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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude en avant-projet détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire électrifiée entre Mechria et El Bayadh pour une exploitation à 220 km/h du PK120+000 au PK130+000 avec la conception de la gare d'El Bayadh

Présenté par :

LAMARI Asma
BOUCHENAFA Oussama Mohamed

Encadré par :

Mr GOUMETTRE Ahmed
Mr FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2018 /2019

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

REMERCIMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, Nous tenons à remercier vivement Mr Goumettre Ahmed pour toute la confiance qu'il nous a accordée en acceptant la responsabilité de la direction de notre mémoire. Il fût au long de ce travail notre principal conseiller et interlocuteur. Son soutien nous a beaucoup aidés surtout pendant les moments de doute et d'incertitude. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous tenons à remercier Mr.Dearradji qui a participé à l'encadrement de notre thèse. Il nous a fait profiter notamment de son expérience, de ces compétences et de son savoir-faire dans la conception. Nous lui adressons notre sincère gratitude.

Nous exprime également nos remerciements à Mr.Fedghouche pour l'encadrement du master.

Nos vifs remerciements sont également aux membres de jury pour avoir accepté la lourde tâche de rapporter notre mémoire et pour leur participation.

Nos remerciements s'adressent également aux enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous voudrons également remercier Mr Baghdadi le chef département de STARR pour son soutien, ses conseils et sa bonne humeur.

Nous aimerais remercier tous les membres de l'équipe de l'entreprise STARR, GRMB et la DTP de Tlemcen. En particulier, nous remercie chaleureusement Mr. Tounsi, le chef de projet Mr. ADJDIR, Yacine kherbouche, Mr.Béchar et Mr Houari pour leur disponibilité à nous fournir des informations dont nous avons besoin pour notre travail.

Nous citons aussi : Houssam Ben Messaoud, Yacine Ouari; sans qui ce travail n'aurait certainement pas pris la forme actuelle. Les nombreuses et diverses discussions que nous avons eues ont été fort utiles. Grace à eux, nous avons acquis une vision technique de la voie ferrée, en s'éloignant de l'aspect théorique et en ouvrant une autre dynamique.

Nous tenons à remercier aussi toute l'équipe de la bibliothèque pour leurs patiences, leurs soutiens et pour les nombreux ouvrages qu'ils ont mis à notre disposition.

Enfin, nous ne remercierons jamais assez nos parents, nos sœurs et frères pour leur soutien inconditionnel et leur amour. Nous leur dédions ce travail.

Asma et OUSSAMA

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

(و لا تقولن لشيء اني فاعل ذلك غدا (23) الا ان يشاء الله واذكر ربك اذا نسيت و قل عسى أن يهديني ربي لأقرب من هذا رشدا (24))

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات و ما توفيقي الا بالله عليه توكلت و هو رب العرش العظيم.

الى من كلله الله بالهيبة و الوقار... الى من أحمل اسمه بكل افتخار... ارجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد انتظار وستبقى كلماتك نجوم اهتدي بها اليوم و في الغد و الى الابد ..**والدي العزيز**.

الى من شقيت لنسعد، الى ملاكي فالحياة الى معنى الحب و الحنان الى بسمة الحياة وسر الوجود الى من كان دعائها سر نجاحي. .. **امي الغالية**.

الى اخوتي و رفيقات دربي في هذه الحياة، الى من أرى التفائل بعينهن و السعادة في ضحكتهن.. في نهاية مشواري هذا أريد أن أشكرهن على موافقهن النبيلة... الى من تطلعن لنجاحي بنظرات الامل... أخواتي **خديجة، نبيلة، فضيلة، حفصة، زهرة**.

الى أخي العزيز اسماعيل ، وفقه الله لكل ما يحب ويرضى.

الى أبناء أخواتي **حسام، زياد، مريم**

الى أزواج أخواتي ، عبد القادر، محمد.

الى جميع أفراد الأسرة صغيرا وكبيرا، الى كل من يحمل لقب : **لعماري و بوداود**.

الى الأخوة و الاخوات، الى من تحلو بالإخاء و تميزوا بالوفاء و العطاء الى ينابيع الصدق الصافي الى من معهم سعدت... الى من كانوا معي على طريق النجاح والخير... الى من عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم...أصدقائي : **نادية ، حميدة، ايمان**.

الى زميلي في هذا المشوار : **أسامة محمد بوشنافة**.

الى كل من علمني و لو حرفا واحدا، الى كل أساتذتي...شكرا

بسببكم أنا هنا وأنا هذا وأنا ما عليه الآن، أهدي اليكم هذا العمل المتواضع وعسى أن أرد جميلكم ولو بالقليل

أسماء لعماري

Dédicace

Tout ***d'abord, je tiens à remercier le bon dieu,***

De nous avoir donnée la force et la patience pour faire et terminer ce travail.

Je dédie ce travail

A mes très chers parents

Vous êtes ma source d'amour et de bonheur. Merci beaucoup pour votre aide et votre sacrifice.

A mes frères

ISHAK et NOUFEL.

A mes grands-pères et mes grandes mères.

A mes oncles et mes tentes

HAMMIDE, YOUCEF, NAIMA, SOULEF ET SALIMA.

A mes coussins

WASSIM, BAHAA, ILYAS, ZAKI ET BRAHIM.

A MR : GOUMETER AHMED

Pour les conseils et l'aide durant la période de ce travail, un grand merci monsieur.

A mon binôme LAMARI ASMA

Pour sa patience, sa compréhension, sa compétence et sa professionnalisme, un grand merci ma sœur.

A mes amis (prof)

MR DERRADJI ET SACI

A mes amis

AGHILAS, CHAKIB, MOSTAPHA, AIMEN, IMAD, ADEL, HAKIM ET AMROU.

A TOUT LA PROMOTION 2019

B.M.OUSSAMA

Résumé

Le présent mémoire est consacré essentiellement à l'étude avant-projet détaillé (A.P.D) d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Mechria / El bayadh (tronçon de 10 km), avec aménagement de la gare d'El Bayadh.

L'étude a été menée conformément aux normes en vigueur (code de l'union internationale des chemins de fer). Différentes disciplines techniques ont été consultées et appliquées. Les outils de calcul utilisés sont les Logiciels Civil 3D et Autocad. Le tracé en plan et le profil en long ont été géométriquement optimisés et répondent aux conditions de confort et de sécurité. Les couches d'assises ont été définies et dimensionnées.

Les aspects environnementaux ont été abordés. Un devis estimatif a été proposé.

Mot clé :

Ballast, traverse, appareil de voie, bassins versant

Abstract

This memory is devoted mainly to the detailed preliminary design (A.P.D) of a section of the new Mechria / El bayadh single-track railway line (10 km section), with the development of El Bayadh station.

The study was conducted in accordance with the standards in force (code of the International Union of Railways). Different technical disciplines were consulted and applied. The calculation tools used are Civil 3D Software and Autocad. The plan layout and the longitudinal profile have been geometrically optimized and meet the requirements of comfort and safety. The layers of seating have been defined and sized.

Environmental aspects were discussed. An estimate has been proposed.

Keyword:

Ballast, crossbeam, switchgear, watersheds.

ملخص

هذه الأطروحة مخصصة بشكل أساسي للتصميم الأولي التفصيلي لقسم من خط السكة الحديدية أحادية المسار الجديدة مشرية / البيض (10 كم)، مع انشاء محطة البيض.

أجريت هذه الدراسة وفقا لمعايير (الاتحاد الدولي للسكك الحديدية) مختلف التخصصات التقنية تم تطبيقها، الأدوات الحسابية في البرنامج تم وضع محور في مستوى مقطع طولي أمثل هندسية و المتوافق مع شروط الراحة و الأمان، وقد تم كذلك تحديد مختلف الطبقات الأساسية المكونة للقاعدة و تعيين حجمها، كما تمت مناقشة الجوانب البيئية و أخيرا تم اقتراح تقدير مالي للمشروع

الكلمات المفتاحية :

السكة الحديدية، محطة، التصميم، المنشئات الفنية، محطة نقل المسافرين.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I: la fatigue du contact roue rail

I.1. INTRODUCTION : 2

I.2. DESCRIPTION DU FATIGUE DE CONTACT ROUE/RAIL : 3

I.3. TYPES DE FCR DU RAIL : 5

I.4. CONSEQUENCES DU CONTACT SUR LA MICRO-STRUCTURE DU RAI…..6

I.4.1. Fatigue de contact : de la déformation élastique à la fissuration : 6

I.4.1.1. Conséquences de la fatigue de contact avant fissuration : 7

I.4.1.2. Conséquences de la fatigue de contact après fissuration **:** 9

I.5. METHODES DE DIMINUTION DE LA FORMATION DES FISSURES PAR FCR DU RAIL : 10

REFERENCE DU MASTER…….. ……10

CHAPITRE II: le transport ferroviaire

II.1. Introduction **:** 11

II.2. AVANTAGE DES CHEMINS DE FER : 11

II.3. HISTOIRE DE LA VOIE FERREE DANS LE MONDE : 11

II.4. HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE **:** 12

II.4.1. Période coloniale : 12

II.4.2. Période post coloniale : 13

II.5. INVESTISSEMENT ET PROGRAMME D'EXTENSION DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION : 13

II.5.1. L'investissement dans le secteur : 14

II.5.2. Perspectives de développement du réseau ferroviaire : 16

II.6. CONCLUSION : 18

CHAPITRE III: présentation du projet

III.1. INTRODUCTION : 19

III.2. PRESENTATION DU PROJET : 19

III.3. OBJECTIF DU PROJET **:** 20

III.4. CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA LIGNE PROJETE : 21

III.5. PRESENTATION DES VILLES LIMITROPHE AU PROJET **:** 21

III.6. CHOIX DE VARIANTE DE TRACE **:** 22

III.6.1. L'étude d'un projet de voie ferrée est répartie en 3 phases **:** 22

III.6.2. Etudes des phases antérieures 22

III.6.2.1. Étude préliminaire (EP) l'étude d'avant-projet sommaire (APS) **:** 22

III.7. CONCLUSION : 23

CHAPITRE IV: tracé en plan

IV.1. INTRODUCTION : 24
IV.2. CRITERE DE CONCEPTION : 24
IV.2.2. Conditions et règles à respecter : 24
IV.2.2. Les Éléments du tracé en plan : 24
IV.2.3.Les paramètres géométriques de conception du tracé : 25
IV.2.3.1. Rayon minimal : 25
IV.2.3.2. Devers : d [mm] 25
IV.2.3.3. Raccordement progressive : 28
IV.3. APPLICATION AU PROJET : 29
IV.4. CALCUL D'AXE : 32
CONCLUSION : 32

CHAPITRE V: profil en long

V.1. INTRODUCTION : 33
V.2. CRITERE DE CONCEPTION : 33
V.2.1 Règle de création de profil en long : 33
V.2.2. Les éléments caractéristiques du profil en long : 33
V.2.2.1. Déclivité : 33
V.2.2.2. Longueur, et rayon minimal du profil en long : 34
V.3. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN : 34
V.4. CALCUL DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG : 34
V.5. CONCLUSION : 36

CHAPITRE VI: étude géologique et géotechnique

VI.1. PARTIE A : ETUDE GEOLOGIQUE 37
VI.1.1. Introduction A : 37
VI.1.2. Encadrement géologique et tectonique de la région : 37
VI.1.3. Cadre géomorphologique : 37
VI.1.4. Contexte géologique de la zone d'étude : 37
VI.1.5. Cadre sismique : 39
VI.1.6. Conclusion A : 40
VI.2. PARTIE B : ETUDE GEOTECHNIQUE : 40
VI.2.1. Introduction B : 40
VI.2.2. Essais in situ : 40

VI.2.2.1. But des essais in situ : 40
VI.2.2.1. Sondage carotté: 40
VI.2.2.3. Puits de reconnaissance : 41
VI.2.2.4. Sondage pressiométrique : 42
VI.2.2.5. Essai au pénétromètre dynamique lourd : 42
VI.2.3. Essais au laboratoire : 43
VI.2.3.1. Analyses granulométrique du sol : 43
VI.2.3.2. Essai au bleu méthylène : 43
VI.2.3.3. Essais limites d'Atterberg : 43
VI.2.3.4. Analyses chimique des sols : 44
VI.2.3.5. Essai teneur en eau : 44
VI.2.3.6. Essai Proctor : 44
VI.2.3.7. Essai CBR : 44
VI.2.3.8. Essai de cisaillement rectiligne : 45
VI.2.3.9. Essai de compressibilité à l'œdomètre : 45
VI.2.4. Classification des sols sur le long du tracé : 45
VI.2.5. Conclusion : 48

CHAPITRE VII: dimensionnement de la couche d'assisse

VII.1. INTRODUCTION : 49
VII.2. COUCHE DE BALLAST : 49
VII.2.1. Définition : 49
VII.2.2. Rôle de la couche de ballast : 49
VII.2.3. Caractéristique du ballast : 49
VII.2.3.1. Caractéristiques physiques : 49
VII.2.3.2. Caractéristiques mécaniques : 50
VII.3. LA SOUS COUCHE : 50
VII.3.1. Définition : 50
VII.3.2. Rôle de la sous couche : 50
VII.3.3. Composition de la sous couche : 50
VII.4. LA PLATE FORME : 51
VII.4.1. Couche de forme : 51
VII.4.2. Classe de portance de la plateforme : 51
VII.4.3. Epaisseur minimal des couches d'assisse : 51
VII.5. Application au projet : 53

VII.5.1. Epaisseur de la couche de forme : 53
VII.5.2. Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise : 53

CHAPITRE VIII: terrassement

VIII.1. INTRODUCTION : 54
VIII.2. DEBLAIS : 54
VIII.2.1. Les Caractéristiques des sections en déblais : 54
VIII.2.2. Les paramètres géotechniques : 54
VIII.3. REMBLAIS : 54
VIII.3.1. Les caractéristiques du section de remblais : 54
VIII.3.2. Caractéristiques géotechniques : 55
VIII.4. Etude de stabilité (à titre illustratif) : 55
VIII.5. GITES D'EMPRUNTS ET CARRIERES : 55
VIII.5.1. Gites d'emprunts : 55
VIII.5.2. Carrières : 56
VIII.6. REUTILISATION DES MATERIAUX DES DEBLAIS : 56
VIII.6.1. Conditions de réutilisations des matériaux de déblais (NF P11-300) : 56
VIII.7. CONCLUSION : 57

CHAPITRE IX: la superstructure de la voie

IX.1. INTRODUCTION : 58
IX.2. RAILS : 58
IX.2.1. Définition : 58
Fonctions : 58
IX.2.3. Caractéristiques : 58
IX.2.4. Profil de rail : 59
IX.3. Long rail soudé (LRS) : 61
IX.3.1. Fonctions : 61
IX.3.2. Soudures des LRS : 61
IX.3.3. Avantages et inconvénients des LRS : 61
IX.4. TRAVERSE : 62
IX.4.1. Fonctions : 62
IX.4.2. Les traverses monoblocs B70 : 62
IX.4.3. Avantages et inconvénients : 63
IX.5. ATTACHES DE RAIL ET LA SEMELLE DE RAIL : 63
IX.5.1. Définition : 63

IX.5.2. Fonctions : 63
IX.5.3. Types d'attaches: 64
IX.6. LES APPAREILS DE VOIE 64
IX.6.2. Fonction : 64
IX.6.3. Types des appareils de voie : 64
IX.6.4. APPAREILS DE VOIE UTILISEE DANS LE PROJET : 58
IX.7. CONCLUSION : 58

CHAPITRE X: l'étude hydrologique et assainissement

X.1. INTRODUCTION : 66
X.2. DESCRIPTION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE : 66
X.3. détermination des caractéristiques géomorphologiques des bassins versants : 66
X.3.1. Caractéristiques géométriques : 66
X.3.1.1. Superficie et périmètre : 66
X.3.1.2. Indice de compacité : Kc (ou K_G) 66
X.3.1.3. La longueur du rectangle équivalent : $L_{éq}$ (Km) 66
X.3.2. Caractéristiques topographiques : 66
X.3.3. Coefficient de ruissellement : Cr 66
X.3.4. Temps de concentration : Tc (heure) 67
X.4. CALCUL DES DEBITS DE CRUES : 69
X.4.1. Période de récurrence de la crue de projet (période de retour) : 69
X.4.2. Calcul des débits d'apport : 69
X.4.3. Intensité de pluies : 69
X.5. dimensionnement des ouvrages hydrauliques à projeter : 71
X.5.1. Règles à respecter dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques : 71
X.5.2. Drainage transversal : 72
X.5.2.1. Dimensionnement des ouvrages circulaires (les buses) : 72
X.5.2.2. Dimensionnement des dalots : 72
X.5.3. Drainage longitudinal : 76
X.5.3.1. Dimensionnement des fossés : 76
X.6. CONCLUSION : 76

CHAPITRE XI: le profil en travers

XI.1. INTRODUCTION : 79
XI.2. LES TYPES DE PROFIL EN TRAVERS : 79
XI.3. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET : 79

XI.4. CALCUL DES CUBATTURES : 80
XI.5. CONCLUSION : 80

CHAPITRE XII: les ouvrages d'arts

XII.1. INTRODUCTION : 81
XII.2. LES CRITERES DE CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART : 81
XII.2.1. Critères appliqués aux ouvrages d'art : 81
XII.3. LES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET : 82
XII.3.1. Pont rail : 82
XII.3.2. Passage inferieur (pont route) : 82
XII.4. DRAINAGE DES OUVRAGES D'ARTS : 82
XII.5. CONCLUSION : 82

CHAPITRE XIII: la conception de l gare

XIII.1. INTRODUCTION : 83
XIII.2. PRESENTATION DE LA GARE D'EL-BAYADH : 83
XIII.3. PRINCIPE DE BASE POUR L'ETUDE DE L'IMPLANTATION DE LA GARE : 83
XIII.4. LES TYPES DES GARES : 84
XIII.4.1. Gare de voyageurs : 84
XIII.4.2. Gare de marchandises : 84
XIII.4.3. Gare d'exploitation et de remisage : 84
XIII.5. RESEAU DE VOIE : 84
XIII.5.1. Nombre de voies : 84
XIII.5.2. Marge de glissement à l'aval des signaux : 84
XIII.5.3. Longueur utile d'une voie de stationnement : 85
XIII.5.4. Garages franc : 85
XIII.6. CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE LA GARE : 85
XIII.7. APPLICATION A NOTRE PROJET : LA GARE D'EL-BAYADH : 85
XIII.7.1. Implantation de la gare : 85
XIII.7.2. Les installations de la gare : 86
XIII.7.3. Assainissement dans la gare : 87
XIII.8. CONCLUSION : 87

CHAPITRE XIV: l'étude environnemental et social

XIV.1. INTRODUCTION : 88
XIV.2. CONTEXTE JURIDIQUE : 88

XIV.3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE : 88
XIV.4. L'ANALYSE DE L'ETAT INITIAL : 88
XIV.5. IDENTIFICATION DES SOURCES D'IMPACT : 88
XIV.6. MESURES D'INSERTION (D'INTEGRATION) : 89
XIV.6.1. Milieu physique : 89
XIV.6.2. Milieu biologique : 90
XIV.6.3. Milieu humain : 90
XIV.6.4. Passage et patrimoine : 91
XIV.6.5. Milieu ambiant : 91
XIV.7. PHENOMENE D'ENSEMBLEMENT ET DE DESERTFICATION : 91
XIV.7.1. Processus et dynamique de l'ensablement : 91
XIV.7.2. Perspectives de lutte contre la désertification et la pollution du ballast : 91
XIV.8. SUIVI ET BILAN ENVIRONNEMENTAL : 92
XIV.8.1. Le programme de surveillance environnementale : 92
XIV.8.2. Le programme de surveillance environnementale : 92
XIV.9. CONCLUSION : 92

CHAPITRE XV: la Signalisation, Télécommunication, Energie

XV.1. INTRODUCTION : 95
❖ Partie A : signalisation : 95
XV.2. LES OBJECTIFS D'INSTALATION DES SIGNALISATION : 95
XV.3. SYSTEME SIGNALISATION ERTMS/ETCS NIVEAU 2 : 95
XV.4. SIGNALISATION LATERAL LUMINEUSE : 96
❖ Partie B : Télécommunication 97
XV.5. TYPES DE SYSTEME DE TELECOMUNICATION : 97
❖ Partie C : Energie (alimentation en énergie) 98
XV.6. NOTION DE L'ALIMENTATION : 98
XV.7. PERFORMANCE ELECTRIQUE : 98
XV.8. CONCLUSION : 99
Devis quantitatif et estimatif 100
CONCLUSION GENERALE 101
Bibliographie 102

Les Annexes

ANNEXE A : PRESENTATION DU PROJET 104
ANNEXE B : TRACE EN PLAN 112

ANNEX C : PROFIL EN LONG 119
ANNEXE D : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE 125
ANNEXE E : TERRASSEMENT 135
ANNEXE F : ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT 141
ANNEXE I : ETUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE 18
ANNEXE J : SIGNALISATION, TELECOMMUNICATION, ENERGIE 152

Liste des figures

Figure I.1: accident du train Allemagne en juin 3
Figure I.2: accident du train en Italie 3
Figure I.3: Apparition et propagation des fissures par fatigue du rail 4
Figure I.4: Vitesse de propagation des fissures du rail selon leur longueur 5
Figure I.5: Head-checking 5
Figure I.6: Squats 6
Figure I.7: Réponses d'un matériau à un chargement cyclique 7
Figure I.8: Élongation des grains de perlite dans les couches superficielles d'un rail en service 8
Figure I.9: (a) Structure d'une dislocation, (b) Déplacement par glissement d'une dislocation pour un réseau cristallin soumis à un cisaillement τ 9
Figure I.10: Écaillages multiples de la bande de roulement de rail 10
Figure I.11: Tâche ovale décentrée (a) Faible propagation (b) Forte propagation 10
Figure II.1: le réseau ferroviaire algérien durant la période coloniale 1
Figure II.2: le réseau ferroviaire algérien avant 1980 (SNTF). 2
Figure II.3: le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1980 (SNTF). 2
Figure I.4: le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1990 (SNTF). 2
Figure II.5: le réseau ferroviaire algérien, investissement à partir de 2000 (SNTF). 2
Figure II.6 : le réseau ferroviaire algérien et son plan de développement (ANESRIF) 2
Figure III.1 : Plan de localisation du projet Mechria- El bayadh. 20
Figure III.2: fin du tracé au niveau de la RN47: El-Bayadh, Aflou, Laghouat 20
Figure 0.II.3 : plan d'ensemble de variante 1 retenue en phase APS. 23
Figure IV.1. : Les éléments du tracé en plan. 25
Figure IV.2. : Voies sans devers. 25
Figure IV.3 : Voies avec devers. 25
Figure IV.5. : Courbe de raccordement. 29
Figure IV.6: élément de la clotoïde 32
Figure IV.1. : Les éléments du profil en long. 35
Figure VI.1: alluvions, couche de sable et couche de grés crétacés par le cours d'eau. 38
Figure VI.2: reliefs formés par des grès crétacés. 38
Figure VI.3: formation argilo-sableuses superficielles ravinées par le cours d'eau. 39
Figure VI.4: représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas. 39
Figure VII.2 schématisation de la structure adoptée 53
Figure IX.1: les composantes d'un rail 58
Figure IX.2: Schéma d'inclinaison d'un rail 59
Figure IX.3 : Les différents types de rail (de gauche à droite : rail Vignole, rail à double champignon, rail à gorge) 59
FigureIX.4 : Schéma de profil de rail type 60 E1 (EN 1367-1). 60
Figure IX.5: traverse monobloc B70. 63
Figure IX.6: attache Nabla 64

Figure IX.7: Pandrol Fasct-clip 64
Figure IX.8: vossloh 64
IX.6.1. Définition : 64
Figure X.1: oued d'El-Bayadh au PK 129+700 66
Figure X.2: schéma d'une buse. 72
Figure X.3: schéma d'un dalot (pour Hr = 0.8 H) 72
Figure X.4: schéma d'un fossé. 76
Figure XIII.1: plan d'architecture de la gare d'El-Bayadh 83
Figure XIII.2: terrain réservé pour l'implantation de la gare 86
Figure XIV.1: ouvrage hydraulique provisoire sous la piste de chantier. 89
Figure XIV.2: mise en place d'un filtre dans un fossé longitudinal. 89
Figure XIV.5: protection par écran anti-bruit (écran acoustique) 91
Figure XIV.6: protection par butte de terre (merlon). 91
Figure XIV.7: phénomène d'ensablement sur la vois. 91
Figure XIV.8: vues en plan de solutions proposées pour lutter contre l'ensablement de la voie. 92
Figure XV.1: vue d'ensemble du système ETCS Niveau 2 96

Liste des tableaux

Tableau IV.1: les valeurs limites des éléments caractéristiques du tracé en plan pour une vitesse de 220 km/h (UIC 703R) 30
Tableau IIII.2 : les paramètres de conception du tracé en plan. 31
Tableau V.1: les valeurs de la longueur et du rayon minimal du profil en long 34
Tableau VI.1: la répartition de sismicité par chaque zone. 39
Tableau VI.2 : coefficient d'accélération. 40
Tableau VI.3: tableau récapitulatif des niveaux de l'eau souterraine *(données SETIRAIL).* 41
Tableau VI.4 : qualification de compacité du sol à partir de l'essai SPT *(NF.P 94-011)*.. 41
Tableau VI.5: qualification de compacité du sol à partir de l'essai pressiométrique (NF, P 94-011) 42
Tableau VI.6: qualification de compacité du sol à partir de l'essai au pénétromètre dynamique (NF.P94-011) 43
Tableau VI.7: classement du sol (UIC 719R) 46
Tableau IIII.8: définition de la classe de la qualité des sols (NF P113005) 46
Tableau VI.9: la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des sondages carottiers 47
Tableau VI.10: la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des puits de reconnaissance 48
Tableau VII1: les classes de portance de la plateforme (UIC719R) 51
Tableau VII.2 : les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R). 52
Tableau VII3: les couches d'assisse 53
envisagées. 53
Tableau VIII.1: localisation des zones de déblai 54
Tableau VIII.2: les paramètres géotechniques considérés pour les zones de déblai 54
Tableau VIII.5: paramètres géotechniques considérés pour les zones des remblai 55
Tableau IX.1 : Récapitulatif des inclinaisons. 58
Tableau IX.2: caractéristiques du rail UIC60 E1 (EN 13674-1). 60
Tableau IX.4: les caractéristiques de la traverse Monobloc B70 62
Tableau IX.5: les appareils de voie utilisés. 58
Tableau IX.6: diagrammes des appareils de voie (UIC 711R) 58
Tableau X.1: coefficient de ruissellement en fonction du période de retour T ≥10 ans 67
Tableau X.2: méthodes de calcul de temps de concentration 67
Tableau X.4: calcul des intensités et des débits. 70
Tableau X.5:valeurs de coefficient de rugosité. 71
Tableau X.6: les ouvrages busés et la vérification des conditions d'auto curage. 73
Tableau X.7: le dimensionnement des dalots avec la vérification des conditions. 74
Tableau X.8: calcul des débits d'apports pour les déblais. 77
Tableau XI.1: résultats de calcul des cubatures 80
Tableau XI.2: résultats de calcul des matériaux de la couche d'assise 80
Tableau XII: les ponts rails de notre projet 82
Tableau VI:le passage inferieur en cadre fermé 82

