République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
فرنسيس جانسون
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de contournement et d'aménagement des installations ferroviaires de la ville de BISKRA (Ligne ELGOURZI - TOUGGOURT) du PK0+000 jusqu'au PK18+043

Présenté par :
BABA HENINI Mohamed Nafaa

Encadré par :
Mr GOUMETTRE Ahmed
Mme MEHIAOUI Mahdia

Promotion 2019 /2020

© ENSTP-FJ

Remerciements

Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce projet et en particulier mes promoteurs M. GOUMETRE, Mme. MEHIAOUI et mon professeur M. MORSLI, pour leurs disponibilités permanentes, pour leurs aides et leurs orientations précieuses, tout au long de ce projet. Je remercie chaleureusement tous les enseignants et le personnel de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.

Je tiens également à remercier les honorables membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant d'évaluer mon travail.

Je remercie aussi le groupe G.E.T.C.V pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période du stage. Spécialement : M. ISSAM, M. ABD ELHAMID, M. ABD ELBASSET, M. MABROUK et M. CHAABANE

Que tous ceux ou celles qui m'ont apporté leur soutien et qui m'ont aidé de loin ou de près pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression de ma vive et sincère reconnaissance, en particulier mes parents, ma famille et mes amis.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À toi cher Père
Toi qui as toujours été le guide de ma vie, Toi 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, Toi la personne à qui je ne saurais jamais comment te rendre tout le bien que tu m'as donné, avoir un père comme toi c'est le plus beau des cadeaux qu'on peut espérer de la vie.

À toi chère Mère
Toi qui m'as transmis la vie, Toi qui s'est sacrifiée pour me voir grandir et réussir, à toi qu'aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que je t'éprouve.

À mes chers frères
Pour toute l'ambiance dont vous m'avez entouré, pour toute la spontanéité et vos élans chaleureux.

À toute ma famille, mes amis, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour ma réussite soit possible et spécialement Walid, Anis, Karika, Rostom et Djahid.

مُلَخَّص

هذا العمل يقدم دراسة تفصيلية للتصميم المبدئي وانجاز اجتناب السكة الحديدية لمدينة بسكرة ابتداء من النقطة الكيلو مترية 00+000 إلى النقطة الكيلو مترية 18 + 430.

تتمثل هاته الدراسة في تحديد الجانب التقني من المشروع استنادا الي مختلف المعايير والتوجيهات التي ينص عليها الاتحاد الدولي للسكة الحديدية والشركة الوطنية لنقل السكة الحديدية

تم رسم هدا الخط ببرنامج Civil 3D 2018.

كلمات مفتاحية: خط، سكة حديدية، معبرة، قاعدة، برنامج.

Résumé

Ce présent mémoire présente une étude d'avant-projet détaillé (APD) et réalisation du CONTOURNEMENT ET D'AMÉNAGEMENT DES INSTALLATIONS FERROVIAIRES DE LA VILLE DE Biskra sur du PK 00+000 jusqu'au PK 18+043.

Cette étude consiste à déterminer la cote technique du projet conformément aux recommandations de l'union internationale de chemin de fer (UIC) et la société nationale de transport ferroviaire (SNTF). Le tracé de cette ligne a été mené par logiciel Civil 3D 2018. L'étude de la stabilisation de talus a été fait par le logiciel GeoStructural Analysis.

Mot clés : ligne, voie ferré, traverse, plateforme, logiciel.

Abstract

This thesis presents a detailed before detailed project (BDP) and realization of the BYPASS AND DEVELOPMENT OF RAIL FACILITIES OF THE CITY OF Biskra from PK 00 + 000 to PK 18 + 043.

This study consists in determining the technical rating of the project in accordance with the recommendations of the International Union of Railways (UIC) and the National Rail Transport Company (SNTF). The layout of this line was conducted by Civil 3D 2018 software. The embankment stabilization study was done by GeoStructural Analysis software.

Keywords: line, railway, cross, platform, software.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Directions des efforts exercés au niveau du contact roue/rail. 3
Figure I.2. Modèle de base à deux degrés de liberté pour la voie 3
Figure I.3. Modèle complet de modélisation..... 5
Figure I.4. Signaux d'accélération mesurés en centrifugeuse (gauche) et simulations viscoélastiques à l'aide d'un modèle de Maxwell (centre) et d'un modèle de Kelvin (droite) .7
Figure I.5. Amplification d'une onde plane dans une couche de sol : définition des différentes ondes (gauche) et fonction de transfert pour différents rapports de célérités (droite) 8
Figure I.6. Courbes d'amplitudes des vibrations verticales couplées pour un sol homogène Selon..... 10
Figure I.7. Différents cas envisagés pour l'analyse du couplage voie/sol 11
Figure II.1. Réseau ferroviaire durant l'époque coloniale. 13
Figure II.2. Programme de développement ferroviaire algérien. 15
Figure III.1. Limitrophe de la wilaya de Biskra..... 16
Figure III.2. Futur contournement de la ville de Biskra..... 18
Figure IV.1. Modèle descriptif des appareils de voie. 26
Figure V.1. Couloir approprié au tracé 28
Figure V.2. Diagramme des flèches et courbure du tracé en plan 31
Figure VIII.1. Echelle des temps géologiques 43
Figure VIII.2. Situation de la zone d'étude dans la carte sismique de l'Algérie 45
Figure VIII.3. Répartition en pourcentage des différents types de s..... 53
Figure IX.1. Situation de la région d'étude..... 54
Figure IX.2. Précipitations mensuelles 56
Figure IX.3. : Bassin versants (BV 01 au BV 16)..... 57
Figure IX.4. Bassins versants (BV 17 au BV 27) 58
Figure IX.5. Relation entre le coefficient de GRAVILIUS et le débit d'exutoire..... 59
Figure IX.6. Fossé trapézoïdal 68
Figure X.1. Fuseau de dimensionnement du ballast de la carrière de Ain Touta..... 74
Figure X.2. Détails d'assise 76
Figure XII.1. Schéma fonctionnel de la gare de voyageurs 83
Figure XII.2. Schéma fonctionnel de la gare de voyageurs 87
Figure XIII.1. Schéma explicatif du block manuel 91
Figure XIII.2. Schéma explicatif du block automatique 92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Charges dynamiques dues au trafic ferroviaire. 2
Tableau IV.1. Types de voie 21
Tableau IV.2. Appareils de voie du projet 25
Tableau V.1. Longueur minimum des éléments de tracé 28
Tableau V.2. Valeurs minimales des rayons appropriés au projet suivant les vitesses 29
Tableau V.3. Valeurs limites du devers 29
Tableau V.4. Valeurs limites d'insuffisance de devers 30
Tableau V.5. Valeurs limites d'excès de devers 30
Tableau V.6. Valeurs limites de la variation de devers 31
Tableau V.7. Valeurs limites de la variation de l'insuffisance de devers 31
Tableau V.8. Valeurs limites de la variation de devers dans le temps 32
Tableau V.9. Résultats de divers paramètres calculés pour le tracé en plan 33
Tableau V.10. Contraintes du tracé 35
Tableau VI.1. Valeurs minimales des déclivités 37
Tableau VI.2. Valeurs minimales des raccordements verticaux 38
Tableau VI.3. Résultats de divers paramètres utilisés pour le profil en long 38
Tableau VIII.1. Lithostratigraphie de la zone d'étude 44
Tableau VIII.2. Programme géotechnique en zone de déblai 46
Tableau VIII.3. Programme géotechnique en zone de remblai 47
Tableau VIII.4. Caractéristiques géotechniques 49
Tableau VIII.5. Classification des sols (UIC) 52
Tableau IX.1. Températures moyennes mensuelles 55
Tableau IX.2. Pluies annuelles 56
Tableau IX.3. Précipitations mensuelles 56
Tableau IX.4. Précipitations journalières 57
Tableau IX.5. Coefficient de ruissèlement 59
Tableau IX.6. Caractéristiques des bassins versants 59
Tableau IX.7. Caractéristiques de bassin versant 1 62
Tableau IX.8. Résultats des débits d'apport 62
Tableau IX.9. Caractéristiques du bassin versant 09 64
Tableau IX.10. : Itération des longueurs 64
Tableau IX.11. Conditions d'auto curage du dalot (BV 9) 65
Tableau IX.12. Caractéristiques des dalots du projet 65
Tableau IX.13. Caractéristique de la buse du bassin versant 03 66
Tableau IX.14. Conditions d'auto curage de la buse (BV3) 67
Tableau IX.15. Caractéristiques des buses du projet 67
Tableau IX.16. Caractéristiques du fossé 68
Tableau IX.17. Calcul des débits d'apport des talus 68
Tableau X.1. Gite d'emprunt 71
Tableau X.2. Utilisation des matériaux 72
Tableau X.3. Classification des sols UIC 74
Tableau X.4. Surclassement des sols UIC 75
Tableau X.5. Caractéristiques de la voie 76
Tableau X.6. Quantités de matériaux 77

Tableau XI.1. Ouvrages du projet 78
Tableau XII.1. Longueur utile des lignes de la gare de voyageurs 81
Tableau XII.2. Appareils de changement de voie de la gare de voyageurs 82
Tableau XII.3. Longueur utile des lignes de la gare de marchandises 85
Tableau XII.4. Appareils de changement de voie de la gare de marchandises 86
Tableau XIII.1. Les principaux signaux ferroviaires et leurs indications 92
Tableau XV.1. Devis estimatif et quantitatif 101

SOMMAIRE

INTRODUCITON GENERALE……...……....1

CHAPITRE I : VIBRATIONS FERROVIAIRES

I.1. Introduction 2
I.2. Comportement dynamique 2
I.2.1. Dynamique de voie 2
I.2.2. Dynamique des sols 4
I.3. Modelisations 4
I.3.1. Modélisation de la voie 4
I.3.2. Modélisation du sol 6
I.4. Couplage entre la voie et le sol 9
I.5. Solutions techniques pour reduire les vibrations 11
I.6. Conclusion 12

CHAPITRE II : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

II.1. Introduction 13
II.2. Developpement du reseau ferroviaire en Algerie 13
II.3. Reseau actuel 14
II.4. Programme de developpement national 14

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

III.1. Presentation de la ville de Biskra 16
III.2. Geologie de la zone 16
III.3. Relief 17
III.4. Climat 17
III.5. Reseau hydrographique 17
III.6. Description du projet 17
III.7. Caracteristiques du projet 18
III.8 Caracteristiques du projet 19

CHAPITRE IV : CONSTITUTION DE LA VOIE

IV.1. Introduction 20
IV.2. Categorie de la voie 20
IV.3. Rail 20
IV.4. Traverses 21
IV.5. Les attaches 22
IV.6. Pose de la voie 23
IV.6.1. Pose provisoire 23
IV.6.2. Relevage 23
IV.6.3. Le bourrage 23
IV.6.4. Dressage définitif de la voie 23
IV.6.5. Eclissage 23
IV.6.6. Réglage du ballast 23
IV.6.7. Procédé de soudure du rail 23
IV.6.8. Dilatation du rail 24
IV.7. Long rail soude 24

IV.7.1. Avantages *24*
IV.7.2. Inconvénients *24*
IV.7.3. Libération du rail *25*
IV.8. APPAREILS DE VOIE 25

CHAPITRE V : TRACE EN PLAN

V.1. INTRODUCTION 27
V.2. CHOIX DU COULOIR 27
V.3. LONGUEUR MINIMALE DES ELEMENTS DE TRACE 28
V.4. COURBE CIRCULAIRE 28
V.5. DEVERS THEORIQUE 29
V.6. DEVERS PRATIQUE 29
V.7. INSUFFISANCE DE DEVERS 29
V.8. EXCES DE DEVERS 30
V.9. COURBE DE TRANSITION (CLOTHOÏDE) 30
V.10. VARIATION DE DEVERS DANS LES COURBES DE TRANSITION 31
V.11. VARIATION DE L'INSUFFISANCE DE DEVERS 31
V.12. VARIATION DU DEVERS DANS LE TEMPS 31
V.13. APPLICATION AU PROJET 32
V.14. DESCRIPTION DU TRACE 33
V.15. CONTRAINTES RENCONTREES SUR TRACE 35

CHAPITRE VI : PROFIL EN LONG

VI.1. INTRODUCTION 37
VI.2. LES REGLES A RESPECTER DANS LE PROFIL EN LONG 37
VI.3. ELEMENTS GEOMETRIQUES DU PROFIL EN LONG 37
VI.3.1. Déclivité maximale *37*
VI.3.2. La longueur minimale des déclivités *37*
VI.3.3. Raccordement vertical *38*
VI.3.4. Accélération verticale *38*
VI.4. COORDINATION TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG 38
VI.5. DESCRIPTION DU PROFIL EN LONG 38

CHAPITRE VII : PROFIL EN TRAVERS

VII.1. INTRODUCTION 41
VII.2. LES ELEMENTS DE PROFIL EN TRAVERS 41
VII.3. LES ELEMENTS DE PROFIL TYPE 41
VII.3.1. Eléments de l'infrastructure *41*
VII.3.2. Eléments de la superstructure *41*
VII.3.3. Eléments du talus *41*
VII.3.4. Eléments d'assainissements *41*
VII.3.5. Les profils en travers affectés au projet *42*
VII.4. CONCLUSION 42

CHAPITRE VIII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VIII.1. INTRODUCTION 43
VIII.2. ETUDE GEOLOGIQUE 43
VIII.2.1. Géologie locale de la zone *43*
VIII.2.2. Lithostratigraphie *44*
VIII.2.3. Risques géologiques *44*
VIII.3. ETUDE GEOTECHNIQUE 45

VIII.3.1. Programme géotechnique *45*
VIII.3.2. Résultats et interprétations *49*
VIII.4. CONCLUSION 53

CHAPITRE IX : ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

IX.1. INTRODUCTION 54
IX.2. PRESENTATION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE 54
IX.2.1. Caractéristiques du climat *54*
IX.2.2. Pluviométrie *55*
IX.2.3. Caractéristiques des bassins versants *57*
IX.3. LES CRUES 60
IX.3.1. Intensité de la pluie (I) *61*
IX.4. DIMENSIONNEMENT DES OUVERTURES 63
IX.4.1. Dimensions des dalots *64*
IX.4.2. Dimensionnement des buses *66*
IX.4.3. Dimensionnement des fosses *67*
IX.5. CONCLUSION 69

CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET STRUCTURE D'ASSISE

X.1. TERRASSEMENT 70
X.1.1. Introduction *70*
X.1.2. Déblai *70*
X.1.3. Remblai *72*
X.2. STRUCTURE D'ASSISE 72
X.2.1. Ballast *73*
X.2.2. Sous-couche *74*
X.2.3. Couche de forme *74*
X.2.4. Dimensionnement de la couche d'assise *74*

CHAPITRE XI : OUVRAGES D'ART

XI.1. INTRODUCTION 78
XI.2. LES OUVRAGES D'ART DU PROJET 78
XI.3. CONCLUSION 78

CHAPITRE XII : AMENAGEMENT DES GARES

XII.1. INTRODUCTION 80
XII.2. EMBRANCHEMENTS 80
XII.3. GARES 80
XII.3.1. Gares de voyageurs de Biskra *80*

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XIII.1. INTRODUCTION 89
XIII.2. LES RISQUES FERROVIAIRES 89
XIII.3. LES SIGNAUX 89
XIII.4. TYPES DE SIGNALISATION 90
XIII.4.1. Signalisations de protection *90*
XIII.4.2. Signalisations de cantonnement *90*
XIII.4.3. Signalisation d'annonce d'arrêt *90*
XIII.4.4. Signalisation d'indication de marche *90*
XIII.4.5. Signalisation de limitation de vitesse *90*

XIII.4.6. Signalisation indicatrice de direction *90*
XIII.4.7. Signalisation caractéristique de prescription particulière *90*
XIII.5. LES SYSTEMES D'ESPACEMENT DES TRAINS (SNCF) 91
XIII.5.1. Classification des divers systèmes de block ou cantonnement *91*

CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV.1. INTRODUCTION 96
XIV.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 96
XIV.3. ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DE LA ZONE D'ETUDE 96
XIV.3.1. Description des milieux *96*
XIV.4. ANALYSE DES IMPACTS 98
XIV.4.1. Impacts positifs *98*
XIV.4.2. Impacts négatifs *99*
XIV.5. CONCLUSION 100

CONCLUSION GENERALE……...100
ANNEXE……..101

Liste des abréviations

- TGV: Train à Grande Vitesse
- ρ_r : masse volumique du rail.
- A_r : section du rail.
- L : longueur du rail.
- m_r : masse concentrée du rail.
- m : masse concentrée de la traverse.
- m_b : masse concentrée du ballast.
- k_b : constante de raideur relative au ballast
- k_p : constante de raideur relative à la combinaison fixation semelle du rail.
- k_r : constante de raideur du rail.
- q : déplacement vertical.
- $\ddot{q}$: accélération verticale.
- E_r : module de Young pour le rail.
- I_r : moment d'inertie du rail.
- d_p : constante d'amortissement de la combinaison fixation semelle de rail.
- d_b : constante d'amortissement du ballast.
- d_r : constante d'amortissement du rail.
- d_w , k_w : paires amortisseur-ressort travaillant en cisaillement.
- UIC: Union Internationale des chemins de fer.
- LRS : Long Rail Soudé
- d_V : devers théorique.
- d_p : devers pratique.
- C : coefficient de devers.
- Vv : vitesse des trains voyageurs.
- Vm : vitesse des trains marchandises.
- I : insuffisance de devers.
- E : exces de devers.
- g : accélération de la pesanteur.
- Q_{max} : débit de pointe.
- Q_a : débit d'apport.
- T_C : temps de concentration.
- D_{th}: diametre theorique de la buse.
- J : pente.
- P_m : Périmetre Mouillé
- S_m : Surface Mouillé.
- BAL : Block Automatique Lumineux.
- BM : Block Manuel.
- H. T : Hors Taxes.
- T.V.A : Taxe sur la Valeur Ajoutée.
- T.T.C : Toutes Taxes Comprises

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur des transports est un service nécessaire et utile qui porte la vie économique et sociale d'un pays de part son rôle dans l'évolution de l'activité socio-économique mais aussi dans la création des opportunités d'emploi. De ce fait, il est considéré comme une base incontournable pour le développement des investissements nationaux et étrangers.

Pour consolider cette position, le secteur des travaux publics est contraint de déployer des efforts considérables de développement, se traduisant par de très nombreux projets initiés à travers le pays, qui sont indispensables à la réussite du processus de développement national.

Le transport ferroviaire constitue de nos jours, un moyen de transport sur et fréquemment utilisé, aussi bien pour les voyageurs que pour le transport des marchandises.

La rapidité de ses déplacements par rail est l'atout que le ferroviaire a de tout temps cherché a développer pour concurrencer a la fois la route et le transport aérien.

L'histoire des chemins de fer commença au Royaume-Uni au début du 19e siècle. En fait, cette invention fut possible grâce à la découverte des possibilités offertes par l'exploitation du charbon comme combustible produisant de la vapeur. Cette nouvelle énergie a permis aux machines de fonctionner automatiquement, c'est-à-dire sans que l'être humain n'intervienne toujours manuellement. Ce principe, combiné aux progrès de la sidérurgie, rendit possible la construction de machines se déplaçant toutes seules.

La première voie ferrée au monde fut construite en 1825 en Angleterre, entre Stockton et Darlington, près de Newcastle (Yorkshire). Cette ligne transportait exclusivement du charbon, tout comme celles qui furent construites à la même époque en Écosse, ainsi que dans le Lancashire. C'est dans cette dernière région que fut implantée la première véritable ligne de chemin de fer, entre Liverpool et Manchester (51 km). Mise en service en 1803, cette ligne assurait non seulement le transport du charbon, mais celui des voyageurs.

Le travail effectué dans le cadre de cette thèse consiste en la conception et l'étude d'APD du contournement ferroviaire à voie unique de la ville de Biskra, reliant sur 18 Km avec l'aménagement des gares voyageurs et marchandises. Après une brève introduction générale, une recherche bibliographique portant sur les vibrations férroviaires est présentée dans le chapitre un. Le chapitre 2 est consacré à un résumé succinct du reseau ferroviaire en Algérie. Par la suite, une présentation générale du projet est faite dans le chapitre trois. Le chapitre quatre présente les différentes composantes de la voie ferrée. Une analyse du couloir a été mise en corrélant les résultats des essais au laboratoire et l'interprétation des essais in situ pour déterminer un tracé optimal afin de garantir une géométrie répondant aux exigences de sécurité et de confort des voyageurs. Ce tracé est détaillé dans le chapitre cinq.

Dans le chapitre six, d'assainissement qui a fait l'objet de la détermination des sous bassins versants et leurs caractéristiques pour le dimensionnement longitudinal et transversale de la voie et pour assurer un bon drainage de la voie.

Dans le chapitre suivant la géométrie des talus courant a été déterminée à l'aide du logiciel GeoStructural Analysis pour vérifier la stabilité, après ce chapitre vient le chapitre des ouvrages d'art qui représente un petit résumé des ouvrages sur le tracé.

Dans le chapitre de la gare, un aménagement des gares a été étudié,

Enfin, Le chapitre de la signalisation ferroviaire. Finalisant le travail avec un devis estimatif et quantitatif. Mon travail se termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I : VIBRATIONS FERROVIAIRES

I.1. Introduction

Malgré de nombreux essors technologiques, le train et les diverses formes sous lesquelles il se présente (TGV, tram urbain, métro…) est aperçu comme une source multiple de problèmes vibratoires, qui sont de plus en plus mal supportés.

Plusieurs solutions existent pour diminuer ces vibrations mais leurs couts est important et sans garantie totale de résultats efficaces. Si la simulation du comportement dynamique des véhicules est maintenant devenue incontournable dans l'industrie ferroviaire, il est plus rare d'intégrer, dès le stade de la conception, l'interaction avec la voie et la propagation des ondes dans le sol.

Le trafic ferroviaire induit des sollicitations cycliques et dynamiques dans la structure de la voie mais également dans le sol support. L'analyse de ces sollicitations et des effets induits (e.g. vibrations, ondes…) est fondamentale pour apprécier leur ampleur et remédier à leurs conséquences éventuelles (tassements, nuisances…).

Ce chapitre est consacré à une recherche bibliographique portant sur les techniques de modélisations du comportement dynamique de la voie et du sol ainsi que les vibrations qui en découlent.

I.2. Comportement dynamique

I.2.1. Dynamique de voie

La caractéristique fondamentale du chemin de fer est le roulement acier/acier due au contact entre la roue et le rail, des matériaux très raides qui limitent la résistance à l'avancement, mais en contrepartie, une faible adhérence augmentant la distance de freinage.

En interaction avec les véhicules, la voie supporte en plus les charges statiques de ce dernier, des surcharges dynamiques de différentes directions comme l'indique le tableau suivant :

Tableau I.1. Charges dynamiques dues au trafic ferroviaire [19].

Charges	Directions
Accélération	Longitudinal
Freinage	
Accélérations centripètes	Latéral
Vibrations	Vertical

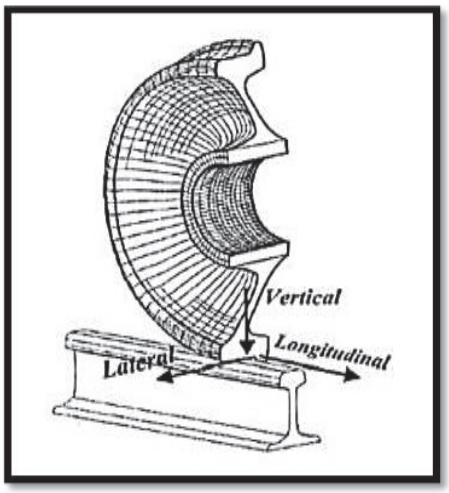


Figure I.1. Directions des efforts exercés au niveau du contact roue/rail [19].

Il existe pour le rail une analyse modale des deux modes fondamentaux, qui sont des modes de corps rigide ou de mouvement d'ensemble :

- Le premier mode où le rail est en phase avec les traverses.
- Le second mode ou le rail est en opposition de phase avec les traverses.

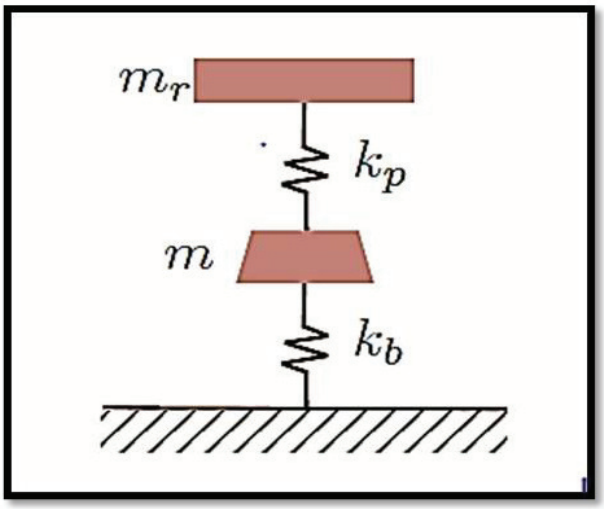


Figure I.2. Modèle de base à deux degrés de liberté pour la voie [19]

On considère le système de base ayant deux degrés de libertés (rail-traverses) comme une masse concentrée $m_r = \rho_r A_r L$ au droit de la traverse. Ce système est régi par l'équation suivante :

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K]\{q\} = 0 \quad (1.1)$$

Avec $[M] = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m_r \end{bmatrix}$ (1.2)

Et $[K] = \begin{bmatrix} k_p + k_b & -k_p \\ -k_p & k_p \end{bmatrix}$ (1.3)

qui admet deux fréquences propres f_{T1}et f_{T2}.

- ρ_r : masse volumique du rail.
- A_r : section du rail.
- L : longueur du rail.
- m_r : masse concentrée du rail.
- m : masse concentrée de la traverse.
- k_b : constante de raideur relative au ballast
- k_p : constante de raideur relative à la combinaison fixation semelle du rail.
- q : déplacement vertical.
- $\ddot{q}$: accélération verticale.

I.2.2. Dynamique des sols

L'étude de la réponse du sol aux charges extérieures dépend de la détermination des propriétés dynamiques des sols, de sa composition, et de la nature des forces agissantes. Dans ce contexte, les paramètres les plus utilisés dans le calcul des vibrations de fondations seraient : le module de déformation E, le module de déformation par glissement G, le degré d'amortissement ζ et le coefficient de poisson ν.

Ces variables sont fortement dépendantes de la vitesse de chargement, des amplitudes des déformations et de la fréquence. [21]

I.3. Modélisations

I.3.1. Modélisation de la voie

En ce qui concerne le rail, les synthèses de Knothe, Pop et Grassie, présentant les différents modèles pour caractériser chaque composant de la voie ferrée sont considérées :

Les rails : Le modèle le plus simple et sans aucun doute une poutre en flexion selon les hypothèses d'Euler-Bernoulli (suivant une seule direction). La théorie de Timoshenko (suivant trois directions) peut également être utilisée afin de prendre en compte les effets de cisaillement et d'inertie de rotation dans la section du rail qui ne figurent pas dans l'hypothèse d'Euler-Bernoulli. [19]

Les deux approches fournissent quasiment les mêmes résultats pour ce qui est du mouvement vertical de la voie.

Les traverses : La plupart des modèles de voie, lorsqu'ils tiennent compte des traverses, les considèrent comme un ensemble continu représenté également par une poutre. Les modèles de voie sur support discret sont plus rares et ne prennent en compte que la masse de l'élément. Néanmoins un tel modèle est indispensable si on veut tenir compte du mode de flexion du rail, pincé par les traverses. Le modèle le plus complet pour représenter une traverse est bien la poutre de Timoshenko. [19]

Le ballast : C'est le composant dont les propriétés mécaniques sont les moins maitrisées, de part sa forte non-linéarité, due au vide entre la traverse et le ballast mais aussi le ballast en lui-même.

Contrairement aux semelles du rail qui sont modélisées par un système ressort-amortisseur, il est difficile d'imaginer que le ballast puisse avoir un comportement linaire et de le modéliser de manière simple par une poutre. Néanmoins, il semble licite de le considérer tel quel, selon Knothe.

D'autre auteurs tels que Zhai ou Ahlbeck proposent de considérer une masse pour le ballast et de travailler ainsi avec un système de voie à 3 couches. Une masse oscillante de chaque bloc de ballast, au droit de chaque traverse. [19]

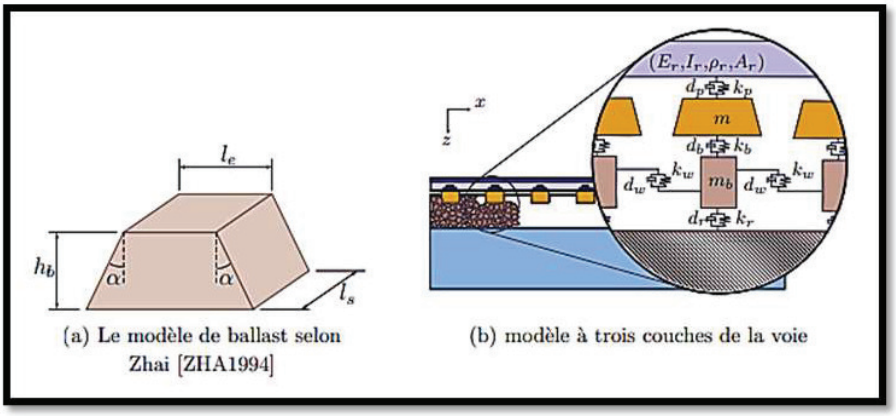


Figure I.3. Modèle complet de modélisation [19]

Dans la figure 3 :

- m : masse concentrée de la traverse.
- A_r : section du rail.
- E_r : module de Young pour le rail.
- I_r : moment d'inertie du rail.
- ρ_r : masse volumique du rail.
- d_p : constante d'amortissement de la combinaison fixation semelle de rail.
- d_b : constante d'amortissement du ballast.
- d_r : constante d'amortissement du rail.
- k_r : constante de raideur du rail.
- m_b : masse concentrée du ballast.
- k_b : constante de raideur relative au ballast
- k_p : constante de raideur relative à la combinaison fixation semelle du rail.
- d_w , k_w : paires amortisseur-ressort travaillant en cisaillement.

Afin de tenir compte du couplage de propriété entre blocs voisins, Zhai propose des paires de ressorts-amortisseurs travaillant en cisaillement. Aucune autre information n'est donnée sur leur valeur, ni sur les constantes d'amortissement introduites dans ce modèle. Ce dernier est séduisant mais pose une difficulté supplémentaire sur la détermination des paramètres (cinq au totale). [19]

I.3.2. Modélisation du sol

La compréhension des mesures de vibration réalisées sur site est partiellement envisageable à partir d'une analyse mécanique, la confrontation d'une telle analyse avec les données expérimentales permet une première interprétation de celles-ci. Cependant, les données de terrain font souvent défaut, seuls les ordres de grandeur sont généralement accessibles.

En effet, l'atténuation ou l'amplification du mouvement vibratoire et l'évolution du contenu en fréquence du champ d'onde sur le trajet de propagation dépendent des célérités d'ondes et des amortissements dans les couches et de leurs épaisseurs respectives. En outre, dans les configurations géométriques complexes, les modèles mécaniques échappent à une résolution exacte et il est nécessaire d'envisager des simulations numériques. [20]

- Modélisation théorique de l'atténuation

Il est possible d'étudier la propagation et l'amortissement des ondes en utilisant un modèle viscoélastique linéaire, à partir d'un signal mesuré à la distance xi de la source, l'accélération à la distance xj peut être estimée, à l'aide de la relation suivante (Semblat et Pecker, 2009) :

$$a^*\left(X_j, \omega\right) = a^*(X_i, \omega)\exp[ik^*(\omega)(X_j - X_i) \qquad (1.4)$$

- a* (X, ω) : spectre de Fourier.
- X_i : distance de mesure du signal.
- X_j : distance de mesure l'accélération.
- $k^*(\omega)$: nombre d'onde complexe.
- ω : fréquence angulaire.

En utilisant une transformation de Fourier pour obtenir le signal temporel en xj, la comparaison des simulations obtenues d'après cette résolution analytique avec les résultats expérimentaux permet d'identifier les caractéristiques d'amortissement du sol. Suivant le modèle rhéologique retenu, l'atténuation (Q^{-1}) varie différemment en fonction de la fréquence.

- Q^{-1} est proportionnelle à la fréquence pour le modèle de Kelvin-Voigt (ressort et amortisseur en parallèle).
- Q^{-1} est inversement proportionnelle à la fréquence pour le modèle de Maxwell (ressort et amortisseur en série).

