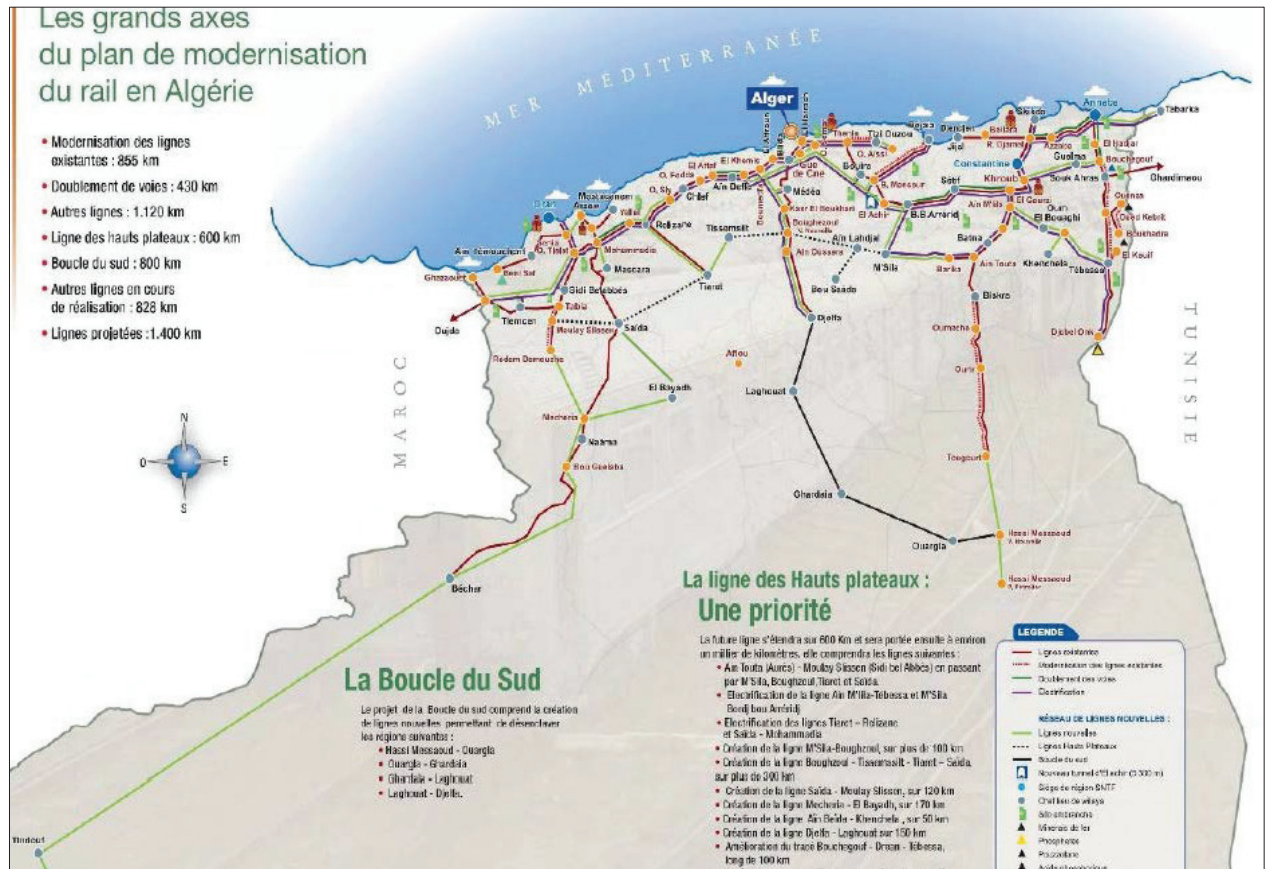


Figure II. 1: Plan de développement des chemins de fer en Algérie. [1]

II.5. CONCLUSION :

Un grand pays d'une superficie énorme comme l'Algérie doit avoir un réseau densifié de chemins de fer malheureusement ce n'est pas le cas, donc l'amélioration de ce secteur est plus que nécessaire pour les investissements et l'augmentation des échanges entre les différentes régions du pays.

CHAPITRE III :

PRESENTATION

DU PROJET

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. CONTEXTE GÉNÉRAL.**
- 3. DÉFINITION DU PROJET DE FIN D'ETUDES.**
- 4. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.**
- 5. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC.**
- 6. CARCTÉRISTIQUES DE BASE DU PROJET.**
- 7. CONLUSION.**

III.1. INTRODUCTION :

Dans le cadre du Schéma Directeur National des Infrastructures Ferroviaires inscrit au plan quinquennal de l'année 2014, l'état prévoit la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire « **EL AFFROUN – port centre Cherchell (TIPAZA)**.» Dans un linéaire de 40 km.

L'Agence Nationale d'Etude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires **ANESRIF** «maitre d'ouvrage délégué» est chargée de la gestion de la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire.

Cette ligne ferroviaire permettra l'extension, le maillage et l'interconnexion des nouvelles lignes avec les lignes existantes, dans le but d'assurer les transports ferroviaires voyageurs et Marchandises, en conformités des exigences générales des autorités à savoir :

- L'un des objectifs recherché est d'augmenter les fréquences et la vitesse commerciale des trains, le réseau ferré doit faire face à un trafic relativement important sur l'artère Est – Ouest.
- La projection d'une bonne infrastructure de communication et en concertation avec les autorités locales, contribue au développement du transport ferroviaire de la région.
- Augmenter la sécurité en évitant les sinuosités.
- Diminution du temps de parcours.
- Construction d'une nouvelle ligne à double voie électrifiée.
- Améliorer les conditions d'exploitation avec un relèvement significatif de la vitesse.
- Amélioration des performances du chemin de fer.
- Offrir un transport ferroviaire plus compétitif.
- Conservation de la nature et de l'environnement.
- Création des postes d'emplois permanents et temporaires.

III.2. CONTEXTE GÉNÉRAL :

Le projet concerne les travaux de réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire entre les gares ferroviaires d'El affroun (Blida) – port centre (Tipaza) dans un linéaire de 40 km, qui servira aux transports mixtes (voyageurs et marchandises) avec une vitesse de référence de 160 Km/h pour le trafic voyageurs et 80 Km/h pour le trafic marchandise.

Les quarante (40) Km de projet sont répartis sur les wilayas comme suit :

- Blida : 01% (0.4 Km).
- Tipaza : 99%(39.6 Km).

La nouvelle ligne ferroviaire comporte :

- Origine : Gare existante d'Affroun.
- Fin : Nouveau Port Centre (au niveau de la plage d'El Hamdania).
- Gares: six (06) gares (El affroun, Hmer el ain, bourkika, hadjout et Nouveau Port centre (localité de Cherchell)).
- Ouvrages ferroviaires : 12.
- Ouvrages routiers : 18.
- Viaduc : 03 U (400ml).

- Tunnel (tranchée couverte) : 1U (650 ml)

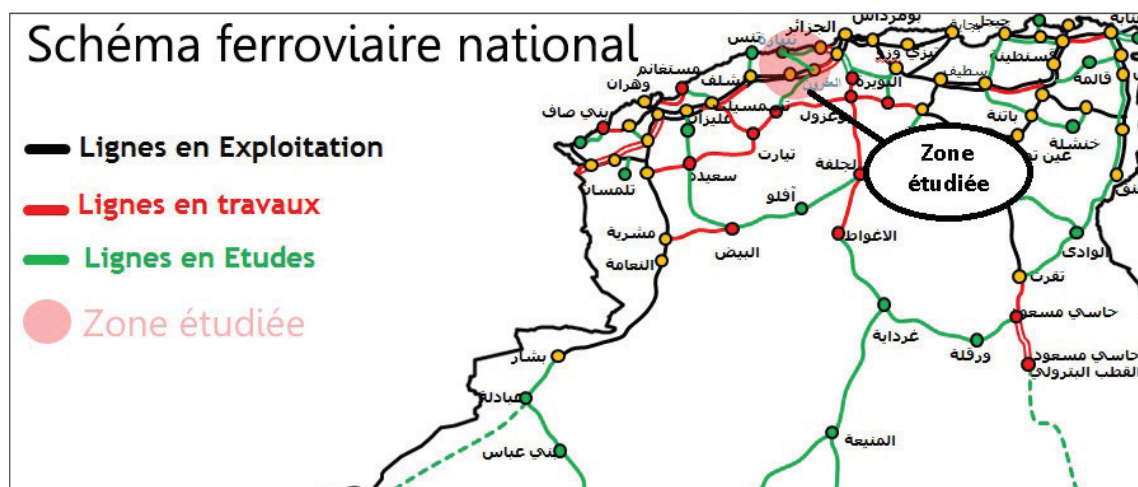


Figure III.1: Plan de localisation du projet

III .3. DÉFINITION DU PROJET DE FIN D'ETUDES :

Le projet de fin d'études portera sur l'étude d'un tronçon de dix (10) km de la nouvelle ligne **EL AFFROUN (Blida) – port centre Cherchell (TIPAZA)**. Ce tronçon dont le tracé est à double voie normale (écartement $e=1435\text{mm}$), prend son origine avant la gare Hadjout au PK 19+000 et il se termine au PK 29+000. Aussi il est prévu l'aménagement de la gare **Hadjout(TIPAZA)**.

Notre projet actuel porte sur une étude en phase Avant-projet détaillé (APD).Le couloir du tracé étant déjà validé par le maître d'ouvrage en phase APS. La largeur moyenne du couloir est de cinquante (50) m qui doit contenir le tracé en phase APD.

III.4. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Notre tronçon est situé dans la wilaya de Tipaza donc voici une brève présentation de cette zone.

III.4.1. La wilaya de Tipaza :

La wilaya de Tipaza est située sur le littoral Nord-centre du pays, s'étend sur 123 Km. Sa superficie totale est de 1 708 Km². Elle est limitée par :

- La mer méditerranée au Nord.
- La wilaya de Blida au Sud-est.
- La wilaya d'Ain-Defla au Sud-ouest.
- La wilaya de Chlef à l'ouest.
- La wilaya d'Alger à l'Est.

III.4.2. Caractéristique de relief traversé:

Les trois (3) km premiers du projet traverse la plaine de Métidja, c'est des terrains plats à caractère agricole basés sur des cultures céréalières, maraichère et fourragères, reboisement fruitiers passage d'un oued à proximité des terrains plats avec des serres agricoles et des

parcelles irriguées .après les trois (3) km le projet traverse une petite partie montagneuse de 200 m puis il continue sur des terrain plats agricoles sur 1 km de plus .

De Nador vers la fin du tronçon sur cinq (5) km, le relief est plus au moins vallonné avec des terrains agricoles, reboisements fruitiers et des serres agricoles.

III.4.3. Climat de la région :

La zone d'étude appartient à la zone climatique A (caractérisée par un climat tempéré Subhumide), la région d'étude a enregistré une lame d'eau moyenne mesurée d'environ 600 mm, La période pluvieuse s'étale du mois de Novembre au mois de Mars, les mois de et Décembre étant le plus pluvieux.

Pluviométrie moyenne annuelle de 623 mm.

Tableau III.1.:Précipitations moyennes annuelles (période 1978- 2016).

Année	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Moy
P (mm)	771	783	496	519	492	611	865	870	663	504	656	351	672	
Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
P (mm)	755	482	384	649	748	421	755	596	477	474	434	613	570	
Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
P (mm)	683	646	559	748	632	687	753	787	524	624	573	649	650	

III.4.4. Sismicité de la zone :

D'après le règlement parasismique algérien des ouvrages d'art (RPOA-2008) notre région d'étude appartient à la zone III, caractérisée par une sismicité très élevée.

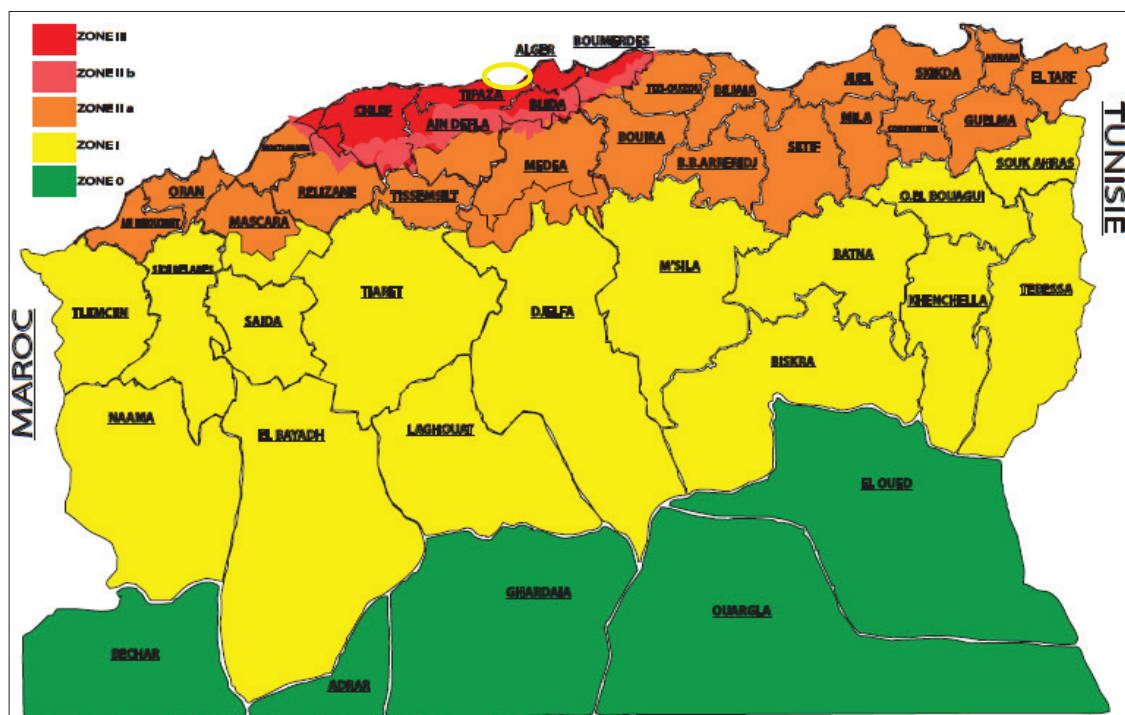


Figure III. 2 : Carte de zonage sismique d'Algérie (RPOA 2008).[3]

III .5. CHOIX DE CATÉGORIE DE TRAFIC :

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

Tableau III.2 : Catégories de trafic UIC (703 R) [4]

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

III. 6. CARCTÉRISTIQUES DE BASE DU PROJET :

- Paramètres de tracé suivant les normes UIC.
- Trafic mixte (marchandise et voyageur).
- Ligne à double voie (DV) de 10 km.
- Nombre de gares : 1 (gare el hadjout).
- Vitesse Train Voyageur : 160 km/h.
- Vitesse Train Marchandise : 80 km/h.
- Voie équipée de rails UIC 60 posés sur traverses en béton armé (bi-blocs).
- Écartement standard (1435 mm).
- Mode de traction: diesel / électrique.
- Signalisation de type ERTMS (European Rail Traffic Management System).
- Télétransmissions de type GSM-R (Global System for Mobile communication Railways) et fibre optique.
- 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 :

Ce projet a pour but de répondre aux objectifs économiques et aux besoins sociaux de la région, de régler le problème de transport entre EL Hadjout et le port centre de Cherchell à la fois des personnes et de marchandise, aussi de diminuer le temps du parcours pour permettre aux voyageurs de gagner du temps de déplacement tout en respectant les exigences environnementales.

CHAPITRE IV :

SUPERSTRUCTURE

DE LA VOIE

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE.**
- 3. ASSEMBLAGE DES CONSTITUANTS.**
- 4. CONCLUSION.**

IV.1. INTRODUCTION :

Une voie ferrée est constituée par un assemblage d'éléments de caractéristiques physiques et mécaniques différentes qui permettant la transmission à la plate-forme, les charges statiques et dynamiques des roues. Pour pouvoir supporter les efforts verticaux, transversaux et longitudinaux, la voie comporte deux rails dont l'inclinaison et l'écartement sont maintenus par des traverses qui sont, elles-mêmes, disposées le long de la voie et reposées sur une couche de ballast.

IV.2. LES CONSTITUANTS DE LA VOIE FERRÉE :

La voie ferroviaire est constitué de : plateforme, sous couche, ballast, traverses, les semelles et les rails plus les accessoires d'attache et de fixation.

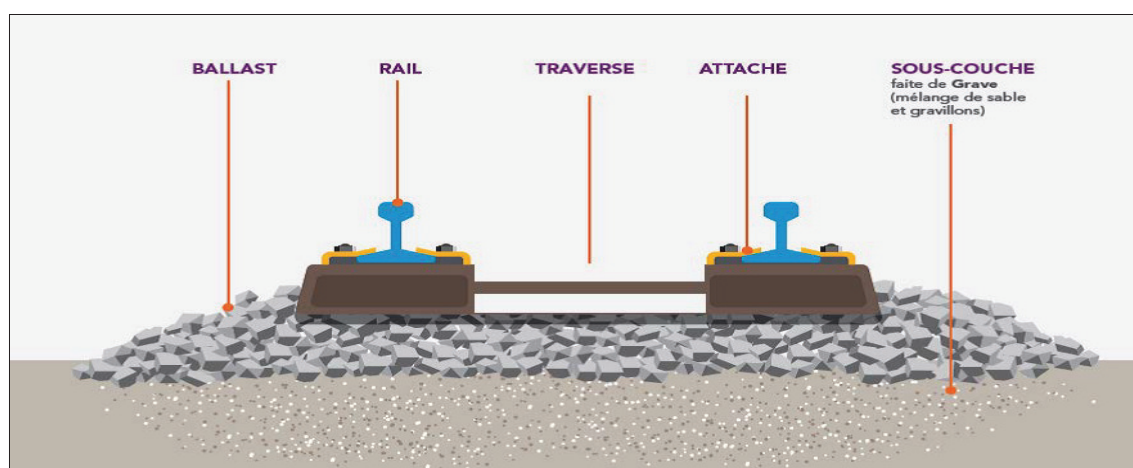


Figure IV.1: Les constituants de la voie ferrée

IV.2.1. Le rail :

Le rail est une longue barre d'acier profilée, qui est mise bout à bout pour former un chemin de fer. C'est le premier élément de contact entre le véhicule et la voie, il sert à la fois de guide et de support de roulement pour les trains:

- Le guidage des roues afin d'éviter le déraillement des matériels roulants.
- La transmission et la redistribution des charges verticale des roues aux traverses.

IV.2.1.1. Type des rails :

➤ Le rail Vignole :

Composé de 3 parties :

- ✓ Le PATIN : permettant l'appui sur la traverse.
- ✓ L'AME : assurant l'inertie verticale pour supporter la charge.
- ✓ Le CHAMPIGNON : à forte inertie transversale comprenant la table de roulement et les joues.

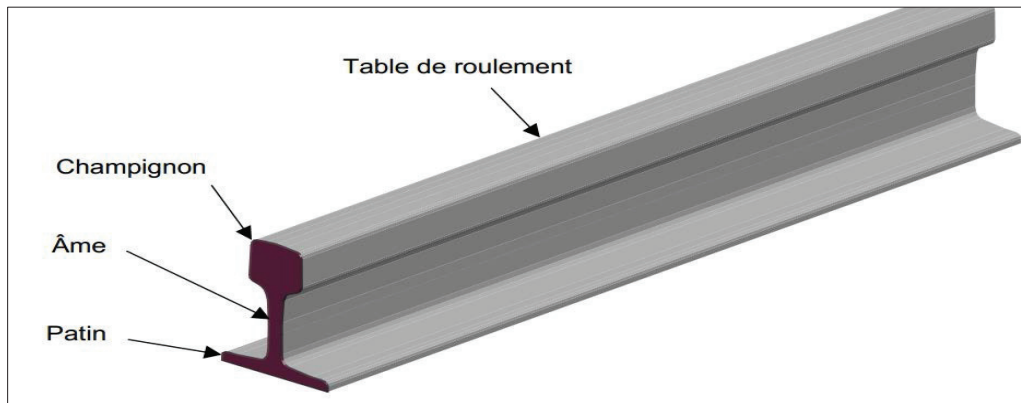


Figure IV. 2 : Le rail Vignole (UIC 60).

➤ **Rail à gorge :**

Ces rails sont utilisés pour les voies encastrées dans les chaussées routières, notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

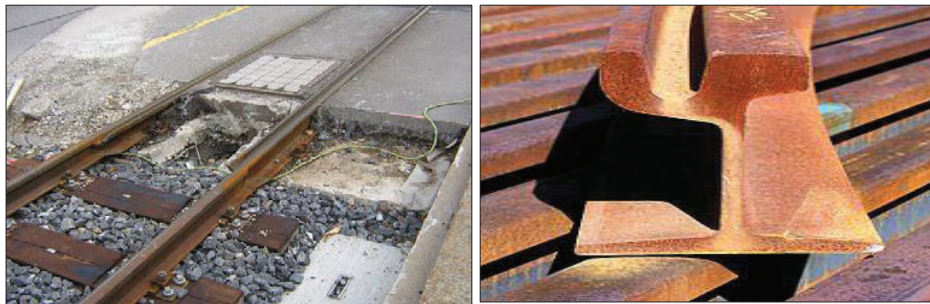


Figure IV. 3: Rail à gorge.

➤ **Rail à double champignon :**

Le rail à double champignon symétrique avait été conçu pour permettre de retourner le rail usé et donc de doubler sa durée de vie. Le défaut de ce système était que le rail était retourné, il était déjà abimé (poinçonnements dû à l'écrasement au niveau des berceaux). Ce principe a été abandonné de nos jours.



Figure IV. 4: Rail à double champignon

Le type de rail utilisé dans le projet entre « EL AFFROUN – Port Centre » est de type Vignole **UIC 60 E1**.

IV.2.1.2. Caractéristiques géométriques du rail UIC 60 :

- Surface de la section : 76.70 cm².
- Masse par mètre : 60.21 Kg/m.
- Moment d'inertie, axe xx : 3038.3 cm⁴.
- Module d'inertie champignon : 333.6 cm³
- Module d'inertie patin : 375.5 cm³
- Moment d'inertie axe yy : 375.5 cm⁴.
- Module d'inertie axe yy : 512.3 cm³.
- Hauteur totale : 172 mm.
- Épaisseur Champignon : 72 mm
- Épaisseur patin : 150 mm.
- Épaisseur âme : 16.5 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 $\geq 10\%$.

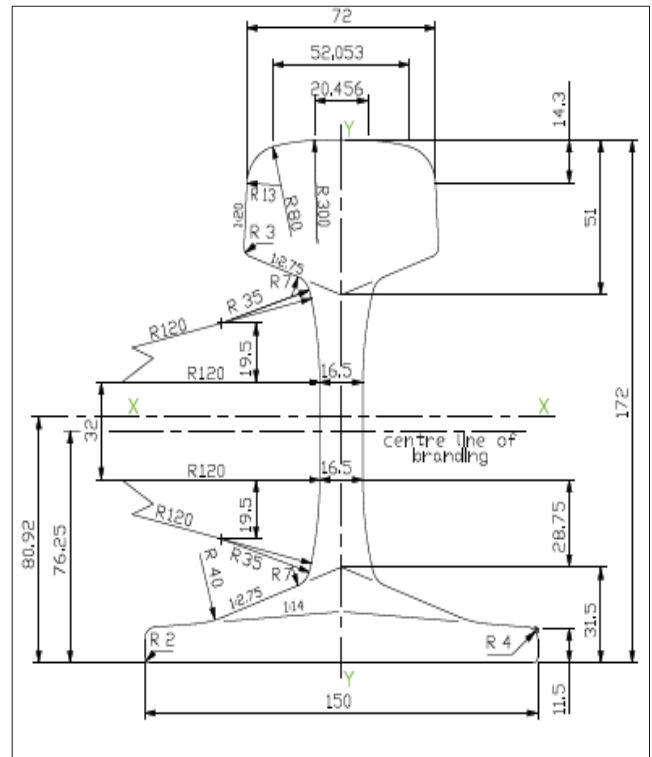


Figure IV. 5: Section du rail Vignole 60E1 [5].[15]

IV.2.1.3. L'écartement des rails :

L'écartement des rails c'est la distance qui sépare les flancs internes des deux files de rail d'une voie ferrée, l'écartement standard est de 1435 mm, définissant la voie (Normale). Il est mesuré entre les deux joues internes du champignon de rail : e Avec (e = 1435mm).

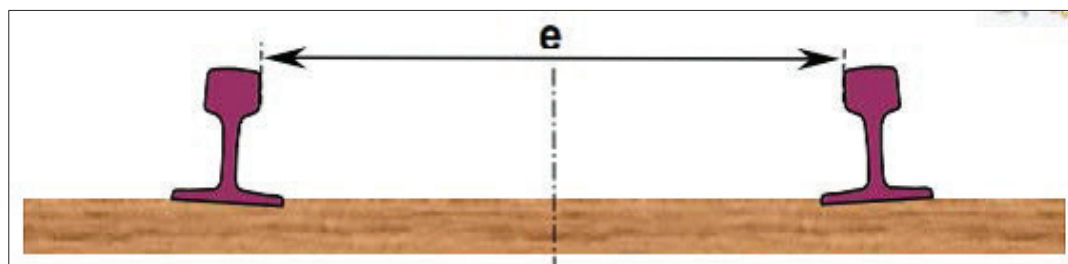


Figure IV. 2 : Écartement de la voie

IV.2.1.4. Assemblage des rails :

Il existe deux types d'assemblages : l'éclissage et soudure.

➤ **L'éclissage :**

C'est l'assemblage de deux rails consécutifs à l'aide de deux éclisses. L'éclissage doit satisfaire aux conditions suivantes:

- Relier les rails de façon de se comporter comme une poutre continue.
- Avoir la même qualité d'acier que le rail.
- empêcher les mouvements verticaux des extrémités des rails l'une par rapport à l'autre.

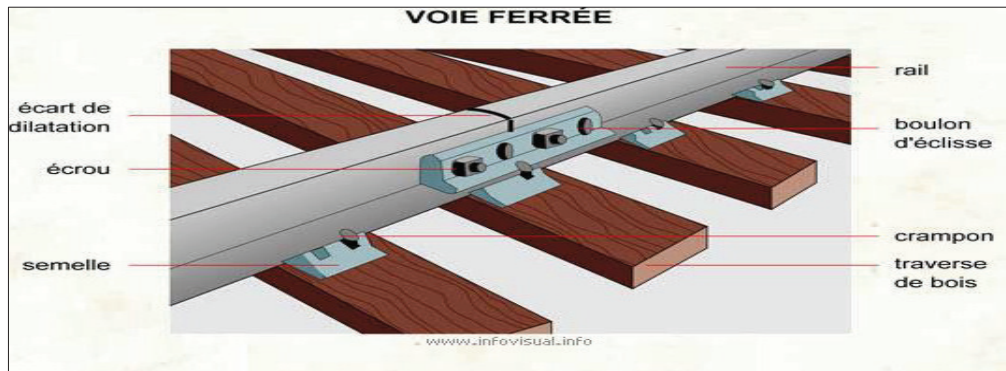


Figure IV. 3 : Eclissage des rails.[5]

➤ Soudures ou Les longs rails soudés (LRS) :

Appelée aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, Ces barres longues sont posées et soudées entre elles sur place par soudure aluminothermique ou soudure électrique.

Les grands avantages de cette méthode sont :

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



Figure IV. 4:Long rail soudé (LRS).

IV.2.2.Les traverses :

Les traverses sont le système sur lequel repose les deux files de rail (la voie), elles assurent la transmission des efforts encaissés par les rails au ballast, et assurent au même temps le maintien de l'écartement entre les deux rails. Le nombre de traverses utilisées par Kilomètre

(travelage) est généralement **1666 à 1700 traverses/Km à la SNTF**, on distingue quatre(4) types de traverse :

- **Traverses en bois** : 1ère génération des traverses, elles sont généralement en chêne, en bois exotique dur, elles sont presque inutilisées aujourd'hui
- **Traverses métallique** : les traverses en acier sont des produits industriels, elles sont constituées d'un laminé en forme de U renversé, elles s'enfoncent dans le ballast pour qu'elles s'opposent aux déplacements transversaux de la voie. Elles sont légères (environ 80 Kg) et facile à poser.
- **Traverses en béton bi-bloc** : elle est constituée de deux blochet séparés par une barre métallique.
- **Traverses en béton monobloc** : en béton précontraint.

Pour notre projet : Le type de traverse utilisé est les traverses bi-bloc en béton armé de type VAX U31.

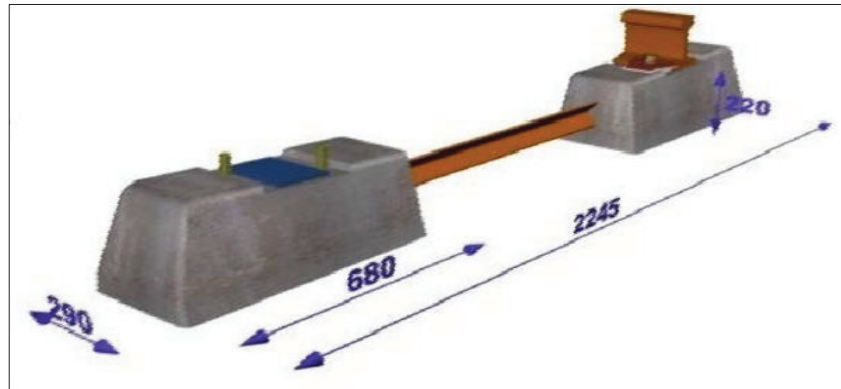


Figure IV. 5 : Traverse bi-bloc en béton armé.[15]

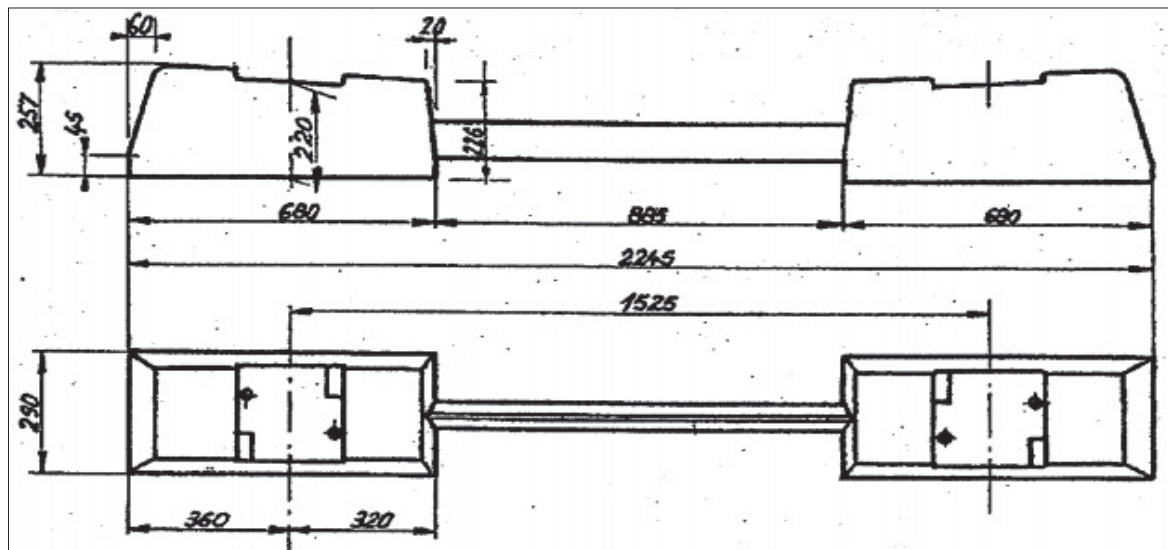


Figure IV. 6 : les dimensions de traverses V.A.X TYPE U31 NAT. [5]

IV.2.3. Les semelles :

C'est un dispositif intermédiaire posé entre le rail et la traverse, elle joue un rôle très important dans la transmission des charges à la traverse, la stabilité de rail et l'absorption des ondes vibratoires mécaniques et acoustiques (joue le rôle d'un amortisseur). Elles sont en général en élastomère de petite taille environ 9 mm d'épaisseur.

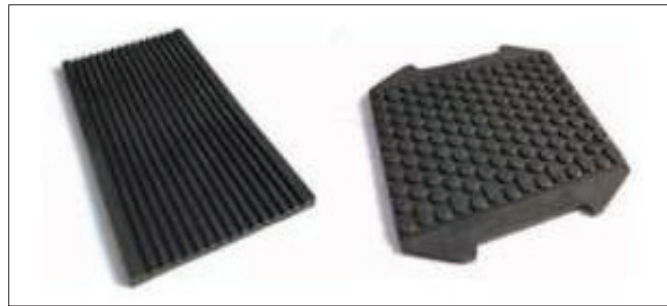


Figure IV. 7 : Semelles en élastomère.

IV.2.4. Les attaches :

Une attache est un appareil constitué d'un crapaud qui est maintenu par un écrou accroché dans la traverse, elle sert à fixer le rail sur cette traverse pour l'empêcher de tout déplacement, il existe plusieurs types d'attaches suivant la nature de la traverse :



Figure IV. 8 : les Types des attaches.

Les attaches utilisées dans le projet sont de type NABLA



Figure IV. 9 : Les Attaches NABLA Utilisées Dans Notre Projet.

III.3. ASSEMBLAGE DES CONSTITUANTS:

Voici la figure schématisant les différents constituants de la voie ferrée :

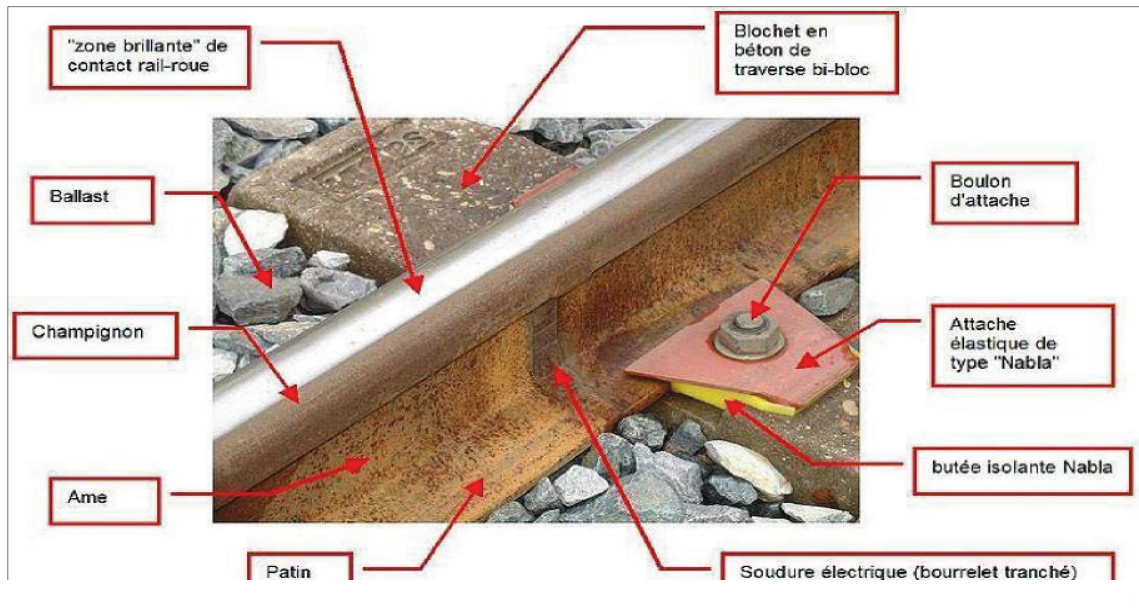


Figure IV. 10:Assemblage des constituants

IV.4. CONCLUSION :

Le choix des différents constituants de la voie à un enjeu considérable sur l'aspect économique du projet, donc il est primordial de faire le meilleur choix pour arriver au coup le plus économique possible en assurant un bon comportement de la future voie.

CHAPITRE V :

TRACÉ EN PLAN

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACE EN PLAN.**
- 3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN.**
- 4. CONDITIONS DE RACCORDEMENT.**
- 5. PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ.**
- 6. APPLICATION AU PROJET.**
- 7. CALCUL DE L'AXE EN PLAN.**
- 8. DESCRIPTION DU TRACÉ ET LES CONTRAINTES RENCONTREES.**

V.1. INTRODUCTION :

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

En chemin de fer le tracé en plan est caractérisé par deux vitesses :

- Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs),
- VL : vitesse des trains lents (marchandises).

V.2. CONDITIONS ET RÉGLES A RESPECTER DANS LE TRACÉ EN PLAN :

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

- Essayer d'utiliser le maximum d'alignements.
- Le respect du couloir validé en APS.
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les terrassements.
- Eviter les problèmes de talus :
 - En déblai: Présence de nappe, Terrains plastiques, Présence de roches fissurées.
 - En remblai: Présence de terrain instable, sol très compressible.

V.3. LES ÉLÉMENTS DU TRACÉ EN PLAN:

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques : une droite, un arc de cercle et une courbe de raccordement.

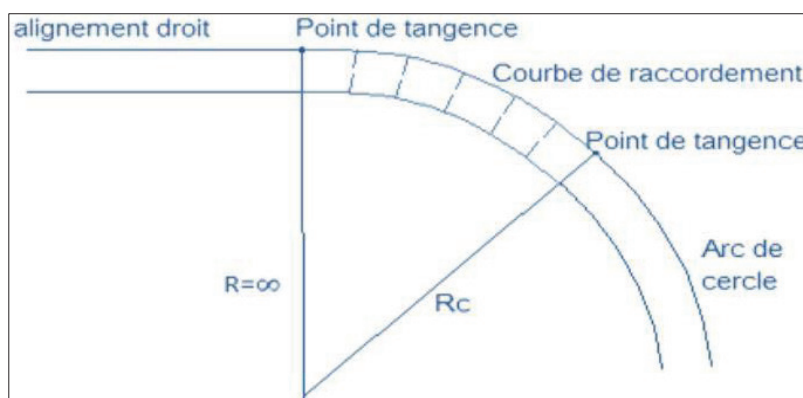


Figure V. 1 : Les éléments du tracé en plan.

V.3.1. Alignement :

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation, il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique, et cela pour le confort et la sécurité qu'il offre aux usagers.

Dans la pratique il est nécessaire de ne pas dépasser des limites au-delà de l'alignement minimal recommandé par les normes :

Tableau V. 1: Valeur minimale de l'alignement recommandé par l'UIC (fiche 703 R).[4].[6]

Valeur limite normale (m)	V/2=80 m
Valeur limite exceptionnelle(m)	V/3= 53.3 m

V.3.2. L'arc de cercle :

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au raccordement circulaire. Vu le poids important, donc pour la diminuer, le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.

V.3.3. La courbe de raccordement :

C'est un élément géométrique qui assure le raccordement entre l'alignement et l'arc de cercle, dont la courbure varie progressivement d'un rayon $R=\infty$ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. Il y a plusieurs types de courbes de raccordement mais la plus utilisée est la clothoïde (parabole cubique), On utilise ce type de raccordement afin de :

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

V.4. CONDITIONS DE RACCORDEMENT:

V.4.1. 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.

V.4.2. Condition du confort dynamique : C'est pour que la progression du dévers et de la courbure assure la stabilité et le confort dynamique.

V.5. PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUE DU TRACÉ :

V.5.1. Rayon minimum de l'alignement circulaire (R_{min}) :

La valeur du rayon minimum admissible est un paramètre qui dépend de la vitesse du projet, il est limité pour assurer, le confort des voyageurs et éviter que les efforts transversaux sur la voie ne soient pas trop importants.

Le rayon de courbe minimum pouvant être circulé à la vitesse maximale d'exploitation, déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$11.8 \times \frac{V_{max}^2}{D+I} \leq R_{min} \leq 11.8 \times \frac{V_{max}^2}{D-E}$$

V.5.2. Le dévers :

Le franchissement des courbes sans risque de déraillement du train et sans risque de dommage de la voie et création des bavures au niveau des rails causées par l'accélération latérale, ce qui fait pour diminuer l'effet de cette dernière on amène à un soulèvement d'un fil de rail par rapport à l'autre, bien évidemment le rail soulevé est celui de grand rayon de sorte que on crée une différence de niveau appelé 'le dévers'.

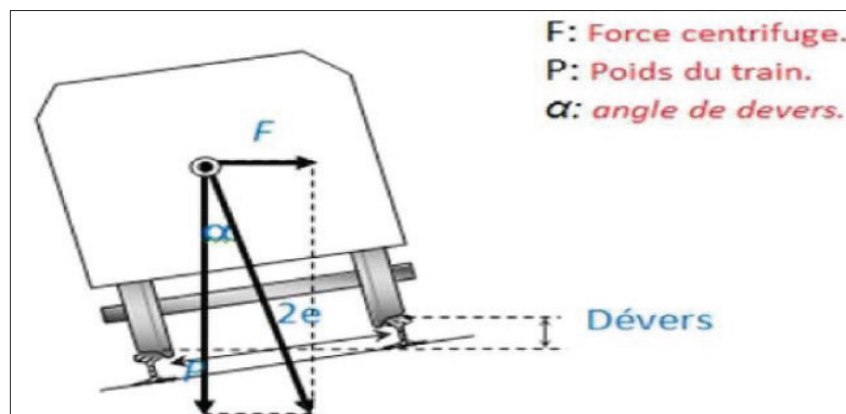


Figure V. 2 : force centrifuge et dévers.

V.5.2.1. Dévers théorique (dth) :

Pour une vitesse de train (V) et un rayon de courbe (R) de la voie on cherche un dévers nécessaire qui annule la force latérale et centrifuge afin d'assurer la stabilité de ce dernier sur la voie et le confort des voyageurs. Ce dévers est en fonction de la vitesse est appelée dévers théorique (Devers d'équilibre), Il est exprimé en mm.

$$d_{th} = 11.8 \times \frac{V^2}{R}.$$

Avec : d_{th} en (mm), V : vitesse en (km/h), R : rayon en (m).

V.5.2.2. Dévers pratique (réel) dp :

Toute fois, le dévers pratique est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains rapides, et un excès de vitesse pour les trains lents.

C'est pour cela que l'on prévoit un dévers moyen (dévers moyen) ; qui tient compte aussi bien des grandes vitesses que des vitesses réduites .sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

$$[(11, 8V^2_{max}) / R] - I \leq dp \leq [(11, 8V^2_{min}) / R] + E$$

Avec :

I : Insuffisance de dévers (mm) ; E : Excès de dévers ; R : Rayon de courbe (m)

V : Vitesse (km/h) ; dp : Dévers réel (mm).

Afin de conserver l'homogénéité du confort sur la ligne, le dévers pratique est appliqué à la voie, il est donné par la formule :

$$dp = 1000 \times \frac{C}{R}$$

Avec :

C : coefficient de dévers.

Tableau V. 2 : Valeurs limites du dévers. [6]

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

V.5.2.3. Coefficient de dévers C :

Le choix de coefficient de proportionnalité appelé le coefficient de dévers constant sur une section de voie à trafic homogène donné, entre le dévers pratique (dp) et la courbure ($1/R$), permet de respecter simultanément les valeurs limites normales ou exceptionnelles des paramètres suivantes :

- ✓ Dévers.
- ✓ Insuffisance de dévers.
- ✓ Excès de dévers.
- ✓ Variation de dévers.
- ✓ Variation de l'insuffisance de dévers.