Tableau XIII.1: les voies selon l'importance des gares (SNTF) 84
Tableau XIII.2: les caractéristiques géométriques recommandées pour la gare (SNTF). ... 85
Tableau XV.1: caractéristiques principales de l'ETCS Niveau 2. 96

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SYMBOLES

Abréviation et symboles utilisés dans le tracé en plan

symbole	désignation	unité
$\mathbf{V_V}$	Vitesse des trains les plus rapides (voyageurs).	km/h
$\mathbf{V_M}$	Vitesse des trains les plus lents (marchandises).	km/h
$\mathbf{V_r}$	Vitesse de référence.	km/h
$\mathbf{L_{min}}$	Longueur minimum de l'alignement.	m
$\mathbf{R_{min}}$	Rayon minimum de courbe.	m
d	Dévers.	mm
$\mathbf{d_{thv}}$	Dévers théorique (dévers d'équilibre) pour les trains voyageurs.	mm
$\mathbf{d_{thm}}$	Dévers théorique (dévers d'équilibre) pour les trains marchandises.	mm
$\mathbf{d_p}$	Dévers prescrit (pratique, normal).	mm
C	Coefficient de dévers.	-
L	Longueur du clotoïde.	m
A	Paramètre du clotoïde.	-
I	Insuffisance de dévers.	mm
$\mathbf{I_{max}}$	Insuffisance de dévers maximale.	mm
E	Excès de dévers.	mm
$\mathbf{E_{max}}$	Excès de dévers maximal.	mm
$\frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta \boldsymbol{I}}$	Variation du dévers en fonction de la longueur.	mm/m
$\frac{\boldsymbol{dd}}{\boldsymbol{dt}}$	Variation de dévers par rapport au temps.	mm/s
$\frac{\Delta \boldsymbol{I}}{\Delta \boldsymbol{t}}$	Variation de l'insuffisance de dévers.	mm/s

Abréviation et symboles utilisés dans l'étude géotechnique

symbole	désignation	unité
F	Sondage carottier.	-
SPT	Essai de pénétration au carottier.	-
N_0	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'amorçage de 0 à 15 cm.	-
N_1	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'essai de 15 à 30 cm.	-
N_2	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'essai de 30 à 45 cm	-
N_{SPT}	Résistance à la pénétration	-
PU	Puits de reconnaissance.	-
SP	Sondage pressiométrique.	-
PDL	Pénétromètre dynamique lourd	-
< 80 µm	Pourcentage des tamisas qui ont un diamètre inférieur a 80µm.	**%**
< 2 mm	Pourcentage des tamisas qui ont un diamètre inférieur à 2mm.	**%**
D_{max}	Diamètre maximal des granulats.	**mm**
VBS	Valeur de bleu de méthylène.	-
W_P	Limite de plasticité.	-
W_L	Limite de liquidité.	-
ωn	Teneur en eau naturel.	**%**
I_P	Indice de plasticité.	-
I_C	Indice de consistance.	-
γ	Poids volumique du sol.	**kN/m^3**
γd	Poids volumique du sol sec.	**kN/m^3**
γs	Poids volumique des particules solides.	**kN/m^3**
γw	Poids volumique de l'eau.	**kN/m^3**
CBR	California Bearing Ratio	-
QS_1	Classe du sol.	-
P_1	Classe de la plateforme.	-

Normalisations des essais

Type d'essai	Nom d'essai	norme
Essai in-situ :	Essai SPT (Standard Pénétration Test).	• NF P 94-116.
	Puits de reconnaissance.	• NF P 94-119.
	Essai pressiométrique Ménard.	• NF P 94-110.
	Essai au pénétromètre dynamique lourd.	• NF P 94-114.
Essai au laboratoire :	Détermination de la teneur en eau.	• **NF P 94-050.**
	Limites d'Atterberg.	• **NF P 94-051.**
	Valeur au bleu de méthylène.	• **NF P 94-068.**
	Densité apparente.	• **NF EN1097-3**
	Analyse granulométrique.	• **NF P 94-056.**
	Analyse sédimentométrique.	• **NF P 94-057.**
	Détermination de la teneur en carbonates	• **NF P 94-048.**
	Essai CBR (Portance d'un sol).	• **NF P 94-078-1** • **NF P 94-078-2**
	Essai PROCTOR simple/ modifié	• **NF P 94-093.**
	Essai de cisaillement rectiligne CD.	• **NF P 94-071-1**
	Essai œdométrique.	• **NF P 94-090-1**
	Essai de compression uniaxial (sol et roc).	• **NF P 94-077.** • **NF P 94-420.**
	Matières organiques.	• **NF P 94-055** • **NF P 94-058** • **XF P 94-047**
	Teneur en sulfates.	• NF ISO 11048
	Teneur en carbonate.	• **NF P 94-048**
	Teneur en chlorures.	• **NF EN 196-2**

Abréviation et symboles utilisés dans l'étude hydrologique

symbole	désignation	unité
S	Superficie d'un bassin versant.	m^2
P	Périmètre d'un bassin versant.	m
Kc	Indice de compacité.	-
$L_{éq}$	La longueur du rectangle équivalent.	Km
Hmin	Altitude minimale d'un bassin versant.	m
Hmax	Altitude maximale d'un bassin versant.	m
Hmoy	Altitude moyenne d'un bassin versant.	m
Δh	Le dénivelé.	m
I_P	Pente moyenne.	m/m
Cr	Coefficient de ruissellement.	-
L_W	Longueur du talweg principal.	Km
T_C	Temps de concentration.	Heure
T	Période de retour de l'averse.	ans
Qa	Débit d'apport.	m^3/s
Qs	Débit de saturation.	m^3/s
I	Intensité de pluie.	mm/h
Sm	Surface mouillée de l'ouvrage.	m^2
Pm	Périmètre mouillé de l'ouvrage.	m
Rh	Rayon hydraulique.	m
i	Pente de pose de l'ouvrage.	%
Kst	Coefficient de rugosité (coefficient de MANNING-STRICKLER.).	-
Qps	Débit a plein section.	m^3/s
V	Vitesse d'écoulement.	m/s

Ø	Diamètre de la buse.	mm
Hr	Hauteur de remplissage.	m
hcritique	Hauteur critique.	m
H	Hauteur du dalot.	m
b	Largeur du dalot.	m
n	Nombre des cellules.	-

Abréviation utilisées dans la signalisation, la télécommunication et l'énergie

abréviation	Termes techniques
ATP	Dispositif de protection automatique des trains (Automatic Train Protection)
ERTMS	Système européen de gestion du trafic ferroviaire (European Rail Traffic Management System)
ETCS	Système européen de contrôle des trains (European Train Control System)
GSM-R	Système mondial de communications mobiles pour les chemins de fer (Global System for Mobile Communication-Railroad)
LEU	Unité de contrôle de la piste (Line side Equipment Units)
MMI	Interface Homme Machine
PCC	Poste de commande centralisé
REM	Radio communication pour l'opérateur et le mainteneur
RST	Radio communication du sol-train (Radio Sol Train)
SDH	Système numérique de transmission (Digital Transmission System)
UIC	Union internationale de chemin de fer
UPS	Alimentation sans interruption (Uninterruptible Power Supply)

INTRODUCTION GENERALE

L'analyse de la situation des pays développés montre que le secteur du transport constitue une base au plan du développement national et de la croissance économique et qu'il est un secteur clé pour le développement d'un territoire donné. Dans une économie moderne, le transport joue un rôle prépondérant car il facilite non seulement des échanges entre agents économiques, mais il améliore également la circulation des personnes, des biens, en même temps qu'il participe au raffermissement des liens d'amitié et de fraternité entre les peuples.

En Algérie, le secteur du transport connaît une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés où sont en phase de réalisation, afin de rendre ce secteur plus performant et plus efficace dans sa contribution dans le développement économique du pays.

Le transport ferroviaire constitue actuellement l'un des moyens les plus importants et les plus performants du transport terrestre de passagers et de marchandises. Ce développement qui s'est produit sur plus d'un siècle, s'est accompagné d'une augmentation régulière des vitesses des trains, des charges et du trafic que les voies de chemins de fer doivent supporter.

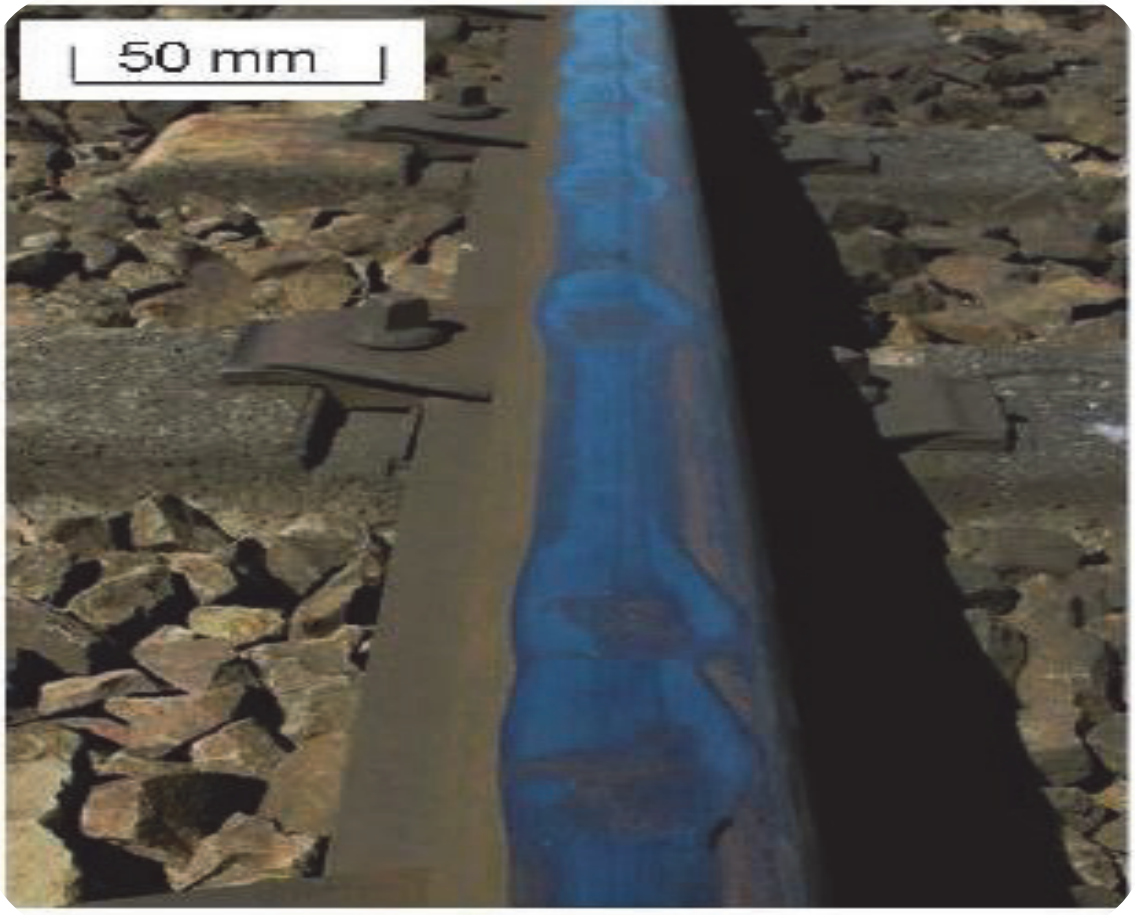
C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thème de fin d'étude, qui concerne la voie ferrée des hauts plateaux et s'intitule ***«l'étude en Avant-projet Détaillé de la nouvelle ligne ferroviaire entre Mechria et El-Bayad avec une exploitation de 220 km/h».***

Notre mémoire est structurée autour de ces axes principaux avec une introduction et une conclusion générale.

- Le premier chapitre, nous dressons à une revue bibliographique récente, traitant la fatigue du contact roue-rail ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la situation du transport ferroviaire en Algérie ;
- Le troisième chapitre constitue la présentation du projet et ses objectifs ;
- Le quatrième chapitre développe les détails de l'étude géométrique : tracé en plan, profils en long et profil en travers ;
- Le cinquième chapitre concerne le dimensionnement de la structure accompagné de différentes études telles que la géotechnique, l'hydraulique et l'environnement ;
- Le sixième chapitre présente les ouvrages d'art ;
- Le septième chapitre est consacré à la conception de la gare de voyageurs ;

A la fin de notre travail, nous donnons un devis estimatif du cout total du projet et un résumé des conclusions tirées lors de ce projet.

CHAPITRE I : la fatigue du contact roue rail



I.1. INTRODUCTION :

Dans le monde des chemins de fer, l'importance du parc de matériels ferroviaires, son évolution en termes de fréquence et de tonnage modifient le comportement en fatigue des rails.

Les gestionnaires du réseau doivent faire face à des mécanismes d'endommagement qui évoluent avec le type de train en circulation, la géométrie de la voie et le comportement des couches de ballast et de terrassement. Les sollicitations subies par le rail évoluent dans le temps et rendent indispensable une surveillance régulière du réseau ferré. Cette maintenance fait appel à des ressources très importantes car la sécurité des biens et des personnes est en jeu.

Une terrible illustration des manquements à cet impératif de sécurité fut l'accident du17 octobre 2000 à Hatfield au Royaume-Uni [1]. Ce déraillement, qui coûta la vie à quatre passagers et en blessa soixante-dix autres, fut attribué à la rupture par fatigue d'un rail. Les conséquences de cet accident, et du fort niveau de vieillissement mesuré à l'échelle du réseau, furent la "nationalisation" outre-manche du gestionnaire du réseau et un programme de travail dédié à la fatigue des rails sollicités sous contact roulant.

Les référentiels SNCF internes prévoient le déclenchement de procédures adaptées selon les mesures et observations effectuées sur le réseau. Cependant, les décideurs aimeraient pouvoir disposer d'outils permettant de fournir des estimations de l'évolution des défauts selon les conditions de circulation. Ces outils doivent permettre une planification plus précise des opérations de maintenance préventive et d'optimiser l'effort de maintenance.[2]

La démarche de maintenance des roues de train à la SNCF est aujourd'hui essentiellement fondée sur le retour d'expérience. Cette approche a fait ses preuves mais l'évolution du dessin des roues, conçues pour assurer d'avantage de fonctions, l'évolution des matériaux fait qu'il n'est pas toujours possible de se baser sur le retour d'expérience. Citons à titre d'exemple la nouvelle roue allemande à faible niveau de bruit retirée du service suite à l'accident de train ICE d'Eschede de 1988. L'accident avait été provoqué par la rupture d'une roue, suite à la propagation par fatigue d'une fissure dans une zone où elle était difficilement détectable.

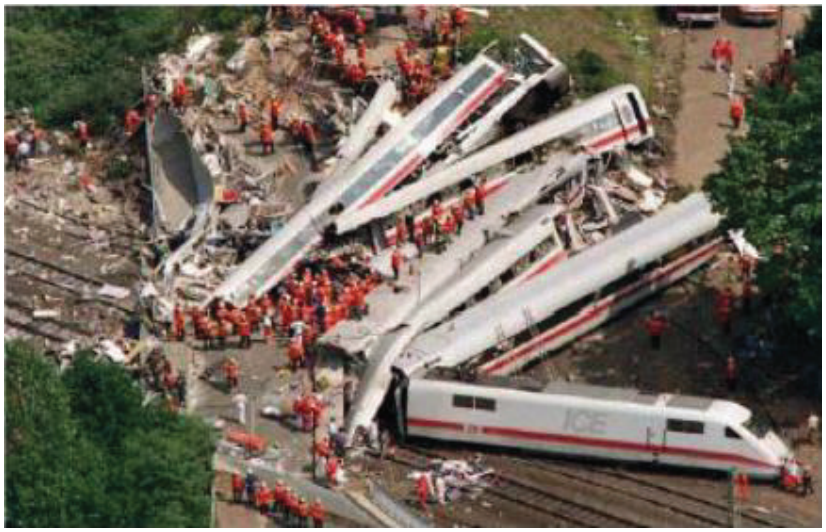


Figure 0.1: accident du train Allemagne en juin. [3]

Un autre accident a eu lieu en Italie en 2009 a laissé 32 passagers morts et 60 blessés. Cet accident dû à la rupture par fatigue d'un essieu.



Figure 0.2: accident du train en Italie. [4]

Donc, Ce chapitre porte sur l'étude de la fatigue de contact roue/rail.

I.2. DESCRIPTION DU FATIGUE DE CONTACT ROUE/RAIL :

Le problème de la fatigue du contact roulant (FCR) du rail intéresse, depuis quelques décades, non seulement les chercheurs mais aussi les entreprises ferroviaires dans le monde entier. Cette fatigue entre les roues ferroviaires et le rail peut entraîner l'apparition de fissures de surface et sous la surface du rail et au niveau de la roue [5].

Le risque de défaillance par FCR de ces composantes du chemin de fer est de plus en plus important, notamment en raison de l'augmentation de la vitesse et de la charge à l'essieu dans le transport ferroviaire. Il aboutit à un investissement très important au niveau de la maintenance des voies ferrées. Le problème peut devenir encore plus dangereux quand le rail est rompu grâce aux fissures engendré par ce fatigue qui se forment sur la surface de contact se développent selon le niveau de charge à l'essieu et de lubrification et provoquer la rupture

du rail. C'est la raison pour laquelle l'objectif primordial de plusieurs travaux est de comprendre les mécanismes et d'avoir un moyen de contrôle, d'éliminer la fatigue du contact roulant du rail, aider à prévenir les risques d'accidents et diminuer le coût de maintenance. [5]

En général, on observe trois phases d'apparition et de développement pour ce type de défaut:

- Phase 1 : Les fissures sont créées par les déformations plastiques sévères sur la surface du rail. A cause de ces déformations plastiques, le matériau sur la surface du rail devient plus dur et plus fragile. Les micros - fissures apparaissent sur la surface ou près de la surface du rail et elles s'amplifient dans la tête du rail très vite au début et de moins en moins vite quand elles rentrent dans la tête du rail. Ces fissures s'inclinent suivant un angle d'environ 15° selon la direction de roulement.[5]

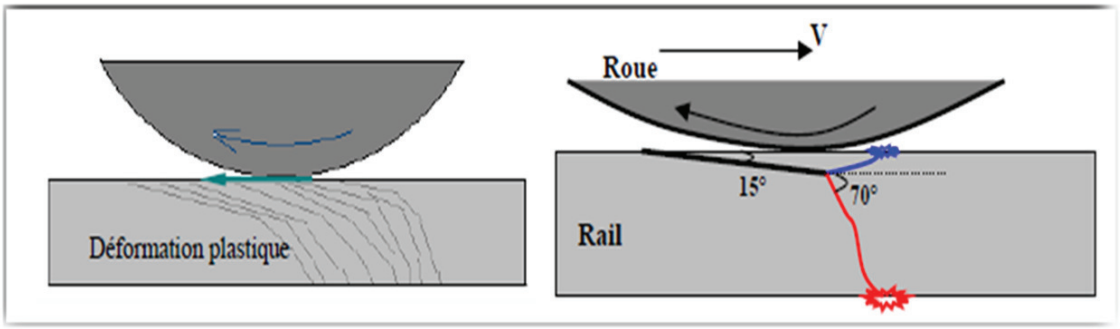


Figure I.3: Apparition et propagation des fissures par fatigue du rail [2]

- Phase 2 : La propagation des fissures se poursuit dans la même direction inclinée à cause du champ des contraintes de contact roue - rail. Les contraintes de cisaillement inverse font d'abord augmenter la vitesse de propagation des fissures quand la profondeur des fissures augmente. Ensuite, cette vitesse atteint une valeur maximale et puis diminue à cause de la diminution des contraintes par rapport à la distance à la surface du rail. Typiquement, la profondeur de la zone d'influence du champ des contraintes de contact roue - rail est de l'ordre de 10 à 15 mm.[5]

- Phase 03 : Les contraintes élevées et les contraintes résiduelles dans le rail causent les différentes fissures avec différentes directions (vers le haut et vers le bas). Les fissures vers le haut produisent des copeaux. Les fissures vers le bas, avec un angle d'environ 70°, peuvent causer une propagation continue des fissures jusqu'à la rupture du rail.[5]

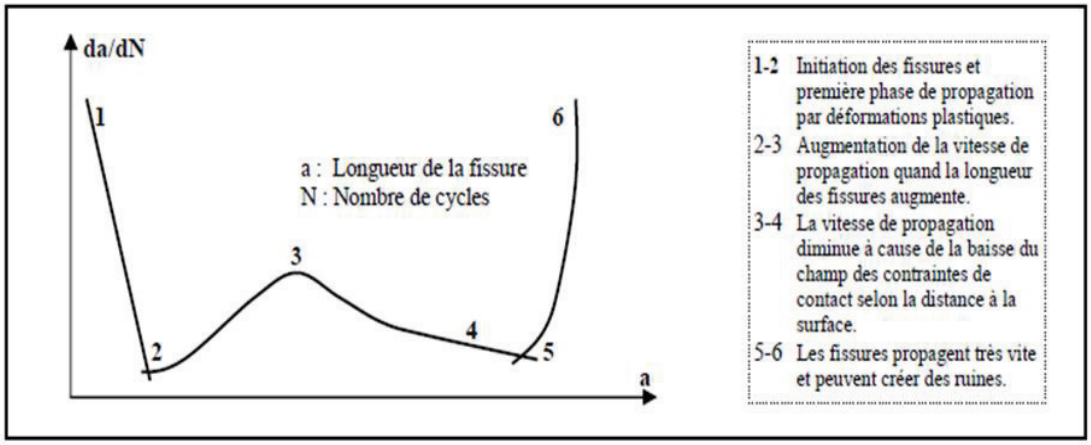


Figure I.4: Vitesse de propagation des fissures du rail selon leur longueur [5]

I.3. TYPES DE FCR DU RAIL :

On peut trouver différents types de RCF du rail. Parmi eux, les Head-checks et les Squats sont les types de FCR du rail les plus connus sur les réseaux ferroviaires.

- **Head-checks** : C'est la fissuration, écaillage du congé de roulement (défaut no. 2223 dans le code UIC712). Ce défaut est souvent observé sur les rails de la file haute des voies en courbes (de rayon R entre 500 et 1000m).

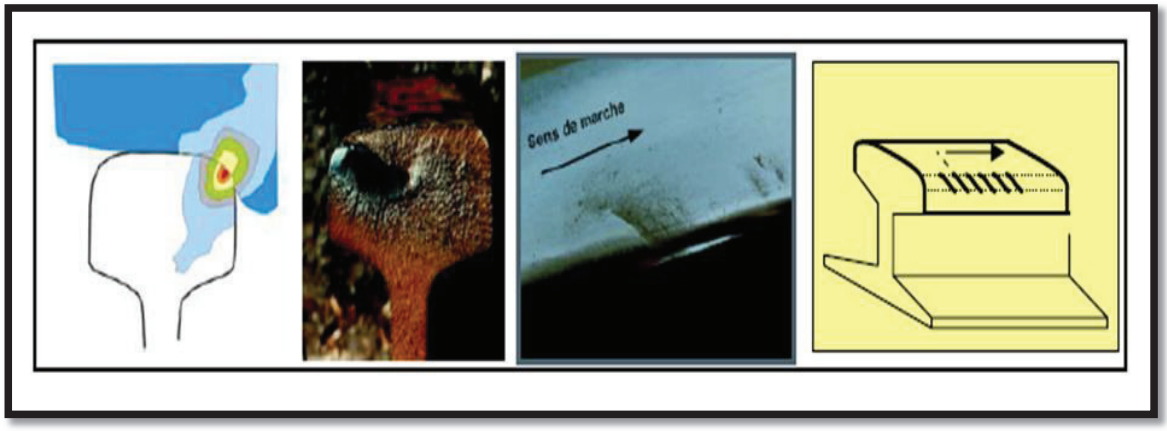


Figure I.5: Head-checking. [5]

Ce défaut se présente d'abord sous forme de petites fissures fines parallèles transversales (45°) au niveau du congé du côté de la face active. Ces fissures se propagent ensuite en profondeur et entraînent l'écaillage du congé et/ou la rupture transversale du rail. La densité des fissures et leurs espacements (entre 1 mm et plusieurs cm) sont très variables.