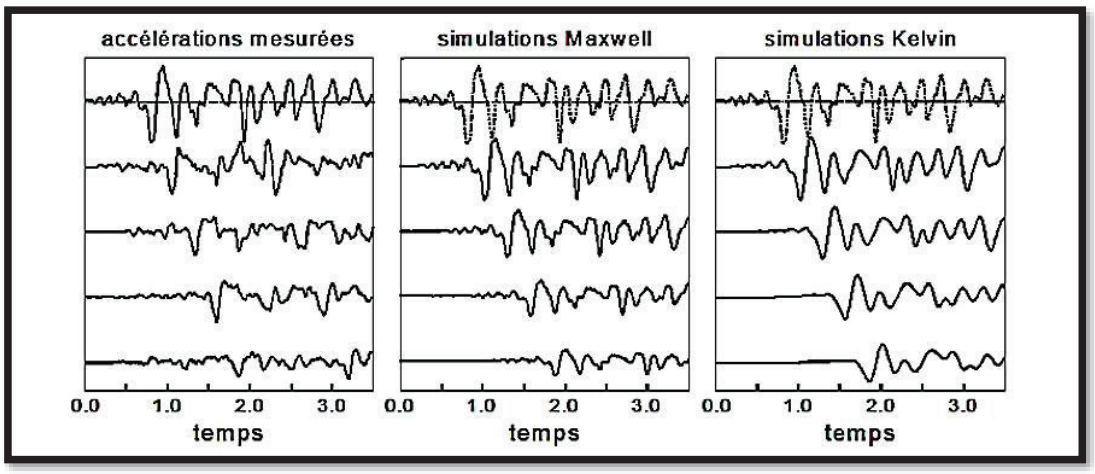


Figure I.4. Signaux d'accélération mesurés en centrifugeuse (gauche) et simulations viscoélastiques à l'aide d'un modèle de Maxwell (centre) et d'un modèle de Kelvin (droite) [20]

Les résultats proposés sur la Figure 4 permettent de comparer les mesures expérimentales réalisées dans un massif de sol centrifugé avec des simulations issues des modèles de Maxwell et Kelvin. L'accélération de référence est le signal d'accélération délivré par le premier capteur (signal du haut). La coïncidence entre accélération mesurée (gauche) et simulations est assez satisfaisante pour le modèle de Kelvin (Figure 4, droite) et est excellente pour le modèle de Maxwell (Figure 4, centre).

- Modélisation théorique de l'amplification

Dans le domaine sismique, il est prouvé qu'une onde peut être fortement amplifiée lorsque le contraste de célérité entre les couches de sol est important. L'amplification d'une onde de cisaillement dans une couche de sol peut être décrite, dans le cas simple d'une couche homogène d'épaisseur constante, telle que présenté dans la Figure 5 (gauche). Il est possible de calculer les ondes se propageant dans la couche et dans le sol sous-jacent et d'estimer la fonction de transfert de l'onde à travers la couche.

Dans chaque milieu, le déplacement résultant de la superposition des ondes se propageant vers le haut (z>0) et vers le bas (z<0) s'écrit en choisissant l'origine de l'axe z au sommet de chaque couche :

$$U_n = \left[A_n \exp\left(ik_{z_n} z_n\right) + A'_n \exp\left(-ik_{z_n} z_n\right)\right] f_n(x.t) \qquad (1.5)$$

$$k_{z_n} = \frac{\omega \cos\theta_n}{V_{s_n}}$$

$$f_n(x.t) = \exp\left[\frac{i\omega}{V_{s_n}}\left(x \sin\theta_n - V_{s_n} t\right)\right] \qquad (1.6)$$

Avec :

- U_n : déplacement résultant de la superposition des ondes.
- A_n : amplitude de l'onde au niveau de la couche n se propageant vers le haut.

- A'_n : amplitude de l'onde au niveau de la couche n se propageant vers le bas.
- k_{z_n} : nombre d'onde vertical dans la couche n.
- V_{s_n} : célérité des ondes de cisaillement.
- θ_n : angle d'incidence.

On peut déduire de l'analyse des différentes ondes la fonction de transfert à travers la couche de sol.

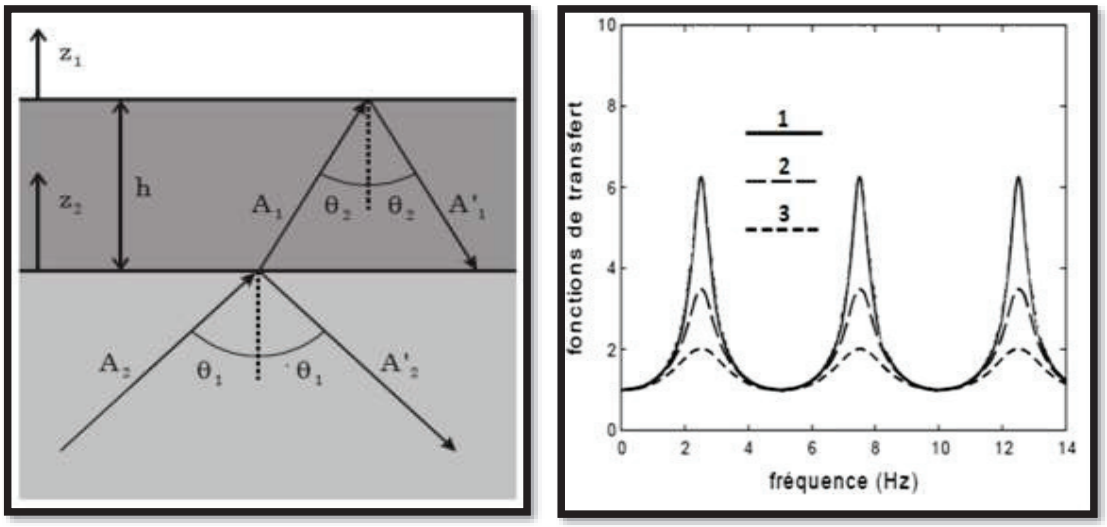


Figure I.5. Amplification d'une onde plane dans une couche de sol : définition des différentes ondes (gauche) et fonction de transfert pour différents rapports de célérités (droite) [20]

Par définition, la fonction de transfert entre deux points de la couche de sol est le rapport des amplitudes de déplacement (ou vitesse, ou accélération) en ces deux points dans le domaine des fréquences.

On peut aussi définir la fonction de transfert de différentes manières, en considérant le rapport entre le mouvement à la surface de la couche de sol et le mouvement en un point hypothétique situé à la surface du sol sous-jacent en l'absence de couche (« sol affleurant »). [20]

La fonction de transfert s'exprime sous la forme :

$$\bar{T}(\omega) = \frac{1}{\cos\, k_{z1}h + i\chi \sin k_{z1}h} \qquad (1.7)$$

Où : $$\chi = \sqrt{\frac{V_{s_1}\rho_1}{V_{s_2}\rho_2}} \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \qquad (1.8)$$

- h : la hauteur de la couche
- χ : impédance.
- V_{s_1} : célérité de la couche 1.
- ρ_1 : masse volumique de la couche 1.
- V_{s_2} : célérité de la couche 2.

- ρ_2 : masse volumique de la couche 2.
- θ_1 : l'angle d'incidence de l'onde de la couche 1.
- θ_2 : l'angle d'incidence de l'onde de la couche 2.

Cette fonction de transfert s'exprime donc en variables complexes et dépend des caractéristiques des deux milieux (ce qui n'est pas le cas avec la première définition). En considérant une couche de sol de célérité V_{S1}=200m/s, de masse volumique ρ_1=2000 kg/m^3et d'épaisseur 20 m, la Figure 5 (droite) compare plusieurs fonctions de transfert correspondant à des propriétés différentes dans la couche sous-jacente :

- Cas 1 : V_{S2}=5000m/s , ρ_2=2500 kg/m^3
- Cas 2 : V_{S2}=2000m/s , ρ_2=2200 kg/m^3
- Cas 3 : V_{S2}=800m/s , ρ_2=2000 kg/m^3

L'influence du contraste de célérité dans les deux milieux apparaît clairement puisque, dans le cas 3, la valeur maximale de la fonction de transfert est inférieure à 1 alors que, dans le cas 1, le mouvement est amplifié d'un facteur 6 à certaines fréquences. [20]

- Modélisation numérique de la propagation des vibrations

Pour analyser des cas réalistes, les modèles théoriques ne suffisent généralement pas. Les problèmes de propagation d'ondes sont en effet caractérisés par des phénomènes complexes, dispersion, diffraction, amortissement, conversions de type d'ondes... Il est souvent nécessaire de recourir à des simulations numériques et/ou des méthodes inverses afin de déterminer les paramètres caractérisant le matériau et les ondes qui s'y propagent. [20]

I.4. Couplage entre la voie et le sol

Le survol de l'État de l'art en matière de modélisation nous montre qu'il est difficile de trouver un modèle complet combinant les effets du véhicule, de la voie et du sol. La principale raison est la difficulté de modéliser le sol en tenant compte des composants de la voie et du véhicule.

Le caractère infini du sol y est surement pour quelque chose. C'est pour cette raison que certains auteurs formulent quelques hypothèses quant à l'influence du véhicule et de ses composants : La plupart des modèles qui traitent de la problématique vibratoire engendrée par le trafic réduisent le véhicule à l'état de charge mobile, et parfois harmonique lorsque le caractère discret des traverses est omis. [22]

Cette méthode de travail est intéressante mais ne permet pas, par exemple, de proposer un outil aux constructeurs de matériels ferroviaires afin de vérifier l'influence d'un des composants du véhicule sur son environnement.

Le couplage entre la voie et le sol est un problème qui avait déjà été traité par le passé. Sarfield et al et Rucker ont étudié l'interaction entre l'assise de la voie et le sol, afin de démontrer la nécessité du couplage dans le cas des véhicules circulant à haute vitesse. [19]

L'assise de voie est considérée uniquement comme un système de traverses régulièrement espacées posées sur un sol homogène, considéré comme élastique et isotrope (défini par son module de cisaillement G, sa masse volumique ρ et son nombre de poisson υ).

Les diverses transmissibilités entre traverses ont ainsi été mises en avant, suivant leurs nombres et leurs dimensions. De ces résultats, on peut remarquer l'effet du couplage entre traverses, mise en avant par une résonance, liée à l'espacement de celle-ci, mais surtout que le couplage entre toutes les traverses par le sol n'est pas si important qu'il n'y parait : tout au plus, la traverses adjacente à celle ou est appliqué un effort présente des niveaux importants (40% de la transmissibilité directe) , au plus on s'éloigne de la traverse de référence, au plus l'influence, au plus l'influence diminue mais avec une différence qui s'estompe avec la fréquence.

L'influence du couplage des traverses avec le sol a également été mise en avant par Knothe et Wuqui comparent un modèle de voie avec fondation de Winkler avec un modèle ou interviennent les fonctions de transfert entre traverses et le sol mais en tenant compte d'un sol idéal sans amortissement.

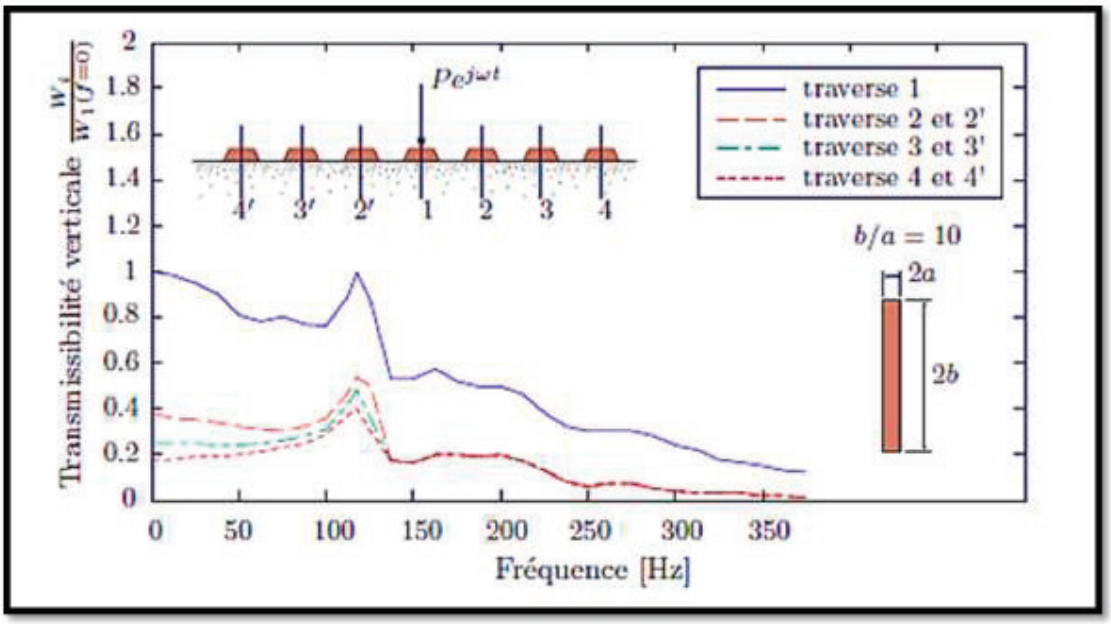


Figure I.6. Courbes d'amplitudes des vibrations verticales couplées pour un sol homogène Selon [19]

La question que l'on est en droit de se poser est l'influence du couplage par le sol de ces traverses sur la dynamique de la voie. Nous pouvons donc étendre l'analyse sur la voie complète et vérifier la réception d'un point de la voie (plus particulièrement du rail) lorsque :

- Celle-ci repose sur un sol rigide (figure 7.a) ;
- Le sol est pris en compte dans le modèle de voie par une raideur dite de fondation (figure 7.b), localisée uniquement sous la traverse ;
- Le sol est modélisé comme un système continu, pour une voie 2-D (figure 7.c) en 3-D (figure 7.d).

Pour déterminer la raideur dynamique de la fondation, les formules déterminées par WOLF ont été appliquées, faisant le lien entre un milieu viscoélastique (G, ρ, υ) et des constantes de raideur kf et d'amortissement df.

$$k_f = \frac{Ga}{(1-\upsilon)}\left[3.1 \times \left(\frac{b}{a}\right)^{2.4} + 1.6\right] \qquad (1.9)$$

$$d_f = 1.48\sqrt{\frac{ab\rho}{\pi G}}k_f \qquad (1.10)$$

Dans le cas d'une charge normale appliquée sur le sol par l'intermédiaire d'une surface rectangulaire rigide de dimensions 2a et 2b (b<a). Le cas de sol continu a été étudié en considérant une voie bidimensionnelle dont l'effort issu du ballast agit sur une surface correspondant à celle de la traverse (a=0.13m et b= 0.65m).

L'effet du couplage entre les deux rails est également pris en compte (cas 3-D) et servira de référence dans la comparaison.

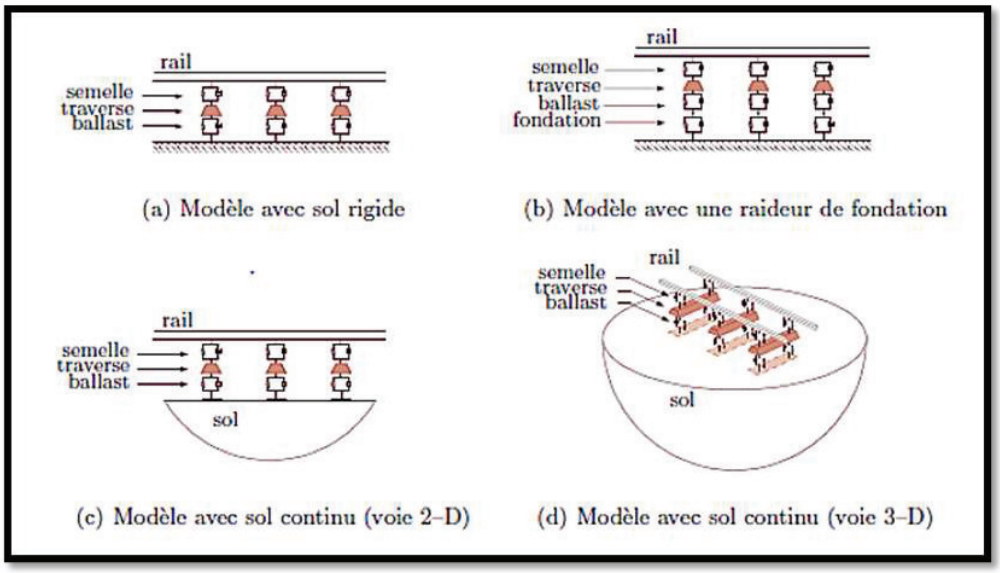


Figure I.7. Différents cas envisagés pour l'analyse du couplage voie/sol [19]

I.5. Solutions techniques pour réduire les vibrations

La Commission européenne œuvre pour un standard d'homologation européen des locomotives. Elle a pris une initiative législative pour limiter le bruit à la source en élaborant des normes de produit pour le nouveau matériel ferroviaire roulant ou le matériel existant.

Il est également possible d'intervenir au niveau du chemin de transmission des vibrations.

- Une isolation entre le rail et les traverses : les possibilités sont limitées vu l'exigence de stabilité des rails.
- Une isolation entre la traverse ou la voirie et le sol : il existe plusieurs produits d'isolation pour le dessous des traverses et des voies (ballast-mats).
- Une isolation entre le bâtiment et ses fondations : par l'utilisation de "bâtiments flottants".

Ces mesures doivent être prises au moment de l'aménagement proprement dit, car en raison de l'importance des coûts, il est pratiquement impossible d'encore intervenir par la suite.

Les nouveaux projets d'infrastructure accordent plus d'importance aux aspects vibratoires.

I.6. Conclusion

Dans cette synthèse, l'objectif a été de donner une vision globale sur le comportement dynamique de la voie induit par le trafic ferroviaire, qui permet d'apprécier les vitesses particulaires maximales à proximité des voies mais conduit généralement à des résultats complexes et difficilement généralisables.

La modélisation du phénomène due aux vibrations ferroviaires peut se montrer très complexe à cause de la difficulté de la modélisation de l'ensemble des éléments qui prennent part aux vibrations.

En outre, il peut s'avérer nécessaire de caractériser les sols et les sources vibratoires en laboratoire ou en conditions contrôlées afin de d'accéder à certains paramètres dynamiques et d'appréhender les phénomènes prépondérants.

Les essais en conditions contrôlées peuvent également permettre d'estimer l'efficacité de dispositifs d'isolation.

CHAPITRE II : RESEAU FERROVIAIRE EN ALGERIE

II.1.Introduction

La bonne conjoncture économique et le développement des autres infrastructures de transport ont incité à la demande de l'amélioration des infrastructures ferroviaires dans une optique stratégique de planification, modernisation et d'aménagement de territoire.

C'est dans ce but que l'état algérien a mis en marche un programme de développement du secteur ferroviaire visant ainsi à combler le déficit de transport de marchandises et les besoins de la population avec un budget de 26 milliards de dollars.

II.2.Développement du réseau ferroviaire en Algérie

Au cours de la période coloniale, le réseau ferroviaire algérien a été créé en trois étapes principales :

- Programme 1857-1878

Le 8 avril 1878 le gouvernement a décrété l'autorisation de 1 357 km en voies ferrée en Algérie. Toutefois, le premier chantier débute le 12 décembre 1859, qui portait sur la construction de la ligne Alger-Blida.

Cinq autres projets de construction ont été initiés un peu partout dans le territoire algérien ayant pour objectif d'atteindre ou de dépasser les 1 365 km.

- Programme 1879-1906

En 1879, une nouvelle campagne d'investissement été lancée ayant pour objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant, la construction de ces lignes a été prise en charge par des investisseurs privés, au début du XXe siècle le réseau ferroviaire algérien comptais plus de 3 300 km.

- Programme 1906-1946

En 1912 le réseau de construction passe sous la charge de la Compagnie des Chemins de fer algériens de l'Etat (CFAE) et la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. 1946 le troisième investissement ajoute 1 644 km au réseau existant totalisant alors un linéaire de 5 015 km.



Figure II.1. Réseau ferroviaire durant l'époque coloniale. [1]

- Après l'indépendance

En 1963 la Société nationale des chemins de fer français en Algérie devient la Société nationale des chemins de fer algériens.

En 1976 la création des trois organismes qui sont : La Société nationale des transports ferroviaires (SNTF), la société nationale d'études et de réalisations de l'infrastructure ferroviaire (SNERIF) et la société d'engineering et de réalisation des infrastructures ferroviaires (SIF), donne naissance à un nouveau programme d'investissement permet la réalisation de 203 km de nouvelles lignes, le doublement de 200 km de voie sur la rocade nord et le renouvellement de 1 400 km de voie et ballast.

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

En 2005, l'agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements ferroviaires (ANESRIF) est créée pour gérer un nouveau programme d'investissement public avec l'objectif de porter le réseau à 12 500 km en 2025.

II.3.Réseau actuel

Avec l'ambition de connecter toutes les villes, le réseau ferroviaire algérien est l'un des plus moderne en Afrique, comptant plus de 4 500 km dont :

- Longueur des lignes en exploitation : 3 750 Km.
- Longueur des lignes en double voie : 553 Km.
- Longueur des lignes en voie unique : 3 217 Km.
- Longueur des lignes électrifiées : 323 Km.
- Nombre de gares en exploitation : 175.
- Nombre de haltes en exploitation : 215.
- Nombre d'ouvrages d'art dont l'ouverture est supérieure à 10 m : 553.
- Nombre d'ouvrages 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 (Central Intelligence Agency) en 2008 :

L'Algérie est classée à la 45e place sur 138 pays au monde et occupe la 6e place au niveau Africain, ainsi qu'elle est la première par rapport aux pays maghrébins.

II.4.Programme de développement national

Ce programme comporte des opérations de rénovation des voies existantes, de renouvellement et de renforcement des ouvrages d'art anciens, la création de lignes nouvelles

à grande vitesse, l'extension de capacité des installations existantes pour l'amélioration des débits de lignes, la modernisation des équipements de signalisation et de télécommunication, la construction d'ateliers de maintenance du matériel roulant, et l'électrification des lignes, etc…

- La densification et le renforcement de la rocade nord sur un linéaire de

970.16 Km

Elle permettra la desserte ferroviaire de nouveaux pôles d'activité industrielle ou portuaire et une meilleure organisation des acheminements.

Cette ligne qui relie les deux frontières de l'Est à l'Ouest du pays et qui se prolongera vers le Maroc et la Tunisie sera électrifiée et à double voie : Frontières algéro-marocaines (AkkidAbbes) - Tlemcen - Sidi Bel Abbes - Oran - Relizane - Chlef - Blida - Alger - Bouira - Bordj Bouareridj - Sétif - Constantine - Annaba - frontière tunisienne (Tabarka).

- La réalisation de la Rocade des Hauts Plateaux et ses connexions sur un linéaire de 1 033.5 Km

Elle est destinée à sous-tendre le développement économique et social de ses régions : Moulay Slissen - Saida - Tiaret - Tissemsilt - Boughzoul - Msila - Ain Touta - Ain Mlila - Tébessa.

- Modernisation et prolongement des pénétrantes 1 659 Km.
- Modernisation des systèmes de signalisation en cours.

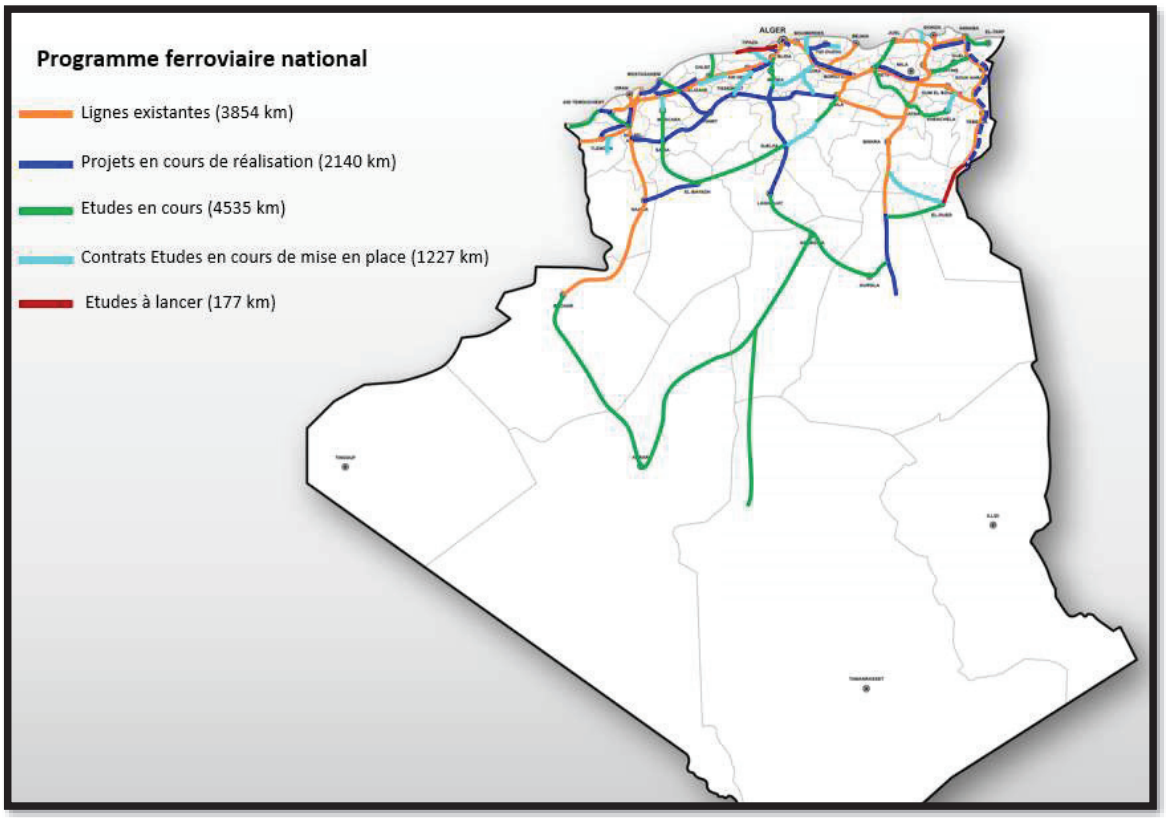


Figure II.2. Programme de développement ferroviaire algérien. [2]

CHAPITRE III : PRESENTATION DU PROJET

III.1. Présentation de la ville de Biskra

La ville de Biskra se situe dans le tiers Nord-est de l'Algérie, à environ 230 Km à l'Ouest de la frontière avec la Tunisie et à une distance similaire du littoral méditerranéen. La ville est limitée au Nord par le contrefort Sud de l'Atlas Tellien et au Sud par le désert du Sahara.

La ville de Biskra représente un point de passage essentiel des biens et des personnes sur la ligne ferroviaire (El-Ghourzi - Touggourt) d'une longueur de 420 Km reliant le nord au sud du pays.



Figure III.1. Limitrophe de la wilaya de Biskra [3]

III.2. Géologie de la zone

Dans les environs de Biskra, selon un axe Sud-est - Nord-Est, se trouvent les reliefs datant du Crétacé qui constituent le versant sud de la chaîne de l'Atlas Tellien.

Les reliefs les plus importants se trouvent au Nord-Est de Biskra. Ils sont les dépôts qui comblent les dépressions de ces reliefs et qui génèrent un changement de pente significatif jusqu'à la plaine du Sud, représentés par les ergs du désert d'âge miocène.

Les lithofacies d'âge quaternaire sont représentés par des dépôts alluviaux associés au cours d'eau principal de la zone, l'Oued Biskra. Ils sont aussi représentés par des dépôts aux pieds de la montagne.

III.3. Relief

La région de Biskra dans sa majeure partie est constituée par la grande dépression septentrionale saharienne. Celle-ci est entourée au Nord, Nord-Est et au Nord-Ouest par les derniers versants de l'atlas Saharien.

La morphologie de cette région est cependant marquée par trois unités morphologiques :

- Le cadre montagneux

La région est bordée au Nord par les monts du Zab et au Nord Est par le massif de l'Aurès.

Le caractère montagneux des monts du Zab est, en effet, peu exprimé avec des collines étroites et des chapelets de montagnes, dont les reliefs peu élevés (400 m à 900 m), alternent avec des bassins déprimés (Bled El Mazouchia : 250 m, plaine d'El Outaya : 150 m).

- Le piémont

Le piémont sud atlasique est bien individualisé par des dépôts étalés et par les ruissellements. Ces derniers constituent au pied de l'Atlas saharien un glacis continu d'Ouest en Est.

- La plaine

Les Zibans sont situés au pied des montagnes. Ce sont des bassins fermés qui constituent un niveau de base pour un réseau hydrographique qui naît au Nord. Ce sont des bassins fermés enrichis par les eaux provenant des zones pluvieuses.

III.4. Climat

Les conditions climatiques dans la région sont du type aride (saharien sec) avec des gradients de température relativement importants. Le climat est caractérisé par un hiver très agréable et un été chaud et sec.

III.5. Réseau hydrographique

Avec un réseau hydrographique important qui se compose principalement de :

- À l'Est, Oued El Arab, principal Oued de la zone, et Oued ElHaguef.
- Au Nord, l'Oued Biraz (appelé encore El Abiod) et Oued Biskra qui se jettent dans l'Oued Djedi au lieu dit Sâada.
- À l'Ouest, Oued Djedi.

Avec un débit moyen comptant au total 330 Hm^3/an.

III.6. Description du projet

Le projet consiste à la réalisation de la nouvelle ligne ferroviaire dans le périphérique de la ville de 18 043 km il s'agit d'une nouvelle ligne à voie unique, la construction d'une nouvelle gare voyageuse dans l'enceinte de l'ancienne gare et aussi une nouvelle gare marchandises au sud de la ville, à un emplacement prés de de la zone d'activité sur une surface de 33 Ha.

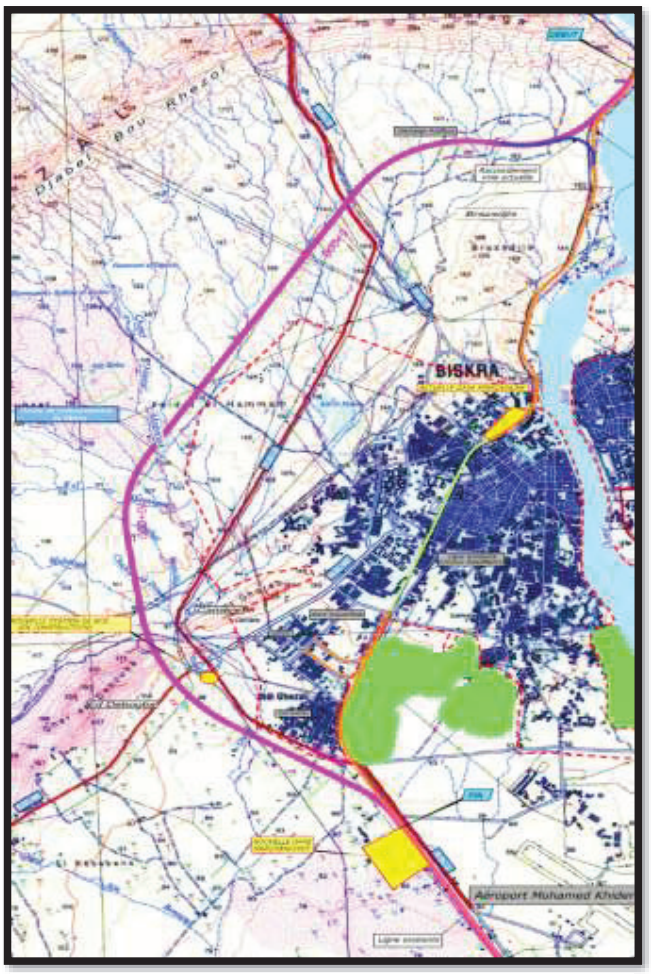


Figure III.2. Futur contournement de la ville de Biskra

III.7. Caractéristiques du projet

Les motifs essentiels qui ont conduit à la nécessité de concevoir une voie de contournement de la ville de Biskra sont les suivants :

- La situation de la ville sur cet important axe ferroviaire Nord – Sud du pays, et sa croissance constante en tant que centre d'activité commercial rendant nécessaire l'augmentation de la fréquence et de la vitesse commerciale de l'offre ferroviaire actuelle.
- La confluence à Biskra de plusieurs routes nationales (RN-03, RN-31, RN-46, et RN-83), dont le trafic subit un développement significatif, favorisent cette croissance économique.
- La congestion de la circulation et le nombre important d'accidents constatés aux droits des nombreux passages à niveau.
- Extraire la voie ferrée de la ville.
- Récupérer le couloir actuel pour la ville, entre la zone industrielle de NAFTAL et la gare des voyageurs.