Pour le calcul de Coefficient de dévers **C** on utilise la formule suivante proposé par la SNCF :

$$C = 0.006 \times V^2_{max}$$

Cette méthode est valable pour les voies de vitesse < 220 Km/h.

V.5.2.4. Insuffisance de dévers (I) :

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondante au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (exprimée en mm) la différence entre le dévers théorique des trains rapides et le dévers pratique.

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

L'insuffisance de dévers admissible dépend de l'armement de la voie et il varie selon la catégorie de la circulation. Les valeurs limites de l'insuffisance de dévers sont définies dans le tableau suivant :

Tableau IV. 3 : valeurs limites de l'insuffisance. [6]

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

V.5.2.5. Excès de dévers :

Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondante au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers

l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers normal :

$$E = dp - d_L = dp - 11.8 \times \frac{v^2_{\min}}{R} \leq E_{rec}$$

d_L : dévers théorique des trains lents.

Les valeurs limites pour l'excès de dévers dépendent de l'intensité du trafic quotidien des trains de marchandises et sont déterminées dans le tableau ci-après :

Tableau IV. 4 : valeurs limites pour l'excès de dévers. [4]

Tonnage journalier (T/J)	E_{\max} (mm)
Volume = 45000 T/J	70
25000 < volume < 45000	80
10000 < volume < 25000	90
Volume < 10000	100

L'étude des besoins futurs de la ligne est de l'ordre de 20 000 t/j tout tonnage confondu. D'où le choix de la limite de l'excès de dévers est à **90 mm**.

V.5.2.6. Longueur de raccordement 'L' de dévers :

C'est la longueur de clothoïde qui permet un raccordement convenable du dévers et de la courbe :

$$L \geq \frac{dp \times V_{\max}}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

Avec : L en (m) et $\Delta d/\Delta t$ (variation de dévers en mm) est recommandé.

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

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

V.5.2.7. Variation de dévers :

- Variation en fonction du temps ($\frac{\Delta d}{\Delta t}$) :

Exprimé en mm/s suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une circulation à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps. la formule qui nous donne cette variation est :

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

Tableau V. 5 : Valeurs limites de variation du dévers en fonction du temps [6]

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

- **Variation en fonction de la longueur ($\frac{\Delta d}{\Delta L}$) :**

Taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur. La formule qui nous donne cette variation est :

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

Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Tableau V. 6: Valeurs limites de variation du dévers en fonction de la longueur [6].

Valeur limite normale (mm/m)	$180/V = 180/160 = 1.125$ mm/m
Valeur limite exceptionnelle (mm /m)	$216/V = 216/160 = 1.35$ mm/m

La SNTF exige une variation ≤ 2.52 mm/m (exception 3.24 mm/m).

AN :

$$180/V = 180/160 = 1.125 \text{ mm/m} \leq 2.52 \text{ vérifiée.}$$

V.5.2.8. Gauchissement et variation du dévers :

La variation du dévers provoque un gauchissement de la voie, donc les points de contact des bogies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste. Pour régler le problème, on doit limiter cette rampe par unité de longueur, le rapport d/L appelé « gauche » exprime cette variation en (mm/m). Sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Tableau V. 7 : paramètres du gauchissement. [6]

Valeur limite normale (mm/m)	$180/V = 180/160 = 1.125$ mm/m
Valeur limite exceptionnelle (mm /m)	$216/V = 216/160 = 1.35$ mm/m

V.5.2.9. Raccordement de dévers :

Le passage d'un dévers nul en alignement à un dévers prévu en pleine courbe doit se faire d'une façon progressive. Cette progression se fait sur une longueur appelée « Rampe de dévers ».

La variation de dévers par unité de longueur est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie, cette variation est accompagnée aussi de la variation de l'insuffisance et de l'excès de dévers. Son exécution se fait par la surélévation progressive du rail extérieur par rapport au rail intérieur.

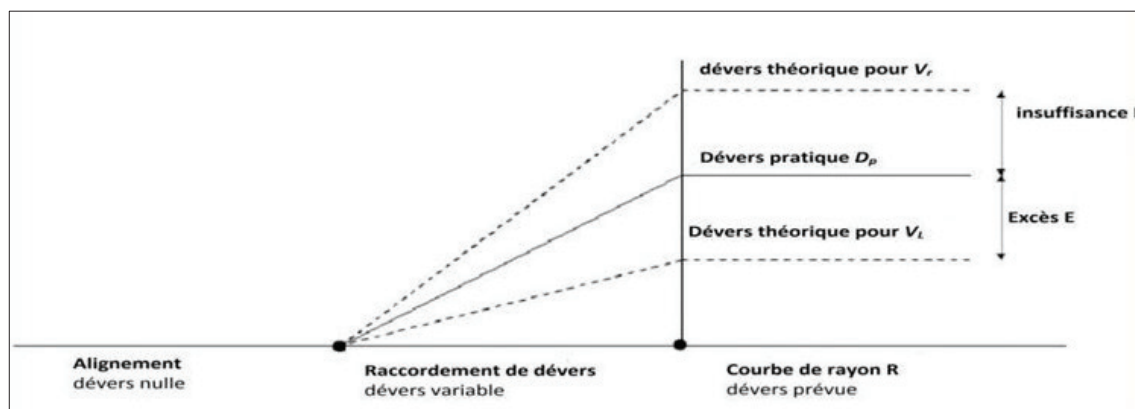


Figure V. 3 : Schéma de raccordement de dévers.

V.5.2.10. Variation de l'insuffisance de dévers :

Pour les éléments de transition avec variations uniformes de la courbure et du dévers, la relation suivante a été établie : (I étant l'insuffisance de dévers en pleine courbe).

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{max}}{3.6 \times L}$$

Pour assurer le confort de l'utilisateur et de fait que l'être humain est très sensible aux variations d'accélération qu'aux accélérations elles-mêmes, on doit limiter cette variation :

Tableau V. 8: Valeurs de variation de l'insuffisance de dévers. [6]

Valeur limite normale (mm/s)	75 mm/s
Valeur limite exceptionnelle (mm /s)	90 mm/s

V.6. APPLICATION AU PROJET :

Tableau V. 9 : paramètres géométrique du tracé

Vitesse maximale (voyageur)	V max=160 km/h
Vitesse des trains lents (marchandise)	V min=80 km/h
Insuffisance de dévers maximum	I _{max} =150 mm
Excès de dévers (valeur limite normale)	E= 90 mm
Dévers max	dmax= 160 mm
Variation de dévers (valeur limite normale)	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = 50 \text{ mm/s.}$
Variation de l'insuffisance de dévers (valeur limite normale)	$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 75 \text{ mm/s}$
paramètres du gauchissement (valeur limite normale)	1.125 mm/m

➤ **Calcul le rayon minimal :**

Il est recommandé de calculer le rayon minimal on faisant référence à l'insuffisance de dévers.

$$I = d_{th} - d_p = 11.8 \times \frac{V^2}{R} - d_p \leq I_{rec} \Rightarrow 11.8 \times \frac{V^2}{R_{min}} - \frac{1000 \times C}{R_{min}} \leq I_{rec}$$

Avec $C = 0.006 \times V^2_{max}$

$$\Rightarrow \frac{5.8 \times V^2_{max}}{R_{min}} \leq I_{rec}$$

$$\Rightarrow R_{min} \geq \frac{5.8 \times V^2_{max}}{I_{rec}}$$

AN: $R_{min} \geq \frac{5.8 \times 160}{150} = 989.86 \text{ m}$

On prend : $R_{min} = 1000 \text{ m}$.

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

$$d(R_{min}) = \frac{1000 \times C}{R_{min}} = \frac{1000 \times 0.006 \times 160}{1000} = 153.6 \text{ mm.}$$

$d(R_{min}) = 153.6 < d_{max} \text{ (recommandé)} = 160$ donc on peut le retenir.

Remarque : il est recommandé de choisir des valeurs de dévers de multiple de 10, il est favorable pour faciliter la tâche lors de l'exécution.

Application au projet pour $R = 1400 \text{ m}$:

➤ **Calcul de dévers théorique d_{th} :**

$$d_{th} = 11.8 \times \frac{V^2}{R} = 11.8 \times \frac{160^2}{1400} = 215.77 \text{ mm} \Rightarrow d_{th} = 215.77 \text{ mm.}$$

➤ **Calcul de coefficient de dévers C :**

$$C = 0.006 \times V^2_{max} = 0.006 \times 160^2 = 153.6 \Rightarrow C = 153.6$$

➤ **Calcul de dévers pratique d_p :**

$$d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 153.6}{1400} = 109.71 \text{ mm.}$$

\Rightarrow On prend : $d_p = 110 \text{ mm} < 160$ vérifié.

➤ **Calcul de l'insuffisance de dévers I :**

$$I = d_{th} - d_p = 215.77 - 110 = 115.77$$

$\Rightarrow I = 105.77 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$ vérifié.

➤ **Calcul d'excès de dévers E :**

D'abord on calcule le dévers théorique des trains lent ($V_{min} = 80 \text{ km/h}$) :

$$d_{th'} = 11.8 \times \frac{V_{\min}^2}{R} = 11.8 \times \frac{80^2}{1400} = 53.94 \text{ mm}$$

$$E = d_p - d_{th'} = 110 - 53.94 = 56.05$$

$$\Rightarrow E = 56.05 \text{ mm} < 90 \text{ mm} \quad \text{vérifié.}$$

➤ **Calcul de la longueur et le paramètre de la clothoïde :**

$$L_{CL} \geq \frac{d_p \times V_{\max}}{3.6 \times \frac{\Delta d}{\Delta t}} = \frac{110 \times 160}{3.6 \times 50} = 97.77 \text{ m}; \quad \text{On prend : } L_{CL} = 110 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{CL} = 110 \text{ m.}$$

$$A = \sqrt{R \times L_{CL}} = \sqrt{1400 \times 110} = 392.42$$

$$\Rightarrow A = 392.42.$$

➤ **Variation de dévers :**

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d \times V_{\max}}{3.6 \times L_{LC}} = \frac{110 \times 160}{3.6 \times 110} = 44.44.$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta d}{\Delta t} = 44.44 \text{ mm/s} < 50 \text{ mm/s} \quad \text{vérifié.}$$

➤ **Variation de l'insuffisance de dévers ΔI :**

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_{\max}}{3.6 \times L_{CL}} = \frac{105.77 \times 160}{3.6 \times 110} = 42.74$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta t} = 42.74 \text{ mm/s} < 75 \text{ mm/s} \quad \text{vérifié.}$$

➤ **Gauchissement et variation du dévers d/L :**

$$\frac{d_p}{L_{CL}} = \frac{110}{110} = 1 \text{ mm/m.}$$

$$\Rightarrow \frac{d_p}{L_{CL}} = 1 \text{ mm/m} < 1.125 \text{ mm/m} \quad \text{vérifié.}$$

Tableau V. 10 : les paramètres significatifs de l'axe en plan entre pk19+000 et29+000.

R (m)		dv (mm)	dm (mm)	C	dp (mm)	dp (retenue) (mm)	Δd (m m/s)	E (mm)	I (mm)	LCL (m)	ΔL (mm /s)	A (m)	
1400		215.77	53.94	153.60	109.7	110.00	48.98	56.06	105.77	110.00	47.01	392.4	
Courbe en S	1000	droite	302.08	75.52	153.6	153.6	160.00	47.41	84.48	142.08	150	42.1	387.3
		gauche	302.08	75.52	153.6	153.6	160.00	47.41	84.48	142.08	150	42.1	387.3
	1000	droite	302.08	75.52	153.6	153.6	160.00	47.41	84.48	142.08	150	42.1	387.3
		gauche	302.08	75.52	153.6	153.6	160.00	47.41	84.48	142.08	150	42.1	387.3
1100		274.6	68.65	153.60	139.6	140.00	47.86	71.35	134.62	130	46.01	378.15	
1000		302.08	75.52	153.6	153.6	160.00	47.41	84.48	142.08	150	42.1	387.3	
2500		120.83	30.20	153.60	61.44	70	44.44	39.79	50.83	70	32.27	418.33	
4500		67.12	16.78	153.60	34.13	40	44.44	23.22	27.12	40	30.13	424.26	
1400		215.77	53.94	153.60	109.7	110.00	48.98	56.06	105.77	100.00	47.01	374.2	

V.7. CALCUL DE L'AXE EN PLAN :

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou directions dans un repère fixe.

- γ : Angle entre alignement.
- T : Grande tangente.
- ΔR : Ripage.
- X_M : Abscisse du centre de cercle.
- R : Rayon de virage.
- τ : Angle de tangente.
- S_L : La corde à la clothoïde.
- σ : L'angle polaire.
- L : longueur de clothoïde.
- K_A : début de clothoïde.
- K_E : Fin de clothoïde.

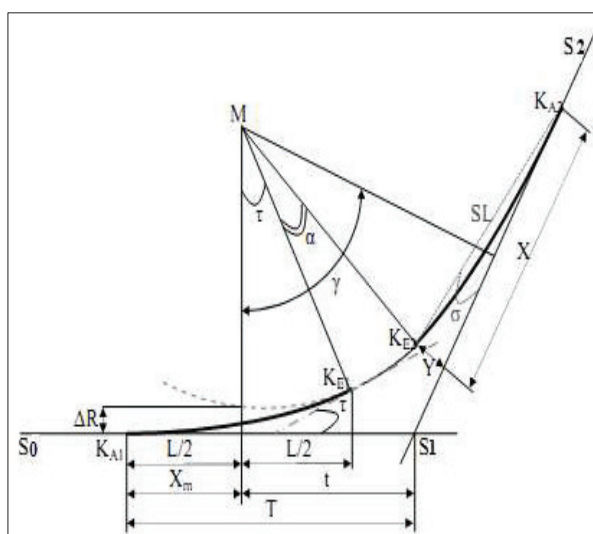


Figure V. 4 : les éléments de courbe avec clothoïde

V.7.1. La méthodologie de calcul :

Dans un calcul d'axe, la grande partie est celle de la courbe de clothoïde, cet élément géométrique particulier qui se définit par des formules mathématiques approchées. Le calcul se fait à partir d'un point dont on connaît ses coordonnées, il faut donc suivre les étapes suivantes pour calculer l'axe :

- L'équation de la clothoïde $A^2 = L \times R$.
- Calcul de la longueur de clothoïde : $L = \frac{A^2}{R}$.
- Calcul de l'angle de tangente : $\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi}$ (grade).
- Distance du centre de courbe parallèle à l'axe de l'alignement : $X_m = \frac{L}{2}$ (m).
- Le ripage qui est la variation du rayon entre le début et la fin de clothoïde :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 R}$$
 (m)
- Le gisement entre les deux directions γ (grade).

Prenons une partie de l'axe, elle se compose d'un alignement droit, d'une première branche de clothoïde du début K_{A1} et de fin K_{E1} , d'un arc de cercle de K_{E1} à K_{E2} et d'une deuxième branche de clothoïde de K_{E2} à K_{A2} .

- $X_{KE} = L$ (m) ; la longueur de clothoïde.
- $Y_{KE} = \frac{L^2}{6 \cdot R}$ (m) ; la hauteur par rapport à l'axe.
- $\sigma = \arctg\left(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}\right)$ (grade) ; l'angle entre K_E et l'axe.
- $T = X_M + (R + \Delta R) \times \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)$ (m).
- $S_0 S_1 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$.
- $S_1 K_{A1} = S_1 S_2 - T_m$.
- $S_L = \sqrt{X_{KE}^2 + Y_{KE}^2}$.
- $\alpha = \gamma - 2\tau$ (grade).
- $K_{E1} K_{E2} = \frac{\pi R \alpha}{200}$.

V.7.2. Application au projet :

Pour notre projet on choisit le premier virage au niveau du faisceau. Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suit :

Tableau V. 11 : les données de l'arc choisi pour l'exemple.

Points	X	Y	Rayon(m)
S0	448536.136	4042185.626	1400
S1	446133.007	4042806.991	
S2	446028.901	4044448.684	

1) Calcul de la distance $S_0 S_1$:

$$\Delta X_{S_0 S_1} = X_{S_1} - X_{S_0} = 446133.007 - 448536.136 = -2403.129 \text{ m.}$$

$$\Delta Y_{S_0}^{S_1} = Y_{S_1} - Y_{S_0} = 4042806.991 - 4042185.626 = \mathbf{621.365 \text{ m.}}$$

$$S_0S_1 = \sqrt{[(\Delta X_{S_0}^{S_1})^2 + (\Delta Y_{S_0}^{S_1})^2]} = \sqrt{[(-2403.129)^2 + (621.365)^2]} = \mathbf{2482.161 \text{ m.}}$$

2) Calcul du gisement S₀S₁ :

$$G_{S_0}^{S_1} = 200 + \alpha = 200 + \arctg\left(\frac{\Delta X_{S_0}^{S_1}}{\Delta Y_{S_0}^{S_1}}\right) = 200 + \arctg\left(\frac{-2403.129}{621.365}\right) = \mathbf{116.108 \text{ gr.}}$$

3) Calcul de la distance S₁S₂ :

$$\Delta X_{S_1}^{S_2} = X_{S_2} - X_{S_1} = 446028.901 - 446133.007 = \mathbf{-104.106 \text{ m.}}$$

$$\Delta Y_{S_1}^{S_2} = Y_{S_2} - Y_{S_1} = 4044448.684 - 4042806.991 = \mathbf{1641.009 \text{ m.}}$$

$$S_1S_2 = \sqrt{[(\Delta X_{S_1}^{S_2})^2 + (\Delta Y_{S_1}^{S_2})^2]} = \sqrt{[(-104.106)^2 + (1641.009)^2]} = \mathbf{1644.307 \text{ m.}}$$

4) Calcul du gisement S₁S₂ :

$$G_{S_1}^{S_2} = 200 + \alpha = 200 + \arctg\left(\frac{\Delta X_{S_1}^{S_2}}{\Delta Y_{S_1}^{S_2}}\right) = 200 + \arctg\left(\frac{-104.106}{1641.009}\right) = \mathbf{195.96 \text{ gr.}}$$

5) Calcul de l'angle γ :

$$\gamma = |G_{S_1}^{S_2} - G_{S_0}^{S_1}| = |195.96 - 116.108| = \mathbf{79.852 \text{ gr.}}$$

6) Calcul de longueur de clothoïde L :

Le paramètre de clothoïde qui vaut $A = \mathbf{392.4 \text{ m.}}$

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{392.4^2}{1400} = \mathbf{110 \text{ m.}}$$

7) Calcul de l'angle τ :

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi} = \frac{110}{2 \times 1400} \times \frac{200}{\pi} = \mathbf{2.50 \text{ gr.}}$$

8) Calcul de tangent T :

$$T = X_M + (R + \Delta R) \times \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$$X_m = \frac{110}{2} = \frac{110}{2} = \mathbf{55 \text{ m}} \quad ; \quad X_m : \text{Abscisse du centre de cercle.}$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{110^2}{24 \times 1400} = \mathbf{0.36 \text{ m}} \quad ; \quad \Delta R : \text{Le ripage}$$

$$T = 55 + (1400 + 0.36) \times \tan\left(\frac{79.852}{2}\right) = \mathbf{1068.8 \text{ m.}}$$

9) Calcul de la distance S_0K_{A1} :

$$S_0K_{A1} = S_0S_1 - T = 2482.161 - 1068.8 = \mathbf{1413.361 \text{ m.}}$$

10) Calcul de la corde SL :

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

Tell que :

$$X_{KE} = L = 110 \text{ m.} \quad ; \text{ La longueur de clothoïde.}$$

$$Y_{KE} = \frac{L^2}{6.R} = \frac{110^2}{6 \times 1400} = 1.44 \text{ m.} \quad ; \text{ la hauteur par rapport à l'axe.}$$

$$S_L = \sqrt{110^2 + 1.44^2} = \mathbf{110.009 \text{ m.}}$$

11) Calcul de l'angle polaire σ :

$$\sigma = \arctg\left(\frac{Y_{KE}}{X_{KE}}\right) = \arctg\left(\frac{1.44}{110}\right) = \mathbf{0.833 \text{ gr.}}$$

12) Vérification de non chevauchement :

Pour vérifier la condition de non chevauchement il faut que : $\tau < \frac{\gamma}{2}$

$$\tau = 2.50 \text{ gr} \quad ; \quad \frac{\gamma}{2} = \frac{79.852}{2} = 39.926 \text{ gr}$$

$\tau = 2.50 \text{ gr} < 39.926 \text{ gr}$ la condition est vérifiée Donc il n'y a pas de chevauchement.

13) Calcul du α :

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 79.852 - 2(2.50) = \mathbf{74.852 \text{ gr.}}$$

14) Calcul de la longueur d'arc :

$$B = K_{E1} K_{E2} = \frac{\pi R \alpha}{200} = \frac{\pi \times 1400 \times 74.852}{200} = \mathbf{1645.24 \text{ m.}}$$

V.8. DESCRIPTION DU TRACÉ ET LES CONTRAINTES RENCONTREES:

Tableau V. 12: description du tracé et les contraintes rencontrées.

PK	OBSERVATIONS
PK 19+000 DÉBUT DU PROJET	
19+210	la ligne ferroviaire franchit un oued
19+240	Intersection avec la route nationale N° 67 « RN 67 »
19+250 – 20+300	La gare d'el Hadjout, elle est desservie par un chemin raccordé à la RN67, la gare est bordée par des terres agricoles
19+490	Intersection avec une piste
19+950	la ligne ferroviaire franchit un oued
20+060	Intersection avec un chemin communal (CC)
20+422	la ligne ferroviaire franchit un oued
22+267	la ligne ferroviaire franchit un oued
22+580	Poteau électrique de moyenne tension (MT).
22+860	Intersection avec la route nationale N° 42 « RN 42 »
23+103	la ligne ferroviaire franchit un oued
23+800 – 24+720	Bifurcation NADOR va desservie au futur la ville de Tipaza
24+650	la ligne ferroviaire franchit un oued
25+198	la ligne ferroviaire franchit un oued
25+340 – 25+420	La ligne ferroviaire touche les serres
25+500	Poteau électrique de moyenne tension (MT).
25+560	Intersection avec la rocade de Tipaza.
25+665	la ligne ferroviaire franchit un oued
25+920 – 25+970	La ligne ferroviaire touche les serres
26+000	Intersection avec une piste
26+753	la ligne ferroviaire franchit un oued
27+230	Intersection avec une piste agricole
27+742	la ligne ferroviaire franchit un oued
PK 29+000 FIN DU PROJET	

CHAPITRE VI :

PROFIL EN LONG

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG.**
- 3. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG.**
- 4. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN.**
- 5. PARAMETRES CINEMATIQUES DU PROFIL EN LONG.**
- 6. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG.**
- 7. CONCLUSION.**

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.

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.

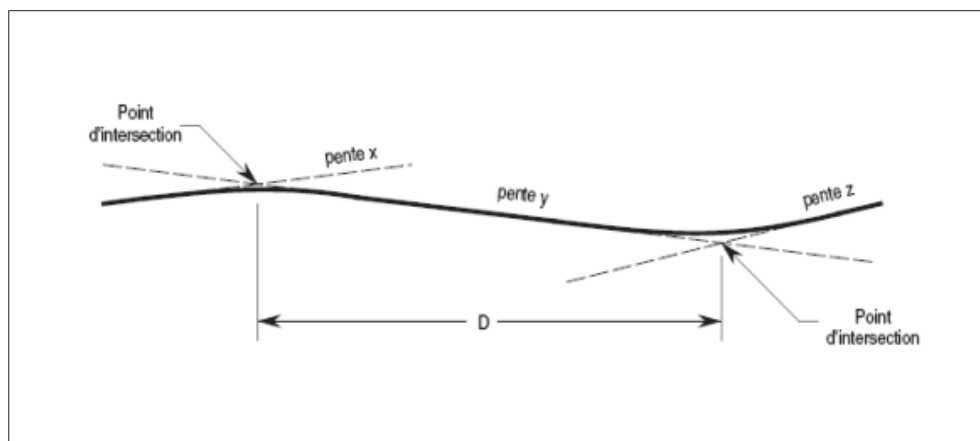


Figure VI. 1:Eléments géométriques du profil en long.

VI.2.1.Déclivité maximale :

La déclivité (rampe et pente) d'une ligne affecte les possibilités de freinage et de démarrage et pour éviter ces deux problématiques il est nécessaire de déterminer des valeurs de pentes et de rampes limites maximales à appliquer sachant que la déclivité admise varie en fonction de sa longueur selon la norme SNTF qui stipule :

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

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

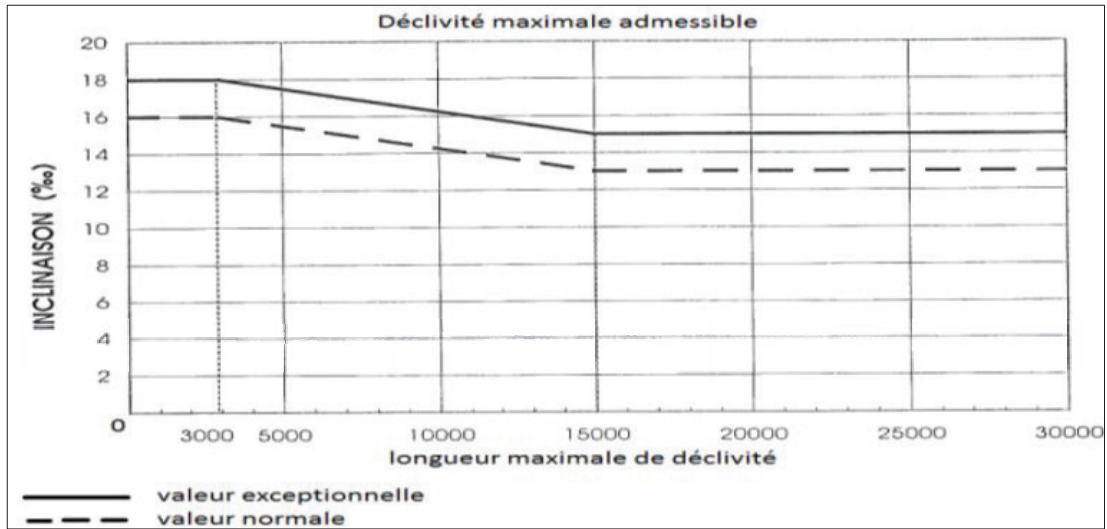


Figure VI. 2 : Déclivités maximales admissibles[6]

VI.2.2. La longueur minimale des déclivités :

Afin d'éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives des déclivités, une longueur minimale de déclivité constante est à prévoir.

Les valeurs de la longueur minimale des déclivités en profil sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau VI. 1 : Valeurs de la longueur minimale des déclivités. [6]

Valeur limite normale (m)	V/2=80 m
Valeur limite exceptionnelle(m)	V/2.5=64 m

VI.2.3. Rayon minimal en profil en long :

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

- Les raccordements de profil en long sont définis par des raccordements circulaires, Cela entraîne une accélération verticale brutale aux extrémités du raccordement, qui provoque une oscillation de la suspension du véhicule et perturbe le confort des voyageurs.
- Lorsqu'un véhicule franchit à une vitesse (V) un raccordement de profil en long de rayon R_v , il est soumis à une accélération centrifuge :

$$a_v = \frac{V_{max}^2}{12.96 \times R_v} \leq a_{v.rec} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Cette accélération doit être limitée afin de ne pas perturber le confort des passagers. En conséquence, le rayon minimum adopté pour le profil en long sera également limité pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale de circulation.

Selon le référentiel technique de la SNTF les rayons minimums de projet sont dans le tableau suivant avec $V=160$ km /h:

Tableau VI.2 : les rayons minimaux de profil en long. [6]

Valeur limite normale	$0,35 \times V^2=8960$ m
Valeur limite exceptionnelle	$0,25 \times V^2=6400$ m

Remarque :

Au point de changement de pente lorsque la différence algébrique des déclivités est inférieure à 2‰ (peut être portée à 4 ‰) on ne fait pas le raccordement circulaire.

VI.3. REGLES A RESPECTER DANS LE TRACE DU PROFIL EN LONG :

Afin d’avoir une meilleure conception du profil en long il faut tenir compte des règles suivantes « sauf dans des cas exceptionnels qu’il faut justifier » :

- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter les valeurs géométriques (rayons et déclivités) préconisées par les règlements.
- Assurer l’évacuation des eaux pluviales pour les points bas.
- Un profil en long en léger remblai est préférable qu’un profil en long en léger déblai qui complique l’évacuation des eaux.
- Rechercher un équilibre entre les volumes des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Dans les zones inondables, il est obligatoire de passer avec un profil en remblais dont la hauteur est supérieure à NPHE + 0.5m.

VI.4. 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 (Source : SNTF 2005, GOMETTRE A, KALLI F.2012) :

- Eviter les coïncidences entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan (Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe)).
- 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.
- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l’implantation de la gare.

VI.5. PARAMETRES CINEMATQUES DU PROFIL EN LONG :

Les valeurs standards des différents paramètres cinématiques valables pour les lignes mixtes parcourues à 160 km/h sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau VI. 3 : Valeurs standards des paramètres cinématiques.

	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
Vitesse (Km/h)	160	/
Rayon de raccordement en profil minimum (m)	8960	6400
Longueurs minimales des pentes/rampes	80	64
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie	16 ‰	18 ‰
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement	0 ‰	/

VI.6. EXEMPLE DE CALCUL DE PROFIL EN LONG :

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

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

Mais pour un grand rayon ($R \geq 4000m$) la variation de l'ordonnée y sur cet arc est négligeable devant l'abscisse X, surtout lorsque il s'agit d'un carré ($y^2 \rightarrow 0$) d'où on obtiendra une équation de parabole : $y = x^2/2R$ d'où l'arc de cercle s'assimile à celui d'une parabole.

- A' et B' : Extrémités du raccordement.
- T : Tangente de part et d'autre du sommet.
- G : Milieu de raccordement situé sur la variante.
- A et B: deux points connus sur P1 et P2.
- F : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche).
- X : 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.

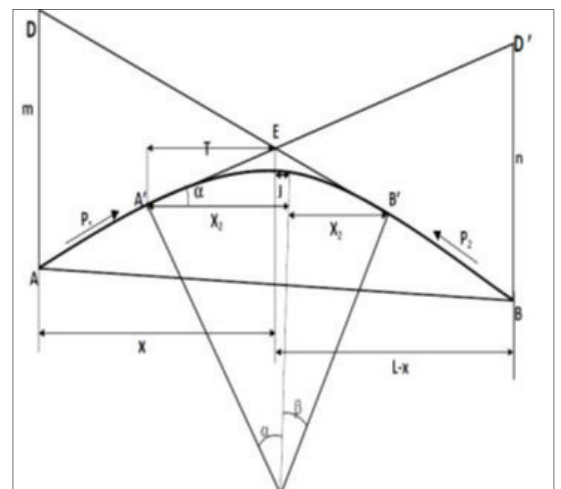


Figure VI. 4: les éléments d'un raccordement en long

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

Tableau VI. 4 : les coordonnées des points de profil en long (exemple).

Points	S(m)	Z(m)	Rayon(m)
A	0	60.97	45000
E	1659.48	60.96	
B	2512.71	58.17	

- **Calcul des pentes :**

$$P_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta S_1} = \frac{60.96 - 60.97}{1659.48 - 0} = \frac{-0.01}{1659.48} = 0.00 \text{ ‰.}$$

$$P_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta S_2} = \frac{58.17 - 60.96}{2512.71 - 1659.48} = \frac{-2.79}{853.23} = -3.26 \text{ ‰.}$$

- **Détermination de T :**

$$T = \frac{R}{2} |P_2 - P_1| \quad ; P_1 \text{ et } P_2 \text{ les pentes prises avec leurs sens.}$$

$$T = \frac{R}{2} |P_2 - P_1| = \frac{45000}{2} |-0.00326 - 0.00| = 73.573 \text{ m.}$$

- **Calcul de la flèche F :**

$$F = \frac{T^2}{2R} = \frac{73.573^2}{2(45000)} = 0.0601 \text{ m.}$$

- **Point du milieu de raccordement G :**

$$Z_G = Z_E + F = 60.96 + 0.0601 = 61.02 \text{ m.}$$

$$P_{KG} = P_{KE} = 1659.48$$

- **Point de début et de fin du raccordement :**

- ✓ **Début de raccordement A' :**

$$Z_{A'} = Z_E - (P_1 \times T) = 60.96 - (0.00 \times 73.573) = 60.96 \text{ m.}$$

$$P_{KA'} = P_{KE} - T = 1659.48 - 73.573 = 1585.90 \text{ m.}$$

- ✓ **Fin de raccordement B' :**

$$Z_{B'} = Z_E - (P_2 \times T) = 60.96 - (0.00326 \times 73.573) = 60.72 \text{ m.}$$

$$P_{KB'} = P_{KE} + T = 1659.48 + 73.573 = 1733.1 \text{ m.}$$

VI.7. CONCLUSION :

D'après le profil en long du terrain naturel on remarque que :

- La zone de l'Hadjout (PK 19+000 – 23+000) est un terrain plat, ce qui nous a conduits à passer par un léger remblai.
- PK 23+000 – PK 29+000 (fin du projet) on rencontre un terrain accidenté plus au moins vallonné, ce qui a donné nécessité à une pente importante et des ouvrages d'art.

CHAPITRE VII :

ETUDE

HYDROLOGIQUE ET

ASSINISEMENT

1. ETUDE HYDROLOGIQUE :

1.1.introduction.

1.2.contexe hydrologique général.

1.3.bassins versants.

1.4.calcul hydraulique.

1.5.application au projet.

2. ETUDE D'ASSINISEMENT :

2.2.introduction.

2.3.le drainage transversal.

2.4.drainage longitudinal.

2.5.conclusion

VII.1. ETUDE HYDROLOGIQUE :

VII.1.1. INTRODUCTION :

L'étude hydrologique a pour but de fournir les éléments hydrologiques nécessaires au projet d'exécution de la ligne ferroviaire, elle nous permet de limiter les sous bassins versants le long de notre tracé, ce qui nous pousse à bien connaître la trajectoire des cours d'eaux qui traversent notre zone d'étude, cette étude inclut également l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

VII.1.2. CONTEXTE HYDROLOGIQUE GÉNÉRAL :

VII.1.2.1. Présentation générale :

D'après Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) Le couloir de la nouvelle ligne d'El Affroun (W. de Blida) - de Tipaza (localité port centre Cherchell) traverse essentiellement deux bassins versants 10 et 03 du grand bassin hydrographique du Côtier Algérois codé 02a par l'ANRH.

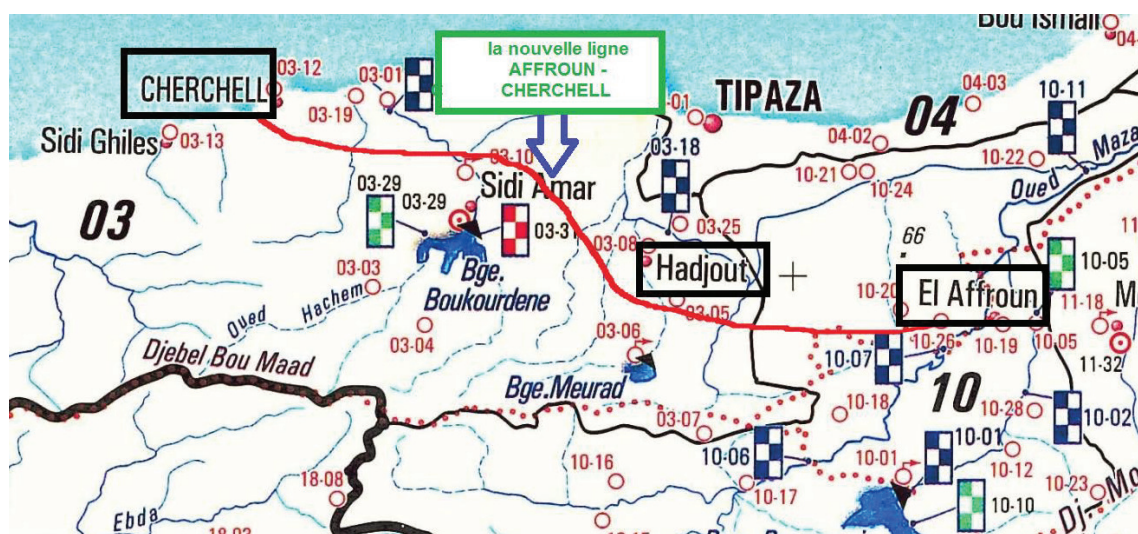


Figure VII. 1 : Situation de la nouvelle ligne ferroviaire EL AFFROUN-CHERCHELL sur la carte du grand bassin côtier Algérois.

VII.1.2.2. Les données Météorologiques de la région de Tipaza :

• **Température :**

La zone d'étude appartient à la zone climatique A (caractérisée par un climat tempéré Subhumide),

Tableau VII 1:Températures moyennes mensuelles (°C), période (1980 -1992).[7]

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juille	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Mo
Tmoy (C°)	12.5	13.25	14.6	16.1	17.5	21	24	24.9	23	21	17.6	14	18.3

- Une saison chaude, s'étalant du mois de Mai au mois d'Octobre, avec un maximum au mois d'Aout (27,6°C).

- Une saison froide, qui s'étale du mois de Novembre au mois de Mai, avec un minimum au mois de Janvier (10° C).

- **Vent :**

Tableau VII. 2:vents moyens mensuels (m/s), période (1980 -1992).[7]

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
vent m / s	3.17	2.86	2.57	2.73	5.1	2.27	2.2	2.22	2.26	2.2	2.38	3.0	2.78

L'intensité du vent est assez forte sur la façade maritime. Les vents dominants sont de direction Nord- Ouest en hiver et Nord Est en été.

- **Les précipitations mensuelles :**

Les données de précipitation mensuelle couvrent une période de 38 ans (1978 -2016).Elle sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VII 3:Précipitations moyennes mensuelles (période 1978- 2016).[7]

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc	Mo
P (mm)	81.3	84.6	76	50.5	41.6	9.3	3.1	5.2	30	57	85	99.2	56.0

La période pluvieuse s'étale du mois de Novembre au mois de Mars, le mois de Décembre étant le plus pluvieux avec des valeurs moyennes de 99,2 mm, les mois de Juillet et Aout sont les plus secs avec des valeurs moyennes de 3,1 mm et 5,2 mm respectivement.

VII.1.3. BASSINS VERSANTS :

VII.1.3.1. La délimitation des bassins versants :

A partir des plans topographiques à l'échelle 1/50 000 on a pu localiser les points de franchissement des oueds ainsi que les limites des bassins versants.

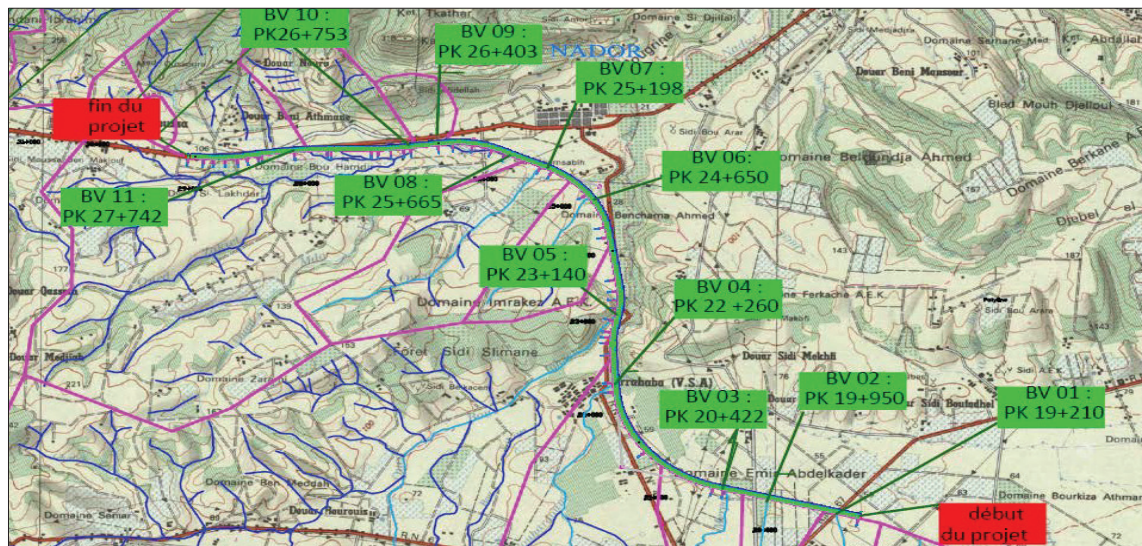


Figure VII. 2:délimitation BV et localisation des points de franchissement des oueds sur la carte des bassins versants du tracé.

VII.1.3.2. Caractéristiques des sous bassins versants (BV) :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer ou évaluer les paramètres explicatifs indispensables à l'évaluation des débits de crues. Les paramètres physiques peuvent être calculés, sans grandes difficultés, avec une précision satisfaisante.

Une fois que les bassins sont identifiés on a déterminé les caractéristiques des bassins versants comportant la superficie, la longueur du thalweg principal et sa pente longitudinale, Ce sont des paramètres physiques fixes qui régissent les conditions de formation des crues.

Les caractéristiques des paramètres de bassins versants des oueds traversant la nouvelle ligne ferroviaire « EL AFFROUN – port centre Cherrhell (TIPAZA) » entre PK19+000 et PK29+000 sont données par le tableau récapitulatif suivant :

Tableau VII 4:Les caractéristiques des paramètres de bassins versants entre PK 19+000 ET PK 29+000.

N°BV	PK	Surface A (km ²)	Longueur L (km)	Cote max H _{max} (m)	Cote min H _{min} (m)	Cote moy H _{moy} (m)	ΔH (m)	Pente bassin J (m/m)
1	19+210	2.68	3.42	150	54	102	96	0.0281
2	19+950	0.99	1.16	96	55	75.5	41	0.0353
3	20+422	36.145	19.78	1018	54	536	964	0.0487
4	22+260	30.333	21.42	980	44	512	936	0.0437
5	23+140	43.84	12.07	508	30	269	478	0.0396
6	24+650	1.379	1.81	122	27	74.5	95	0.0526
7	25+198	2.884	3.24	152	33	92.5	119	0.0367
8	25+665	10.58	5.51	252	37	144.5	215	0.0390
9	26+403	0.49	0.88	192	56	124	136	0.1545
10	26+753	2.533	3.59	470	70	270	400	0.1115
11	27+742	2.26	2.96	336	82	209	254	0.0858

VII.1.4. CALCUL HYDRAULIQUE :

VII.1.4.1. Calcul du débit maximal dans les bassins(les débits de crue):

Pour estimer les débits de crue des différents bassins versant obtenus par délimitation, on utilise plusieurs méthodes qui sont élaborées en fonction de la pluie et des caractéristiques physiques des bassins versants.

Pour évaluer le débit maximal des bassins versants, on a utilisé les formules suivantes :

➤ **Formule rationnelle :** (A <10 km²) :

$$Q_{MAX} = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

Tel que :

- Q_{MAX} : débit maximal de la crue de période de retour voulue (m³/s).
- C : coefficient de ruissellement.