Le Head-checking peut se présenter sous les formes suivantes (UIC712): Head-checking stabilisé et uniforme ; Head-checking avec écaillage (la progression des fissures à l'intérieur du champignon se fait selon un angle de 10° à 15° jusqu'à une profondeur maximale pouvant atteindre plusieurs mm. Elles évoluent ensuite parallèlement à la table de roulement pour finir par se rejoindre et conduire à un écaillage du congé de roulement.) ; Head-checking

apparaissant sous la forme d'une longue fissure ayant à son extrémité supérieure une ramification suivant l'axe longitudinal du rail (ce type de Head-checking s'accompagne en amont d'une petite dépression caractérisée par son apparence sombre. Un élargissement de la table de roulement est souvent visible. Lorsqu'il se présente périodiquement, ce défaut peut conduire à des ruptures multiples sur quelques mètres.).[6]

- **Squats** : C'est la fissuration et affaissement local de la table de roulement (défaut no. 227 dans le code UIC712). Ce défaut se manifeste sur la table de roulement par un élargissement et un affaissement localisé de la bande de contact rail/roue, accompagnés d'une tâche sombre et de fissures en forme d'arc ou de V (fig. I.6). Les fissures se propagent à l'intérieur du champignon, d'abord selon un angle faible par rapport à la surface de roulement. Ensuite, lorsqu'elles atteignent 3 à 5 mm de profondeur, elles bifurquent transversalement vers le bas, entraînant la rupture du rail. [5]

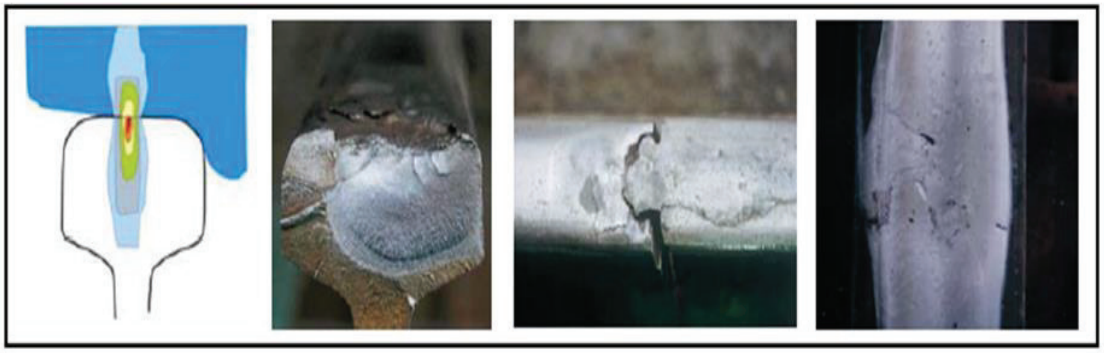


Figure I.6: Squats

Ce défaut est également fréquemment observé sur les soudures électriques et aluminothermiques et dans les zones d'usure ondulatoire. La position des squats sur les rails est de nature aléatoire et peut se manifester en de nombreux points, ce qui les rend dangereux en raison du risque de ruptures multiples avec lacunes importantes. Ce type de défaut est connu en Europe depuis une trentaine d'années. Aujourd'hui, les Squats deviennent un problème majeur pour les entreprises ferroviaires.

I.4. CONSEQUENCES DU CONTACT SUR LA MICRO-STRUCTURE DU RAIL :

I.4.1. Fatigue de contact : de la déformation élastique à la fissuration :

Lors de la mise en contact de deux solides, les conditions de contact entrainent la déformation des deux corps. Suivant l'intensité des contraintes σ, différentes déformations ε peuvent prendre place. Cette distinction des mécanismes d'accommodation a été introduite par Johnson et Jefferis [6] , puis développé par de nombreux auteurs dont notamment Kapoor et Johnson [1] et Böhmer et Etrz [7] .

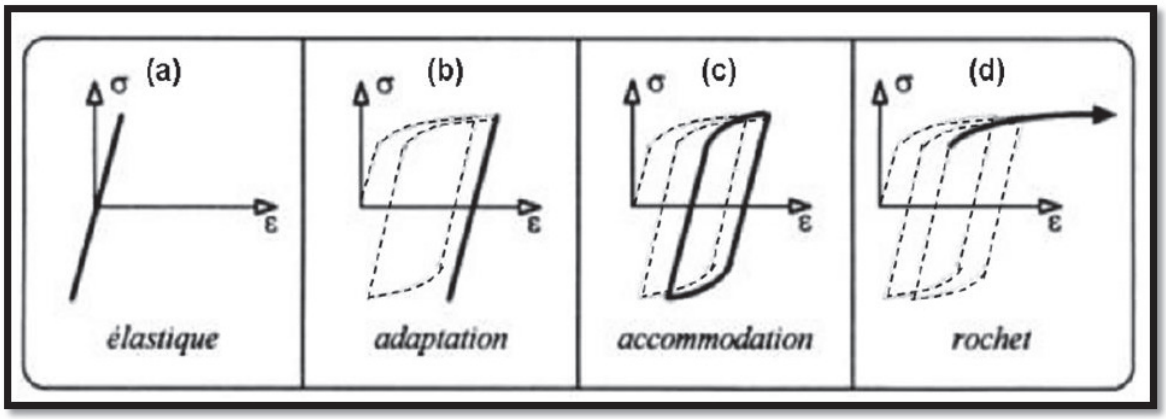


Figure I.7: Réponses d'un matériau à un chargement cyclique. [8]

- **Déformation élastique**: Si les contraintes de contact sont inférieures au module de cisaillement du matériau, alors celui-ci se déforme élastiquement et revient à son état d'origine à la fin du cycle [9] . Ce cas apparaît rarement dans le cadre du contact roue/rail, les conditions de contact étant bien plus grandes que la limite élastique d'un rail neuf.
- **Adaptation élastique**: Un rail neuf installé en voie possède une limite d'élasticité inférieure aux contraintes qui vont lui être appliquées pendant les premiers passages de roues. Il en résulte une accumulation de déformations plastiques permanentes au niveau de la bande de roulement.[10, 11].
  - ✓ Premièrement, on observe un écrouissage du matériau et donc une augmentation de la limite d'élasticité.
  - ✓ Puis, les déformations plastiques entrainent l'introduction de contraintes résiduelles opposées à une plus grande déformation.
  - ✓ Enfin, la plastification tend à rendre les contacts plus conformes et donc à diminuer les contraintes de contact Ainsi, dans certains cas, sous l'action des chargements, après une période d'accumulation de déformations plastiques, le rail adopte de nouveau une réponse élastique. On parle d'adaptation élastique du matériau.
- **Accommodation plastique**: Dans d'autres cas, après cette période d'accumulation de déformations plastiques, le niveau de contraintes reste supérieur à la limite plastique du matériau, mais est insuffisant pour déformer de manière permanente le matériau. On obtient donc un cycle de déformation plastique fermé où il n'y a pas d'accumulation nette de déformation après contact. On parle d'accommodation plastique.
- **Rochet**: Enfin dans les cas les plus critiques, le phénomène d'accumulation de déformation plastique ne trouve pas de situation d'équilibre et on observe un niveau de déformation plastique supplémentaire après chaque cycle. Ce phénomène similaire au fonctionnement d'un rochet en porte le nom.

I.4.1.1.Conséquences de la fatigue de contact avant fissuration :

Dans les cas d'accumulation de déformations plastiques, les évolutions du matériau observées à l'échelle macroscopique (variation de volume, variation des propriétés mécaniques comme la dureté ou le module d'élasticité… résultent de modifications subies par

la microstructure du rail neuf et traduisent une partie des conditions de contact.

- À l'échelle de la microstructure :

Les observations en microscopie optique des couches superficielles d'un rail soumis à la circulation des trains montrent une forte élongation unidirectionnelle des grains de perlite parallèlement à la direction de cisaillement [12]. . À l'extrême surface, la déformation est telle, que l'aspect granulaire du matériau n'est plus discernable Cette déformation de la matrice ferritique s'accompagne également d'une réorientation des lamelles de cémentite dans une direction privilégiée et d'une réduction de l'espace inter lamellaire [10] .



Figure I.8: Élongation des grains de perlite dans les couches superficielles d'un rail en service [12]

- À l'échelle cristallographique :

À plus petite échelle, la capacité de plastification de la matrice ferritique est rendue possible par la multiplication de défauts et de discontinuités dans la structure cristalline du matériau, appelés dislocations[1] [13]. La propagation progressive de ces dislocations permet le glissement des plans cristallins les uns par rapport aux autres et l'accommodation des contraintes appliquées à la structure d'ensemble [13].

Géométriquement, une dislocation peut être vue comme le résultat de l'introduction d'un demi-plan à l'intérieur d'un cristal parfait (Figure I.9(a)). Le mouvement d'une dislocation (Figure I.9(b)) est dit conservatif, car il s'effectue de proche en proche par la rupture et le recollement des liaisons atomiques sans transport de matières.

[1]Plusieurs types de dislocations existent suivant leur géométrie, seule la dislocation coin sera abordée dans cette partie.

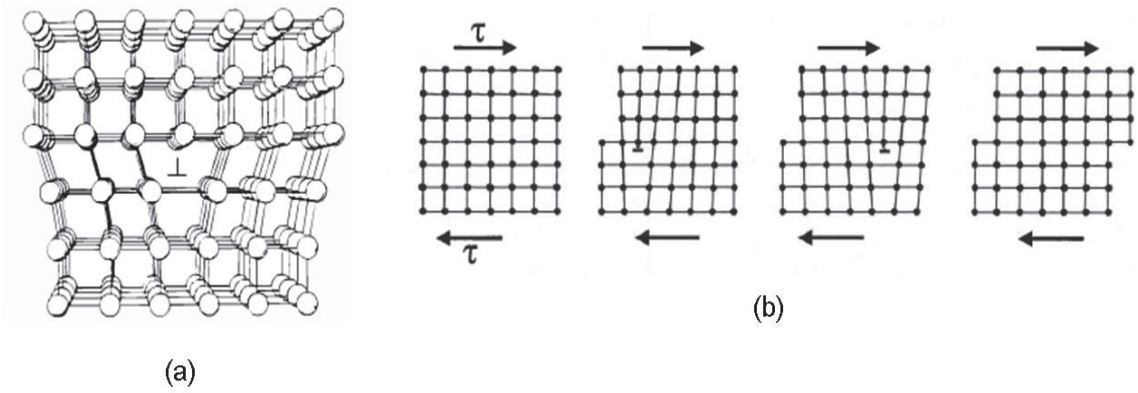


Figure I.9: (a) Structure d'une dislocation, (b) Déplacement par glissement d'une dislocation pour un réseau cristallin soumis à un cisaillement τ [13]

Les contraintes introduites par une dislocation facilitent la diffusion les atomes étrangers (impuretés ou éléments d'alliage) ne faisant pas partie du réseau cristallin. Par exemple, sur la **Figure I.9(a),** la partie supérieure du réseau travaille en compression alors que la partie inférieure travaille en traction, certaines liaisons interatomiques se retrouvent donc momentanément affaiblies et permettent la diffusion des atomes interstitiels.

Enfin au stade du rochet, la limite de ductilité atteinte par le matériau avant fissuration correspond à un état du réseau cristallin où le nombre de dislocations est tel que leur glissement simultané aboutit au blocage d'une partie d'entre elles contre divers obstacles (joints de grains, autres dislocations ou précipités...) [13]. Alors, la dureté du matériau augmente et devient moins ductile et plus cassant, il y a fissuration.

I.4.1.2.Conséquences de la fatigue de contact après fissuration :

Après leur amorçage, les fissures se propagent en fonction de la microstructure [10], des contraintes résiduelles et des conditions de contact [14] sous différentes formes regroupées sous l'appellation de défauts de fatigue de contact. Suivant la direction de propagation de la fissure, il y a alors deux possibilités. Soit la propagation a une forte composante horizontale et reste globalement parallèle à la surface du rail, soit la fissure est plongeante et se poursuit dans le cœur du rail. Pour un amorçage proche de la surface, le premier cas risque de donner lieu à un écaillage du rail, c'est-à-dire à l'arrachement surfacique de particules de matière plus ou moins grosses [15]. Le second, beaucoup plus pénalisant en termes de sureté ferroviaire, peut dégénérer et conduire à la rupture du rail. L'ensemble de ces défauts est décrit dans le catalogue des défauts de rail de l'Union Internationale des Chemins de Fers [16].



Figure I.10: Écaillages multiples de la bande de roulement de rail [16] code UIC[2] 222

Le type de défauts de fatigue produit est principalement lié à la localisation du contact sur le champignon. Les champs de contraintes mécaniques et thermiques associés à cette position conduisent en effet à des mécanismes d'endommagement spécifiques.

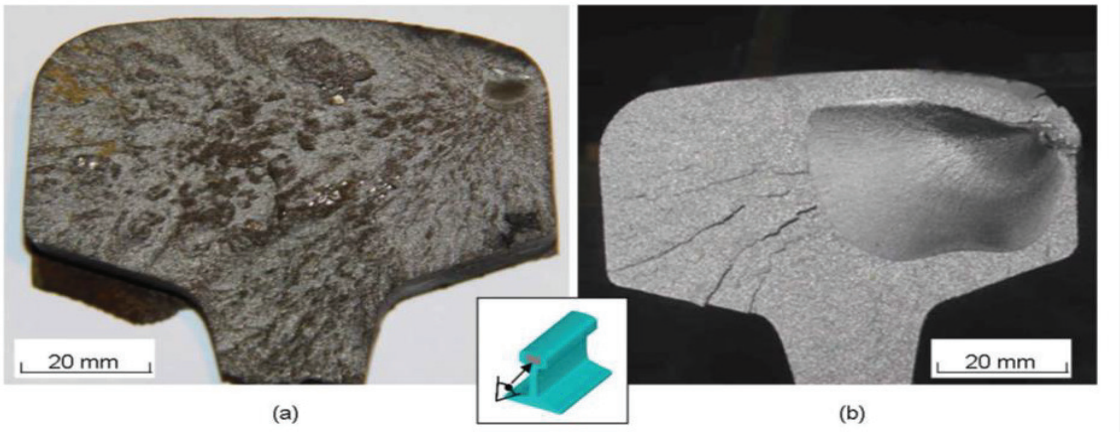


Figure I.11: Tâche ovale décentrée (a) Faible propagation (b) Forte propagation. [1]

I.5. METHODES DE DIMINUTION DE LA FORMATION DES FISSURES PAR FCR DU RAIL : [6]

Il y a plusieurs méthodes pour diminuer la formation des fissures par fatigue du contact roulant (FCR).on peut citer ici :

- le meulage du rail pour enlever les microfissures sur la surface du rail ;
- la modification des profils de la roue et du rail ;
- le contrôle des erreurs de la géométrie de la voie pour réduire les efforts de contact ;
- le contrôle du frottement de contact roue - rail et de l'écartement entre les deux rails.

[2]Chaque défaut est classé par l'UIC suivant son emplacement, son orientation et sa nature

CHAPITRE II : le transport ferroviaire



II.1. Introduction :

Le chemin de fer est un système de transport guidé servant au déplacement de personnes et de marchandises. Il est potentiellement insécure qui ne peut exister que par la prise en compte de la sécurité dans sa conception, sa réalisation et son exploitation.

Il se compose d'une infrastructure spécialisé , de matériel roulant et de procédures d'exploitation , associant une voie ferrée et des véhicules spécifiques qui ont équipés de roues en aciers conduits par des conducteurs , circulant sur des voies commandées par des installations spéciales . Les conséquences induites par ces caractéristiques physiques en font un système :

- A une seule dimension, ou les changements de direction ne sont possible qu'avec des appareils spécifiques implantées en des points précis ;
- L'adhérence et le frottement sont faibles.

II.2. AVANTAGE DES CHEMINS DE FER :

Le transport ferroviaire s'effectue sur des voies ferrées, et comprend par conséquent, le train, le métro, le tramway. C'est le seul moyen de transport (avec certains navires à propulsion nucléaire) qui utilise à ce jour, l'électricité massivement, comme source d'énergie. Il présent par conséquent de nombreux avantages, sur les autres modes de transport :

- Le chemin de fer permet de garantir des déplacements rapides et surs, pour les personnes comme pour les marchandises ;
- Il permet de desservir des villes et des campagnes grâce à des réseaux maillés et à l'utilisation de différents écartements ;
- Il est relativement moins couteux, car la puissance développée par des moteurs électriques relativement légers permet le transport de charges importantes, parce que l'énergie n'a pas besoin d'être stockée, car elle est bon marché si elle est produite par des installations nucléaires ;
- Il prend une importance majeure sur le plan économique, social et militaire, en réduisant considérablement la durée de mobilisation et le temps de transport des troupes ;
- Il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures ;
- il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire ;

II.3. HISTOIRE DE LA VOIE FERREE DANS LE MONDE :

La première voie ferrée construite au monde est apparue en ANGLETERRE en 1825 reliant STOCKTON et DARLINGTON qui avait comme rôle de transporter seulement du charbon, tout comme d'autres lignes construites dans la même période en ECOSSE et LANCASHIRE. Cette dernière a connu en 1803 la mise en service de la première voie ferrée mixte entre LIVERPOOL et MANCHESTER sur 51km.

Le chemin de fer s'est vraiment développé lors du boom ferroviaire des années 1840 dans

les pays qui disposaient de charbon, ou qui pouvaient facilement en importer, comme l'Europe et les Etats-Unis. Bénéficiant de la révolution industrielle, les grands réseaux ferrés furent construits en 1830 et 1890. en 1875, un demi-siècle après la naissance des premières voies ferrées, en comptait 129000km de lignes au Etats-Unis et 123000km en Europe occidentale. Quelques années plus tard en dénombrait 363000km de voies ferrées dans le monde, dont 172000 km en Europe et 165000 aux Etats-Unis. En 1950, ces dernières étaient desservies par 350000km de lignes ferroviaires sur un total de 1.3 millions de km.

Enfin, malgré le grand développement des chemins de fer au monde mais leur répartition apparait très inégale. De nombreux états ne disposent que d'un petit nombre de lignes ferroviaires ainsi que d'autres ne possèdent pas de réseaux ferrés dont 14 pays africains font partie.

II.4. HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE :

II.4.1. Période coloniale :

Par décret impérial du 8 avril 1857, la force d'occupation française a décidé la création d'un réseau de chemin de fer en Algérie visant à mailler tous le nord du pays avec le double objectif de l'utiliser comme un outil logistique de pacification des territoires et un moyen de transfert des richesses algériennes vers la métropole. La réalisation du réseau de chemin de fer algérien s'est faite par étapes successives. Durant la période coloniale, trois programmes ont été initiés par l'administration:

- **Programme de 1857 :**

Le 8 Avril 1857, la force d'occupation française autorise la construction de 1357 km de lignes. Au cours de la période 1857-1878, les lignes ou tronçons de lignes suivantes, totalisant une longueur de 1365 km, ont été réalisés :

- Annaba- Ain Mokra ; Annaba-Bouchegouf-Guelma ; Khroub- OuedZenati; Constantine – Skikda; Constantine – Sétif ; Alger – Thénia ; Alger – Oran ; Arzew - La Macta – Mohammedia; Mohammedia – Mécheria; Oued Tlélat - Sidi-bel-Abbes.

- **Programme de 1879 :**

Un programme de 1747 km de lignes nouvelles a été ajouté au réseau existant. Dans la période 1879-1906, 2035 km de lignes ont été réalisées ou entamées :

- Souk Ahras-Tébessa ;
- Le Kouif et embranchement vers la frontière ;
- Ain-Mokra-Ramdane Djamel ;
- Ouled Rahmoune-Khenchela ;
- El Guerrah-Biskra ;
- Sétif-Thénia avec embranchements vers Tizi Ouzou ;
- Bejaia et Sour El Ghozlane ;
- Blida-Berrouaghia ;
- Mostaganem-Relizane-Tiaret ;
- Oran-Arzew ;
- Sénia-Témouchent ;
- Sidi Bel Abbés-Tlemcen-Frontière ;
- Tabia-Crampel ;
- Méchéria-Béchar ;
- Tizi-Mascara.

- **Programme de 1907 :**

En 1907, un troisième programme de nouvelles lignes portant sur 1256 km est établi et vient s'ajouter au réseau existant. Au cours de la période 1907-1946, les lignes ou tronçons de lignes suivants, totalisant une longueur de 1614 km, ont été réalisés :

- Ain Beida-Tébessa, El Milia-Jijel, Biskra-Touggourt avec embranchements vers Tolga et El Oued (cette ligne classée secondaire d'une longueur de 387 km a été réalisée en plus du programme de 1256 km), Constantine-Oued Athmania, Berrouaghia-Djelfa, Tiaret-Mahdia-Cl.Bouguerra, Mascara-Mecheria avec embranchements vers Relizane, Sidi Bel Abbés-Tizi, Tlemcen-Beni-Saf, Mostaganem-La Macta.

Après les déficits des compagnies concessionnaires, l'Etat a racheté les concessions des compagnies Franco-Algérienne, Est Algérien, Bône-Guelma et Ouest Algérien en 1900, 1908, 1905 et 1920. Le 27 Septembre 1912 est créée la Compagnie des Chemins de Fer Algériens de l'Etat (CFAE) qui prend le relais de l'exploitation des réseaux des concessionnaires à l'exception du réseau PLM.

- **Programme d'investissement de 1938 :**

Le 30 Mai 1938, les lignes CFAE et PLM d'intérêt général sont rattachées à la SNCF récemment constituée, et le réseau algérien en devient une région. Le 1er Janvier 1939, est institué un Office des Chemins de fer Algériens (Office CFA). En 1946, le réseau algérien comprend 5014 km de lignes en exploitation sans compter les embranchements miniers et les lignes de chemin de fer sur routes (CFRA).



Figure I0.1: le réseau ferroviaire algérien durant la période coloniale

II.4.2. Période post coloniale :

La Convention de Juin 1959 continua à régir les relations entre l'Etat et la SNCFA jusqu'à 1976, date à laquelle est créée, la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) suite

à la promulgation des textes portant gestion socialiste des entreprises (GSE) par ordonnance N° 76-28 du 25 Mars 1976. Cette dernière a été restructurée en trois entreprises :

- La SNTF, société nationale chargée de l'exploitation et de l'entretien du réseau ferroviaire ;
- La SNERIF, société nationale chargée du renouvellement et de l'extension du réseau ferroviaire ;
- La SIF, société d'engineering et de réalisation d'infrastructures ferroviaires.

Au cours de cette période, un large programme d'investissement a été lancé. Il se caractérise surtout par la modernisation et l'accroissement de la capacité des lignes du réseau. Ce programme a permis les réalisations suivantes :

- Jijel / Ramdane-Djamel (Annaba) (140 km);
- Saida (23 km) et Ain-Touta (15 km) ;
- Renouvellement complet (voie et ballast) d'une grande partie du réseau soit un total de 1400 km ;
- Modernisation et reconstruction des gares réparties sur le réseau des régions d'Annaba et d'Alger (partiellement) ;
- Mise à double voie de tronçons de la rocade nord (200 km).

II.5. INVESTISSEMENT ET PROGRAMME D'EXTENSION DE DEVELOPPEMENT ET DE MODERNISATION :

II.5.1. L'investissement dans le secteur :

Le réseau ferrée Algérien a connu beaucoup d'étapes depuis sa naissance jusqu'à aujourd'hui : avant 1980 , le réseau complait 2649 km de lignes à voie normale et 1112 km de lignes à voie étroite (le total étant de 3761 km) , et dans sa décennie d'investissement (1980) , on cite la création de 303 km de lignes nouvelles et renouvellement de la voie et ballast sur 800 km ainsi que 300 ponts et 4 tunnels . Puis l'investissement dans la décennie 1990, le développement de 425 km de fibre optique, 277 km de lignes nouvelles et renouvellement de la voie et ballast sur 1000 km, ainsi que 200 ponts et 4 tunnels. Les figurent ci-après schématisent sur la carte géographique d'Algérie le réseau ferroviaire algérien :

- **Le réseau avant 1990 :**



Figure I0.2: le réseau ferroviaire algérien avant 1980 (SNTF).

- **<u>L'investissement 1980 :</u>**



Figure I0.3: le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1980 (SNTF).

- **L'investissement 1990 :**

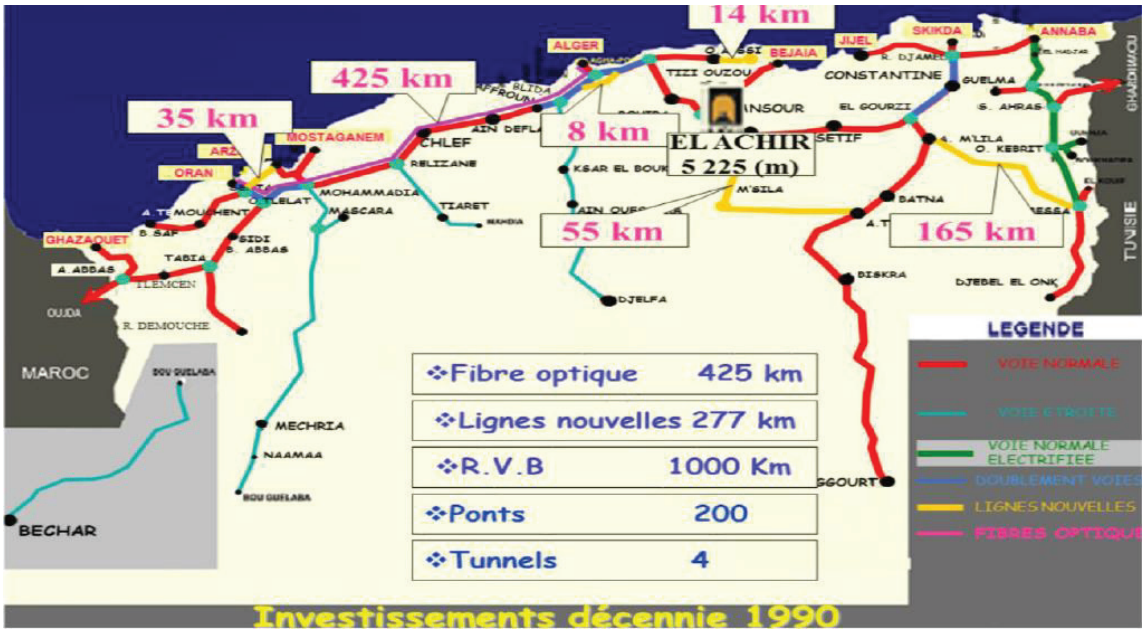


Figure 0.4: le réseau ferroviaire algérien, investissement décennie 1990 (SNTF).

- **L'investissement à partir de 2000 :**



Figure 0I.5: le réseau ferroviaire algérien, investissement à partir de 2000 (SNTF).

II.5.2. Perspectives de développement du réseau ferroviaire :

Le programme ferroviaire national s'articule autour de huit (08) axes :

- ***Axe 01 : la rocade ferroviaire nord et ses dessertes :***

Elle contient les principales villes du nord du pays et va des frontières Est vers les frontières Ouest, dont les travaux de modernisation et de dédoublement s'étendent sur une distance de 1.250 kms dont 868 kms sont en cours de réalisation. Une partie de ce projet

est opérationnelle à savoir celle de la région algéroise entièrement électrifiée.

- **Axe 02 : la rocade ferroviaire des hauts plateaux :**

Il s'agit de la rocade ferroviaire des hauts plateaux qui sera parallèle à celle du nord: Longue de 1160 km, elle s'étend de la wilaya de Tébessa jusqu'à Sidi Bel Abbes, et dont 412 km ont été réalisés. Il y a 748 km de cette rocade ont été lancé.

- **Axe 03 : ligne minière :**

C'est une ligne reliant la wilaya d'Annaba (port commercial et site métallurgique) aux mines de Djebel Onk (Tébessa) sur un linéaire de 588 kms, pour s'étendre vers le Sud à El-Oued et Touggourt.