III.8 Caractéristiques du projet

La réalisation du contournement et le couloir choisi doivent répondre aux objectifs économiques et aux besoins de la région tout en respectant les normes exigées pour les chemins de fer

- Type de ligne : voie unique.
- Ligne mixte (voyageurs et marchandises).
- Vitesse maximale pour le trafic voyageur : 160 km/h.
- Charge par essieu 22.5 t.
- Levé topographique (couloire d'étude).
- Vitesse maximale pour le trafic marchandise : 100 km/h.
- Ecartement de la voie (standard) : 1 435mm.
- La largeur de la plate-forme en voie simple est fixée à 8 m.
- Type du rail : UIC54.
- Traverses bi-bloc : VAX U31.
- Rampe – pentes maximales de 16 ‰.
- Traction électrifiée.
- Normes appliquées : UIC 719R et SNTF Référentiel technique chapitre 6 version 2 : la géométrie de la voie courante V<220 Km/h Réf : IC00272 (EF 2 c 32)

Edition du (12/09/2006).

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, une présentation du projet ferroviaire a été faite. Les principales composantes qui entrent en jeu dans sa composition font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE IV : CONSTITUTION DE LA VOIE

IV.1. Introduction

La voie ferrée est un ensemble de structure avec des caractéristiques physiques et mécaniques. Elle est essentiellement constituée de :

- La plate-forme.
- Le ballast.
- Les traverses, les rails et leurs accessoires.

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

IV.2. Catégorie de la voie

Les voies sont classées en plusieurs grandes catégories, chacune sous-entendant une vitesse maximale et une charge à l'essieu. On distingue ainsi :

- Les voies principales, qui sont affectées à la circulation des trains.
- Les voies de circulation, qui sont affectées à une desserte interne dans des grands complexes ferroviaires.
- Les voies de service, qui sont affectées aux manœuvres, qui peuvent être quelquefois d'anciennes voies principales déclassées.
- Les voies d'évitement, permettent à deux trains circulant en sens contraires sur une voie unique, de se croiser (voir l'exemple des funiculaires).
- Les voies de garage, qui sont des voies de service affectées au stationnement du matériel roulant.

La distinction entre les voies de service et de garage n'est pas toujours évidente. Ces voies peuvent faire partie de réseaux plus globaux incluant le ferroutage dans le cadre de l'intermodalité des transports.

IV.3. Rail

Le rail est un profilé en acier laminé, il sert à la fois de guide et support de roulement pour les véhicules ferroviaire comme il peut aussi servir comme conducteur électrique pour la transmission de signaux et le retour du courant de traction.

On distingue le rail par leurs types de profils (UIC, Vignole, gorge, doubles champignons, etc..) et par la masse d'acier utilisé par mètre linéaire courant de rail. On utilise en général les rails composés de 3 parties :

- Le patin

Assure la répartition des charges sur la traverse, il est caractérisé par sa largeur qui conditionne la rigidité du rail dans le plan horizontal, son épaisseur et la forme du raccordement avec l'âme.

- L'âme

Assure l'inertie verticale du rail, son épaisseur est de l'ordre de 17 mm est conditionnée par les efforts tranchants qu'elle supporte.

- Le champignon

Comprend trois faces actives :

– La table de roulement supérieure, profil en anse de panier.

– Les deux joues latérales permettant le contact avec le boudin de roue.

La largeur du rail permet d'absorber l'effet de frettage de la zone où se produisent les contraintes dues au contact roue-rail. Sa hauteur donne toujours une marge d'usure verticale suffisante de l'ordre de 1 mm pour 80 millions de tonnes (soit 100 000 trains de 800 tonnes).

L'acier à rail doit satisfaire aux contraintes suivantes :

– Résistance à l'abrasion.

– Absence de fragilité.

– Soudabilité en vue de constituer des barres de grande longueur.

IV.4. Traverses

La traverse est une pièce de forme générale parallélépipédique posée suivant un axe perpendiculaire à celui de la voie. Elle assure les fonctions suivantes :

– Assurer l'écartement entre deux fils de rails.

– Répartir la charge que rails reçoivent des essieux suivant l'axe Z.

– Assurer la stabilité de la voie suivant les axes X et Y.

– Diminution de l'effet de déformation locale du sol d'infrastructure.

L'écartement est variable selon les réseaux. Sa valeur est liée à l'histoire du chemin de fer. En 1825, Stephenson choisit l'écartement de 4 pieds, 8 pouces 1/2, soit 1 435 mm, correspondant à l'écartement normal des véhicules routiers de l'époque. Cette valeur a progressivement été adoptée par les principaux réseaux occidentaux, cet écartement est appelé voie normale.[5] Pour des raisons stratégiques, d'autres réseaux ont adopté un écartement différent, les principaux sont donnés par le tableau suivant :

Tableau IV.1. Types de voie [5]

Type de voie	Ecartement (m)	Principaux pays
Large	1.676	Espagne, Portugal, Inde, Sri Lanka.
	1.6	Australie, Brésil, Eire, Irlande du nord.
	1.524	Russie, Finlande.
Normale	1.435	Europe, Amérique du nord, Chine, Maroc, Algérie, Japon (lignes à grandes vitesses).
Métrique	1.067	Afrique anglophone, Japon, Indonésie.
	1	Afrique francophone, Suisse.

Etroite	0.75	Indonésie (en partie), Autriche (en partie).
	0.8	Réseaux locaux.
	0.6	

On distingue plusieurs types de traverses :

- Traverse en bois

Fabriquée en bois dur, elles constituent une grande partie des traverses utilisées dans le monde vu sa résistance, sa flexibilité et aussi pour sa facilité de mise en œuvre, mais avec une durée de vie réduite (20 à 30 ans).

- Traverse métallique

La traverse métallique est un produit industriel de fabrication simple. Elle est constituée d'un laminé en forme de U renversé, embouti à ses extrémités, pour former des bêches qui s'enfoncent dans le ballast et s'opposent au déplacement transversal de la voie. Le rail est fixé au moyen de crapauds qui appuient sur le bord du patin. Ces crapauds sont serrés par des écrous vissés sur des boulons et la combinaison de deux ou trois modèles permet de réaliser une gamme progressive d'écartement de la voie.

- Traverse en béton

Avec le prix élevé des traverses métalliques et la difficulté de se procurer en quantité suffisante des traverses en bois, la traverse en béton avec sa durée de vie importante vient pour les remplacer, son poids important assure le bon ancrage de la voie dans le ballast, il existe deux types de traverse en béton :

- La traverse bi bloc : formée de deux blocs en béton armé appelés Blochet reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse.
- La traverse mono bloc : formée en un seul bloc En béton précontraint, amincie dans sa partie centrale, armée de fils à haute résistance.

IV.5. Les attaches

- Ils existent une multitude d'attaches, elles assurent la liaison entre le rail et les traverses.
- Elles permettent de retenir le rail en toutes circonstances de façon élastique.
- Elles facilitent de déplacement du rail sur la semelle mais sans s'user anormalement et pendant de nombreuses années.
- Elles peuvent être posées et enlevées sans difficulté et ne nécessitent pas un outillage sophistiqué.

IV.6. Pose de la voie

IV.6.1. Pose provisoire

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

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

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

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

IV.6.2. Relevage

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

IV.6.3. Le bourrage

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

IV.6.4. Dressage définitif de la voie

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

IV.6.5. Eclissage

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

IV.6.6. Réglage du ballast

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

IV.6.7. Procédé de soudure du rail

- Procédé de soudure aluminothermique

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

- Procédé de soudure électrique

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

IV.6.8. Dilatation du rail

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

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

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

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

- Le franchissement des ouvrages d'art (pont, viaduc) du fait des dilatations différentes entre voies et structure d'ouvrage.
- Réalisation des isolements électriques, lorsqu'ils sont nécessaires au cantonnement de signalisation, pour laquelle sont utilisés des joints collés. Ces joints de dilatation sont constitués pas les extrémités de rails profilés en biseau adjacents, ne provoquant aucune lacune de roulement. [4]

IV.7. Long rail soudé

On appelle long rail soudé (LRS) une barre dont la longueur est suffisante pour qu'un, au moins, de ses points reste fixe, quel que soit la variation de température.

IV.7.1. Avantages

- Suppression de l'éclissage boulonné.
- Réduction des dépenses d'entretien.
- Réduction des défauts de rails.
- Amélioration du confort.
- Réduction de l'usure de la superstructure.

IV.7.2. Inconvénients

- Défauts de soudure.

- Les efforts longitudinaux importants.
- Résistance latérale affaiblie.
- Risque glissement latéral et flambage de la voie lors de la température élevée.

IV.7.3. Libération du rail

Chaque 400m on coupe le rail soudé sachant que la distance enlevée dépend de la différence de température du jour et celle de la nuit, on devrait idéalement poser les barres longues à une température moyenne entre les extrêmes attendus appelés température de référence, la distance qui dépend de la différence de température est enlevée, y aura un vide entre le PK 400 et le PK 400+$L_{\triangle T}$, les extrémités sont joints grâce à un vérins puis on les fixe et on les soude à nouveau, ainsi la température de référence est atteinte le rail ne songe plus à s'allonger ni de comprimer. [6]

IV.8. 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.

L'exploitation des voies ferrée érige des dispositifs de liaison et d. intersection des itinéraires que l'on désigne appareille de voie, on distingue deux catégories d'appareils de voie :

- Le branchement : permet de créer une voie déviée à partir d'une voie directe ou d'assurer la communication entre deux voies exceptionnellement trois voies.
- La traversée : c'est le croisement au niveau de deux voies, elle peut être combinée avec un ou plusieurs branchements.

Tableau IV.2. Appareils de voie du projet

Appareils (tangente)	Rayon (m)	Vitesse (Km/h)
1/12	500	70
1/9	300	50
1/9	190	50
1/7	190	30

Le branchement deux parties :

- Zone d'aiguillage : constituée de deux pièces mobiles appelées lames d'aiguilles qui peuvent au moyen d'un dispositif de manœuvre, soit venir en contact des rail adjacents appelés contre-aiguilles, soit s'en écarter pour laisser le passage aux boudins des roues. [5]

– Zone de croisement : permet à deux files de rails de se couper, cet ensemble est constitué d'une pointe de cœur encadrée patte de lièvre et deux rails extérieurs muni de contre-rails. [5]

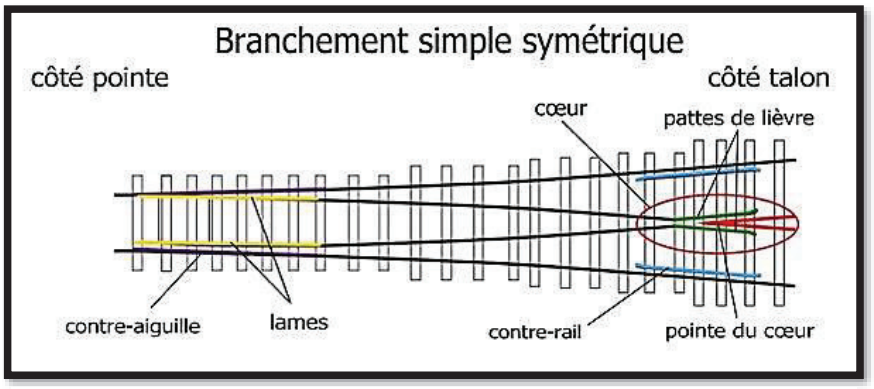


Figure IV.1. Modèle descriptif des appareils de voie. [11]

IV.9. Conclusion

Une voie ferrée est un composé de nombreux éléments répondant chacun à des normes précises. La première étape dans une étude de projet est avant tout le tracé en plan de cette voie. Le chapitre cinq est consacré à cela.

CHAPITRE V : TRACE EN PLAN

V.1. Introduction

Le tracé en plan est un des trois éléments qui permettent de caractériser la géométrie de la voie ferrée, il est constitué par la projection horizontale sur un repère cartésien topographique de l'ensemble des points définissant le tracé de la voie, il doit présenter un alignement le plus droit et des courbes les plus douces possibles, avec des choix économiques pour répondre à un roulement parfait et sécurisé de la voiture du train.

Les paramètres de tracé de voie pour les tronçons de ligne à réaliser :

- Gamme de vitesse ≤ 220 km/h
- Trafic mixte voyageurs-marchandises.
- Optimisation des conditions et des coûts de maintenance de la ligne à Grande Vitesse.

Les spécifications contenues dans le présent cours concernent les voies principales de la ligne nouvelle, conforme aux spécifications de la SNTF 2005.

Dans le cadre du présent projet les vitesses caractéristiques sont :

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

V.2. Choix du couloir

Le couloir le plus approprié pour le tracé a été défini par rapport aux conditions suivantes :

- Le couloir sélectionné doit éviter les zones dont l'orographie est accidentée, pour minimiser les mouvements de terre.
- La nouvelle ligne doit passer près de la concentration du réseau des routes (RN 03 et RN 46).
- Il faut éviter l'affection des zones résidentielles, en éloignant le nouveau couloir de ces dernières.
- Éviter de passer sur des terrains agricoles, des zones forestières et les propriétés privées.
- Réduire les portées des ouvrages d'art au niveau des Oueds et des routes en les traversant sur un plan perpendiculaire (Passage inferieur PK 10+670, Pont rail 10+820, Viaduc PK11+800, Ouvrage hydraulique PK 13+250…).
- Raccordement à la voie existante (PK 00+000 et PK 15+300).
- Essayer d'utiliser au maximum des alignements.

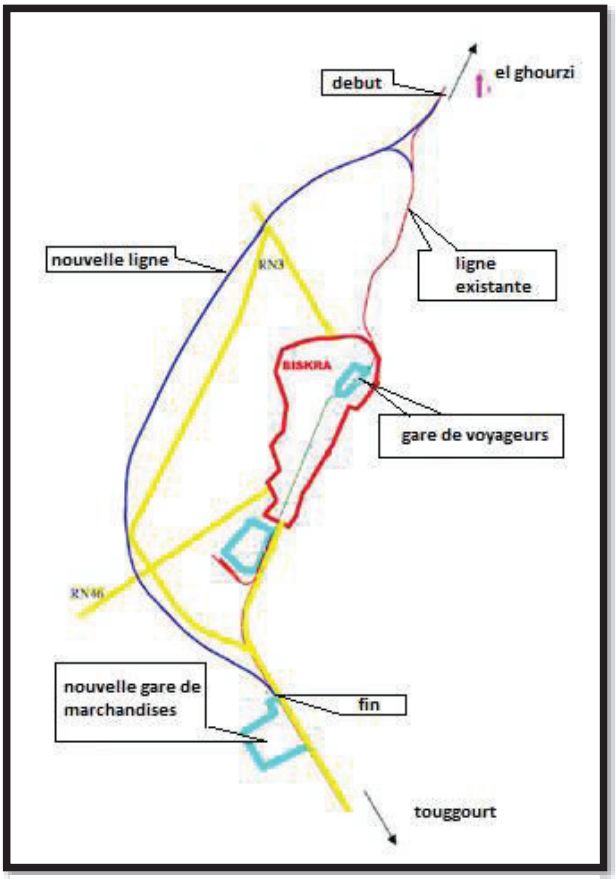


Figure V.1. Couloir approprié au tracé

V.3. Longueur minimale des éléments de tracé

Afin d'assurer un confort suffisant au niveau de la voiture du train, des longueurs minimales ont été fixées pour les alignements droits et des pleines courbes, entre milieu de doucines, comme le montre le tableau suivant :

Tableau V.1. Longueur minimum des éléments de tracé

Valeur limite normale	$L_{min} = V_v/2 = 80m$
Valeur limite exceptionnelle	$L_{min} = V_v/3 = 53.33m$

V.4. Courbe circulaire

Afin de limiter l'application des efforts transversaux sur la voie pour éviter l'usure du rail et assurer le confort des passagers une valeur minimale est admise pour le raccordement circulaire.

Ce raccordement qui est défini à partir de l'excès et l'insuffisance de devers (E et I) à l'aide de l'équation suivante :

$$R_{min} = \frac{11.8\times(V_V^2 - V_m^2)}{I+E} = \frac{11.8\times(160^2 - 100^2)}{150+110} = 708m \qquad (V.1)$$

– I : insuffisance de devers recommandée.

- E : excès de devers recommandé.
- V_V : vitesses des train voyageurs 160km/h.
- V_m : vitesse des trains marchandises 100km/h.

Tableau V.2. Valeurs minimales des rayons appropriés au projet suivant les vitesses

Rayon minimal normal (m) (160km/h)	708
Rayon minimal exceptionnel (m) (160km/h)	594

V.5. Devers théorique

Au cours de sa circulation le véhicule est soumis à une force centrifuge qui tend à le déporter vers l'extérieur, c'est pour cette raison qu'un surhaussement de rail appelé devers théorique est appliqué au niveau des courbes pour annuler l'effet cette force.

$$d_V = \frac{11.8 \times V_V^2}{R} \qquad \text{(V.2)}$$

V.6. Devers pratique

C'est le devers qui doit permettre la circulation dans des conditions de sécurité et de confort, aussi bien pour le train rapide des voyageurs que des trains de marchandises et aussi éviter l'usure du rail.

$$d_P = \frac{1000 \times C}{R} \qquad \text{(V.3)}$$

C : coefficient de devers, il faut qu'il soit un multiplicateur de 15, il est donné par la relation suivante

$$C = 0.006 \times V_V^2 \qquad \text{(V.4)}$$

Tableau V.3. Valeurs limites du devers [7]

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

V.7. Insuffisance de devers

La différence entre le devers théorique et le devers pratique représenté par l'insuffisance de devers :

$$I = d_{th} - d_p = \frac{11.8 \times V_V^2}{R} - d_p < I_{rec} \qquad \text{(V.5)}$$

La circulation d'un véhicule avec insuffisance de devers se traduit par l'apparition de forces transversales, résultat d'une force transversale non compensée ayant pour effet :

- Tendre au chavirement du véhicule vers l'extérieur.
- Tendre à faire monter le boudi, sur le rail extérieur.
- Tendre à riper la voie vers extérieur delà courbe.
- Imposer un confort inacceptable aux voyageurs.

Tableau V.4. Valeurs limites d'insuffisance de devers [7]

Insuffisance de devers normale (mm)	150
Insuffisance de devers exceptionnelle (mm)	160

V.8. Excès de devers

La différence entre le devers théorique des trains lents et le devers pratique représenté par l'excès de devers :

$$E = d_p - d_l = d_p - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} < E_{rec} \quad \text{(V.6)}$$

Pour un trafic mixte les trains transportant la marchandise qui sont des trains lents sont soumis à une force centripète non compensée en circulant sur des rails soumis à un devers théorique de train rapide ce qui engendre donc résultante de force dirigée vers l'intérieur.

Tableau V.5. Valeurs limites d'excès de devers [7]

Excès de devers normal (mm)	110
Excès de devers exceptionnel (mm)	150

V.9. Courbe de transition (Clothoïde)

Il permet d'éviter la variation brusque de la courbe entre lors du passage d'un alignement à un cercle ou l'inverse, la courbure varie progressivement d'un rayon R= ∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur de rayon R constante au début de l'arc de cercle.

On utilise pour ce type de raccordement la clothoïde qui assure, grâce à sa variation linéaire de courbure la stabilité et le confort plus son aspect esthétique satisfaisant, tel que :

$$A^2 = L_{RP} \times R \quad \text{(V.7)}$$

C'est la longueur de clothoïde qui permet un raccordement convenable du dévers de l'alignement et celui de la courbe, elle est définie à l'aide des formules suivantes :

$$L_{RP} \geq \frac{I \times V}{3.6 \times \left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)} \quad \text{(V.8)}$$

$$L_{RP} \geq \frac{d_p}{\left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)} \quad \text{(V.9)}$$

$$L_{RP} \geq \frac{d_p \times V}{3.6 \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)} \quad \text{(V.10)}$$

La longueur minimale normale des raccordements progressifs entre milieux de doucines est de 60m, exceptionnellement cette longueur peut abaisser à 50m.

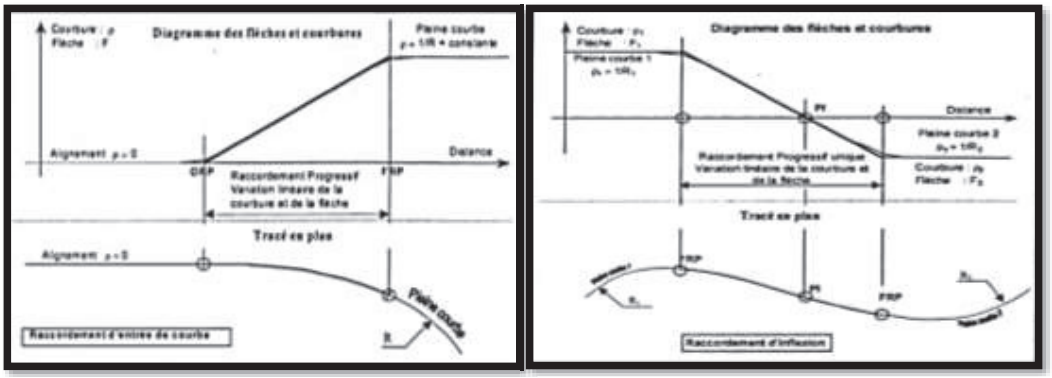


Figure V.2. Diagramme des flèches et courbure du tracé en plan [7]

V.10. Variation de devers dans les courbes de transition

La variation du dévers un gauchissement de la voie, donc les points de contact des boggies ne se trouvent pas au même niveau, et la charge se répartit inégalement sur les roues et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses.

La variation de devers dans les courbes de transition est représentée par la formule suivante :

$$\frac{\Delta d}{\Delta l} \geq \frac{d_p}{L_{RP}}$$

Tableau V.6. Valeurs limites de la variation de devers [7]

Variation normale du devers en plein courbe de transition (mm/m)	$180/V_V = 1.125$mm/m
Variation exceptionnelle du devers en plein courbe de transition(mm/m)	$216/V_V = 1.35$mm/m

V.11. Variation de l'insuffisance de devers

La variation de l'insuffisance de devers est représentée par la formule suivantes :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V}{3.6 \times L_{RP}}$$

Les valeurs maximales sont indiquées ci-dessous :

Tableau V.7. Valeurs limites de la variation de l'insuffisance de devers [7]

Valeur normale variation de l'insuffisance de devers (mm/s)	75
Valeur exceptionnelle variation de l'insuffisance de devers (mm/s)	90

V.12. Variation du devers dans le temps

La variation du devers dans le temps est représentée par le formule suivante :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_p \times V}{3.6 \times L_{RP}}$$

Les valeurs maximales sont indiquées ci-dessous :

Tableau V.8. Valeurs limites de la variation de devers dans le temps [7]

Valeur normale variation de devers dans le temps (mm/s)	50
Valeur exceptionnelle variation de devers dans le temps (mm/s)	75

V.13. Application au projet

Pour une vitesse : V_v = 160 km/h et V_m = 100km/h :

- $R_{min} = \frac{11.8\times(V_V^2 - V_m^2)}{I+E}$ AN : $R_{min} = \frac{11.8\times(160^2-100^2)}{150+110} = 708m$

  (Valeur prise R = 1700m)
- $C = 0.006 \times V_V^2$ AN : $C = 0.006 \times 160^2 = 153.3$

  (Valeur prise 180)
- $d_P = \frac{1000\times C}{R}$ AN : $d_P = \frac{1000\times 210}{1700} = 105.88mm.$

  (Valeur prise 120mm)
- $d_{th} = \frac{11.8\times V_V^2}{R}$ AN : $d_P = \frac{11.8\times 160^2}{1700} = 177.69mm$
- $d_l = \frac{11.8\times V_m^2}{R}$ AN : $d_P = \frac{11.8\times 100^2}{1700} = 69.41mm$
- $I = d_{th} - d_p$ AN : $I = 177.69 - 120 = 57.69mm$
- $E = d_p - d_l$ AN : $E = 120 - 69.41 = 50.59mm$
- $L_{RP} = \frac{d_p\times V}{3.6\times\left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)}$ AN : $L_{RP} = \frac{120\times 180}{3.6\times 50} = 106.66m$

  (Valeur prise 160m)
- $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I\times V}{3.6\times L_{RP}}$ AN : $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{57.69\times 160}{3.6\times 160} = 16.03mm/s$
- $\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_p\times V}{3.6\times L_{RP}}$ AN : $\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{120\times 160}{3.6\times 160} = 33.33mm/s$
- $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{d_p}{L_{RP}}$ AN : $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{120}{160} = 0.75mm/m$

Voici le tableau montrant les différents paramètres de tracé en plan avec les différentes vitesses :

Tableau V.9. Résultats de divers paramètres calculés pour le tracé en plan

ID	R (m)	d_p (mm)	L (m)	I (mm)	E (mm)	△d/△l (mm/m)	△d/△t (mm/s)	△I/△t (mm/s)
R.1	1 275	150	140	90	60	1.071	47.61	28.57
R.2	1 700	110	100	70	40	1.10	48.89	31.11
R.3	1 700	110	100	70	40	1.10	48.89	31.11
R.4	2 400	80	80	45	30	1.00	44.45	25.0
R.5	1 275	150	140	90	60	1.071	47.61	28.57

V.14. Description du tracé

Le tracé nouveau du projet contourne la ville de Biskra par l'Ouest pour se connecter sur la voie existante au Sud de la ville de Biskra, L'origine du tracé (PK 0+000) se trouve au nord de la ville de Biskra (PK 195+800) de la ligne ferroviaire reliant El Ghourzi à Touggourt) et il se termine dans la future gare de marchandises en aval de la connexion de la ligne projetée avec la ligne existante venant de la zone industrielle au PK 18+043.

Après un bref parcours sur la plateforme existante, le tracé prend la direction du Sud-ouest pour commencer le contournement de la ville par une courbe de rayon de 1 275 m avec une longueur de 1 065 m.

Le tracé parcourt 219 m en alignement droit et en raccordements progressifs jusqu'au PK 1+820 où est effectuée une courbe de rayon 1 700m avec une longueur de 1 769m, et passe ainsi près de la zone de décharge sans l'affecter et aussi en évitant tout impact sur les installations du parc aquatique.

Ensuite, le tracé passe par un alignement droit de longueur 4 669 m.

Au PK 3+755, le projet croise le tracé de la route RN-03, le rétablissement de cet axe routier est projeté par la réalisation de deux ponts routiers, un ouvrage par sens de circulation., de longueur 41,6 m.

Aux alentours du PK 7+135, le tracé croise un chemin local pour lequel est prévu un franchissement au moyen d'un passage supérieur de longueur 46,5 m.

Ensuite le tracé croise divers oueds qu'il franchit au moyen de travaux de drainage transversaux.

Après cette succession de oueds de taille moyenne, le tracé effectue une courbe de rayon R=1 700 m sur une longueur de 1 172 m, puis suit un alignement droit de longueur 1 156 m durant lequel il franchit un chemin rural dégradé au moyen d'un passage inférieur au PK 10+670.

Ensuite, le tracé se rapproche de la zone Sud-Ouest de la ville de Biskra, où le tracé est contraint aux conditions les plus restrictives. Il convient de souligner entre autres, l'orographie, les installations industrielles, les infrastructures routières et les prévisions de service, il suit alors une courbe de rayon R=2 400 m sur une longueur de 2 042 m.

Au P.K. 13+000 le tracé doit éviter une gare routière actuellement en construction et par conséquent les installations industrielles associées à la briqueterie située entre le PK 10+800 et 11+200 sont modérément affectées ce qui ramène à la construction d'un pont rail au PK 10+820 avec une longueur de 20 m.

Par la suite, le tracé traverse la zone de relief le plus accidentée du parcours. Aux alentours du P.K. 11+400, le tracé rencontre un terrassement qui constitue actuellement un site d'activité associé à la briqueterie. On y prévoit donc un passage supérieur au PK 11+400 de longueur 46,5 m afin de maintenir la communication entre les deux côtés.

Ensuite, depuis le point le plus élevé du tracé le tracé débute une descente pour traverser en remblai la vallée suivante. Le franchissement de la route RN-46 et des oueds proches est résolu au moyen d'un viaduc PK 11+800 de 180 m de longueur.

Puis le tracé suit un alignement droit sur une longueur de 1 802 m et se dirige dans la direction Sud-Est et commence à s'approcher du tracé de l'actuelle ligne ferroviaire, dans cette zone, le tracé croise de nombreux chemins agricoles de taille moyenne, le maintien de la communication entre les deux marges est établi grâce aux deux passages supérieurs situés aux PK 13+025 et 14+225 de longueurs respectives 42,5 m et 46,5 m.

Aux alentours du P.K. 15+300 le tracé se connecte avec la ligne actuelle par une courbe de rayon R=1 275 m sur une longueur de 468 m où la construction d'une nouvelle gare de marchandises est prévue jusqu'à la fin du tracé au PK 18+043.

Tableau V.10. Tableau récapitulatif du tracé en plan

Elément	PK début	PK fin	Longueur
Alignement droit	0+000	0+156	156
Courbe progressive	0+156	0+296	140
Courbe	0+296	1+361	1065
Courbe progressive	1+361	1+501	140
Alignement droit	1+501	1+720	219
Courbe progressive	1+720	1+820	100
Courbe	1+820	3+589	1769
Courbe progressive	3+589	3+689	100
Alignement droit	3+689	8+358	4669
Courbe progressive	8+358	8+458	100
Courbe	8+458	9+630	1172
Courbe progressive	9+630	9+730	100
Alignement droit	9+730	10+806	1156
Courbe progressive	10+806	10+886	80
Courbe	10+886	12+928	2042
Courbe progressive	12+928	13+008	80

Alignement droit	13+008	14+810	1802
Courbe progressive	14+810	14+950	140
Courbe	14+950	15+418	468
Courbe progressive	15+418	15+558	140
Alignement droit	15+558	18+045	2487

V.15. Contraintes rencontrées sur tracé

Tableau V.10. Contraintes du tracé

Contrainte	Situation
Ligne électrique haute tension	PK 4+800
	PK 6+037
	PK 8+600
Ligne électrique moyenne tension	PK 3+290
	PK 6+300
	PK 10+675
	PK 11+225
	PK 15+205
Ligne électrique basse tension	PK 12+775
	PK 16+208
Conduite de Gaz	PK 3+645
	PK 5+475
Fibre optique	PK 3+650
	PK 3+775
	PK 13+350
Conduite d'eau	PK 11+800
Oléoduc	PK 3+667
	PK 13+334
Réseaux routiers	PK 3+755
	PK 7+137
Réseaux routiers	PK 10+670
	PK 11+400
	PK 11+820
	PK 13+100

	PK 14+225
Court d'eau et oued	Du PK 1+680 au PK 16+640

V.16. Conclusion

La première étape dans le tracé géométrique est le tracé en plan présenté dans ce chapitre. La deuxième étape en est le profil en long résumé dans le chapitre suivant.

CHAPITRE VI : PROFIL EN LONG

VI.1. Introduction

Le profil en long d'une voie ferrée est une ligne continue obtenue par l'exécution d'une coupe longitudinale fictive. Donc il exprime la variation de l'altitude de l'axe de la voie en fonction de l'abscisse curviligne.

VI.2. Les règles à respecter dans le 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 et longueur minimale) préconisées par les règlements.
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.

  Éviter une hauteur excessive en remblai.

VI.3. Eléments géométriques 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 (montante).
- Palier : c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- Courbes de raccordement : ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge.

VI.3.1. Déclivité maximale

La valeur admissible à ne pas dépasser pour la déclivité varie en fonction de sa longueur (Réf SNTF) :

- En déclivité de longueur inférieure à 3000 m, elle ne doit pas dépasser 16‰, et exceptionnellement 18‰.
- En déclivité de longueur comprise entre 3000 m et 15000 m, elle diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰ et exceptionnellement de 18‰ à 15‰.
- En déclivité de longueur supérieure à 15000 m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.

VI.3.2. La longueur minimale des déclivités

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

Tableau VI.1. Valeurs minimales des déclivités [7]

Valeur minimale recommandée	V/2 = 80m
Valeur minimale exceptionnelle	V/2.5 = 64m

VI.3.3. Raccordement vertical

Sur voies principales, pour ne pas compromettre le confort des voyageurs, le rayon minimal de raccordement est fixé en fonction de la vitesse limite V_V de la ligne

Selon le référentiel technique de la SNTF, le rayon du raccordement vertical minimal se calcule suivant les expressions présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.2. Valeurs minimales des raccordements verticaux [7]

Valeur normale	$0.35V^2 = 8\ 960m$
Valeur exceptionnelle	$0.25V^2 = 6\ 400m$

VI.3.4. Accélération verticale

L'accélération verticale quasi-statique au franchissement des courbes de raccordements du profil en long (av), en prenant en compte la sécurité vis-à-vis du risque de déraillement dû au délestage de la roue et le confort de marche dans l'éventualité est donnée par l'expression suivante :

$$a_V = \frac{V^2}{12.96R_V} \leq (a_V)_{lim} \qquad (6.1)$$

Toutefois, cette valeur limite de sécurité n'est pas à considérer sauf si on dépasse la valeur limite maximum pour a_v.