- I : intensité de pluie (mm /h) pour le temps de concentration du BV et la récurrence souhaitée.
- A : la surface du bassin versant (km²).

➤ **Formule de transition** : (10 Km² < A < 50 Km²) :

$$Q_T = \alpha Q_{(RT)} + \beta Q_{(CT)}$$

Tel que :

- Q_T: débit de projet de période de retour T.
- Q_(RT): débit fourni par la formule rationnelle, période de retour T.
- Q_(CT): débit fourni par la formule Crupédix, période de retour T.
- α, β : coefficients de pondération : α = (50-A)/40. , β = 1 - α.

➤ **Formule Crupédix** :(A >50 Km²)

$$Q_{100} = b' \times Q_{10}$$

$$Q_{10} = A^{0.8} \times \left(\frac{P_J}{80}\right)^2 \times R$$

Tel que :

- A [km²] : surface du bassin versant.
- P_J [mm / j] : Précipitation journalière maximale décennal.
- R: coefficient régional :
 - R = 0,2 pour des terrains perméables.
 - R = 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.
 - R = 1 pour des terrains intermédiaires.
- Avec : 1,4 ≤ b' ≤ 4

Le paramètre « b' » dépend de la superficie du bassin versant :

- Jusqu'à 20 km², b' est déterminé en appliquant la formule rationnelle (calcul de Q₁₀ et Q₁₀₀ comme si la formule rationnelle était applicable) : $b' = Q_{R100}/Q_{R10}$.
- Au-delà de 20 km², b' est déterminé à partir des données provenant des cours d'eau jaugés sur des bassins versants représentatifs à proximité du projet.

VII.1.4.2. Le temps de concentration d'eau T_C :

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol en descendant du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire.

Pour le calcul des temps de concentration des bassins versants on a utilisé les formules suivantes :

➤ **Formule de Ventura** : (A <5 Km²) : $T_C = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{J}}$.

➤ **Formule de Passini** (5 Km² < A < 25 Km²) : $T_C = \frac{0.108 (A \times L)^{1/3}}{\sqrt{J}}$.

➤ **Formule de Giandotti** (A >25 km²) : $T_C = \frac{(4\sqrt{A}) + (1.5 L)}{0.8\sqrt{H}}$.

Tel que :

- T_c [h] : temps de concentration.
- A [km²] : surface du bassin versant.
- J [m/m] : pente brute du bassin.
- L [km] : longueur de l'oued principal.
- H [m] : différence entre l'altitude moyenne et l'altitude de l'exutoire du bassin ($H_{moy} - H_{min}$).

VII.1.4.3. Intensité maximale des précipitations :

Le calcul de l'intensité de la pluie I , pour une certaine durée t et période de retour T est obtenu à partir de l'expression suivante :

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

Tel que :

- $I(t, T)$: Intensité de pluie exprimée en (mm/h).
- T : période de retour exprimée en années (ans).
- t : temps exprimé en heures (h).
- $a(T)$ et $b(T)$: paramètres de Montana :

Tableau VII. 5 : valeurs des paramètres de Montana pour différentes périodes. [7]

période de retour (ans)	a	b
10	45.1	0.66
20	52.7	0.66
50	62.6	0.66
100	70	0.66

VII.1.4.4 Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement C signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité totale des eaux courantes, il dépend de :

- La nature du sol.
- l'état de végétalisation sur la terre écoulée.
- La pente P de l'isohypse.

Tableau VII. 6: Désignation des Coefficient de ruissellement par zones.

Couverture	Morphologie	Pente	Sable gros	Argile Limon	Argile
Bois	Presque plat	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.25	0.35	0.50
	Montagne	10 - 30	0.30	0.50	0.60
Pâturage	Presque plat	0 – 5	0.10	0.30	0.40
	Ondulé	5 - 10	0.15	0.36	0.55
	Montagne	10 - 30	0.22	0.42	0.60
Culture	Presque plat	0 – 5	0.30	0.50	0.60
	Ondulé	5 - 10	0.40	0.60	0.70
	Montagne	10 - 30	0.52	0.72	0.82

VII.1.5. APPLICATION AU PROJET :

VII.1.5.1. 1^{ère} application : (formule rationnelle) :

Tenant compte le bassin versant N° 1:

($A = 2.68 \text{ km}^2 < 10 \text{ km}^2 \Rightarrow$ on applique **la formule rationnelle**)

- $A = 2.68 \text{ km}^2$
- $J = 0.0281 \text{ m / m.}$
- $L = 3.42 \text{ km.}$

• **Calcul temps de concentration d'eau T_c:**

$A = 2.68 \text{ km}^2 < 5 \text{ km}^2 \Rightarrow$ on applique **la formule de VENTURA**

$$T_C = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{J}} = 0.1272 \sqrt{\frac{2.68}{0.0281}} = 1.242 \text{ h.}$$

• **Intensité maximale des précipitations I (T_C, 100 ans) :**

Pour (T = 100 ans) : a = 70.

$$b = 0.66.$$

$$I(1.242, 100) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{70}{1.242^{0.66}} = 60.67 \text{ mm / h.}$$

• **Coefficient de ruissellement :**

- (1) Couverture : culture
- (2) $0 < \text{pente} = 2.81 \% < 5 \Rightarrow$ Presque plat.
- (3) Limon argileux

D'après (1), (2) et (3) $\Rightarrow C = 0.5.$

• **Calcul du de débit maximal dans les bassins Q₁₀₀ :**

La formule rationnelle : $Q_{100} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.5 \times 60.67 \times 2.68}{3.6} = 22.58 \text{ (m}^3/\text{s)}.$

VII.1.5.2. 2^{ème} application : (Formule de transition) :

Tenant compte du bassin versant N° 3:

($10 \text{ Km}^2 < A = 36.145 \text{ km}^2 < 50 \text{ Km}^2 \Rightarrow$ on applique **la Formule de transition**)

- Précipitation journalière maximale décennal P_j(f=0.90)= 75.1 mm
- $A = 36.145 \text{ km}^2$
- $J = 0.0487 \text{ m / m.}$
- $L = 19.78 \text{ km.}$
- $H = H_{\text{moy}} - H_{\text{min}} = 536 - 54 = 482 \text{ m.}$
- $b' = 1.54.$

• **Calcul temps de concentration d'eau T_c:**

$A = 36.145 \text{ km}^2 > 25 \text{ km}^2 \Rightarrow$ on applique **la formule de Giandotti**

$$T_C = \frac{(4\sqrt{A}) + (1.5 L)}{0.8\sqrt{H}} = \frac{(4\sqrt{36.145}) + (1.5 \times 19.78)}{0.8\sqrt{482}} = 3.059 \text{ h.}$$

• **Intensité maximale des précipitations I (T_C, 100 ans) :**

Pour (T = 100 ans) : a = 70, b = 0.66.

$$I(3.059, 100) = \frac{a(T)}{t^{b(T)}} = \frac{70}{3.059^{0.66}} = 33.46 \text{ mm / h.}$$

- **Coefficient de ruissellement :**

(1) Couverture : culture

(2) $0 < \text{pente} = 4.87 \% < 5 \Rightarrow$ Presque plat.

(3) Limon argileux

D'après (1), (2) et (3) $\Rightarrow C = 0.5$

- **Calcul de débit maximal dans les bassins Q_{100} (formule rationnelle):**

$$Q_{100} = \frac{C \times I \times A}{3.6} = \frac{0.5 \times 33.46 \times 36.145}{3.6} = 167.97 \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

- **Calcul de débit maximal dans les bassins Q_{100} (Formule Crupedix) :**

✓ **Calcul de débit maximal dans les bassins Q_{10} (Formule Crupedix):**
($R = 1$) ; ($P_J = 75.1 \text{ mm}$)

$$Q_{10} = A^{0.8} \times \left(\frac{P_J}{80}\right)^2 \times R = 36.145^{0.8} \times \left(\frac{75.1}{80}\right)^2 \times 1 = 15.54 \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

✓ **Calcul de débit maximal dans les bassins Q_{100} (Formule Crupedix):**

$$b' = 1.54$$

$$Q_{100} = b' \times Q_{10} = 2 \times 15.54 = 31.08 \text{ (m}^3/\text{s)}.$$

- **Calcul coefficients de pondération (α , β) :**

$$\alpha = \frac{50-A}{40} = \frac{50-36.145}{40} = 0.346 \quad , \quad \beta = 1 - \alpha = 1 - 0.346 = 0.654.$$

- **Calcul de débit maximal dans les bassins Q_{100} (Formule de transition):**

$$Q_{T100} = \alpha Q_{(R100)} + \beta Q_{(C100)} = 0.364 (167.97) + 0.654 (31.08) = 81.46 \text{ m}^3/\text{s}.$$

NB : les valeurs de débits des BV sont présentées dans l'annexe B3.

VII.2. ETUDE D'ASSINISEMENT :

VII.2.1. INTRODUCTION :

Dans cette étude on va établir un système opérationnel d'évacuation des eaux pour assurer la stabilité de l'infrastructure. Ce système doit assurer le captage des eaux zénithales et celles des nappes phréatiques, l'assainissement des plateformes ferroviaires comprend :

- Les ouvrages de collecte longitudinale.
- Les ouvrages transversaux.
- Les ouvrages de raccordement.

VII.2.2. LE DRAINAGE TRANSVERSAL :

VII.2.2.1. Ouvrages transversaux :

Aux intersections de la voie ferrée et des cours d'eau naturels, on construit des ouvrages hydrauliques qui devront assurer l'écoulement des eaux pluviales.

Ces ouvrages traversent l'emprise de la voie dans le sens de l'écoulement des eaux et sont implantés le long du tracé. Généralement Sont des buses ou des dalots en béton armé.

VII.2.2.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Ces ouvrages seront dimensionnés par la méthode de MANNING-STRICKLER pour un événement pluvial d'occurrence centennale (T=100 ans) :

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

Tel que :

- Q : débit (m³/s).
- S_m: section utile de l'ouvrage (m²).
- I : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).
- R_h : rayon hydraulique (R_h = S_m/P_m). Avec (S_m : section mouillée, P_m : périmètre mouillé).
- K_s : coefficient de rugosité de Strickler dépend de la nature de la surface de L'écoulement :

Tableau VII 7 : Valeurs de Ks selon SETRA. [8]

Nature de la surface Ks	valeur
Terre	30
Buses métalliques	40
Maçonneries	50
Bétons (dalots)	70
Bétons (Buses préfabriquées)	80

VII.2.2.3. Critères de dimensionnement à respecter :

Pour le dimensionnement des différents ouvrages les critères suivants ont été tenus en compte:

- L'ouvrage doit prévoir évacuer le débit de crue correspondant.
- Le régime de ruissèlement est gravitaire (régime fluvial). $H > h_{critique}$ tel que $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g B^2}}$ pour assurer un écoulement fluvial.
- La pente des ouvrages doit être limitée (Pente minimale I = 0,3 %) pour éviter des vitesses trop élevées.
- La hauteur d'eau correspondante à ce débit ne doit pas dépasser 80 % de la hauteur de l'ouvrage. (Selon la norme SNTF hydraulique drainage).
- Les conditions d'auto curage consistent à vérifier les vitesses d'écoulement pour les 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) :
 - 1^{ère} condition : pour $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.1$ il faut $V_{écoulement} > 0.6$ m/s.
 - 2^{ème} condition : pour $Q_a / Q_{ps} = R_q = 0.01$ il faut $V_{écoulement} > 0.3$ m/s.
 - 3^{ème} condition : le taux de remplissage en cas de débit d'apport $R_h < 0.8$.

VII.2.2.4. Application au projet :

- **Dimensionnement des dalots :** 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.

- La hauteur de remplissage $H_r = 0.8 H$.
- $K_s = 70$.
- $I = 1\%$.

Dans ce schéma :

- B : largeur nette du cadre (m).
- H : hauteur nette (m).
- $0.8H$: hauteur de remplissage (m).

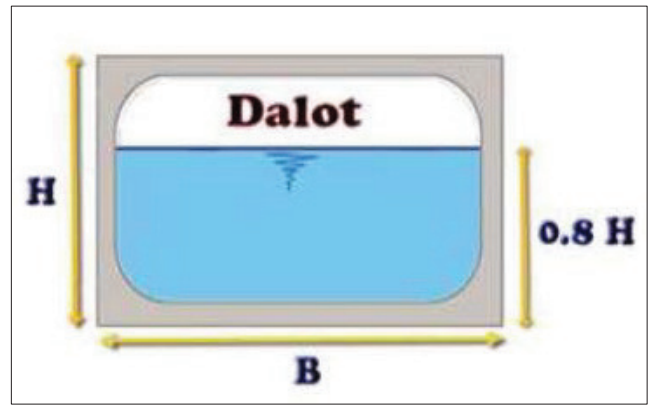


Figure VI 3: dimensions du dalot

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

On utilisant la formule de Manning –Strickler :

$$Q = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \Rightarrow Q = K_s \times (0.8 H \times B) \left(\frac{0.8 \times H \times B}{B + 1.6 H} \right)^{2/3} I^{1/2}$$

$$\Rightarrow Q = K_s (0.8 H \times B)^{5/3} \frac{1}{(1.6 H + B)^{2/3}} I^{1/2} \Rightarrow K_s (0.8 H \times B)^{5/3} I^{1/2} = Q (1.6 H + B)^{2/3}$$

$$\Rightarrow (0.8 H \times B)^{5/3} = \frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} (1.6 H + B)^{2/3}$$

$$\Rightarrow H = \frac{1}{0.8 B} \left(\frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} \right)^{3/5} (1.6 H + B)^{2/5} = H_0 \times \frac{(1.6 H + B)^{2/5}}{0.8 B}$$

$$\text{Avec } [H_0 = \left(\frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} \right)^{3/5}]$$

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° 9 (PK 26 +403) :

$$Q_a = 15.59 \text{ m}^3/\text{s}, \quad \text{Pente } I = 1\%, \quad K_s = 70, \quad H_0 = 1.59.$$

- Après le calcul itératif, les valeurs retenues pour cette section (dalot) sont :

$$H = 2 \text{ m} ; B = 2 \text{ m}$$

$$\Rightarrow Q_c = 70 \times 3.2 \times 0.62^{2/3} \times 0.1^{1/2} = 16.21 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Tableau VII.8: La vérification hydraulique des ouvrages d'assainissement transversaux.

PK	Ouvrages Prévus	h (m)	B (m)	S_m (m ²)	P_m (m)	R_h (m)	Q_a (m ³ /s)	Q_c (m ³ /s)	Q_{ps} (m ³ /s)	V_{ps} (m/s)
26+403	Dalot	2	2	3.2	5.2	0.62	15.59	16.21	21.36	5.34

- **Vérification de la condition pour assurer un écoulement fluvial:**

$$h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g B^2}} = \sqrt[3]{\frac{16.11^2}{9.8 \cdot 2^2}} = 1.87 \text{ m} < H = 2\text{m} \Rightarrow \text{la condition est vérifiée.}$$

- **Vérification les conditions d'auto curage :**

1^{ère} condition :

Pour $Q_a/Q_{ps} = R_q = 0.1$ il faut $V_{écoulement} > 0.6 \text{ m/s}$.

$$R_q = 0.1 \Rightarrow R_v = 0.638 = \frac{V}{V_{PS}} \Rightarrow V = R_v \times V_{ps} = 0.638 \times 5.34 = 3.4 \text{ m/s}$$

$V = 3.4 \text{ m/s} > 0.6 \text{ m/s} \Rightarrow$ la condition est vérifiée.

2^{ème} condition :

Pour $Q_a/Q_{ps} = R_q = 0.01$ il faut $V_{écoulement} > 0.3 \text{ m/s}$

$$R_q = 0.01 \Rightarrow R_v = 0.315 = \frac{V}{V_{PS}} \Rightarrow V = R_v \times V_{ps} = 0.315 \times 5.34 = 1.68 \text{ m/s.}$$

$V = 1.68 \text{ m/s} > 0.3 \text{ m/s} \Rightarrow$ la condition est vérifiée.

3^{ème} condition :

Le taux de remplissage en cas de débit d'apport $R_h > 0.8$

$$R_q = \frac{Q_a}{Q_{PS}} = \frac{15.59}{21.36} = 0.72 \Rightarrow R_h = 0.7920 < 0.8 \Rightarrow \text{la condition est vérifiée.}$$

\Rightarrow le dalot est bien dimensionné.

Dans le tableau suivant nous présentons les dimensions retenues des ouvrages d'assainissement traversant le projet:

Tableau VII. 9:Dimensions des ouvrages d'assainissement traversant le projet.

N°BV	PK	Qa (m ³ /s)	Nbr cellules	H (m)	B (m)	Sm (m ²)	Pm (m)	R (m)	I (%)	Qc (m ³ /s)	Type d'ouvrage	Dimension Final (H× B)
1	19+210	22.58	1	2	3	4.8	6.2	0.77	1	28.33	dalot	1(2m× 3m)
2	19+950	12.49	1	2	2	3.2	5.2	0.61	1	16.21	dalot	1(2m× 2m)
3	20+422	81.46	1	3.5	4	11.2	9.6	1.17	1	86.89	dalot	(3.5m× 4m)
4	22+260	68.37	Ouvrage d'art (pont)									
5	23+140	53.22	Ouvrage d'art (pont)									
6	24+650	21.36	1	2	3	4.8	6.2	0.77	1	28.33	dalot	1(2m× 3m)
7	25+198	25.90	1	2.5	3	6	7	0.86	1	37.9	dalot	(2.5m× 3m)
8	25+665	61.51	1	3	4	9.6	8.8	1.09	1	71.21	dalot	1(3m× 4m)
9	26+403	15.21	1	2	2	3.2	5.2	0.61	1	16.21	dalot	1(2m× 2m)
10	26+753	41.13	1	3	3.5	8.4	8.6	0.98	1	57.88	dalot	1(3m× 3m)
11	27+742	34.93	1	2.5	3	6	7	0.86	1	37.9	dalot	(2.5m× 3m)

VII.2.3. DRAINAGE LONGITUDINAL :

VII.2.3.1. Dimensionnement des fossés :

Ils assurent la collecte et l'évacuation des ruissellements superficiels générés par la plateforme ferroviaire, les bermes et les talus vers les exutoires naturels ou les ouvrages d'assainissement transversaux, ceci est en fonction des pentes du fossé et de la nature des matériaux du sol support.

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

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

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale tel qu'il est illustré dans la figure ci-dessous :

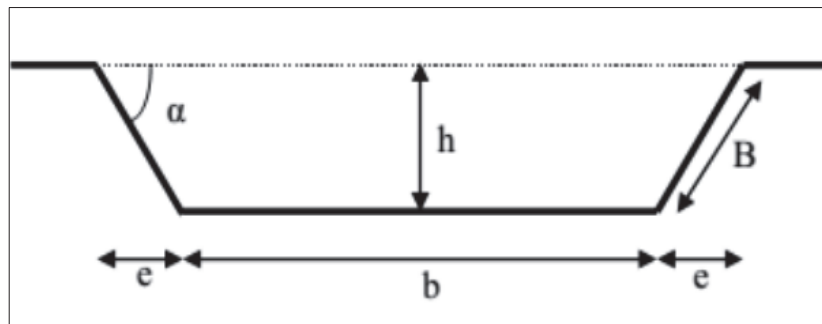


Figure VII. 4: fosse de forme trapézoïdale

Avec :

- La surface mouillée : $S_m = (b+z \times h) \times h$ (avec z la pente des berges)
- Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h \sqrt{1+z^2}$
- La hauteur maximale admissible de remplissage pour l'écoulement dans les fossés est la hauteur totale.
- Les dimensions du fossé sont obtenues, en écrivant l'égalité du débit d'apport et le débit de saturation $Q_s=Q_{apport}$

$$Q = K_S \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} = K_S \times ((b+z \times h) \times h) \times \left(\frac{(b+z \times h) \times h}{b + 2h \sqrt{1+z^2}} \right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

Pour la détermination des dimensions des fossés on va faire des itérations.

VII.2.3.1.1. Applications au projet :

Tableau VII. 10 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.

		Cas du déblai	Cas du remblai
		Le cas le plus défavorable : - Longueur : 2200m. - Hauteur (max) :12.46m.	Le cas le plus défavorable : -Longueur : 1550m. - Hauteur (max) :8.55m.
Plateforme	C	0.9	0.9
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(Km ²)	0.01496	0.01054
	Tc(h)	0.078	0.065
	I (mm/h)	249.16	281.53
	Q (m ³ /s)	0.9318	0.741
Les bermes	C	0.7	0.7
	P (m/m)	0.04	0.04
	A(Km ²)	0.00066	0.000465
	Tc(h)	0.016	0.014
	I (mm/h)	720	787.54
	Q (m ³ /s)	0.0924	0.0712
Les talus	C	0.7	0.7
	P (m/m)	0.67	0.67
	A(Km ²)	0.0283942	0.01476678
	Tc(h)	0.262	0.019
	I (mm/h)	511.13	641.82
	Q (m ³ /s)	2.82	1.84
Qa (m³/s)		Q_{pr} + Q_b + Q_t = 3.844 m³/s	Q_{pr} + Q_b + Q_t = 2.65 m³/s

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet sont :

- **En remblai** : un fossé de dimensions : h=0.55m, b=0.5m.
- **En déblai** : un fossé de dimensions : h=0.55m, b=0.5m.

Donc Pour la totalité du tracé nous prenons un fossé de : h=0.55m, b=0.5m.

VII.2.4. Calcul hydraulique des ponts :

Dans cette partie, on va présenter un calcul approximatif de gabarit nécessaire (section mouillée minimale à respecter) pour faire passer le débit voulu sachant que le débit de vérification est de **1.5 fois** le débit donné par l'étude hydrologique (guide SETRA 2006), finalement, on déduit la hauteur du pont par rapport au fond de l'oued toute on respectant un tirant d'eau minimum de **1.5 m**.

Le calcul se fait par l'équation de Manning-Strickler :

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

VII.2.4.1. Application au projet :

Tenant compte du pont qui traverse Oued hachem au pk 22+260 :

$$Q_{100} = 68.37 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow Q_{\text{vérification}} = 1.5 \times Q_{100} = 1.5 \times 68.37 = 102.55 \text{ m}^3/\text{s}$$

Avec :

- $I = 0.0437$.
- $K_s = 30$.
- Largeur d'oued est $B = 3.3 \text{ m}$.

$$Q = K_s \times S_m \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \Rightarrow Q = K_s \times (0.8 H \times B) \left(\frac{0.8 H \times B}{B + 1.6 H} \right)^{2/3} I^{1/2}$$

$$\Rightarrow Q = K_s (0.8 H \times B)^{5/3} \frac{1}{(1.6 H + B)^{2/3}} I^{1/2} \Rightarrow K_s (0.8 H \times B)^{5/3} I^{1/2} = Q (1.6 H + B)^{2/3}$$

$$\Rightarrow (0.8 H \times B)^{5/3} = \frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} (1.6 H + B)^{2/3}$$

$$\Rightarrow H = \frac{1}{0.8 B} \left(\frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} \right)^{3/5} (1.6 H + B)^{2/5} = H_0 \times \frac{(1.6 H + B)^{2/5}}{0.8 B}$$

La résolution de cette équation se fait par la méthode itérative :

On trouve $H = 8.3 \text{ m}$.

Donc la hauteur minimale du pont par rapport au fond du oued est $H_{\text{pont}} = 8.3 + 1.5 = 9.8 \text{ m}$.

Le calcul hydraulique des ponts est présenté dans le tableau ci-après :

Tableau VII. 11: Calcul hydraulique des ponts de tracé étudié

PK	I	KS	largueur de fond d'oued(m)	Q100 (m ³ /s)	Qvérification (m ³ /s)	hauteur du pont(m)
22+260	0.0437	30	3.3	68.37	102.55	9.8
23+140	0.0396	30	2.8	53.22	79.83	8.02

VII.2.5. CONCLUSION :

D'après l'étude hydrologique et hydraulique précédente, on déduit que le tracé étudié comporte un volet des travaux très important en termes des ouvrages de drainage longitudinal et transversal :

- Deux (2) Pont sur oued.
- Neuf (9) ouvrages hydrauliques (dalot).
- Un fossé de forme trapézoïdale ($h=0.55\text{m}$, $b=0.5\text{m}$).sur linéaire de 10 km dans les deux cotés à droite et à gauche.

CHAPITRE VIII : ETUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

1. ETUDE GÉOLOGIQUE :

1.1.introduction.

**1.2.contexte géologique général de la
région.**

**1.3.contexte géologique de notre
tronçon.**

1.4.conclusion

2. ETUDE GÉOTECHNIQUE :

**2.1 campagne de reconnaissance
géotechnique.**

2.2.essais in situ.

2.3.essais en laboratoire.

2.4.classification des sols.

2.5.conclusion

VIII.1. ETUDE GÉOLOGIQUE :

VIII.1.1. INTRODUCTION :

L'étude géologique est nécessaire dans tout projet, elle nous permet de déterminer les caractéristiques géologiques (stratégiques et structurelles et hydrauliques) du site retenu pour le projet et les facteurs de stabilité ou d'instabilité des assises géologiques, ainsi de trouver les relations entre les facteurs géologiques, hydrauliques et géotechniques et leurs répercussions sur l'ouvrage projeté. Sans oublier la distinction entre les sites des matériaux susceptibles d'être réutilisés à ceux qui sont médiocres.

VIII.1.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL DE LA RÉGION :

La ligne ferroviaire étudiée « **EL AFFROUN – port centre Cherchell (TIPAZA)** » fait partie de l'Atlas tellien, elle se situe entre les piémonts de l'Atlas Blidéen et les massifs de Meliana au Sud et le littoral au Nord.

Le tracé traverse :

- la partie occidentale de la plaine de la Mitidja.
- la plaine alluviale d'Oued Nador.
- la ride du Sahel et la vallée de l'Oued Hachem.

VIII.1.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE NOTRE TRONCON :

Le projet de la ligne ferroviaire « **EL AFFROUN – Port Centre Cherchell (TIPAZA)** » dont sa partie située entre PK 19+000 et PK 29+000 traverse la vallée d'Oued Nador qui se jette dans la Mer au niveau de Tipaza, d'un côté et de l'autre de la vallée on y trouve les formations du Sahel qui se caractérisent par :

- Sables argileux plus au moins rubéfiés du Villafranchien.
- Alluvions anciennes du Tyrrhénien.
- Faciès argileux du Pliocène supérieur.
- Faciès calcaire au calcaro-gréseux avec ou sans galets du Pliocène supérieur.
- Faciès calcaire du Miocène moyen.

En analysant les cartes géologiques (échelle 1/50000 ème), il a été mis en évidence les formations suivantes :

- Du Pk 19+000 au Pk 19+200 (a²) : Des formations actuelles, constituées par des alluvions récentes.
- Du Pk 19+200 au Pk 20+320 (q¹) : Des formations quaternaires présentées par des alluvions anciennes des vallées.
- Du Pk 20+320 au Pk 23+040 (a²) : Des formations actuelles, constituées par des alluvions récentes.
- Du Pk 23+040 au Pk 23+500 (P^{2C}) : Des formations pliocènes (Pliocène supérieur), caractérisées par une formation faciès calcaire.
- Du Pk 23+500 au Pk 24+540 (a²) : Des formations actuelles, constituées par des alluvions récentes.
- Du Pk 24+540 au Pk 24+720 (P^{2C}) : Des formations pliocènes (Pliocène supérieur), caractérisées par une formation faciès calcaire.

- Du Pk 24+720 au Pk 25+200 (a²) : Des formations actuelles, constituées par des alluvions récentes.
- Du Pk 25+200 au Pk 26+020 (as) : Des formations, du Villafranchien aux temps actuels, constituées par des sables argileux, plus ou moins rubéfiés.
- Du Pk 26+020 au Pk 26+140 (P^{2L}) : Des formations pliocènes (Pliocène supérieur), caractérisées par une formation calcaire à lithothamniées.
- Du Pk 26+140 au Pk 26+260 (as) : Des formations, du Villafranchien aux temps actuels, constituées par des sables argileux, plus ou moins rubéfiés.
- Du Pk 26+260 au Pk 27+990 (P^{2L}) : Des formations pliocènes (Pliocène supérieur), caractérisées par une formation calcaire à lithothamniées.
- Du Pk 27+990 au Pk 29+000 (P^{2C}) : Des formations pliocènes (Pliocène supérieur), caractérisées par une formation faciès calcaire.

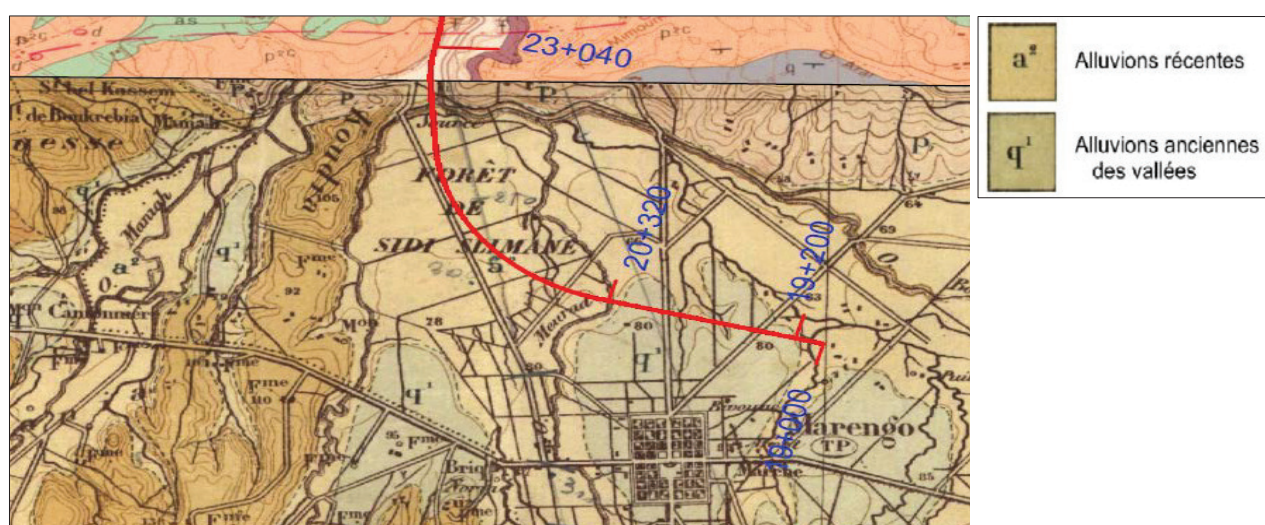


Figure VIII. 1: Extrait de la carte géologique du Hadjout 1/50000 ème

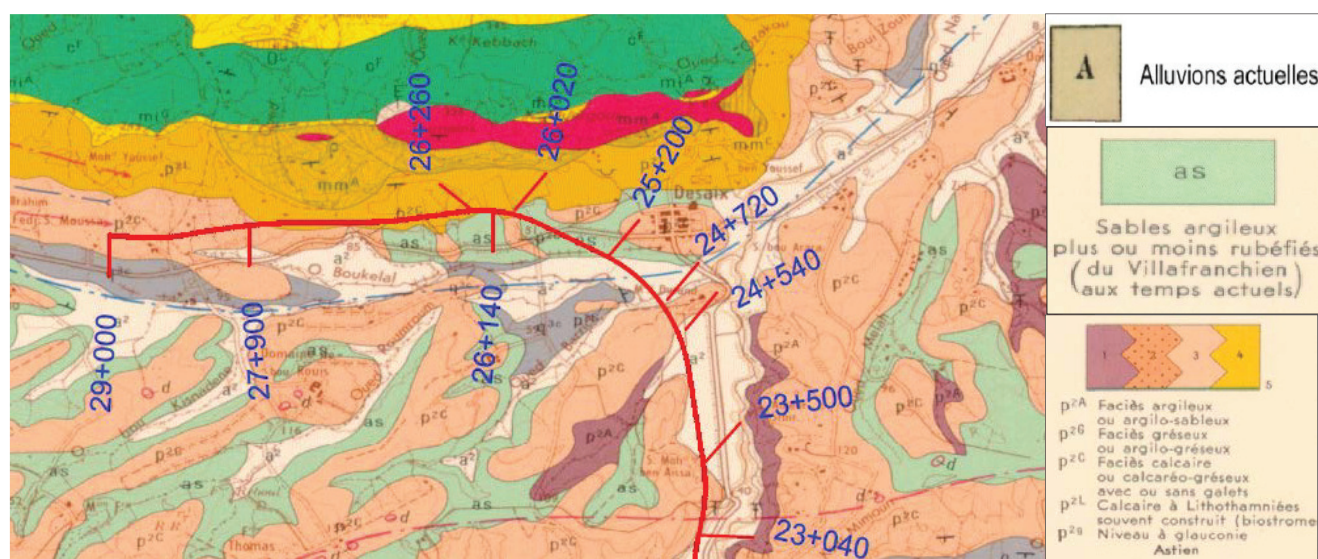


Figure VIII. 2: Extrait de la carte géologique de Tipaza au 1/50000 ème.

VIII.1.4. CONCLUSION :

À l'échelle stratigraphique, les grands ensemble litho-stratigraphiques dans le secteur étudié, sont représentés par :

- **Les alluvions :**

Les alluvions sont un dépôt de sédiments d'un cours d'eau constitué, selon les régions et la force des courants, de galets, de graviers, de boues et de limons. Dans certaines vallées ces alluvions constituent une couche géologique qui peut contenir de l'eau sous forme de nappe phréatique ou d'aquifère.

- **Pliocène Supérieur:**

Dépôts continentaux de conglomérats détritiques grossiers ferrugineux, parfois calcaires pélitomorphiques et tufs calcaires. La puissance ne dépasse pas 20 mètres.

VIII.2. ETUDE GÉOTECHNIQUE :

L'étude géotechnique consiste à déterminer les caractéristiques physico-mécaniques du sol devant accueillir le projet étudié. Pour cela, une campagne de reconnaissance géotechnique a été réalisée tout le long du tracé de la voie ferrée ainsi que les zones d'emprunt.

VIII.2.1. CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE :

L'analyse du tracé en plan, profil en long, profil en travers et l'aperçu géologique ont permis d'établir un programme de reconnaissance, la liste des essais bien illustrés dans les tableaux suivants :

VIII.2.1.1. Essais in situ :

Tableau VIII. 1 : programme de reconnaissance géotechnique (essai in situ).

Essai in situ	Nbr	PK	Localisation-Ouvrage	Objectifs
Sondages carottés	8	19+250	La gare (Hadjout) + Passage Supérieur (PK 19+240)	Permettant de caractériser à la fois la nature et l'état des sols Et déterminer la description lithologique
		20+050	La gare (Hadjout) + Passage Supérieur (PK 20+060)	
		22+275	Ouvrage ferroviaire (PK 22+267)	
		22+900	Passage Supérieur (PK 22+860)	
		23+050	Ouvrage ferroviaire (PK 23+103) + Bifurcation (Nador) + zones de remblai (étude de la stabilité)	
		26+000	Zones de remblai (étude de la stabilité) + Passage Inferieure (PK 26+000)	
		28+525	Zones de déblai (étude de la stabilité) + Passage Supérieure (PK)	

Les puits de reconnaissance	6	19+600	Ouvrage hydraulique + plateforme	Déterminer la portance du sol et caractériser les propriétés géotechniques des matériaux rencontrés.
		21+100	Plateforme + La gare (Hadjout)	
		22+800	Zones de déblai (étude de la stabilité) + plateforme	
		24+624	Bifurcation (Nador)	
		27+125	Zones de déblai (étude de la stabilité) + plateforme	
		28+150	plateforme	
Essais au pénétromètre dynamique lourd	4	21+100	La gare (Hadjout) + plateforme	Estimer une caractéristique de portance la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol
		22+750	Passage Supérieure (PK 22+860) + plateforme	
		24+625	Bifurcation (Nador) + ouvrage hydraulique + plateforme	
		27+125	Ouvrage hydraulique + plateforme + Passage Supérieure (PK 27+ 230)	
Sondages pressiométriques	7	19+235	La gare (Hadjout) + Ouvrage hydraulique + Passage Supérieure (PK 19+240)	Effectuer les calculs de fondation
		20+050	La gare (Hadjout) + Passage Supérieure (PK 20+060)	
		22+275	Ouvrage ferroviaire (PK 22+267)	
		22+900	Passage Supérieure (PK 22+860)	
		23+100	Zones de remblai (étude de la stabilité) + Bifurcation (Nador) + Vérification du tassement + Ouvrage ferroviaire (PK 23+103)	
		26+000	Zones de remblai (étude de la stabilité) + Passage Inferieure (PK 26+000) + Vérification du tassement	
		28+525	Passage Supérieure (PK)	

VIII.2.1.2. Essais au laboratoire :

Tableau VIII. 2: programme de reconnaissance géotechnique (Essais au laboratoire) ..

Essais au laboratoire	Objectifs
Analyse granulométrique	classification des sols Et dimensionnement de la plateforme
Valeur au bleu de méthylène	
Essai Proctor modifié -	

Détermination de la teneur en eau	Déterminations Les paramètres mécanique Pour étude stabilisation des remblais et déblais. Etude tassement des sols
Essai de compressibilité à l'oedomètre	
Essai de cisaillement rectiligne à la boîte	

VIII.2.2. ESSAIS IN SITU :

VIII.2.2.1. Les Sondages Carottés :

Cet essai permet d'observer la succession des couches de sol et les éventuelles venues d'eau. A la différence d'un sondage destructif ou à la tarière, le sondage carotté permet de conserver une « image » de la succession des couches, de déterminer la nature des formations en place et de récupérer des échantillons intacts qui ont été transmis au laboratoire pour subir les différents essais physiques et mécaniques.



Figure VIII. 3:photos de sondage SC11.1-AT (source : rapport géotechnique).[9]

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

Tableau VIII. 3:Implantation et description des sondages carottés.

sondage	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
SC08-AT	19+250	0.0 – 1.5	Terre végétale.
		1.5 – 4.5	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
		4.5 – 5.25	Passage de sable limoneuse
		5.25 – 15	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
SC09-AT	20+050	0.0 – 1.0	Terre végétale.
		1.0 – 6.0	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
		6.0 – 6.4	Dépôt alluvionnaire constitué de sable
		6.4 - 15	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SC09-AT	22+275	0.0 – 3.0	Terre végétale.
		3.0 – 6.0	Argile limoneuse brun foncé à noire.
		6.0 – 9.5	Sable fin.

		9.5 – 12.7	grès très-compacte
		12.7 – 20.0	Sable fin.
SC11.1-AT	23+050	0.00 – 0.50	Terre végétale
		50 – 20.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SC11.2-AT	23+050	0.00 – 1.50	Terre végétale
		1.50 – 20.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre.
SC12-AT	26+000	0.00 – 0.50	Terre végétale
		0.50 – 5.50	Argile noire.
		5.50 – 8.00	Argile sableuse
		8.00 – 15.00	Grès dure a fragmenté avec des sables
SC13-AT	27+625	0.00 – 1.00	Terre végétale.
		1.00 – 8.50	Argile sableuse
		8.50 – 9.50	Passage des grès.
		9.50 – 15.00	Argile sableuse grès
SC14-AT	28+525	0.00 – 0.50	Terre végétale.
		0.50 – 2.00	Argile noire.
		2.00 – 9.50	Grès dure.
		9.50 – 15.00	Passage gréseux avec sables.

VIII.2.2.2. Essai au pénétromètre dynamique lourd type B (NF P 94-114) :

Pénétromètre dynamique lourd est un appareil capable de déterminer directement une résistance limite de sol, dits par abréviation PDL.

Un sondage au pénétromètre dynamique consiste à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui-même. La résistance de pointe donnée par le sol (R_p) est estimée en fonction de ce nombre de coups par la formule dite « des Hollandais ».

L'objet essentiel de ces essais au pénétromètre dynamique lourd effectués est de déterminer l'épaisseur de la couche de recouvrement et de déduire la résistance des différentes couches.

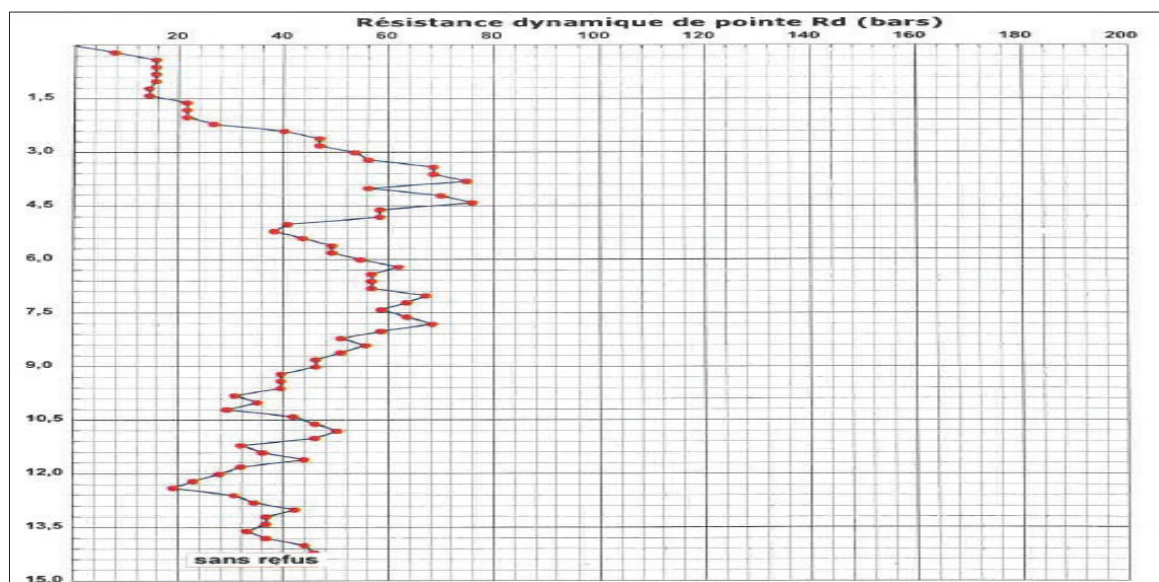


Figure VIII. 4: Profil d'essai au pénétromètre dynamique lourd (PK 21+150).[9]

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

Tableau VIII. 4 : Récapitulation des résultats du PDL

Essai	PK	Profondeur ou refus (m)	La résistance de pointe Rp (bar)	
			R _P MIN	R _P MAX
PDL-09-AT	21+100	14.5 sans refus	8	76
PDL-10-AT	22+750	14.5 sans refus	8	200
PDL11-AT	24+625	Refus à 8.00	8	88
			92	186
PDL12-AT	27+125	Refus à 8.40	12	152

VIII.2.2.3. Les puits de reconnaissance :

Cet essai permet une exploration visuelle des couches supérieures, six (06) puits ont été exécutés.

Les puits sont réalisés à l'aide d'un Rétro - chargeur tout au long du tracé (endroits accessibles) sur une profondeur de 3.50 m.