- **Axe 04 : Pénétrante ouest :**

Elle comprenant la ligne Tabia (Sidi Bel Abbes)-Béchar d'un linéaire de 580 km, elle est opérationnelle depuis plus de 6 ans et permet des vitesses de parcours allant jusqu'à 160 km/h, sachant que la jonction avec la wilaya de Tindouf (950 km plus au sud) fait l'objet d'études.

- **Axe 05 : pénétrante El Gourzi (au nord) – Hassi Messaoud (Sud) :**

Il s'étend sur la pénétrante d'El Gourzi (wilaya Constantine) vers Hassi Messaoud d'une distance de 457 km, pour desservir, entre autres, le pôle pétrolier et la nouvelle ville de Hassi Messaoud, à une vitesse de 220 km/h.

- **Axe 06 : pénétrante centre :**

Le premier tronçon dont les études sont en cours reliera la wilaya de Blida à la ville de Ksar El Boukhari (Médéa) sur un linéaire d'environ 100 km, tandis que le deuxième tronçon reliera les villes de Ksar El Boukhari, Djelfa et Laghouat sur 290 km.

- **Axe 07 : boucle sud- est :**

Il est une boucle Sud-Est d'une distance de 425 km qui ira de Laghouat à El Oued en passant par Ghardaïa, Ouargla, Hassi Messaoud et Touggourt.

- **Axe 08 : boucle sud – ouest :**

Il s'agit d'une boucle de 1500 km de voies ferrées reliant toutes les villes-oasis du sud-ouest en allant de Ghardaïa jusqu'à la jonction avec la ville de Béchar. Les études de cette boucle, dont la vitesse de circulation prévue est de 220 km/h, sont en cours.

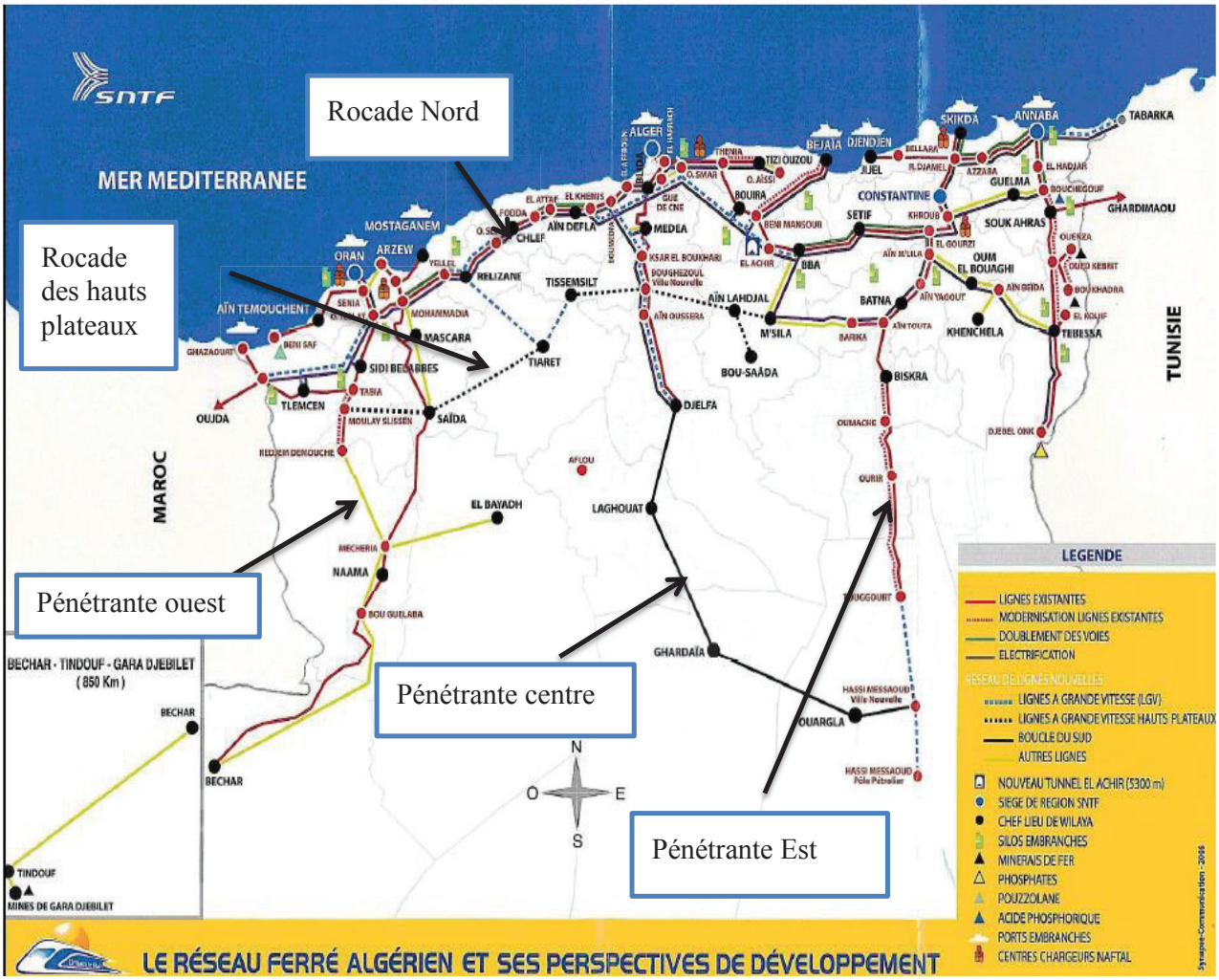
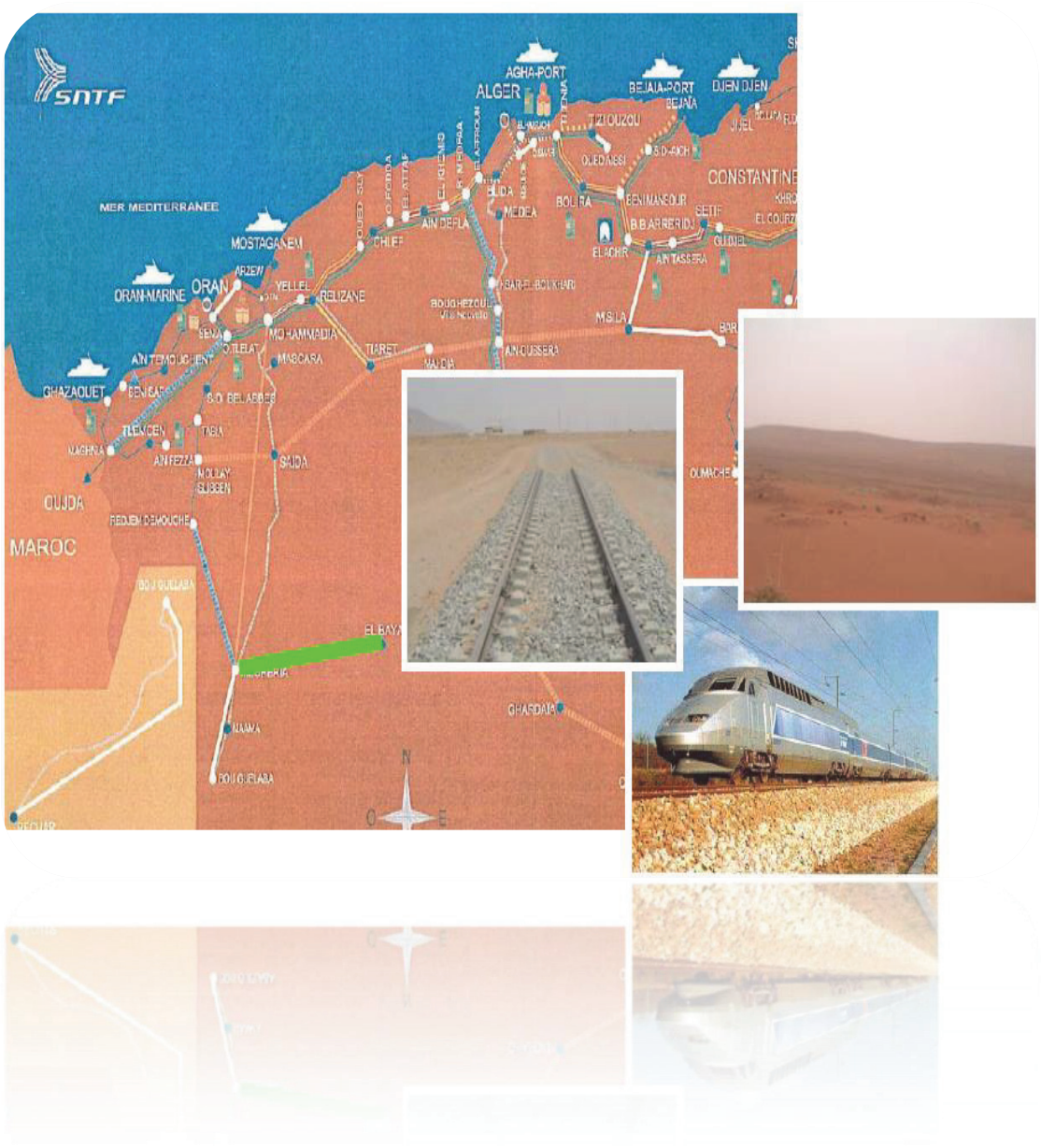


Figure 0.6 : le réseau ferroviaire algérien et son plan de développement (ANESRIF)

II.6. CONCLUSION :

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

CHAPITRE III : présentation du projet



III.1. INTRODUCTION :

Dans le cadre du développement du réseau ferroviaire d'Algérie inscrit au plan quinquennal du secteur du transport Algérien, l'ANESRIF restructure les réseaux ferroviaires nationaux dont les lignes de Saida ~ Tiaret, Saida ~ Mohammadia, Saida ~ Moulay Slissen, El Bayadh ~ Mécheria, El Bayadh ~ Djelfa Redem Demouche ~ Mécheria et les wilayas de Saida, El Bayadh et Naama.

Ce plan de développement intègre la construction d'une nouvelle ligne mixte (voyageurs et marchandises) électrifiée à 220km/h entre Mechria et El Bayadh. IL sert à desservir la région d'El Bayadh, et à la relier à la ligne principale MOHAMMADIA / BECHAR dont le tronçon MECHERIA / BECHAR (360 Km) est en cours de réalisation en mise à voie normale. Il sera relié à la ligne ORAN/REDJEM-DEMMOUCHE / MECHERIA, d'une longueur d'environ cent trente (130) km pour une exploitation à 220 km/h.

Cette nouvelle ligne fait partie dans un but de désenclavement et d'accompagnement de la dynamique économique, dans le cadre d'une vision globale induite par le nouveau modèle économique adossé à la promotion de l'investissement et la diversification de l'économie.

III.2. PRESENTATION DU PROJET :

Notre mémoire de fin d'études porte sur : « L'Étude d'APD de la ligne ferroviaire à voie unique Mechria –bayadh du PK 120+000 au PK 130 +000 avec la conception de la gare d'EL-BAYADH». Cette nouvelle ligne mixte est destinée au transport de marchandises et de voyageurs et établit la liaison de la ville d'EL BAYADH à MECHERIA et aux régions côtières du pays et constitue le premier tronçon de la liaison future possible de Mecheria à Aflou, Laghouat et Djelfa.

Il est d'une longueur de 129,890 km est conçu comme une ligne de grande vitesse avec les caractères de paramètres géométriques selon les normes et standards UIC pour une vitesse de 220 km/h.

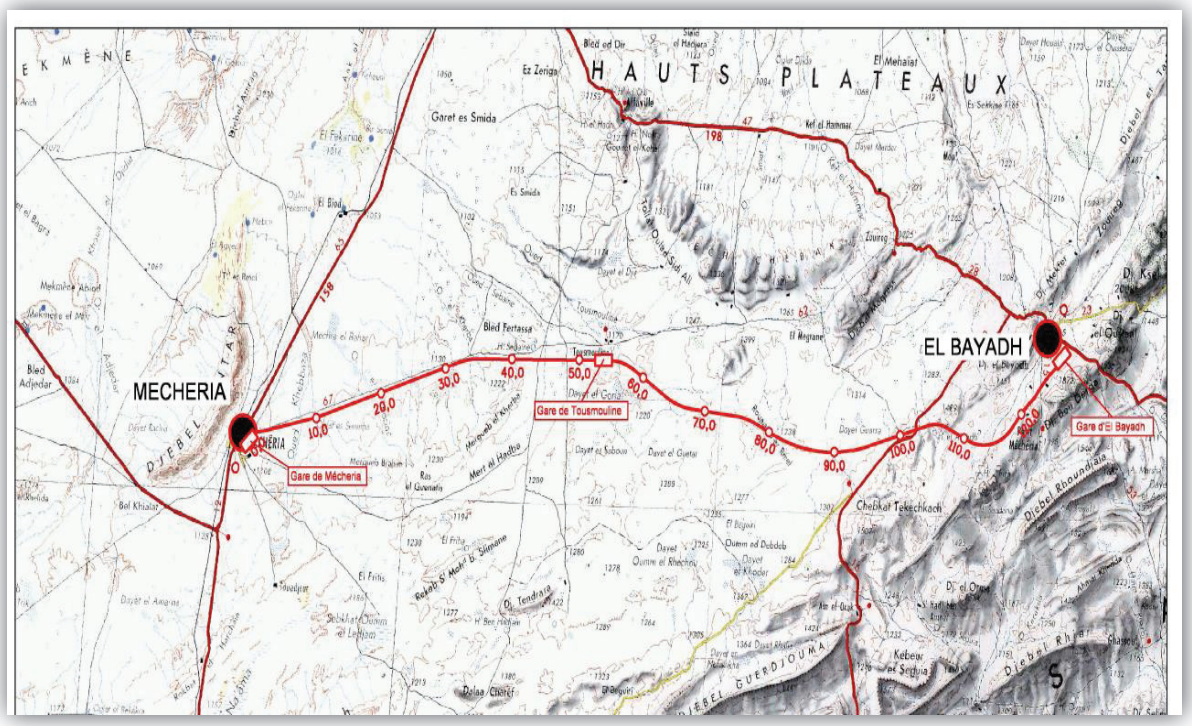


Figure 0I.1 : Plan de localisation du projet Mechria- El bayadh.

Le début du projet est en Gare nouvelle de Mecheria en PK 0+0,000 et la fin se termine en PK 129+890 avant de croiser de la RN 47 vers l'Aflou/Laghouat.



Figure III.2: fin du tracé au niveau de la RN47: El-Bayadh, Aflou, Laghouat

III.3. OBJECTIF DU PROJET :

- Permettre aux citoyens de se déplacer dans les bonnes conditions
- diminution du temps parcours ;
- Amélioration des conditions d'exploitation :
  - ✓ Exploiter ces liaisons ferroviaires pour le transport de carburants ;

- ✓ Transport des marchandises.

- Amélioration des performances du chemin de fer :
  - ✓ Le maillage et la densification du réseau ;
  - ✓ Diversification des modes de transport ;
- Désenclavement et développement des régions ;
- Amélioration des conditions d'approvisionnement.

III.4. CARACTERISTIQUE TECHNIQUE DE LA LIGNE PROJETE :

Cette nouvelle ligne à voie unique est conçue pour une vitesse maximale de 220 km/h, sa longueur totale est de 130km.Les caractéristiques techniques principales sont les suivantes :

- Ligne à voie unique ;
- Longueur de la ligne 130.00 km ;
- Les ouvrages d'arts ferroviaires, les ouvrages en terres de hauteurs importantes (remblais) sont prévus pour double voie ;
- la ligne ne comprend aucun passage à niveau ;
- Trafic mixte de voyageurs et marchandises ;
- Charge à l'essieu :
  - ✓ infrastructure : 20.5t
  - ✓ Ouvrages d'arts : 25t
- Vitesse :
  - ✓ vitesse maximal : 220km /h
  - ✓ Trafic marchandises en plaine et en zone montagneuse: 80km /h.
- Profil de la voie :
  - ✓ Rampes et pentes max en pleine voie : Maximale 16 ‰ ; Au niveau des gares : 0‰.
- Profil en travers :
  - ✓ Ecartement des rails (standard 1435 mm en alignement) ;
  - ✓ La largeur de la plate-forme en double voie est fixée à 13.6 m avec un entraxe 4.20 m ;
  - ✓ La largeur de la plate-forme en voie simple est fixée à 8 m ;
  - ✓ Gabarit: UIC (y compris caténaire en 25 kV)
- de rails UIC 60 posés sur traverses monobloc type B70 en béton précontraint d'un poids allant jusqu'à 280 kg/ Pièce.
- Attache: Attaches Nabla.
- Signalisation de type ETCS de niveau 2 (Européen Train Control System) et de type latérale lumineuse.
- Télétransmissions de type GSM-R et SDH ;
- La puissance électrique pour la caténaire de AC 25 KV/50HZ est appliquée et les locomotives diesels-électriques sont adoptées pour le mode de traction.

III.5. PRESENTATION DES VILLES LIMITROPHE AU PROJET :

La nouvelle desserte ferroviaire prend naissance au niveau de la ville de Mécheria, Daïra qui se localise à l'Est de wilaya de Naâma, située au Sud-Ouest du pays à 715 Km d'Alger. Elle tient sa fin dans la ville d'El Bayadh distant de 630Km d'Alger. Ces villes appartiennent à l'Atlas sud oranais qui constitue la partie occidentale de l'Atlas saharien.

Cette partie est détaillée dans **l'Annexe A.**

III.6. CHOIX DE VARIANTE DE TRACE :

Lors de l'élaboration d'un projet de voie ferrée, l'ingénieur doit commencer par la recherche de l'emplacement de cette dernière dans la nature et son adaptation la plus rationnelle en tenant compte des différentes obligations :

- Une obligation de sécurité.
- Une obligation de confort.
- Une obligation d'économie globale.

III.6.1. L'étude d'un projet de voie ferrée est répartie en 3 phases :

- Phase N°1 : l'étude préliminaire.
- Phase N°2 : l'étude d'avant-projet sommaire (APS).
- Phase N°3 : l'étude d'avant-projet détaillé (APD).

III.6.2. Etudes des phases antérieures

III.6.2.1. Étude préliminaire (EP) l'étude d'avant-projet sommaire (APS) :

Les résultats de l'Etude préliminaire, (EP) qui a été destinée à la recherche d'un tracé optimal de la ligne, comprennent la topométrie de la région, l'étude du tracé, l'estimation des ouvrages d'art et définition des gares et des installations correspondantes, ainsi l'étude préliminaire de la signalisation et des télécommunications ont été présentés en 04 variantes à l'ANESRIF pour l'approbation.

L'ANESRIF a approuvé l'Etude Préliminaire et la variante de tracé 1 recommandée dans celle-ci, a été confirmée en tant que la variante à retenir pour la suite de l'étude.

Cette variante et la justification du choix ont été présentées aux autorités de wilayas concernées : de NAAMA et d'EL BAYADH.

La variante choisie à l'étude préliminaire a été élaborée dans les détails dans l'Avant-Projet Sommaire (APS) et parallèlement ont été élaborés présentés et approuvés par ANESRIF les programmes des investigations en géologie et géotechnique ainsi que de l'arpentage du corridor du tracé de la variante choisie pour servir de la base pour l'Avant-Projet Détaillé (APD). Les investigations ont commencés immédiatement après l'approbation de ces programmes.

La variante 01 retenue en phase APS présente les caractéristiques suivantes :

- Choix d'un tracé tendant à s'éloigner au maximum des habitations ;
- Pas de dispositions particulières contre le bruit ferroviaire ;
- Absence d'impact dommageable notable l'avifaune sauvage ;
- Impact minimum sur les grands paysages

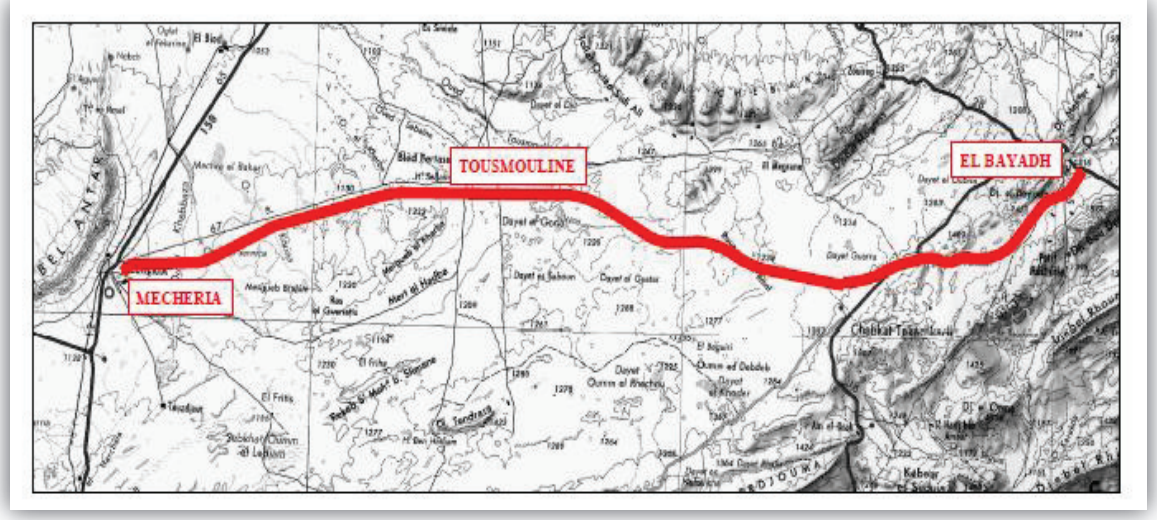
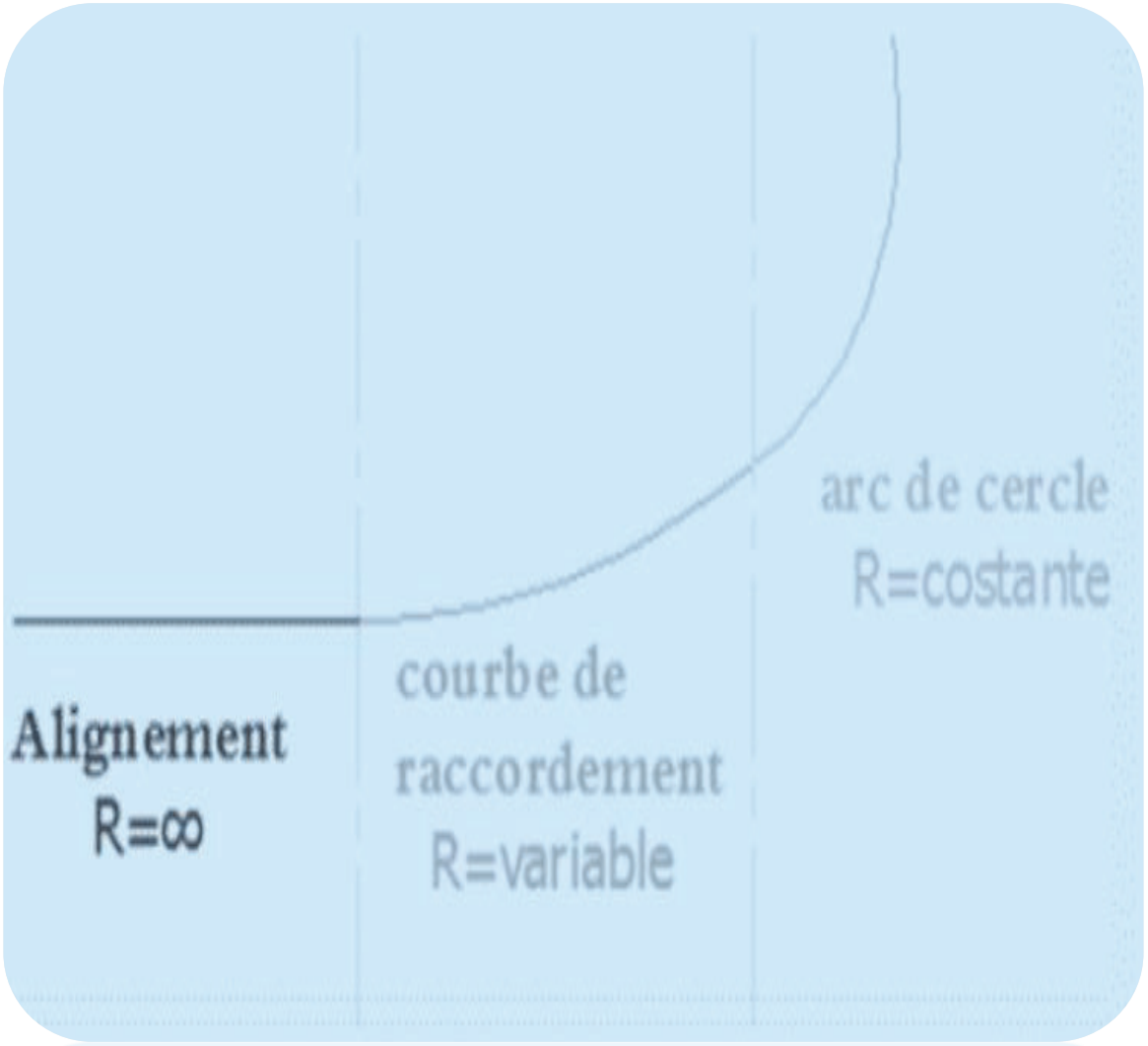


Figure 0.II.3 : plan d'ensemble de variante 1 retenue en phase APS.

III.7. CONCLUSION :

Notre projet de fin d'étude porte sur l'élaboration du dossier APD de la variante retenue en APS , celui-ci fait l'objet d'une étude tenant compte les normes techniques vérifiant la voie ferrée notamment UIC.

CHAPITRE IV : TRACE EN PLAN



IV.1. INTRODUCTION :

Le tracé en plan dessine la trajectoire de la ligne vue du dessus (la projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal). Il doit présenter un alignement le plus droit et des courbes les plus douces possibles. Suivant le type de ligne, le rayon de courbure R minimal est différent.

Le plan de l'axe du tracé correspondant à l'axe de la voie dans le cas de voie unique, et à l'axe de la plate-forme dans le cas de voie double.

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

Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs) ;

VL : vitesse des trains lents (marchandises).

IV.2. CRITERE DE CONCEPTION :

IV.2.2. Conditions et règles à respecter :

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

- Assurer la sécurité et le confort des usagers ;
- L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants ;
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières ;
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques ;
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques ;
- Utiliser le maximum d'alignement ;
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer le terrassement.
- Eviter les problèmes de talus :

Talus en déblai : éviter :

La présence de nappe ;

- Les terrains plastiques ;
- La présence de roches fissurées.

Talus en remblai : éviter :

- La présence de terrain instable ;
- Les sols très compressibles.