VI.4. Coordination tracé en plan et profil en long

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

- Positionner les points de changement de déclivité dans des éléments de tracé constants (alignements ou pleine courbe).
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe à moins de 100m ou bien en déclivité.
- Assurer un palier de 800 à 1200m pour l'implantation de la gare.
- Assurer une pente nulle au niveau de la gare.

Voici le tableau montrant les différents paramètres du profil en long avec les différentes vitesses :

Tableau VI.3. Résultats de divers paramètres utilisés pour le profil en long

Paramètres géométriques du profil en long	
Rayon de raccordement minimal utilisé	12 000 m
Longueur minimale de déclivité	132 m
Longueur maximale de déclivité	2 722 m
Pente maximale	16 ‰

VI.5. Description du profil en long

Le profil en long du tracé du projet de contournement et réaménagement de la ville de Biskra suit une dénivelée globale en descente depuis la cote altimétrique 162.08 m au début du

projet (PK 195+800 de la ligne El Ghourzi – Touggourt) jusqu'à la cote altimétrique 76.06 m à la fin du projet (PK 18+043), soit une pente moyenne de 6.25 ‰.

PK 0+000 le tracé commence avec une pente descendante de 3.6 ‰ jusqu'au PK 0+450 où il suivra la rampe 14.6‰ sur un tronçon de 440 m.

Par la suite, jusqu'au PK 4+816, le tracé suit une pente descendante avec des pentes qui varient entre le -5.1 ‰ et le -13.8 ‰, entre le PK 4+816 et le PK 5+363 le tracé localement suit une pente ascendante de 6.9‰.

A nouveau, entre les PK 5+363 et 10+505 le tracé suit une pente descendante avec des pentes qui varient entre -3.9 ‰ et -13.5 ‰.

A partir du PK 10+505 jusqu´au PK 12+510 une pente ascendante puis une pente descendante de 15.6 ‰ et -16.0 ‰ se succèdent.

Enfin une succession de faibles pentes qui varient entre -6.4 ‰ et 1.7 ‰.

Elément	**PK début**	**PK fin**	**Rayon (m)**	**Déclivité (‰)**
Droite	0+000	0+341		-3.6‰
Parabole	0+341	0+560	12 000	
Droite	0+560	0+693		1.46‰
Parabole	0+693	1+087	20 000	
Droite	1+087	2+083		-5.1‰
Parabole	2+083	2+117	20 000	
Droite	2+117	3+000		-3.4‰
Parabole	3+000	3+117	25 000	
Droite	3+117	3+876		-8.0‰
Parabole	3+876	3+945	12 000	
Droite	3+945	4+688		-13.8‰
Parabole	4+688	4+935	12 000	
Droite	4+935	5+281		6.9‰
Parabole	5+281	5+421	12 000	
Droite	5+421	5+561		-4.8‰
Parabole	5+561	5+666	12 000	
Droite	5+666	6+187		-13.5‰
Parabole	6+187	6+199	40 000	
Droite	6+199	7+702		-13.2‰
Parabole	7+702	7+971	30 000	
Droite	7+971	9+113		-4.2‰
Parabole	9+113	9+151	120 000	

Droite	9+151	10+292		-3.9‰
Parabole	10+292	10+683	20 000	
Droite	10+683	11+007		15.6‰
Parabole	11+007	11+388	12 000	
Droite	11+388	12+510		-16.0‰
Parabole	12+510	12+655	15 000	
Droite	12+655	13+336		-6.4‰
Parabole	13+336	13+497	20 000	
Droite	13+497	14+390		1.7‰
Parabole	14+390	14+420	40 000	
Droite	14+420	15+053		0.9‰
Parabole	15+053	15+322	60 000	
Droite	15+322	18+044		-3.6‰

VI.6. Conclusion

Une fois le tracé en plan et celui en long réalisé, il faut passer tracé du profil en travers de la voie. Le chapitre sept est consacré à cet effet.

CHAPITRE VII : PROFIL EN TRAVERS

VII.1. Introduction

Le profil en travers est le levé perpendiculaire à l'axe de la voie sur un plan vertical il contient tous les éléments de la superstructure, de l'infrastructure et d'assainissement, il existe deux types de profil en travers :

- Le profil en travers type.
- Le profil en travers courant.

VII.2. Les éléments de profil en travers

- La plate-forme : C'est la partie sur laquelle repose la voie 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.
- L'emprise : C'est la surface du terrain naturel affecté à la voie, limitée par le domaine public.
- La voie : C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains.
- La berme : Supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations.), sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.
- Le fossé : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

VII.3. Les éléments de profil type

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

VII.3.1. Eléments de l'infrastructure

- Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.
- Les pentes de chaque couche.
- La pente latérale de la plateforme.

VII.3.2. Eléments de la superstructure

- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
- Le type des traverses utilisées.
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La longueur des butées du ballast.
- La valeur du devers maximal en courbe.

VII.3.3. Eléments du talus

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

VII.3.4. Eléments d'assainissements

- Types et dimensions du fossé ou des drains.

VII.3.5. Les profils en travers affectés au projet

Pour ce projet, les profils en travers sont caractérisés comme se suit :

- Type de ligne : voie unique mixte électrifiée.
- Ecartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeurs de la plate-forme : 8 m.
- Pente de la plate-forme : 4%.
- Pente d'entrée en terre 2H/1V.
- Pente latérale de la couche du ballast : 3H/2V.
- Épaisseur du ballast : 30cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 18 cm.
- Épaisseur de la couche de fondation : 20cm.
- Épaisseur de couche de forme : 50 cm.
- Pente (déblai : 3H/2V et remblai : 2H/1V).
- Pente (déblai rocheux h=40m : 1H/1V et remblai : 2H/1V).
- Fossé trapézoïdal (b= 0.50 m ; h= 0.50 m).

VII.4. Conclusion

Le tracé géométrique de la voie étant effectué, il est nécessaire de passer à l'étude géotechnique et géologique, objet du chapitre suivant.

CHAPITRE VIII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

VIII.1. Introduction

L'étude géotechnique est un préalable dans tous les projets de travaux publics et de génie civil. Elle intervient dans le choix du site, mais le plus souvent son objectif est de fournir les caractéristiques relevant du sol et du sous-sol dont la prise en compte est nécessaire pour la stabilité de la construction.

VIII.2. Etude géologique

VIII.2.1. Géologie locale de la zone

Dans les environs de Biskra, selon un axe Sud-est - Nord-Est, se trouvent les reliefs datant du Crétacé qui constituent le bassin versant sud de la chaîne de l'Atlas Tellien.

Les reliefs les plus importants se trouvent au Nord-Est de Biskra. Ils sont les dépôts qui comblent les dépressions de ces reliefs et qui génèrent un changement de pente significatif jusqu'à la plaine du Sud, représentés par les ergs du désert d'âge miocène.

Les lithofaciès d'âge quaternaire sont représentés par des dépôts alluviaux associés au cours d'eau principal de la zone, l'Oued Biskra. Ils sont aussi représentés par des dépôts aux pieds de la montagne.

NB : Le tracé de la ligne ferroviaire se développe sur le versant méridional de l'Atlas Saharien où la formation géologique est représentée par le Crétacé (500 m), le Mio-Pliocène (2 935 m) et surtout par le Quaternaire (14 608m), que l'on rencontre sur la quasi-totalité du tracé.

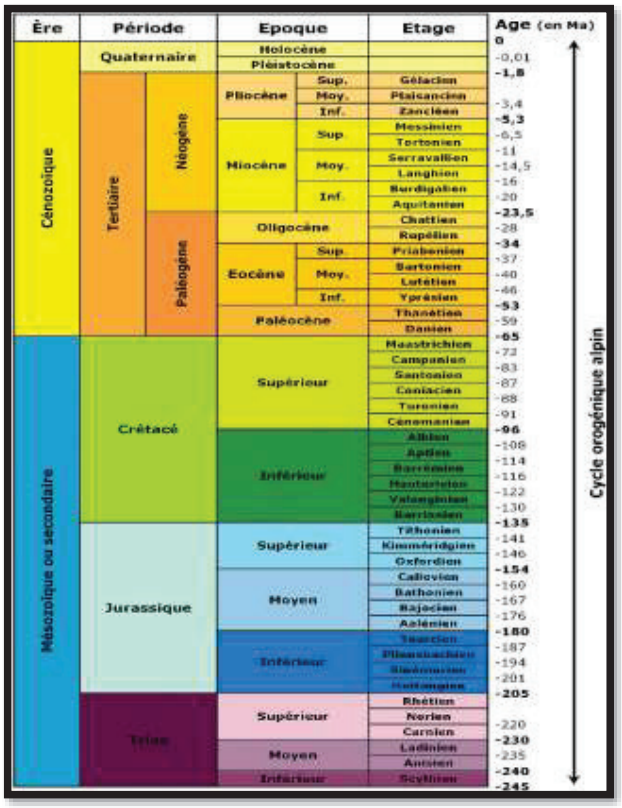


Figure VIII.1. Echelle des temps géologiques [8]

VIII.2.2. Lithostratigraphie

Les dépôts en rapport avec la zone d'étude sont présentés du plus anciens au plus modernes :

Tableau VIII.1. Lithostratigraphie de la zone d'étude

Période	Stratigraphie	Matériaux
Crétacé	Crétacé	Calcaires massifs
Tertiaire	Moi-pliocène	Grès
		Sables
		Argiles
		Marnes
		Marnes à gypse
Quaternaire	Quaternaire	Alluvions sableuses
		Cailloutis
		Croute de calcaire
		Sol résiduel
		Graviers et sables des lits des oueds

VIII.2.3. Risques géologiques

Généralement, on distingue trois types de risques qui pourraient affecter les alentours de la zone d'étude :

- Tempêtes de sable et poussière, dues au voisinage des zones désertiques. Ces phénomènes pourraient causer des dommages matériels considérables.
- Inondations et flux de boue. Ceux-ci sont dus au fait que les pluies interviennent de manière sporadique et ont un caractère torrentiel, la situation géographique de Biskra est susceptible d'être affectée par des inondations, des crues et torrents de boues du fait des reliefs qui entourent la ville.
- Tremblements de terre, le risque de séisme est faible en s'accordant à la classification des zones sismique en Algérie (zone I) avec une accélération sismique de 0.15g m/s^2, mais au cours des dernières années la wilaya de Biskra a connu de considérables tremblements de terre qu'il faut prendre en considération.

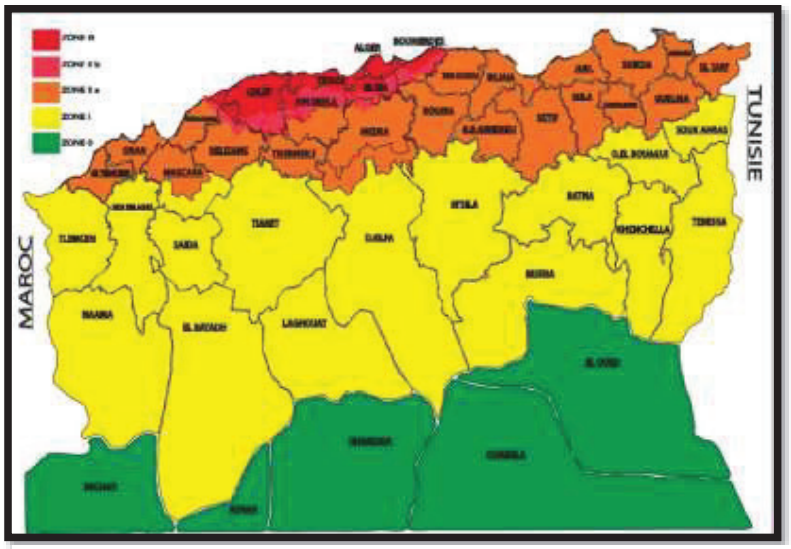


Figure VIII.2. Situation de la zone d'étude dans la carte sismique de l'Algérie [9]

VIII.3. Etude géotechnique

L'étude géotechnique est une opération dont dépend la qualité du projet et de l'ouvrage projeté. Sa démarche en générale consiste d'abord à caractériser le sol, définir sa déformation et sa résistance afin de pouvoir proposer des solutions pratiques à la réalisation du projet

Pour cela, la campagne d'investigation géotechnique au niveau du tronçon étudie allant du PK 00+000 au PK 18+043 consiste à la réalisation des travaux de reconnaissances géotechniques suivant :

- Exploration des documents graphiques et archives.
- Les essais aux laboratoires.
- Les essais in-situ.

VIII.3.1. Programme géotechnique

Les travaux suivants ont été réalisés :

- Reconnaissance de surface.
- Sondages mécaniques.
- Puits de reconnaissance.
- Essais de pénétration dynamique type Borro.
- Essais de laboratoire sur les échantillons originaires des puits et des sondages.
    - Reconnaissance des sols

C'est une investigation détaillée qui permet d'avoir des informations déductives sur la géotechnique du tracé, pour mettre en œuvre les moyens nécessaires à une connaissance suffisante des divers éléments et formations composant le volume des sols concernés par le projet. [10]

- Puits de reconnaissance

Une campagne de 36 puits de reconnaissance pour l'étude de la géotechnique du couloir et des structures a été réalisée.

- Sondage mécanique

Dans cette étude, une campagne de 09 sondages mécaniques à rotation a été réalisée, les sondages disponibles ont été effectués à rotation, avec une récupération continue du témoin, en réalisant des prises d'échantillons pour leur analyse postérieure en laboratoire.

- Pénétromètre dynamique

Une campagne de 40 essais de pénétration dynamique type Borro a été réalisée, avec un système de coup automatique qui pour objectifs :

- Fournir une estimation continue de la résistance du terrain (résistance de pointe).
- Evaluer la capacité portante du terrain.
- Identifier les discontinuités présente en profondeur.

La résistance dynamique de pointe (R_P) obtenue dans ce test est calculée à partir de la formule des Hollandais :

$$R_P = \frac{M^2 \times g \times H}{(M+M') \times A \times e} \quad (8.1)$$

- $M = 63.5kg$: masse du mouton.
- $g = 9.81m/s^2$: accélération de la pesanteur.
- $H = 50cm$: hauteur de la chute.
- M' : masse frappante (somme des masses de la tige, l'enclume, la tige de guidage et la pointe).
- $e = 20cm$: pénétration moyenne par coup.
- $A = 16cm^2$: section de la pointe.

- Détail du programme géotechnique

En zone de déblai

Tableau VIII.2. Programme géotechnique en zone de déblai

Localisation	Hauteur du déblai (m)	Essais géotechnique	Profondeur de l'essai (m)
PK 00+300	1	Pénétromètre	6.8
PK 00+800	8	Puit de reconnaissance	3
PK 00+980	5	Puit de reconnaissance	3
PK 01+950	3	Puit de reconnaissance	3
PK 02+200	3	Puit de reconnaissance	3
		Sondage	15
PK 03+850	6	Puit de reconnaissance	3
PK 04+060	2	Puit de reconnaissance	3

		Pénétromètre	7
PK 05+000	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	
PK 08+870	1	Puit de reconnaissance	2
PK 09+270	1	Puit de reconnaissance	2
		Pénétromètre	3.38
PK 17+765	1	Puit de reconnaissance	2

En zone de remblai

Tableau VIII.3. Programme géotechnique en zone de remblai

Localisation	Hauteur du remblai (m)	Essai géotechnique	Profondeur de l'essai (m)
PK 01+200	0.5	Pénétromètre	1.6
PK 01+440	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	1.2
PK 02+400	1	Pénétromètre	7
PK 02+650	3	Pénétromètre	7
PK 02+845	1	Puit de reconnaissance	3
PK 03+000	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 03+120	3	Puit de reconnaissance	3
PK 03+300	1	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre (A)	3.48
		Pénétromètre (B)	1.85
		Pénétromètre (C)	2.30
PK 03+600	1	Puit de reconnaissance	3
PK 04+500	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 05+500	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	5.9
PK 05+700	3	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	5.39
PK 05+975	4	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7

PK 06+350	6	Puit de reconnaissance	3
		Sondage	15
PK 06+850	5	Puit de reconnaissance	3
PK 07+920	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 08+375	2	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 08+700	1	Pénétromètre	7
PK 09+765	1	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 10+100	1	Pénétromètre (A)	0.97
		Pénétromètre (B)	1.38
PK 10+265	1,5	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre (A)	1.15
		Pénétromètre (B)	1.15
PK 10+470	2	Pénétromètre (A)	0.8
		Pénétromètre (B)	0.6
		Pénétromètre (C)	2
PK 10+765	5	Sondage	15
PK 11+100	8	Pénétromètre (A)	1.10
		Pénétromètre (B)	1.15
PK 11+665	7	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 12+265	8	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 12+470	4	Pénétromètre	5.4
PK 12+475	4	Pénétromètre	2.5
PK 12+765	1,5	Puit de reconnaissance	3
PK 13+525	2,5	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 14+175	1,5	Puit de reconnaissance	3
		Sondage	15
		Pénétromètre	5.4

PK 14+365	1	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7
PK 14+765	1	Puit de reconnaissance	3
PK 15+200	1	Pénétromètre	2.8
PK 15+856	1	Puit de reconnaissance	3
PK 16+765	1	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	2.3
PK 17+765	1	Puit de reconnaissance	3
		Pénétromètre	7

N.B : En ce qui concerne les resultats des essais chimiques il y a un manque d'analyse chimique sommaire.

- Essai laboratoire

Les essais ont été exécutés sur des échantillons intacts ou remaniés, représentatifs du sol prélevé sur le terrain durant la campagne de reconnaissance sont :

- Essais d'identification physique (analyse granulométrique, teneur en eau…).
- Essais d'identification chimique.
- Essais mécanique (compression simple, coupure directe…).
- Essai de déformabilité (œdomètre).

VIII.3.2. Résultats et interprétations

Une description générale des différentes formations affectées par le tracé est représentée dans le tableau suivant :

Tableau VIII.4. Caractéristiques géotechniques

Formation	Lithologie
C6	Calcaires massifs
mp	Grès, sables, argiles et marnes
mp-g	Grès, sables, argiles et marnes à gypse
q	Alluvions sableuses des grandes plaines
q3	Cailloutis, graviers et sables dans les lits des oueds
qcn	Croûte calcaire gypseuse
qec	Dépôt de pieds

- Commentaires sur les calcaires massifs :

- La valeur moyenne de la densité humide est de 2.96 t/m3.
- Le contenu de sulfates dans le sol est élevé.
- Matériau imperméable.
- Une capacité portante très élevée.

- Commentaires sur les grès, les sables, les argiles et la marnes à gypse :

- Les limites d'Atterberg correspondent généralement avec des matériaux très plastique, avec du liquide limites généralement plus de 65%, et avec des indices de plasticité supérieurs à 30%.
- Les valeurs moyennes de la densité humide et de la teneur en eau ont été 1,79 t/m3, et 44%.
- Les valeurs moyennes de la cohésion et l'angle de frottement sont 0.5 kg/cm2, et 28º.
- Les valeurs moyennes de la densité optimale et de la teneur en eau optimale sont
- 1,75 t/m3 et 14,8%.
- La valeur moyenne du CBR (95%) est la valeur moyenne de 19.5.
- La valeur moyenne du gonflement libre est égale à 1.5%.
- Le contenu de sulfates dans le sol est très élevé. Ainsi, il devra être nécessaire de recourir à des ciments spéciaux.
- La teneur en matière organique est faible.
- La teneur en particules fines est généralement élevée, avec des valeurs généralement entre 65 et 99%.
- Contrainte de compression et une déformation qui varient de 0.13kg/cm2 jusqu'à 4.42 kg/cm2 et 1.2 à 14.3%.
- Indice de vide de 0.69 à 2.5
- Matériau semi-perméable.
- Capacité portante basse à moyenne.

- **Commentaires** sur les alluvions sableuses des grandes plaines :
  - Les limites d'Atterberg correspondent généralement avec des matériaux de faible plasticité, avec une limite de liquidité moyenne de 41.4%, et avec des indices de plasticité d'une moyenne de 26.7%.
  - Les valeurs moyennes de la densité humide et de la teneur en eau ont été 1.9 t/m3, et 16%.
  - Les valeurs moyennes de la cohésion et l'angle de frottement sont 0.2 kg/cm2, et 23º.
  - Les valeurs moyennes de la densité optimale et de la teneur en eau optimale sont
  - 2.0 t/m3 et 10.4%.
  - La valeur moyenne du CBR (95%) est la valeur moyenne de 16.9.
  - La valeur moyenne du gonflement libre est égale à 1,5%.
  - Le contenu de sulfates dans le sol est très élevé. Ainsi, il devra être nécessaire de recourir à des ciments spéciaux.
  - La teneur en matière organique est faible.
  - Les échantillons présentent une teneur en particules fines très différentes.
  - Contrainte de compression et une déformation qui varient de 0.09 kg/cm^2 jusqu'à 6.3 kg/cm^2 et 2.9 à 4.4%.
  - Indice de vide de 0.522 à 1.882.
  - Matériau semi-perméable.

- Capacité portante basse.

• Commentaires sur les cailloutis, les graviers et les sables dans les lits des oueds :

- Les limites d'Atterberg correspondent généralement avec des matériaux de faible plasticité, avec une limite de liquidité moyenne de 33.2%, et avec des indices de plasticité d'une moyenne de 13.5%.
- Les valeurs moyennes de la densité humide et de la teneur en eau ont été 2.06 t/m^3, et 17.1%.
- Le contenu de sulfates dans le sol est très élevé. Ainsi, il devra être nécessaire de recourir à des ciments spéciaux.
- La teneur en matière organique est presque nulle.
- Les échantillons testés présentent une teneur en particules fines très différentes.
- Matériau semi-perméable.
- Capacité portante basse à moyenne.

• Commentaires sur la Croûte calcaire gypseuse :

- Les limites d'Atterberg correspondent généralement avec des matériaux très plastique, avec du liquide limites généralement plus de 72.8%, et avec des indices de plasticité supérieurs à 45%.
- Les valeurs moyennes de la densité humide et de la teneur en eau ont été 1,95 t/m3, et 31.8%.
- La valeur moyenne du gonflement libre est égale à 2.19%.
- Le contenu de sulfates dans le sol est très élevé. Ainsi, il devra être nécessaire de recourir à des ciments spéciaux.
- La teneur en matière organique est faible.
- Les échantillons testés présentent une teneur en particules fines, généralement élevé, avec des valeurs généralement entre 88% et 94.4%.
- Contrainte de compression qui peut aller jusqu'à 2.19 kg/cm^2 avec une déformation de 2.8
- Indice de vide de 0.507 à 1.002
- Matériau imperméable.
- Capacité portante basse à moyenne.

• Commentaires sur dépôts de pieds :

- Les échantillons testés présentent une teneur en particules fines très différentes.
- Les valeurs moyennes de la densité humide et de la teneur en eau ont été 2.1 t/m^3 et 4.31%.
- La valeur moyenne de la densité humide est de 2.96 t/m^3.
- Le contenu de sulfates dans le sol est très élevé. Ainsi, il devra être nécessaire de recourir à des ciments spéciaux
- Une capacité portante basse.

- Classification des sols :

Exemple de classification UIC

Tenant compte du puit de reconnaissance 14+365 :

Le pourcentage des fines est égal à 61.00 % ⇨ Sols comportant plus de 40 % de fines Alors le sol est de classe QS1 (Sols médiocres).

Les quatre classes de qualité QSi de sols sont :

- QS0 : Sols impropres à la réalisation d'une plateforme correcte et à la suite nécessitent certaines mesures correctrices (substitution du matériau sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc).
- QS1 : Sols médiocres acceptables utilisés en conditions hydrogéologiques favorables. Ces sols peuvent, éventuellement, être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié, (traitement aux liants).
- QS2 : Sols moyens.
- QS3 : Bons sols.

Classification GTR

A cause du manque de données de l'état hydrique du sol la classification, il est impossible de classer le sol suivant la classification GTR.

Tableau VIII.5. Classification des sols (UIC)

PK début	PK final	Groupe	Classification du sol (UIC)	Longueur(m)
0+000	0+700	q	QS1	700
0+700	0+920	mp-g	QS0	220
0+920	1+050	q	QS1	130
1+050	1+300	mp-g	QS0	250
1+300	1+875	q	QS1	575
1+875	2+050	mp-g	QS0	175
2+050	2+300	q	QS1	250
2+300	2+500	mp-g	QS0	200
2+500	3+050	qcn	QS1	550
3+050	3+200	mp-g	QS0	150
3+200	3+520	qcn	QS1	320
3+520	3+570	mp-g	QS0	50
3+570	4+080	qcn	QS1	510
4+080	5+400	mp-g	QS0	1320
5+400	5+660	qcn	QS1	260
5+660	5+980	q	QS1	320

5+980	6+120	mp-g	QS0	140
6+120	6+850	q	QS0	730
6+850	6+980	mp-g	QS0	130
6+980	8+500	q	QS0	1520
8+500	8+800	mp-g	QS0	300
8+800	10+780	q	QS1	1980
10+780	11+030	q3	QS1	250
11+030	11+140	qec	QS1	110
11+140	11+580	c6	QS1	440
11+580	11+840	q	QS0	260
11+840	11+900	c6	QS1	60
11+900	18+043	q	QS1	6143

VIII.4. Conclusion

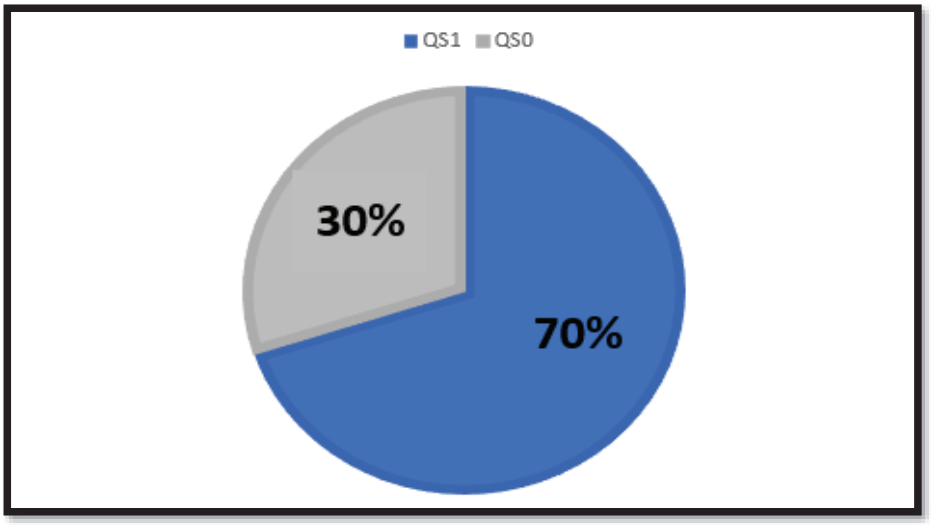


Figure VIII.3. Répartition en pourcentage des différents types de s

Ayant en attention leur état hydrique les sols du complexe quaternaire et les massifs de calcaire s'encadrent pour la plupart (71%) dans la classe QS1, c'est-à-dire des sols médiocres, acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. 21% des échantillons tests se classifient comme des sols de la classe QS0, correspondant à des sols impropres, qui devront être rejetés et conduits à dépôt.

CHAPITRE IX : ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

IX.1. Introduction

L'étude hydraulique et celle de l'assainissement sont nécessaires pour la réalisation de la voie ferrée, du fait que cette dernière perturbe les écoulements d'eau naturels avec les modifications qu'elle apporte.

Le nouveau tracé de la ligne ferroviaire de Biskra traverse le bassin versant de Chott Melghir, Ce bassin contient un certain nombre de cours d'eau naturels très importants dont les débits peuvent causer des dégâts en certains endroits de cette ligne ferroviaire et qu'il faut par conséquent bien évaluer pour s'en prémunir.

Le but de cette étude hydrologique est donc la détermination des débits des crues tout au long du nouveau tracé de cette voie ferrée afin d'éviter tout risque inondation, et de prévoir ainsi l'aménagement hydraulique le plus approprié.

IX.2. Présentation hydrologique de la zone

Le bassin versant étudié est le bassin de Chott Melghir codé (06) par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques). Il et est situé dans le Sud - Est de l'Algérie et a une superficie totale de 26.000 km2 (Figure N°1).

Ce bassin est limité au Nord par les bassins versants du Chéliff (01), du Hodna (05), du Zahrez (17), des Hauts Plateaux Constantinois (07) et de la Medjerda (12), à l'Est par la Tunisie et au Sud par le grand bassin du Sahara (13).

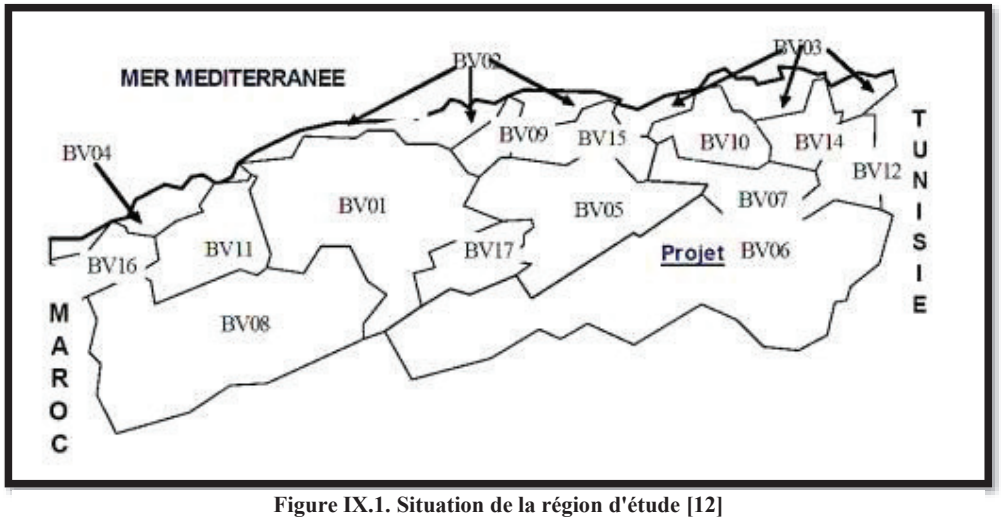


Figure IX.1. Situation de la région d'étude [12]

IX.2.1. Caractéristiques du climat

L'étude climatologique d'une région a pour but de définir les principaux caractères climatiques de la zone du projet, afin d'établir l'incidence qu'ils pourraient avoir sur les travaux à réaliser.

- Les températures

La région se caractérise par une forte température (moyenne annuelle : 21.6°C) avec de fortes variations saisonnières (33°C en juillet et 11.8°C en janvier) Tableau ci-dessous.

Tableau IX.1. Températures moyennes mensuelles [13]

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T(°C)	11.8	13.5	16.1	19.8	24.8	29.8	33.0	32.6	27.9	21.9	16.1	12.2

Le nombre de jours où la température est inférieure à 35°C est de 86 jours, avec un maximum de jour pendant le moins de juillet (28.8°C).

Le nombre de jours où la température est supérieure à 40°C est de 31 jours avec un maximum de jours pendant le mois juillet.

- L'humidité relative de l'air

L'humidité relative est plus élevée en hiver qu'en été. Ceci s'explique par l'effet de la température qui est élevée en été et basse en hiver.

Les valeurs les plus importantes sont enregistrées en hiver 58.64%. Celles-ci chutent presque de moitié en été à 32.55%, avec une moyenne annuelle de 42.64%.

- Les vents

Dans les régions arides le vent est l'un des principaux facteurs de la construction des reliefs (dunes) et de la dégradation des sols (vannage), il est relativement fréquent au printemps et mais surtout en été avec vitesse qui se situe entre 2,7 et 5,3 m/s. Le Sirocco est un vent chaud et sec qui souffle en été (juillet, août et septembre) et accélère l'évapotranspiration.

- L'évapotranspiration

L'évapotranspiration (ETP) est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et au niveau de l'interception des précipitations, et par la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration est très importante dans la région à cause des vents et notamment ceux qui sont chauds (Sirocco), sa valeur de 2540,85 mm/an.