Figure VIII. 5: photos puit de reconnaissance PU17-AT (source : rapport géotechnique). [9]

Le tableau ci-après présente des extraits des résultats obtenus le long du tronçon étudié :

Tableau VIII. 5 : localisation des puits de reconnaissance et description lithologique

puits de reconnaissance	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
PU15-AT	19+600	0.00 - 0.50	Terre végétale.
		0.50 - 3.50	Argile limoneuse de couleur jaunâtre.
PU16-AT	21+100	0.00 – 1.00	Terre végétale.
		1.00 – 3.50	Argile de couleur brune.
PU17-AT	22+800	0.0 – 0.50	Terre végétale
		0.50 – 3.50	Argile de couleur brune.
PU18-AT	24+624	0.00 – 1.0	Terre végétale
		1.00 – 3.50	Limon argileux.

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

Tableau VIII. 6:Implantation et description des sondages préssiométrique.

puits de reconnaissance	PK	Profondeur(m)	Description lithologique
SP-08	19+235	0.00 - 1.50	Terre végétale.
		1.50 – 20.0	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre graveleuse légèrement sableuse
SP - 09	21+100	0.00 – 1.00	Terre végétale.
		1.00 – 6.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
		6.00 – 13	Dépôt alluvionnaire constitué de sable moyen a grossier avec gravies et peu de galets dans une matrice argileuse
		13.00 – 20	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SP-10	22+275	0.0 – 3.00	Terre végétale
		3.00 – 6.00	Argile limoneuse
		6.00 – 20	Grès tendre
SP – 11	22+900	0.00 – 1.00	Terre végétale
		1.00 – 20	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SP - 12	23+100	0.00 – 1.00	Terre végétale
		1.00 – 20.00	Argile limoneuse brunâtre a vert jaunâtre
SP - 13	26+000	0.00 – 1.00	Terre végétale
		1.00 – 5.50	argile noire
		5.50 – 8.00	argile sableuse
		8.00 – 20.00	Grès dure a fragmente avec des sables
SP – 14	28+525	0.00 – 1.00	Terre végétale
		1.00 – 2.00	argile noire
		2.00 – 9.5	Grès dure
		9.50 – 12.00	passage gréseux avec sables
		12.00 – 20.00	argile marneuse compacte

VIII.2.3. ESSAIS AU LABORATOIRE :

Tous les échantillons prélevés dans les sondages et les puits de reconnaissance durant la campagne de reconnaissance, ont été transportés au niveau du laboratoire. Les essais ont été exécutés sur des échantillons intacts ou remaniés, ont subi des analyses pour une identification Physico-chimique, et la détermination des caractéristiques mécaniques du sol étudié.

VIII.2.3.1. Essais d'indentification :

▪ **Analyse granulométrique (NF P94-056) / (NF P94-057):**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de taille différente dans le sol. Elle s'effectue au laboratoire par :

- Le tamisage : pour les particules à dimension supérieure à 80 μm .
- Analyse sédimentométrique: pour les particules a dimension inférieure 80 μm .

▪ **Essai Proctor modifié (NF P94-093) :**

L'essai Proctor est un essai qui permet de déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale, On appelle optimum Proctor, la teneur en eau (ω) pour laquelle le sol atteint, pour une énergie de compactage donné, un poids volumique maximal.

VIII.2.3.2. Essais physiques :

▪ **Détermination de la teneur en eau (NF P94-050) :**

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique d'eau dans le sol étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 100 grammes de sol sec. Cette information importante permettra de décider du traitement ou de compactage à apporter au sol.

VIII.2.3.3. Analyse chimique :

▪ **Valeur au bleu de méthylène (NF P94-068) :**

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à absorber du bleu de méthylène. Cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments. (Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, les matière organiques et hydroxydes de fer).

VIII.2.3.4. Essais mécaniques :

▪ **Essai de compressibilité à l'oedomètre (XP P94-090-1) :**

L'essai œdométrique permet d'évaluer l'amplitude de tassement des ouvrages ainsi que son évolution dans le temps. Il consiste à :

- Placé le sol dans une enveloppe rigide.
- Exerce une pression variable à l'aide d'un piston.
- Mesure les affaissements observés. C'est la relation $\sigma = f(\epsilon)$.

Tableau VIII. 7 : classification du sol en fonction de la compressibilité (XP P 94-090-1)

C_c	Compressibilité
< 0.02	Incompressible
0.02 à 0.05	Très peu compressible
0.05 à 0.10	Peu compressible
0.10 à 0.20	Moyenne compressible
0.20 à 0.30	Assez fort compressible
0.30 à 0.40	Très compressible
> 0.4	Extrêmement compressible

▪ **Essai de cisaillement rectiligne à la boîte (NF P 94-071-1) :**

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette sous l'effort (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai,
- Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N) un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δl à vitesse constante,
- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.

Le but de l'essai est d'obtenir les paramètres (C ; φ) pour traiter les problèmes d'instabilités (rupture et glissement) due à la réalisation des remblais sur sols compressibles.

VIII.2.3.5. Résultats des essais au laboratoire :

Les résultats des essais de laboratoire pour les échantillons prélevés des sondages carottés et des puits de reconnaissance (Analyse granulométrique, Essai Proctor modifié, Détermination de la teneur en eau, Essais au bleu Méthylène).

Tableau VIII.8 : Résultats des essais au laboratoire (1).[9]

Puits de reconnaissance	PK	Teneur en eau (%)	Essai Proctor		VBS	Analyse Granulométrique.		
			γ_d (t/m ³)	W_{opt} (%)		D_{max} (mm)	< 2 mm (%)	< 80 μ (%)
PU15-AT	19+600	13.83	1.88	15	2.28	6.3	91.97	63.86
PU16-AT	21+100	16.51	1.65	20.9	1.65	6.3	98.02	94.14
PU17-AT	22+800	26.3	1.67	19.7	1.67	6.3	99.84	99.26
PU18-AT	24+624	17.68	1.61	15.2	1.61	5	99.87	97.14
PU19-AT	27+125	14.48	1.81	14.7	1.81	6.3	32.29	17.49
PU20-AT	28+150	15.56	1.77	15.2	1.77	6.3	92.24	48.06

Légende :

γ_d : Densité sèche (t/m³) ; W_{opt} : Teneur en eau optimale (%) ; VBS : valeur de bleu de méthylène ; D_{max} : diamètre maximale (mm) ; < 2 mm (%) : Pourcentage des passants inférieure à 2 mm ; < 80 μ (%) : Pourcentage des passants inférieurs à 80 μ .

Tableau VIII.9 : Résultats des essais au laboratoire (2).[9]

sondages carottée	PK	Profondeur (m)	compressibilité à l'oedomètre		Essai de cisaillement	
			C _C (%)	Compressibilité	C' _F (kpa)	φ' _F (degré)
SC08-AT	19+250	5 m - 5.5 m	15.95	Moyenne compressible	21.90	22.29
		9 m - 9.5 m	13.62	Moyenne compressible	86.24	14.44
SC09-AT	20+050	5 m - 5.5 m	10.30	Moyenne compressible	39.22	12.54
		7 m - 7.5 m	11.96	Moyenne compressible	78.60	10.76
SC11.1-AT	23+050	3.6 m - 3.8m	17.94	Moyenne compressible	12.9	25.06
		7.3 m - 7.7 m	17.27	Moyenne compressible	44.99	9.64
SC11.2-AT	23+050	3.1 m - 3.5m	13.29	Moyenne compressible	37.52	9.78
		9.2m – 9.5 m	13.29	Moyenne compressible	20.88	19.29

Légende :

C_C : Indice de compression; C'_F : cohésion (état finale) ; φ'_F : angle de frottement interne (état finale).

VIII.2.4. CLASSIFICATION DES SOLS :

VIII.2.4.1. Applications au projet :

Tenant compte de l'essai in situ (PU 15 –AT) PK 19+600 :

▪ **Classifications selon GTR :**

- **Classe des sols :**

$D_{max} = 6.3 \text{ mm} < 50\text{mm} \Rightarrow$ donc classe de ce sol est A ou B ou D.

Le passant à 80µm est de 63.86 % \Rightarrow alors la sous classe de sol sera: A1 ou A2 ou A3 ou A4.

$VBS = 2.2 < 2.5 \Rightarrow$ donc la sous classe sera A1.

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

$0.9 W_{OPN} = 0.9 \times 15 = 13.5 < W_N = 13.83 < 1.1 W_{OPN} = 1.1 \times 15 = 16.5$

Donc selon classifications GTR le sol est de classe : **A1m**

▪ **Classification selon UIC (719 R):**

Le pourcentage des fines est égal à 63.86 % \Rightarrow Sols comportant plus de 40 % de fines

\Rightarrow Alors le sol est de classe Q_{S1} (Sols médiocres)

Résultats de classification des sols représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII.10:Résultats de classification des sols

Essai in situ	PK	Nature de sols	Classification de la Norme NF P 11 300	Classe de Qualité des sols
PU15-AT	19+600	limon argileux	A _{1m}	QS1
PU16-AT	21+100	limon argilo sableux	A _{1s}	QS1
PU17-AT	22+800	limon argilo sableux	A _{1th}	QS0
PU18-AT	24+624	limon argileux	A _{1h}	QS0
PU19-AT	27+125	argile limoneuse graveleuse	C ₁ B _{6m}	QS1
PU20-AT	28+150	limon argileux	A _{1m}	QS1

VIII.2.5 CONCLUSION :

La réalisation des essais d'identifications et les essais mécaniques aux laboratoires sur plusieurs échantillons du sol prélevés de nombreuse profondeurs (jusqu'à 20m), nous ont permis de faire deux classifications du sol :

- Selon la classification GTR :

En général le sol est argileux (limon argileux, limon argilo sableux, argile limoneuse graveleuse)

- Selon la classification UIC719R :

La classe de qualité du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité QS1 (Sols médiocres)

CHAPITRE IX: DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE D'ASSISE

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. ETABLISSEMENT DE STRUCTURE D'ASSISE.**
- 3. LES CONSTITUANTS DE LA STRUCTURE D'ASSISES.**
- 4. DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES D'ASSISE.**
- 5. APPLICATION A NOTRE PROJET.**

IX.1. INTRODUCTION :

L'infrastructure de la voie ferrée ou la structure d'assise est la partie inférieure sur laquelle cette voie repose. Elle sert à répartir sur la plate-forme les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure. De plus elle contribue aux stabilisations longitudinales et latérales de la voie. Elle permet donc pour une large part d'assurer par leur nature et leur épaisseur le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue et drainage.

IX.2. ETABLISSEMENT DE STRUCTURE D'ASSISE :

Le projet d'une ligne nouvelle ne peut aboutir de façon économique et avec des garanties techniques suffisantes sans une bonne connaissance des sols et roches rencontrés. En générale il est procédé à des sondages pénétrométriques, à des forages et des essais en laboratoire, Il faut également s'assurer de la compatibilité des exigences techniques et de celle des contraintes d'environnement.

L'épaisseur et la nature des couches d'assises dépendent des facteurs suivants :

- Des caractéristiques globales des sols de la plateforme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel).
- des conditions climatiques du site.
- Du trafic (tonnage, charges, vitesse).
- De l'armement (profil du rail, nature et espacement des traverses).

IX.3. LES CONSTITUANTS DE LA STRUCTURE D'ASSISES :

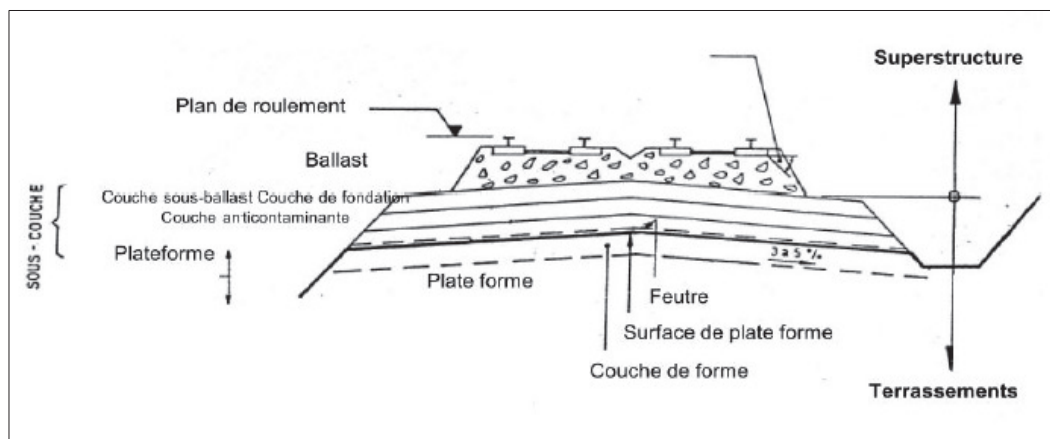


Figure IX. 1 : les différentes couches de la structure d'assises.[11]

IX.3.1. La couche de ballast :

On appelle ballast le lit de pierre ou de gravier sur lequel repose une voie de chemin de fer. La couche de ballaste est composée de pierres de granulométrie 25/50, de type plutonique (granite, diorite... etc.). Pour le nivellement on utilise du gravillon fin de 10 mm à 35 mm extrait des carrières appelées ballastières. Le ballast subit deux types d'usure :

- Contamination par des matériaux parasites (terre, herbes...).
- Tassement du ballaste sous les traverses, ce qui provoque une déformation verticale de la voie.

IX.3.1.1. Rôle du ballast :

La couche de ballast joue un rôle très important dans le système de la voie ballastée. Elle a différentes fonctions :

- Répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses.
- Amortir une part des vibrations mécaniques induites par les circulations.
- Assurer, en raison de sa granulométrie, le drainage rapide de la voie.
- Faciliter les opérations de maintenance et de mise en place de la voie.

IX.3.1.2. Caractéristique du ballast :

➤ **Caractéristiques mécaniques :**

▪ **La dureté :**

Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage. Les différents essais de résistance mécanique sont l'essai pour la résistance à la fragmentation « l'essai Los Angeles (LA) » et l'essai pour la résistance d'usure « l'essai d'usure micro Deval (MDE) ». Les valeurs de LA et MDE sont définies (selon document SNTF):

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles : $\leq 19 \%$.
- Résistance à l'usure Micro deval : $\leq 6 \%$.

▪ **Résistance à la compression :**

Les contraintes verticales transmises au ballast peuvent lui provoquer des ruptures, en effet, les granulats doivent présenter une résistance à la compression suffisante, elle est mesurée à partir d'un essai en laboratoire. la valeur de la résistance à la compression simple défini (selon document SNTF):

- Résistance à la compression simple (RC) $> 14 \text{ KN/cm}^2 > 14 \text{ KN/cm}^2$.

▪ **Résistance à l'attrition :**

Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux, l'essai qui caractérise la résistance à l'attrition est appelé L'essai DEVAL (Effectué d'une part à l'état sec 'DS' et d'autre part à l'état humide 'DH'), les valeurs de DS et DH sont définies (selon document SNTF):

- DS > 14 (pierres durs) et DH > 6 .
- DS > 12 (Pierres carbonatées).

➤ **Caractéristique physiques :**

- **Granulométrie :** On utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF).
- **Perméabilité :** Assurer le bon écoulement de l'eau de pluie.
- **Propreté des granulats :** le ballast doit être exempt des éléments fins et débris.
- **Densité :** Afin de mieux lester la voie et résister aux différents efforts auxquels elle est soumise.

- **Homogénéité des granulats** : Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement.

IX.3.1.3. Profil du ballast :

- L'épaisseur minimale e_b de ballast (mesuré sous traverse à l'aplomb du rail de la file basse) diffère selon l'intensité du trafic et le type des traverses.
- L'épaisseur recommandée de la couche de ballast sous le rail le plus bas, doit être au minimum de 30 cm ; l'inclinaison de talus du ballast (pente entre le bord inférieur et le bord supérieur de la couche de ballast) est d'environ 33°.
- L'expérience a montré que la résistance latérale de la voie aux efforts exercés par les essieux est essentiellement due à la valeur élevée du frottement de la face inférieure de la traverse sur le ballast, alors les profils sont dessinés avec une banquette de 0.80 m à 0.90 m, ce qui correspond à des butées de 0.25 m à 0.35 m.

IX.3.2. La sous-couche :

La sous couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche.

IX.3.2.1. Constitution de la sous-couche :

- **Une couche sous-ballast :**

Elle est constituée de grave propre bien graduée 0/31.50 mm, comportant au moins 30% de concassée, et compactée à 100% de l'Optimum Proctor Modifié (OPM). La dureté exigée est que le coefficient de dureté globale DRG doit être au moins égal à 12 ($DRG \geq 12$). Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses où elle sert de couche d'égalisation et où elle contribue à réduire la raideur de l'assise.

- **Une couche de fondation :**

Est une couche en grave propre bien graduée, compactée à 100 % OPN, et d'une épaisseur de 15 cm minimum, La dureté exigée est que le coefficient DRG doit être au moins égal à 10 ($DRG \geq 10$).

Cette couche permet la circulation des engins de chantier (la couche « sous-ballast » étant mise en œuvre en fin de chantier, lorsque les travaux de terrassement proprement dit sont tous achevés), n'est généralement pas nécessaire pour des substrats rocheux ou les sols de bonne qualité.

- **Une couche anti-contaminant :**

Elle est constituée de sable propre et complétée en outre par une feuille de feutre synthétique (géotextile).

IX.3.2.2. Les rôles de la sous-couche :

- Amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Anticontamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Protection de la plateforme contre l'érosion et le gel.
- Evacuation des eaux zénithales.

IX.3.2.3. Profil de la sous-couche :

- La sous-couche a une pente transversale (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de la plateforme (remblais).
- La pente transversale minimale est de l'ordre de 4%.
- Dans les zone de voie à forte dévers, on peut être amené à prévoir une pente transversale unique de la sous-couche pouvant aller jusqu'à 8%.

IX.3.3. La plateforme :

La plateforme c'est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. Le sol support dont la partie supérieure est compacté en couche de forme, qui a également une pente transversale de 4%.

La plate-forme est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai :

- **1 ère cas :** Dans le cas d'un remblai, cette couche de forme est d'un sol de qualité meilleure. Son taux de compactage est de 95% OPM.
- **2 ème cas :** dans le cas de déblais elle est obtenue par compactage à 95% OPM sur une épaisseur minimal de 30cm.

IX.4. DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES D'ASSISE :

IX.4.1. Classe de portance des plateformes :

La portance d'une plateforme dépend de la qualité du sol constituant le corps de remblai ou du sol en place en fond de déblai, et de la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsqu'elle existe).

On peut distinguer les trois classes de portance de plateforme suivantes :

- P1 : plateforme médiocre.
- P2 : plateforme moyenne.
- P3 : plateforme bonne.

Le tableau suivant permet de déterminer la classe portance de la plateforme et l'épaisseur de la couche de forme qui convient :

Tableau IX. 1:Classification de portance des plateformes selon UIC719.[11]

Classe de qualité de sol	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	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

IX.4.2. Différents types de structures d'assise :

Les structures d'assise types sont déterminées pour diverses classes de portance obtenues par les combinaisons possibles des qualités du sol support et des caractéristiques de la couche de forme ; on distingue trois types :

- Les structures normales.
- Les structures avec couche de forme rapportée.
- Les structures particulières.

IX.4.2.1. Les structures d'assise normales :

Ce sont les structures d'assise à mettre en œuvre lorsque la couche de forme est normale, c'est-à-dire de même nature que l'ouvrage en terre et améliorée par compactage sur une épaisseur minimale de 0.30 m.

Ce type de structures est généralement utilisé pour la réfection des voies anciennes ou pour la réalisation de voies nouvelles à proximité des lignes existantes car il nécessite un décaissement moins important que celui nécessaire à la mise en œuvre de structures d'assise avec couche de forme rapportée.

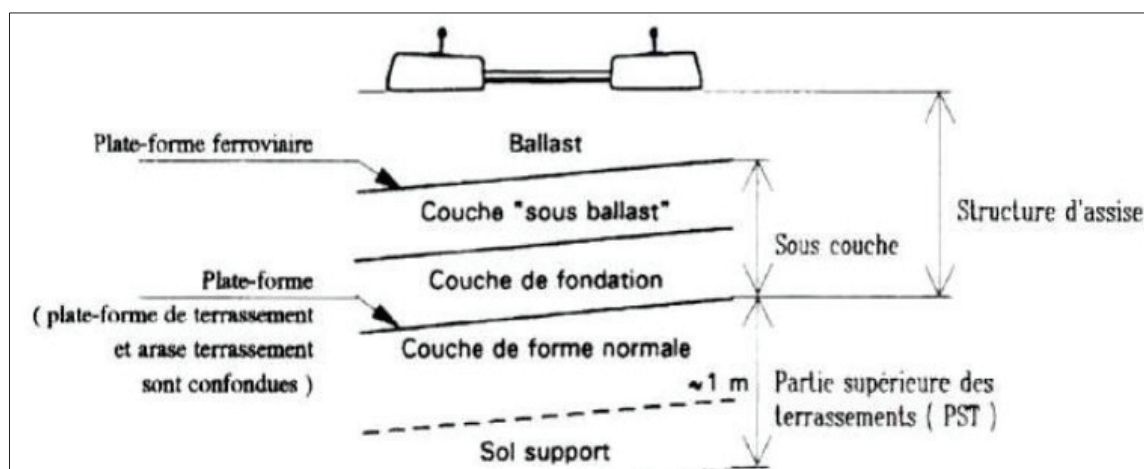


Figure IX. 2 : Schéma d'une structure d'assise normale.[11]

IX.4.2.2. Les structures d'assise avec couche de forme rapportée :

Ces structures comportent une couche de forme en matériaux de meilleure qualité que ceux constituant l'ouvrage en terre.

Cette technique est mieux adaptée à la réalisation de grands travaux car elle permet la circulation du trafic de chantier. Un soin particulier doit être apporté à la réalisation de l'arase terrassement sur laquelle sera mise en œuvre la couche de forme.

Pour des lignes nouvelles parcourues à grandes vitesses, on recherche généralement par cette technique à obtenir une plateforme de classe de portance P3.

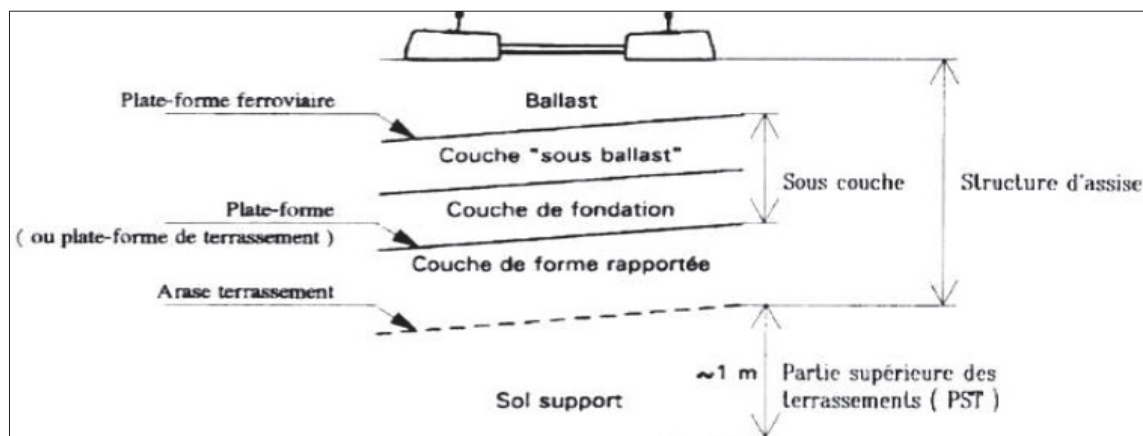


Figure IX. 3:Schéma d'une structure d'assise avec une couche de forme rapportée.[11]

IX.4.2.3. Structures particulières :

Dans la construction de lignes nouvelles, une géo-membrane peut être utilisée pour protéger de l'action des eaux de pluies des plateformes sensibles à l'eau.

Pour être efficace, cette technique nécessite de bonnes conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales ; il faut alors apporter un soin particulier au rabattement et à la collecte des eaux de la nappe ou de percolations naturelles, pour éviter que celles-ci soient piégées sous la géo-membrane, il est également prudent d'aménager en plus de ces dispositifs une couche drainante sous la géo-membrane.

IX.4.3. Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

En raison de la nature du sol support de la ligne étudiée (argileux), on a adopté une structure avec une couche de forme rapportée ; la qualité de la plateforme visée est de classe P2.

On a utilisé la fiche UIC719R pour la détermination de l'épaisseur minimale (en m), la formule de calcul est donnée comme suite :

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

Tel que :

e : L'épaisseur de la couche d'assise « e = épaisseur du ballast+ épaisseur du sous couche »

Dépend des facteurs suivants :

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- a : facteur dépendant de groupe de l'UIC (groupe 1 à 6, UIC 714).
- b : facteur dépendant de type de traverse.
- Les structures particulières.
- c : facteur dépendant des conditions de travail.
- d : facteur dépendant de la charge maximale d'essieu des véhicules.
- f : facteur dépendant de la vitesse.
- g : facteur dépendant de l'installation de géotextiles.

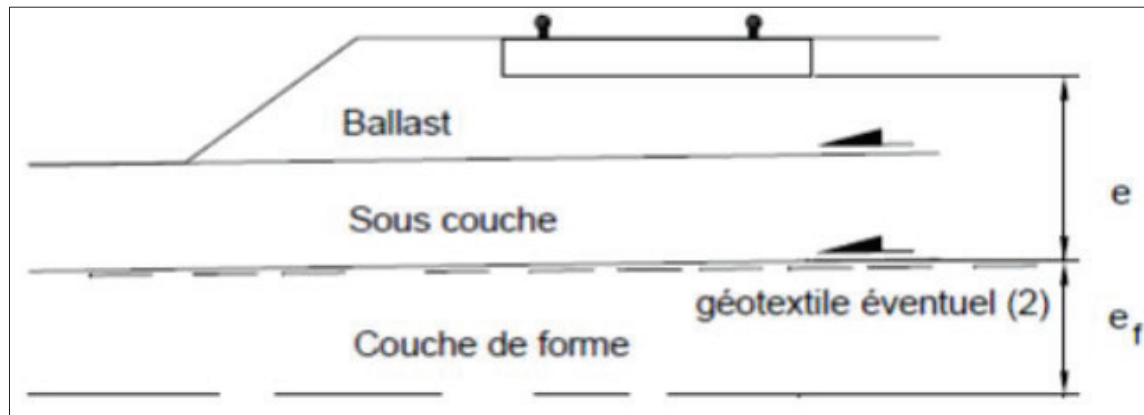


Figure IX. 4:Épaisseur de couche de forme et de la sous couche (UIC 719R).[11]

IX.5. APPLICATION A NOTRE PROJET :

Avec une qualité moyenne de sol type QS1 et pour une voie rapide ($V=160$ Km/h), les recommandations du Maître de l’Ouvrage est d’envisagé une plateforme ‘P2’, ce qui nécessite de mettre en place une couche de forme de classe QS3.

Les données de base :

- D’après la classification de sols selon UIC719 on a obtenu un sol **QS1**.
- Système de la voie : rail UIC sur des traverses en béton.
- Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm.

Les valeurs des éléments de calcul sont comme suit :

- Plateforme : P2 $\Rightarrow E = 0.55$ m.
- La ligne étudiée est de groupe : $V \leq 160$ Km/h \Rightarrow Groupe UIC 3 $\Rightarrow a = -0.05$ m.
- Traverse en béton bi-bloc VAX U31 : $L = 2.245$ m $\Rightarrow b = \frac{2.5-2.245}{2} \Rightarrow b = 0.13$ m.
- Pour un dimensionnement normal $\Rightarrow c = 0$ m.
- Charge par essieu 22.5 t : 225 KN $\Rightarrow d = 0.05$ m.
- La ligne a une vitesse ≤ 160 km/h, la plateforme de portance P2, $\Rightarrow f = 0$ m.
- La couche de forme est en sol de classe : QS3 \Rightarrow pas de géotextile $\Rightarrow g = 0$ m.

Résultats :

- ❖ En appliquant la formule, on obtient :
 e (m) = $E + a + b + c + d + f + g = 0.55 - 0.05 + 0.13 + 0 + 0.05 + 0 + 0 = 0.68$ m.
Nous avons pris la valeur de : $e = 0.68$ m.
- ❖ La couche de forme à mettre en place pour obtenir une classe de portance **P2** pour la plateforme : **QS3** \Rightarrow d’après le tableau (VIII.1) \Rightarrow d’épaisseur minimale $e_f = 35$ cm

NB : Valeur des coefficients de la formule de calcul d’épaisseur selon UIC719R dans Annexe D4.

Alors la structure de la voie est comme suit :

Tableau IX. 2 : épaisseurs des couches

Couche	Epaisseur(m)	Matériaux
Ballast	0.30	GC (grave concassée) 25/50 mm
Sous-ballast	0.20	Grave bien gradué 0/31.5 mm
Couche de fondation	0.18	GC (grave concassée) 0/50 mm
Couche de forme	0.35	GNT

La figure ci-après présente un profil type des couches d'assise avec leurs épaisseurs :

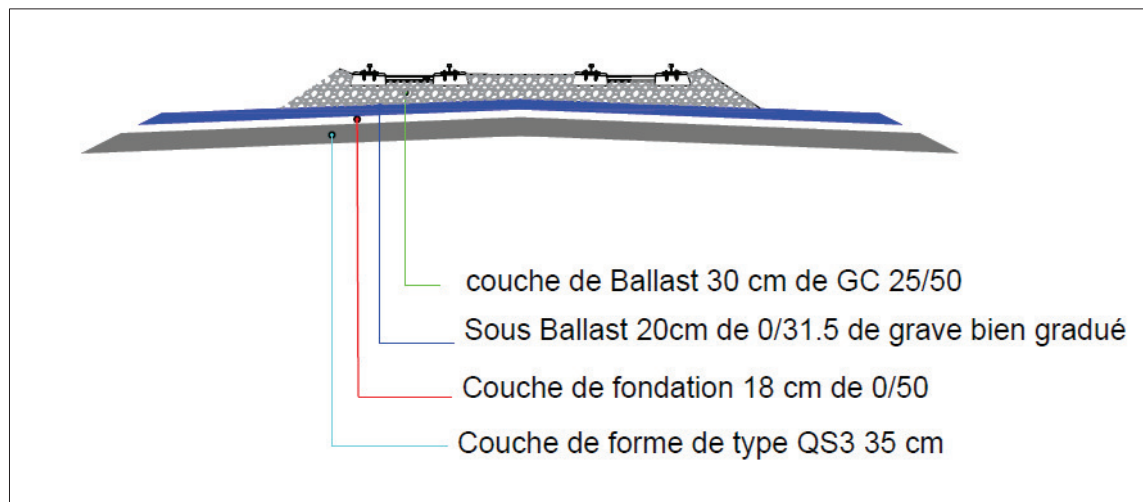


Figure IX. 5: Profil en travers des Couches d'assises.

CHAPITRE X:

PROFIL EN TRAVERS

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. LES DEFERENTS TYPES DE PROFIL EN TRAVERS.**
- 3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS.**
- 4. ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE.**
- 5. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES AU PROJET.**

X.1. INTRODUCTION :

Le profil en travers d'une voie ferrée est la coupe transversale de cette dernière suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe de cette voie.

L'échelle la plus fréquemment utilisée est celle de 1/100.

X.2. LES DEFERENTS TYPES DE PROFIL EN TRAVERS :

Il existe deux types de profil en travers qui sont :

X.2.1. Profil en travers type :

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

X.2.2. Profil en travers courant :

S'applique au PK indiqué, prend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment la cote du terrain naturel, la cote de projet et le dévers de la plateforme.

X.3. LES ELEMENTS DU PROFIL EN TRAVERS :

X.3.1. La plateforme :

Il est conseillé de réaliser une plateforme à partir d'une succession des couches des matériaux parfaitement compactées, sur laquelle reposera la voie, à savoir : les rails, les traverses le ballast ainsi que le train lui-même.

La plate-forme reçoit les charges transmises par l'intermédiaire du ballast, elle joue un rôle primordial dans la tenue de la voie. En outre, elle draine les eaux de surface pour les écouler à l'extérieur.

X.3.2. L'Emprise :

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

X.3.3. Assiette :

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

X.3.4. La voie :

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

X.3.5. La berme :

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.

X.3.6. Le fossé :

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

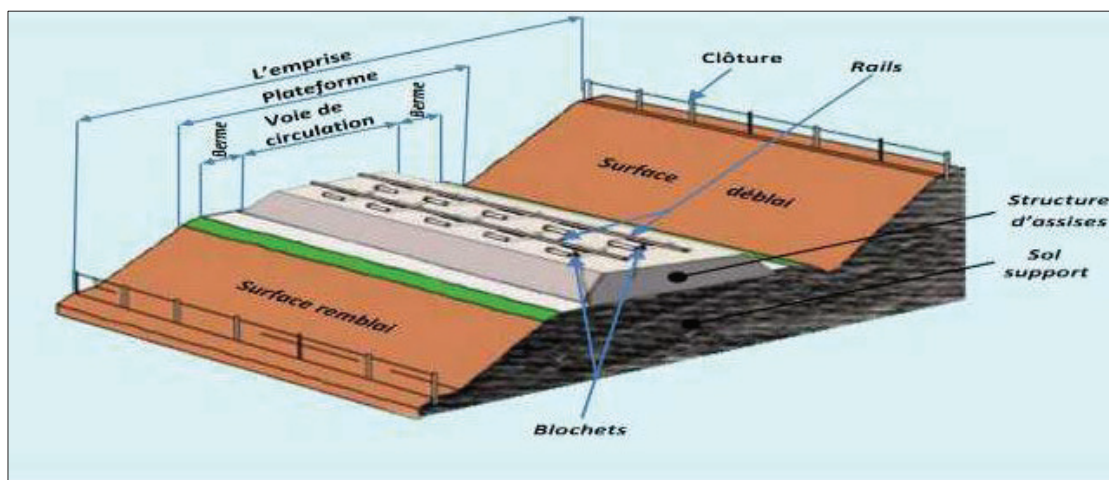


Figure X. 1: Les éléments du profil en travers.

X.4. ETABLISSEMENT DU PROFIL EN TRAVERS TYPE:

En chemin de fer, le profil en travers type doit indiquer tous les éléments suivants :

Tableau X. 1: constituants du profil en travers type

<p>Eléments de la superstructure</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie. ▪ Le type de travers utilisé. ▪ Epaisseur de la couche de ballast. ▪ La valeur du dévers maximum en courbe. ▪ La longueur des butées du ballast. ▪ Poteaux caténares et caniveaux à câbles ▪ La pente latérale de la couche de ballast.
<p>Eléments de l'infrastructure</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La dénomination et les épaisseurs de chaque couche. ▪ Les pentes transversales de chaque couche. ▪ La pente latérale de la plateforme
<p>Eléments du talus</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La pente de chaque talus. ▪ Les ouvrages de consolidation éventuels.
<p>Eléments d'assainissement</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le type et dimension du fossé des drains.

X.5. LES PROFILS EN TRAVERS AFFECTES AU PROJET :

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

- 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 : 0.30 m.
- Pente latérale de la berme : 4%.
- Entraxe : 4.2m.
- Pente latérale de la couche de ballast : 2/3, (3H et 2V).
- Epaisseur du ballast : 30 cm.
- Epaisseur du sous-ballast : 20cm.
- Epaisseur Couche de fondation : 18 cm.
- Epaisseur de la couche de forme : 35 cm.
- Pente (déblai : 3H /2V et remblai : 3H / 2V).
- Fossé trapézoïdale (b= 0.5 m ; h= 0.55 m ; e= 0.5 m).

Remarque : en cas de raccordement (en pleine courbe), les épaisseurs de toutes les couches sauf le ballast seront fixes, c'est l'épaisseur de ballast qui va être augmenté pour créer le dévers exigé.

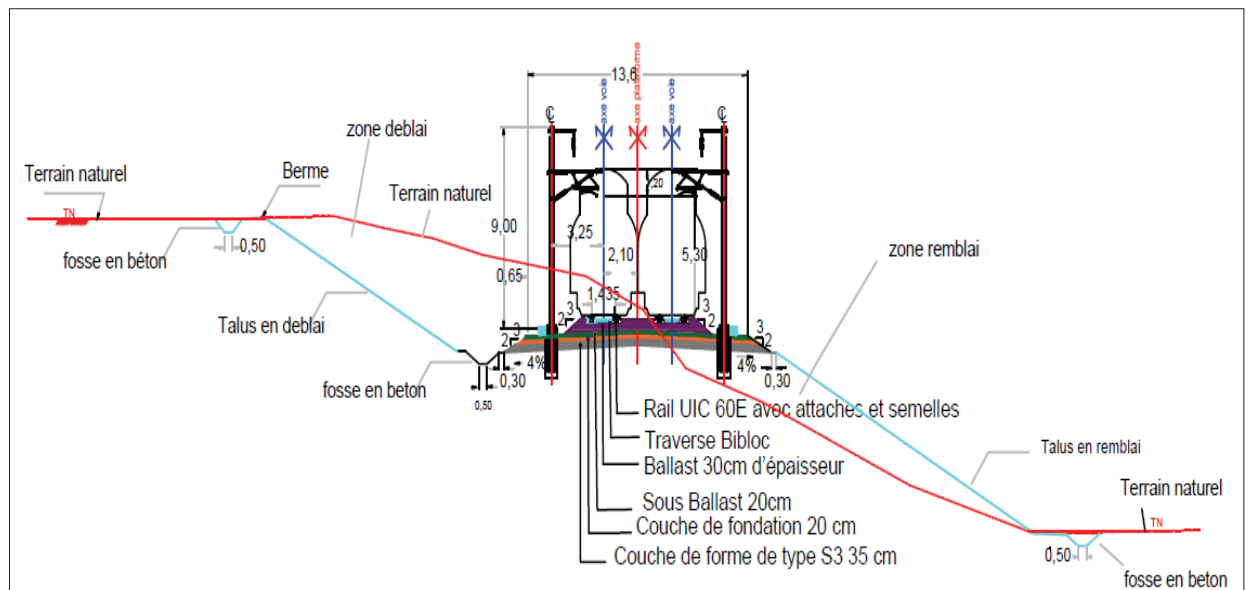


Figure X. 2 : profil en travers type du projet (profil mixte).

CHAPITRE XI: TERRASSEMENT ET OUVRAGES

1. TERRASSEMENT:

1.1.introduction.

1.2.déblais.

1.3.remblais.

1.4.épaisseurs de la terre végétale.

**1.5.calcul des volumes de
terrassement.**

2. OUVRAGES D'ART :

2.1 introduction.

2.2.. les ouvrages d'art du projet.

2.3.conclusion

XI.1. TERRASSEMENT :

XI.1.1. INTRODUCTION :

Les terrassements correspondent à la première phase des travaux en vue de l'édification d'un ouvrage. Ils regroupent tous les ouvrages et travaux destinés à modifier provisoirement ou définitivement les formes d'un terrain. Le calage du profil en long est essentiellement lié à l'optimisation du mouvement de terres, compte tenu des diverses contraintes imposées ; c'est à partir des éléments apportés par la géologie et la géotechnique qu'il faut déterminer un profil projet tel que le coût global des terrassements soit minimal.

La succession des déblais et des remblais est caractérisée par des hauteurs pouvant être importantes (supérieure à 8m pour remblais ,12 m pour déblais).

Le tracé traverse principalement des terrains plats du PK 19+000 au PK 22+200, après cette section, la topographie du site devient vallonné jusqu'au PK 29+000.

XI.1.2. DEBLAIS :

Les principales zones de déblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal. Le tableau montre pour chaque zone de déblai :

Tableau XI. 1 : Les principales zones de déblais entre PK19+000 et PK 29+000.

PK Début	PK Fin	PK (Hmax)	H max (m)	Nature terrain de surface	Classe GTR	Classe UIC
23+160	23+360	23+240	21.67	Limon argileux sableux	A _{1th}	QS0
26+800	29+000	28+380	12.46	Limon argileux	A _{1m}	QS1

XI.1.2.1. La Sécurité dans les zones de déblais :

La prévention des instabilités locales, qui est détectée pendant l'excavation des déblais, il convient de prévoir des mesures de stabilisation et de soutènement des talus, tels que le traitement avec des boulons d'ancrage, des grilles à mailles hexagonales, le gunitage...etc. Comme critère général :

- Lorsque les déblais sont effectués dans des terrains rocheux, il peut être possible de disposer au pied des talus pour récupérer les possibles blocs qui pourraient se détacher.
- Pour la stabilisation des talus, il faudra disposer des fossés de crête de talus, ainsi que des tuyaux en descente en béton. De la même façon, la surface des talus sera traitée avec des plantations.
- Dans le cas où peuvent apparaître des instabilités locales avec détachement des blocs, il est à envisager le rabotage localisé de blocs, la projection de béton, le boulonnage local, la disposition de grillage antichute...
- Il est recommandé de disposer des fossés revêtus dans les bermes pour contrôler l'eau d'écoulement et éviter son infiltration dans les déblais.

XI.1.2.2. Géométrie des talus en déblai:

Les pentes des talus principalement utilisées et exprimées en fraction base sur hauteur, sont: 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2.5/1, 3/1.

Elles sont conçues de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage.

Les talus peuvent être réalisés par palier, en étant interrompus par des banquettes d'au moins 1m de large (risberme), pour briser le ruissellement de l'eau et permettre la circulation à des étages intermédiaires.

La géométrie proposée doit être justifiée par des calculs de stabilité.

XI.1.2.3. Vérification de Stabilité des talus en déblais :

Pour la vérification de stabilité des talus en déblais on a utilisé le logiciel 'TALREN V5', et on a choisi la méthode de Bishop pour les ruptures circulaires,

Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération :

- $F_s \geq 1.5$ pour l'analyse en conditions statiques.
- $F_s \geq 1,0$ pour l'analyse en conditions sismiques.

XI.1.2.4. Application au projet :

L'étude de stabilité des talus en déblais :

- Les actions sismiques sont appliquées en étant des forces statiques équivalentes, constantes et proportionnelles au poids propre du terrain ; ces actions sont déterminées en faisant référence aux normes parasismiques algériennes (Règles Parasismiques Ouvrages d'Art – RPOA) :
 - Accélération sismique de la zone : $A = 0.30g$ m/s²
 - Coefficient sismique horizontale : $k_h = 0.5 \times A = 0.15$
 - Coefficient sismique verticale : $k_v = 0.3 \times k_h = 0.045$
- Les caractéristiques mécaniques des déblais :

Tableau XI. 2:Les caractéristiques mécaniques des déblais.[9]

PK Début- fin	Profondeur (m)	Nature terrain	Paramètres géotechniques		
			γ_h (KN/m ³)	C (KN/m ³)	φ (degré)
23+160 à 23+360	0.00 – 15	Argile limoneuse.	19	20.9	19.29
26+800 à 29+000	0.50 – 2.00	Argile noire	20.7	20.9	19.29
	2.00 – 9.5	Grès dure	21	30	28
	9.50 – 15	Passage gréseux avec sables	20	40	20

- Résultats de vérification de stabilité des talus en déblais :

Tableau XI. 3 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en déblais.