V.2.2. Les Éléments du tracé en plan :

Le tracé en plan se composera de la succession judicieuse des éléments suivants :

- alignement droit ;
- pleine courbe (courbe circulaire) ;
- courbe de transition (la clothoïde).

Comme il est schématisé dans la figure suivante :

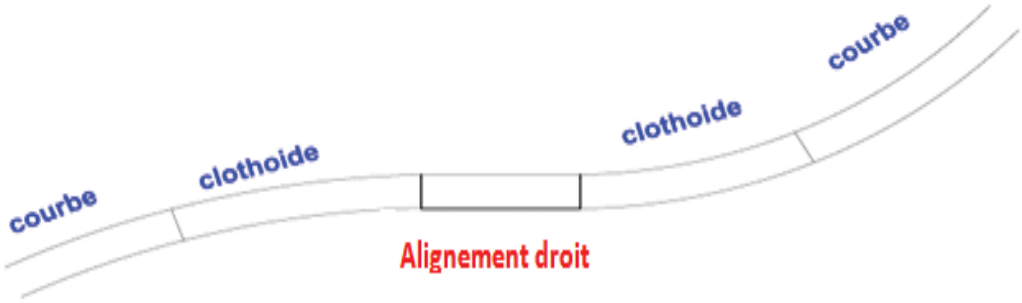


Figure IV.1. : Les éléments du tracé en plan.

Les paramètres géométriques de conception du tracé :

IV.2.3.1. Rayon minimal :

- **Rmin** en « m »
- **Vv** en « km/h »
- **dmax** en « mm »
- **Imax** en « mm »

$$R_{min} = \frac{11.8 \times Vv^2}{dmax + Imax} \ [m]$$

IV.2.3.2. Devers : d [mm]

Comme tout mobile se déplaçant à une certaine vitesse, un train et ses passagers subissent les effets de la force centrifuge dans les courbes. Pour compenser cette attraction vers l'extérieur de la courbe, il est nécessaire d'incliner la voie vers l'intérieur. Cette différence de niveau entre le rail extérieur et le rail intérieur d'une même voie s'appelle le **dévers**.

- Sans dévers, les forces P+F (appliquées en G) Et Rh+Rv (appliquées en C) ne sont pas sur le même axe et exerce un couple de renversement.

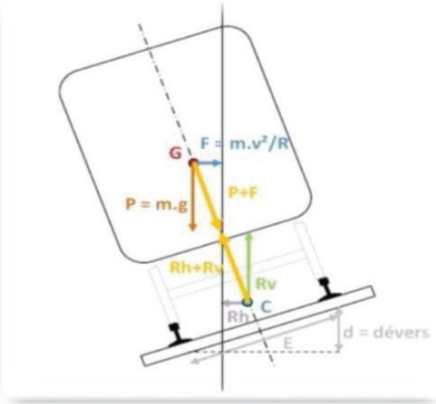


Figure IV.2. : Voies sans devers.

- Avec un dévers (bien calculé) qui permet de ramener les deux forces sur le même axe, on annule le couple et le véhicule n'a plus de risque de renversement en courbe.

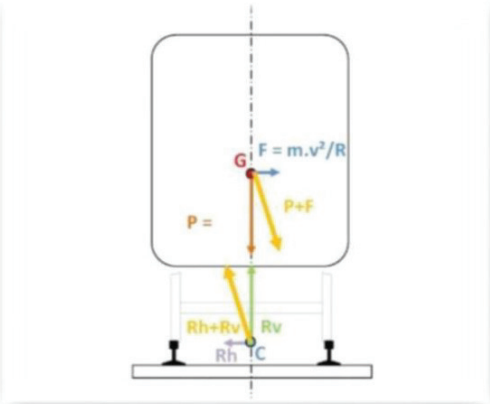


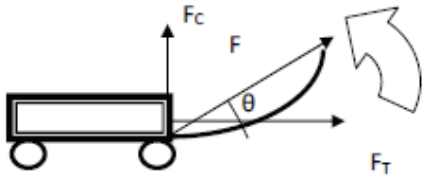
Figure IV.3 : Voies avec devers.

IV.2.3.2.1. Le devers théorique (d'équilibre) : $d_{th\ [mm]}$

- L'action de l'accélération transversale peut conduire au déraillement du train, la fatigue de la voie et du matériel roulant.

Pour une courbe de rayon R (m) et une vitesse du train V (km/h), la force centrifuge F (N) est donnée par la relation suivante : - $F = \frac{M*V^2}{R}$

- Et le poids **P** par : P = M × g.



$\tan\alpha = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{R.g}$ $(\alpha \ll 0\ donc\ \sin(\alpha \approx 0))$; $On\ a$: $d = e.\sin\alpha = e.\tan\alpha = e.\frac{V^2}{R.g}$

Pour un écartement e = 1.5*m et g*=9.81m/s².

Donc la valeur du devers théorique sera donné par la relation suivante :

- **d_{th}** en «mm».
- **V_V** en « km ».
- **R :** en « m».

$$d_{th} = \frac{11.8 \times Vv^2}{R}\ [mm]$$

IV.2.3.2.2. Le devers pratique :

Le choix du devers à mettre en voie est un compromis, car il doit permettre la circulation, dans des conditions normales de sécurité et de confort, aussi bien des trains rapides de voyageurs que des trains lents de fret. Ce dévers donné à la voie est appelé dévers pratique **(dévers prescrit)**.

- **d_p** en «mm».
- **C** coefficient de devers.
- **R** en «m».

$$d_p = 1000 \times \frac{C}{R}\ [mm]$$

IV.2.3.2.3. Coefficient de devers : C

- 1ére formule : $C = 0.006 * Vv^2$
- 2éme formule : $C = \frac{dRmin \times Rmin}{1000}$

Avec $dRmin = \frac{V^2\ max \times Emax + V^2\ min \times Imax}{V^2\ max - V^2 min}$

Et : $Rmin = \frac{11.8\ Vv^2}{dmax + Imax}$

- dRmin: Dévers du rayon minimal en « mm ».
- R_{min} : en «m».

IV.2.3.2.4. Insuffisance du dévers : I[mm]

Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensé. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. Donc, **l'insuffisance de dévers** est la différence entre le dévers théorique des trains les plus rapides et le dévers pratique : $\boldsymbol{I} = \boldsymbol{d}\text{th} - \boldsymbol{dp}\ [\boldsymbol{mm}]$

- $\mathbf{V_v}$ en «km/h» ;
- **R** en « m » ;
- **dp** en « mm ».

$$I = \frac{11.8 \times Vv^2}{R} - dp \ \ [mm]$$

IV.2.3.2.5. Excès de devers : E [mm]

Si les trains les plus rapides circulent avec une insuffisance de dévers, les trains lents sont alors souvent en excès de dévers. L'excès de dévers augmente les efforts exercés sur le rail intérieur par les trains lents, plus spécialement les trains de fret qui ont habituellement des masses par essieu plus élevées. Donc, l'**excès de dévers** est la différence entre le dévers pratique et le dévers théorique des trains les plus lentes : $\boldsymbol{E}=\boldsymbol{dp} - \boldsymbol{d}\text{th}\ [\boldsymbol{mm}]$

- **Vm** en « km/h » ;
- **R** en « m » ;
- **dp** en « mm ».

$$E = dp - \frac{11.8 \times Vm^2}{R} \ \ [mm]$$

IV.2.3.2.6. Variation de dévers en fonction de la longueur : $\frac{\Delta d}{\Delta l}$ [mm/m]

La variation de dévers doit satisfaire aux 2 conditions suivantes :

- **1ére condition** : en fonction de la vitesse V du mouvement le plus rapide :
  - Valeur limite normale : $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{180}{V}$
  - Valeur limite exceptionnelle : $\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{216}{V}$

Avec : - V : vitesse du mouvement le plus rapide (en km/h).
- $\frac{\Delta d}{\Delta l}$: variation de devers (en mm/m)

- **2éme condition** : en fonction des valeurs du dévers et du rayon de la pleine courbe adjacente aux raccordements considérés.

IV.2.3.2.7. Variation de devers en fonction du temps ($\frac{\Delta d}{\Delta t}$).

C'est le taux suivant lequel le dévers augmente ou diminue relativement à la vitesse d'un véhicule franchissant une courbe de raccordement.

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{\Delta d}{3.6 \times L} \text{ [mm/s]}$$

IV.2.3.2.8. Variation d'insuffisance de dévers ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$) :

C'est le taux exprimé en mm/m suivant lequel l'insuffisance de dévers appliquée à une circulation circulant à une vitesse donnée augmente ou diminue par unité de temps. Elle se détermine par la formule suivante :

- $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V}{3.6 \times L_{RP}}$ dans un RP entre alignement et courbe ;
- $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{|I_1 - I_2| \times Vv}{3..6 \times L_{RP}}$ dans un RP entre deux courbes de même sens ;
- $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{|I_1 + I_2| \times Vv}{3..6 \times L_{RP}}$ dans un RP entre deux courbes de sens contraire

Avec :

- $\frac{\Delta I}{\Delta t}$: variation d'insuffisance de dévers (en mm/s) ;
- **I** : insuffisance dans la pleine courbe (en mm) ;
- $\mathbf{I_1}$: insuffisance dans la courbe amont (en mm) ;
- $\mathbf{I_2}$: insuffisance dans le courbe aval (en mm) ;
- **V** : vitesse du mouvement (en km/h) ;
- $\mathbf{L_{RP}}$: longueur du RP (en m).

IV.2.3.3. Raccordement progressive :

Le Dévers augmente progressivement d'une valeur nulle en alignement, jusqu'au dévers prévu en courbe, cette progression se fait sur une longueur dite rampe de dévers.

La variation du dévers par unité de longueur où la rampe de raccordement est constante pour faciliter la pose, le contrôle et l'entretien de la voie. Pour passer d'un dévers d'alignement à un dévers de courbe, on surélève progressivement la file extérieure par rapport à la file intérieure et l'insuffisance ou l'excès varie jusqu'à la valeur prévue en plein courbe.

- L'origine de raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP coté alignement.
- La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP coté pleine courbe.
- Dans le cas d'un RP entre deux courbes, l'ORP est l'extrémité du RP du côté du plus grand rayon et la FRP, l'extrémité du RP du côté du plus petit rayon.

ORP : origine de raccordement progressif.

FRP : fin du raccordement progressif

IV.2.3.3.1. Géométrie de la courbe de raccordement :

Les courbes de raccordement de la voie en plan doivent être conçues pour limiter la variation de l'accélération transversale non compensée (afin de répondre à des exigences de confort.) Ces courbes de raccordement de la voie en plan peuvent être réalisées de différentes manières ; la courbe la plus utilisée aujourd'hui est la clotoïde.

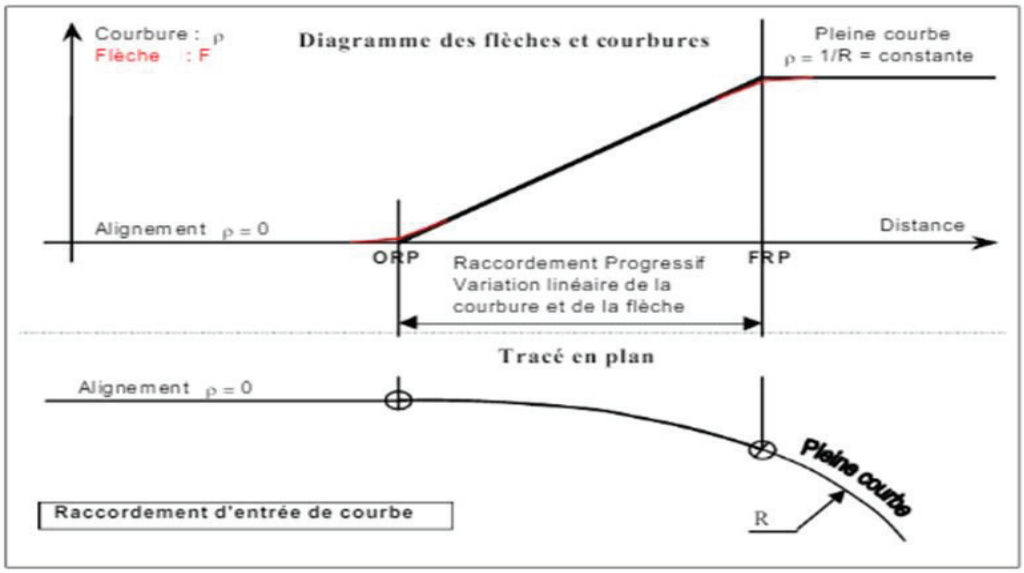


Figure IV.5. : Courbe de raccordement.

IV.2.3.3.2. Longueur de la clotoïde :

La longueur de la clotoide doit être déterminée à partir des valeurs limites imposées par les paramètres suivants :

- Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps $\frac{\Delta I}{\Delta t}$
- Variation de dévers en fonction de la longueur $\frac{\Delta d}{\Delta l}$.
- Variation de dévers en fonction du temps $\frac{\Delta d}{\Delta t}$.

C'est la longueur de clotoïde qui doit satisfaire chacune des conditions de sécurité et de confort suivantes :

- $L \geq \frac{Vv}{3.6} \times \Delta d \times \left(\frac{dd}{dt}\right)^{-1}_{lim}$
- $L \geq \Delta d \times \left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)^{-1}_{lim}$
- $L \geq \frac{Vv}{3.6} \times \Delta I \times \left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)^{-1}_{lim}$

IV.2.3.3.3. Paramètre de la clotoïde :

$$A^2 = R \times L$$

IV.3. APPLICATION AU PROJET :

Cadre normatif :

Tableau IV.1: les valeurs limites des éléments caractéristiques du tracé en plan pour une vitesse de 220 km/h (UIC 703R)

Vitesse de 220 km/h	Valeur limite normal	Valeur limite maximale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimal des alignements : L_{min} [m]	V/2	/	V/3
Dévers : d [mm]	120	150	160
Insuffisance de dévers : I[mm]	100	120	150
Excès de dévers : E[mm]	70	90	110
Variation de dévers en fonction de la longueur : $\frac{\Delta d}{\Delta l}$ [mm/m]	0.82	0.98	/
Variation de dévers en fonction de temps : $\frac{\Delta d}{\Delta t}$ [mm/s]	28	35	50
Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps : $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ [mm/s]	25	70	/

- **Calcule de la longueur de l'alignement droit L_{min} :**
  - Valeur limite normale : $L_{min}=\frac{V_v}{2}=\frac{220}{2}$; **L_{min} =110m**
  - Valeur limite exceptionnelle : $L_{min}=\frac{V_v}{3}=\frac{220}{3}=73.33m$; on prend **$L_{min}$ = 75m**
- **Calcul de rayon minimal R_{min} :**
  - Valeur limite normale :

    $R_{min}=\frac{11.8\times Vv^2}{dmax+Imax}=\frac{11.8\times 220^2}{150+120}=2115.6m$; on prend **R_{min} = 2150 m**
  - Valeur limite exceptionnelle :

    $R_{min}=\frac{11.8\times Vv^2}{dmax+Imax}=\frac{11.8\times 220^2}{160+120}=1842.32m$; on prend **R_{min} = 1850 m**

❖ **Remarque :**

Un exemple de calcul manuel est détaillé dans l'**Annexe B.**

Le tableau **IV.1** est une fiche récapitulative des valeurs des paramètres de conception utilisés lors du tracé en plan et qui répondent aux exigences de la norme UIC.

Tableau IIII.2 : les paramètres de conception du tracé en plan.

Rayon R(m)	Dévers théorique pour voyageurs dth (mm)	Dévers théorique pour marchandises dth (mm)	dévers pratique d_p (mm)	Insuffisance du dévers I (mm)	Excès du dévers E (mm)	Longueur de raccordement calculé L (m)			Long. Racc. adopté (m)	Paramètre de clothoide
	$d_{th} = \frac{11.8*V_v^2}{R}$	$d_{th} = \frac{11.8*V_m^2}{R}$	$d_p = 1000\frac{C}{R}$	$I = \frac{11.8\times V_v^2}{R} - dp$	$E = dp - \frac{11.8\times V_m^2}{R}$	$\frac{Vv}{3.6}\times\Delta d\times\left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{lim}^{-1}$	$\Delta d\times\left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)_{lim}^{-1}$	$\frac{Vv}{3.6}\times\Delta I\times\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)_{lim}^{-1}$		$A = \sqrt{R\times L}$
4500	126.92	16.78	58	69	41.22	126.58	70.73	168.67	170	875
5000	114.22	15.104	52	62.22	37	113.49	63.41	152.09	160	894
6000	95.19	12.59	44	51.19	31.41	96.03	53.66	125.13	130	883

IV.4. CALCUL D'AXE :

Après avoir déterminé le couloir sur lequel la voie sera tracée, on entame l'opération de calcul d'axe permettant de matérialiser le tracé d'un projet ferroviaire, elle consiste au calcul d'axe point par point du début du tronçon à sa fin. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées.

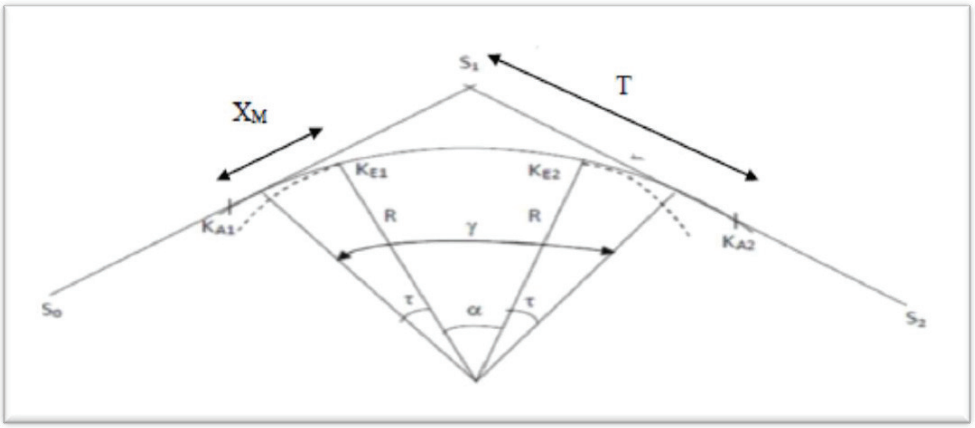


Figure IV.6: élément de la clotoïde

- **S0, S1, S: :** Trois sommets connus ;
- **M** : Origine de la clothoide ;
- **R**: Rayon de l'arc de cercle ;
- **XM** : Abscisse du centre de cercle ;
- **γ** : Angle entre alignement ;
- **τ** : Angle des tangentes ;
- **T** : Tangente ;
- **σ**: L'angle polaire
- **ΔR** : Ripage **;**
- **KA** : début de clothoide ;
- **KE** : Fin de clothoide

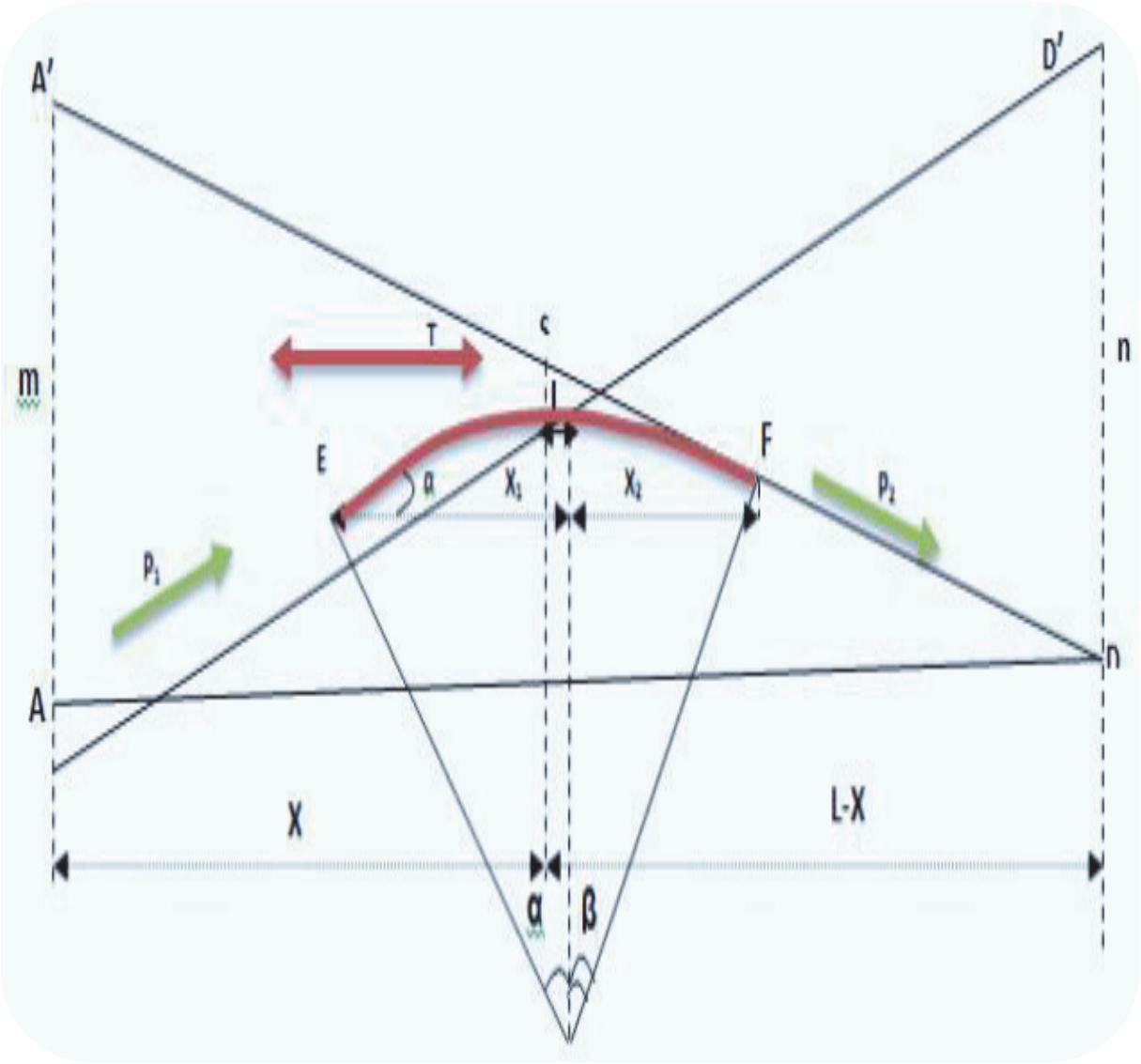
Un calcul manuel est détaillé dans **l'Annexe B**.

❖ **Remarque** : Les calculs sont faits avec le logiciel **CIVIL 3D**, les résultats sont joints dans **l'Annexe B**.

CONCLUSION :

Le tracé en plan de notre projet répond aux conditions de la norme UIC, il est composé de grands alignements droits raccordés par des courbes de grands rayons, le rayon minimum de valeur R=2150m. Cette valeur s'avère la seule à pouvoir insérer le tracé dans le couloir et répondre au respect des valeurs des autres paramètres de conception imposées par la même norme.

CHAPITRE V : PROFIL EN LONG



V.1. INTRODUCTION :

Le profil en long est la coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé et on appelle déclivité, la tangente de l'angle qui fait le profil en long avec l'horizontale, elle prend le nom de pente pour une descente et rampe pour une montée.

Le profil longitudinal s'avère un outil indispensable à la conception de tous travaux de voirie. Il donne une image de la topographie et des contraintes du terrain à l'endroit exact où s'effectuera le passage de la voie. À l'aide du profil longitudinal, le concepteur situe l'axe de la voie en estimant le volume de déblai ainsi que celui du remblai. En outre, le profil en long forme une base de décision sur les types d'ouvrages à adopter (tunnel, pont, remblai...).

Le profil longitudinal sera défini par la projection horizontale de la cote de la file basse des rails des voies sur un plan vertical passant par l'axe du tracé.

V.2. CRITERE DE CONCEPTION :

Règle de création de 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 la coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur ;
- Respecter la valeur maximale des pentes;
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulements ;
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la voie ferrée du passage ;
- Talonner le terrain naturel pour limiter les volumes des déblais et remblais et les équilibrer afin de minimiser le cout ;
- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et les déblais ;
- Eviter d'introduire un point bas en profil en long dans une partie en déblai pour éviter les problèmes de l'écoulement de l'eau et des terrassements ;
- Eviter une hauteur excessive en remblai ;
- Prendre en considération les rétablissements des réseaux routiers :
  - Les ponts rails : passé en dessus de la voie de circulation.
  - Les ponts routes : passé au même niveau que le terrain naturel, ou bien en dessous.

V.2.2. Les éléments caractéristiques du profil en long :

V.2.2.1. Déclivité :

La déclivité d'une ligne affecte les possibilités de freinage et de démarrage des circulations. Elle est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontale, appelée pente pour les descentes et rampe pour les montée.la déclivité admise varie en fonction de sa longueur :

- la déclivité maximale est de 12‰ (16‰ exceptionnellement) en gare elle est de 1.5‰ ;

- pour une longueur inférieur à 3000m, la déclivité ne doit pas dépasser 16‰ et exceptionnellement 18‰ ;
- pour une longueur comprise entre 3000m et 15000m, la déclivité diminue graduellement pour passer de 16‰ à 13‰, exceptionnellement de 18‰ à 15‰ ;
- pour une longueur supérieure à 15000m, la déclivité ne doit pas dépasser 13‰ et exceptionnellement 15‰.
- La distance minimale entre deux points de changement de déclivité doit être 800m.

V.2.2.2. Longueur, et rayon minimal du profil en long :

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

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

Tableau V.1: les valeurs de la longueur et du rayon minimal du profil en long

paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle	application	
			Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimale en profil en long	$\frac{Vv}{2}$	$\frac{Vv}{2.5}$	$L_{min}=\frac{220}{2}=110m$	$L_{min}=\frac{220}{2.5}=88m$
Rayon minimal des éléments du profil en long	$0.35\ V_v^2$	$0.25\ V^2_v$	$R=0.35\times(220)^2=16940m$	$R=0.25\times(220)^2=12100m$

V.3. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN :

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

- Il faut respecter les valeurs des paramètres géométriques et les rayons prescrits par le règlement ;
- Eviter les superposition entre les rayons du profil en long et les rayons du tracé en plan
- Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe ou bien en déclivité ;
- Minimiser les quantités de déblai et remblai ;
- Éviter une hauteur excessive en remblai ;
- Minimiser les portes.