- Conclusion

Il s'agit d´un climat méditerranéen aride qui se caractérise par :

  - Des températures moyenne assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et très longue.
  - Des transports éoliens important-s.

IX.2.2. Pluviométrie

- Pluies annuelles

La pluie annuelle moyenne dans la région est comprise entre 120 et 150 mm, avec une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière, avec une pluviosité annuelle moyenne de 146mm/an

Dans le tableau suivant sont présentés les pluies annuelles pour différentes fréquences.

Tableau IX.2. Pluies annuelles [13]

Période de retour	Fréquence	Variable de Gauss	Pluies annuelles maximale
10 ans	0.9	1.282	246.1
20 ans	0.95	1.645	296.5
50 ans	0.98	2.054	365.6
100 ans	0.99	2.327	420.6

- Précipitations mensuelles

Les pluies moyennes mensuelles interannuelles présentées dans le tableau ci-dessous traduisent clairement les variations saisonnières et leur distribution à l'échelle annuelle.

Cette prise de données fait ressortir deux périodes distinctes, une saison sèche et une autre relativement humide.

Tableau IX.3. Précipitations mensuelles [13]

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P_{Moy}	14.5	9.8	17.3	12.8	11.8	7.6	1.7	3.6	15.7	14.7	18.9	17.5
P(%)	9.9	6.7	11.8	8.8	8.1	5.2	1.2	2.5	10.8	10.1	12.9	12.0

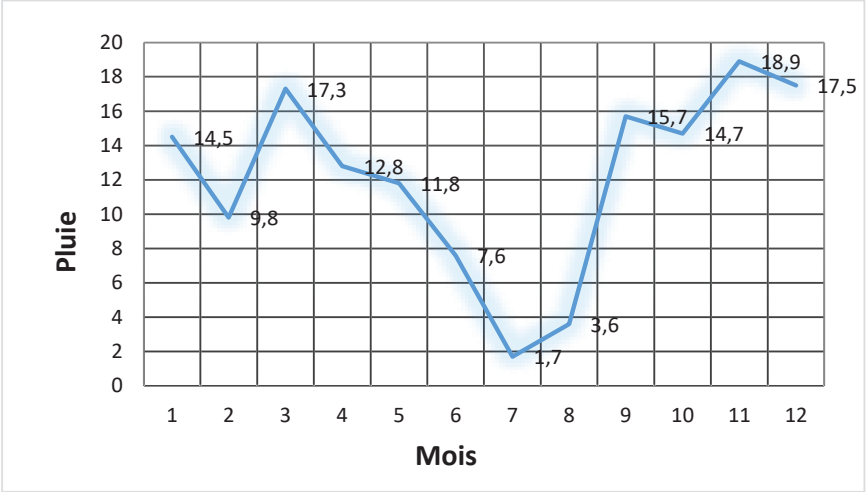


Figure IX.2. Précipitations mensuelles [13]

Le régime des pluies moyennes mensuelles interannuelles présente un maximum principal, situé à la fin de l'automne et le début de l'hiver, avec des maximas secondaires au mois de mars dus aux pluies orageuses du printemps tandis qu'il existe une intense saison sèche qui correspond aux mois de juin à août, avec des pluies moyennes mensuelles égales ou inférieures à 8mm.

- Précipitations journalières

Dans le tableau suivant sont présentées les pluies maximales journalières de la station étudiée pour différentes fréquences.

Tableau IX.4. Précipitations journalières [13]

Période de retour	Fréquence	Variable de Gauss	Pluies journalières maximales
10 ans	0.9	1.282	40.0
20 ans	0.95	1.645	47.2
50 ans	0.98	2.054	57.0
100 ans	0.99	2.327	64.6

IX.2.3. Caractéristiques des bassins versants

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.

Les bassins versants sont déterminées avec une précision acceptable, la délimitation des lignes de partage faite sur les cartes d'état-major à différentes échelles selon l'importance des bassins versants qui sont au nombre de 29 au droit de la ligne ferroviaire de Biskra.

La superficie, Le périmètre et la longueur des cours d'eau des bassins versants sont mesurés à l'aide du logiciel AUTOCAD.

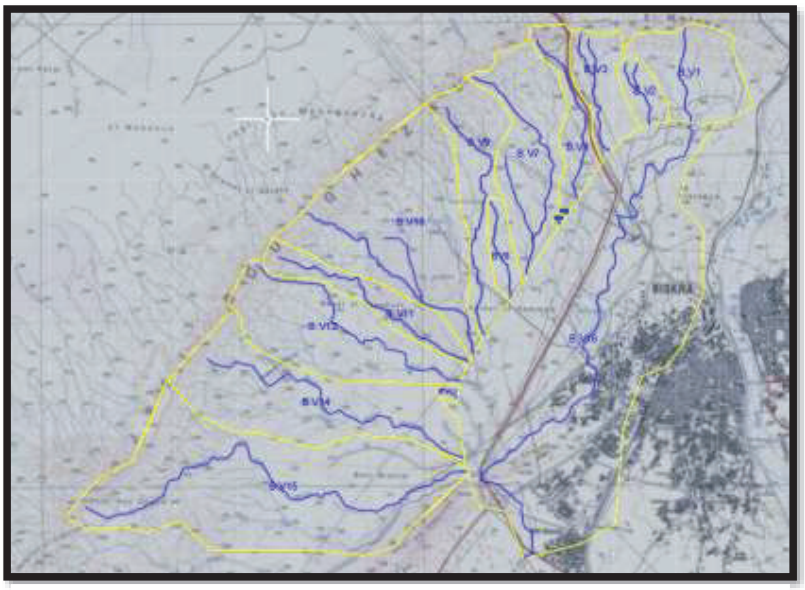


Figure IX.3. : Bassin versants (BV 01 au BV 16)

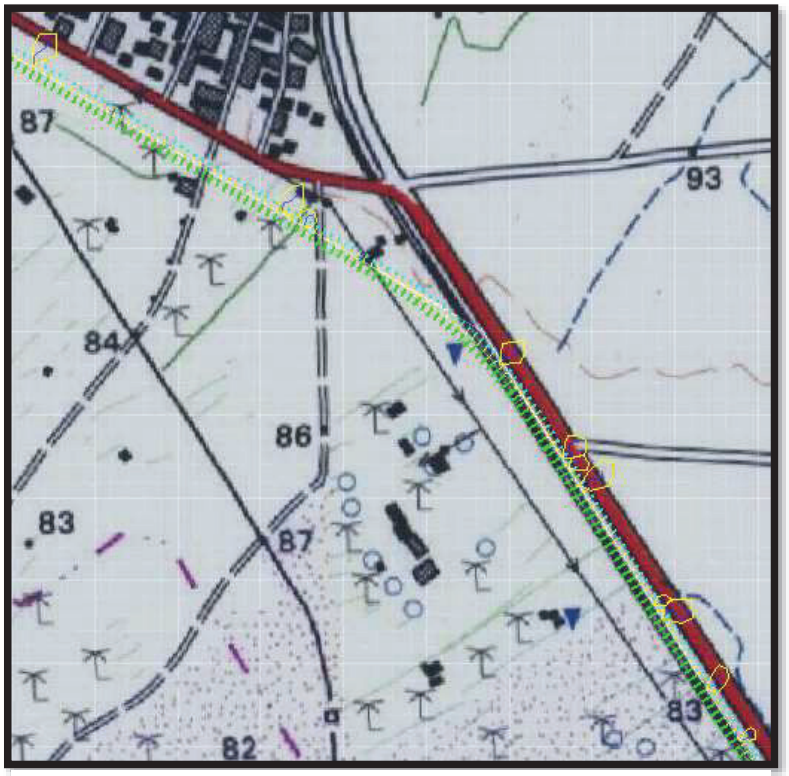


Figure IX.4. Bassins versants (BV 17 au BV 27)

- Superficie (a) et périmètre (p)

La superficie du bassin versant est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin., les débits vont être en partie reliés à sa surface.

Le périmètre est la longueur de la ligne de contour du bassin.

- La pente moyenne du thalweg

La pente du thalweg est exprimée par le rapport suivant :

$$I = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \qquad (9.1)$$

- H_{max} : hauteur maximale du thalweg.
- H_{min} : hauteur minimale du thalweg.
- L : longueur du thalweg.

- Indice de compacité (kc)

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. [14]

$$K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (9.2)$$

- P : Périmètre du bassin en km.
- A : Surface du bassin en km^2.
- K_c : indice de compacité de GRAVELIUS.

Plus l'indice de GRAVILIUS est grand plus le bassin est compact et plus sa forme est ramassée, plus il est faible et plus le temps de circulation des eaux jusqu'à l'exutoire est court avec comme conséquence une augmentation du risque des crues.

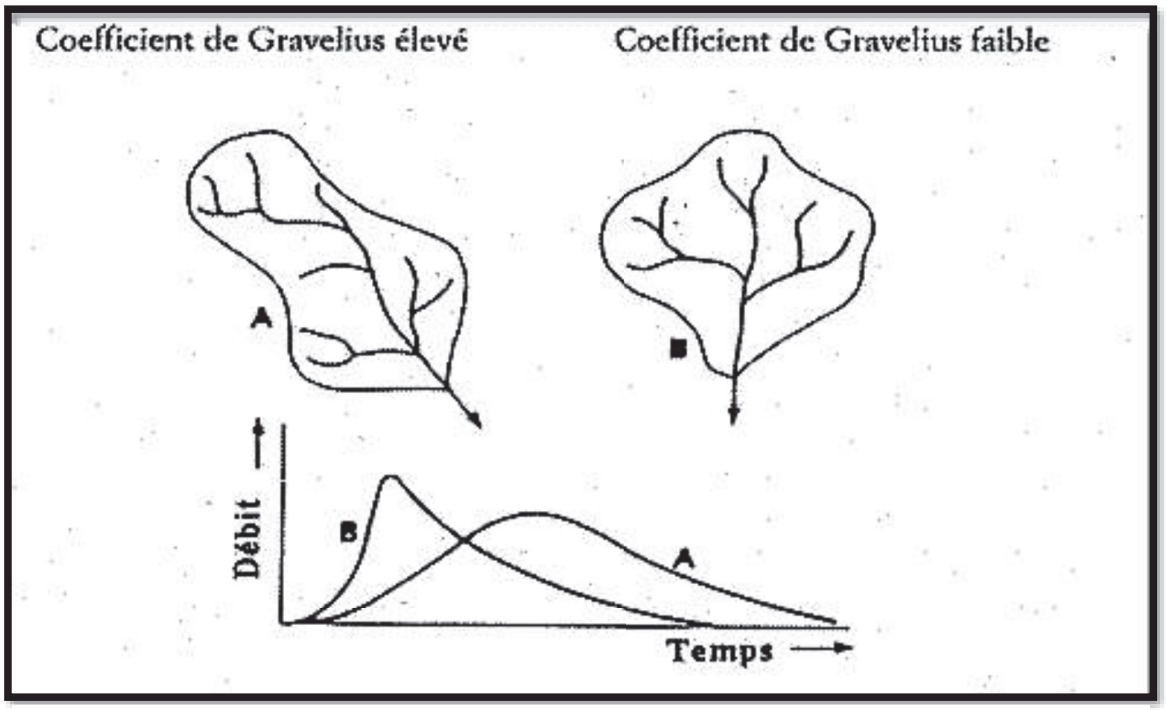


Figure IX.5. Relation entre le coefficient de GRAVILIUS et le débit d'exutoire (d'après Knapp, 1979) [14]

- Le coefficient de ruissellement

Pour caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler, un indice est toujours utilisé en hyd-rologie de surface, il est désigné en fonction de la pente, la couverture végétale et la nature de terrain. [14]

Comme la couverture végétale de la région nord de la ville de Biskra est en grande partie une terre végétale fertile avec un bon nombre de prairies et le terrain est de nature sableuse alors le Coefficients de ruissellement varie selon la pente comme suit :

Tableau IX.5. Coefficient de ruissèlement

Morphologie	Pente	Coefficient de ruissellement (C)
Presque plat	P<5%	0.10
Ondulé	5%<P<10%	0.15
Montagneux	10%<P<30%	0.22

Tableau IX.6. Caractéristiques des bassins versants

Bassin versant	PK	A (km2)	P (km)	L (km)	KC	H_{max} (m)	H_{min} (m)	J (%)	C
BV1	1+680	3,325	7,56	2,40	1,16	356	162	8,07	0,15

BV2	2+500	0,914	3,97	1,44	1,16	185	154	2,16	0,10
BV3	3+500	2,103	6,91	2,91	1,33	285	152	4,57	0,10
BV4	4+680	1,993	8,92	4,14	1,77	354	137	5,24	0,15
BV5	4+840	0,030	0,72	0,18	1,15	140	136	2,27	0,10
BV6	5+260	0,042	0,85	0,14	1,16	136	133	2,21	0,10
BV7	6+400	4,909	11,90	5,21	1,50	410	124	5,49	0,15
BV8	6+900	0,879	4,65	2,08	1,39	150	122	1,35	0,10
BV9	8+020	3,654	12,54	5,56	1,84	429	112	5,70	0,15
BV10	8+300	9,482	14,33	5,38	1,30	403	108	5,48	0,15
BV11	8+400	2,421	10,22	5,01	1,84	350	106	4,87	0,10
BV12	9+000	6,174	11,73	5,75	1,32	459	107	6,12	0,15
BV13	10+000	0,132	1,49	0,22	1,15	113	104	4,11	0,10
BV14	10+540	7,794	14,86	7,57	1,49	398	99	3,95	0,10
BV15	10+720	14,976	19,25	9,74	1,39	520	95	4,36	0,10
BV16	13+250	84,496	44,75	13,40	1,36	520	87	3,23	0,10
BV17	13+480	0,043	0,84	0,30	1,14	90	87	1,02	0,10
BV18	14+360	0,034	0,69	0,26	1,04	94	86	3,07	0,10
BV19	14+440	0,007	0,34	0,12	1,12	93	86	5,83	0,15
BV20	15+260	0,017	0,49	0,12	1,04	93	86	5,69	0,15
BV21	15+530	0,014	0,44	0,14	1,03	89	83	4,17	0,10
BV22	15+600	0,008	0,34	0,08	1,05	89	83	7,50	0,15
BV23	15+730	0,017	0,49	0,13	1,05	89	83	4,80	0,10
BV24	16+180	0,011	0,38	0,11	1,02	88	83	4,63	0,10
BV25	16+200	0,015	0,49	0,18	1,11	88	83	2,72	0,10
BV26	16+400	0,008	0,35	0,08	1,09	88	82	7,23	0,15
BV27	16+640	0,011	0,39	0,11	1,03	88	82	5,50	0,15

IX.3. Les crues

Les crues sont considérées comme des risques naturels contre lesquels il faut se protéger par le calcul de certains ouvrages de protection dont les dimensions sont essentiellement déterminées par le maximum probable de la crue, auquel ces ouvrages doivent faire face.

Pour estimer le débit des crues des différents bassins versant obtenus par délimitation, on peut utiliser la formule rationnelle donnée ci-dessous :

$$Q_{max} = 0.00278 \times A \times I \times C \quad (9.3)$$

- Q_{max} : débit de pointe à l'exutoire en m^3/s.

- A : superficie du bassin versant en Ha.
- I : intensité moyenne de pluie correspondant au temps TC.
- C : coefficient de ruissellement du bassin versant.

IX.3.1. Intensité de la pluie (I)

L'intensité de la pluie de durée t et de fréquence f (période de retour T) est estimée par la relation Intensité-Durée-Fréquence de forme suivante :

$$I = \frac{P_t(f\%)}{T_C} \quad (9.4)$$

- I : intensité de pluie en mm/h
- $P_t(f\%)$: pluie maximale de durée (t)et de fréquence (f) en mm.
- T_C : temps de concentration en heure.

Mais avant la détermination de l'intensité de la pluie, il faut d'abord procéder à des différentes étapes de calcul pour déterminer :

- Temps de concentration T_c

Le temps de concentration est le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le Sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. [14]

Le temps de concentration T_C du bassin versant est déterminé par les formules suivantes selon le cas :

Pour une superficie inférieure à 5 km^2 (VENTURA) :

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{J}} \quad (9.5)$$

Pour une superficie comprise entre 5 km^2 et 25 km^2 (PASSINI) :

$$T_C = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{J}} \quad (9.6)$$

Pour une superficie comprise entre 5 km^2 et 25 km^2 (GIANDOTTI) :

$$T_C = 0.108 \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5L}{0.8 \times \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (9.7)$$

- T_C : temps de concentration en heure.
- A : superficie du bassin versant en Km^2.
- J : périmètre du bassin versant en m/m.
- L : longueur de thalweg principale en km.
- H_{moy} : altitude moyenne en m.
- H_{min} : altitude minimale en m.

- La pluie de durée (t) et de fréquence (f)

Les hauteurs de pluie de différentes fréquences et de durée égale au temps de concentration sont données par la formule suivante :

$$P_t(f\%) = 1.13 \times P_j(f\%) \times \left(\frac{t}{24}\right)^b \quad (9.8)$$

- $P_t(f\%)$: pluie maximale de durée (t)et de fréquence (f) en mm.
- $P_j(f\%)$: pluie journalière maximale pour une fréquence donnée en mm.
- b : exposant climatique = 0.19 Station de Biskra.
- t : durée de pluie égale au temps de concentration en heure.

- Exemple de calcul des crues

Prenons le bassin versant 1 :

Tableau IX.7. Caractéristiques de bassin versant 1

A (km²)	L (km)	C	b	J (m/m)	H_{moy} (m)	H_{min} (m)	P_j (f %) (mm)
3.325	2,40	0,15	0.19	0.0808	356	162	64.6

- Temps de concentration : $A < 5\ Km^2$ donc on applique la formule de VENTURA.

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{A}{J}}$$

$$T_C = 0.127 \times \sqrt{\frac{3.325}{0.0808}} = 0.81h$$

- La pluie de durée (t) et de fréquence (f) :

$$P_t(f\%) = 1.13 \times P_j(f\%) \times \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

$$P_t(f\%) = 1.13 \times 64.6 \times \left(\frac{0.81}{24}\right)^{0.19} = 38.34m$$

- L'intensité de pluie I :

$$I = \frac{P_t(f\%)}{T_C}$$

$$I = \frac{38.34}{0.81} = 47.09\ mm/h$$

- Calcul du débit de crue :

$$Q_{max} = 0.00278 \times A \times I \times C$$

$$Q_{max} = 0.00278 \times 332.5 \times 47.09 \times 0.15 = 6.53\ mm/s$$

Tableau IX.8. Résultats des débits d'apport

Bassin versant	A (km2)	T_C (h)	I (mm/h)	Q_{max} (m^3/s)
BV1	3.325	0.81	47.09	6.53
BV2	0.914	0.83	46.54	1.18
BV3	2.103	0.86	45.02	2.63
BV4	1.993	0.78	48.66	4.04

BV5	0.030	0.15	189.33	0.16
BV6	0.042	0.18	163.07	0.19
BV7	4.909	1.20	34.40	7.04
BV8	0.879	1.03	39.10	0.96
BV9	3.654	1.02	39.37	6.00
BV10	9.482	1.71	25.84	10.22
BV11	2.421	0.90	43.63	2.49
BV12	6.174	1.43	29.80	7.67
BV13	0.132	0.23	132.45	0.49
BV14	7.794	2.11	21.76	4.71
BV15	14.976	2.72	17.73	7.38
BV16	84.496	0.52	67.59	158.78
BV17	0.043	0.26	118.41	0.14
BV18	0.034	0.13	203.59	0.19
BV19	0.007	0.04	501.10	0.15
BV20	0.017	0.07	346.35	0.25
BV21	0.014	0.07	330.23	0.13
BV22	0.008	0.04	525.58	0.18
BV23	0.017	0.07	323.27	0.15
BV24	0.011	0.06	379.99	0.12
BV25	0.015	0.09	270.09	0.11
BV26	0.008	0.04	517.80	0.17
BV27	0.011	0.06	407.59	0.19

IX.4. Dimensionnement des ouvertures

Le choix du dimensionnement des ouvertures est vérifié sur la base des calculs hydrauliques, en s'appuyant sur la durée de pluie (t) et période de retour de 10 ans pour les fossés et 100 ans pour les ouvrages hydraulique transversaux (dalots, buses).

Les ouvrages hydrauliques doivent faire transiter des débits donnés dans des conditions satisfaisantes de :

- L'auto curage.
- Vitesse maximale pour limiter l'érosion inférieure à 4 m/s.
- Les vitesses doivent respecter les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :
  - Ouvrages en béton : ≤ 4 m/s.

- Ouvrages métalliques : ≤ 2.5 m/s.

IX.4.1. Dimensions des dalots

Les calculs hydrauliques des ouvertures rectangulaires doivent être vérifiés pour un taux de remplissage h = 0.8h, on fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long.

$$Q_S = K_S \times R_h^{2/3} \times S_m \times J^{1/2} \quad (9.9)$$

- $S_m = 0.8h \times L$: surface mouillée.
- $P_m = (0.8 \times 2 \times h) + L$: périmètre mouillé.
- $R_h = S_m / P_m$: rayon hydraulique.
- $K_s = 65$: coefficient de rugosité.
- J : pente de l'ouvrage.

$$Q_{max} = Q_S$$

$$Q_{max} = K_S \times R_h^{2/3} \times S_m \times J^{1/2}$$

$$Q_{max} = K_S \times \left(\frac{0.8h \times L}{(0.8 \times 2 \times h) + L}\right)^{2/3} \times 0.8h \times L \times J^{1/2}$$

$$L = \left(\frac{Q_{max}}{K_S \times J^{1/2}}\right)^{3/5} \times \left(\frac{(L+2\times 0.8h)^{2/3}}{(0.8h)^{5/3}}\right)^{3/5} \quad (9.10)$$

- Exemple de dimensionnement de dalots

Prenons le bassin versant 09 :

Tableau IX.9. Caractéristiques du bassin versant 09

Q_{max} (m^3/s)	K_S	J (m/m)	H (m)	L_0 (m)
6	65	0.01	1.5	1

On remplace les valeurs dans la formule (9.10)

Tableau IX.10. : Itération des longueurs

Itération	Longueur (m)
1ére itération	1.296
2éme itération	1.339
3éme itération	1.347
4éme itération	1.347

Donc après un nombre d'itération on trouve $L_n = 1.347m$.

On prend alors $L = 1{,}5$.

- Vérification de la vitesse :

$S_m = 0.8h \times L$

$$S_m = 0.8 \times 1.5 \times 1.5 = 1.8\, m^2$$

$$V = \frac{Q_{max}}{S_m} \quad (9.11)$$

$$V = \frac{6.00}{1.8} = 3.33\ m/s < 4\, m/s$$

– Vérification des conditions d'auto curage :

$$S_m = h \times L$$

$$S_m = 1.5 \times 1.5 = 2.25\, m^2$$

$$R_h = \frac{L \times h}{2 \times (L+h)} \quad (9.12)$$

$$R_h = \frac{1.5 \times 1.5}{(1.5+1.5) \times 2} = 0.375\, m$$

$$Q_{ps} = 65 \times 2.25 \times 0.375^{2/3} \times \sqrt{0.01} = 7.61\, m^3/s$$

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 3.38\, m/s \quad (9.13)$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.789 \quad (9.14)$$

$$V = R_V \times V_{ps} \quad (9.15)$$

On tire R_V du tableau d'assainissement qui est égale à 1.109

$$V = 1.109 \times 3.38 = 3.75 m/s$$

Tableau IX.11. Conditions d'auto curage du dalot (BV 9)

Condition 01 V>1m/s		Condition 02 V>0.6m/s				Condition 03 V>0.3m/s			
V	**Vérification**	**R_q/10**	**r_v**	**V**	**Vérification**	**R_q/100**	**r_v**	**V**	**Vérification**
3.75	OUI	0.0789	0.597	2.017	OUI	0.00789	0.296	1.0	OUI

On tire le rapport des hauteurs r_h en fonction de R_q du tableau d'assainissement

$r_h = 0.671 < 0.8$ (Le rapport des hauteurs vérifié).

Conclusion : dalot bien dimensionné.

Tableau IX.12. Caractéristiques des dalots du projet

Bassin versant	PK	Q_{max} (m^3/s)	L (m)	h (m)	Cellule	S_m (m)	P_m (m)	R_h (m)	J (%)	Q_s (m^3/s)
BV1	1+680	6.53	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.53
BV4	4+680	4.04	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.53
BV7	6+400	7.04	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.53
BV9	8+020	6.00	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.53
BV10	8+300	10.22	2.0	1.5	1	2.4	4.4	0.55	1	11.22
BV12	9+000	7.67	2.0	1.5	1	2.4	4.4	0.55	1	11.22

BV14	10+540	4.71	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.53
BV15	10+720	7.38	1.5	1.5	1	1.8	3.9	0.46	1	7.53
BV16	13+250	158.78	5	3.5	3	14.0	10.6	1.32	1	353.91

IX.4.2. Dimensionnement des buses

Les calculs hydrauliques des ouvertures circulaires doivent être vérifiés pour un taux de remplissage h = 0.8h, on fixe la hauteur d'après la configuration du profil en long.

$$D_{th} = 1.5 \times \left(\frac{Q_{max}}{K_s \times \sqrt{J}}\right)^{3/8} \quad (9.16)$$

- D_{th} : diamètre théorique.
- $K_s = 80$: coefficient de rugosité.
- $J = 1\%$: pente de l'ouvrage.

• Exemple de dimensionnement de buses

Prenons le bassin versant 03 :

Tableau IX.13. Caractéristique de la buse du bassin versant 03

Q_{max} (m^3/s)	K_S	J (m/m)
2.63	80	0.01

$$D_{th} = 1.5 \times \left(\frac{2.63}{80 \times \sqrt{0.01}}\right)^{3/8} = 0.988\ m$$

On choisit un diamètre commercial de 1,2 m.

- Vérification de la vitesse :

On procède à la détermination de la surface mouillée et du périmètre mouillé par logiciel AUTOCAD.

$$V = \frac{Q_{max}}{S_m} \quad (9.17)$$

$$V = \frac{2.63}{0.697} = 3.77 m/s < 4\ m/s\ .$$

- Vérification des conditions d'auto curage :

$$Q_{ps} = 0.31 \times \sqrt{J} \times K_s \times D^{\frac{8}{3}} \quad (9.18)$$

$$Q_{ps} = 0.31 \times \sqrt{0.01} \times 80 \times 1.2^{\frac{3}{8}} = 4.03\ m^3/s$$

$$V_{ps} = \frac{4 \times Q_{ps}}{\pi \times D^2} = 3.57\ m/s \quad (9.19)$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.652 \quad (9.20)$$

$$V = R_V \times V_{ps} \quad (9.21)$$

On tire R_V du tableau d'assainissement qui est égale à 1.064

$V = 1.064 \times 3.57 = 3.8 m/s$

Tableau IX.14. Conditions d'auto curage de la buse (BV3)

Condition 01 V>1m/s		Condition 02 V>0.6m/s				Condition 03 V>0.3m/s			
V	Vérification	$R_q/10$	r_v	V	Vérification	$R_q/100$	r_v	V	Vérification
3.8	OUI	0.0652	0.563	2.01	OUI	0.00652	0.284	1.01	OUI

On tire le rapport des hauteurs r_h en fonction de R_q du tableau d'assainissement

$r_h = 0.589 < 0.8$ (Le rapport des hauteurs vérifié).

Conclusion : buse bien dimensionnée.

Tableau IX.15. Caractéristiques des buses du projet

Bassin versant	PK	Q_{max} (m^3/s)	$D_{calculé}$	$D_{commercial}$	Q_{PS}
BV2	2+500	1.18	0.73	1	2.48
BV3	3+500	2.63	0.98	1.2	4.03
BV6	5+260	0.16	0.35	1	2.48
BV7	6+400	0.19	0.37	1	2.48
BV8	6+900	0.96	0.68	1	2.48
BV11	8+400	2.49	0.97	1.2	4.03
BV13	10+000	0.49	0.53	1	2.48
BV17	13+480	0.16	0,53	1	2.48
BV18	14+360	0.19	0,35	1	2.48
BV19	14+440	0.14	0,35	1	2.48
BV20	15+260	0.19	0,33	1	2.48
BV21	15+530	0.15	0,37	1	2.48
BV22	15+600	0.25	0,34	1	2.48
BV23	15+730	0.13	0,41	1	2.48
BV24	16+180	0.18	0,32	1	2.48
BV25	16+200	0.15	0,36	1	2.48
BV26	16+400	0.12	0,34	1	2.48
BV27	16+640	0.11	0,31	1	2.48

IX.4.3. Dimensionnement des fosses

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 :

$$Q_S = K_S \times R_h^{2/3} \times S_m \times J^{1/2}$$

- La surface mouillée : $S_m = (b + z \times h) \times h$ (avec z la pente des berges)
- Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2h \times \sqrt{1 + Z^2}$
- 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.

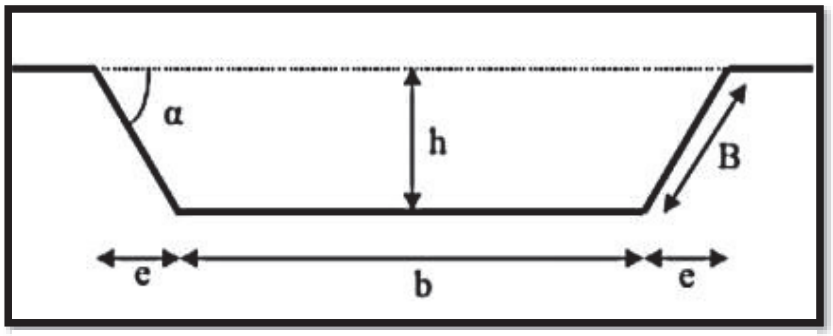


Figure IX.6. Fossé trapézoïdal

Tableau IX.16. Caractéristiques du fossé

b (m)	h (m)	Z (m)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	K_s	I (m/m)	Q_S (m^3/s)
0.5	0.5	1	0.5	1.91	0.26	70	0.02	2.01

Le choix de type du fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus : $Q_a = Q_{pf} + Q_t$.

Tableau IX.17. Calcul des débits d'apport des talus

Déblai	Caractéristiques	
Talus	Cr	0.3
	A (m^2)	4000
	I (mm/s)	1230.22
	Qt (m3/s)	0.41
Plate-forme	Cr	0.1
	A (m^2)	1876

	I (mm/s)	453.64
	Qpf (m3/s)	0.0237
Q_a	Qpf + Qt	0.4337

IX.5. Conclusion

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

- Vingt sept (27) ouvrages hydrauliques dont neuf dalots et dix-huit buses.
- Un fossé de forme trapézoïdale (h=0.5m, b=0.5m).

L'objet du prochain chapitre est d'évaluer les terrassements et la structure d'assise

CHAPITRE X : TERRASSEMENT ET STRUCTURE D'ASSISE

X.1. Terrassement

X.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 12m pour remblais et 35 m pour déblais).

Le tracé traverse principalement des terrains plats, sauf dans des zones particulières, où la topographie du site devient vallonnée (PK 11+075 au PK 11+575).

X.1.2. Déblai

Suivant les implantations du tracé, on voit que la plupart des excavations prévues présentent des hauteurs assez petites (inférieures ou égales à 5m), sauf dans quelques tronçons on les déblais sont bien importants comme au PK 0+802 et au PK 3+900 où la hauteur de déblai peut atteindre les 7.5m et au PK11+476 où la hauteur du déblai rocheux est de 39m.

- Géométries des talus de déblai

La définition des inclinaisons des talus d'excavation a été réalisée ayant en considération les hauteurs prévues pour eux et les caractéristiques lithologiques, structurales et géotechniques des terrains à excaver.

Dans ces tronçons y'a des terrains avec comportement essentiellement de sols ou de roches.

A l'aide du logiciel GeoStructural Analysis, basé sur la méthode de Bishop, du facteur de sécurité minimum associé à des mécanismes de rupture circulaires a été dépassé en utilisant une géométrie générale de 3H/2V pour des zones de déblai meubles.

Une géométrie 1H/1V en banquette pour le déblai rocheux du PK 11+476 ayant une hauteur de plus de 38m en se basant sur la méthode RNR, ce qui garantira la stabilité des talus d'excavation face à leurs hauteurs prévues pour la détermination les caractéristiques géotechniques.

Les facteurs de sécurité minimale supérieurs à 1.5 à long terme et 1.3 court terme.

- Réutilisation des matériaux et gites d'emprunt

La zone du tracé constitue une richesse géologique considérable du niveau de réutilisation des matériaux.

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les ressources en matériaux utiles disponibles, de nature différente pour l'obtention des agrégats nécessaires pour la construction de la plateforme, la couche de forme, le ballast et sous-ballast, suivant leur distance au tracé.