PK Début- fin	Géométrie des talus				Facteur sécurité		Observations
	Longueur (m)	Hauteur Max (m)	Pente proposé	Berme/ Talus (m)	Condition statique	Condition sismique	
23+160 à 23+360	200	21.67	3H /2V	2m / 6m	1.69	1.03	
26+800 à 29+000	2200	12.46	3H /2V	2m / 6m	1.57	1.09	Stable

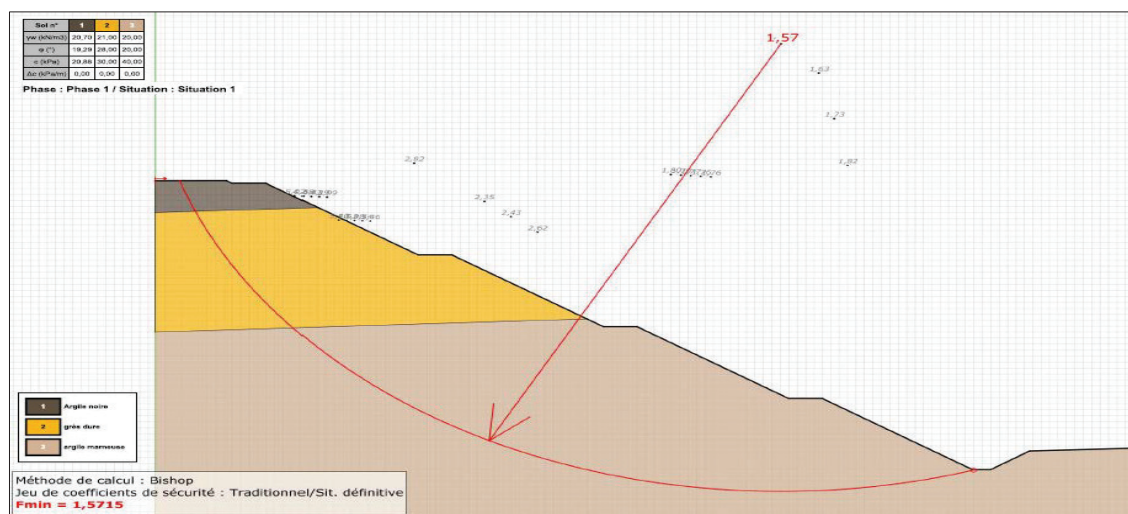


Figure XI. 1:les cercles de rupture pour les déblais au PK 28+380 condition statique. (Logiciel TALREN V5)

➤ **Conclusion :**

Pour des raisons de stabilité, mais aussi visant la création d'accès pour d'éventuels entretiens : des risbermes de 2 m de largeur ont été adoptées chaque 6m de hauteur pour les zones de déblais avec pente de 3H/2V.

XI.1.2.5. Réutilisation des matériaux de déblais (déblais mise en remblais) :

En raison des coûts énormes des travaux de terrassements, les constructeurs essaient d'utiliser le maximum des sols extraits en remblais pour réduire les coûts de transport et d'achat des matériaux conformes à l'utilisation pour remblais. Les conditions de réutilisation des matériaux sont définies par le GTR.

Dans les zones déblais on a trois (3) classes de sol classifié par GTR (A1m, A1h, A1th) : Tableau suivant représente les zones déblais rencontrés le long du tracé entre PK 19+000 et PK 29+000 :

Tableau XI. 4:les zones déblais rencontrés le long du tracé

PK Début	PK Fin	Classe GTR
23+160	23+360	A1th
24+840	25+100	A1h
26+800	29+000	A1m

D'après le GTR, la teneur en eau de ces matériaux, va définir les conditions de réutilisations :

Tableau XI. 5:utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme.

	utilisation des matériaux	
	En remblais	En couche de forme
A1th	Sols normalement inutilisables en l'état	
A1h	procédé d'extraction et mode de compactage	il faut procéder par un traitement avec des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux.
A1m		

Les Condition et notice d'utilisation des matériaux détaillés dans l'annexe D3 et D4.

➤ **Conclusion :**

D'après le GTR les matériaux mis en remblais A1m et A1h, et les matériaux mis en dépôt est A1th.

Tableau XI. 6:Réutilisation des matériaux de déblais

	Déblais mis en remblais	Déblais mis en dépôt
Volume (m ³)	497968.77	58354.17

XI.1.3. REMBLAIS :

Remblayer, consiste à mettre en place des matériaux pour rehausser ou niveler le terrain existant.

Après l'analyse de profil en long du tronçon étudié, on a pu localiser les zones qui sont sujets de cette action. Le tableau ci-dessous représente les différentes zones de remblais à caractérisé par des hauteurs pouvant être importantes (supérieure à 8m) :

Tableau XI. 7:Les principales zones de remblais entre PK19+000 et PK 29+000.

PK Début	PK Fin	PK (Hmax)	H max (m)	Longueur (m)	observation	Niveau piézométrique : NPHE (m/TN)
23+360	24+810	24+500	8.04	1450	/	/
25+090	26+640	25+640	10.73	1550	Remblais en zone inondable	+0.25m /TN

XI.1.3.1. Vérification de la stabilité des talus en remblais:

Au-delà d'une certaine hauteur limite de remblai, il y'a risque de rupture, se présentant généralement sous forme de glissement de talus.

Les méthodes d'études de stabilité des pentes permettent de déterminer cette hauteur limite pour un coefficient de sécurité donné, connaissant :

- Les caractéristiques géométriques du remblai et des couches du sol de fondation.
- Les caractéristiques mécaniques du remblai et du sol de fondation.
- Le régime hydraulique (le plus souvent définition du niveau de la nappe).

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération sont les suivants :

- $F_s \geq 1,5$ pour l'analyse en conditions statiques.
- $F_s \geq 1,0$ pour l'analyse en conditions sismiques.

XI.1.3.2. Application au projet :

- Pour les calculs des facteurs de sécurité on a utilisé le logiciel 'Slide 6.0', en utilisant la méthode de Bishop simplifiée.
- On a pris en considération l'effet d'une surcharge additionnelle de 30 kPa appliquée sur la tête du remblai, correspondant aux charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse bi-bloc, afin de simuler le trafic sur la voie ferrée.
- Les actions sismiques sont appliquées en étant des forces statiques équivalentes, constantes et proportionnelles au poids propre du terrain ; ces actions sont déterminées en faisant référence aux normes parasismique algériennes (Règles Parasismiques Ouvrages d'Art – RPOA) :
 - Accélération sismique de la zone : $A = 0.30g$ m/s²
 - Coefficient sismique horizontale : $k_h = 0.5 \times A = 0.15$
 - Coefficient sismique verticale : $k_v = 0.3 \times k_h = 0.045$
- Les propriétés mécaniques des matériaux adoptés pour les calculs de chaque remblai sont comme suit:

Tableau XI. 8 : Les caractéristiques mécaniques des remblais.[9]

PK Début- fin	Profondeur (m)	Nature terrain	Paramètres géotechniques		
			γ_h (KN/m ³)	C (KN/m ³)	φ (degré)
23+360 à 24+810	0.00 – 15	Argile limoneuse.	20.9	37	9
25+090 à 26+640	0.5 – 5.50	Argile noire	19	30	10
	5.50 – 8	Argile sableuse	20.9	37	9
	8 – 15	Grès dure	20	35	40

Résultats : Le tableau suivant montre une synthèse des calculs de stabilité des remblais :

Tableau XI. 9 : Récapitulatif des résultats de vérification de stabilité des talus en remblais.

PK Début- fin	Géométrie de talus				Facteur sécurité		Observations
	Longueur (m)	Hauteur Max (m)	Pente proposé	Berme/ Talus (m)	Condition statique	Condition sismique	
23+360 à 24+810	1450	11.13	3H /2V	2m / 6m	1.59	1.55	Stable
25+090 à 26+640	1550	8.55	3H /2V	2m / 6m	1.62	1.57	Stable

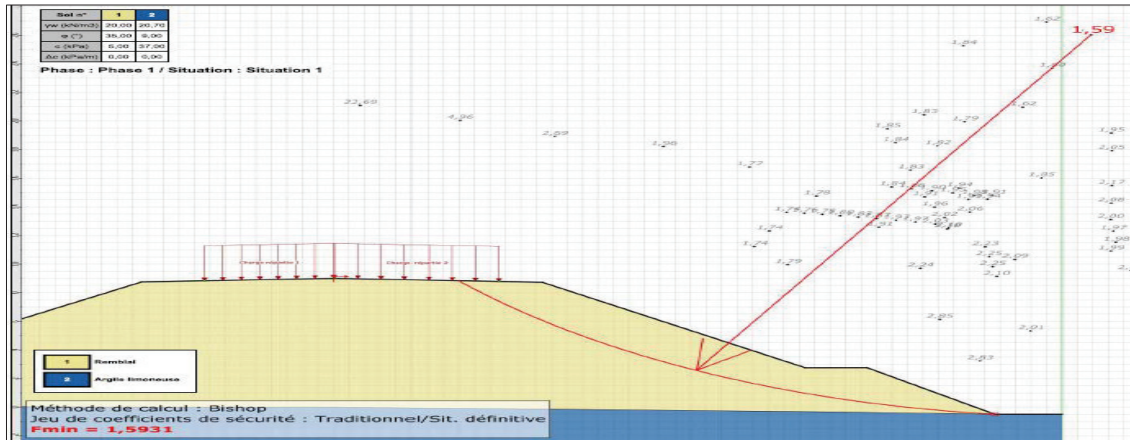


Figure XI. 2:les cercles de rupture pour les remblais au PK 23+240 condition statique.(logiciel TALREN

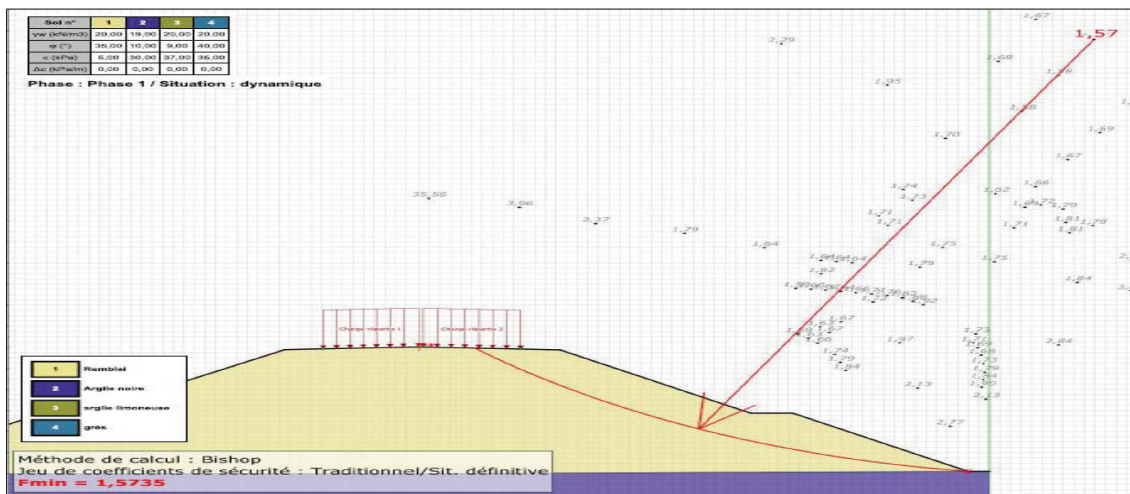


Figure XI. 3:les cercles de rupture pour les remblais au PK 26+025 condition sismique. (Logiciel TALREN-V5

En comparant les résultats obtenus des facteurs de sécurités globaux par le logiciel ‘TALREN V 5’avec les facteurs de sécurités exigés, on conclut que le talus est stable, que ce soit en condition statique ou en condition sismique.

Après la vérification de la stabilité du remblai dans la zone inondable, on a conclu qu’on n’a pas un risque de glissement du massif global dans les conditions statiques, ainsi que dans les conditions sismiques.

NB : les autres figures de la vérification de stabilité (cercles de rupture) sans représenter dans annexe D2, D1.

XI.1.3.3. Structure des remblais :

La structure des remblais peut être composite (remblai avec noyau et enveloppe, remblai avec matériaux de zone inondable) :

XI.1.3.3.1.Remblai en zone courante (non inondable) :

Dans la figure suivant se présente la structure de remblai en zone courante (non inondable), elle est constituée par un noyau et une enveloppe :

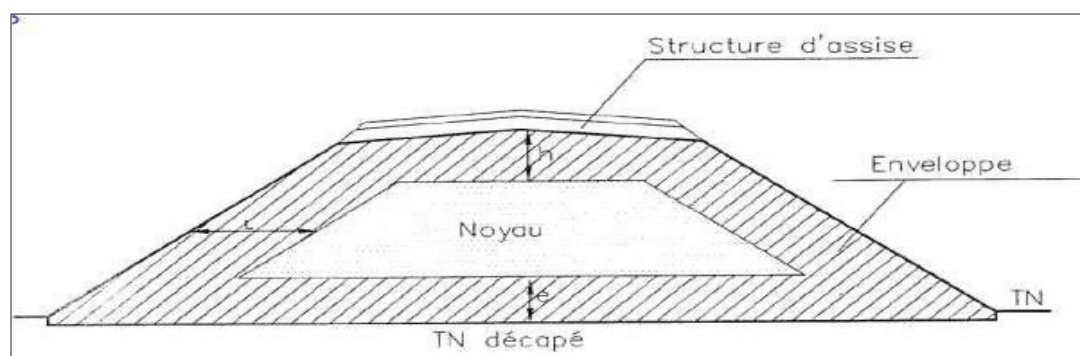


Figure XI. 4: Structure d'un remblai courant.[12]

Avec :

- e : épaisseur de l'enveloppe en base de remblai (1.00m minimum).
- l : largeur de l'enveloppe (3.00 m minimum).
- h : épaisseur de l'enveloppe au-dessus du noyau (1.00 m minimum).

XI.1.3.3.2. Remblais en zone inondable :

Une partie du tracé est en risque d'inondations et de stagnation d'eau. L'observation sur terrain et l'analyse de la cartographie a permis la localisation d'une zone à risque d'inondation entre PK 25+090 et PK 26+640.

Les remblais en zones inondables doivent être dimensionnés selon la conception donnée dans le référentiel technique (voir Figure N° X.5) de manière à assurer leur stabilité et leur durabilité.

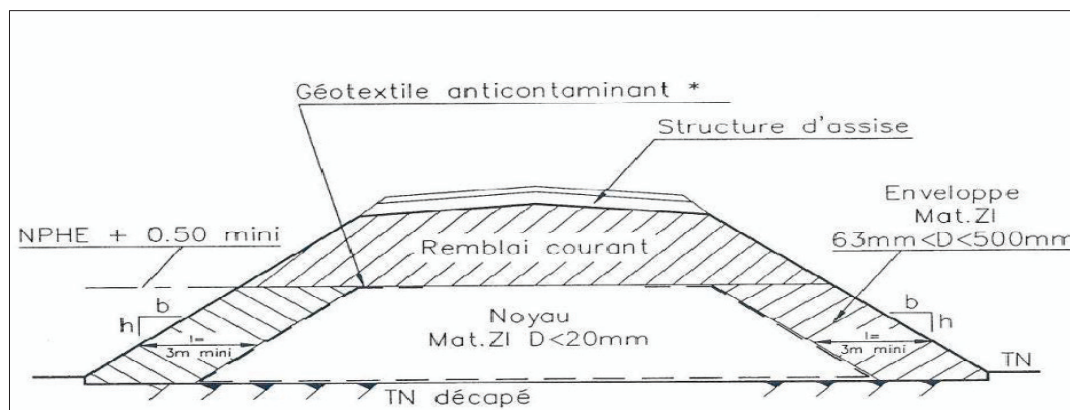


Figure XI. 5: Structure d'un remblai en zone inondable.[12]

Selon les Spécifications Techniques ST 590 B (SNCF), les matériaux à utiliser pour la construction des parties des remblais susceptibles d'être immergées au niveau de zones inondables doivent être constitués de matériaux granulaires avec les caractéristiques suivantes:

- $63 \leq D < 500 \text{ mm}$
- Tamisât à ($D \leq 200 \text{ mm}$) : $85\% \leq \% \text{tamisat} \leq 99\%$.
- Passant à $80\mu\text{m} \leq 5\%$.
- $LA+MDE \leq 80$.

Avec :

- D : dimensions des granulats.
- LA : Los Angeles.
- MDE : Micro Deval d'Eau.

Les bases de remblai devront être constituées de matériaux de ZI (Zone inondable) jusqu'à la cote NPHE+0,50m (NPHE Les niveaux des plus hautes eaux sont déterminés par l'étude hydraulique).

XI.1.4. EPAISSEURS DE LA TERRE VEGETALE :

Avant la réalisation d'un remblai il faut préparer le terrain, le décapage de la terre végétale est réalisé selon des épaisseurs variables déterminées par des études géotechniques, pour le tronçon étudié les épaisseurs de terre végétale seront les suivantes :

Tableau XI. 10: Les épaisseurs et volume de la terre végétale

PK		Epaisseur (m)	Volume de la terre végétale (m ³)
début	fin		
19+000	19+250	0.4	555291.55
19+250	20+050	0.5	
20+050	23+050	0.3	
23+050	26+000	0.5	
26+000	29+000	0.3	

XI.1.5. CALCUL DES VOLUMES DE TERRASSEMENT :

Les cubatures des terrassements sont calculées après définition du terrain naturel, et du projet par : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

Le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel « CIVIL 3D », les tableaux ci-après résument les résultats obtenus :(les résultats détaillés dans annexe...)

Tableau XI. 11: Récapitulatif des volumes de terrassement

Terrassement	Volume (m ³)
Remblais	497 968.77
Déblais	619 692.41

Tableau XI. 12: Récapitulatif des volumes des couches d'assise

Terrassement	Volume (m ³)
Ballast	56 243.64
Sous-ballast	27 837.07
Couche de fondation	26 144.8
Couche de forme (matériaux QS3)	53 797.09

XI.2. OUVRAGES D'ART :

XI.2.1. INTRODUCTION :

La conception d'un bon tracé ferroviaire qui assure la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire et le franchissement des différents obstacles et infrastructures existantes en répondant aussi aux exigences techniques et économiques, nous obligeons de doter notre nouvelle ligne les ouvrages d'arts suivants :

- Ponts rail (ouvrages ferroviaires) :
 - Pont sur oued.
 - Passage inférieur.
- Ponts routiers :
 - Passage Supérieur.
- Les ouvrages hydrauliques :
 - Dalot (détaillé dans le chapitre de l'assainissement et hydrologie).

XI.2.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET:

Nous avons rencontré plusieurs obstacles et infrastructures au niveau du tronçon étudié, pour cela nous avons projeté les ouvrages suivants :

Tableau XI. 13:Les ouvrages d'arts projetés du projet.

Obstacle à franchir	PK de l'ouvrage	Ouvrage projeté	Le gabarit de l'ouvrage (m)
la route nationale N° 67 « RN 67 »	19+240	Passage Supérieur	7.1
une piste	19+490	Passage Supérieur	7.1
chemin communal (CC)	20+060	Passage Supérieur	7.1
une piste agricole	21+860	Passage Supérieur	7.1
Un Oued	22+267	Ouvrage ferroviaire	/
la route nationale N° 42 « RN 42 »	22+860	Passage Supérieur	7.1
Un Oued	23+103	Ouvrage ferroviaire	/
la rocade de Tipaza	25+560	Passage Inferieur	5.05
une piste	26+000	Passage Inferieur	5.05
une piste agricole	27+ 230	Passage Supérieur	7.1

XI.2.3. CONCLUSION :

L'étude de la nouvelle ligne ferroviaire concernant notre tronçon Comprend 10 obstacles à franchir qui nécessite une implantation des ouvrages d'art, dont six (6) passages supérieurs (PS), deux (2) passages inférieurs (PI) et deux (2) ponts sur oued et neuf (9) ouvrages hydrauliques(dalot).

CHAPITRE XII: AMENAGEMENT DE LA GARE HADJOUT ET LA BIFURCATION DE NADOR

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. TYPES DES GARES.**
- 3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS.**
- 4. INSTALLATIONS D'UNE GARE MARCHANDISES.**
- 5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE.**
- 6. APPLICATION AU PROJET.**
- 7. ASSAINISSEMENT DE LA GARE.**
- 8. CONCLUSION.**

XII.1. INTRODUCTION :

La gare ferroviaire se présente comme un lieu d'arrêt des trains pour assurer la montée et la descente des voyageurs et le chargement déchargement de la marchandise et se présente aussi comme un nœud de liaison entre la ville et son système de transport public.

Notre tronçon comprend une gare au niveau de Hadjout et une bifurcation à Nador :

- La gare de Hadjout est située entre PK 19+250 et PK 20+300.
- La Bifurcation de Nador est située entre PK 23+800 et PK 24+720.

XII.2. TYPES DES GARES :

On distingue plusieurs types des gares :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises Ferroviaire.
- Gare mixte.
- Gare de triage.

XII.3. INSTALLATIONS D'UNE GARE VOYAGEURS :

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

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

XII.4. 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.

XII.5. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA GARE :

XII.5.1. La marge de glissement à l'aval des signaux :

La marge de glissement est la section de voie située dans le prolongement d'un parcours train à l'aval d'un signal fermé, sur laquelle aucune autre circulation n'est autorisée.

La marge de glissement a pour but de minimiser les conséquences d'un accident et même en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision lorsqu'un train n'a pas pu être arrêté avant cette marge.

Selon UIC 741 Les longueurs de la marge de glissement sont définies comme suit :

- 50-200 m : selon la vitesse de la ligne, comme à l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie :

LG = 200 m pour $V \geq 60$ km/h

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

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

- 50 m : à l'aval des signaux de blocs.

XII.5.2. Garage franc (GF):

De part et d'autre de la voie de stationnement, il marque la partie de voie à occuper par les véhicules garés. Le garage franc est implanté par rapport au cœur de l'appareil de voie à une distance D qui positionne l'élément. $D=3.57\text{m}$

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

N : variable dépend de l'ouverture de l'appareil de voie

- Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF = 44 m.
- Pour l'appareil de voie type 1/9 : GF = 34 m.

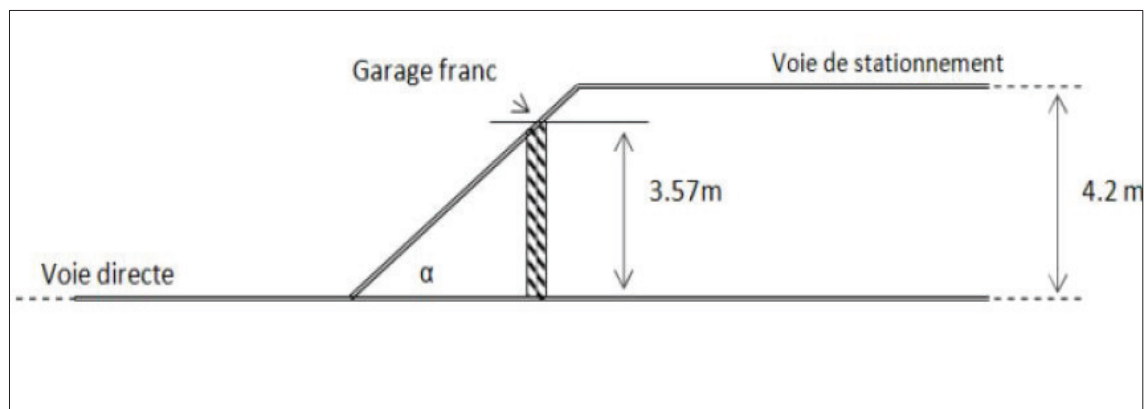


Figure XII. 1:Garage franc.

XII.5.3. La longueur utile d'une voie de stationnement:

C'est la longueur nécessaire permettant au train de se 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. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

- 426 m : pour les trains voyageurs.
- 870 m pour les trains de marchandise (pour la voie principale et la voie de service).

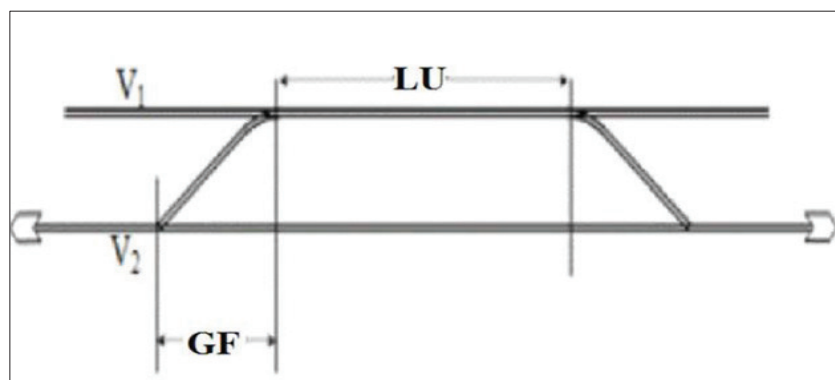


Figure XII. 2:Longueur utile de stationnement et garage franc

XII.5.4. Heurtoir :

Matérialise la fin d'une voie de garage ou de sécurité. Les heurtoirs sont placés aux extrémités des voies pour éviter que les véhicules en mouvement continuent leur chemin en dehors de la voie, conçue pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent par l'intermédiaire des tampons.

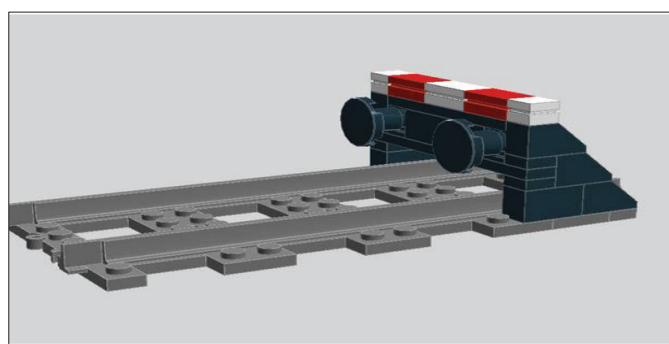


Figure XII. 3:Un heurtoir

XII.5.5. QUAI:

XII.5.5.1. La hauteur du quai :

La hauteur nominale du bord du quai devra être de 550 mm ou de 760 mm au-dessus de la table de roulement selon le type de matériel roulant qui est susceptible de s'arrêter à ce quai.

- Plus grand que 760 mm - quais dits hauts.
- Plus petit que 550 mm - quais dits bas.

En se basant sur les normes de l'UIC 741 OR Une hauteur de quai de 550 mm est recommandée.

XII.5.5.2 Distance par rapport à l'axe de la voie :

Pour les bordures de quais implantées à la hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est fixée à :

$$L \text{ (mm)} = 1\ 650 + S$$

La valeur de S est donnée par la formule :

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{(I-1435)}{2}$$

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

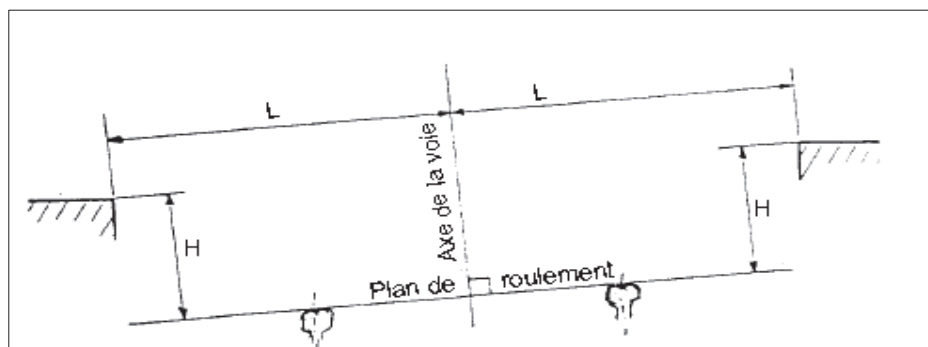


Figure XII. 4: la hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie

XII.5.5.3. Entraxe entre les quais :

Selon SNTF :

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

XII.5.6. appareils de la voie :

L'exploitation des voies ferrées exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires que l'on désigne appareils de voie c'est un dispositif de guidage permettant le passage d'une voie à une autre en assurant la continuité des voies par extension.

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

L'appareil de voie se compose de trois parties : aiguillage, la partie intermédiaire et partie cœur (croisement).

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

- Les branchements.
- Les traversées.
- Les traversées jonctions.

Les spécifications et les dimensions des appareils de voie type UIC 60E1 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau XII. 1: Spécifications et dimensions des appareils de voie type UIC 60E1. [13]

Appareil de voie	Type de rail	R (m)	LQ(m)	A(m)	B(m)	Vitesse (km/h)
1/12	UIC60 E1	500	43.481	20.797	22.684	65km/h
1/9	UIC60 E1	300	34.538	16.616	17.922	50km/h
	UIC60 E1	190	28.328	10.523	17.805	40km/h

XII.5.6.1. Implantation des appareils de voie :

➤ Cas normal sans contraintes :

- Distance entre fin de quai et garage franc ≥ 130 m.
- Location en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.

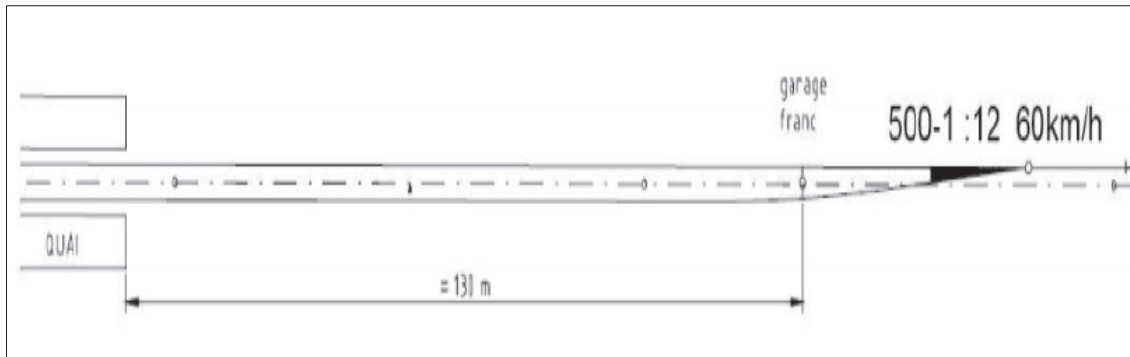


Figure XII. 5:implantation d'un appareil de voie sans contraintes.

➤ Cas avec contraintes :

- Disposition d'un appareil de protection avec une distance entre fin de quai et appareil est ≥ 80 m.
- Appareils 60-500-1 :12 avec une vitesse de branchement de 60 km/h.
- Distance appareil de voie / courbe ≥ 6 m ; il est prévu des rampes de dévers droites sans doucine.

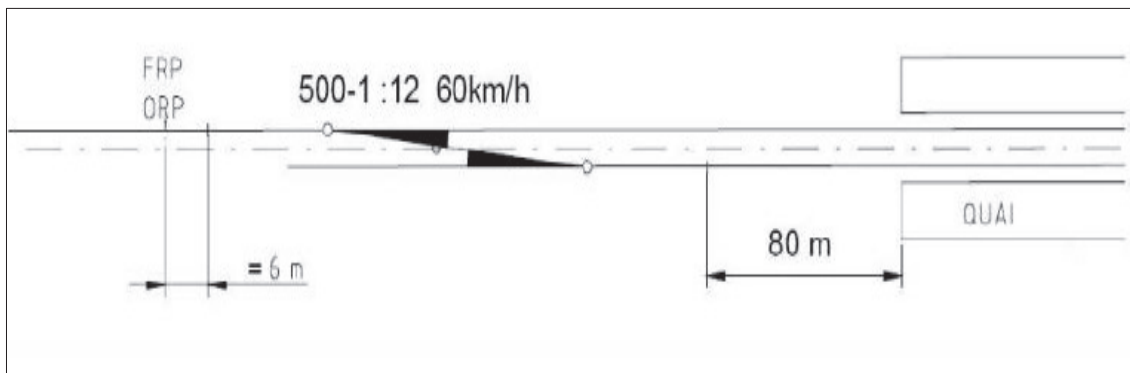


Figure XII. 6:implantation d'un appareil de voie avec contraintes.

XII.6. APPLICATION AU PROJET :

XII.6.1. Aménagement de la gare Hadjout :

XII.6.1.1. Localisation de la gare :

La gare de **EL 'Hadjout** est une gare mixte (voyageurs et marchandises) située entre le PK 19+250 et PK 20+300 du côté nord de la ville, elle est desservie par un chemin raccordé à la RN67, la gare est bordée par des terres agricoles.



Figure XII. 7: Localisation de la gare D'EL HADJOUT

XII.6.1.2. Caractéristiques de la gare :

Selon les normes de la SNTF, les caractéristiques géométriques recommandées des gares sont comme suit :

- **La marge de glissement à l'aval des signaux :**

Pour notre projet $LG = 200 \text{ m}$.

- **La longueur des quais :**

Pour notre gare on prend **300 m** comme longueur des quais, en considérant 4 wagons de 75 m.

- **Hauteur des quais :**

Pour notre cas nous prenons un quai de hauteur : **H = 550mm**.

- **Largeur des quais :**

Pour notre projet **L = 8m**.

- **Distance du quai par rapport à l'axe de la voie :**

La gare de Hadjout est située en alignement droit donc $R = \infty$

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{(I-1435)}{2} = \frac{3750}{\infty} + \frac{(1435-1435)}{2} = 0$$

$$L (\text{mm}) = 1650 + S = 1650 + 0 = 1650 \text{ mm}$$

- **Entraxe entre les quais :**

Pour la gare de Hadjout **e=13 m**.

▪ Appareils de la voie :

- 12 appareils 60 E1 500 1/12.

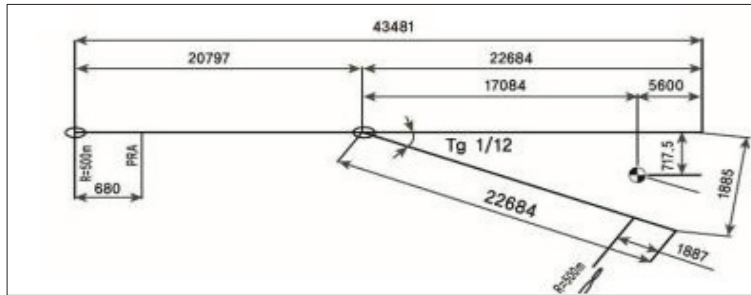


Figure XII. 8: Les appareils de voie type UIC 60E1 500 1/12. [13]

- 04 appareils 60 E1 300 1/9.

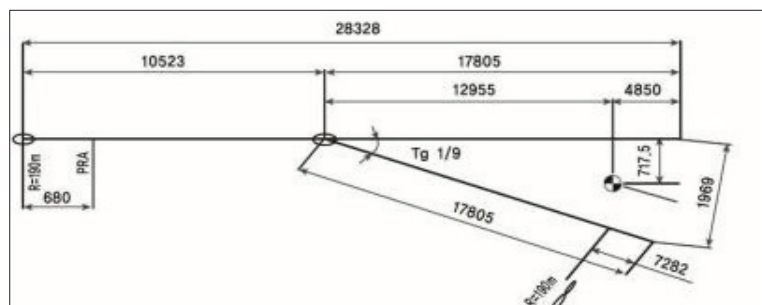


Figure XII 9: Les appareils de voie type UIC 60E1 300 1/9. [13]

▪ Garage franc:

Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF = 44 m.

XII.6.1.3. Schéma de la gare de Hadjout :

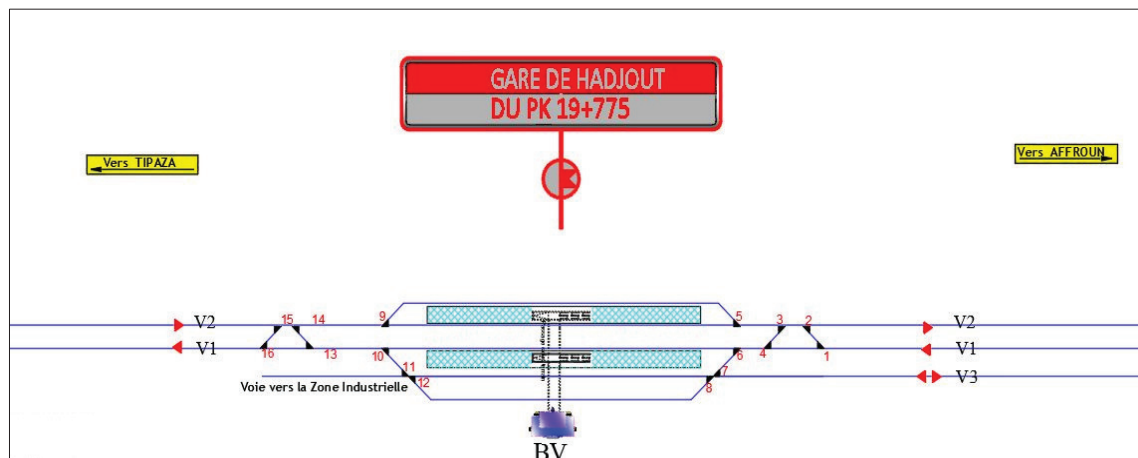


Figure XII. 10: Schéma de la gare de Hadjout

Tableau XII. 2:caractéristiques des appareils de voie de la gare de Hadjout

N°	TYPE APPAREIL	DEVIATION
1	60 E1 500 1/12	Droit (DD)
2	60 E1 500 1/12	Droit (DD)
3	60 E1 500 1/12	Gauche (DG)
4	60 E1 500 1/12	Gauche (DG)
5	60 E1 500 1/12	Droit (DD)
6	60 E1 500 1/12	Gauche (DG)
7	60 E1 300 1/12	Gauche (DG)
8	60 E1 300 1/12	Gauche (DG)
9	60 E1 500 1/12	Gauche (DG)
10	60 E1 500 1/12	Droit (DD)
11	60 E1 300 1/12	Droit (DD)
12	60 E1 300 1/12	Droit (DD)
13	60 E1 500 1/12	Droit (DD)
14	60 E1 500 1/12	Droit (DD)
15	60 E1 500 1/12	Gauche (DG)
16	60 E1 500 1/12	Gauche (DG)

XII.6.1.4. Coupe transversale de la gare de Hadjout :

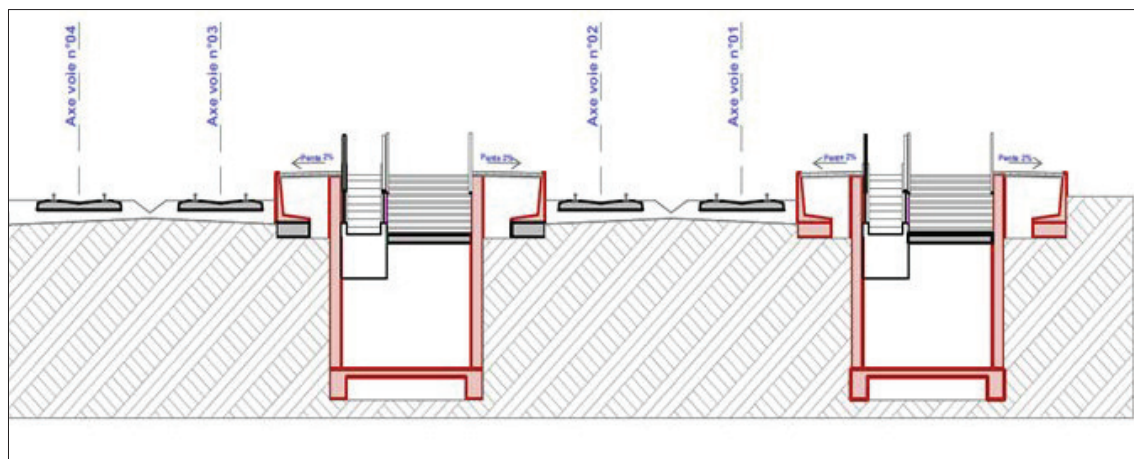


Figure XII. 11:Coupe transversale de la gare de Hadjout

XII.6.2. Aménagement de la Bifurcation de Nador :

XII.6.2.1. Localisation de la gare :

La Bifurcation de **NADOR** située entre le PK 23+800 ET PK24+720DU côté Sud de la ville, la bifurcation NADOR va desservir au futur la ville de Tipaza.

XII.6.2.2. Appareils de la voie :

- 3 appareils 60 E1 500 1/12.
- Garage franc: Pour l'appareil de voie type 1/12 : GF = 44 m.

XII.6.2.3. Schéma de La Bifurcation de NADOR :

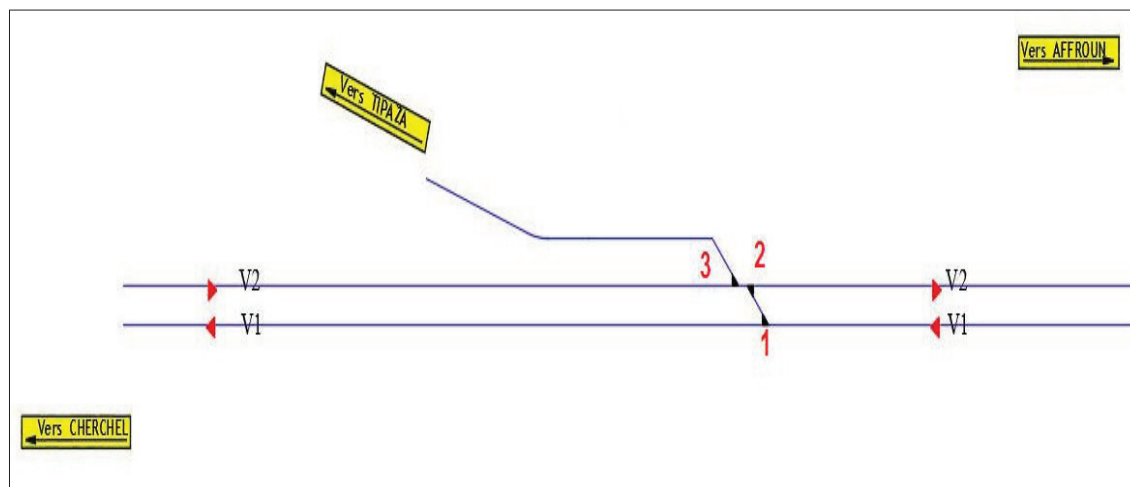


Figure XII. 12:schéma de la Bifurcation Nador

Tableaux. XII. 3:caractéristiques des appareils de voie de la Bifurcation Nador

N°	TYPE APPAREIL	DEVIATION
1	60 E1 500 1/12	Droit (dd)
2	60 E1 500 1/12	Droit (dd)
3	60 E1 500 1/12	Droit (dd)

XII.7. ASSAINISSEMENT DE LA GARE :

XII.7.1. Assainissement transversal:

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit ou en V selon le cas de telle sorte à évacuer ces eaux vers les voies ensuite ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

XII.7.2. Assainissement longitudinal :

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4%, permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

XII.8. CONCLUSION:

L'aménagement de la gare de Hadjout a été fait d'une manière à satisfaire les besoins de la région que ça soit le transport des voyageurs ou bien de la marchandise et aussi les besoins commerciaux et économiques de cette région et du pays en termes de déplacement et communication avec d'autres régions.

CHAPITRE VIII :

SIGNALISATION

ET

ELECTRIFICATION

1. SIGNALISATION :

1.1.introduction.

1.2.objectifs de la signalisation.

1.3.différentes fonctions des signaux.

1.4.genre et étalon de signalisation.

1.5. implantation des signaux.