V.4. CALCUL DES ELEMENTS DU PROFIL EN LONG :

Dans cette partie on va déterminer :

- Les pentes ;
- La tangente d'une part et d'autre du sommet ;
- La flèche en dessous du raccordement ;

- Les coordonnées des points singuliers du raccordement ;
- Les PK des points singuliers.

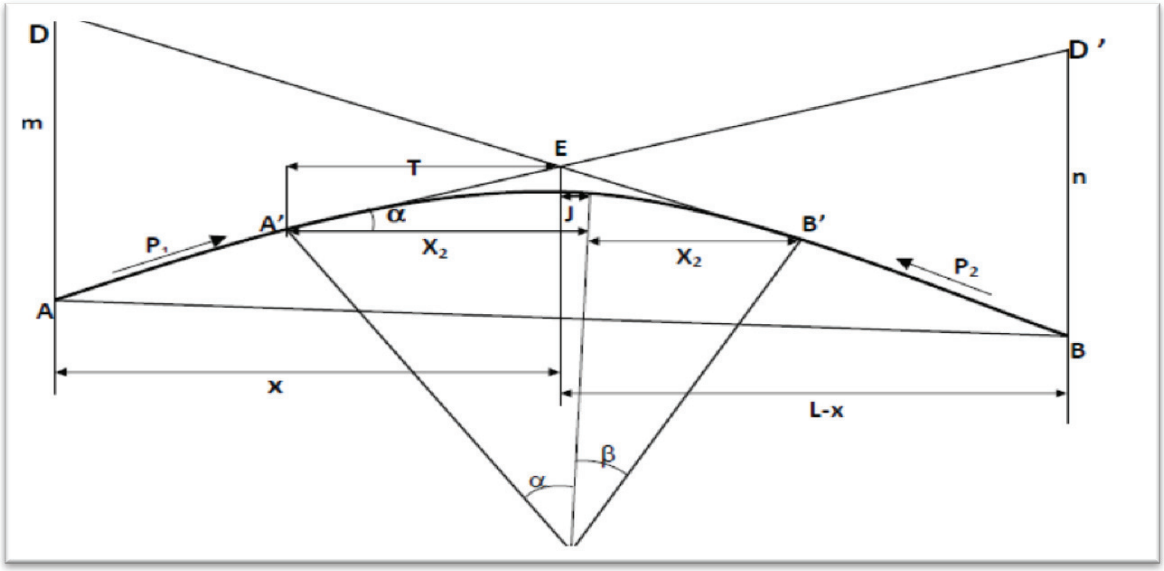


Figure 0.1. : Les éléments du profil en long.

- **A'** et **B'** : Extrémités du raccordement ;
- **A** et **B**: deux points connus sur P1 et P2 ;
- **P1** et **P2 :** pente et rampe ;
- **G** : Milieu de raccordement situé sur la variante ;
- **F** : Hauteur de l'abaissement du sommet (Flèche) ;
- **X** : Distance entre le sommet et un point A sur P1 ;
- **L :** Distance entre les deux points A et B ;
- **$(\alpha+\beta)$** : angle de variation, ou de changement de direction ;
- **O** : Centre du cercle de rayon R ;
- **E** : Sommet ou point de changement de déclivité ;
- **T** : Tangente de part et d'autre du sommet.

- **Détermination des pentes :**

$$P1 = \frac{\Delta Z1}{\Delta S1}$$

$$P2 = \frac{\Delta Z2}{\Delta S2}$$

- **détermination de tangente T :**

$$T = \frac{R}{2}|P2 - P1|$$ P1 et P2 les pentes prise avec leurs sens.

- **Détermination de la flèche F :**

$$F = \frac{T^2}{2R}$$

- **Détermination des coordonnées du sommet E :**

$$\begin{cases} X_E = X_A + X \\ Z_E = Y_A + X.P_1 \end{cases}$$

- **Coordonnées de A et B :**

$$A'\ (X_{A'} = X_E - T,\ Y_{A'} = Y_E - P_1 T)$$
$$B'\ (X_{B'} = X_E + T,\ Y_{B'} = Y_E - P_2 T)$$

- **PK et altitudes des points singuliers :**

$$L = PK_{B'} - PK_{A'}$$
$$Z = Z_A + P_1 l$$
$$PK_E = PK_{A'} + l$$
$$l = \frac{Z_{B'} - Z_{A'} + P2L}{P2 - P1}$$

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

$$Z_G = Z_E - F$$
$$PK_G = PK_E$$

La flèche prise avec son signe

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

Début :
$$\begin{cases} Z_A = Z_E - P_1 .T \\ PK_{A'} = PK_E - T \end{cases}$$

Fin
$$\begin{cases} Z_{B'} = Z_E - P_2 .T \\ PK_{B'} = PK_E + T \end{cases}$$

Un calcul manuel est détaillé dans l'Annexe C.

❖ **Remarque :**

Les calculs sont faits avec le logiciel **CIVIL 3D**, les résultats sont à **l'Annexe C**.

V.5. CONCLUSION :

Le profil en long de notre projet répond aux conditions de la norme UIC, le rayon vertical minimal est de de R= 16940m et la pente maximale est de 15.3 ‰ et 0 ‰ au niveau des gares.

Chapitre VI : étude géologique et géotechnique



VI.1. PARTIE A : ETUDE GEOLOGIQUE

VI.1.1. Introduction A :

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

VI.1.2. Encadrement géologique et tectonique de la région :

Les terrains traversés par le projet Mechria-El bayadh sont cantonnés sur un espace connu géographiquement par l'appellation des Hautes Plaines Sud Oranaises et l'Atlas Saharien (terminaison orientale des Monts des Ksour, région de Mecheria et une partie du Djebel Amour, région d'El Bayadh). Ils présentent différentes formes de relief; avec des altitudes dépassant souvent les milles mètres (1000m).

La région d'El Bayadh couvre une partie de plus typique de l'Atlas Saharien entre la région occidentale des grands affleurements jurassique et celle plus orientale ou dominent les terrains crétacés. Elle forme une structure synclinale orientée N.E-SO appartenant à l'Atlas Saharien central (Djebel Amour). Cette structure est occupée par d'épaisses séries géologiques marines ou continentales du secondaire.

Sur le plan tectonique, la région fait partie de l'Atlas saharien (prolongement vers l'Est du Haut atlas marocain) qui a été plissé lors de l'Orogenèse alpine. L'Atlas saharien, barrière topographique et climatique ente l'Algérie septentrionale et le domaine du Sahara, est une chaîne intracratonique rattachée au système alpin, orienté NS et EW en moyenne et située entre deux zones très différentes : la plate-forme saharienne stable, au Sud et les bassins telliens mobiles, au Nord.

Cadre géomorphologique :

Du point de vue géomorphologique, notre tracé est comme suit :

- **Du PK 123+482 :** il sévira au franchissement d'une route revêtue qui relie les villages de Mechria, Serghira et Dra Lahmar avec la ville d'El Bayadh. Il se situe dans une plaine, au pied de djbel Bouderga à composante essentiellement rocheuse
- **Du PK125+811** : le terrain est plat et recouvert par quelques plantations herbacées.
- **Du Pk126+855** : il servira au franchissement d'un petit oued 0 sens d'écoulement vers le nord.
- **Du PK127+977 au PK129+500** : il est situé au pied de Djebel Bouderga dans une plaine à légère pente orientée grossièrement vers le nord.

VI.1.4. Contexte géologique de la zone d'étude :

La ligne projetée dans le projet passe par des assises sédimentaires d'âge et de faciès variés. Elle traverse une partie de plus typique de l'Atlas Saharien, entre la région occidentale des moins accentués sont formés essentiellement par des terrains attribués stratigraphiquement au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur. Dans les oueds et les dépressions s'accumulent des dépôts continentaux d'âge tertiaire, quaternaire ou actuel. Et sont comme suit :

- **Quaternaire :** les dépôts du Quaternaire sont développés sur le long du tracé, ils sont constitués d'éboulis, d'éluvions, alluvions anciennes et récentes et des dépôts éoliens formés de dunes de sables.

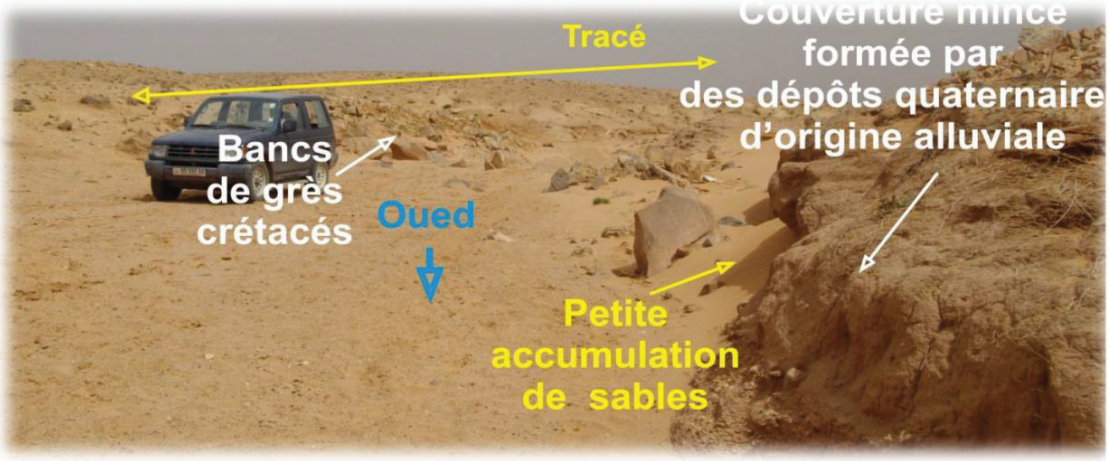


Figure VI.1: alluvions, couche de sable et couche de grés crétacés par le cours d'eau.

- **Crétacé inferieur :** il est le plus développé dans la région d'étude, le Crétacé inférieur est généralement indifférencié du sommet du jurassique.il est correspond à une puissante série continentale, dépassant 1000m d'épaisseur, de grès dur, parfois à dragées de quartz et bois silicifiés, et d'argile rouges, verdâtre, bariolée ou lie-de-vin. Il forme une importante alternance de barres gréseuses et d'inter barres (combes argileuses).

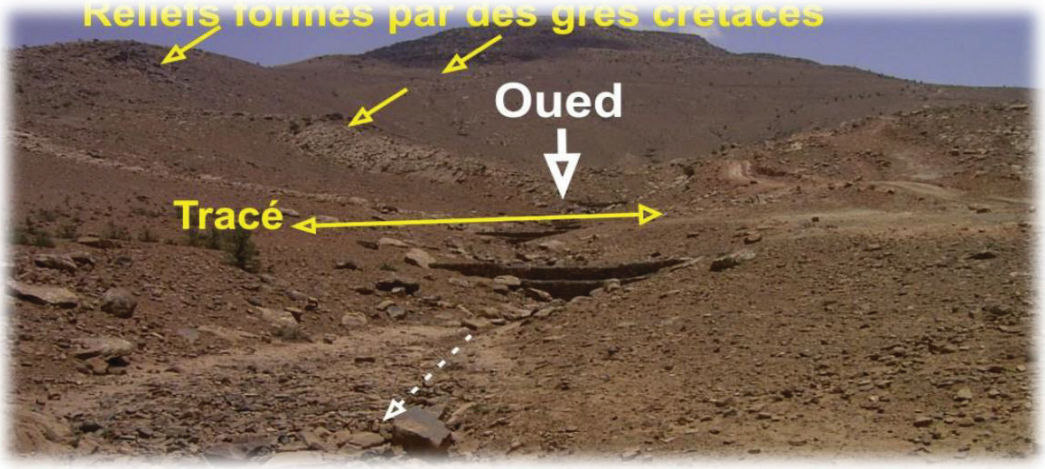


Figure VI.2: reliefs formés par des grès crétacés.

- **Jurassique supérieur :** il correspond à une assise gréso-argileuse puissante, de couleur rougeâtre ou verdâtre. Il peut dépasser 500m d'épaisseur.



Figure VI.3: formation argilo-sableuses superficielles ravinées par le cours d'eau.

VI.1.5. Cadre sismique :

D'après le Règlement Parasismique Algérien (RPA 99/ Addenda 2003), publié par le Centre de Génie Parasismique C.G.S, les wilayas de Mechria et El Bayadh sont classées à la zone de sismicité faible « Zone I ».

Le document technique réglementaire est divisé Le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.1: la répartition de sismicité par chaque zone.

Zone 0	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III
Sismicité négligeable	Sismicité faible	Sismicité moyenne	Sismicité moyenne	Sismicité très élevée

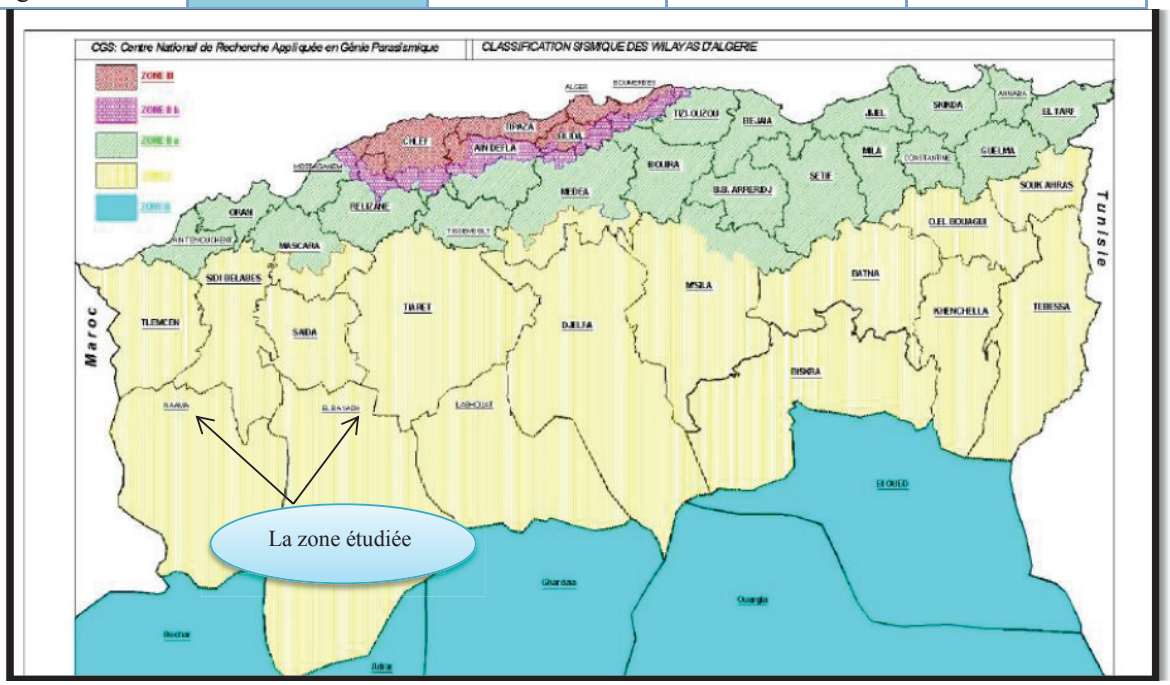


Figure VI.4: représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas.

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

Tableau VI.2 : coefficient d'accélération.

groupe	Zone I	Zone IIa	Zone IIb	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
1A	0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale
1B	0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance
2	0.10	0.15	0.20	0.25	Ouvrages courants
3	0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance

VI.1.6. Conclusion A :

Les résultats d'identification géologique nous ont permis de faire connaissance avec les formations géologiques de notre zone d'étude dominée par le groupe de crétacés inferieurs et des quaternaires caractérisés par des matériaux argileux, limoneux et marneux.

VI.2. PARTIE B : ETUDE GEOTECHNIQUE :

VI.2.1. Introduction B :

On a fait un parcours du tracé sur le terrain pour déterminer les caractéristiques lithologiques et géotechniques des matériaux traversés par le tracé afin de réaliser une conception approprié de la ligne ferroviaire du point de vue géologique et géotechnique.

L'aspect le plus important lors de ce parcours était la détection des zones à problème géotechniques comme les creux, les intersections avec les routes existantes, les zones en déblai, etc…

Pour faire des reconnaissances géotechniques sur le terrain traversé des sondages et des essais in situ sont réalisés :

VI.2.2. Essais in situ :

VI.2.2.1. But des essais in situ :

Il consiste à introduire un instrument en un point précis d'un forage pour y mesurer les caractéristiques d'un sol ou d'une roche.

Les essais in-situ sont des mesures physiques directement sur le terrain. Ils sont principalement :

- L'essai pressiométriques (réalisé dans un sondage) ;
- L'essai pénétrométrique (mesure directe de résistivité du sol par enfoncement d'une pointe) ;
- Des essais de vérification de compacte de terrain (essai de plaque, pénétromètre léger type Panda).

VI.2.2.1. Sondage carotté:

- **Réalisation pratique des sondages carottiers :**

Les sondages carottés seront réalisés au droit des gares et des zones des déblais et des remblais d'une hauteur importante (supérieurs à 10 m), équipés par des piézomètres. Ils ont été réalisés à l'aide de deux (02) machines de forage, par le procédé rotatif non destructif. L'échantillonnage des sols a été fait à l'aide de carottiers simple et double, de diamètres 101 mm et 86 mm.

Durant le battage on note trois (03) enfoncements successifs :

- L'enfoncement de mise en place : c'est l'enfoncement du carottier sous son poids propre et sous celui de train de tige et du dispositif de battage ;
- L'enfoncement d'amorçage (de commencement) : le carottier est enfoncé de 15cm sous l'effet de N_0 coups de mouton ;
- L'enfoncement de l'essai : le carottier est enfoncé de deux fois 15 cm sous l'effet de N_1 puis N_2 coups de mouton ;
- L'enfoncement de l'essai : le carottier est enfoncé de deux fois 15 cm sous l'effet de N_1 puis N_2 coups de mouton ;

Le nombre $N=N_1+N_2$ est appelé résistance à la pénétration (au carottier standard), il est noté N_{SPT}.

L'essai doit s'arrêter si Nombre de coups est > 50 pour enfoncer 10 cm (ou nombre de coups est > 100 pour enfoncer 20 cm), on considérer ces cas comme refus (rencontre de bloc, sol dense ou roche-mère).

- **Mesures des niveaux piézométriques (Niveau de la nappe phréatique par rapport au terrain naturel) :**

En vue de la vérification d'une éventuelle présence d'eau dans le sol, des piézomètres **(NF P 94-119)** ont été installés pour repérer son niveau et suivre ses fluctuations dans le temps. Les niveaux de l'eau souterraine relevés durant les périodes de la campagne d'investigation géotechnique sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VI.3: tableau récapitulatif des niveaux de l'eau souterraine *(données SETIRAIL).*

désignation	Profondeur du forage (m)	Pose piézomètre en (m)	Niveau d'eau (m)
F-31-SB	10	10	6.75
F-32-SB	15	15	5.15
F-33-SB	15	15	Sec
F-34-SB	15	15	9.2

- **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats et la série des photos pour différentes profondeurs au niveau de la zone d'étude, ils sont présentés dans **L'Annexe D.**

- **Interprétation des résultats :**

Tableau VI.4 : qualification de compacité du sol à partir de l'essai SPT *(NF.P 94-011)*

Etat du sol	N_{SPT}
Très lâche	< 4
Lâche	4 à 10
Moyennement dense	10 à 30
dense	30 à 50
Très dense	> 50

VI.2.2.3. Puits de reconnaissance :

- **Réalisation pratique des puits de reconnaissance :**

Les puits de reconnaissance devront atteindre des profondeurs de l'ordre de 3 à 4m, ou aller jusqu'à la profondeur limite du bras mécanique de la rétro-excavatrice, leur implantation sera essentiellement à l'emplacement des ouvrages de drainage et les zones de déblais et remblai.

Cet essai permet de :

- Vérifier la nature des matériaux d'excavation et leurs conditions de réutilisation dans les remblais ;
- Identification géo-mécanique afin d'examiner la portance des terrains et de préciser les types des fondations ;
- Reconnaitre surtout la qualité des matériaux d'assise au niveau des plates formes ;

VI.2.2.4. Sondage pressiométrique :

- **Conception et description du pressiométre :** le pressiométre MENARD comprend deux parties principales :
  - **La sonde :** elle se compose de trois cellules (cellule centrale et cellule de garde) indépendantes montés autour d'une âme métallique.
  - **Contrôle pression-volume (CPV) :** c'est le dispositif qui permet de dilater la sonde et mesurer les pressions et les volumes d'eau injectés.
- **Résultats de l'essai :**

Concernant les profils de la pression limite, pression de fluage et module pressiométrique ainsi que les courbes pressiometrique des différentes profondeurs, ils sont présentés en détail dans **l'Annexe D**.

- **Interprétation des résultats :**

On se base sur le tableau suivant, on peut déduire que le sol étudié est **dense à très dense.**

Tableau VI.5: qualification de compacité du sol à partir de l'essai pressiométrique (NF, P 94-011)

Etat du sol	P_1 (MPA)
Très lâche	< 0.2
Lâche	0.2 à 0.5
Moyennement dense	0.5 à 1
Dense	1 à 2
Très dense	>2

VI.2.2.5. Essai au pénétromètre dynamique lourd :

- **Description du pénétromètre dynamique :**

Un pénétromètre dynamique est un appareil constitué essentiellement par un train de tige, à l'extrémité inférieure du quel est placée une pointe conique d'un diamètre supérieur à celui du train de tiges.

Ces appareils ont pour particularité de comporter un dispositif qui permet d'injecter une boue benthonique dans l'espace annulaire entre le train de tige et le sol au fur et à mesure de la pénétration dans le terrain, évitant ainsi le resserrement ou l'éboulement du sol par la tige.

- **Résultats de l'essai :**

Pour le détail des résultats, il est présenté dans l'**Annexe D.**

- **Interprétation des résultats :** on utilise le tableau suivant pour qualifier notre sol, d'après les graphes obtenus on peut déduire que notre sol est **très dense.**

Tableau VI.6: qualification de compacité du sol à partir de l'essai au pénétromètre dynamique (NF.P94-011)

	R_P (MPA)
lâche	< 2.5
Moyennement dense	2.5 à 5.0
Dense	5.0 à 9
Très dense	> 10

VI.2.3. Essais au laboratoire :

A partir des échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés, les essais de laboratoire suivants ont été réalisés :

❖ **Selon la nature :**

VI.2.3.1. Analyses granulométrique du sol :

- **Par tamisage à sec après lavage :**

Il s'agit du tamisage qui permet de distinguer sols fins, sols sableux (riches en fines) et sols graveleux (pauvres en fines)...etc. les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite «courbe granulométrique».

- **Par sédimentométrie :**

L'analyse granulométrique d'un sol par la méthode de sédimentation s'applique sur les particules passant au travers d'un tamis maille carré de 0.080mm, elle complète donc l'analyse granulométrie par tamisage.

- **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés exécutés sur le tracé, ils sont résumés dans les tableaux**VI.9, VI.10** et représentés en détail dans **l'Annexe D.**

VI.2.3.2. Essai au bleu méthylène :

Le bleu du méthylène est un colorant organique (Bleu) utilisé dans différents domaines de science. Il est utilisé dans la géotechnique pour caractériser un sol contenant de l'argile. Il s'agit d'évaluer la richesse en argile d'un sol en déterminant sa capacité a absorbé les molécules du bleu de méthylène.

- **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les tableaux **VI.9, VI.10** et représentés en détail dans **l'Annexe D.**

VI.2.3.3. Essais limites d'Atterberg :

Limite de plasticité (**Wp**) et limite de liquidité (**WL**), ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol : WP sépare l'état solide de l'état plastique et WL sépare l'état plastique de l'état liquide ; et à partir des limites d'Atterberg, on peut calculer :

- Indice de plasticité : **Ip = W_L−Wp**
- indice de consistance : **Ic= (W_L−W)/Ip**

○ **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les tableaux **VI.9, VI.10** et représentés en détail dans **l'Annexe D.**

VI.2.3.4. Analyses chimique des sols :

L'analyse chimique est une procédure visant à caractériser la composition et les qualités chimiques d'un sol. Une analyse chimique de base comprend la mesure de pH eau, de la matière organique, du calcaire total, du sulfates et chlorure.

○ **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans le tableau **VI.9** et représentés en détail dans **l'Annexe D.**

❖ **Selon l'état hydrique :**

VI.2.3.5. Essai teneur en eau :

On désigne par teneur en eau la quantité d'eau contenue dans un échantillon de matière. Détermination la teneur en eau naturel exprimée en (%) et la masse volumique des sols fins :

$$W = \frac{M - M_S}{M_S} = \frac{M_W}{M_S}$$

○ **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les **tableaux VI.9, VI.10** et représentés en détail dans **l'Annexe D**.

VI.2.3.6. Essai Proctor :

L'essai pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol, cette teneur en eau ainsi obtenue est appelée : optimum PROCTOR.

○ **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les **tableaux VI.10** et représentés en détail dans **l'Annexe D**.

VI.2.3.7. Essai CBR :

Le California Bearing Ratio test (CBR) est un essai de portance, il nous permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement.

○ **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les **tableaux VI.10** et représentés en détail dans **l'Annexe D**.

❖ **Selon les paramètres mécaniques de comportement :**

VI.2.3.8. Essai de cisaillement rectiligne :

L'essai a pour objectif de mesurer au laboratoire les caractéristiques de plasticité (rupture) d'un échantillon de sol soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse suffisamment lente. L'essai permet de déterminer les valeurs de l'angle de frottement et la cohésion '**C**'.

- **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les tableaux **VI.9** et représentés en détail dans **l'Annexe D**.

VI.2.3.9. Essai de compressibilité à l'œdomètre :

Cet essai de compressibilité à l'œdomètre s'applique sur les sols fins et matériaux fin cohérents.

- **Résultats de l'essai :**

Concernant les résultats de cet essai sur les échantillons de terrain prélevés des puits et des sondages carottés sur le tracé, ils sont résumés dans les tableaux **VI.9** et représentés en détail dans **l'Annexe D**.

VI.2.4. Classification des sols sur le long du tracé :

Dans cette partie on va classer les sols traversés par notre tracé selon le fascicule GTR et le code UIC 719R, afin d'apprécier la qualité du sol support. Les résultats de classification sont représentés dans les **tableaux VI.9 et VI.10 :**

La qualité d'un sol dépend de deux paramètres ci-après :

- La nature géotechnique du sol.
- Les conditions hydrogéologique et hydrologique locales.