Tableau X.1. Gite d'emprunt [15]

Type de construction	Origine	Distance
BALLAST	Gisement Ain Touta-Batna	80 KM
SOUS - BALLAST	Oued de Biskra	1 Km
	Sur le tracé (PK 11+150-PK11+550)	0 Km
COUCHE DE FORME	Oued de Biskra E.1	1 Km
	Branis E.2	15 Km
	Sidi Okba E.3	26 Km
	Oumache E.4	29 Km
REMBLAI	Branis E.2	15 Km
	Oumache E.4	29 Km

Le tracé de la ligne ferroviaire se développe sur le versant méridional de l'Atlas Saharien où les formations géologiques sont représentées par le Crétacé, le Moi Pliocène et surtout par le Quaternaire, que l'on rencontre sur la quasi-totalité du tracé.

En général sur la majeure partie du tracé, seules les roches carbonatées du Crétacé présentent un intérêt, pour la production de graves, que pour les bétons, les ouvrages en terres ou les terre-pleins.

Au contraire, les formations géologiques du tertiaire offrent un intérêt limité parce qu'elles contiennent beaucoup de gypses et sont formées de roches de résistance faible, son usage est limité pour des remblais.

Contrairement à ce qui correspond aux roches carbonatées, il n'existe pas à proximité de la zone d'étude, de roches ignées de composition siliceuse et de graviers adéquats pour la couche de ballast, pour leur haute résistance à l'usure, leurs caractéristiques mécaniques et leur faible altérabilité.

D'autre part, pour la couche de sous-ballast il peut être envisagé l'emploi de graviers calcaires provenant de la trituration du massif carbonaté que traverse le tracé entre les PK 11+150 et 11+550, dans le cas où le volume ne serait pas suffisant il pourra être complété avec le broyage de granulats provenant des zones d'emprunt.

Les matériaux pour la couche de forme devront provenir des zones d'emprunts proposées, sachant que la majeure partie des terres qui pourront être obtenues à proximité du tracé ne réunissent pas les conditions pour l'emploi dans ce type de travaux.

Les matériaux pour la construction des remblais proviendront des déblais des travaux de réalisation du tracé rencontrés entre les PK 0+727 et PK 1+212, PK 1+882 et PK 2+313, PK2+753 et PK 2+828, PK 3+663 et PK 4+080, PK 4+750 et PK 5+237, PK 11+086 et PK 11+557, mais comme ils ne seront pas suffisants pour couvrir le déficit existant en mouvement des terres, les besoins restants proviendront des zones d'emprunts proposées.

Concernant les gisements, c'est le seul situé à une distance raisonnable de la ville de Biskra.

Tableau X.2. Utilisation des matériaux

Reference	Classification		Utilisation
	GTR	UIC	
D.1 (PK 0+727)	A2	QS0	A ne pas utiliser qu'après traitement
D.2 (PK 2+753)	A3	QS1	Remblai
D.3 (PK 3+663)	A3	QS1	Remblai
D.4 (PK 4+750)	A2	QS0	A ne pas utiliser qu'après traitement
D.5 (PK 11+086)	B5	QS1	Sous-ballast + Remblai
E.1	B4	QS2	Couche de forme
E.2	D2	QS2	Couche de forme + Remblai
E.3	B4	QS2	Couche de forme
E.4	B4	QS2	Couche de forme + Remblai
Gisement de ain Touta	D2	QS3	Ballast

D : Déblai

E : Gite d'emprunt

X.1.3. Remblai

Les remblais qu.il faut construire présentent des hauteurs peu significatives, avec une exception des remblais de grande hauteur qui seront construits pour la rampe d'accès au pont rail situé au PK 10+980 et le viaduc situé au PK 11+560, qui atteint respectivement des hauteurs maximales à l'axe d'environ 11m et 15m.

- Géométrie et stabilité des talus de remblais

En ce qui concerne les pentes des talus de remblai, ayant en considération les hauteurs prévues, la nature des matériaux à réutiliser et les conditions prévisibles de fondation des remblais, a été adopté une géométrie générale avec pente de 2H/1V.

Le calcul des facteurs de sécurité a été effectuer à l'aide du logiciel GeoStructural Analysis en utilisant la méthode Bishop, une surcharge additionnelle de 30 Kpa a été ajouté sur la tête du remblai qui correspond 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.

X.2.Structure d'assise

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

L'épaisseur et la nature des couches d'assise dépendent :

- Des caractéristiques intrinsèques des sols de plate-forme (nature, portance, sensibilité à l'eau et au gel).

- Des caractéristiques globales de la plateforme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site.
- Des conditions climatiques du site.
- Du trafic (tonnage, charges, vitesses).
- De l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses).

X.2.1. Ballast

Les rails et les traverses reposent sur la plate-forme par l'intermédiaire d'un lit appelé ballast qui possède trois fonctions principales :

- L'amortissement des vibrations grâce à ses propriétés rhéologiques, c'est-à-dire de dissipation d'énergie vibratoire par l'attrition des granulats en eux.
- Le drainage des eaux.
- La rectification du nivellement et du tracé par bourrage et dressage.

Le ballast est constitué par un granulat de diamètre 25/50 mm résultat du concassage des roches extraites de carrières de pierres dures (granit, porphyre, grés, gneiss…).

Sous traverse, l'épaisseur du ballast varie de 20 à 30 cm suivant les vitesses pratiquées, Sa masse est variable et peut atteindre 4 000 tonnes par kilomètre.

Les principales fonctions du ballast, avec élément structural de la ligne ferrée, sont les suivantes :

- Répartition et transmission uniforme à la plate-forme des charges transmises par les traverses
- Amortissement des tensions transmises par les trains au système rail et traverse.
- Atténuation de la circulation ferroviaire, correspondante à une implication dans le confort des passagers.
- Simplification des opérations d'entretien de la voie.
- Evacuation des eaux pluviales.

Le ballast utilisé dans la voie doit avoir les caractéristiques géométriques et mécaniques suivantes :

- Exigence de géométrie :

- Classe granulaire du ballast
- Grains fins.
- Forme des grains : Coefficient d'aplatissement, Coefficient de forme.
- Pierres longues.
  - Exigences physiques :
- Résistance à la fragmentation : Coefficient Los Angeles, Résistance au choc,
- Résistance à l'usure : Coefficient micro-Deval.
  - Durabilité :
- Résistance au gel/dégel.
- Coefficient d'absorption d'eau.

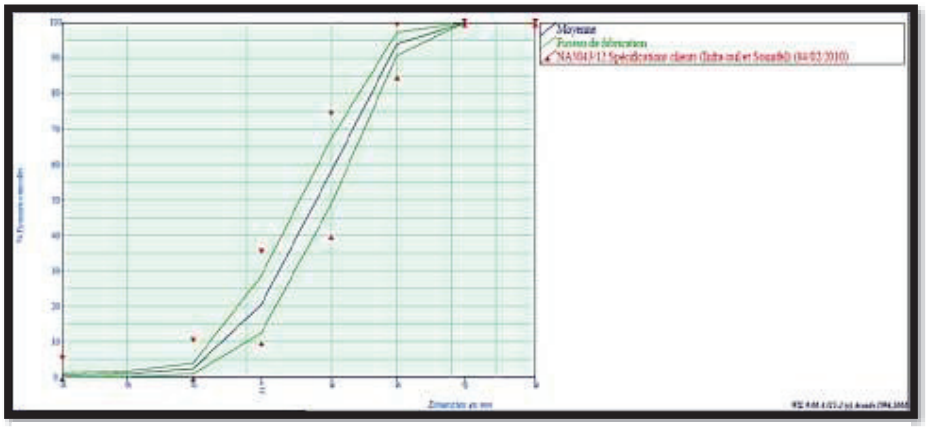


Figure X.1. Fuseau de dimensionnement du ballast de la carrière de Ain Touta [15]

X.2.2. Sous-couche

La sous-couche comprend, du haut vers le bas, une couche sous-ballast en grave (0/31.5 mm), puis une couche de fondation dans le cas de mauvais sols, et enfin s'il y a lieu, une couche anti contaminante en sable complétée par une feuille géotextile ou géomembrane son rôle est :

- L'amélioration de la portance et meilleure répartition des charges transmises.
- L'Anticontamination entre plate -forme et ballast.
- La contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- La Protection contre l'érosion et le gel.
- L'évacuation des eaux.

X.2.3. Couche de forme

Elle est située sur la plate-forme dont la partie supérieure est appelée la couche de forme et qui est inclinée conformément à la sous-couche (4 % pour ce projet), son épaisseur varie suivant le matériau utilisé et la plate-forme qu'on prévoit d'avoir de 35 à 50 cm.

- Située en remblai, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleure.
- Située en déblai, cette couche de forme est obtenue en général par le compactage du fond de feuille à 100 %, dans cas-là, a couche de forme peut également être traitée aux liants.

X.2.4. Dimensionnement de la couche d'assise

La classe de sol prépondérante dans cette zone est de classe QS1.

Selon UIC 719R sur la base de l'identification géotechnique et conditions hydrogéologiques et hydrologiques locaux, on peut désigner 4 classes de sol :

Tableau X.3. Classification des sols UIC

Qualité	Définition
QS0	Sol impropre

QS1	Mauvais sols acceptables tel quel, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage, ces sols peuvent-être transformés en qualité meilleure par un traitement approprié (traitement au liant)
QS2	Sol moyen
QS3	Bon sol

- Classe de portance de la plate-forme

La portance d'une plate-forme dépend :

– De la qualité du sol constituant le corps de remblais ou du sol en place du fond du déblai.

– De la qualité et de l'épaisseur de la couche de forme (lorsque cette dernière existe).

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

– P1 : plate-forme mauvaise.

– P2 : plate-forme moyenne.

– P3 : bonne plate-forme.

Selon les normes techniques (SNTF), le maitre d'ouvrage a exigé une plateforme de classe P2 tenant compte des bonnes conditions de drainage et la situation hydrographie de la région.

Pour déterminer l'épaisseur de la couche de forme, on doit utiliser le tableau suivant (UIC 719 R page 34).

Tableau X.4. Surclassement des sols UIC

Classe de qualité du sol	**Classe de portance de la plateforme Classe de portance de la plate-forme**	**Couche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance**	
		Qualité	**Épaisseurs min de la couche de forme (m)**
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	-

- Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise

Cette épaisseur minimale est calculée en utilisant la formule suivante (Normes UIC 719R-P57) :

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

- E : facteur dépendant des classes de portance (P1, P2 ou P3).
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes ou la vitesse (V > 160km/h).
- b : facteur dépendant de type de traverse.
- 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.

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

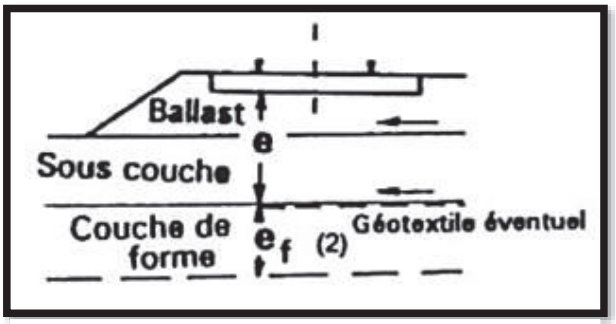


Figure X.2. Détails d'assise

Tableau X.5. Caractéristiques de la voie

Paramètre	En pleine voie		En gare	
	Description	Valeur (m)	Description	Valeur (m)
E	Plate-forme de classe P2	0.55	Plate-forme de classe P2	0.55
a	Groupe UIC 3	-0.05	Groupe UIC 3	-0.05
b	Travers bi-bloc VAX U31	0.13	Travers bi-bloc VAX U31	0.13
c	Dimensionnement normal	0.00	Dimensionnement normal	0.00
d	Charge par essieu 225 KN	0.05	Charge par essieu 225 KN	0.05
f	Classe de portance P2	0.00	Classe de portance P2	0.00
g	Pas de géotextile	0.00	Pas de géotextile	0.00
e	/	0.68	/	0.68
Ballast	/	0.3	/	0.3
Sous-couche	/	0.38	/	0.38
Couche de forme	/	0.5	/	0.5

Tableau X.6. Quantités de matériaux

Matériau	Quantité (m^3)
Ballast	26 060.77
Sous-couche	55 843.37
Couche de forme	90 737.21
Déblai	512 619.84
Remblai	559425.69

CHAPITRE XI : OUVRAGES D'ART

XI.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 obligeant de doter cette nouvelle ligne les ouvrages d'arts suivants :

Ponts rail (ouvrages ferroviaires) :

- Pont rails
- Viaduc.

Ponts routiers :

- Passage Supérieur.
- Passage inferieur.

Les ouvrages hydrauliques :

- Dalot (détaillé dans le chapitre de l'assainissement et hydrologie).

XI.2. Les ouvrages d'art du projet

Tableau XI.1. Ouvrages du projet

Obstacle	Ouvrage projeté	PK de l'ouvrage	Porté de l'ouvrage	Gabarit
Réseau routier	Passage supérieur	3+755	49.0	7.90
Réseau routier	Passage supérieur	7+130	46.5	6.80
Chemin communal	Passage inferieur	10+670	10.4	5.00
Usine de briques	Pont rail	10+820	80.0	5.90
Réseau routier	Passage supérieur	11+400	46.5	7.05
Réseau routier	Viaduc	11+900	180.0	8.05
Réseau routier	Passage supérieur	13+025	42.5	5.70
Oued	Ouvrage hydraulique	13+250	15.0	5.00
Réseau routier	Passage supérieur	14+225	46.5	6.70

XI.3. Conclusion

L'étude de la nouvelle ligne ferroviaire concernant ce tronçon Comprend 9 obstacles qui vont être franchis à l'aide des ouvrages d'art, dont cinq passages supérieurs (PS), un passage inférieur (PI), un pont sur oued sur oued, viaduc et un pont rail.

CHAPITRE XII : AMENAGEMENT DES GARES

XII.1. Introduction

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains, elle comprend diverses installations qui ont une double fonction, permettant l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises. Ainsi que pour certaines elles assurent des fonctions de sécurité dans des trains.

XII.2. Embranchements

Le contournement de la ville de Biskra est conçu avec trois embranchements à voie simple qui ont les fonctions suivantes :

- Embranchement au PK 0+027 pour que les trains en provenance de Ghourzi puissent desservir la gare de voyageurs de Biskra.
- Embranchement au PK 1+621 du raccordement en provenance de la Gare de Biskra et direction Touggourt.
- Embranchement au PK 15+654 pour desservir le pôle industriel de NAFTAL aux trains en provenance de Touggourt ou de la gare de marchandise.
- Embranchement au PK 15+669 pour que les trains en provenance de Ghourzi puissent desservir la gare de marchandises.

XII.3. Gares

Le remaniement de la gare de voyageurs actuelle est pris en compte pour la convertir en une gare moderne et la construction d'une nouvelle gare de marchandises au sud de la ville.

L´emplacement choisi pour la gare de marchandise permet de se relier avec le pôle industriel de NAFTAL tout en minimisant les parcours et en permettant, aux dépens de la nouvelle gare, de partir dans toutes les directions.

XII.3.1. Gares de voyageurs de Biskra

- Aménagement extérieur

L´emplacement de la gare est le même que celui qui existe actuellement. Il n'est donc pas nécessaire de modifier les accès qui existent déjà, mais juste un aménagement des abords extérieurs à l'enceinte de la gare, cette proposition se base sur une volonté de coordonner les différents modes de circulation urbains qui existent aujourd'hui et ceux qui pourraient exister dans un futur proche (Piétons, cycles, véhicules particuliers, autobus urbains – interurbains et tramway).

Á cet effet des installations ont été prévu des zones spacieuses favorisant la circulation des piétons autour du bâtiment principal de la gare et un accès direct par le Sud aux quais muni d'une rampe adaptée aux personnes à mobilité réduite. Une grande esplanade piétonne arborée pourvue de bancs est envisagée.

Le dimensionnement des quais a été fait en fonction des passagers qui peuvent utiliser le service ferroviaire tout en assurant la commodité des utilisateurs (bancs, panneaux informatives, passages inférieurs, etc.). Ainsi, si on considère qu'un quai peut être utilisé par deux trains en même temps et que la capacité maximale d'une rame de train est de 1 074

passagers, le nombre maximum de personnes qui peuvent attendre sur un quai deux trains simultanément est de 2 148 personnes.

Aussi si l´on suppose qu´un même nombre de passagers va descendre des rames qui arrivent à la gare, le nombre final d´utilisateurs d´un quai, en une même période de temps, est de 4 296 personnes.

Avec une estimation de 3 personnes par m^2, la surface nécessaire pour les quais est 1 432 m^2, mais si on ajoute la surface utilisée pour disposer le mobilier urbain, 4 blocs de banc doubles soit 2 x 2 m x 0.75 m = 12 m^2, la surface minimale requise est pour les quais est de 1 444 m^2, inférieur au 1 500 m^2 prévus.

- Exploitation de la gare de voyageurs

La gare de voyageurs de Biskra est conçue avec 15 voies et 16 appareils de voie, cette gare est configurée en cul de sac.

Les trois quais de desserte de la gare de voyageurs de Biskra sont de 250 m de longueur et de 6.0 mètres de largeur, ils seront dotés d'abris de quais pour protéger les voyageurs des intempéries, au nombre de 4 par quai, aucun passage inférieur n'est prévu puisque la circulation des voyageurs entre les trains et le bâtiment voyageur peut se faire simplement par le passage sur les quais qui sont reliés après les heurtoirs des voies de desserte de quais.

Le schéma d'organisation est conçu pour contenir les voies des quais (voies Z1 à Z10), des voies pour l'exploitation permettant le stockage des trains, locomotives ou wagons (12 à 18), une voie de lavage (20) et des voies de dépôt (22 et 24).

Les trains provenant de la voie unique en direction de la gare de voyageurs peuvent desservir les voies Z1 et Z4 qui donnent accès aux quais. Ces deux voies sont reliées par un changement de voie constitué à l'aide des appareils de voie 23 et 24 (UIC 1/7), le cœur de l'appareil de voie 24 étant situé à 75 mètres du heurtoir de la voie Z1. De plus, l'appareil de voie 9 (UIC 1/9) permet aux trains la circulation entre la voie principale et les voies Z1 ou Z4.

Les mêmes trains peuvent aussi en employant le changement de voie constitué par les appareils de voie 1 et 2 (UIC 1/12) donner accès aux voies Z6 et Z10 permettant la desserte des quais, de plus, l'appareil de voie 11 (UIC 1/9) permet aux trains la circulation entre la voie principale et les voies Z6 ou Z10.

Les mêmes trains peuvent accéder aux voies 12 à 24 en employant le changement de voie constitué par les appareils de voie 1 et 2 (UIC 1/12) puis l'appareil de voie 3 (UIC 1/7) pour donner accès aux voies de stockage grâce aux appareils de voies 15, 19, 28 et 30 aussi donner l'accès à la voie de lavage en utilisant l'appareil de voie 13, et pour accéder aux voies de dépôt le train doit passer par l'appareil de voie 7 puis l'appareil 17.

- Configuration fonctionnelle

Longueur des lignes :

Tableau XII.1. Longueur utile des lignes de la gare de voyageurs [16]

Ligne	Longueur utile (m)
Z1	285
Z4	285

Z6	245
Z8	195
Z10	245
12	275
14	215
16	40
18	225
20	400
22	200
24	200

Appareils de voie :

Tableau XII.2. Appareils de changement de voie de la gare de voyageurs [16]

N° de l'appareil de voie	Vitesse (km/h)	Type	Rayon (m)	Déviation	Tangente
1	50	UIC54	500	Droite	1/12
2	50	UIC54	500	Droite	1/12
3	30	UIC54	190	Droite	1/7
5	50	UIC54	190	Gauche	1/9
7	30	UIC54	190	Droite	1/7
8	50	UIC54	190	Gauche	1/9
9	50	UIC54	190	Droite	1/9
11	50	UIC54	500	Droite	1/9
13	30	UIC54	190	Droite	1/7
15	30	UIC54	190	Droite	1/7
17	30	UIC54	190	Gauche	1/7
19	30	UIC54	190	Droite	1/7
23	30	UIC54	190	Gauche	1/7
24	30	UIC54	190	Gauche	1/7
28	30	UIC54	190	Droite	1/7
34	30	UIC54	190	Gauche	1/7

Pente de la gare : 0‰

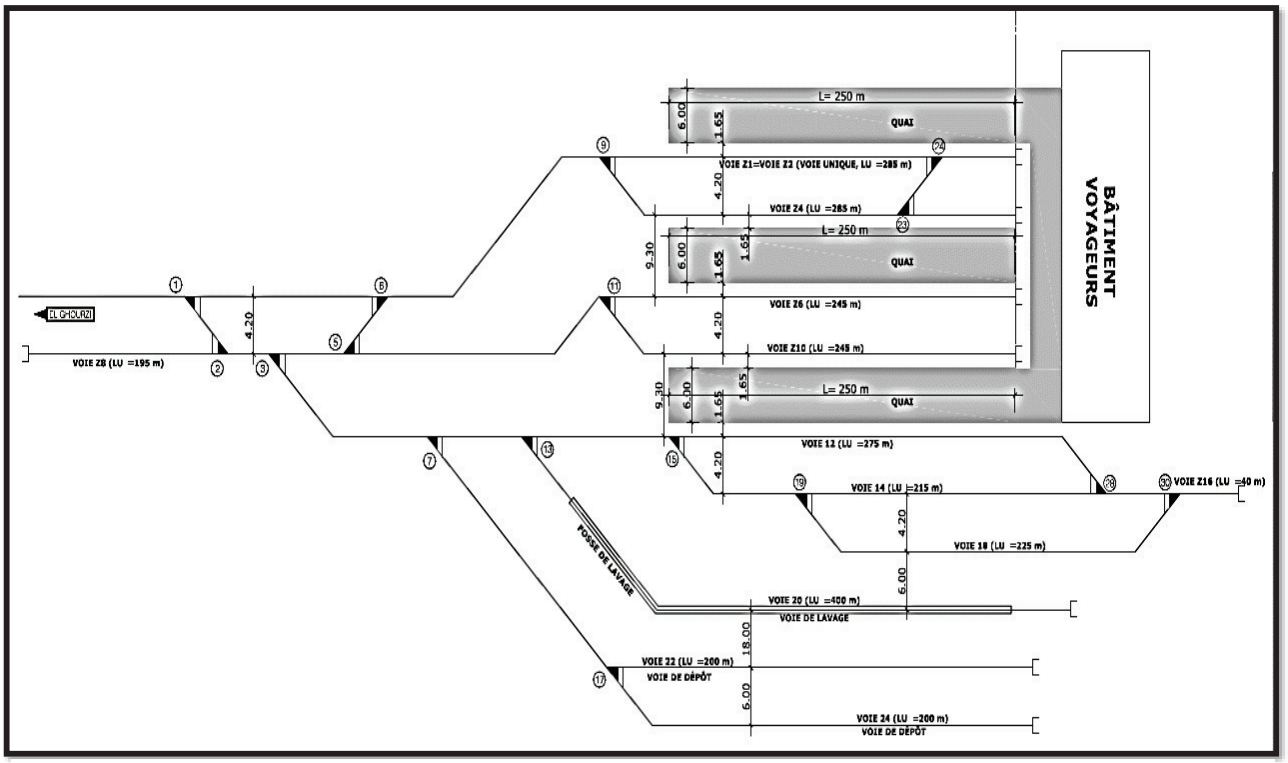


Figure XII.1. Schéma fonctionnel de la gare de voyageurs [16]

- Aménagement intérieur

L'entrée de la gare est aménagée d'un espace appelé Place de la gare, ainsi qu´un parking et un espace vert pour l'accueil et la protection des voyageurs au départ et à l'arrivée.

La circulation des voyageurs est définie de manière à permettre le passage depuis la place de la gare vers les quais directement par la salle d'attente, celle-ci est dotée d'un espace attente, de guichets, d´un local pour le contrôle et d´un couloir qui dessert le kiosque, la cafeteria, les boutiques et les accès aux sanitaires, il a été prévu un local pour le poste de police dont l´accès se fait de l'extérieur côté quais.

La partie étage est réservée au personnel chargé de l'exploitation de la gare. Elle est dotée d'un accès qui donne sur un couloir desservant toutes les pièces, côté gauche (Chef de gare, chef de service, archives, secrétariat et sanitaires) et côté droit (Chef de district, chef de sécurité, dépôt et les sanitaires), la salle de réunion sépare les deux côtés.

La construction d'une nouvelle gare de marchandises au sud de la ville et tout près de la zone d´activité industrielle bénéficiant de toutes les installations, de larges emprises au sol et d´un réseau routier moderne, permet d'envisager une montée en puissance très rapide.

Afin de permettre une correcte exploitation la gare marchandise doit être dotée des services suivants : un bâtiment de service, un bâtiment administratif, un hangar de stockage, des postes d'entretien et un poste de contrôle.

XII.3.2. Gares de marchandises de Biskra

- Aménagement extérieur

Comme il s´agit d´une nouvelle gare, il est nécessaire proposer une solution d'aménagement des abords extérieurs à l'enceinte de la gare, ainsi il a été prévu une route qui contourne la gare et donne accès aux zones de stationnement, aux quais de chargement et de déchargement et aux bâtiments prévus à ouest de la gare.

- Exploitation de la gare de marchandises

La gare de marchandises est implantée en aval de la connexion de la ligne actuelle vers la desserte de la zone industrielle au Sud de la ville de Biskra, il est prévu d'établir une connexion entre les voies Z1 et Z3 grâce aux appareils de voie 1 et 2 (UIC54-1/9).

Son implantation permet de coordonner la circulation des trains depuis ou en direction de la zone industrielle vers Touggourt, les trains bénéficiant de toutes les installations à très grande proximité (entretien, maintenance, chargement et déchargement, stockage et remisage…) afin de faciliter l'exploitation de la ligne en termes de transport de marchandises.

Un faisceau de voies de dépassement, de transfert et de classement est prévu directement au sud et au long de la voie principale, pour des longueurs de voie utile dépassant les 800 m.

La voie Z6 dans ce faisceau permet aux trains de marchandises de passer d'une voie à l'autre en employant cette voie Z6.

Les voies Z20, Z22, Z24, Z26 et Z28 permettent le chargement et le déchargement des trains de marchandises, les voies Z30, Z32, Z34, Z36 et Z38 permettent l'entretien, la maintenance et le lavage du matériel roulant et les voies Z40 et Z42 permettant le stockage.

La voie 16 ainsi que l'appareil de voie 13 (UIC54-1/7) permet la circulation des trains depuis les zones d'entretien, de maintenance, de chargement et déchargement, de stockage vers la voie principale et le faisceau des voies 10, 12 et 14.

Les bâtiments administratifs, de service et le poste de contrôle sont implantés au Sud de la gare de marchandises, permettant la réalisation des accès routiers pour les routes nationales RN-3 et RN-46.

- Configuration fonctionnelle

Longueur des lignes :

Tableau XII.3. Longueur utile des lignes de la gare de marchandises [16]

Ligne	Longueur utile (m)
Z3	78
4	1 381
Z6	300
Z8	30
10	1 322
12	1 263
14	1 200
16	1 141
Z18	300
Z20	350
Z22	350
Z24	750
Z26	200
Z28	200
Z30	348
Z32	230
Z34	200
Z36	230
Z38	200
Z40	250
Z42	252

Appareils de voie :

Tableau XII.4. Appareils de changement de voie de la gare de marchandises [16]

N° de l'appareil de voie	Vitesse (km/h)	Type	Rayon (m)	Déviation	Tangente
1	50	UIC54	300	Droite	1/9
2	50	UIC54	300	Droite	1/9
3	50	UIC54	500	Droite	1/12
4	50	UIC54	500	Droite	1/12
5	30	UIC54	190	Droite	1/7
7	30	UIC54	190	Gauche	1/7
9	30	UIC54	190	Gauche	1/7
11	30	UIC54	190	Gauche	1/7
12	30	UIC54	190	Droite	1/7
13	30	UIC54	190	Droite	1/7
15	30	UIC54	190	Droite	1/7
17	30	UIC54	190	Gauche	1/7
19	30	UIC54	190	Gauche	1/7
21	30	UIC54	190	Droite	1/7
23	30	UIC54	190	Gauche	1/7
25	50	UIC54	500	Gauche	1/12
27	50	UIC54	500	Gauche	1/12
29	30	UIC54	190	Gauche	1/7
31	50	UIC54	500	Droite	1/12
32	30	UIC54	190	Droite	1/7
33	50	UIC54	500	Droite	1/12
34	30	UIC54	190	Droite	1/7
35	30	UIC54	190	Droite	1/7
36	30	UIC54	190	Droite	1/7
38	30	UIC54	190	Gauche	1/7
39	50	UIC54	500	Gauche	1/12
40	50	UIC54	500	Gauche	1/12

Pente de la gare : 0‰

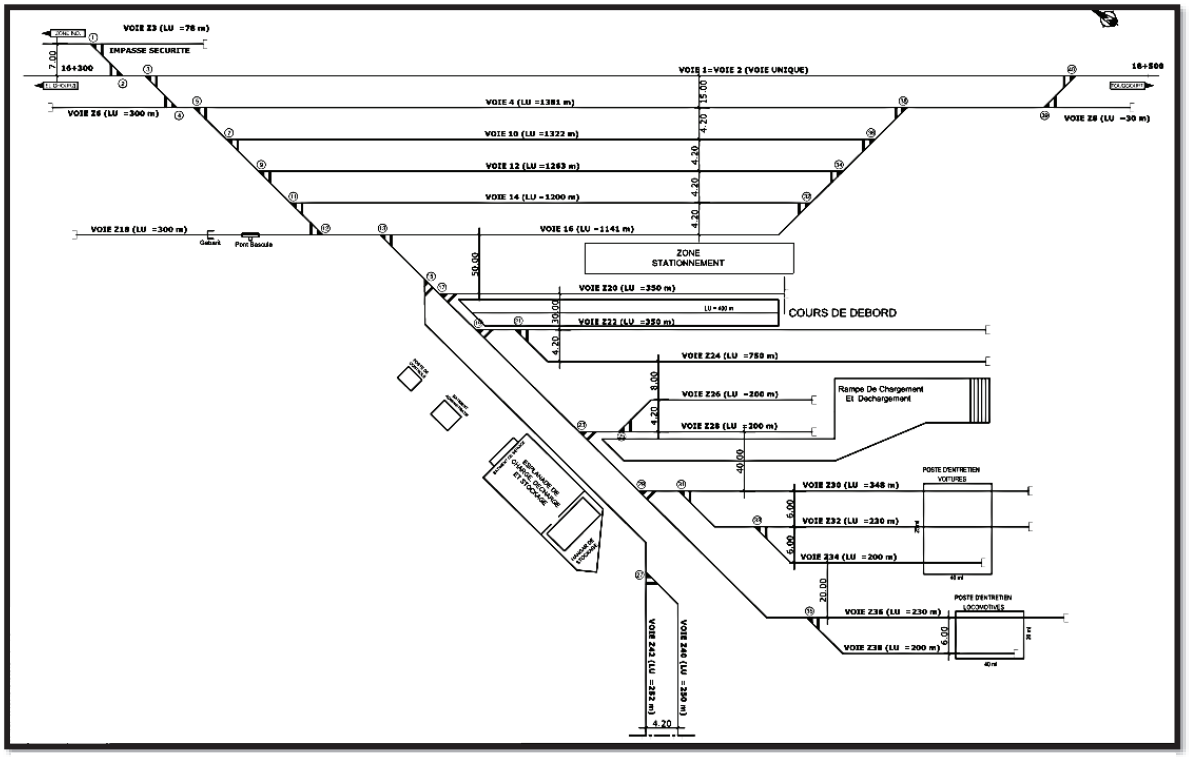


Figure XII.2. Schéma fonctionnel de la gare de voyageurs [16]

- **Aménagement intérieur**

Pour l'aménagement interne de la gare de marchandise un nombre de bâtiments va être conçu pour garantir le bon fonctionnement de la gare :

- Bâtiment de service.
- Bâtiment administratif.
- Poste de contrôle.
- Poste d'entretien des voitures.

Hangar de stockage.

XII.4. Conclusion

L'essentiel de l'avant projet étant traité, il reste néanmoins quelques détails à étudier et qui sont essentiels au bon fonctionnement de la voie, notamment la signalisation ferroviaire objet du prochain chapitre.