1.6. signaux lumineux.

1.7.visibilité des signaux.

1.8.les différentes cibles utilisées.

1.9.système de signalisation

2. ELECTRIFICATION:

2.1.introduction.

2.2. types de système d'électrification.

2.3.application au projet.

XIII.1. SIGNALISATION :

XIII.1.1. INTRODUCTION :

La signalisation ferroviaire mise en œuvre aujourd'hui sur les lignes classiques est lumineuse, elle fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleurs, en principe disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire. La signalisation lumineuse comporte également des tableaux lumineux ainsi que des tableaux ou pancartes réflectorisées.

XIII.1.2. OBJECTIFS DE LA SIGNALISATION :

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

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

XIII.1.3. DIFFERENTES FONCTIONS DES SIGNAUX:

Les signaux sont essentiellement utilisés pour assurer les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.

Chacune de ces fonctions comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation d'exécution ou de rappel.

XIII.1.4. GENRE ET ETALON DE SIGNALISATION :

Sur les lignes à double voie, la circulation des trains se fait normalement à gauche, les signaux implantés à demeure sont habituellement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent ou dans la partie gauche au-dessus de cette voie. Dans certains cas, notamment dans les entre-voies réduites, il peut être fait usage de signaux de type bas installés au ras du sol, La signalisation peut comporter :

- Des tableaux lumineux.
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables.
- Des tableaux ou pancartes réflectrices.
- Des guidons d'arrêt...

Exceptionnellement à certains signaux amovibles par nature (signaux à main), les signaux sont implantés à demeure soit à titre permanent, soit à titre temporaire (signaux de chantier...).

Les signaux implantés à demeure sont dit :

- Fixes, lorsqu'ils présentent un aspect invariable.
- Mobiles, lorsqu'ils présentent aux moins un aspect distincts.

XIII.1.5. IMPLANTATION DES SIGNAUX :

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

Ces distances sont appelées respectivement :

- Distance d'arrêt.
- Distance de ralentissement.

La distance d'implantation d'un signal à distance est en fonction :

- Du profil moyen de la partie de la voie intéressée (déclivité moyenne).
- De la vitesse maximale à laquelle est abordé le signal à distance.
- Des caractéristiques de freinage des circulations.

XIII.1.6. SIGNAUX LUMINEUX :

Tous les signaux seront des signaux de type LED, doivent être visibles à une distance minimum de 1000 mètres.

Les signaux localisés sont situés du côté de la voie du sens de circulation des trains, Ils sont fixés sur des mats, les mats sont fixés sur une base en béton dont la taille doit être calculée de manière à assurer une très bonne fixation pour tenir compte des conditions climatiques particulières et de la force du vent. Les matériaux utilisés devront de préférence être du type inoxydable, sinon ils devront être traités pour être résistants à la corrosion. Les signaux seront équipés d'écrans de couleur noire entourant les unités lumineuses.

Dans les courbes, des lentilles appropriées doivent permettre d'élargir le rayon lumineux horizontalement.

XIII.1.7. VISIBILITE DES SIGNAUX :

Deux principales conditions concernant la visibilité à partir des cabines de conduite :

XIII.1.7.1. Visibilité des signaux hauts :

Les signaux hauts, supposés implantés à droite ou à gauche à 2,42 m de l'axe de la voie, et dont la hauteur est comprise entre 2,800 m et 6,3 m au-dessus du plan de roulement doivent être visibles à une distance supérieure ou à 10 m du plan de front des tampons.

XIII.1.7.2. Visibilité des signaux bas :

Les signaux bas, supposés implantés à droite ou à gauche, à 1,75 m de l'axe de la voie et à 0,240 m au-dessus du plan de roulement, doivent rester continus –éléments visibles jusqu'à une du front des tampons.

XIII.1.8. LES DIFFERENTES CIBLES UTILISÉES :

- Cible type 1 ou type C pour les signaux principaux.
- Cibles type 3 ou type H pour les signaux principaux.
- Cible type 4 ou type R pour les signaux d'avertissement.

- Cible type K pour les carrés « violet » de type bas positionnés sur voies principales et à l'origine d'itinéraires de refoulement.

XIII.1.9. SYSTEME DE SIGNALISATION:

Dans la nouvelle ligne EL AFROUNE – PORT CENTRE (EL HAMDANIA-TIPAZA) Le type de système de signalisation choisi par le maître d'ouvrage est ERTMS/ETCS Niveau 1 (European Rail Traffic Management System/European Train Control System) pour contrôler et surveiller la sécurité de la circulation des trains. Les composants ETCS viendront en complément du système de signalisation lumineuse classique, dont la fonctionnalité est entièrement maintenue.

XIII.1.9.1. ERTMS niveau 1 :

Le train reçoit son autorisation de mouvement via des balises au sol, cette autorisation de mouvement est calculée par le centre de contrôle en fonction de l'occupation des autres cantons.

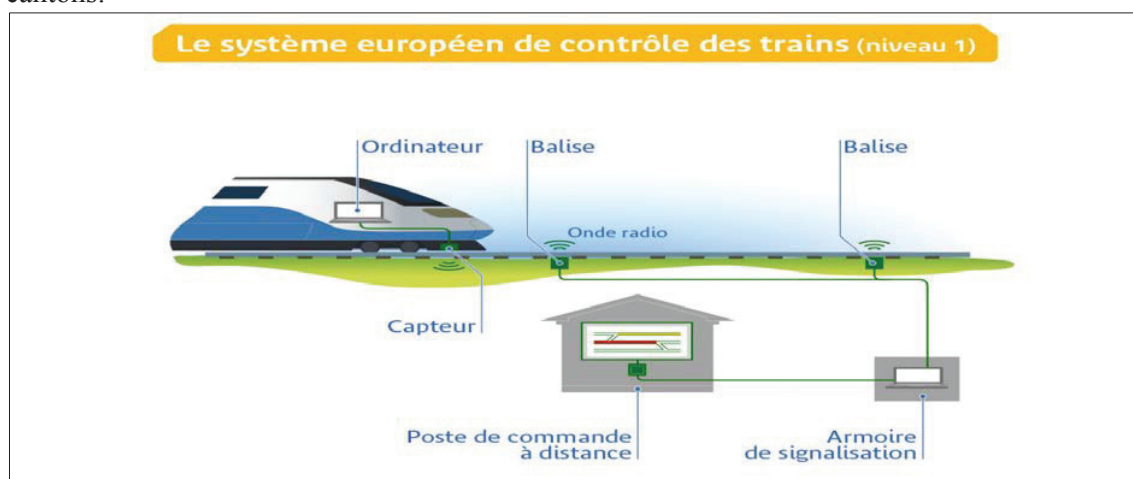


Figure XIII. 1:LE SYSTEME EUROPEEN DE CONTROLE DES TRAINS (ERTMS) niveau 1

XIII.1.9.2. Transmission sol-machine (Les équipements au sol) :

Ce niveau utilise une transmission ponctuelle à l'aide de balises placées au pied des signaux et en amont. Ces balises (euro-balises) communiquent les données de signalisation au train.

Le système de transmission ponctuel est constitué de la façon suivante :

➤ **Un codeur appelé LINE-SIDE ELECTRONIC UNIT (LEU) :**

Le LEU permet de coder les informations de signalisation au format ERTMS. Il est en interface entre les installations de signalisation latérale et la balise. Il dispose d'une interface unifiée au niveau européen, celle avec la balise, l'interface avec la signalisation étant définie au niveau national.

➤ **Les balises (L'euro balise):**

Une Euro balise est un équipement ferroviaire placé entre les deux files de rail servant à transmettre des informations aux convois (assure la transmission des messages en liaison montante et entre les systèmes au sol et au train).



Figure XIII. 2: Une balise installée sur la voie

Il existe deux principaux types d'Euro balises: les euros balise fixes et les euros balise commutables :

▪ **L’Euro balise fixe :**

Qui contient des messages qui ne dépendent pas de la signalisation, elle possède une interface unifiée au niveau européen pour :

- Les échanges sol-bord.

▪ **L’Euro balise commutable :**

Qui reçoit des messages qui dépendent de la signalisation, elle possède deux interfaces unifiées au niveau européen pour :

- Les échanges sol-bord,
- Les échanges entre la balise et le LEU,

XIII.1.9.3. Les équipements ERTMS à bord des locomotives :

L’interface ERTMS à la disposition du conducteur doit lui permettre de réaliser toutes les actions nécessaires pour la bonne conduite du train. Ce sont les informations relatives à la conduite du train, vitesse, courbes de freinage, REFERENTIEL informations auxiliaires, les informations sur l’itinéraire suivi, la possibilité de réaliser le data entry. Le schéma ci-après donne un exemple de configuration de l’interface homme Machine ERTMS.

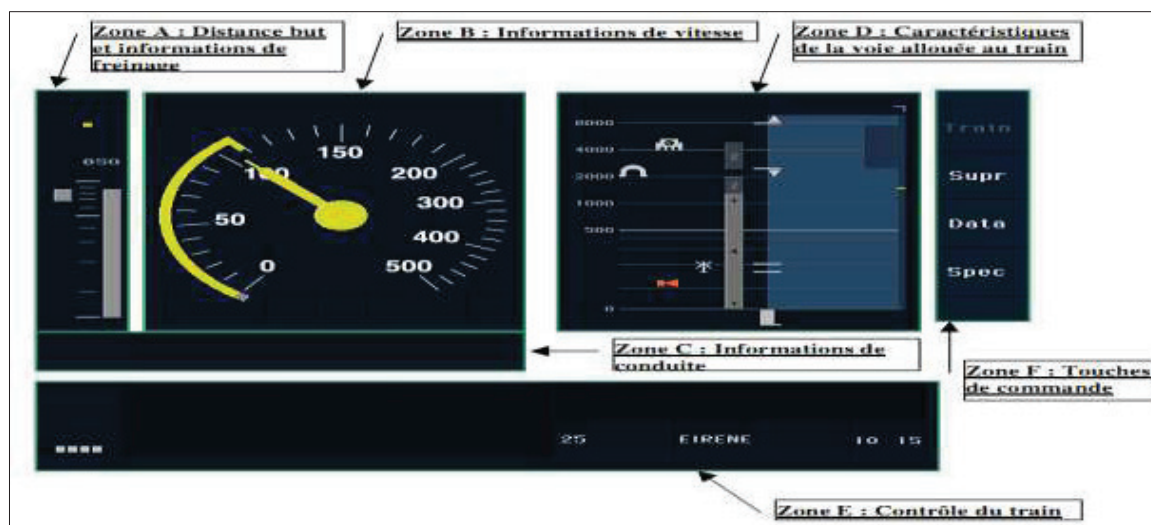


Figure XIII. 3:L’interface homme Machine ERTMS (source : norme SNTF chap. 10).[14]

XIII.2. ELECTRIFICATION :

XIII.2.1. INTRODUCTION :

Les trains qui vont circuler sur la ligne entre EL AFFROUN et PORT CENTRE (EL HAMDANIA –TIPAZA) seront alimentés avec l'énergie électrique. Le système d'électrification fait l'objet d'une étude pour décrire les critères de base pour la conception avec les critères mécaniques et électriques appropriés.

On peut diviser un système d'électrification en cinq grands ensembles :

- Lignes de haute tension pour l'alimentation des sous stations (Lignes HT SONELGAZ).
- Sous station de traction abaisseurs et ces équipements.
- Lignes d'alimentation du matériel mobile transportant l'énergie.
- Matériel mobile (trains)
- Circuit de retour.

XIII.2.2. LES TYPES DE SYSTEME D'ELECTRIFICATION :

Afin de garantir l'alimentation en énergie, deux systèmes d'électrification sont proposés :

- Le système 1X25 KV /50Hz.
- Le système 2X25 KV /50Hz.

XIII.2.2.1. le système 1x25 kv /50hz :

Dans le système 1X25Kv, l'alimentation est faite par l'intermédiaire de transformateurs monophasés (ou plusieurs), le courant industrielle HT (Haute Tension) est reçu coté primaire, donnant coté secondaire une tension de 25 KV-50Hz.

L'énergie est donc transportée par les caténaires jusqu'à son point d'utilisation pour être captée par le pantographe ensuite transformée sur la machine pour alimenter les moteurs de traction.

Il rejoint les rails par l'intermédiaire des essieux et des roues et retourne à la sous-station, à la fois par le sol et par les rails qui eux même sont reliés à la sous station par des câbles constituant l'arrière de retour.

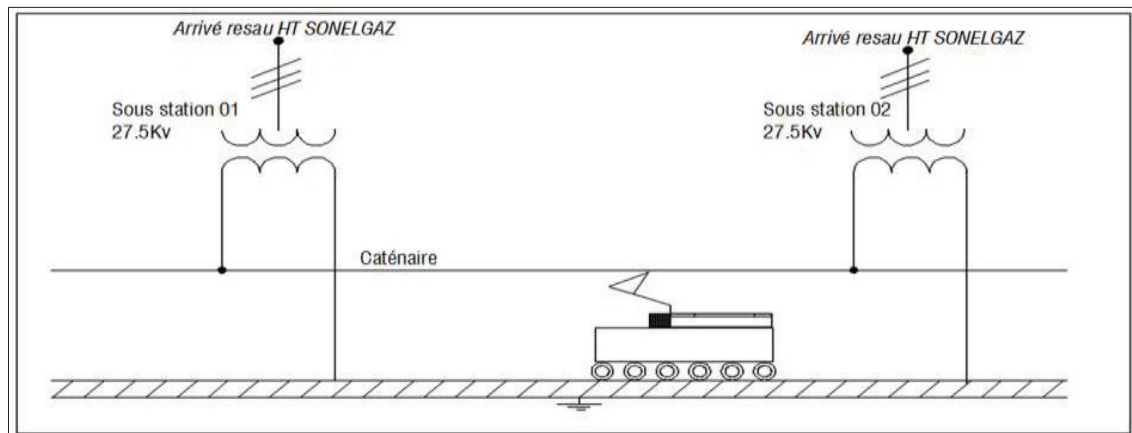


Figure XIII. 4 : Schéma exemplaire d'une alimentation avec le système 1X25KV.

XIII.2.3.2. le système 2x25 kv /50hz :

Dans le système 2X25Kv, les autotransformateurs sont utilisés pour fournir une tension double par rapport la tension d'alimentation du matériel roulant.

L'avantage de ce système est que la tension du pantographe reste à 25Kv, mais la potentialité est supérieure puisqu'en fournissant de l'énergie à 50KV, les courants sont partagés a deux, et donc les chutes de tension sont inférieures, ce qui nous permet d'augmenter la longueur des sections avec, et par conséquence, une réduction du nombre des sous stations.

Le système d'électrification 2x25KV nécessite des intervalles réguliers de postes autotransformateurs permettant de minimiser les chutes de tension ce qui permet d'augmenter notablement l'intervalle entre sous-stations de traction.

Dans le système 2x25 kV, on peut estimer une distance de séparation maximale entre les sous stations d'approximativement 55 – 70 km. Ces valeurs peuvent varier en fonction du trafic, caténaire employé, vitesse de la ligne, etc.

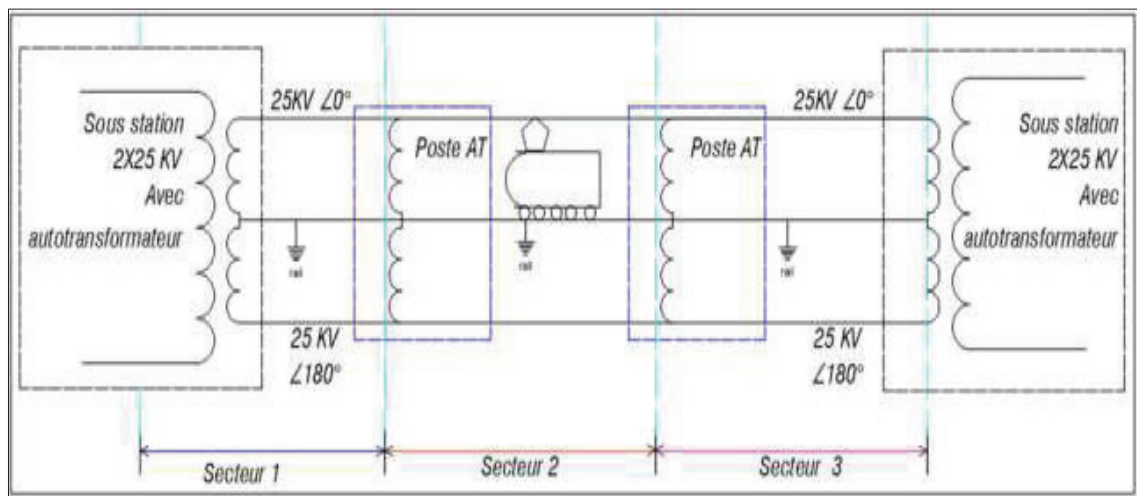


Figure XIII. 5:Schéma exemplaire du système d'alimentation 2X25 avec poste autotransformateurs.

XIII.2.3. APPLICATION AU PROJET :

Dans le cadre de projet entre EL AFFROUN et PORT CENTRE (EL HAMDANIA – TIPAZA) sur 40 km, Le système d'électrification recommandée pour ce projet et Le système 1X25 KV /50Hz.

XIII.2.3.1. ARCHITECTURE DU SYSTEME 1X25 :

Architecture du système 1x25 pour l'électrification de la ligne EL AFFROUN et PORT CENTRE (EL HAMDANIA –TIPAZA):

La distance de séparation entre les sous stations varie de 30 à 45 Km selon les caractéristiques du tracé, vitesse maximale, trafic, tonnage transporté, et le type du matériel roulant.

Par conséquent pour l'alimentation de la ligne objet de cette étude, qui a une longueur maximale de 38 km avec le système 1X25kv, 2 sous stations sont nécessaires avec un espacement maximum de 20 km. Le système d'alimentation 1x25 kV pour la ligne doit être conçu selon l'architecture suivante.

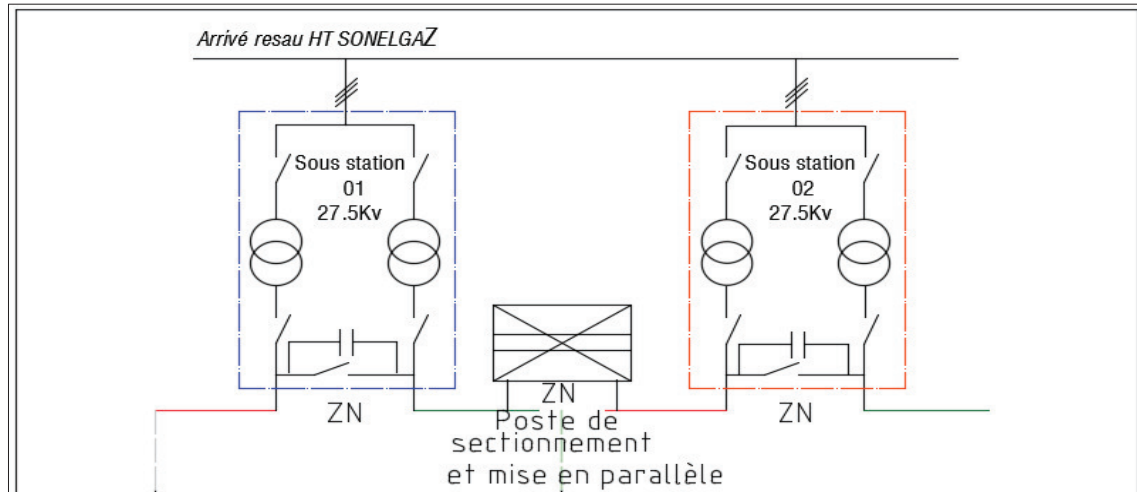


Figure XIII. 6:Architecture des sous stations, poste de sectionnements et zones neutres pour la ligne AFFROUNE – PORT CENTRE (Cherchell).

XIII.2.3.2. ÉQUIPEMENT D'ÉLECTRIFICATION :

- 1) **Les Supports** : le support est fréquemment en H en acier galvanisé, l'ancrage au sol est réalisé par une fouille bétonnée par des tiges. Généralement les supports utilisés pour la caténaire 25Kv sont de type HE-A, HE-B ou parfois jumelés (JHE-A, JHEB).
- 2) **Le fil de contact** : le fil de contact rainuré fait partie du sous-système caténaire pour pouvoir transmettre l'énergie électrique aux locomotives, sur lesquels frotte le pantographe qui alimente l'engin moteur Pour le système d'alimentation 1X25 KV, le fil du contact recommandé est de 107mm² de section en cuivre dur électrolytique de 98% de conductibilité, sa masse est de 0.950 kg et sa charge de rupture à la traction de 3831daN.



Figure XIII. 7:Pantographe

- 3) **Le feeder** : (AC Sr 228 ou 288mm² à définir), qui participe à l'alimentation et à la distribution du courant de traction.
- 4) **Circuit de retour** : Le circuit de retour du courant de la traction est composé du câble CDPA (câble de protection aérien) et les rails, des connexions rail – poteaux sont établies afin de mettre la liaison équipotentielle de l'ensemble du système. Les types de câbles à utiliser peuvent être en Al ou Al-acier.
- 5) **Le Câble porteur** : Le porteur peut être en cuivre Cu, bronze Bzll, ou en Al-acier, en fonction des critères dynamiques et des résultats du dimensionnement électrique.

Dans le cadre de ce projet, le porteur recommandé est de 65mm² de section en bronze.

- 6) **Circuit de retour** : Le circuit de retour du courant de la traction est composé du câble CDPA (câble de protection aérien) et les rails, des connexions rail – poteaux sont établies afin de mettre la liaison équipotentielle de l'ensemble du système.
Les types de câbles à utiliser peuvent être en Al ou Al-acier.
- 7) **Les pendules** : Le fil de contact est suspendu au câble porteur par les pendules, ils reliant de leur part un cavalier sur le câble porteur et d'autre part une griffe sur le fil du contact.
- 8) **Les consoles** : Les consoles sont de type triangulaire
- 9) **Équipement par portique rigide** : Dans les zones où les entrevoies ne permettent pas l'implantation des supports indépendants (gares), les portiques rigides sont utilisés. Ils sont constitués de 2 pieds droits réunis par une poutre en profilés assemblés (poutre autoporteuse).
- 10) **Massif** : Un poteau repose sur un massif qui transmet au sol les sollicitations de poteaux et armement. Il est fixé au massif par l'intermédiaire d'une plaque de fixation et de 4 tiges filetées.



Figure XIII. 8:Un massif de la caténaire

XIII.2.4. LE GABARIT DE LA CATENAIRE :

La hauteur de la caténaire, mesurée entre le plan supérieur des rails et le fil de contact est variable et dépend de la présence d'obstacles (ponts, tunnels) ou de points singuliers comme les passages à niveaux. Elle est normalement de 5,75 m, peut descendre à 4,64 m sous tunnel et monter à 6,20 m aux passages à niveaux (pour permettre le passage des véhicules routiers à grand gabarit). Dans le cas des passages sous obstacle, la hauteur du fil de contact s'abaisse progressivement pour dégager le gabarit électrique de l'ouvrage (de même pour le franchissement des passages à niveaux avec une élévation de cette hauteur).

CHAPITRE XIV:

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

- 1. INTRODUCTION.**
- 2. CADRE REGLEMENTAIRE.**
- 3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE.**
- 4. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT.**
- 5. EVALUATION DES IMPACTS PREVISIBLE ET LES MESURE A
PRENDRE POUR CHAQUE PHASE DU PROJET.**
- 6. CONCLUSION.**

XIV.1. INTRODUCTION:

Dans cette phase d'étude, on présente une analyse détaillée des impacts directs et indirects du projet objet de l'étude sur l'environnement social et naturel, tout en identifiant les zones sensibles qui doivent être protégées contre ces impacts.

Cette étude porte sur l'analyse environnementale et sociale de la zone abritant le projet, de 10km, il prend son origine au niveau de la gare ferroviaire de la Commune d'El Hadjout (W. Tipaza), en traversant une importante plaine de caractère agricole (plaine de Mitidja).

XIV.2. CADRE REGLEMENTAIRE:

Le projet est assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement en vertu des dispositions de la réglementation nationale en vigueur, notamment :

- **Loi 03-10** du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- **Décret exécutif n° 06-198** du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 Mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif n° 07-144** du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 fixant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif n° 07-145** du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- **Loi n° 2002-02 du 22 Dhou El Kaada 1422** correspondant au 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- **Décret exécutif n°09-88 du 21 Safar 1430** correspondant au 17 février 2009 relatif au classement des zones critiques du littoral.

XIV.3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE:

XIV.3.1. Zone d'influence indirecte:

La zone d'influence indirecte est située dans la wilaya de Tipaza.

Vu l'envergure du projet de future port centre d'El Hamdania-Cherchell- W de Tipaza, cette zone peut être élargie vers Alger, Ain Defla et Médéa, toutes ces Wilayas limitrophes peuvent bénéficier des atouts positifs de ladite liaison ferroviaire entre le port entre d'El Hamdania, et la gare d'El Affroun, qui va servir aux différentes destinations de marchandises.

Les communes traversées par le projet sont : Hadjout, Nador, Sidi Ammar).

Les communes les plus proches mis à part celles traversées par le projet sont : Sidi Rached, Oued Djer, Meurad, Menaceur, El Affroun (Blida), Ahmar El Ain, Bourkika, Tipaza, et Cherchell.

XIV.3.2. Zone d'influence directe :

C'est la zone composée d'une bande d'environ 01 km (500m de l'axe du projet sur les deux rives de l'axe de la ligne ferroviaire), c'est la zone qui subit le plus des impacts positifs et/ou négatifs du projet. S'étale sur une superficie de 129.76 km², et compte une population estimée à 79 835 Habitant selon une étude en 2015, avec une densité moyenne de 615 hab /km².

XIV.4. DESCRIPTION DE SITE ET SON ENVIRONNEMENT :

XIV.4.1. Environnement physique :

Climat	<ul style="list-style-type: none"> La zone d'étude appartient à la zone climatique A (caractérisée par un climat tempéré Subhumide).
Température	<ul style="list-style-type: none"> T max (°C) : 27,6. T min (°C) : 10. T moy. (°C) : 18,3.
Vents	<ul style="list-style-type: none"> Un vent faible à modéré, frais et humide d'Est souffle de Mai en Octobre, tandis que le vent d'Ouest souffle de Novembre en Mai apportent les pluies. Le sirocco se manifeste 14 jours1 an en moyenne pendant la période estivale juillet et Août. L'intensité du vent est assez forte sur la façade maritime. Les vents dominants de direction Nord- Ouest en hiver et Nord Est en été.
Relief	<ul style="list-style-type: none"> Les premiers 4 km du projet traversent la plaine de Mitidja, cette dernière est caractérisée par un relief plat et par des potentialités agricoles très importantes, De Nador vers la fin du tronçon PK 29 le terrain est plus au moins vallonné, dans cette section
Sismologie	<ul style="list-style-type: none"> la région étudiée est classée dans la zone sismique III, à Sismicité élevée.

XIV.4.2. ENVIRONNEMENT BIOLOGIQUE :

XIV.4.2.1. La Faune :

La région étudiée est connue pour la variété de ses biotopes, elle renferme un potentiel cynégétique important. Notre étude sert aussi à protéger l'habitat de la faune sauvage commune qui existe dans la région. Parmi Les espèces les plus remarquables :

Espèces de mammifères	Les Ovins,-les Bovins- les caprins- le sanglier (<i>Sus scrofa</i>)- le renard (<i>vulpes</i>)- le lapin de garenne (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)- le hérisson d'Algérie (<i>Erinaceus algirus</i>)- le lièvre brun (<i>Lepus capensis</i>)- la genette (<i>Genetta genetta</i>)- et la belette (<i>Mustela nivalis</i>) ...etc.
Espèces de reptiles	L'agame, le caméléon commun, le lézard, la couleuvre, les serpents...etc.
Espèces d'oiseaux	Les genres les plus intéressants et assez rares sont <i>Accipiter</i> , <i>Hieraaetus</i> , <i>Falco</i> , <i>Athene</i> , <i>Alauda</i> , <i>Lullula</i> , <i>Galerida</i> , <i>Hirundo</i> , <i>Motacilla</i> , <i>Anthus</i> , <i>Sylvia</i> , <i>Phyloscopus</i> , <i>Saxicola</i> , <i>Turdus</i> , <i>Erithacus</i> , <i>Parus</i> , <i>Emberiza</i> , <i>Fringilla</i> , <i>Carduelis</i> , <i>Serinus</i> , <i>Chloris</i> , <i>Passer</i> , <i>Garrulus</i> , <i>Upapa</i> , ...etc.

XIV.4.2.2. La Flore :

La région d'étude est caractérisée par une végétation typiquement méditerranéenne composée de chênes, de chênes lièges, de chênes zen, un chêne souvent centenaire au tronc droit qui peut atteindre 6 m de circonférence, de cèdres odorants, de pins d'Alep, de caroubiers, de lentisques ou d'arbousiers. Les plaines irriguées de la Mitidja se composent principalement de vergers d'agrumes (orangers, citronniers, mandariniers, pommiers, poiriers...). La végétation abonde et les cultures maraîchères (tomates) sont privilégiées.

XIV.4.3. ENVIRONNEMENT SOCIOCULTUREL :

XIV.4.3.1. Population et Habitat :

La zone d'étude s'étale sur une superficie de 129.76 km², et compte une population estimée à 79 835 Habitant selon une étude en 2015, avec une densité moyenne de 615 hab. /km².

Daïras et Communes	Superficie (km)	Population 2017	Densité (hab. /km ²)
HADJOUT	52,43	52923	1009
SIDI-AMAR	45.33	15870	350
NADOR	32	11042	345

XIV.4.3.2. Agriculture :

La zone d'étude est connue par sa vocation agricole, elle dispose d'une superficie agricole totale (SAT) de 22 147 Ha.

L'activité agricole principale dans la zone d'étude est constituée en premier rang par les cultures industrielles, suivi par les cultures maraichères.

Une agriculture sous serres occupée principalement par de la Tomate, piment, poivron, courgette, concombre, haricot, fraisiers, et l'aubergine.

XIV.5. EVALUATION DES IMPACTS PREVISIBLES ET LES MESURE A PRENDRE POUR CHAQUE PHASE DU PROJET :

Application sur le projet :

XIV.5.1. Impacts sonores :

Tableau XIV1: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sonores)

Impacts	Localisation		Mesures
Les nuisances générées par les travaux sont : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Présence d'engins de terrassements et au ▪ Trafic des camions transportant les matériaux et équipements de construction. 	Une Petite ville	de Pk 21+000 au Pk21+300	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La circulation des engins doit être limitée à l'intérieur des emprises du projet et des pistes d'accès, dans des horaires bien définis. ▪ Les travaux de nuit ne seront effectués qu'en cas d'urgence (rétablissement de routes ou de réseaux).
	Une Petite ville	Pk 22+200 au Pk22+600	
	Une ferme	Pk24+980	
	Une ferme	Pk25+540	
	Une Petite ville	De Pk 26+780 au Pk27+600	
Les nuisances générées par le passage des trains	Une Petite ville	De Pk 28+300 au Pk28+800	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conception des merlons pour l'isolation sonore

XIV.5.2. Impacts sur les biens de la population :

Tableau XIV 2: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur les biens de la population)

Impacts	Localisation			Mesures
Expropriation des terrains agricoles	Le long du tracé			Identification des pertes puis déterminer les montants d'indemnisation
Destruction des serres agricoles	9 serres : Du pk 25+000 au pk 25+200			
	7 serres : Du pk 28+750 au pk 28+900			
Abattage d'arbres fruités	1,68 hectare: Du pk 24+000 au pk 24+840			
	1,4 hectare: Du pk 25+700 au pk 26+400			
Implantation de la voie au milieu des terres agricoles	la route nationale N°67 « RN 67 »	PK19+240	Passage Supérieure	Conception des ouvrages de passage agricole, pistes agricoles parallèles au chemin de fer pour
	une piste	PK19+490	Passage Supérieure	
	Chemin communal (CC)	Pk 20+060	Passage Supérieure	
	une piste agricole	Pk 21+860	Passage Supérieur	
Franchissement des pistes existantes	La route nationale N° 42 « RN 42 »	Pk 22+860	Passage Supérieur	la liaison entre les passages. Conception des ouvrages soit en passage supérieur ou inférieur.
	la rocade de Tipaza	Pk 25+560	Passage Inferieur	
	une piste	Pk 26+000	Passage Inferieur	
	une piste agricole	Pk 27+230	Passage Supérieur	

XIV.5.3. Effet de coupure :

Tableau XIV. 3: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Effet de coupure)

Impacts	Localisation		Mesures
L'effet de coupure que génère la réalisation d'une ligne nouvelle ferroviaire entraîne d'autres types de Rétablissements : ceux des écoulements naturels (ruisseaux, rivières et fleuves).	Dalot	Pk 19+210	Implanter des ouvrages hydrauliques pour perturber le moins possible les écoulements naturels.
	Dalot	Pk 19+950	
	Dalot	Pk 20+422	
	Pont (oued)	Pk 22+260	
	Pont (oued)	Pk 23+140	
	Dalot	Pk 24+650	
	Dalot	Pk 25+198	
	Dalot	Pk 25+665	
	Dalot	Pk 26+403	
	Dalot	Pk 26+753	
	Dalot	Pk 27+742	

XIV.5.4. Risque d'accidents :

Tableau XIV. 4: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Risque d'accidents)

Impact	Mesure
La présence d'engins de chantiers accroît les risques d'accident pour les travailleurs et même pour les habitants situés à proximité des voies d'accès au chantier.	Des signalisations claires des chantiers et pistes d'accès seront mises en place afin de limiter les risques d'accident.

XIV.5.5. Impacts sur la qualité de l'air et de l'eau :

XIV.5.5.1. Impacts sur la qualité de l'air :

Tableau XIV. 5: évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la qualité de l'air)

Impact	Mesure
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins ➤ Des émissions de poussières dues au transport de matériaux par les camions. ➤ Une dispersion accidentelle de produits chimiques gazeux. 	<p>Pour diminuer la pollution de l'air à cause de la génération de poussière il est recommandé :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ L'irrigation des zones de chantier de façon régulière. ➤ Bâchage de camions : Durant le transport de matériaux.

XIV.5.5.2. Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines :

Tableau XIV. 6:évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impact sur les eaux superficielles et les eaux souterraines)

Impact	Mesure
<p>1) Impact sur les eaux superficielles : Les eaux des oueds peuvent être altérées temporairement par les travaux (diversement des eaux de chantier, une contamination possible de l'eau suite à un diversement accidentel d'hydrocarbures).</p> <p>2) Impact sur les eaux souterraines :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, cela risque de contaminer des eaux souterraines par infiltration lors d'un accident de diversement de ces dernier dans la nature. ➤ Le rabattement des nappes par pompage qui conduit à un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines 	<p>Pour La préservation de ces ressources naturelles il faut éviter :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le nettoyage des engins de chantier aux bords d'Oued, Rejet des déchets (sanitaires, ou bien de la base vie) en phase de construction. ➤ Déversements des produits chimiques et des hydrocarbures par des effets accidentels, ou par Malveillance. ➤ Une augmentation de la turbidité des eaux de surface par le rejet des eaux de chantiers La modification du régime d'écoulement des eaux de surfaces à cause des mauvais travaux de terrassements, et de remblaiement.

XIV.5.6. Impacts sur la faune et la flore :

Tableau XIV. 7:évaluations des impacts prévisibles et les mesure à prendre pour chaque phase du projet (Impacts sur la faune et la flore)

Impact	Localisation	Mesure
Faune : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistiques ➤ Les vibrations dues aux travaux peuvent faire fuir les reptiles. 	Forêt (barrière) :pk22+160 au Pk 22+340	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La pose des barrières pour la faune le long des passages des forêts ou des zones de colonisation faunistiques. ➤ Impact de vibration sera modéré dans le temps. ➤ Création des passages pour animaux
	Forêt (barrière) :pk23+060 au Pk 23+360	
	Passage : Pk 22+200	
	Passage : Pk 23+200	
Flore : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Abattage d'arbres ➤ Terre végétale enlevée lors des travaux de terrassements 	Forêt : Pk22+160 au pk 22+340	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les talus créés doivent être végétalisés ➤ Réutilisation dans l'aménagement des espaces verts aux tours de l'axe ➤ Eviter le maximum les zones riches en végétation
	Forêt : Pk23+060 au pk 23+360	
	Arbre fruités et Terres végétales : voir Impacts sur les biens de la population.	

XIV.6. CONCLUSION:

Ce projet vient de renforcer le réseau ferroviaire sur le plan socio-économique national et régional, comme il sera une source de soulagement du réseau routier et des utilisateurs de la route par absorption d'un taux important du poids lourd dédié au transport des marchandises, et des voyageurs qui vont utiliser cette ligne au futur. Le projet servira aussi à la diminution du temps de parcours, taux d'accidents de la circulation, diminution des émissions de polluants (ligne électrifiée), réduction des niveaux de bruit généré par les lignes traditionnelles.

Cependant, comme tout projet similaire, pendant sa construction et son exploitation il aura des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement ce qui va entraîner des perturbations sur le fonctionnement naturel et urbain et sur le cadre de vie des riverains.

Pour un projet qui s'insère dans son environnement, on s'y focalisé sur l'analyse des impacts du projet sur l'environnement naturel, social et socio-économique, avec une préoccupation des terres agricoles et des reboisements affectés par le projet.et on a proposé des mesures à prendre pour minimiser le maximum de ces impactes.

CHAPITRE XV:
DEVIS QUANTITATIF
ET ESTIMATIF

CHAPITRE XV : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

N°de s	Désignation des travaux	unité	Quantité	PU(D)	Montant (DA)
1	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION				
1-a	Amenée du matériel et installation générale du chantier	F	1	305 000 000	305 000 000,00
1-b	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	50 000 000	50 000 000,00
1-c	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1	27 500 000	27 500 000,00
Coût total installation de chantier et études d'exécution (DA)				382 500 000,00	
2	TERRASSEMENT				
2-a	Décapage de terre végétale	M3	555291.55	500,00	277 645 780,00
2-b	Déblai mis en remblai	M3	497968.77	800,00	398 375 020,00
2-c	Déblai mis en dépôt	M3	180077.81	550,00	99 042 800,00
2-e	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,35 m ep	M3	53 797.09	1 700,00	91 455 060,00
2-f	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation de 0,18 m ep	M3	26 144.8	3 200,00	83 663 360,00
2-g	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0,20 m ep	M3	27 837.07	3 200,00	89 078 625,00
Coût total des terrassements (DA)				1 039 260 645,00	
3	TRAVAUX DE LA VOIE				
3-a	Fourniture et pose ballast (30 cm)	M3	56 243.64	6 800,00	382 456 755,00
3-b	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	T	2413,6	121 000,00	292 045 600,00
3-c	Pose de voie UIC 60	ML	200 00	6 300,00	126 000 000
3-e	Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC- 60- 1/12- 500	U	15	14 200 000.00	213 000 000,00
3-f	Pose d'un appareil de voie UIC 60 1/12 500	U	15	620 000,00	9 300 000,00
3-g	Fourniture d'un branchement d'appareil de voie UIC 60- 1/9- 190	U	4	13 800 000.00	55 200 000,00
3-h	Pose d'un appareil de voie UIC 60 1/9 190	U	4	540 000.00	2 160 000,00
3-I	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	333 40	5 700,00	190 038 000.00
3-J	Fourniture des attachés (Type Nabla) pour rails UIC 60	U	133 360	850 ,00	113 356 000.00
Coût total de Travaux de la voie (DA)				1 383 556 355,00	

4	ASSAINISSEMENT TRANSVERSAL ET LONGITUDINAL				
4-a	Fossé trapézoïdaux en béton armé	ML	19372,00	6 200,00	120 106 400,00
4-b	Dalot en béton armé 2(2 x 2)	M3	96	47 080,00	4 519 680,00
4-c	Dalot en béton armé 2(2 x 3)	M3	144	47 084,00	6 780 096,00
4-d	Dalot en béton armé 2(2.5 x 3)	M3	180	47 086,00	8 475 480,00
4-e	Dalot en béton armé 1(3 x 3)	M3	108	47 088,00	5 085 504,00
4-f	Dalot en béton armé 2(3x4)	M3	288	47 090,00	13 561 920,00
Coût Total De l'Assainissement Transversal et Longitudinal (DA)				158 529 080,00	
5	OUVRAGES D'ARTS ET GARE				
5-a	Pont Hydraulique	U	2	20000000	40 000 000,00
5-b	Les Passages Supérieur	U	6	15000000	90 000 000,00
5-c	Les Passages Inférieur	U	2	9000000	18 000 000,00
5-d	aménagement des gares				116 100 000,00
coût total des ouvrages d'art et gare (DA)				264 100 000,00	
6	SIGNALISATION ET ELECTRIFICATION 25 KV/50 HZ				
6-a	SIGNALISATION				90 920 218,00
6-b	ELECTRIFICATION 25 KV/50 HZ	Km	10	42 605 840	426 058 400,00
coût total signalisation et électrification				516 978 618,00	

Récapitulation		
N° Lot	Désignations des lots	Montants(DA)
Lot N°01	installation de chantier et études d'exécution	382 500 000,00
Lot N°02	terrassement	1 039 260 645,00
Lot N°03	travaux de la voie	1 383 556 355,00
Lot N°04	assainissement transversal et longitudinal	158 529 080,00
Lot N°05	ouvrages d'arts gare et	264 100 000,00
Lot N°06	signalisation et électrification 25 kV/50 Hz	516 978 618,00
Montant total hors taxe		6 121 824 698
Montant /Km HT		6 121 824 69,80

Le cout total hors taxes de projet est de :

Six milliard cent vingt et un millions huit cent vingt-quatre mille six cent quatre-vingt- dix-huit Dinar Algérien

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'amélioration et l'aménagement des infrastructures de transports en générale et de secteur ferroviaire en particulier est la base de développement du pays cela permet de régler plusieurs problèmes contrairement aux autres modes de transport tel que les problèmes de circulations, le taux de croissance élevé, temps de parcourir, pollution .etc.

Comme l'Algérie est un pays peu développé dans le secteur ferroviaire considérant son énorme superficie plusieurs programmes de modernisation de réseau ferrée national ont été établis pour donner un nouveau souffle à notre économie.

Notre projet fin d'étude qui porte sur une étude APD d'un tronçon de 10 km (du PK19 au PK 29) de la nouvelle ligne ferroviaire à double voie El Affroun-Port Centre rentre dans le cadre de ce programme de développement il permet d'améliorer les conditions d'exploitations, les performances du chemin de fer ainsi de relier ces villes au réseau ferré.

Notre travail est basé sur des normes existantes (UIC), tout en respectant les exigences de la SNTF pour enfin réaliser une ligne à une vitesse de 160km/h pour train passagers 80km/h pour les trains de marchandise en assurant le confort et la sécurité.

On s'est trouvé face à plusieurs contraintes qui peuvent se présenter lors d'une étude de voie ferrée donc on a essayé de trouver les meilleures solutions à tous ses problèmes techniques.