On distingue quatre classes de qualité QS_i de sols ci-après :

- **QS_0** : sols impropres à la réalisation d'une plateforme correcte et nécessitante certaines mesures confortatives (remplacement de matériaux sur une certaine épaisseur, traitement aux liants, utilisation de géotextiles, renforcement par pieux, etc.)
- **QS_1 :** sols médiocres acceptables tels quels, dont on doit toujours se préoccuper du bon drainage. Ces sols peuvent éventuellement être transformés en sols de meilleure qualité par un traitement approprié.
- **QS_2 :** sols moyens.
- **QS_3 :** bon sols.

D'après la fiche UIC 719R les sols sont classés comme le montre le tableau :

Tableau VI.7: classement du sol (UIC 719R)

Classification des sols (identification géotechnique)	Classe de quantité des sols
0-1- Sols organiques 0-2- Sols fins, foisonnés, humides et dons non compactable. 0-3- Sols thixotropes. 0-4- Sos comportant des matériaux solubles. 0-5- Sols comportant des matériaux polluants. 0-6- Sols mixtes.	QS_0 « sols impropres»
1-1- Sols comportant plus de 40% de fines. 1-2- Sols très évolutives. 1-3- Sols comportant plus de 15% à 40% de fines. 1-4- Roches évolutives. 1-5- Roches tendres.	QS_1 «sols médiocres »
2-1- sols comportant de 5% à 15% de fines. 2-2- sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes. 2-3- roches moyennement dures.	QS_2 «sols moyens»
3-1- sols comportant moins de 5% de fines. 3-2- roches dures.	QS_3 «bons sols»

Tableau IIII.8: définition de la classe de la qualité des sols (NF P113005)

Classification de la norme NFP 11300			Classe de qualité des sols			
classe	désignation	Sous-classe	QS_0	QS_1	QS_2	QS_3
A	Sols fins	A1	A1h	A1m et A1s	A1s (B.C hydro saison sèche)	/
		A2	A2h	A2m et A2s	A2s (B.C hydro saison sèche)	/
		A3	A3h	A3m et A3s	/	/
		A4	A4h	A4m et A4s (1)	/	/
B	Sols sableux et graveleux avec fines	B1	/	/		/
		B2	B2h	B2m	B2s (B.C hydro)	/
		B3	/	/		Propre et bien gradué Dureté élevée
		B4	B4h	B4m	B4s	Propre et bien gradué Dureté élevée
		B5	B5h	B5m	B5s	/
		B6	B6h	B6m	B6s (B.C hydro)	/
C	Sols comportent des fines et de gros éléments	C1	La classe de qualité est celle de fraction 0/50			
		C2	Fraction 0/50 de classe de qualité QS_0 $w \geq 1.25\ w_{opn}$	Fraction 0/50 de classe de qualité QS_0 $w < 1.25\ w_{opn}$	Fraction 0/50 de classe de qualité QS1	Propre et bien gradué Dureté élevée

Unités géotechnique :

AGL	argile limoneuse	ARG	argile	NM	essai non mesurable
AGS	argile sableuse	Gr	grès		
AG	argile grisâtre	Ca	calcaire		
LS	limon et sable				
EN	encroutement calcaire				

Tableau VI.9: la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des sondages carottiers

N° forage	PK	Profondeur (m) De	Profondeur (m) A	Nature des sols	Unité GEO	Paramètres physiques Wa (%)	γ_h (t/cm^3)	γ_d (t/cm^3)	Sr (%)	Analyse granulométrie D_{max} (mm)	<2mm	<80µm	<2µm	Limites d'atterberg WL (%)	W_P (%)	I_P (%)	Ic (%)	Valeur au bleu VBS	Essai cédométrie P_C (bar)	C_C (%)	C_g (%)	C_S (%)	Cisaillement CD C_u (bar)	φ (%)	Cisaillement UU C_u (bar)	φ (%)	Comp. simple R_C (bar)	analyse chimique PH	Sulfat SO_3 (%)	Carbonat CaCO$_3$ (%)	Chlorur CL (%)	Classification GTR	Classification UIC 719R
F31	PK123+680	1.13	1.37	Argile limoneuse	AGL	14.62	2.12	1.85	89.59	5	99.96	69.32	38.10	32	15	17	/	/	2.57	12.29	3.07	2.16	0.20	37	0.24	33	/	/	/	/	/	A_{2S}	QS2
F32	PK126+790	6.1	6.33	Sable argileux	AGS	12.68	2.11	1.87	80.56	31.5	72.88	30.74	16.42	/	/	/	/	1.16	0.87	12.19	12.16	2.50	/	/	1.11	13	/	8.1	0.14	3.96	0.07	B_{5S}	QS2
	PK126+790	9.00	9.20	Sable argileux	AGS	11.54	2.19	1.96	86.87	31.5	53.15	19.91	11.56	/	/	/	/	0.49	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	/	/	/	/	/	B_{5S}	QS2
F33	PK128+100	7.50	7.80	Argile	ARG		2.54																				359.3					R34	QS1
	PK128+100	3.00	3.20	Grès	Gr		2.45																				406.8					R42	QS2
F34	PK129+07	11.0	11.2	Calcaire grisâtre	CA		2.58																				405.6					R23	QS2

Tableau VI.10: la classification des sols selon GTR et UIC 719R à partir des puits de reconnaissance

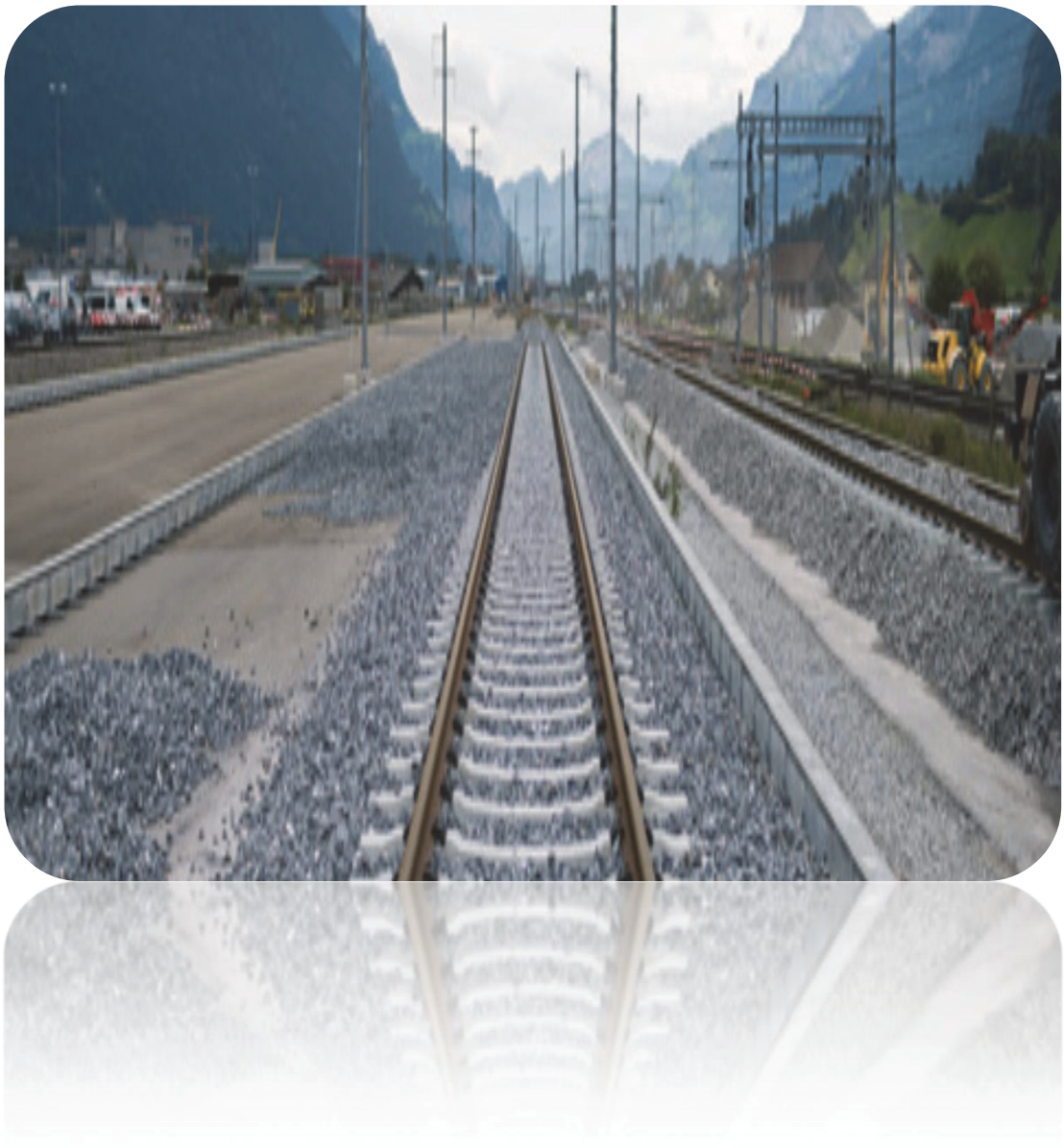
puits	PK	Profondeur (m)		Nature des sols	Analyse granulométrie									Valeur au bleu	Essai de Proctor		Essai de CBR			classification	classification
		De	A		W_a (%)	D_{max} (mm)	<2mm	<80µm	<2µm	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)	I_c (%)	VBS	W_{op} (%)	γ_{dmax} (t/cm^3)	CBR (10c)	CBR (25c)	CBR (56c)	GTR	UIC719R
PU41-SB	**PK120+035**	**0.5**	**2.00**	**Sable argileux (bonnes conditions hydrologiques)**	17.4	40	55.83	25.7	6.61	58.4	35.4	23	/	/	20.8	1.52	2.4	9.7	29.4	B6s	QS2
PU42-SB	**PK121+190**	**1.70**	**3.30**	**Sable argileux (bonnes conditions hydrologiques)**	4.2	80	45.23	16.29	4.82	43.5	20.5	23	/	/	/	/	/	/	/	C1B6	QS2
PU43-SB	**PK125+506**	**0.20**	**0.50**	**Grès**	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	/	/	/	NM	NM	NM	NM	NM	R42	QS2
PU44-SB	**PK126+855**	**0.60**	**1.20**	**Sable à grave argileux**	9.62	63	43.69	22.47	6.36	/	/	/	/	0.15	13.3	1.91	3.26	8.13	10.54	C1B5s	QS2
PU45-SB	**PK127+977**	**0.30**	**1.90**	**Sable à grave argileux**	9.07	80	50.48	27.78	6.77	31.5	21.1	10.4	/	/	12.2	1.94	3	15	18	C1B5s	QS2
PU46-SB	**PK128+270**	**1.40**	**2.50**	**Roche argileuse fragmentable : argilite**	7.6	80	58.06	36.31	4.49	/	/	/	/	0.92	13	1.87	4	16.6	26.8	R34	QS2
PU48-SB	**PK128+658**	**0.50**	**3.60**	**Roche argileuse fragmentable : argilite**	12	3.5	66.57	41.87	5.81	/	/	/		0.6	17	1.67	4	10.8	21.1	R34	QS1
PU49-SB	**PK129+472**	**0.50**	**2.10**	**Sable argileux (bonnes conditions hydrologiques)**	9.8	63	68.05	27.79	11.92	46.3	22.3	24	/	/	14	1.73	5	15.4	24.6	C1B6s	QS2
PU50-SB	**PK129+514**	**0.5**	**2.90**	**Argile limoneuse**	12.1	63	43.61	38.05	130.4	34	19.8	14.2	/	/	/	/	/	/	/	C1A2	QS2

NB : pour le puits PU-43-SB présence d'une dalle naturelle en calcaire n'ayant pas permis le prélèvement d'échantillons en quantités suffisantes pour essais, nous sommes donc en présence d'un sol de bonne qualité.

VI.2.5. Conclusion :

Les essais géotechniques nous ont permis de connaitre les caractéristiques intrinsèques pour la classification **GTR**, en effet nous avons obtenu des sols entre **A, B, C et R**. L'état hydrique est entre moyen, sec à très sec. On aura besoin de cette classification pour l'utilisation de matériaux en terrassement. La classification **UIC** nous a permis d'apprécier la qualité du sol de notre zone d'étude en **QS2** et rarement **QS1**, ce qui nous permettra de dimensionner la structure d'assise correspondante à ces classes de qualité de sol, objet du chapitre suivant.

CHAPITRE VII : dimensionnement de la couche d'assisse



VII.1. INTRODUCTION :

Dès la construction d'une ligne nouvelle, il convient de mettre en place des structures d'assise de caractéristiques appropriées et d'épaisseurs suffisantes.

Les couches d'assise comprennent une couche de ballast, une sous couche interposée entre le ballast et la plateforme. La plateforme pour sa part est constituée d'une couche de forme qui repose sur le corps de remblai ou le terrain naturel en déblai.

VII.2. COUCHE DE BALLAST :

VII.2.1. Définition :

Le ballast est le lit d'une pierre dure concassée d'origine volcanique et de nature siliceuse ou calcaire, les roches tendres ou altérables sont à proscrire sur lequel repose une voie de chemin de fer.

La granulométrie est de 25/50 mm avec un fuseau d'acceptabilité restreint. L'épaisseur minimale de la couche de ballast est de 30 cm sous la traverse, elle dépend de la charge des essieux et de la vitesse.

VII.2.2. Rôle de la couche de ballast :

- transmission uniforme jusqu'à la plate-forme les charges induites par les véhicules ferroviaires ;
- participation à l'élasticité de la voie ;
- stabilisation de la traverse, résistance aux forces longitudinales et transversales des trains ;
- amortissement des vibrations et absorption de bruit, garantissant ainsi la sécurité et le confort des circulations ;
- structure permettant la pose de la voie puis les corrections de la géométrie de la voie par bourrage ;
- drainage efficace de la voie et limitation des problèmes du gel.

Caractéristique du ballast :

VII.2.3.1. Caractéristiques physiques :

- **Granularité** : Les dimensions des éléments du ballast influent sur la résistance de la voie aux sollicitations (élasticité) et sur la mise en œuvre. On utilise en Algérie actuellement la classe 25/50 mm (selon SNTF).
- **La forme des granulats** : Avoir des arêtes vives et des surfaces rugueuses pour permettre la cohésion de la masse et assurer par le frottement Ballast-traverse le bon maintien en place de ces derniers.
- **Homogénéité des granulats** : Un ballast hétérogène (âge et dureté différente) s'altère très rapidement.
- **Perméabilité** : Le ballast doit assurer un bon écoulement des eaux car l'eau qui reste dans le ballast y forme finalement de la boue, les traverses qui s'y appuient sont mal assises (traverses boueuses ou danseuses) ; cette eau se congèle en hiver, d'où gonflement du ballast et soulèvement de la voie. En outre, la voie gelée perd son élasticité.

Si le ballast est insuffisamment perméable, les pluies y creusent des ravinements qui créent des portes à faux compromettant l'assiette de la voie.

- **élasticité** : Celle-ci dérive de la mobilité relative des éléments constituant le ballast. Pour qu'elle soit bonne, il faut que les pierrailles soient de dimensions suffisamment grandes et qu'elles soient bien calibrées. Le ballast doit conserver son élasticité et ne pas former sous les traverses une masse compacte, comprimée sous le poids des trains et ne « revenant » pas lorsque la charge a disparu.
- Solidité : Le ballast doit être assez dur pour résister aux chocs provoqués par les charges roulantes et pour supporter l'action destructrice des outils de bourrage. Un ballast tendre ou poreux se désagrège rapidement. Il absorbe l'humidité qui retient les poussières et les corps étrangers.

VII.2.3.2. Caractéristiques mécaniques :

- **Résistance aux chocs (résistance à la fragmentation)** : Sous l'effet de contraintes transmises au ballast, il se produit un frottement des granulats entre eux, et des chocs engendrés par les traverses et les bourroirs, donc pour mesurer la résistance combinée à la fragmentation par chocs et l'usure par frottement réciproque des granulats on réalise l'essai LOS ANGELES.
- **Résistance d'usure (résistance d'abrasion/à l'attrition)** : Sous l'effet des charges concentrées et des vibrations, les granulats du ballast subissent une usure par frottement aux points de contact entre eux. L'essai qui caractérise la résistance à l'attrition est appelé L'essai Micro DEVAL.

Les valeurs de LA et MDE sont définis en fonction des trafics : LA<=20, MDE<=15, C'est la valeur pour une voie à trafic mixte comprenant la circulation de trains voyageurs à une vitesse de 220km/h, et de trains marchandises à vitesse maximale de 80 km/h.

VII.3. LA SOUS COUCHE :

VII.3.1. Définition :

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre la couche de ballast et la plateforme, la sous-couche peut être mono ou multicouche. Elle comprend, du haut vers le bas, une couche sous-ballast, une couche de fondation et s'il y a lieu une couche anti-contaminant.

VII.3.2. Rôle de la sous couche :

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

VII.3.3. Composition de la sous couche :

La sous-couche peut se décomposer en :

- **une couche « sous-ballast »** : graves propres (gravier) bien graduée 0/31.5mm comportant 100% du matériau concassé, compacté à 103% OPM. Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plateformes rocheuses. ;
- **une couche de fondation** : les matériaux utilisés sont en générale soit des sous-produits de carrière de ballast, de tout venant d'oued ou du gravier bien gradué compacté à 95% OPM. ;

- **une couche anti-contaminant** : c'est une couche de drainage (facultative), en sable moyen propre d'une épaisseur minimale de 15 cm, elles sont complétées en outre par une feuille de feutre synthétique (Géotextile).

VII.4. LA PLATE FORME :

La plateforme est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. Elle est constituée de terres rapportées dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai. Sa partie supérieure est aménagée en couche de forme et de pente transversale.

Pour classer la capacité portante de la plate-forme il faudrait d'abord apprécier :

- la qualité de chaque sol composant la plateforme ;
- la qualité de la plateforme complète : couche de forme + sol sous-jacent.

VII.4.1. Couche de forme :

La partie supérieure de la plate-forme est aménagé en couche de forme généralement pentée transversalement, son épaisseur varie suivant le matériau utilisé de 30 à 60 cm.

Située en remblai, la couche de forme sera exécutée en employant le même matériau que pour le remblai ou meilleur. Situé en déblai, cette couche de forme est obtenue en générale par le compactage du fond de feuille à 100 %. La couche de forme peut également être traitée aux liants.

VII.4.2. Classe de portance de la plateforme :

On peut distinguer les trois classes suivantes de plateforme en fonction de la qualité de leur portance :

- $\mathbf{P_1}$: plateforme médiocre ;
- $\mathbf{P_2}$: plateforme moyenne ;
- $\mathbf{P_3}$: plateforme bonne.

Le tableau suivant représente les classes de plateforme en fonction de la classe de qualité du sol support :

Tableau VII1: les classes de portance de la plateforme (UIC719R)

Classe de qualité du sol :	Classe de portance envisagée pour la plateforme	Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance :	
		Qualité	Epaisseur minimale (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	-

VII.4.3. Epaisseur minimal des couches d'assisse :

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

L'épaisseur de la couche d'assisse (représente du ballast + épaisseur du sous couche) dépend des facteurs suivants :

- E : facteur dépendant des classes de portance (P_1, P2 ou P_3) ;
- a : facteur dépendant de l'UIC groupes (groupe 1 à 6, UIC714) ;
- 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.

Tableau VII.2 : les paramètres de dimensionnements et leurs valeurs (UIC 719R).

Paramètres de dimensionnement	valeurs
E	• E= 0.70m pour les plateformes de classe de portance P1. • E= 0.55m pour les plateformes de classe de portance P2. • E= 0.45m pour les plateformes de classe de portance P3.
a	• a= 0 pour les groupes UIC 1 et 2 (ou ligne à V> 160 km/h quel que soit le groupe UIC). • a= -0.5m pour les groupes UIC 3 et 4. • a= -0.10 m pour les groupes UIC 5 et 6 groupe ainsi que 7.8 et 9 avec voyageurs. • a= -0.15 m pour les groupes 7.8 et 9 sans voyageurs
b	• b=0 pour les traverses bois de longueur 2.60m. • b= (2.5-L)/2 pour les traverses béton de longueur L.
c	• c=0 pour un dimensionnement normal. • c=0.1m à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec voyageurs. • c= 0.05m à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs.
d	• d= 0 lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 KN. • d= +0.05m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN. • d= +0.10m lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
f	• f=0 pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse. • f=0.05m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. • f= 0.10m pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	• g= + géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2. • g=0 (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3.

VII.5. Application au projet :

VII.5.1. Epaisseur de la couche de forme :

Conformément aux résultats obtenus aux essais de laboratoire réalisés, la catégorie des matériaux existants sur le long du tronçon étudié est **QS2** et rarement **QS1**.

On se basant sur le **tableau *VI.1* de la norme *UIC 719R*** ; on aura :

- Pour la classe de qualité de sol **QS2**, elle est jugée « moyenne », la classe de portance de la couche de forme est **P2**. Alors, d'après la fiche on trouve que la couche de forme n'est pas nécessaire, donc on ne va pas l'utiliser.
- Pour la classe de qualité de sol **QS1**, elle peut être de qualité **QS2** si l'on sait avec certitude que les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes.

VII.5.2. Calcul de l'épaisseur minimale de la couche d'assise :

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

- Système de la voie : UIC sur des traverses monobloc en béton précontrainte.
- Ballast avec une épaisseur minimum de 30 cm

Calculant les paramètres de dimensionnement de notre projet :

- **E** = 0.55 m (pour les plates-formes de classe de portance P2) ;
- **a** = 0 m (ligne à V> 160 km/h quel que soit le groupe UIC) ;
- **b** = **(2.5-2.6) /2= 0 m** (les traverses en béton de longueur L= 2600 mm) ;
- **c** = 0 m (dimensionnement normal) ;
- **d** = 0.05 m (la charge d'essieu des véhicules = 250 t) ;
- **f** = 0.05 m (les plates-formes de classe de portance P3 des lignes parcourues à grande vitesse) ;
- **g** = 0 m (pas de géotextile).

On sait que : **e= E + a + b + c + d + f + g**

L'application numérique nous donne : e = 0.55 + 0-0 +0.05+0.05 + 0 = 0.65m

On prend **e = 0.70 m**

Tableau VII3: les couches d'assisse envisagées.

N° de la couche	couches	Epaisseur (m)
1	Ballast	0.35 m
2	Sous-ballast	0.20 m
3	fondation	0.15 m
Epaisseur totale :		0.70 m

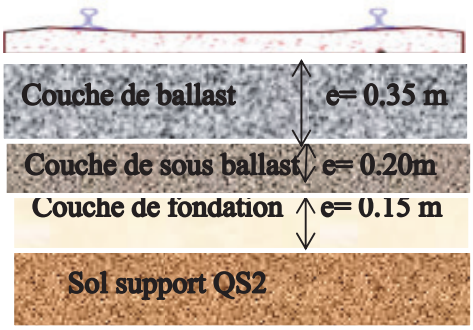


Figure VII.2 schématisation de la structure adoptée

CHAPITRE VIII : terrassement



VIII.1. INTRODUCTION :

Les terrassements désignent l'ensemble des opérations de mouvement des terres en déblais et en remblais, ayant pour objectif fondamental de modification d'un site pour la création d'une plate-forme ferroviaire.

Cette modification s'effectue soit par rapport de terre sur le sol du terrain naturel qui lui suivra le support : remblais, soit par excavation des terres existantes au-dessous du niveau de la ligne rouge : déblais.

VIII.2. DEBLAIS :

VIII.2.1. Les Caractéristiques des sections en déblais :

Les pentes données en cette phase d'étude dépendent de la nature des formations recoupées, sachant que les travaux d'investigations géotechnique n'ont pas mis en évidence la présence d'eau dans aucune zone de déblai.

- **Talutage** : Les pentes données en cette phase d'étude dépendent de la nature des formations recoupées, sachant que les travaux d'investigations géotechnique n'ont pas mis en évidence la présence d'eau dans aucune zone de déblai.

Etant donné le type de formations traversées entre le PK 120+000 et le PK 130+000, on a adopté une pente de 3H /2V pour assurer la stabilité. Les déblais concernes sont comme présenté dans le tableau suivant :

Tableau VIII.1: localisation des zones de déblai

PK	Longueur (m)	Hmax
PK 120+000 au PK120+240	240	6.5
PK126+468 AU PK126+938	470	2.5
PK129+929 AU PK 130+254	325	3

VIII.2.2. Les paramètres géotechniques :

Tableau VIII.2: les paramètres géotechniques considérés pour les zones de déblai

PK déblais	description	γ (KN/m^3)	Court terme		Long terme	
			C' (KPa)	Φ' (°)	C' (KPa)	Φ' (°)
PK 120+000 au PK120+240	Argile limoneuse à sable	18	20	0	26	18
	Encroutement carbonaté	20	0	35	05	30
PK 126+468 au PK126+938	Argile limoneuse à sableuse	19	22	0	32	21
	Encroutement carbonaté	20	0	38	3	32
PK 129+929 au PK130+254	Encroutement calcaire	20	0	30	8	28
	argilite	22	42	0	47	11

VIII.3. REMBLAIS :

VIII.3.1. Les caractéristiques du section de remblais :

- **Talutage :** A ce stade d'étude, Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) pour assurer la stabilité.
- **Décapage :** À l'objet de réduire d'éventuels effondrements, Les terres végétales

d'épaisseur de *20 cm*.

- **Drainage :** Il est considéré important que la surface des remblais présente une pente transversale d'au moins ***4 %*** afin d'éviter la stagnation de l'eau de pluie.
- **Contrôle de tassement :** Compte tenu de tous les résultats des travaux et essais de la campagne géotechnique, on ne prévoit pas des tassements significatifs des remblais tous le long du tracé.

Les remblais concernés sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau VIII.3: localisation des zones de remblai

PK	Longueur (m)	Hmax (m)
Pk 120+240 au pk126+468	6228	9.50
Pk 126+938 au pk129+929	2991	10.00

VIII.3.2. Caractéristiques géotechniques :

Tableau VIV.5: paramètres géotechniques considérés pour les zones des remblai

PK	description	γ (KN/m^3)	Court terme		Long terme	
			C' (KPa)	Φ' (°)	C' (KPa)	Φ' (°)
Pk 120+240 au pk126+468	Argile limoneuse à sableuse	18	20	0	26	18
	Encroutement carbonaté	20	0	35	5	30
Pk 126+938 au pk129+929	Argilite	22	38	0	42	11
	grés	23	56	0	63	7

VIII.4. Etude de stabilité (à titre illustratif) :

On a analysé les conditions de stabilité des remblais les plus importants, tant pour les conditions statiques que dynamiques de séisme. De la même façon que pour l'étude des déblais.