CHAPITRE XIII : SIGNALISATION FERROVIAIRE

XIII.1. Introduction

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

XIII.2. Les risques ferroviaires

Les trains doivent circuler en toute sécurité. Les risques majeurs liés aux circulations ferroviaires sont les suivants :

- Le rattrapage : c'est le risque de collision par l'arrière lorsqu'un train percute un autre train qui se trouve devant lui.
- La prise en écharpe, c'est la collision latérale de trains qui circulent sur des itinéraires convergents.
- Le nez à nez : c'est la collision frontale de trains qui circulent en sens contraire sur la même voie.
- Le déraillement : incident ou accident dans lequel un véhicule ferroviaire sort des rails, totalement ou partiellement et dont l'origine peut être diverse (l'excès de vitesse, la manœuvre d'un appareil de voie au passage du train, une panne du système d'aiguillage ou au mauvais état de la voie ou du matériel roulant).
- La collision avec un obstacle : c'est le risque de rencontre avec un obstacle non ferroviaire

On prévient ces risques notamment par :

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

XIII.3. Les signaux

Pour transmettre au conducteur des ordres et informations liées à la sécurité des circulations, il est fait usage de signaux.

Les signaux sont habituellement installés à gauche de la voie à laquelle ils s'adressent, ou dans la partie gauche au-dessus de cette voie, ils peuvent être mécaniques ou bien lumineux.

En signalisation mécanique, il est fait usage de signaux réalisés au moyen d'une aile ou d'une cocarde de couleur.

En signalisation lumineuse, il est fait usage de panneaux portant un ou plusieurs feux de couleur, généralement disposés sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire.

XIII.4. Types de signalisation

XIII.4.1. Signalisations de protection

La signalisation de protection et destinée à interdire l'accès à un itinéraire, à une aiguille, à un passage à niveau etc… elle est généralement manœuvrée depuis des postes par des agents de Réseau. [18]

XIII.4.2. Signalisations de cantonnement

La signalisation de cantonnement et destinée à assurer l'espacement des circulations de même sens. [18]

Sur les sections de lignes équipées en block automatique, la Signalisation de cantonnement se ferme automatiquement dès l'occupation du canton et restent fermée jusqu'à sa complète libération. [18]

Sur les sections de lignes équipées en block manuel, Signalisation de cantonnement est manœuvrée depuis des postes par des agents du service de la gestion des infrastructures chargé de la gestion des circulations. [18]

XIII.4.3. Signalisation d'annonce d'arrêt

Le carré, le sémaphore et le feu rouge clignotant sont normalement annoncés à distance par un avertissement qui peut lui même être précédé en signalisation lumineuse, par un feu jaune clignotant. [18]

XIII.4.4. Signalisation d'indication de marche

Le feu vert indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, s'y rien ne s'y oppose. [18]

Sur les sections de ligne où la vitesse des trains est supérieure à 160 km/h, un feu vert clignotant précède généralement l'avertissement ou un feu jaune clignotant.

XIII.4.5. Signalisation de limitation de vitesse

Ils limitent à un taux déterminé la vitesse des trains sur une partie de voie ou au franchissement de certains points particuliers (aiguille, traversée de gare, etc…). [18]

- Les limitations permanentes de vitesse
  - Sur des parties de voie par tableau indicateur de vitesse ordinaire.
  - Au franchissement de certains points particuliers.

- Les limitations temporaires de vitesse

Cette signalisation s'applique sur des parties de voie (chantiers de travaux, etc.) sur lesquelles une limitation temporaire de vitesse doit être observée.

XIII.4.6. Signalisation indicatrice de direction

Elle renseigne les conducteurs sur la direction géographique qui leur est donnée. [18]

XIII.4.7. Signalisation caractéristique de prescription particulière

Ils renseignent les conducteurs sur des particularités.

On trouve :

- Des tableaux.
- Des pancartes.
- La bande lumineuse jaune.
- La croix de Saint-André (annulation des signaux).

XIII.5. Les systèmes d'espacement des trains (SNCF)

Le système d'espacement des trains de même sens, est destiné à éviter les rattrapages et consiste à fractionner la ligne en plusieurs cantons dont l'entrée est protégée par un signal d'arrêt, chaque canton admet normalement qu'un seul train.

XIII.5.1. Classification des divers systèmes de block ou cantonnement

- Les blocks manuels

II existe deux types de block manuel

- Le cantonnement téléphonique : les deux postes encadrant le canton sont reliés par téléphone, le garde du poste amont rouvre le signal d'entrée du canton qui peut être simplement un signal d'arrêt à main, lorsque le garde du poste aval l'avise du dégagement, par la totalité du train, du canton intéressé.
- Les blocks par appareils ou blocks enclenchés : les deux postes encadrant le canton, reliés par une liaison électrique, sont dotés d'appareillages électromécaniques commandés manuellement, mais dotés de certains enclenchements, le levier du signal d'entrée est enclenché électro-mécaniquement à la fermeture lorsque le canton est occupé. La libération, envoyée électriquement par action manuelle du poste aval, est généralement subordonnée à un contrôle électrique de passage de la circulation.

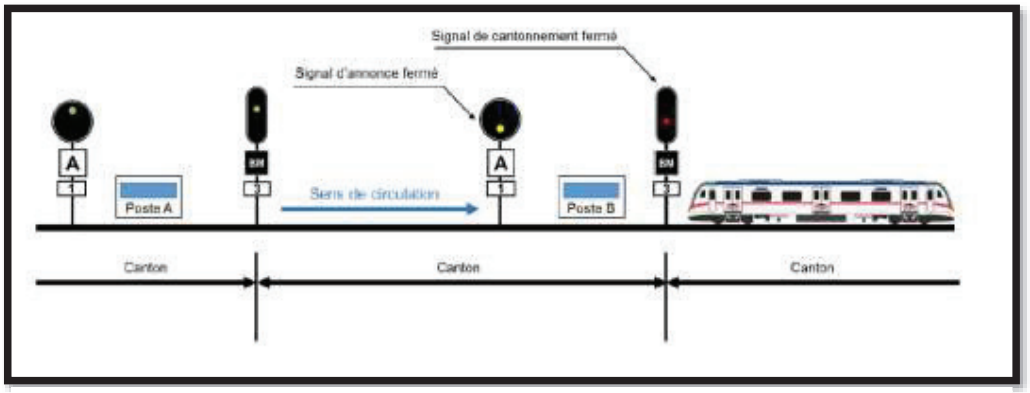


Figure XIII.1. Schéma explicatif du block manuel [18]

- Les blocks automatiques

II existe actuellement deux types de block automatique

- Le block automatique lumineux permissif à cantons courts (BAL) : installé lorsque le trafic journalier approche ou dépasse pour le total des deux sens de circulation une centaine de mouvements sur les lignes à double voie, une quarantaine de mouvements sur les lignes à une seule voie, c'est un système automatique qui représente des avantages de sécurité par rapport au block manuel (risque d'erreur humaine diminué), les cantons sont courts et les

espacements des trains sont réduits (1 500m sur un ligne de 160km/h), il est donc plus couteux (plus de signaux).

– Le block automatique à permissivité restreinte (BAPR) : utilisé sur des lignes secondaires ou les lignes à moindre débit où les cantons sont longs et les espacements des trains sont plus importants (jusqu'à 15km ou plus).

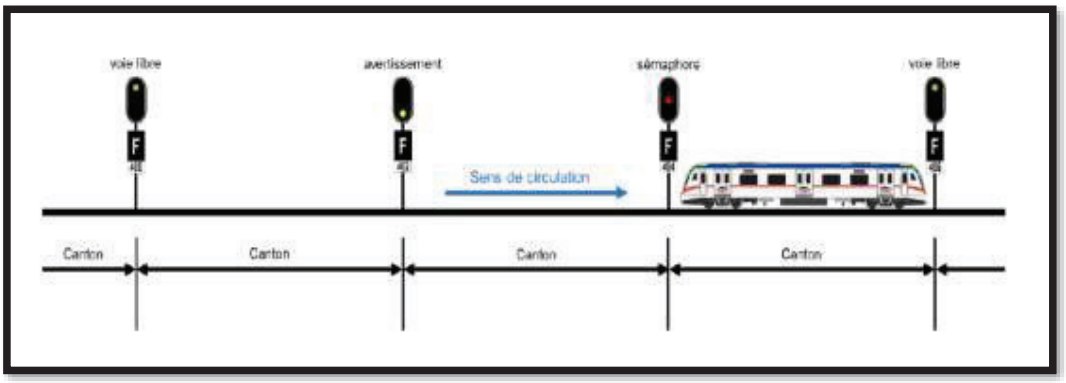
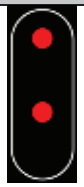


Figure XIII.2. Schéma explicatif du block automatique [18]

Tableau XIII.1. Les principaux signaux ferroviaires et leurs indications [17]

Classification des signalisations	Signal	Indication	Signalisation lumineuse	Signalisation mécanique
Signaux de protection	Carré	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.		
	Carré violet	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
	Disque	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
	Guidon d'arrêt	Le guidon d'arrêt fermé commande au mécanicien		

		l'arrêt avant te signal.		
Signaux de cantonnement	Sémaphore/feu Rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
	Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15km/h au franchissement de ce signal		
Signaux d'annonce d'arrêt	Avertissement	L'avertissement fermé commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le ou les signaux d'arrêts : carré ou sémaphore annoncés, ou d'observer un feu rouge clignotant.		
	Feu jaune clignotant	Le feu jaune clignotant commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant.		

Signaux d'indication de marche	Feu vert	Le feu vert indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
	Feu vert clignotant	Sur les sections de ligne où la vitesse des trains est supérieure à 160 km/h, un feu vert clignotant précède généralement l'avertissement ou le feu jaune clignotant.		
Signaux de limitation de vitesse	Tableau indicateur de vitesse	Indication sur la vitesse à respecter		
	Pancarte Z	Signal d'exécution indiquant le début de la zone à parcourir à vitesse limitée		
	Pancarte R	Signal de reprise indiquant la fin de la zone à parcourir à vitesse limitée		
	Le ralentissement 30 Fermé	Ralentissement à 30km/ à distance		

	Le rappel 30 fermé	Rappel à 30km/h qui précède l'aiguillage		
Signaux indicateurs de direction	Tableau indicateur de direction à distance			
	Tableau indicateur de direction			

XIII.6. Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté les derniers détails techniques de l'APD. Néanmoins, aucune étude de voie ou d'ouvrage d'art ne saurait être tout à fait complète sans une analyse de l'impact environnemental du projet. Ceci est présenté dans le chapitre suivant.

CHAPITRE XIV : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIV.1. Introduction

De part sa localisation stratégique, la ville de Biskra assure la liaison entre le Nord et le Sud du pays, les échanges passent par les principales infrastructures de transport à savoir : aéroport, voies ferrées et routes.

Les enjeux économiques, en faveur du développement de la région, poussent à renforcer les infrastructures d'échanges par voie ferrée.

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.

XIV.2. Objectifs de l'étude d'impact sur l'environnement

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

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

XIV.3. Analyse de l'état initial de la zone d'étude

La zone d'étude se trouve au piémont de la chaîne montagneuse qui entoure la ville de Biskra de son côté ouest et qui est représentée par Djebel Boughazel.

Elle est délimitée :

- Au Nord à l'Ouest par la chaîne montagneuse (Djebel Boughazel et Djebel El Malga).
- A l'Est par la route nationale n°3, l'extension de la ville de Biskra et l'Oued Abdi.
- Au sud par la palmeraie du sud de Biskra et la voie ferrée existante.

XIV.3.1. Description des milieux

Cette description regroupe le milieu physique, biologique, humain et ambiant.

- Milieu physique

- Géomorphologie : elle varie entre des piémonts de la chaîne montagneuse, des bassins versants et des terrains plats. L'altitude moyenne varie entre 100 à 150 m.
- Climat : Selon la monographie de Biskra, cette dernière est caractérisée par un climat sec avec un été chaud et un hiver froid. Les précipitations moyennes annuelles variant de 170 à 200 mm par an. Par ailleurs, les températures ont enregistré une moyenne de 22°c.

- Hydrologie et hydrogéologie : La zone d'étude est traversée par les plus importants oueds : L'oued Abdi, L'oued L'Mor, L'oued Kef El Hammam et L'oued Hassi Mabrouk. En plus, plusieurs écoulements secondaires se jettent dans le collecteur principal l'Oued Zarzour. L'Oued Abdi longe la voie ferrée au niveau du début de projet.
- Sismologie : Dans le cas de Biskra, le risque de tremblements de terre est bas, mais au cours des dernières années la wilaya de Biskra a connu de considérables tremblements de terre qu'il faut prendre en considération.

- Milieu biologique

- La flore : Selon les caractéristiques du climat de la région, la zone d'étude renferme des sols plus au moins avec en végétation très fine.
- Selon la visite du terrain, les sols traversés par le tracé sont touchés par le phénomène d'érosion hydrique qui est accentué par l'absence partielle du couvert végétal.
- La faune : La région de Biskra est caractérisée par la faune du sud constantinois composée essentiellement par les mammifères et les oiseaux d'eaux chaudes.

On site particulièrement :

- L'outarde
- La gazelle
- Le fennec

Le projet doit prendre en considération les habitats naturels ainsi que les itinéraires de déplacement de ces espèces.

- Milieu humain

Dans ce cadre, la présenté étude défini les limites administratives du projet et décrit l'état actuel des principales activités humaines, les infrastructures existantes et les paramètres sociaux.

- Cadre administratif : Administrativement, le projet appartient aux deux communes de Biskra et d'El Hadjeb. Elles sont classées parmi les communes les plus développées économiquement de la wilaya de Biskra vu la localisation des plus importantes activités industrielles et commerciales.
- L'agriculture : L'activité agricole la plus importante de Biskra est représentée par la production de dattes. La zone d'étude renferme une palmeraie très dense située au sud de la ville qui composée d'environs 1000 palmiers.
- L'industrie : La ville de Biskra est caractérisée par une zone industrielle située au sud. Elle compte des unités de conditionnement de dattes, une minoterie, et les matériaux de construction. Au niveau de la commune d'El Hadjeb et faisant partie de cette zone d'étude, on rencontre les briqueteries ALB et BMAB. Il s'agit d'unités de production de briques en assurant l'alimentation pour toute la région à savoir les wilayas de Batna, M'sila et ElOued.

- Les infrastructures de base

– L'infrastructure ferroviaire : La ligne ferroviaire El Ghourzi – Touggourt passe par la ville de Biskra où sont assurées les transports des passagers et des marchandises.

– Il est à signaler que le transport de voyageurs a été gelé depuis 1993 à cause de la dégradation des infrastructures existantes. Ces dernières font l'objet actuellement de travaux de réhabilitation.

– Les routes : Deux routes nationales RN 3 (évitement de la ville de Biskra) et RN 46 sont concernées par le présent projet du contournement.

– Les réseaux d'énergie : Il s'agit de gazoduc (existant et projeté), de l'oléoduc et des pylônes électriques.

- Les paramètres sociaux

– Situation démographique : La zone d'influence d'un projet est représentée par la Daira de Biskra qui regroupe les communes de Biskra et d'El Hadjeb.

– Cette zone renferme une population totale qui est passée d'environ 190 000 habitants en 1998 (dernier recensement général de la population et de l'habitat) à environ 280.000 habitants en 2007.

– Emploi : Le présent projet peut participer dans l'amélioration du taux de chômage qui a enregistré une nette réduction de 38% à 13% entre 1998 et 2007, et cela par la naissance de nouveaux postes permanents dans le cadre de la création de la nouvelle gare de marchandises, ainsi que la nécessité des mains d'œuvres temporaires lors des travaux du contournement.

- Milieu ambiant

La zone d'étude est caractérisée par une qualité de l'air plus au moins propre par rapport au milieu avoisinant qui appartient au milieu urbain de la ville de Biskra. Elle abrite un climat sonore calme et un paysage naturel composé de palmeraies, de petites montagnes et d'écoulements superficielles.

XIV.4. Analyse des impacts

XIV.4.1. Impacts positifs

Le projet de contournement et la réalisation d'une gare de marchandises permettra de :

– Réduire le nombre de train circulant à l'intérieur de l'espace urbain de la ville de Biskra.

– Réduire les gênes sonores et les risques pour la sécurité des riverains proches de la gare ainsi que pour les passagers ;

– Gagner de l'espace à l'intérieur de l'actuelle gare de Biskra.

XIV.4.2. Impacts négatifs

Il s'agit d'impacts liés à la phase de construction et d'impacts liés à la phase d'exploitation.

- Impacts liés à la phase de construction

Les éléments environnementaux à prendre en considération sont représentés essentiellement par :

- Les oueds et les écoulements d'eau des bassins versants.
- Le système hydrologique et la qualité des eaux peuvent être affectés par les travaux.
- La stabilité des sols et l'accentuation du phénomène d'érosion.
- Les nouvelles carrières d'exploitation des gisements pour le projet peuvent subir un impact négatif à cause du phénomène d'érosion.
- Les routes ; RN03 et RN46 empruntées par les engins entre les gisements et le site du chantier subiront une perturbation à cause des rotations.
- La création de zones de dépôts provisoires lors des travaux présente une gêne temporaire pour les zones d'habitations ou à proximité des routes.
- Les matériaux déposés sur les sols à vocation agricole pourront par faute de contrôle causer une pollution des sols avoisinants.
- Les terrains privés abritant de l'arboriculture et des palmiers seront concernés partiellement par la consommation de leurs superficies par le projet.
- Vu la multiplication du réseau électrique surtout au niveau du début du projet, une perturbation et une délocalisation vont être enregistrées lors de la libération d'emprise.
- La traversée de l'oléoduc et gazoduc est inévitable dans certains endroits du tracé, cela nécessiterait la mise en place de mesures de protection avant le lancement des travaux.
- La coupure des routes nationales et des pistes lors des travaux causera le changement des habitudes des usagers.
- Les travaux du contournement à proximité des briqueteries vont causer une interruption momentanée de l'activité.

- Impacts liés à la phase d'exploitation

Il s'agit de l'impact sur le déplacement des animaux, l'impact sur la qualité des eaux superficielles, l'impact sur les lieux de stockage au niveau de la gare de marchandises l'impact sur la sécurité des riverains et l'impact sur l'activité des briqueteries.

- Les itinéraires habituels des animaux circulant dans la zone du projet et sa périphérie vont être interrompus.
- En cas d'accident, les wagons transportant des carburant peuvent générer une pollution des eaux superficielles.

- Pendant les manœuvres ou les stationnements, les wagons transportant des carburants présentent un impact sur la qualité des sols productifs de dattes à proximité.
- Au moment des manœuvres au niveau de la gare de marchandises, la sécurité des riverains proches du site peut être menacée par des accidents et des incendies.
- Les vibrations des wagons peuvent gêner la circulation des engins transportent la matière première entre le gisement et les unités de production.

A la fin un impact direct va sur la qualité d'air à cause de la pollution permanente due à la circulation des voitures de train.

XIV.5. Conclusion

La réalisation du contournement, ainsi que la nouvelle gare de marchandises, présentent des impacts positifs et des impacts négatifs.

En terme positif, elle permettra de :

- Réduire les gènes sonores et les risques pour la sécurité des riverains proche de la gare actuelle ainsi que pour les passagers.
- Gagner l'espace à l'intérieur de l'actuelle gare de Biskra.
- Faciliter le transport des produits à partir de la zone industrielle de Biskra à travers le rail, et par conséquence, la diminution du coût de transport routier de marchandises.

Par ailleurs, les impacts négatifs se résument en :

- La qualité des eaux des Oueds au niveau du contournement est fortement menacée en cas d'accident.
- Le passage faune en phase d'exploitation subira une interruption définitive.
- La production de dattes pourra diminuer en cas de la pollution des sols avoisinants la nouvelle gare.

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

Tableau XV.1. Devis estimatif et quantitatif

Article	Désignation	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1	**INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER**				
1.1	Installation générale de chantier	F	210 000 000	1	210 000 000
2	**TERRASSEMENT**				
2.1	Déblais mise en remblai	m^3	750	121 016	907 620 000
2.2	Déblais mise en dépôt	m^3	550	234 572	129 015 000
2.3	Déblais en terrain rocheux rippable mis en remblai	m^3	1 200	157 031	188 438 000
2.4	Remblai provenant des zones d'emprunt agréées<10km	m^3	950	281 378	267 310 000
2.5	Couche de forme	m^3	1400	90 737	127 032 000
2.6	Couche de sous ballast	m^3	2 750	55 843	153 569 000
TOTAL H.T					1 772 984 000
3	**TRAVAUX DE LA VOIE**				
3.1	Fourniture et pose de rail UIC 54	m	12 325	59 124	728 703 300
3.2	Fourniture et pose de traverse bi-bloc	U	9 525	49 270	469 296 750
3.3	Fourniture et pose d'appareil de voie 1/7 UIC 54 - 190	U	8 000 000	27	21 600 000
3.4	Fourniture et pose d'appareil de voie 1/9 UIC 54 - 190	U	8 450 000	3	25 350 000
3.5	Fourniture et pose d'appareil de voie 1/9 UIC 54 - 300	U	9 000 000	2	18 000 000
3.6	Fourniture et pose d'appareil de voie 1/12 UIC 54 - 500	U	10 100 000	11	111 100 000
3.7	Fourniture et pose d'appareil de dilatation	U	1 150 000	2	2 300 000
3.8	Fourniture et pose de ballast et ballastage de voie nouvelle	m^3	4 000	26 060	104 240 000
3.9	Soudage aluminothermique	U	12 300	3285	40 402 000

TOTAL H.T					1 520 993 000
4	**ASSAINISSEMENT ET OUVRAGES DE DRAINAGE**				
4.1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	m	6 500	4 700	30 901 000
4.2	Tuyaux en béton arme diamètre 1000 mm	m	20 100	301	6 051 000
4.3	Tuyaux en béton arme diamètre 1200 mm	m	35 000	30	1 050 000
4.4	Tête des buses pour tuyaux diamètre 1000 mm	U	137 000	32	4 384 000
4.5	Tête des buses pour tuyaux diamètre 1200 mm	U	195 000	4	780 000
4.6	Béton arme dose à 350 kg/m3 C.P.A 325, pour radier, murs en retour, parois et dalle de couverture	m^3	27 500	1 500	41 250 000
TOTAL H.T					84 415 100
5	**OUVRAGE D'ART**				
5.1	OUVRAGE D'ART 3+755	U	136 409 000	1	136 409 000
5.2	OUVRAGE D'ART 7+130	U	55 176 000	1	55 176 000
5.3	OUVRAGE D'ART 10+670	U	30 886 000	1	30 886 000
5.4	OUVRAGE D'ART 10+820	U	91 735 000	1	91 735 000
5.5	OUVRAGE D'ART 11+400	U	45 963 000	1	45 963 000
5.6	OUVRAGE D'ART 11+900	U	253 262 000	1	253 262 000
5.7	OUVRAGE D'ART 13+025	U	48 371 000	1	48 371 000
5.8	OUVRAGE D'ART 14+225	U	62 735 000	1	62 735 000
TOTAL H.T					724 537 000
TOTAL FINAL H.T (HORS TAXES)					**3 588 393 000**
TVA (TAXES SUR LA VALEUR AJOUTEE 19%)					**681 794 670**
TOTAL FINAL TTC (TOUTES TAXES COMPRISES)					**4 270 187 670**

Le montant total du projet en toutes taxes comprises s'élevé à quatre milliards, deux cent soixante-dix millions, cent quatre-vingt-sept milles et six cent soixante-dix Dinars Algériens.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'amélioration et l'aménagement des infrastructures de transports en générale et du secteur ferroviaire en particulier est la base du développement d'un pays. Celà permet de régler plusieurs problèmes contrairement aux autres modes de transport tel que les problèmes de circulations, le taux de croissance élevé, de temps de parcoure, d'accident…etc.

Dans ce projet j'ai fait une étude détaillée du contournement ferroviaire de la ville de Biskra sur 18km qui s'intègre à la ligne Elghourzi-Touggourt, en commençant par l'étude géométrique tout en passant par les études géologique, géotechnique, hydraulique, la stabilité des talus…etc. Tout ça en essayant d'optimiser ces dernières en utilisant les divers normes (SNTF, UIC), logiciels (AUTOCAD, CIVIL 3D, GEOSTRUCTURAL ANALYSIS) et les connaissances acquises au court de mes années d'étude supérieure.

Enfin, ce mémoire, m'a donné l'opportunité de cerner tous les problèmes théoriques qui peuvent se présenter dans un projet ferroviaire, de profiter de l'expérience des ingénieurs et des spécialistes expérimentés du domaine d'une part et d'apprendre à suivre une méthodologie rationnelle pour réaliser un projet dans le domaine des travaux publics d'autre part.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Encyclopédie de l'Afrique du nord, http://encyclopedie-afn.org, consulté le 07 mars 2020.
[2] : Agence Nationale d'Etude et de Suivie de la Réalisation des Investissements Ferroviaires, http://anesrif.dz/ , consulté en ligne le 09 mars 2020.
[3] : Google maps, http://maps.google.com, consulté le 15 mars 2020.
[4] : Ulysse LAMALLE, *Cours d'Exploitation des chemins de fer, TOME 3,* Michigan : librairie universitaire du Michigan, 1951.
[5] : Pierre CHAPAS, *Technique de l'ingénieur, Voie ferrée - Composants, construction et maintenance, Réf : TRP3050 v1*, Paris : Technique de l'ingénieur, 10 novembre 2012.
[6] : Rabah MORSLI, *Cours voie ferrée 2eme année cycle ingénieur*, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics-ALGER. 2018/2019.
[7] : SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 22/12/2005.
[8] : lycée Pierre Beghin, pierre-beghin.ent.auvergnerhonealpes.fr, consulté le 25 mai 2020
[9] : Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2008, Alger, Minstere des Travaux Publics.
[10] : P. HABIB, Revue française de la géotechnique, étude géotechnique et reconnaissance des sols.
[11] : Pimpoux debat, http://pimpoux-debat.over-blog.com/ consulté le 17 juin 2020.
[12] : Agence Nationale des Ressources Hydriques, http://www.anrh.dz/cartes.html, consulté le 27 mai 2020.
[13] : Rapport hydraulique et hydrologique GETINSA.
[14] : Daoudi RAHMANI, *Cours hydraulique 1ere année cycle ingénieur*, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics-ALGER, 2017/2018.
[15] : Rapport géotechnique GETINSA.
[16] : Rapport des gares GETINSA.
[17] : Roger RETIVEAU, *La signalisation ferroviaire*, Paris, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussée, 1987.
[18] : Etablissement Public de la Sécurité Ferroviaire, *Les signaux, Les régimes d'exploitation des lignes, Les systèmes d'espacement des trains*, Amiens, Edition 5 Juillet 2017.
[19] : Georges KOUROUSSIS « **Modélisation des effets vibratoires du trafic ferroviaire sur l'environnement** », Thèse de doctorat. Faculté polytechnique de Mons, Mai 2009.
[20] : J-F Semblat et al. « **Vibrations induites dans les sols par le trafic ferroviaire** », *Revue Française de Géotechnique, 134-135, pp.23-36*, 2011.
[21] : Slimane BELHADJ-MOSTEFA « **Analyse expérimentale de la distribution des contraintes dynamiques à l'interface sol fondation** », Thèse de doctorat sous-direction de Ahmed Boumekik, Université Mentouri Constantine.
[22] : CHAHOUR Kahina « **Etude dynamique des vibrations d'un sol engendrées par une charge en mouvement** », Thèse de doctorat sous-direction de BOUHERAOUA Ali, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Annexe

Annexe A.1

Alignement Curve Report

Auteur : Nafaa BABAHENINI

Description du projet : Contournement de la ville de biskra

	Tangent Data		
Length:	146.848	Course:	S 42° 47' 44.4836" W
	Spiral Curve Data: clothoid		
Length:	160.000	L Tan:	106.689
Radius:	1275.000	S Tan:	53.353
Theta:	03° 35' 42.1055"	P:	0.836
X:	159.937	K:	79.990
Y:	3.345	A:	451.664
Chord:	159.972	Course:	S 43° 59' 38.3749" W
	Circular Curve Data		
Delta:	46° 55' 52.8143"	Type:	RIGHT
Radius:	1275.000		
Length:	1044.361	Tangent:	553.478
Mid-Ord:	105.444	External:	114.951
Chord:	1015.409	Course:	S 69° 51' 22.9962" W
	Spiral Curve Data: clothoid		
Length:	160.000	L Tan:	106.689
Radius:	1275.000	S Tan:	53.353
Theta:	03° 35' 42.1055"	P:	0.836
X:	159.937	K:	79.990
Y:	3.345	A:	451.664
Chord:	159.972	Course:	N 84° 16' 52.3825" W
	Tangent Data		
Length:	179.157	Course:	N 83° 04' 58.4911" W
	Spiral Curve Data: clothoid		
Length:	160.000	L Tan:	106.679
Radius:	1700.000	S Tan:	53.345
Theta:	02° 41' 46.5791"	P:	0.627
X:	159.965	K:	79.994

Y:	2.509	A:	521.536
Chord:	159.984	Course:	N 83° 58' 53.9568" W

Circular Curve Data

Delta:	57° 36' 01.3554"	Type:	LEFT
Radius:	1700.000		
Length:	1709.038	Tangent:	934.590
Mid-Ord:	210.281	External:	239.964
Chord:	1637.972	Course:	S 65° 25' 14.2521" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.679
Radius:	1700.000	S Tan:	53.345
Theta:	02° 41' 46.5791"	P:	0.627
X:	159.965	K:	79.994
Y:	2.509	A:	521.536
Chord:	159.984	Course:	S 34° 49' 22.4610" W

Tangent Data

Length:	4608.422	Course:	S 33° 55' 26.9953" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.679
Radius:	1700.000	S Tan:	53.345
Theta:	02° 41' 46.5791"	P:	0.627
X:	159.965	K:	79.994
Y:	2.509	A:	521.536
Chord:	159.984	Course:	S 33° 01' 31.5295" W

Circular Curve Data

Delta:	37° 28' 18.4836"	Type:	LEFT
Radius:	1700.000		
Length:	1111.811	Tangent:	576.606
Mid-Ord:	90.084	External:	95.125
Chord:	1092.102	Course:	S 12° 29' 31.1744" W

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.679
Radius:	1700.000	S Tan:	53.345
Theta:	02° 41' 46.5791"	P:	0.627
X:	159.965	K:	79.994

Y:	2.509	A:	521.536
Chord:	159.984	Course:	S 08° 02' 29.1808" E

Tangent Data

Length:	1006.200	Course:	S 08° 56' 24.6465" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.673
Radius:	2400.000	S Tan:	53.339
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.444
X:	159.982	K:	79.997
Y:	1.778	A:	619.677
Chord:	159.992	Course:	S 09° 34' 36.4562" E

Circular Curve Data

Delta:	46° 49' 53.3310"	Type:	LEFT
Radius:	2400.000		
Length:	1961.672	Tangent:	1039.356
Mid-Ord:	197.651	External:	215.389
Chord:	1907.520	Course:	S 34° 15' 56.8056" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.673
Radius:	2400.000	S Tan:	53.339
Theta:	01° 54' 35.4935"	P:	0.444
X:	159.982	K:	79.997
Y:	1.778	A:	619.677
Chord:	159.992	Course:	S 58° 57' 17.1550" E

Tangent Data

Length:	1751.201	Course:	S 59° 35' 28.9647" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.689
Radius:	1275.000	S Tan:	53.353
Theta:	03° 35' 42.1055"	P:	0.836
X:	159.937	K:	79.990
Y:	3.345	A:	451.664
Chord:	159.972	Course:	S 58° 23' 35.0733" E

Circular Curve Data

Delta:	20° 08' 53.4897"	Type:	RIGHT
Radius:	1275.000		
Length:	448.357	Tangent:	226.517
Mid-Ord:	19.657	External:	19.965
Chord:	446.050	Course:	S 45° 55' 20.1143" E

Spiral Curve Data: clothoid

Length:	160.000	L Tan:	106.689
Radius:	1275.000	S Tan:	53.353
Theta:	03° 35' 42.1055"	P:	0.836
X:	159.937	K:	79.990
Y:	3.345	A:	451.664
Chord:	159.972	Course:	S 33° 27' 05.1553" E

Tangent Data

Length:	2476.938	Course:	S 32° 15' 11.2640" E

Annexe A.2

Rapport sur l'abscisse curviligne des PI de l'axe

Nom de l'axe : Axe en plan
Description :
Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 0.00, Extrémité : 1804401.00