Ce travail était une occasion pour mieux maîtriser quelques logiciels informatiques du domaine comme :

Civil 3d, global mapper et AUTOCAD.TALREN V5

Ce projet de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine ferroviaire et d'appliquer ce qu'on a acquis durant notre formation à l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

La bibliographie

- [1] Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) à l'adresse URL : <https://www.sntf.dz/> , consulté en ligne le 02 Avril 2017.
- [2] Central Intelligence Agency (CIA), WORLD FACTBOOK-VERSION DU 01/01/2011, article disponible à l'adresse URL : <https://www.cia.gov/>, consulté en ligne le 02 Avril 2017.
- [3] RPOA 2008.
- [4] les normes UIC (703 R).caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides.2 eme édition.
- [5].SNTF 2003, IN 2547.
- [6] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.
- [7] SETS, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
- [8] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
- [9] SETS, « Rapport de synthèse géotechnique »
- [10] L'Association Française de Normalisation (AFNOR), Sol : reconnaissances et essais- Description, identification et dénomination des sols-Terminologie et éléments de classification, référence : XP P 94-0110, Aout 1999.
- [11] UIC719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2e Edition, 01/01/1994.
- [12] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires, 22/12/2005.
- [13] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
- [14] norme SNTF chapitre. 10
- [15] Ecole Spécial des Travaux Publics-Paris, Matériels fixe de la voie, 6e édition.

LISTE
DES ANNEXES

ANNEXE A1 : Listing d'axe en plan.

Client: ENSTP
Logiciel civil 3d 2018

Préparé par : BELABED et LIANI
Date : 20/05/2019 15 :17 :44

Axe en plan: Alignement APD (AFFROUN- TIPAZA)

Description la ligne ferroviaire AFFROUN –PORT CENTRE (HAMDANIA –
CHERCHELL-TIPAZA).

Plage d'abscisse : Début: 19+000.00, Fin: 28+999.56

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			19+000.0	448,536.136	4,042,185.626
DR1	ANG=316.1080 (g)	1,412.087			
			20+412.0	447,169.010	4,042,539.117
CLO2	A=392.428				
	R=1,400.000	110			
			20+522.0	447,062.889	4,042,568.043
ARC3	XC=447,466.3191				
	YC=4,043,908.657				
	R=1,400.000	1,646.222			
			22+168.3	446,073.683	4,043,765.248
CLO4	A=392.428				
	R=1,400.000	110			
			22+278.3	446,065.285	4,043,874.920
DR5	ANG=395.9684 (g)	356.7605			
			22+635.0	446,042.707	4,044,230.965
CLO6	A=387.298				
	R=1,000.000	150			
			22+785.0	446,036.960	4,044,380.818
ARC7	XC=447,036.8926				
	YC=4,044,369.147				
	R=1,000.000	134.144			
			22+919.2	446,047.504	4,044,514.445
CLO8	A=387.298				
	R=1,000.000	150			
			23+069.2	446,076.682	4,044,661.542
CLO9	A=387.298				
	R=1,000.000	150			
			23+219.2	446,105.860	4,044,808.639
ARC10	XC=445,116.4724				
	YC=4,044,953.937				
	R=1,000.000	230.288			
			23+449.5	446,112.906	4,045,038.310
CLO11	A=387.298				

ANNEXES A

	R=1,000.000	150			
			23+599.5	446,092.801	4,045,186.919
DR12	ANG=389.8476 (g)	546.243			
			24+145.7	446,006.058	4,045,726.231
CLO13	A=378.153				
	R=1,100.000	130			
			24+275.7	445,982.894	4,045,854.130
ARC14	XC=444,909.0638				
	YC=4,045,615.618				
	R=1,100.000	940.355			
			25+216.1	445,433.884	4,046,582.346
CLO15	A=378.153				
	R=1,100.000	130			
			25+346.1	445,317.299	4,046,639.814
DR16	ANG=327.9013 (g)	392.3395			
			25+738.4	444,962.041	4,046,806.313
CLO17	A=387.298				
	R=1,000.000	150			
			25+888.4	444,824.703	4,046,866.540
ARC18	XC=444,469.3688				
	YC=4,045,931.801				
	R=1,000.000	423.611			
			26+312.0	444,409.067	4,046,929.981
CLO19	A=387.298				
	R=1,000.000	150			
			26+462.0	444,260.016	4,046,913.468
DR20	ANG=291.3841 (g)	283.4383			
			26+745.4	443,979.170	4,046,875.225
CLO21	A=418.330				
	R=2,500.000	70			
			26+815.4	443,909.767	4,046,866.104
ARC22	XC=443,607.1653				
	YC=4,049,347.722				
	R=2,500.000	252.27			
			27+067.7	443,658.238	4,046,848.244
CLO23	A=418.330				
	R=2,500.000	70			
			27+137.7	443,588.242	4,046,847.467
DR24	ANG=299.5906 (g)	405.4043			
			27+543.1	443,182.847	4,046,844.860
CLO25	A=424.264				
	R=4,500.000	40			
			27+583.1	443,142.848	4,046,844.544
ARC26	XC=443,191.7846				

ANNEXES A

	YC=4,042,344.810				
	R=4,500.000	673.315			
			28+256.4	442,472.628	4,046,786.973
CLO27	A=424.264				
	R=4,500.000	40			
			28+296.	442,433.16	4,046,780.4
DR28	ANG=289.4993	111.384			
			28+407.	442,323.28	4,046,762.1
CLO29	A=374.166				
	R=1,400.000	100			
			28+507.	442,224.46	4,046,746.9
ARC30	XC=442,044.044				
	YC=4,048,135.2				
	R=1,400.000	232.795			
			28+740.	441,992.18	4,046,736.2
CLO31	A=374.166				
	R=1,400.000	100			
			28+840.	441,892.37	4,046,742.3
DR32	ANG=304.6324	158.902			
			28+999.	441,733.89	4,046,753.8

ANNEXE A2 : Listing de la géométrie de profil en long.

Client: ENSTP
Logiciel civil 3d 2018

Préparé par : BELABED et LIANI
Date : 20/05/2019 15 :18 :19

Profil en long : PL APD.

Description: la ligne ferroviaire AFFROUN –PORT CENTRE (HAMDANIA –
CHERCHELL-TIPAZA).

LONGUEUR DE L'AXE : 9,999.560m.

Elément	Caractéristiques des	Longueu	Abscisse	Z
			20+585.86	60.964
PAR0	S= 20+659.48 Z=60.964			
	R = 45,000.000	147.241		
			20+733.10	60.723
D1	PENTE= -0.33%	779.607		
			21+512.71	58.172
PAR1	S= 21+605.76 Z=57.868			
	R = 30,000.000	186.098		
			21+698.81	56.986
D2	PENTE= -0.95%	1,082.631		
			22+781.44	46.728
PAR2	S= 22+830.71 Z=46.261			
	R = 80,000.000	98.536		
			22+879.98	45.855
D3	PENTE= -0.82%	763.099		
			23+643.08	39.564
PAR3	S= 23+725.51 Z=38.885			
	R = 20,000.000	164.872		
			23+807.95	38.885
D4	PENTE= 0.00%	918.615		
			24+726.56	38.885
PAR4	S= 24+851.27 Z=38.885			
	R = 20,000.000	249.423		
			24+975.99	40.44
D5	PENTE= 1.25%	1,066.455		
			26+042.44	53.74
PAR5	S= 26+113.02 Z=54.620			
	R = 40,000.000	141.154		
			26+183.59	55.749

ANNEXE B2 : Carte des bassins versant du tracé.



ANNEXE B3 : les valeurs de débits des BV.

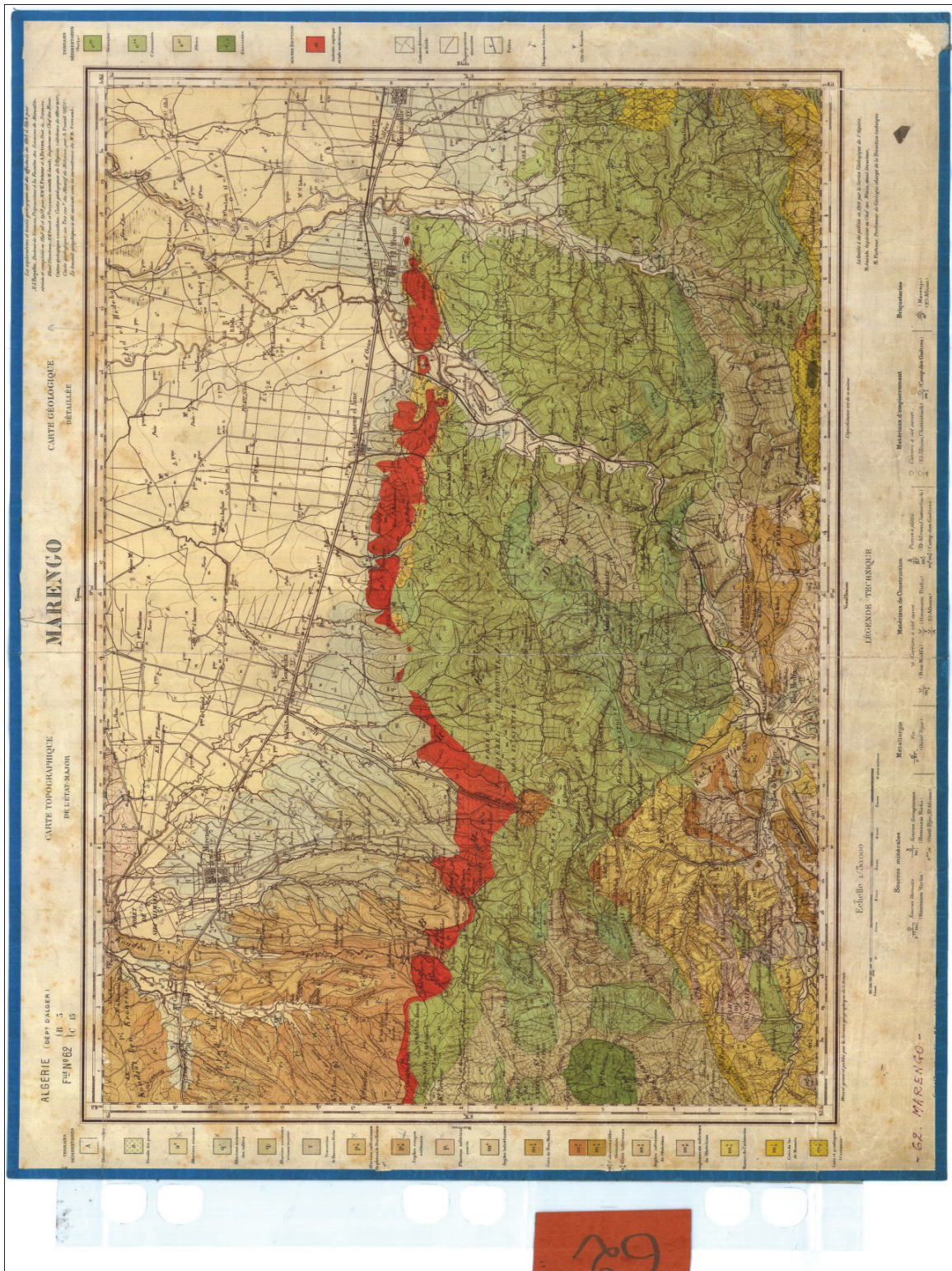
N°BV	PK	Surface A (km ²)	C	T _C (h)	I (100 ans) (mm /h)	Q (100ans) (m ³ / s)
1	19+210	2.68	0.5	1.242	60.67	22.58
2	19+950	0.99	0.5	0.674	90.82	12.49
3	20+422	36.145	0.5	3.059	33.46	81.46
4	22+260	30.333	0.4	3.129	32.97	68.37
5	23+140	43.84	0.4	3.605	30.03	53.22
6	24+650	1.379	0.6	0.651	92.93	21.36
7	25+198	2.884	0.5	1.128	64.65	25.90
8	25+665	10.58	0.5	2.120	42.63	61.51
9	26+403	0.49	0.6	0.227	186.26	15.21
10	26+753	2.533	0.6	0.606	97.42	41.13
11	27+742	2.26	0.6	0.653	92.74	34.93

ANNEXE B4 : Vérification les conditions d'auto curage

PK	ouvrage	Vérification les conditions d'auto curage :									
		V > 0.6 m/s pour Q = 0.1Qps					V > 0.3 m/s pour Q = 0.01Qps				
		Rq	Rv	Vps	V	V >0.6 (m/s)	Rq	Rv	Vps	V	V >0.3 (m/s)
19+210	dalot	0.1	0.638	6.31	4.02	vérifiée	0.01	0.315	6.31	1.98	vérifiée
19+950	dalot	0.1	0.638	5.34	3.40	vérifiée	0.01	0.315	5.34	1.68	vérifiée
20+422	dalot	0.1	0.638	8.22	5.24	vérifiée	0.01	0.315	8.22	2.58	vérifiée
24+650	dalot	0.1	0.638	6.31	4.02	vérifiée	0.01	0.315	6.31	1.98	vérifiée
25+198	dalot	0.1	0.638	6.71	4.28	vérifiée	0.01	0.315	6.71	2.11	vérifiée
25+665	dalot	0.1	0.638	7.9	5.04	vérifiée	0.01	0.315	7.9	2.48	vérifiée
26+403	dalot	0.1	0.638	5.34	3.40	vérifiée	0.01	0.315	5.34	1.68	vérifiée
26+753	dalot	0.1	0.638	7.48	4.77	vérifiée	0.01	0.315	7.48	2.35	vérifiée
27+742	dalot	0.1	0.638	6.71	4.28	vérifiée	0.01	0.315	6.71	2.11	vérifiée

ANNEXE C

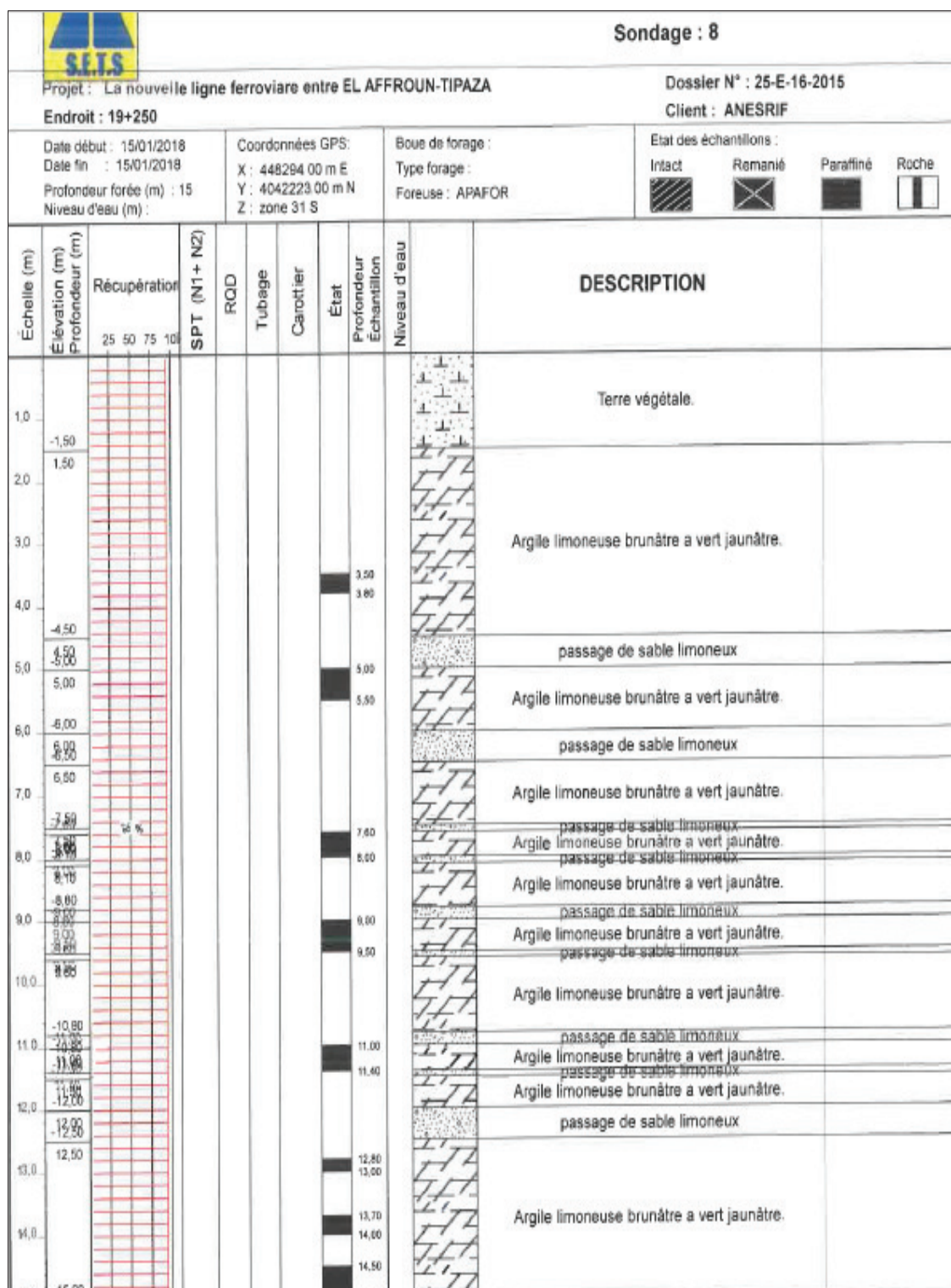
La carte géologique de la zone Hadjout au 1/50000 ème



ANNEXE C

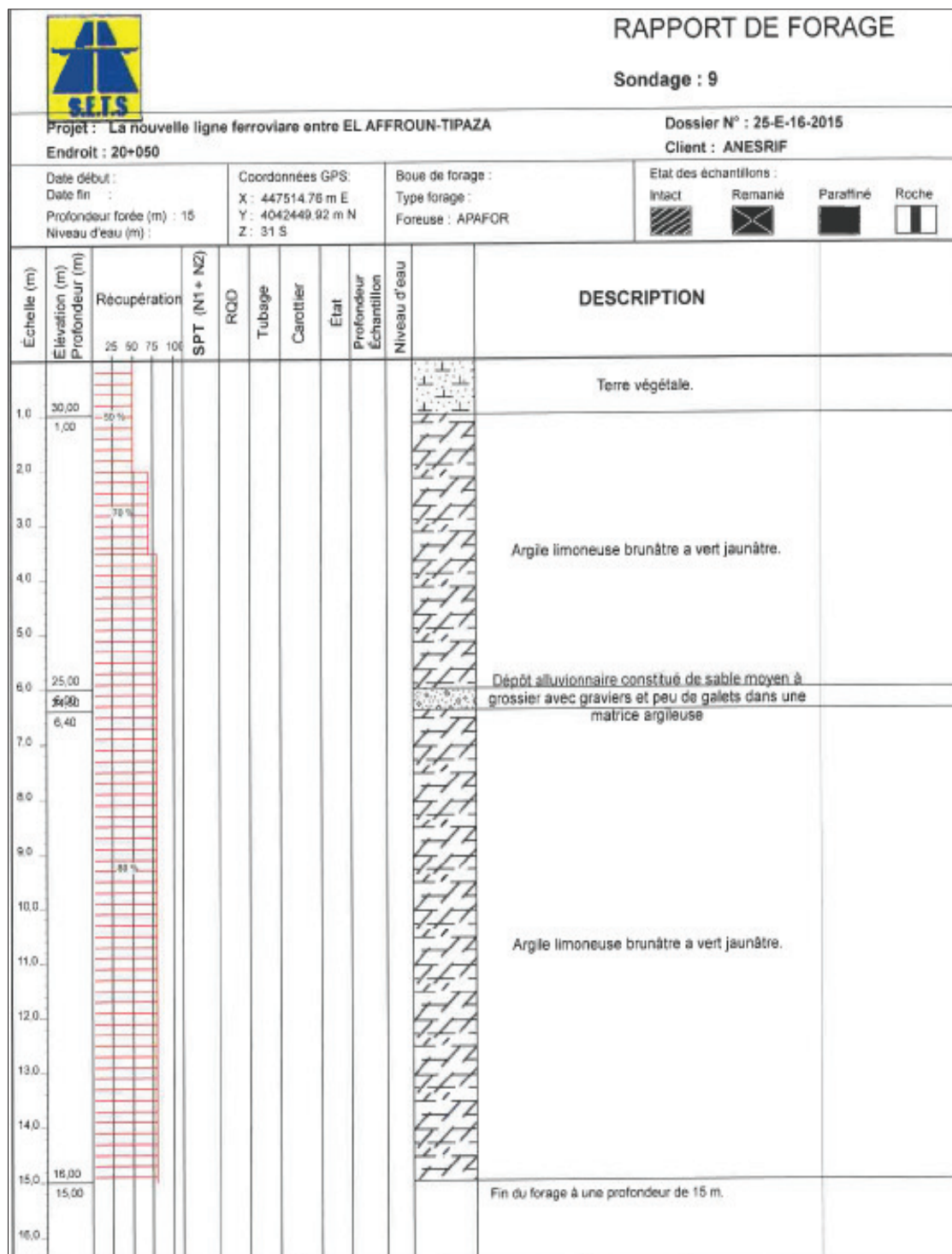
ANNEXE C2 : fiches de laboratoires des sondages carottés

Sondage carottées PK 19 + 250 :



ANNEXE C

Sondage carottées PK 20 + 050 :



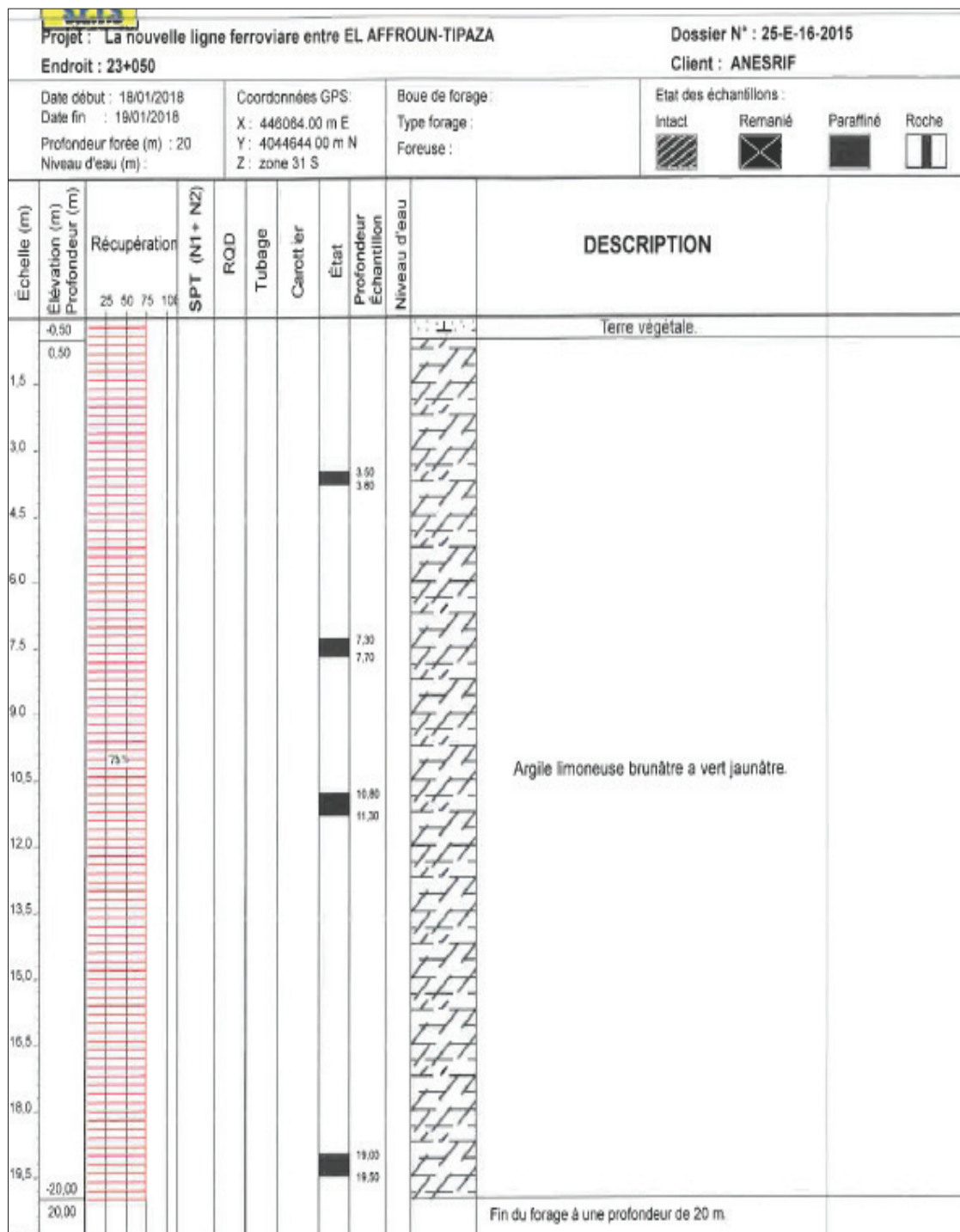
ANNEXE C

Sondage carottées PK 22+ 275 :

Projet : La nouvelle ligne ferroviare entre EL AFFROUN-TIPAZA				Dossier N° : 25-E-16-2015							
Endroit : 22+275				Client : ANESRIF							
Date début : 17/01/2018 Date fin : 18/01/2018 Profondeur forée (m) : 20 Niveau d'eau (m) :		Coordonnées GPS: X : 448045 00 m E Y : 4043860 00 m N Z : zone 31 S		Boue de forage : Type forage : Foreuse : APAFOR		Etat des échantillons : Intact <input type="checkbox"/> Remanié <input type="checkbox"/> Paraffiné <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/>					
Échelle (m)	Élévation (m) Profondeur (m)	Récupération 25 50 75 100	SPT (N1 + N2)	RQD	Tubage	Carottier	État	Profondeur Échantillon	Niveau d'eau	DESCRIPTION	
1.5											Terre végétale.
3.0	-3.00										Argile limoneuse brun foncé à noire
4.5	-3.00										
6.0	-6.00										sable fin
7.5	-6.50										grès très-compacte
9.0	-7.00										sable fin
10.5	-7.50										grès très-compacte
12.0	-8.00										sable fin
13.5	-8.50										grès très-compacte
15.0	-9.00										sable fin
16.5	-9.50										grès très-compacte
18.0	-10.00										sable fin
19.5	-10.50										grès très-compacte
21.0	-11.00										sable fin
22.5	-11.50										grès très-compacte
24.0	-12.00										sable fin
25.5	-12.50										grès très-compacte
27.0	-13.00										sable fin
28.5	-13.50										grès très-compacte
30.0	-14.00										sable fin
31.5	-14.50										grès très-compacte
33.0	-15.00										sable fin
34.5	-15.50										grès très-compacte
36.0	-16.00										sable fin
37.5	-16.50										grès très-compacte
39.0	-17.00										sable fin
40.5	-17.50										grès très-compacte
42.0	-18.00										sable fin
43.5	-18.50										grès très-compacte
45.0	-19.00										sable fin
46.5	-19.50										grès très-compacte
48.0	-20.00										sable fin
49.5	-20.50										grès très-compacte
51.0	-21.00										sable fin
52.5	-21.50										grès très-compacte
54.0	-22.00										sable fin
55.5	-22.50										grès très-compacte
57.0	-23.00										sable fin
58.5	-23.50										grès très-compacte
60.0	-24.00										sable fin
61.5	-24.50										grès très-compacte
63.0	-25.00										sable fin
64.5	-25.50										grès très-compacte
66.0	-26.00										sable fin
67.5	-26.50										grès très-compacte
69.0	-27.00										sable fin
70.5	-27.50										grès très-compacte
72.0	-28.00										sable fin
73.5	-28.50										grès très-compacte
75.0	-29.00										sable fin
76.5	-29.50										grès très-compacte
78.0	-30.00										sable fin
79.5	-30.50										grès très-compacte
81.0	-31.00										sable fin
82.5	-31.50										grès très-compacte
84.0	-32.00										sable fin
85.5	-32.50										grès très-compacte
87.0	-33.00										sable fin
88.5	-33.50										grès très-compacte
90.0	-34.00										sable fin
91.5	-34.50										grès très-compacte
93.0	-35.00										sable fin
94.5	-35.50										grès très-compacte
96.0	-36.00										sable fin
97.5	-36.50										grès très-compacte
99.0	-37.00										sable fin
100.5	-37.50										grès très-compacte
102.0	-38.00										sable fin
103.5	-38.50										grès très-compacte
105.0	-39.00										sable fin
106.5	-39.50										grès très-compacte
108.0	-40.00										sable fin
109.5	-40.50										grès très-compacte
111.0	-41.00										sable fin
112.5	-41.50										grès très-compacte
114.0	-42.00										sable fin
115.5	-42.50										grès très-compacte
117.0	-43.00										sable fin
118.5	-43.50										grès très-compacte
120.0	-44.00										sable fin
121.5	-44.50										grès très-compacte
123.0	-45.00										sable fin
124.5	-45.50										grès très-compacte
126.0	-46.00										sable fin
127.5	-46.50										grès très-compacte
129.0	-47.00										sable fin
130.5	-47.50										grès très-compacte
132.0	-48.00										sable fin
133.5	-48.50										grès très-compacte
135.0	-49.00										sable fin
136.5	-49.50										grès très-compacte
138.0	-50.00										sable fin
139.5	-50.50										grès très-compacte
141.0	-51.00										sable fin
142.5	-51.50										grès très-compacte
144.0	-52.00										sable fin
145.5	-52.50										grès très-compacte
147.0	-53.00										sable fin
148.5	-53.50										grès très-compacte
150.0	-54.00										sable fin
151.5	-54.50										grès très-compacte
153.0	-55.00										sable fin
154.5	-55.50										grès très-compacte
156.0	-56.00										sable fin
157.5	-56.50										grès très-compacte
159.0	-57.00										sable fin
160.5	-57.50										grès très-compacte
162.0	-58.00										sable fin
163.5	-58.50										grès très-compacte
165.0	-59.00										sable fin
166.5	-59.50										grès très-compacte
168.0	-60.00										sable fin
169.5	-60.50										grès très-compacte
171.0	-61.00										sable fin
172.5	-61.50										grès très-compacte
174.0	-62.00										sable fin
175.5	-62.50										grès très-compacte
177.0	-63.00										sable fin
178.5	-63.50										grès très-compacte
180.0	-64.00										sable fin
181.5	-64.50										grès très-compacte
183.0	-65.00										sable fin
184.5	-65.50										grès très-compacte
186.0	-66.00										sable fin
187.5	-66.50										grès très-compacte
189.0	-67.00										sable fin
190.5	-67.50										grès très-compacte
192.0	-68.00										sable fin
193.5	-68.50										grès très-compacte
195.0	-69.00										sable fin
196.5	-69.50										grès très-compacte
198.0	-70.00										sable fin
199.5	-70.50										grès très-compacte
201.0	-71.00										sable fin
202.5	-71.50										grès très-compacte
204.0	-72.00										sable fin
205.5	-72.50										grès très-compacte
207.0	-73.00										sable fin
208.5	-73.50										grès très-compacte
210.0	-74.00										

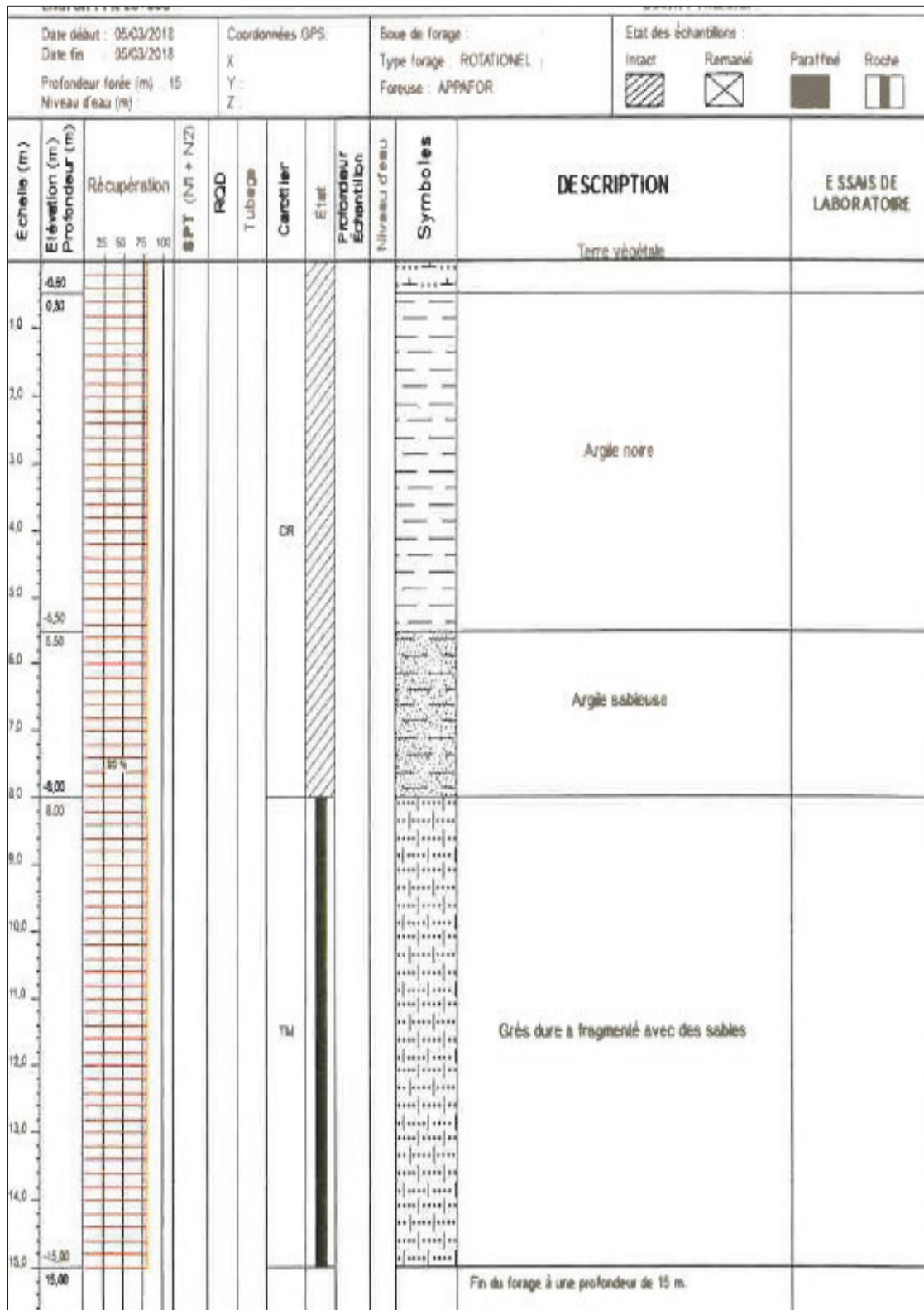
ANNEXE C

Sondage carottées PK 23 + 050 :



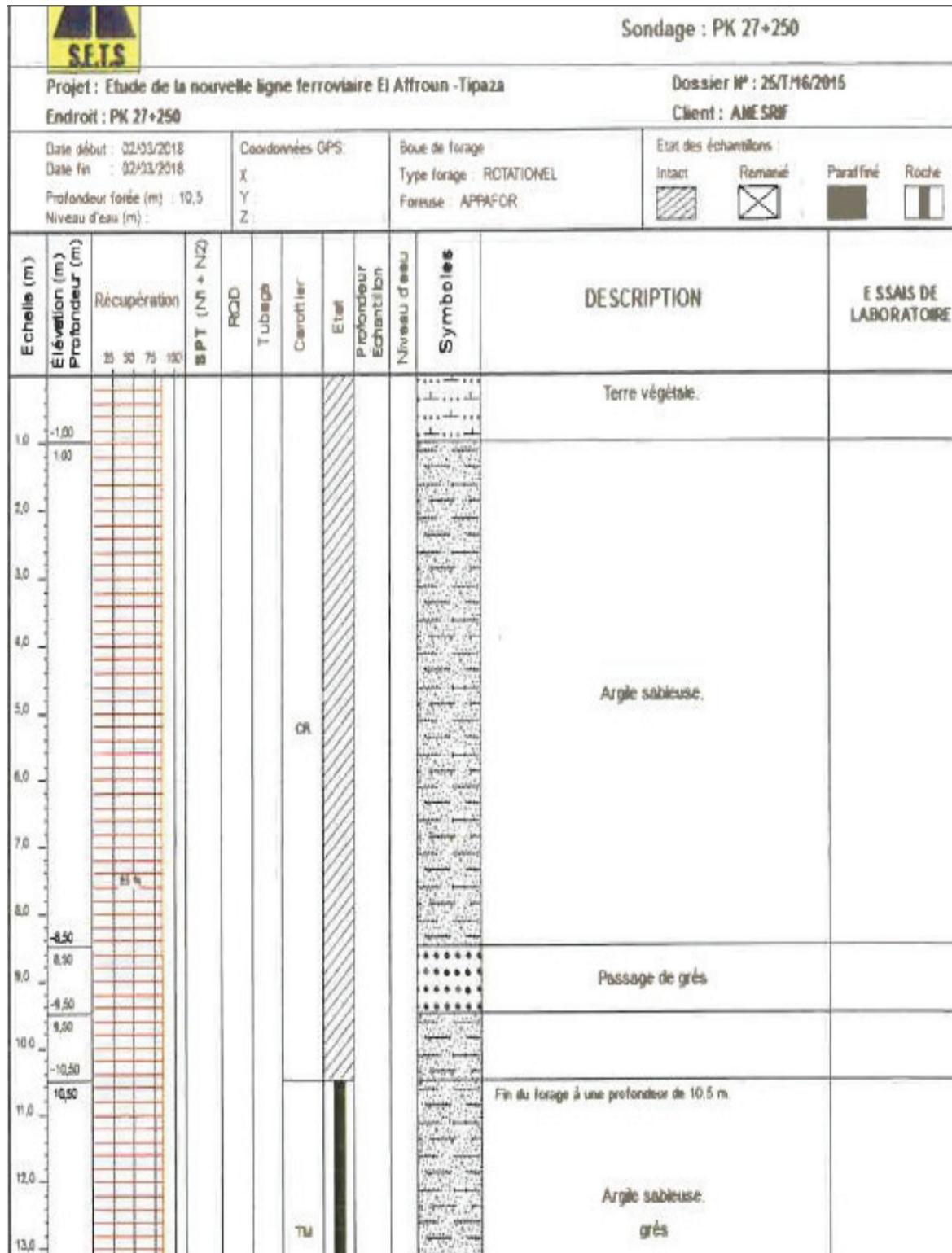
ANNEXE C

Sondage carottées PK 26 + 000 :



ANNEXE C

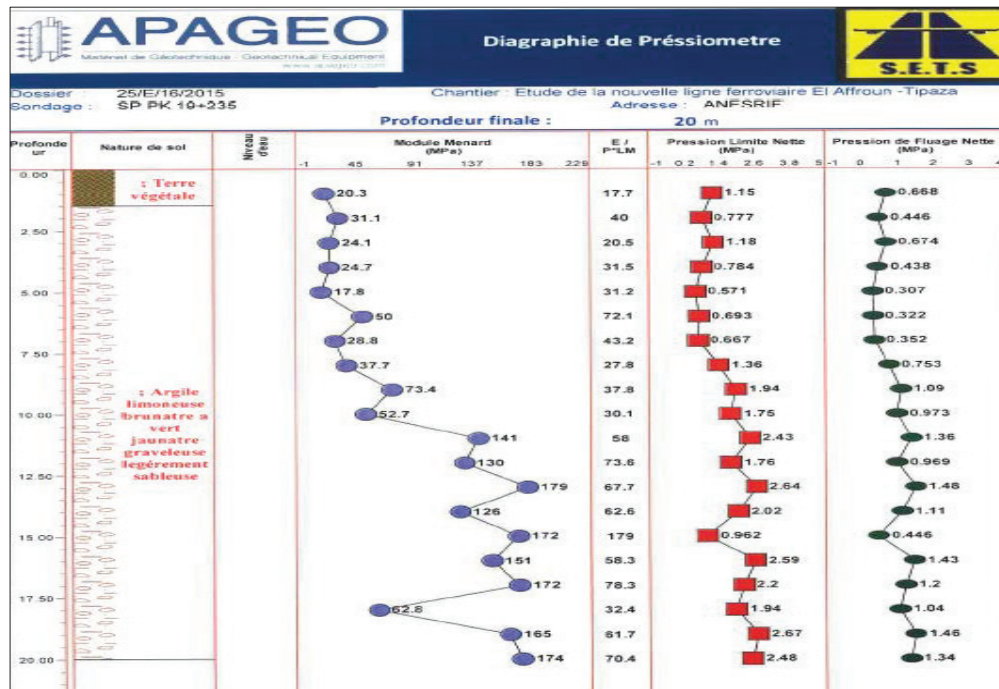
Sondage carottées PK 27 + 250 :



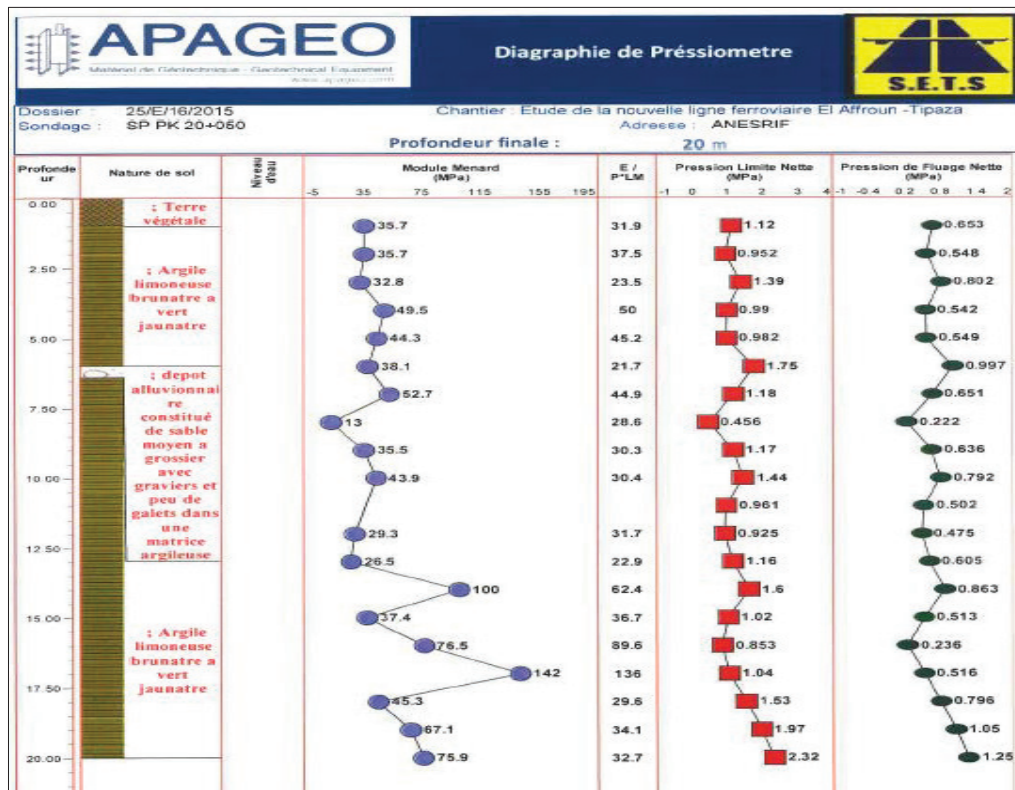
ANNEXE C

ANNEXE C3 : Fiches des essais préssiométriques.