Abscisse curviligne du PI	Ordonnée	Abscisse	Distance	Direction
0.00	3,865,417.049m	750,538.627m		
			253.537m	S47.5508W (g)
253.54	3,865,231.008m	750,366.378m		
			606.831m	S51.5452W (g)
860.33	3,864,812.455m	749,926.995m		
			42.728m	S22.3818E (g)
878.61	3,864,772.340m	749,941.710m		
			625.075m	N92.3143W (g)
1404.56	3,864,847.620m	749,321.184m		
			392.525m	N92.3143W (g)
1797.05	3,864,894.893m	748,931.516m		
			987.935m	N95.3102W (g)
2784.96	3,864,967.605m	747,946.261m		
			54.504m	N27.3104W (g)
2812.36	3,865,017.170m	747,923.590m		
			1,015.316m	S37.6935W (g)
3612.75	3,864,174.684m	747,356.947m		
			4,821.780m	S37.6935W (g)
8434.50	3,860,173.682m	744,665.935m		
			629.950m	S34.6977W (g)
9064.43	3,859,635.004m	744,339.341m		
			31.835m	N86.1200W (g)
9075.39	3,859,641.890m	744,308.260m		
			640.885m	S9.9335E (g)
9652.98	3,859,008.791m	744,407.856m		
			1,219.552m	S9.9335E (g)
10872.51	3,857,804.054m	744,597.378m		
			1,092.695m	S12.0556E (g)
11965.19	3,856,730.894m	744,803.066m		

			40.288m	S61.9269W (g)
11981.83	3,856,708.210m	744,769.770m		
			1,109.321m	S66.2126E (g)
12940.85	3,856,146.712m	745,726.490m		
			1,964.563m	S66.2126E (g)
14905.40	3,855,152.322m	747,420.803m		
			279.871m	S62.2182E (g)
15185.23	3,854,995.805m	747,652.816m		
			18.061m	N48.9753E (g)
15188.99	3,855,008.780m	747,665.380m		
			283.588m	S35.8368E (g)
15460.42	3,854,768.950m	747,816.720m		
			2,583.627m	S35.8368E (g)
18044.01	3,852,583.980m	749,195.500m		

Annexe A.3

XVI. Rapport sur la courbe et l'abscisse curviligne du PIV de la ligne de profil en long

Axe vertical : Ligne rouge-Profil en long 1
Description :
Intervalle d'abscisses curvilignes : Départ : 0.00, Extrémité : 1804401.00

PIV	Abscisse curviligne	Pente de sortie	Longueur de la courbe
0.00	0.00	-0.36%	
1.00	450.74	1.46%	218.756m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	341.37	Altitude :	160.841m
Abscisse curviligne du PIV :	450.74	Altitude :	160.445m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	560.12	Altitude :	162.043m
Point bas :	384.84	Altitude :	160.763m
Pente d'entrée:	-0.36%	Pente de sortie:	1.46%
Modifier	1.82%	K :	119.999999999997
Longueur de la courbe :	218.756m		Rayon : 12 000 m
Distance des phares :	3,219.745m		

2.00	890.13	-0.51%	393.867m

Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)

Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	693.20	Altitude :	163.987m
Abscisse curviligne du PIV :	890.13	Altitude :	166.863m
Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	1087.07	Altitude :	165.862m
Point élevé :	985.34	Altitude :	166.120m

	Pente d'entrée:	1.46%	Pente de sortie:	-0.51%
	Modifier	1.97%	K :	200.000000000003
	Longueur de la courbe :	393.867m		Rayon : 20 000m
	Distance de dépassement :	464.881m	Distance d'arrêt :	369.395m
3.00	2100.00	-0.34%	34.004m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	2083.00	Altitude :	160.796m
	Abscisse curviligne du PIV :	2100.00	Altitude :	160.709m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	2117.00	Altitude :	160.652m
	Point bas :	2117.00	Altitude :	160.652m
	Pente d'entrée:	-0.51%	Pente de sortie:	-0.34%
	Modifier	0.17%	K :	199.999999999946
	Longueur de la courbe :	34.004m		Rayon : 20 000 m
	Distance des phares :			
4.00	3058.74	-0.80%	116.557m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	3000.46	Altitude :	157.660m
	Abscisse curviligne du PIV :	3058.74	Altitude :	157.463m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	3117.02	Altitude :	156.994m
	Point élevé :	3000.46	Altitude :	157.660m
	Pente d'entrée:	-0.34%	Pente de sortie:	-0.80%

	Modifier	0.47%	K :	249.999999999967
	Longueur de la courbe :	116.557m		Rayon : 25 000 m
	Distance de dépassement :	1,190.085m	Distance d'arrêt :	789.966m
5.00	3911.12	-1.38%	68.422m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	3876.91	Altitude :	150.878m
	Abscisse curviligne du PIV :	3911.12	Altitude :	150.602m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	3945.33	Altitude :	150.132m
	Point élevé :	3876.91	Altitude :	150.878m
	Pente d'entrée:	-0.80%	Pente de sortie:	-1.38%
	Modifier	0.57%	K :	119.999999999997
	Longueur de la courbe :	68.422m		Rayon : 12 000 m
	Distance de dépassement :	959.662m	Distance d'arrêt :	632.494m
6.00	4812.10	0.69%	247.466m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	4688.37	Altitude :	139.915m
	Abscisse curviligne du PIV :	4812.10	Altitude :	138.213m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	4935.84	Altitude :	139.064m
	Point bas :	4853.38	Altitude :	138.780m
	Pente d'entrée:	-1.38%	Pente de sortie:	0.69%
	Modifier	2.06%	K :	120.000000000001

	Longueur de la courbe :	247.466m		Rayon :12 000 m
	Distance des phares :	963.545m		
7.00	5351.27	-0.48%	139.783m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	5281.38	Altitude :	141.438m
	Abscisse curviligne du PIV :	5351.27	Altitude :	141.918m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	5421.16	Altitude :	141.584m
	Point élevé :	5363.84	Altitude :	141.721m
	Pente d'entrée:	0.69%	Pente de sortie:	-0.48%
	Modifier	1.16%	K :	120.000000000014
	Longueur de la courbe :	139.783m		Rayon : 12 000 m
	Distance de dépassement :	522.888m	Distance d'arrêt :	362.744m
8.00	5613.76	-1.35%	104.635m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	5561.44	Altitude :	140.914m
	Abscisse curviligne du PIV :	5613.76	Altitude :	140.664m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	5666.07	Altitude :	139.958m
	Point élevé :	5561.44	Altitude :	140.914m
	Pente d'entrée:	-0.48%	Pente de sortie:	-1.35%
	Modifier	0.87%	K :	120.000000000001
	Longueur de la courbe :	104.635m		Rayon : 12 000 m

	Distance de dépassement :	657.484m	Distance d'arrêt :	443.544m
9.00	6193.31	-1.32%	12.160m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	6187.23	Altitude :	132.925m
	Abscisse curviligne du PIV :	6193.31	Altitude :	132.842m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	6199.39	Altitude :	132.762m
	Point bas :	6199.39	Altitude :	132.762m
	Pente d'entrée:	-1.35%	Pente de sortie:	-1.32%
	Modifier	0.03%	K :	400.000000011689
	Longueur de la courbe :	12.160m		Rayon : 40 000 m
	Distance des phares :			
10.00	7837.19	-0.42%	269.052m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	7702.66	Altitude :	112.930m
	Abscisse curviligne du PIV :	7837.19	Altitude :	111.156m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	7971.72	Altitude :	110.587m
	Point bas :	7971.72	Altitude :	110.587m
	Pente d'entrée:	-1.32%	Pente de sortie:	-0.42%
	Modifier	0.90%	K :	300.00000000001
	Longueur de la courbe :	269.052m		Rayon : 30 000 m
	Distance des phares :			
11.00	9132.59	-0.39%	38.435m	

	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	9113.37	Altitude :	105.765m
	Abscisse curviligne du PIV :	9132.59	Altitude :	105.684m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	9151.80	Altitude :	105.609m
	Point bas :	9151.80	Altitude :	105.609m
	Pente d'entrée:	-0.42%	Pente de sortie:	-0.39%
	Modifier	0.03%	K :	1200.00000000721
	Longueur de la courbe :	38.435m		Rayon : 120 000 m
	Distance des phares :			
12.00	10488.02	1.56%	390.983m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	10292.53	Altitude :	101.156m
	Abscisse curviligne du PIV :	10488.02	Altitude :	100.392m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	10683.51	Altitude :	103.451m
	Point bas :	10370.60	Altitude :	101.003m
	Pente d'entrée:	-0.39%	Pente de sortie:	1.56%
	Modifier	1.95%	K :	199.999999999999
	Longueur de la courbe :	390.983m		Rayon : 20 000 m
	Distance des phares :	2,063.767m		
13.00	11197.99	-1.60%	380.232m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	11007.88	Altitude :	108.526m

	Abscisse curviligne du PIV :	11197.99	Altitude :	111.500m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	11388.11	Altitude :	108.451m
	Point élevé :	11195.62	Altitude :	109.994m
	Pente d'entrée:	1.56%	Pente de sortie:	-1.60%
	Modifier	3.17%	K :	120
	Longueur de la courbe :	380.232m	Rayon : 12 000 m	
	Distance de dépassement :	355.869m	Distance d'arrêt :	286.132m

14.00	12582.66	-0.64%	145.321m

	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	12510.00	Altitude :	90.455m
	Abscisse curviligne du PIV :	12582.66	Altitude :	89.289m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	12655.32	Altitude :	88.828m
	Point bas :	12655.32	Altitude :	88.828m
	Pente d'entrée:	-1.60%	Pente de sortie:	-0.64%
	Modifier	0.97%	K :	150.000000000005
	Longueur de la courbe :	145.321m	Rayon : 15 000 m	
	Distance des phares :			

15.00	13416.99	0.17%	160.078m

	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point bas)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	13336.95	Altitude :	84.498m
	Abscisse curviligne du PIV :	13416.99	Altitude :	83.989m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	13497.03	Altitude :	84.121m

	Point bas :	13464.01	Altitude :	84.094m
	Pente d'entrée:	-0.64%	Pente de sortie:	0.17%
	Modifier	0.80%	K :	199.999999999999
	Longueur de la courbe :	160.078m		Rayon : 20 000 m
	Distance des phares :			
16.00	14405.13	0.09%	30.113m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	14390.07	Altitude :	85.596m
	Abscisse curviligne du PIV :	14405.13	Altitude :	85.621m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	14420.18	Altitude :	85.634m
	Point élevé :	14420.18	Altitude :	85.634m
	Pente d'entrée:	0.17%	Pente de sortie:	0.09%
	Modifier	0.08%	K :	400.000000001255
	Longueur de la courbe :	30.113m		Rayon : 40 000 m
	Distance de dépassement :	7,024.308m	Distance d'arrêt :	4,546.383m
17.00	15188.10	-0.36%	269.483m	
	Informations sur la courbe verticale : (courbe à point haut)			
	Abscisse curviligne du point de courbe verticale :	15053.36	Altitude :	86.203m
	Abscisse curviligne du PIV :	15188.10	Altitude :	86.324m
	Abscisse curviligne du point de tangente verticale :	15322.84	Altitude :	85.840m
	Point élevé :	15107.27	Altitude :	86.227m

	Pente d'entrée:	0.09%	Pente de sortie:	-0.36%
	Modifier	0.45%	K :	599.999999999991
	Longueur de la courbe :	269.483m		Rayon : 60 000 m
	Distance de dépassement :	1,309.610m	Distance d'arrêt :	894.268m
18.00	18044.01			

ANNEXE B.1
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 :

Tableau 2 : Classification UIC des sols

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 sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd<1.7 t/m3 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 ρd<1.7 t/m3 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≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25 <MDE≤40 et 30<LA≤40
QS3 Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

ANNEXE B.2

Tableau 2 : Résultat de la pénétration dynamique

Localisation	Profondeur (m)	Resistance de pointe (bars)		Interprétation de la résistance du sol
		R_p min	R_p max	
PK 0+300	6.8 sans refus	90	500	q
PK 1+700 (A)	1.8 avec refus	76	500	q
PK 1+700 (B)	1.4 avec refus	260	500	mp-g
PK 1+440	1.2 avec refus	160	500	q
PK 2+400	7 sans refus	42	264	mpg
PK 2+650	7 sans refus	58	232	qcn/mpg
PK 3+000	7 sans refus	16	326	qcn/mpg
PK 3+300 (A)	4.38 avec refus	70	500	qcn
PK 3+300 (B)	1.85 avec refus	118	500	qcn
PK 3+300 (C)	2.30 avec refus	102	500	qcn
PK 4+060	7 sans refus	32	210	mpg
PK 4+500	7 sans refus	38	208	mpg
PK 5+000	7 sans refus	28	196	mpg
PK 5+500	5.9 avec refus	54	500	qcn
PK 5+700	5.39 avec refus	54	500	q
PK 5+995	7 sans refus	46	338	mpg
PK 7+920	7 sans refus	36	100	q
PK 8+375	7 sans refus	10	100	q
PK 8+700	7 sans refus	22	100	mpg
PK 9+270	3.38 avec refus	72	500	q
PK 9+765	7 sans refus	82	240	q
PK 10+100 (A)	0.97 avec refus	246	500	q
PK 10+100 (B)	1.38 avec refus	300	500	q
PK 10+265 (A)	1.15 avec refus	46	500	q
PK 10+265 (B)	1.15 avec refus	48	500	q
PK 10+470 (A)	0.8 avec refus	190	500	q
PK 10+470 (B)	0.6 avec refus	90	500	q
PK 10+470 (C)	2 avec refus	100	500	q
PK 11+100 (A)	1.10 avec refus	64	500	qec
PK 11+100 (B)	1.15 avec refus	48	500	qec
PK 11+665	7 sans refus	20	382	q
PK 12+265	7 sans refus	36	280	q
PK 12+470	5.4 sans refus	38	420	q
PK 12+475	2.5 avec refus	48	500	q
PK 13+525	7 sans refus	18	284	q
PK 14+075	5.4 sans refus	70	500	q
PK 14+365	7 sans refus	28	270	q
PK 15+200	2.8 sans refus	48	500	q
PK 16+765	2.3 avec refus	36	500	q
PK 17+765	7 sans refus	40	360	q

ANNEXE B.3

Tableau 3 : Résultat de essais au laboratoire des puits

Puits		Formation	Compactage			CBR	Cisaillement		
Localisation	Profondeur (m)		Type	Y_{opm} (t/m^3)	W_{opm} (%)	95%	Type	C'(kg/cm^2)	φ (°)
PK 0+980	0.30-2.50	q	Proctor Modifier	2.32	5.90				
PK 1+440	0.30-1.20	q	Proctor Modifier	2.27	6.30	32.0			
	1.50-2.50	q	Proctor Modifier	2.27	6.20	28.0			
PK 1+950	0.50-1.80	mp-g	Proctor Modifier	1.85	12.2	52.0			
PK 2+845	1.50-3.00	qcn	Proctor Modifier	1.77	14.7	4.3			
PK 3+000	1.50-3.00	qcn	Proctor Modifier	1.93	11.4	3.7	CD	0.49	36.0
PK 3+120	0.70-3.00	mp-g	Proctor Modifier	1.80	14.6	2.4			
PK 3+300 (1)	0.60-1.90	mp-g	Proctor Modifier	1.48	22.4	1.8	UU	1.60	34.3
	1.90-3.00	mp-g	Proctor Modifier	1.64	13.2				
PK 3+300 (2)	0.90-2.60	mp-g	Proctor Modifier	1.60	18.5	0.9			
PK 3+300 (3)	0.60-3.00	mp-g	Proctor Modifier	1.37	26.8		UU	0.94	32.9
PK 4+060	0.70-3.00	mp-g	Proctor Modifier	1.59	16.5		UU	1.40	31.0
PK 4+500	2.20-3.00	mp-g	Proctor Modifier	1.73	14.3	1.1	UU	1.70	38.7
PK 5+000	0.50-1.80	mp-g	Proctor Modifier	2.11	8.60	37.0			
PK 5+500	0.70-3.00	mp-g	Proctor Modifier	1.84	11.4	1.3	CD	1.10	24.7
PK 5+800	0.50-2.50	q	Proctor Modifier	2.00	12.0	30.0			
PK 6+350	1.20-3.00	q/mp-g	Proctor Modifier	1.64	13.2	13.1	CD	0.10	40.2
PK 6+850	0.60-1.20	q	Proctor Modifier	1.89	13.7				

Puits		Formation		Identification physique						Composition chimique			
Localisation	Profondeur		80μ (%)	W (%)	Yd (t/m^3)	Yh (t/m^3)	WL	WP	IP	SO_3^- (%)	Cl (%)	CO_3Ca (%)	M.O (%)
0+800	0.30-3.00	q	10.0	1.61	2.18	2.22				3.13	3.86	9.30	0.22
0+850	0.30-1.30	q	24.0	3.38	1.63	1.69				8.73	7.7	10.60	0.15
	1.30-3.00	q	18.0	13.40	2.25	2.55				6.88	6.94	4.90	1.18
0+980	0.30-2.00	q	16.0				33.4	22.1	11.4				
1+440	0.30-1.20	q					25.0	13.4	11.6				
1+950	0.30-0.80	mp-g					39.0	25.0	14.0				
2+200	0.60-1.60	q	85.0	5.35	1.78	1.88				12.89		13.60	0.06
2+845	1.50-3.00	qcn	94.0				67.0	32.5	34.5				
3+000	2.00-3.00	qcn	82.0				44.0	21.3	22.7				
3+120	0.70-3.00	mp-g	66.9				66.9	21.0	45.9				
3+300 (1)	0.60-1.90	mp-g	68.0				146.4	57.1	89.3				
3+300 (2)	0.90-2.80	mp-g	78.0				151.0	53.9	97.2				
3+300 (3)	0.60-2.50	mp-g	88.0				130.4	54.5	75.9				
3+600	0.20-2.00	mp-g		5.00	1.69	1.77				4.69		6.20	0.14
	2.00-3.00	mp-g	43.0	5.45	1.71	1.80	59.7	23.1	36.6	23.57		16.20	0.09
3+850	0.30-2.40	qcn	59.9	7.10	1.63	1.75	59.9	23.0	36.9	3.46	9.32	23.40	0.64
	2.40-3.00	qcn	39.0	12.30	1.31	1.47	107.1	47.0	60.1	15.73	3.87	23.30	0.64
4+060	0.70-3.00	mp-g					74.2	32.0	42.2				
4+500	2.20-3.00	mp-g					106.0	42.7	63.2				
5+000	0.50-1.80	mp-g					48.2	28.6	19.6				
5+500	0.70-3.00	mp-g					61.0	26.4	34.6				
5+700	0.50-1.50	q					59.7	32.5	27.1				
6+350	1.20-3.00	q/mp-g	84.0				69.9	32.0	37.9				
6+650	0.60-1.20	q					76.4	33.3	43.1				
7+920	0.20-2.80	q	91.0	45.70	1.04	1.52				2.26		6.70	0.05
8+375	0.20-3.00	q	92.0	69.24	0.72	1.22	90.4	45.6	44.9	0.95	1.15	9.80	0.13
8+870	0.50-2.50	q		6.44	1.48	1.58				6.46		17.40	0.15
9+270	2.10-3.00	q	90.0	13.64	1.32	1.50	34.3	14.0	20.3	14.7	5.43	17.30	0.02

10+265	1.5-2.10	q	42.0	9.66	1.61	1.77	65.4	32.6	32.8	7.58	10.73	14.20	1.60
11+035 (1)	0.80-2.00	qec	12.0	5.80	1.73	1.83				15.12		31.90	0.37
11+035 (2)	0.70-3.00	qec	30.0	4.34	2.17	2.26				15.94		31.00	0.21
11+665	0.40-2.50	q		8.60	1.40	1.52				14.46		7.30	0.11
12+265	0.40-1.40	q	46.0	11.15	1.48	1.65	23.4	16.5	6.8	4.86		8.70	1.47
12+765	0.30-1.90	q	45.0	10.10	1.78	1.96	30.0	11.6	18.4	21.63		9.70	0.84
14+365	0.50-2.5	q	96.0	6.40	1.63	1.73	48.1	17.0	31.1	14.99	2.87	11.2	0.06
	0.70-1.2	q	61.0	6.44	1.83	1.94	33.4	16.0	17.4	7.05		10.2	2.09
14+765	0.80-1.80	q	32.0	4.70	1.60	1.68	26.6	15.0	11.6	23.65	12.9	21.2	0.04
15+765	0.60-2.00	q	85.0	12.10	1.30	1.46	38.2	16.0	22.2	11.8		13.9	0.08
17+765	0.50-1.00	q		6.60	1.44	1.54	28.1	11.0	17.1	16.64		36.5	0.02

ANNEXE B.4

Tableau 4 : Résultat de essais au laboratoire des sondages

Sondage		Formation	Compression simple		Cisaillement			OEDOMETRE							
Loc	Prof		σ (kp/cm^2)	ε	Type	c' (kg/cm$^{3)}$	φ (°)	e0	Cc	Cs	P.C (Kp/cm^2)	P.G (Kp/cm^2)	e0	ef	G.L (%)
0+570	4.20-4.50	q			CD	0.23	25.2	0.594	18.6	2.06	3.82				
	5.80-6.10	q	0.5000	2.9								0.3000	0.652	0.692	2.42
	7.70-8.00	q			CD	0.11	21.3	0.522	9.63	2.0	2.64				
	9.50-9.80	q	6.3300	3.0								0.5200	0.725	0.758	1.91
2+650	2.00-2.30	qcn				0.25	24.4	1.299	46.01	15.28	31.7				
	4.00-4.30	qcn	2.1900	2.8								0.4000	1.002	1.023	1.05
	5.60-6.00	mp-g						0.967	16.61	2.31	2.63				
	8.00-8.40	mp-g	2.6100	2.6								0.3300	0.921	0.936	0.33
	10.0-10.4	mp-g			CD	0.19	22.8								
3+300 (A)	2.00-2.35	mp-g			CD	0.32	25.6	0.686	20.6	3.62	3.55				
	4.10-4.30	mp-g	1.2100	2.8								0.03200	2.502	2.557	1.57

	10.0-10.3	mp-g			CD	0.55	33.0	0.826	22.00	3.34	4.7				
	12.0-12.4	mp-g	4.4200	2.6	CD	0.15	24.2		22.00	3.34	4.97				
3+300 (B)	2.00-2.40	mp-g			CD	0.10	28.8	2.081	62.01	14.99	2.59				
	4.00-4.25	mp-g	0.8400	14								0.2400	1.396	1.443	1.96
	13.3-13.6	mp-g	.38600	2.4								0.3200	0.981	1.022	2.07
5+700	7.14-7.40	mp-g			UU	1.25	33.0								
	9.00-9.28	mp-g	8.9900	2.9								3600	1.903	1.914	0.38
	11.0-11.35	mp-g			CD	0.87	29.2								
	13.7-14.00	mp-g	0.3100	1.2								0.1100	0.492	0.525	2.21
6+350	10.0-10.40	mp-g			CD	0.69	27.0	2.356	47.84	4.99	6.04				
	12.75-13.0	mp-g	0.8400	3.2				1.556	11.16	1.94	1.36				
9+270	2.05-2.56	q	0.0900	3.0											
	5.10-5.37	q	0.1100	4.2								0.8000	0.92	0.93	0.57
	8.70-8.95	mp			CD	0.98	6.9		30.89	4.41	3.20				
	10.5-11.2	mp			CD	0.62	24.3					0.0800	1.132	1.136	0.19

10+765	3.10-3.20	qcn		0											
	5.30-5.85	qcn										3.0300	0.507	0.557	3.32
	6.00-6.40	mp			UU	0.85	11.9								
	7.00-7.30	mp							67.77	8.14	3.44				
	11.0-11.4	mp			UU	0.61	21.4					0.0700	1.882	1.887	0.17
	12.5-13.0	mp	0.1300	4.8								0.1900	0.689	0.690	0.06
11+035	7.50-7.70	c6	0.0010	0											
	8.40-8.60	c6	0.0020	0											
	9.50-9.85	c6	0.0020	0											
	12.5-12.85	c6	0.0410	0											
13+035	3.50-3.70	q			UU	0.45	5.7					0.2900	0.708	0.719	0.64
	4.00-7.00	q							18.27	2.31	2.99				
14+075	2.35-2.70	q			UU	0.75	17.3					0.8500	0.572	0.603	1.97
	3.55-3.85	q	0.0500	4.4					19.93	3.83	2.31				
	5.50-5.80	q			CD	0.33	13.9					0.1300	0.627	0.631	0.25

Annexe C.1

Tableau 3: caractérisation de la couche d'assise

Paramètres	Epaisseur (m)	Caractéristiques
E	0.70	Pour les plateformes de classe P1
	0.55	Pour les plateformes de classe P2
	0.45	Pour les plateformes de classe P3
a	0.00	Pour les groupes UIC1 et 2 (ou les lignes à vitesse ≥160 km/h quelque que soit le groupe UIC)
	-0.05	Pour les groupes UIC 3 et 4
	-0.10	Pour les groupes UIC 5,6 et 7, 8,9 avec voyageurs
	-0.15	Pour les groupes UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
b	0	Pour les traverses bois de longueur = 2.60 m
	(2.5-L) /2	Pour les traverses en béton de longueur L (L en m, b en m, b peut être négatif si L ≥ 2.5 m)
c	0.00	Pour un dimensionnement normal
	-0.10	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
	-0.05	A titre exceptionnel dans les opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe autres que UIC 7,8 et 9 sans voyageurs
d	0.00	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN
	0.05	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN
	0.12	Quand la charge maximale des essieux des véhicules remorqués ne dépasse pas 250 KN
f	0.00	Pour toutes les lignes à V≤ 160 km/h et pour les plateformes P3 des lignes à grandes vitesses
	0.05	Quand les plateformes P2 des lignes a grandes vitesses
	0.10	Pour les plateformes P1 des lignes à grandes vitesses
g	+ géotextiles	Lorsque la couche de forme est en sol QS1 er QS2
	0.00 pas de géotextile	Lorsque la couche de forme est en sol QS2 avec de bonnes conditions de drainage et QS3

ANNEXE C.2

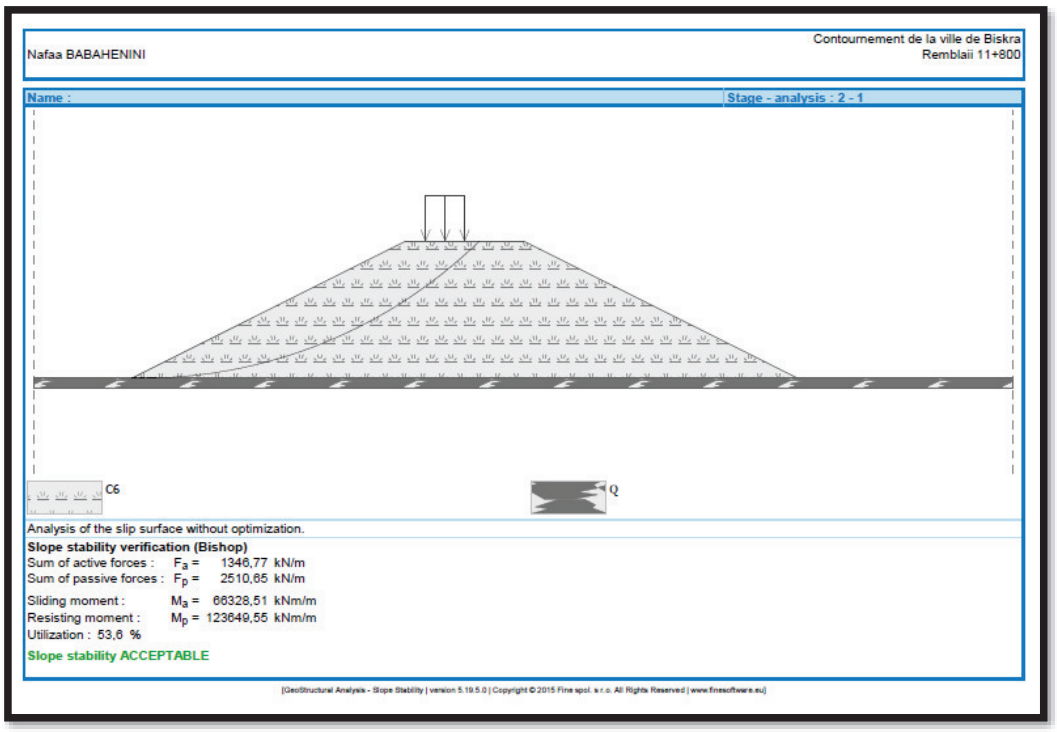


Figure 30 : caractérisation de la pente de remblai PK11+800

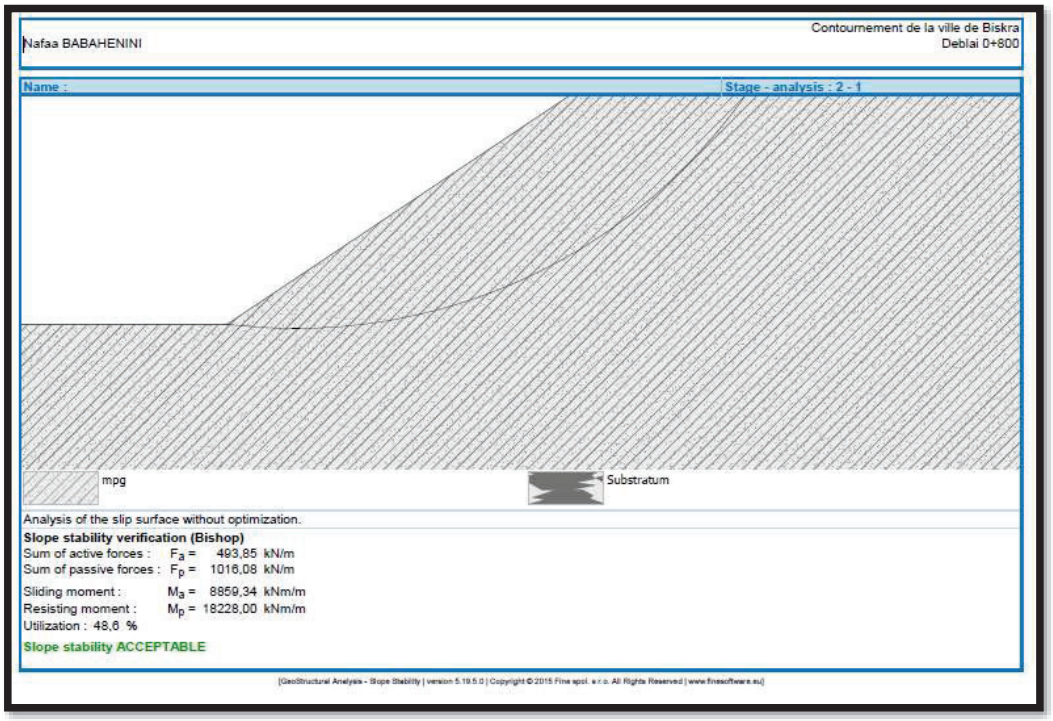


Figure 31 : caractérisation de la pente de déblai PK0+800

Tableau E.1 : milieux touchés et importance des impacts

Milieu	Elément touché	Source d'impact	Description	Valeur de la perturbation	Intensité, Etendue, Durée	Importance de l'impact
Physique	Oueds et écoulement d'eau	Travaux de contournement	Pollution et perturbation du système hydrologique	Important	Forte, Locale, Temporaire	Moyenne
	Stabilité des sols	Travaux de contournement	Erosion	Important	Forte, Ponctuelle, Temporaire	Moyenne
	Zone d'emprunts	Exploitation des gisements	Erosion	Faible	Moyenne, Ponctuelle, Temporaire	Faible
Naturel	Faune et flore	Travaux de contournement	Irruption des passages de la faune et destruction des habitats naturels	Important	Forte, Locale, Temporaire	Moyenne
		Exploitation de la ligne ferroviaire				
Humain	Lignes électriques	Travaux de contournement	Délocalisation	Moyenne	Faible, Locale, Temporaire	Faible
	Conduites de gaz					
	Terrains agricole	Travaux de contournement	Consommation de superficie	Moyenne	Moyenne, Ponctuelle, Permanente	Faible
		Construction de la gare				
	Palmeraies	Exploitation de la gare	Pollution des sols et réduction de la production	Important	Forte, Locale, Permanente	Moyenne
	Habitations	Travaux et exploitation de la gare	Sécurité menacée	Important	Forte, Ponctuelle, Permanente	Moyenne
	Briqueterie		Gêne sonore	Faible	Forte, Ponctuelle, Temporaire	Faible
		Exploitation de la voie	Sécurité des engins	Moyenne	Moyenne, Ponctuelle, Permanente	Moyenne
		Travaux de contournement	Perturbation de la production	Faible	Moyenne, Locale, Permanente	Faible