l'essai préssiométrique(pk 19+235) :

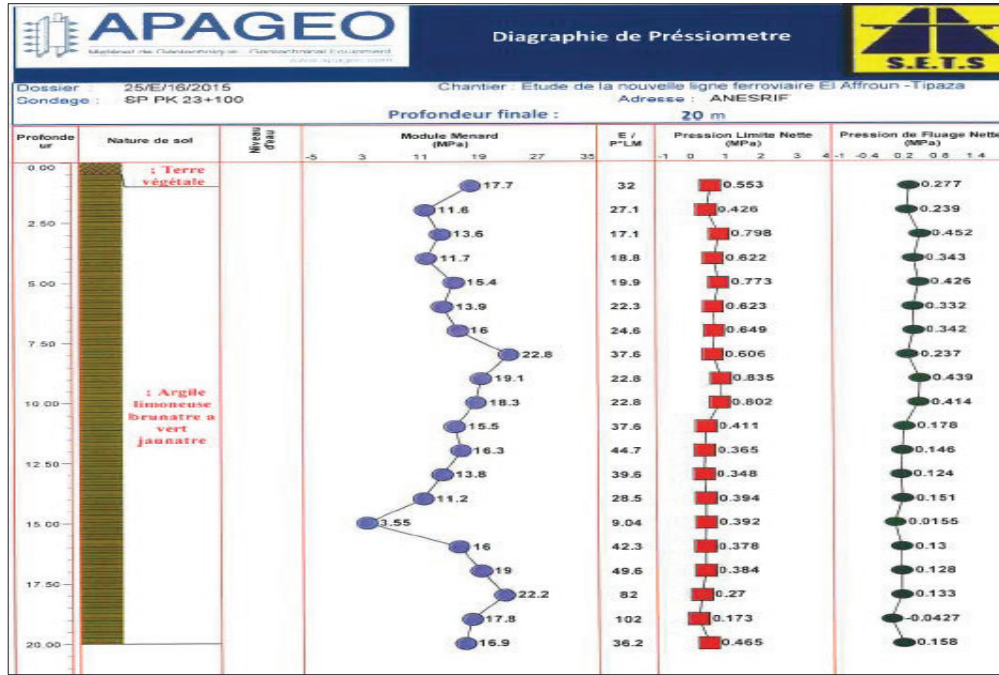


l'essai préssiométrique(pk 20+050) :

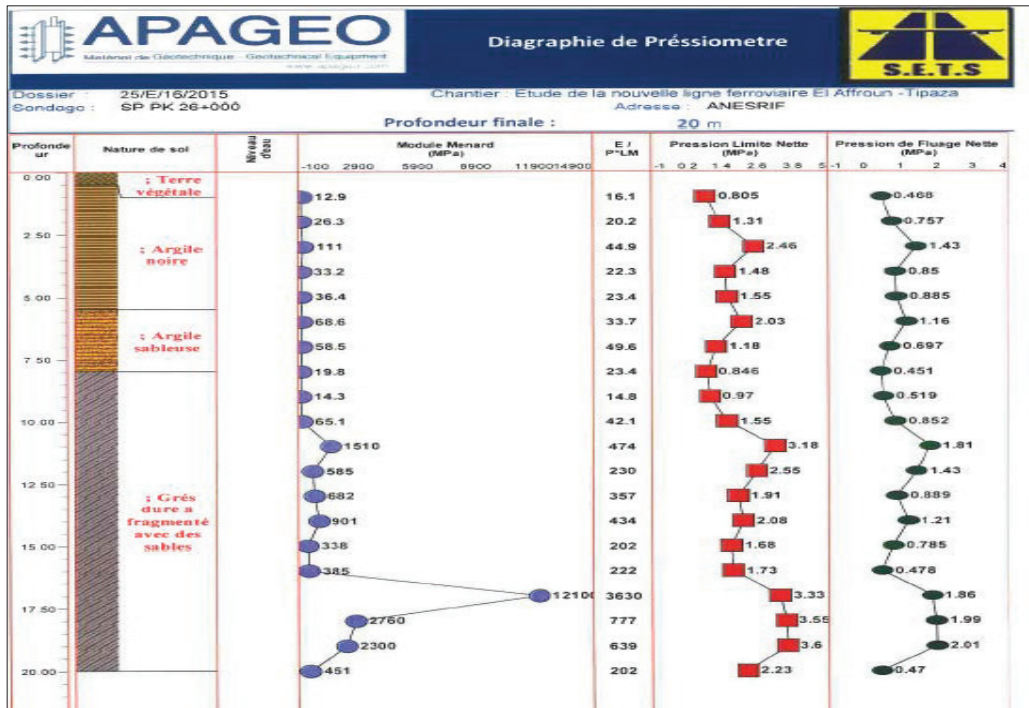


ANNEXE C

l'essai préssiométrique(pk 23+100) :



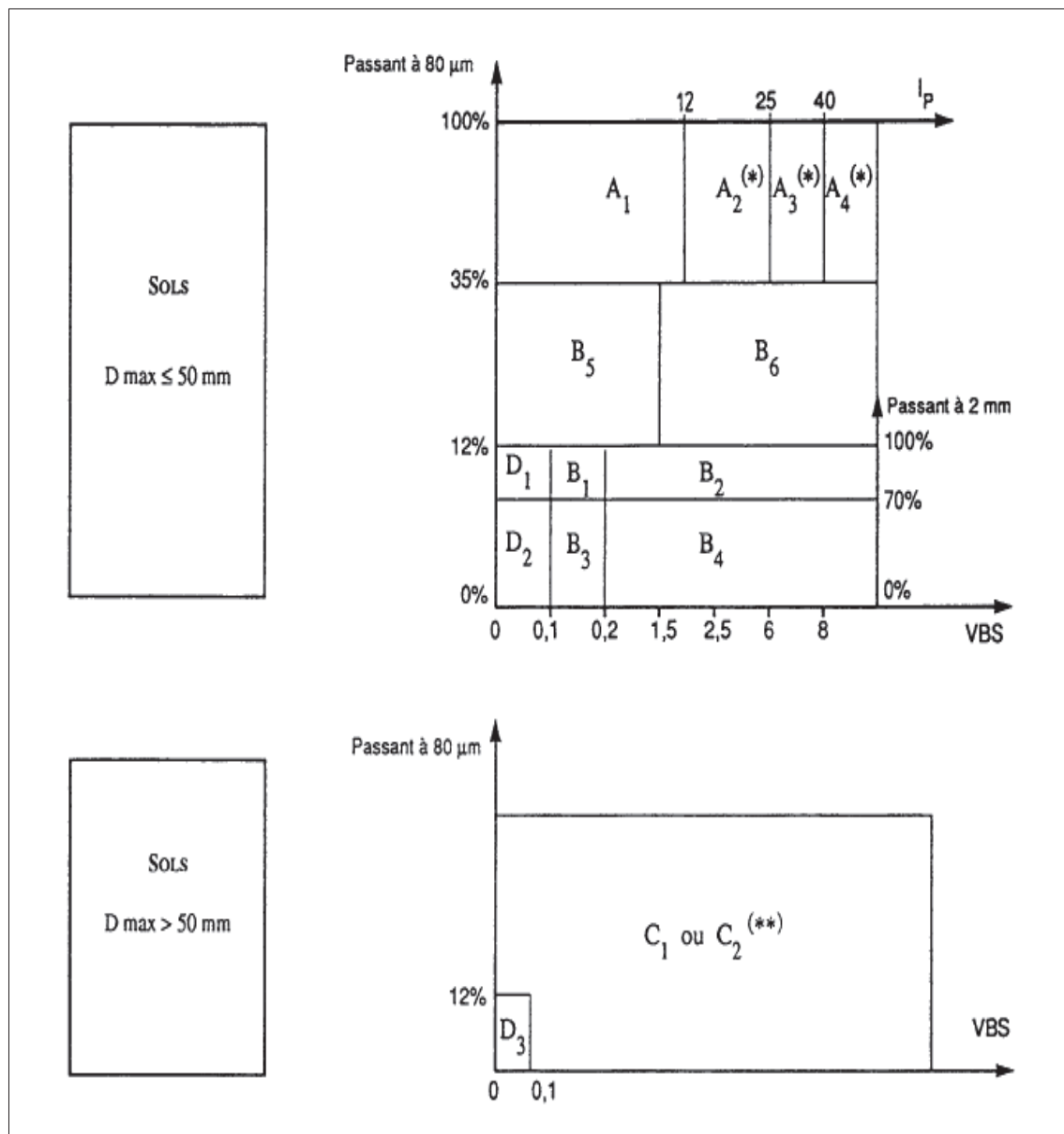
l'essai préssiométrique(pk 26+000) :



ANNEXE C

ANNEXE C4 : CLASSIFICATION DES SOLS:

Classifications selon GTR :



ANNEXE C

Classifications des sols selon UIC (POUR LA PLATEFORME) :

La qualité de sol pour la plateforme dépend des deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol; à cet égard, on utilise l'identification géotechnique.
- Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales.

On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises, les quatre classes de qualité QSi de sols ci-après :

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de $pd < 1.7$ t/m ³ et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de $pd < 1.7$ t/m ³ et de friabilité faible - Schistes non altérés 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles LA > 40.
QS2 Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes ($Cu \leq 6$). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si $25 < MDE \leq 40$ et $30 < LA \leq 40$
QS3 Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si $MDE \leq 25$ et $LA \leq 30$

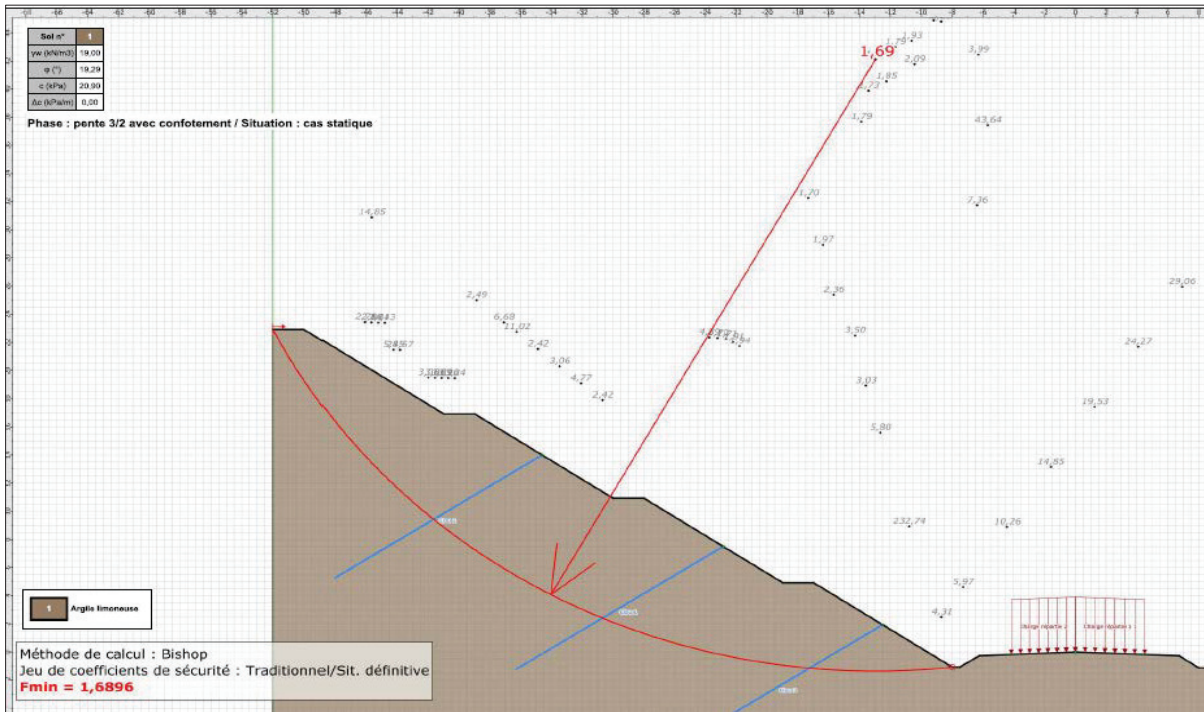
ANNEXE C

Annexe C5 : Valeur des coefficients de la formule de calcul d'épaisseur selon UIC719R

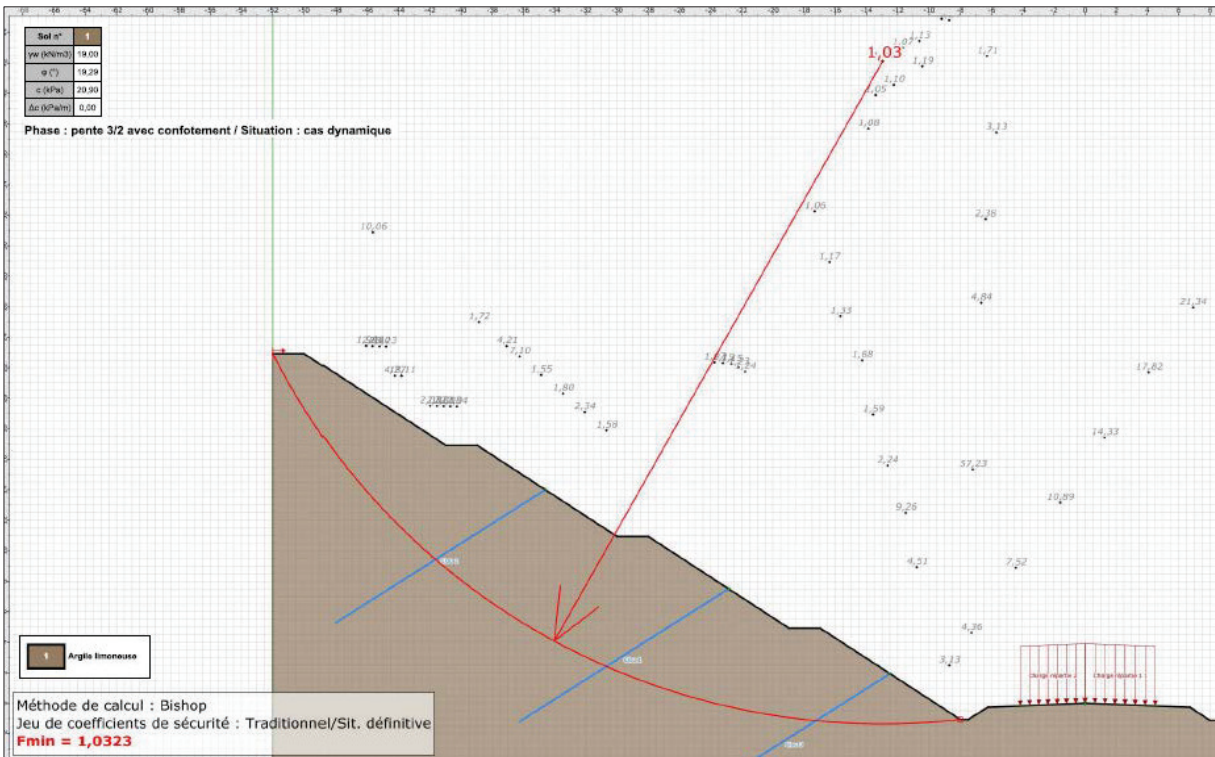
Paramètres	Epaisseur	Caractéristiques
E	0.70 m	Pour les plateformes de classe P1
	0.55 m	Pour les plateformes de classe P2
	0.45 m	Pour les plateformes de classe P3
a	0 m	Pour les groupes UIC1 et 2 (ou les lignes à vitesse ≥ 160 km/h quelque que soit le groupe UIC)
	-0.05 m	Pour les groupes UIC 3 et 4
	-0.10 m	Pour les groupes UIC 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs
	-0.15 m	Pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
b	0	Pour les traverses bois de longueur = 2.60 m
	$(2.5 -)/2$	Pour les traverses en béton de longueur L (L en m, b en m, b peut être négatif si $L \geq 2.5$ m)
c	0 m	Pour un dimensionnement normal
	-0.10 m	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
	-0.05 m	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe autres que UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
d	0 m	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN
	+0.05 m	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN
	+0.12 m	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	0 m	Pour toutes les lignes à $V \leq 160$ km/h et pour les plateformes P3 des lignes à grandes vitesses
	+0.05 m	Quand les plateformes P2 des lignes a grandes vitesses
	+0.01 m	Pour les plateformes P1 des lignes à grandes vitesses
g	+géotextile	Lorsque la couche de forme est en sol QS1 et QS2
	0 (pas de	Lorsque la couche de forme est en sol QS3

ANNEXE D1 : vérification de stabilité des talus en déblais avec logiciel TALREN V5

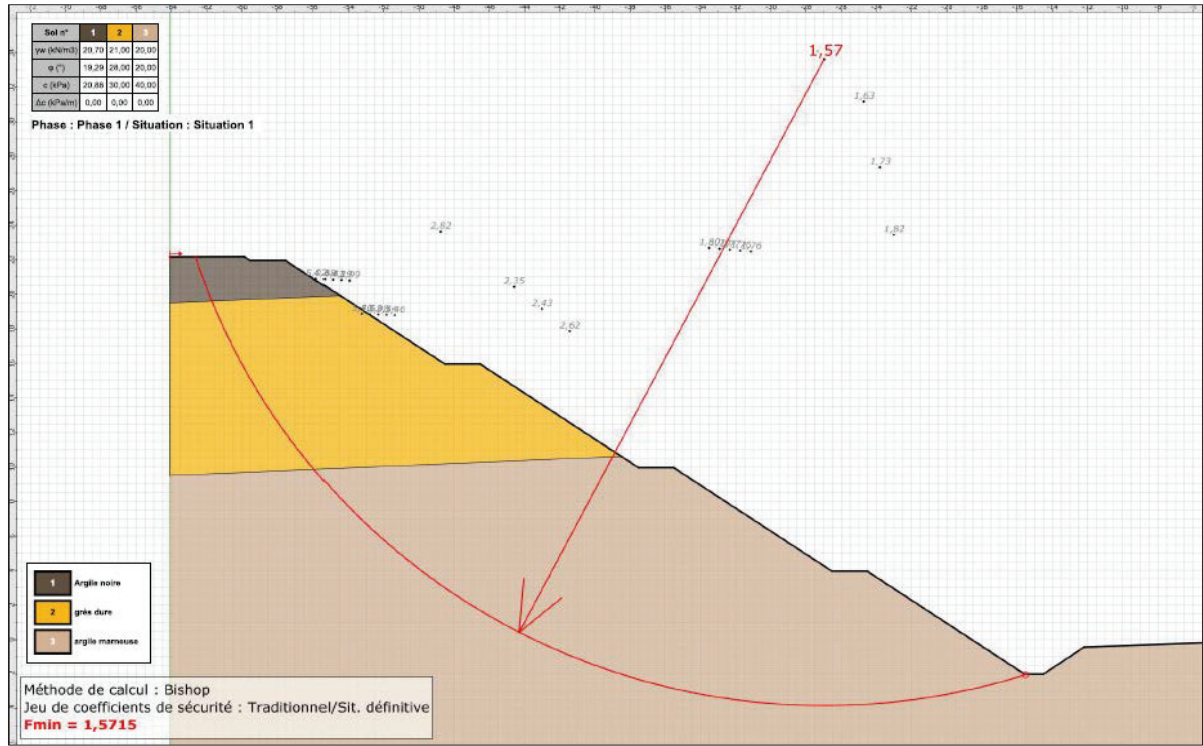
Vérification de stabilité pour les déblais au PK 23+240 condition statique :



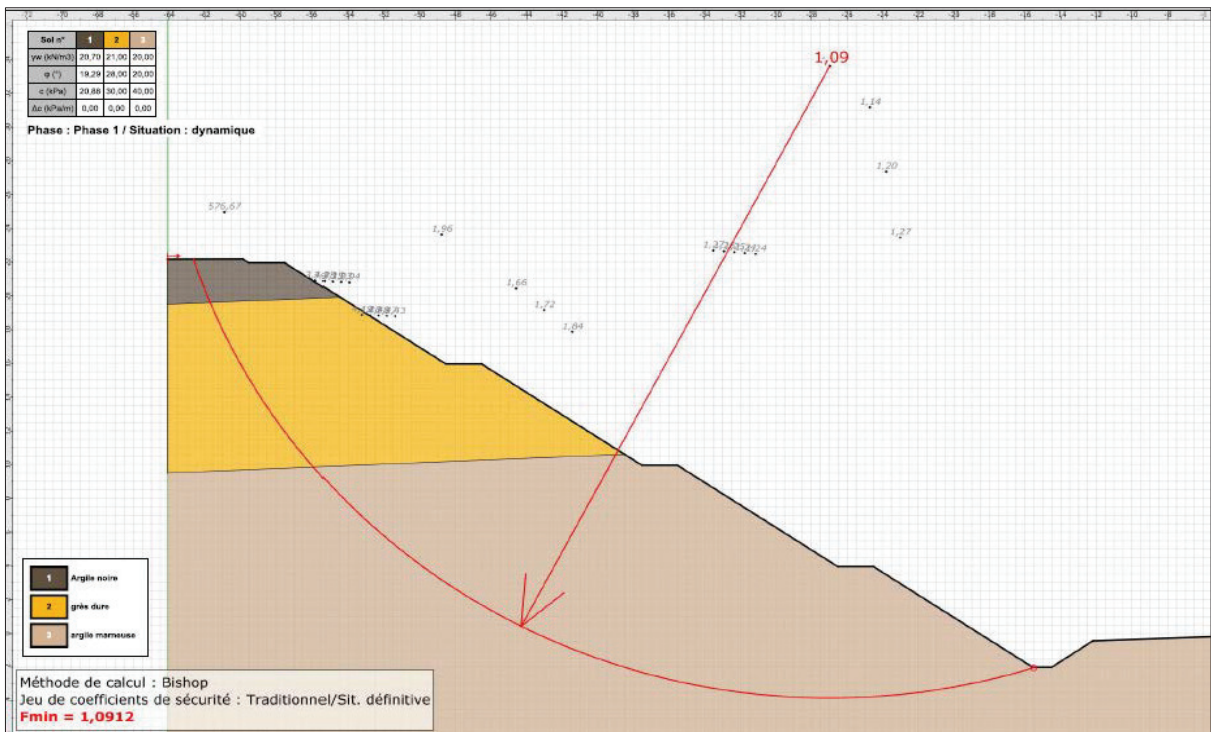
Vérification de stabilité pour les déblais au PK 23+240 conditions sismiques:



Vérification de stabilité pour les déblais au PK 28+380 condition statique :

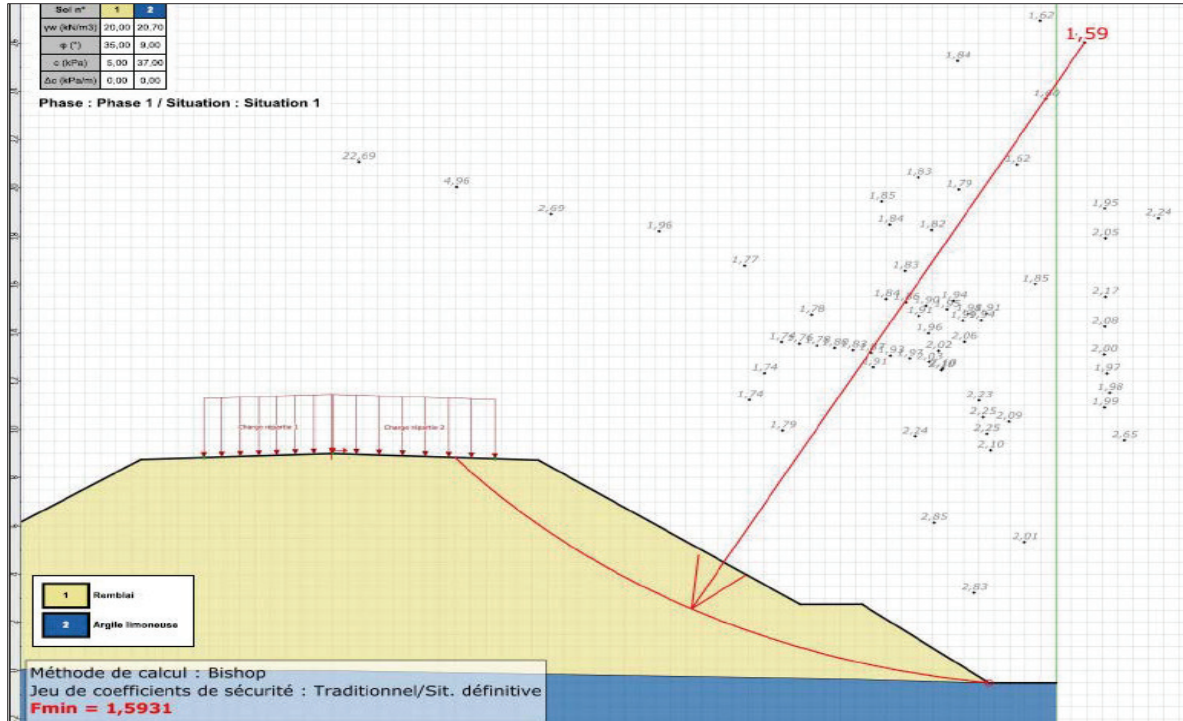


Vérification de stabilité pour les déblais au PK 23+240 conditions sismiques:

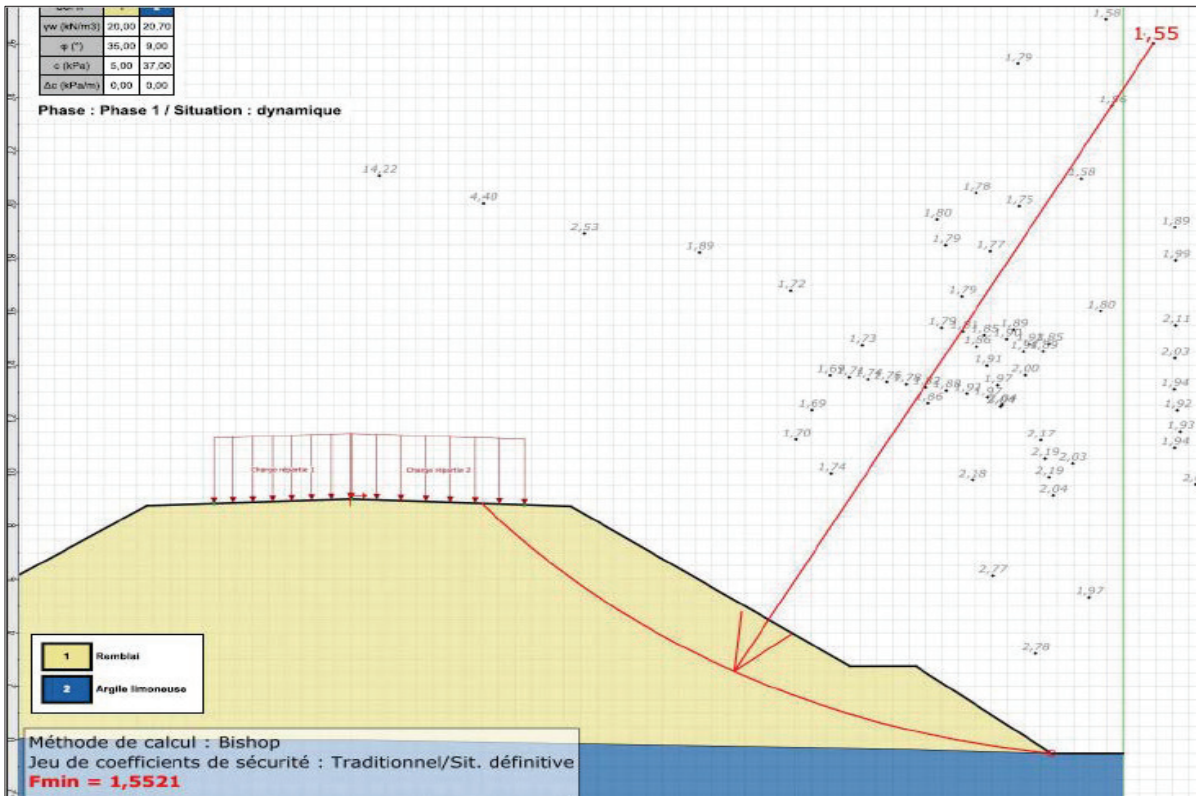


ANNEXE D2 : vérification de stabilité des talus en remblais avec logiciel TALREN V5

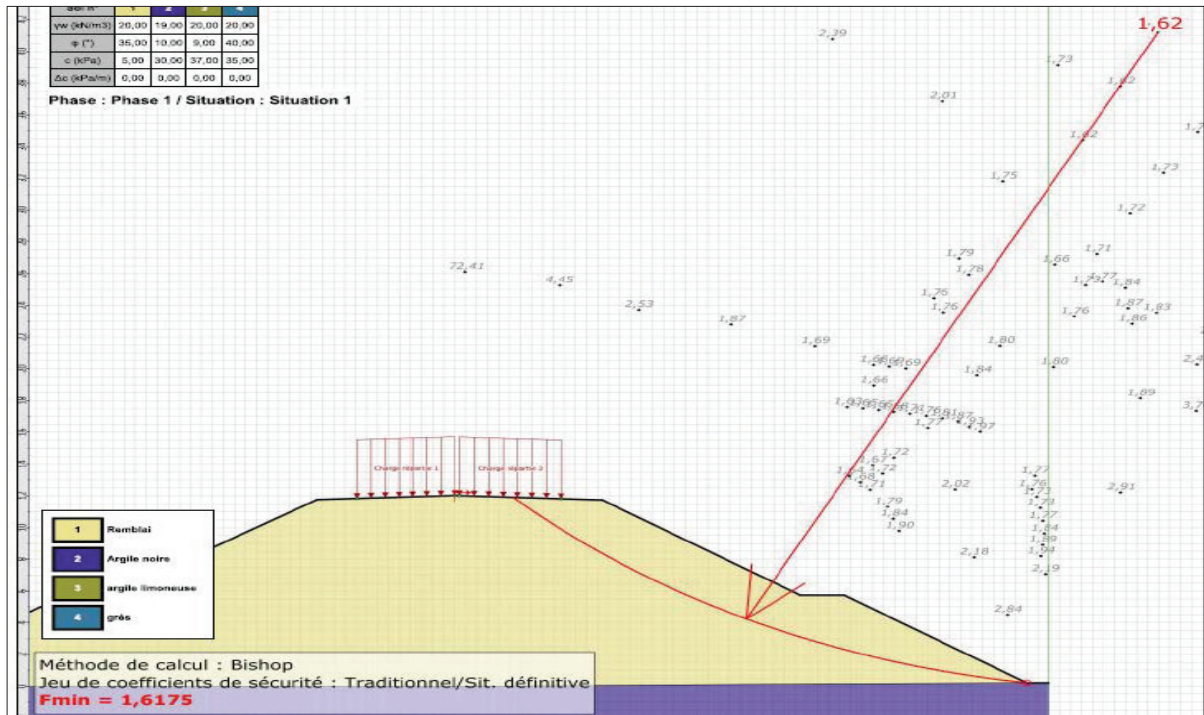
Vérification de stabilité pour les remblais au PK 24+500 condition statique :



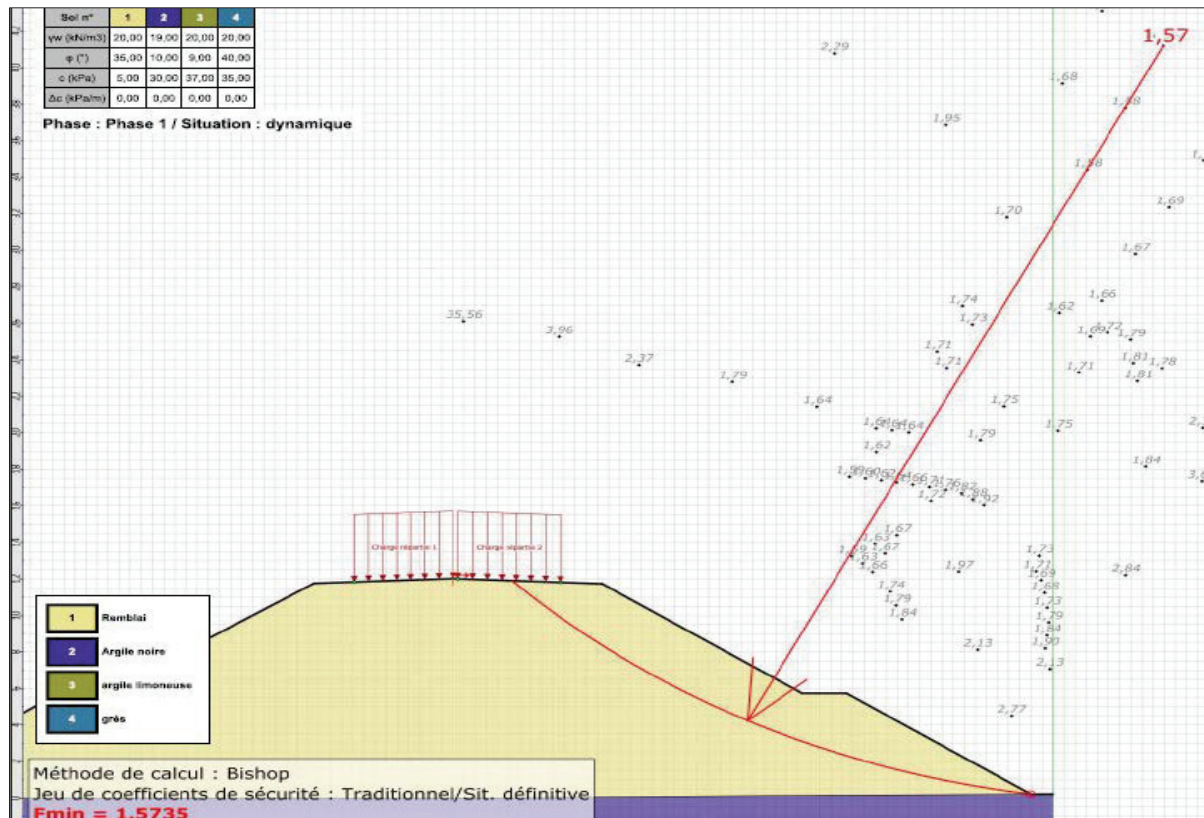
Vérification de stabilité pour les remblais au PK 24+500 conditions sismiques :



Vérification de stabilité pour les remblais au PK 25+640 condition statique :



Vérification de stabilité pour les remblais au PK 25+640 conditions sismiques :



ANNEXE D3 : Réutilisation des matériaux de déblais (mise en remblais).

Les Condition et notice d'utilisation des matériaux :

Notice d'utilisation des matériaux pour remblai A1m

Situation météorologique	Condition d'utilisation
Pluie fort	Situation ne permettant pas de mise en remblai même si avec des garantie de qualité suffisantes
Pluie faible	E : extraction frontale. C : compactage moyen. H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m).
Ni pluie ni évaporation importante	C : compactage moyen.
Évaporation importante	Solution 1 : arrosage superficiel. W : arrosage superficiel pour maintien l'état. C : compactage intense.
	Solution 2 : utilisation en l'État. C : compactage intense. H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m).
	Solution 3 : extraction frontale E : extraction frontale. C : compactage moyen.

Notice d'utilisation des matériaux pour remblai A1h :

Situation météorologique	Condition d'utilisation
Pluie faible	situation ne permettant pas la mis en remblai avec des garanties de qualité suffisantes.
Ni pluie ni évaporation importante	C : compactage moyen. T : traitement avec un réactif adapté.
Évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'État. H : remblai de hauteur moyenne (≤ 5 m). C : compactage faible.
	Solution 2 : aération E : extraction en couche mince W : réduction de la teneur en eau par aération. R : couches mince. C : compactage moyen. H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m).
	Solution 3 : traitement T : traitement avec un réactif adapté. C : compactage moyen.

ANNEXE D4 : Réutilisation des matériaux de déblais (couche de forme).

Les Condition et notice d'utilisation des matériaux en couche de forme A1m:

Situation météorologique	Condition d'utilisation
Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisant de l'état hydrique du mélange sol +liant(s)
Pas pluie	W : arrosage pour maintien de l'état hydrique. T : traitement avec un liant hydraulique associés éventuellement à de la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté.

Les Condition et notice d'utilisation des matériaux en couche de forme A1h:

Situation météorologique	Condition d'utilisation
Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisant de l'état hydrique du mélange sol +liant(s)
Pas pluie	T : traitement avec un liant hydraulique associés éventuellement à de la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté.

ANNEXE A2 : Volume des terrassements (Remblai/Déblai) et les matériaux (SOUS BALLAST, COUCHE DE FONDATION, COUCHE DE FORME, BALLAST)μ

RESUME

Client: ENSTP
Logiciel civil 3d 2018

Préparé par : BELABED et LIANI
Date : 21/05/2019 11 :20 :19

Axe en plan: Alignement APD (AFFROUN- TIPAZA)
Description: la ligne ferroviaire AFFROUN –PORT CENTRE (HAMDANIA – CHERCHELL-TIPAZA).
Groupe de tabulations: TAB.
Plage d'abscisse : Début: 19+000.00, Fin: 28+999.56

	Type de surface	Surface	Vol.Inc.	Vol.Cum
		m2	m3	m3
Abscisse: 19+000.000				
	DEBLAI	1766.06	0	0
	REMBLAI	0	0	0
	SOUS BALLAST	2.78	0	0
	COUCHE DE FONDATION	2.61	0	0
	COUCHE DE FORME	5.38	0	0
	BALLAST	2.28	0	0
Abscisse: 19+020.000				
	DEBLAI	0	17660.57	17660.57
	REMBLAI	26.02	260.23	260.23
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	55.68
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	52.29
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	107.6
	BALLAST	4.89	71.65	71.65
Abscisse: 19+040.000				
	DEBLAI	0	0	17660.57
	REMBLAI	28.11	541.33	801.56
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	111.35

ANNEXES D

	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	104.58
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	215.2
	BALLAST	4.89	97.75	169.4
Abscisse: 19+060.000				
	DEBLAI	0	0	17660.57
	REMBLAI	34	621.1	1422.66
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	167.03
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	753.19
	BALLAST	4.89	97.75	658.15
Abscisse: 19+160.000				
	DEBLAI	0	0	17660.57
	REMBLAI	37.38	741.2	4994.17
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	445.41
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	418.34
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	860.79
	BALLAST	4.89	97.75	755.9
Abscisse: 19+180.000				
	DEBLAI	0	0	17660.57
	REMBLAI	35.72	731.05	5725.22
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	501.09
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	470.63
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	968.39
	BALLAST	4.89	97.75	853.65
Abscisse: 19+200.000				
	DEBLAI	0	0	17660.57
	REMBLAI	28.17	638.96	6364.18
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	556.77

ANNEXES D

	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	522.92
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	1075.99
	BALLAST	4.89	97.75	951.39
Abcisse: 19+220.000				
	DEBLAI	0	0	17660.57
	REMBLAI	31.47	596.46	6960.65
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	612.44
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	575.21
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	1183.59
Abcisse: 24+240.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	136.21	2646.23	178626.66
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	14587.27
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	13700.48
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	28190.92
	BALLAST	5.66	115.03	30070.71
Abcisse: 24+260.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	144.53	2807.44	181434.09
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	14642.94
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	13752.77
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	28298.52
	BALLAST	5.91	115.75	30186.47
Abcisse: 24+275.744				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	145.1	2280.05	183714.14
	SOUS BALLAST	2.78	43.83	14686.77
	COUCHE DE FONDATION	2.61	41.16	13793.94

ANNEXES D

	COUCHE DE FORME	5.38	84.7	28383.22
	BALLAST	5.84	92.53	30279
Abscisse: 24+280.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	145.51	618.38	184332.52
	SOUS BALLAST	2.78	11.85	14698.62
	COUCHE DE FONDATION	2.61	11.13	13805.07
	COUCHE DE FORME	5.38	22.9	28406.12
	BALLAST	5.81	24.78	30303.78
Abscisse: 24+300.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	151.75	2972.57	187305.1
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	14754.3
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	13857.36
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	28513.72
	BALLAST	5.86	116.62	30420.4
Abscisse: 24+320.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	159.94	3117.12	190422.21
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	14809.97
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	13909.65
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	28621.32
	BALLAST	5.83	116.84	30537.23
Abscisse: 24+340.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	162.27	3222.13	193644.35
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	14865.65
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	13961.94

ANNEXES D

	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	28728.92
	BALLAST	5.8	116.2	30653.43
Abscisse: 24+360.000				
	DEBLAI	0	0	115542.47
	REMBLAI	164.87	3271.04	196915.39
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	14921.33
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	14014.23
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	28836.51
	BALLAST	5.86	116.48	30769.92
Abscisse: 28+840.000				
	DEBLAI	289.87	5713.05	567437.04
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	27392.89
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	25727.62
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	52938.68
	BALLAST	4.89	98.29	55515.43
Abscisse: 28+840.656				
	DEBLAI	290.22	190.35	567627.39
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	1.83	27394.71
	COUCHE DE FONDATION	2.61	1.72	25729.34
	COUCHE DE FORME	5.38	3.53	52942.21
	BALLAST	4.89	3.21	55518.64
Abscisse: 28+860.000				
	DEBLAI	301.62	5724.19	573351.58
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	53.85	27448.56

ANNEXES D

	COUCHE DE FONDATION	2.61	50.58	25779.91
	COUCHE DE FORME	5.38	104.07	53046.28
	BALLAST	4.89	94.54	55613.18
Abcisse: 28+880.000				
	DEBLAI	316.68	6183.03	579534.61
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	27504.24
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	25832.21
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	53153.87
	BALLAST	4.89	97.75	55710.93
Abcisse: 28+900.000				
	DEBLAI	327.41	6440.89	585975.49
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	27559.91
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	25884.5
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	53261.47
	BALLAST	4.89	97.75	55808.68
Abcisse: 28+920.000				
	DEBLAI	334.65	6620.58	592596.08
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	27615.59
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	25936.79
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	53369.07
	BALLAST	4.89	97.75	55906.43
Abcisse: 28+940.000				
	DEBLAI	343.95	6785.96	599382.03
	REMBLAI	0	0	497968.77

ANNEXES D

	SOUS BALLAST	2.78	55.68	27671.27
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	25989.08
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	53476.67
	BALLAST	4.89	97.75	56004.18
Abscisse: 28+960.000				
	DEBLAI	343.5	6874.46	606256.49
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	55.68	27726.94
	COUCHE DE FONDATION	2.61	52.29	26041.37
	COUCHE DE FORME	5.38	107.6	53584.27
	BALLAST	4.89	97.75	56101.93
Abscisse: 28+999.559				
	DEBLAI	335.79	13435.92	619692.41
	REMBLAI	0	0	497968.77
	SOUS BALLAST	2.78	110.13	27837.07
	COUCHE DE FONDATION	2.61	103.43	26144.8
	COUCHE DE FORME	5.38	212.82	53797.09
	BALLAST	2.28	141.72	56243.64