La sécurité au glissement, tant à court terme qu'à long terme, est effectué par le calcul suivant la méthode de Bishop et Fellenius, à l'aide du logiciel de **GEO-SLOPE (Voir les résultats au l'Annexe E) et** à partir les caractéristiques du sol tableau **VIII.3 et VIII.5**.

Selon le type du sol et leurs caractéristiques physiques et mécaniques on adopte une pente qui assure une stabilité satisfaisante, tant au remblai qu'au déblai.

VIII.5. GITES D'EMPRUNTS ET CARRIERES :

VIII.5.1. Gites d'emprunts :

Des zones d'emprunts ont été identifiées le long du tracé. Afin de classer les matériaux de ces gîtes selon le guide technique de réalisation des remblais et de couche de forme (GTR), des puits d'exploration avec un prélèvement d'échantillons ont été réalisés au niveau de chaque zone d'emprunt.

Les résultats des essais de laboratoire réalisés sur les différents échantillons, prélevés à partir des puits de reconnaissance sont résumés dans le **Tableau E.1** (voir **L'annexe E**), Selon les résultats de laboratoire et la classification GTR, les matériaux de ces gîtes sont classés par

- **Classe R23** : Elle correspond à un matériau terrestre composé essentiellement de

carbonates de calcium.

VIII.5.2. Carrières :

Un recensement des différentes carrières a agrégats pour la construction des différentes couches de l'assise de plateforme et pour la confection du béton, a été effectuée au :

- CARRIERE El Feerrane.
- MOUNGARA.
- HASSI Labyoudh.

VIII.6. REUTILISATION DES MATERIAUX DES DEBLAIS :

VIII.6.1. Conditions de réutilisations des matériaux de déblais (NF P11-300) :

La majorité des matériaux rencontrés sont classé selon la norme NF P11-300 comme suit : A2, R23, R34 et R42. La réutilisation de ces matériaux en remblais est sujette aux recommandations du guide technique (GTR). Ces dernières sont données par classes aux paragraphes suivants :

- **Classe A (sous-classe A2)** : Cette classe correspond au sol fin dont le Dmax (Diamètre du plus gros élément en mm) est Inférieur à 50 mm et les tamisât à 80µm supérieur à 35%, les sols rentrant dans cette classe sont les limons argileux et les argiles limoneuses ainsi que les argiles sableuses et les marnes peu plastiques, rencontrés le long du tracé.

  D'après le GTR, la teneur en eau de ces matériaux, va définir les conditions de réutilisations (procédé d'extraction et mode de compactage).
- **Classe R2 (sous-classe R23**) : Il s'agit de calcaire tufs fragmentable (encroûtement), rencontré essentiellement en couche de recouvrement de faible épaisseur, Ces matériaux ne sont pas des matériaux rocheux évolutifs et ne posent pas de problèmes particuliers dans leur emploi en remblai.

  D'après le GTR, ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR.
- **Classe R3 (sous-classe R34)** : Cette classe correspond aux matériaux rocheux de natures argileuses ou marneuses, jugées du point de vue fragmentabilité, comme étant des roches peu fragmentables à fragmentable et de point de vue dégradable comme des roches moyennement à très dégradable.

  D'après le GTR ces matériaux sont réutilisables pour les remblais. Mais vue que cette classe se caractérise par le fait qu'elles possèdent une structure plus ou moins résistante, elles se fragmentent à la mise en œuvre, et elles évoluent granulométriquement en cours du chantier, et que sa mise en place nécessite une étude spécifique préalable, pour ces raisons, et à ce stade du projet, ces matériaux ne seront pas considérés réutilisables.
- **Classe R4 (sous-classe R42)** : Cette classe correspond aux matériaux rocheux de nature gréseuse rencontrée très rarement le long du tracé souvent en alternance avec des argiles et des calcaires. La réutilisation de ces matériaux en remblais se fera selon les recommandations dictées par le guide GTR

VIII.6.2. Reconnaissance géotechnique dans le secteur des ouvrages d'art et bâtiments des gares :

Cette section rappelle les méthodes de reconnaissance géotechniques utilisées dans les secteurs des ouvrages d'art et fourni des informations relatives à la nature du terrain pour chaque ouvrage d'art.

Le **Tableau E.2** présente la nature des sols et rocs et les différents travaux d'investigation associés à ces ouvrages.

VIII.7. CONCLUSION :

Les travaux de terrassements représentent une part importante du coût global de réalisation des projets ferroviaires. Cette importance justifie une recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts en respectant les contraintes du projet (largeur de la plateforme, pentes maximales, courbures en plan et en altitude).

CHAPITRE IX : la structure de la voie



IX.1. INTRODUCTION :

La voie ferrée est un chemin de roulement pour les convois ferroviaires, constitué de deux files de rails qui sont disposés parallèlement dont l'écartement est maintenu par une fixation sur des traverses, reposant sur une couche de ballast, qui assure à la voie une bonne élasticité et lui permet de résister aux efforts transversaux. Ces éléments, qui remplissent chacun un rôle précis, constituent la superstructure de la voie ferrée.

Dans ce chapitre en vas exposer ces différentes composantes une par une.

IX.2. RAILS :

IX.2.1. Définition :

Le rail est le premier élément en contact entre le véhicule et la voie. Il se charge de transmettre et de répartir les forces du véhicule sur le système en dessous. Il y a différents types de rails avec différentes caractéristiques.

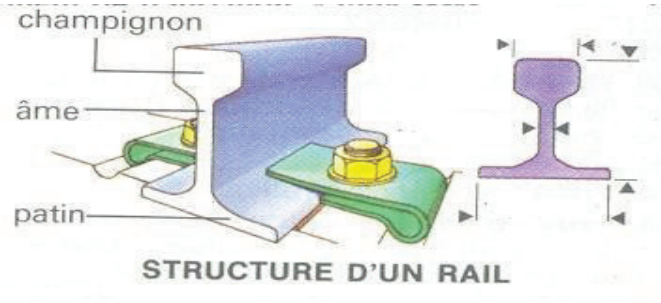


Figure IX.1: les composantes d'un rail

Fonctions :

Le rail constitue un élément fondamental de la structure de la voie ferrée et travaille comme semelle, dispositif de guidage et élément conducteur du courant électrique. Il doit donc répondre aux exigences suivantes :

- Résister directement aux tensions qu'il reçoit du véhicule et les transmettre aux autres éléments qui composent la structure de la voie. Ces efforts peuvent être verticaux, horizontaux et transversaux ;
- Réaliser le guidage des roues et ses mouvements ;
- Servir de conducteur du courant électrique, électricité utilisée pour la signalisation et pour la traction des véhicules sur lignes électrifiées.

IX.2.3. Caractéristiques :

- ***Inclinaison du rail :***

L'inclinaison du rail représente l'angle entre l'axe de symétrie du profil neuf du rail fixé sur son support et la perpendiculaire au plan de roulement. Dans le tableau IX.1 sera présenté les caractéristiques de l'inclinaison selon la vitesse appliquée.

Tableau IX.1 : Récapitulatif des inclinaisons.

	Vitesse		
	200<V<250km/h	<280 km/h	>280 km/h
inclinaison	Sans inclinaison	2.5% - 5%	5%

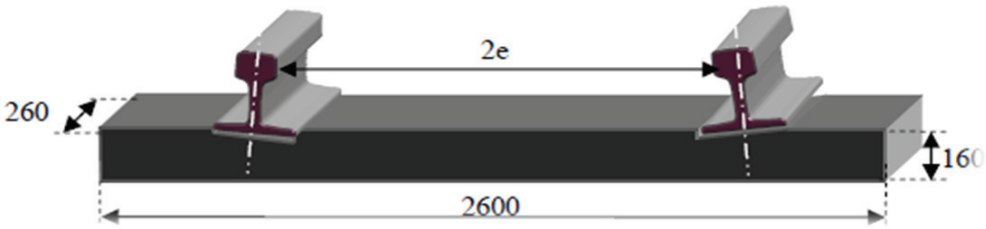


Figure IX.2: Schéma d'inclinaison d'un rail

- ***Profil du champignon :***

Le profil du champignon du rail (tête du rail) doit comporter une pente latérale de flanc du champignon comprise entre 1/20 et 1/17,2 par référence à l'axe vertical du champignon, suivie vers la face supérieur par une succession de courbes de rayons de 12,7 ou 13 mm, puis de 80 et 300 mm jusqu'à l'axe vertical du champignon du rail.

- ***Poids du rail :***

Il s'agit d'une caractéristique essentielle des rails. Puisqu'elle reflète ses conditions résistantes. Pour les lignes LGV, la masse minimale du rail doit être supérieure à 54 kg/m. L'emploi du rail lourd est extrêmement efficace et on peut dire qu'une augmentation de 1 kg par mètre dans le poids du rail entraîne des économies qui, simplement en main- d'œuvre de conservation, peuvent être chiffré entre de 1,3 à 1,5%.

IX.2.4. Profil de rail :

Il existe trois profils principaux de rails :

- le rail à patin, dit rail *Vignole* ;
- le rail à double bourrelet ou bull header (tête de taureau), appelé aussi rail à coussinets ;

Le rail à gorge : utilisés pour les voies encastrées dans des chaussées routières, Notamment pour les installations industrielles et les lignes de tramway.

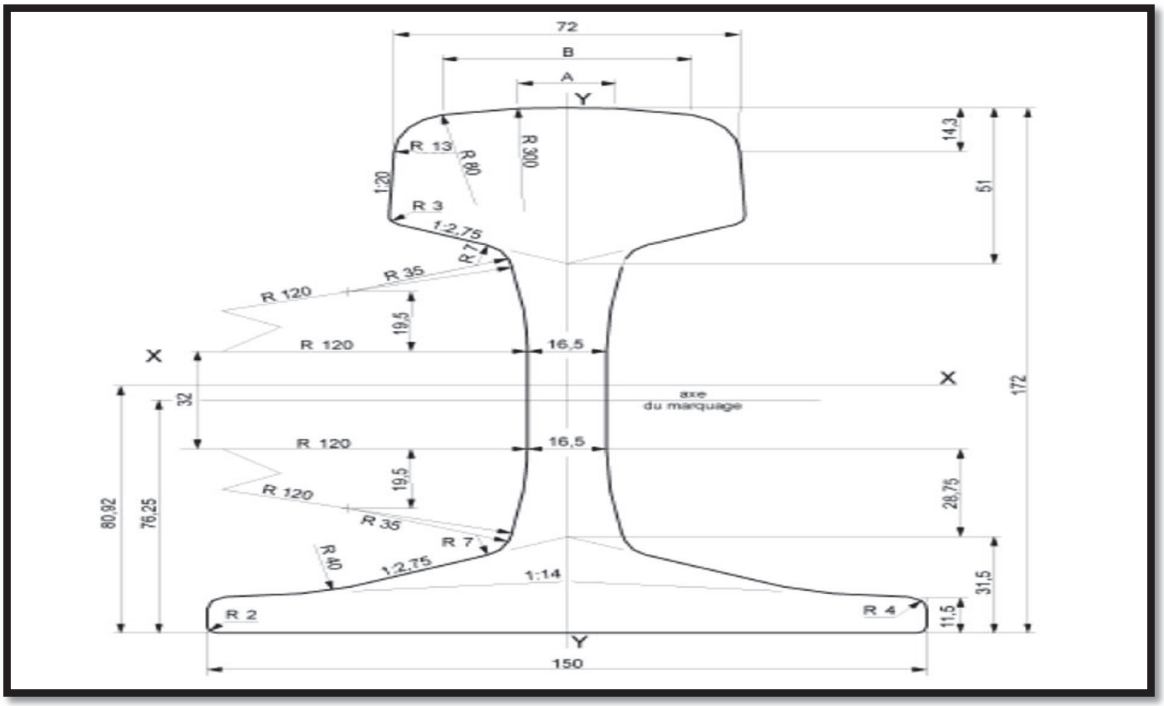


Figure IX.3 : Les différents types de rail (de gauche à droite : rail Vignole, rail à double champignon, rail à gorge).

- **Cas de notre cas :**

Le rail utilisé sera du type 60 E1 (60,21 kg/m). La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la norme EN 13674-1 (Rails Vignole de masse ≥ 46 kg/m).

Les caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 sont comme suit :



FigureIX.4 : Schéma de profil de rail type 60 E1 (EN 1367-1).

Tableau IX.2: caractéristiques du rail UIC60 E1 (EN 13674-1).

Caractéristiques géométriques	
géométrie	Rail 60 E1
Masse par mètre	60.21 kg/m
Surface de la section	76.70 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur de champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe X-X)	3038.30 cm^4
Moment d'inertie (axe Y-Y)	512.3 cm^4
Module d'inertie champignon	333.6 cm^3
Module d'inertie champignon	375.5 cm^3
Caractéristiques mécaniques	
Résistance à la traction	$R \geq 880$ N/mm^2
allongement	$A \geq 10$ %
Dureté au milieu de la table de roulement	260 – 300 HMB
Longueur minimum des barres élémentaires	36 M
Autres caractéristiques	
dressage	Classe A
nuance	260 (carbone-manganèse)

IX.3. Long rail soudé (LRS) :

Pour le montage du rail, deux systèmes existent l'éclissage et les longs rails soudés. L'éclissage est utilisé sur les voies normales. D'autres parts pour les LGV (Lignes à Grande Vitesse), le système utilisé est celui des longs rails soudés (LRS).

Les longs rails soudés ou LRS, appelés aussi « barres longues », constituent une méthode moderne de pose des voies ferrées qui présente l'intérêt de supprimer la plupart des joints de rails sur des longueurs importantes, souvent de plusieurs dizaines de kilomètres.

IX.3.1. Fonctions :

Les LRS sont la pose normale des voies modernes. Ils sont utilisés afin :

- D'améliorer le confort des voyageurs ;
- De diminuer les nuisances sonores vis-à-vis des riverains ;
- D'améliorer la longévité du matériel roulant et du matériel de voie ;
- De diminuer, du fait de la suppression des joints, les dépenses occasionnées par les opérations de maintenance

IX.3.2. Soudures des LRS :

Il existe deux procédés principaux de raccordement :

- Par Le forgeage électrique
  - En atelier pour construire des barres longues ;
  - En voie ou elle nécessite un matériel lourd
- Soudure aluminothermique.
  - Le raccord en voie des barres longues ou des appareils de voie ;
  - La répartition en voie par couponnage.

❖ **Pour notre projet :**

- En atelier : barres élémentaires soudées électriquement en barre continue pour une longueur supérieure ou égale à 18 m ; In situ (en voie) : soudure aluminothermique.

IX.3.3. Avantages et inconvénients des LRS :

- **Avantage :**

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

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

- **Inconvénients :**

Les inconvénients, largement compensés par les avantages, sont :

- une technicité plus grande de leur mise en œuvre et de leur entretien, nécessitant un personnel bien formé ;
- un risque de déformation par flambement de la voie sous les contraintes de compression excessives lors de périodes de très fortes chaleurs (mais ce risque existe aussi en barres normales) ;
- cette compression sous températures élevées entraîne également des risques de déformations lors de travaux effectués sur les rails, le ballast ou les attaches durant la saison chaude. Pour cette raison, sauf à prendre des précautions particulières comme une limitation de la vitesse, on n'entreprend pas de travaux en été sur des voies en LRS ;

- un risque accru par rapport aux barres normales de rupture de rail lors des périodes de grand froid du fait de la tension régnant dans les barres ;
- une utilisation de quantités de ballast plus importantes afin de mieux ancrer les traverses.

IX.4. TRAVERSE :

Les traverses sont des éléments qui se situent perpendiculairement à l'axe des voies, sur lesquels sont posés les rails. Ils constituent, grâce à leur équilibre, la liaison entre le rail et le ballast, formant ainsi l'ossature de la voie.

La charge des roues agit directement sur les rails, transmettant une tension élevée. La traverse reçoit les tensions et les transmet au ballast. Finalement, la plateforme reçoit ces efforts atténués par le ballast.

IX.4.1. Fonctions :

Dans cette optique, les traverses doivent répondre à un certain nombre de situations :

- Servir de support aux rails fixant et assurant sa position selon les côtes;
- Recevoir les charges verticales et horizontales transmis par le rail pour ensuite les répartir vers le ballast;
- Obtenir et maintenir une stabilité pour la voie tant sur le plan horizontal, que sur le plan vertical;
- Maintenir, le plus possible et sans aide extérieur (soutien d'éléments spécifiques), l'isolement électrique entre les fils de rail, lorsque la voie possède un circuit électrique pour la signalisation;
- La traverse joue un rôle d'isolant électrique.

IX.4.2. Les traverses monoblocs B70 :

Dans notre projet les traverses du type Monobloc B70 en béton précontraint pour rail 60-E1 sont utilisées dans toutes les sections de voie courante, les traverses sont posées à raison de 1667 unités au kilomètre (le travelage de 1667 P/km).

- **Les dimensions de la traverse B70 :**

Tableau IX.4: les caractéristiques de la traverse Monobloc B70

Caractéristiques géométriques	
Longueur	2600 mm
Longueur de base à la tête	300 mm
Longueur de la face supérieure sous les rails	190 mm
Largeur de la base au centre	210 mm
Largeur de la face supérieure au centre	180 mm
Hauteur à l'extrémité	210 mm
Hauteur sous le rail	210 mm
Hauteur au centre	180 mm
Autre caractéristiques	
Poids de travers (avec les attaches)	287 kg/pièce
type de rail	UIC 60 E1 /UIC 54 E1
Inclinaison des rails	1/40

Système de fixation	Superstructure W
Vitesse admissible	230 km/h
Charge par essieu admissible	250 kN



Figure IX.5: traverse monobloc B70.

IX.4.3. Avantages et inconvénients :

- pleine performance même en cas de sollicitation d'exploitation élevée ;
- cette résistance élevée par rapport à la sollicitation d'exploitation offre plus de souplesse dans le programme d'exploitation ;

- possibilité de fabrication en grand nombre dans des délais très courts ;
- possibilité d'adapter l'élasticité de la voie aux conditions spécifiques par rapport au support en plaçant des couches intermédiaires élastiques ;
- la superstructure à ballast à traverses monobloc de type B70 est avantageuse en termes d'entretien, ce qui entraîne des effets positifs au niveau de l'analyse des coûts de cycle de vie.

IX.5. ATTACHES DE RAIL ET LA SEMELLE DE RAIL :

IX.5.1. Définition :

L'attache de rail est un appareil qui assure que les 2 rails soient bien fixés à la traverse et enfin au sol. L'attache de rail gère les mouvements de rail générés par les charges ou vibrations des véhicules circulant sur les rails et transmet ces charges ou vibrations aux traverses, au ballast et à la plateforme.

IX.5.2. Fonctions :

- Les attaches des rails maintiennent l'écartement et transmettent les efforts aux éléments sous traverses (longrines transversales, longrines longitudinales, plaques en béton, etc.) ;
- Système de fixation doit être amorti verticalement, en cas de mouvements ascendants et descendants ;
- Dans le cas des traverses en béton, l'une des fonctions essentielles du système de fixation est l'isolation électrique du rail, afin de minimiser les pertes de signaux des circuits de voie, dues à la mauvaise isolation du rail par rapport au sol support.

L'isolation électrique doit, bien entendu, être garantie même pour des conditions atmosphériques pluvieuses et humides

IX.5.3. Types d'attaches:

Des attaches élastiques seront employées de manière à former un intermédiaire élastique entre rail et traverse. Le système recommandé est une attache à lame de type Nabla, ou une attache élastique de type e-clip.

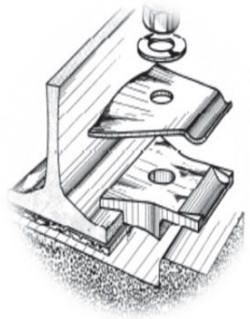


Figure IX.6: attache Nabla



Figure IX.7: Pandrol Fasct-clip



Figure IX.8: vossloh

IX.6. LES APPAREILS DE VOIE

IX.6.1. Définition :

Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui permet d'assurer le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire sur un itinéraire donné, lorsque d'autres itinéraires en divergent ou le traversent. Il permet entre autres d'assurer les bifurcations et les croisements d'itinéraires. En effet, le conducteur d'un train n'ayant aucune maîtrise de la direction prise par le convoi, ce sont les appareils de voie qui sont chargés de le guider et de l'orienter de façon mécanique et passive.

IX.6.2. Fonction :

Les appareils de voie sont donc des équipements typiquement ferroviaires qui assurent toute la souplesse de son exploitation. Ils ont comme fonction principale de permettre à un itinéraire de :

- Se scinder en 2 (ou bien 3) itinéraires différents ;
- De traverser un autre itinéraire ;
- De traverser un autre itinéraire ou de s'y raccorder.

IX.6.3. Types des appareils de voie :

Les appareils de voies sont deux types :

- **Les branchements :** est un appareil de voie qui permet le passage du matériel roulant suivant deux (ou plus) itinéraires ayant une branche commune. Appelé aussi aiguillage dans le langage courant, il a comme rôle de faire changer de voie à un train.
- **Les traversées :** l'appareil de voie que l'on désigne sous le nom de traversée oblique est composé de deux croisements et d'une traversée proprement dite qui comprend 2 cœurs de traversée. Elle comporte également deux groupes de quatre files de rails intermédiaires.

IX.6.4. APPAREILS DE VOIE UTILISEE DANS LE PROJET :

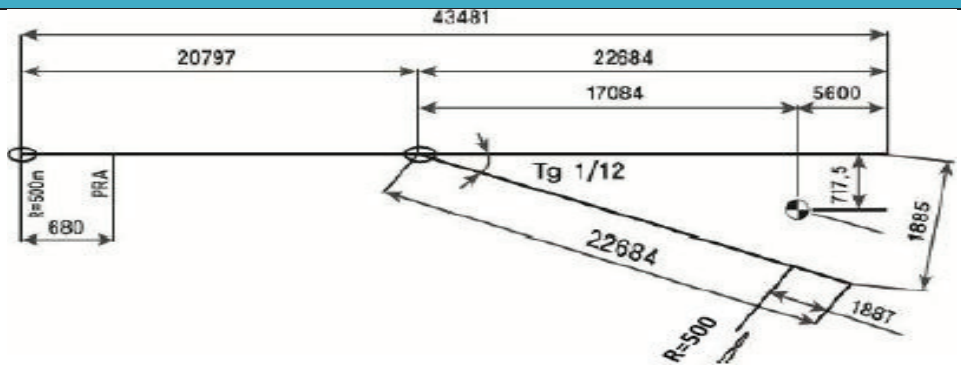
Les caractéristiques et dimensions des appareils de voie type UIC 60 E1 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IX.5: les appareils de voie utilisés.

Appareil de voie	Type de rail	R(m)	LQ (m)	A(m)	B(m)	Vitesse en voie directe km/h (vitesse en voie déviée km/h)
1/12	UIC 60 E1	500	43.841	20.797	22.684	160 (65)

Des diagrammes (skeleton anglais) d'appareils de voie de type UIC 60 E1 sont représentés ci-dessous :

Tableau IX.6: diagrammes des appareils de voie (UIC 711R)

Appareils de voie	Diagramme
Appareil de voie tg 1/12 R500 60 E1	

IX.7. CONCLUSION :

L'état de la superstructure influant sur le niveau de performance du réseau ferroviaire. Les systèmes ferroviaires nécessitent une superstructure à ces propres paramètres (type de rail, de traverses les attaches et le système de pose de voie) qui servent à définir le caractère de cette dernière de supporter et guider les véhicules ferroviaires (matériel roulant).

CHAPITRE X : étude hydraulique et assainissement



X.1. INTRODUCTION :

D'une façon général, l'hydrologie peut de définir comme l'étude de cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux, elle constitue une donnée d'entrée à l'étude du tracé et aux ouvrages d'art. C'est une référence pour l'analyse des écoulements et l'analyse statistique des données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude.

L'étude d'assainissement et de drainage dans un projet a comme objectif de :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux pluviales pour éviter la submersion de la voie ferrée ;
- Réduire le cout de l'entretien ;
- Protéger la voie contre l'inondation ;
- Éviter les problèmes d'érosion des éléments de la superstructure de la voie (rail, …) et des talus de remblai et de déblais ;
- Le rabattement des nappes phréatiques.

X.2. DESCRIPTION HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :

Notre zone d'étude fait partie du bassin versant du Chott Ech Chergui qui est une zone très riche en ressources en eaux salées, saumâtres et thermales chaudes, elle est classé la huitième d'après l'ANRH et composé de 15 sous bassins versants.

L'hydrologie de cette zone étant similaire ; caractérisée par des écoulements endoréiques ou les ruissellements progressent d'amonts en aval à travers un chevelu peu hiérarchisé. Les oueds ont la caractéristique de se fondre dans des dépressions après un parcours plus ou moins long. Les pentes, généralement faibles agissent sur les ruissellements de surface qui sont diffus et discontinus.



Figure X.1: oued d'El-Bayadh au PK 129+700

X.3. détermination des caractéristiques géomorphologiques des bassins versants :

Après délimitation des bassins versant sur carte topographiques au 1/50 000 en utilisant logiciel-Autocad, On a trouvé au total 30 bassins versants qui croisent notre tracé, dont on a

déterminé les caractéristiques géomorphologiques.

X.3.1.Caractéristiques géométriques :

X.3.1.1.Superficie et périmètre :

La superficie **S** du bassin versant est la portion du plan délimitée par une ligne de crête, ou contour du bassin, les débites vont être en partie relié à sa surface. Elle est calculée en réalisant l'intégrale de la ligne du contour du bassin tracé.

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

X.3.1.2. Indice de compacité : Kc (ou K_G)

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

- **S** en «km^2»
- **P** en « km»

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28\frac{P}{\sqrt{S}}$$

X.3.1.3. La longueur du rectangle équivalent : $L_{éq}$ (Km)

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

$$L_{éq} = \frac{kc\sqrt{S}}{1.12} \times \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2}\right)$$

X.3.2. Caractéristiques topographiques :

X.3.2.1. Altitude moyenne du bassin : H_{moy} (m)

L'altitude moyenne est évaluée en faisant la moyenne entre la côte de pointe du flanc de coteaux et la côte minimale de la vallée,

- $\mathbf{H_{min}}$ **:** altitude minimale ;
- $\mathbf{H_{max}}$ **:** altitude maximale.

$$H_{moy} = \frac{Hmax + Hmin}{2}$$

Pente moyenne : I_p (m/m)

- Δh en «m» $\Delta h = Hmax - Hmin$
- L_w en «km».

$$I_p = \frac{\Delta h}{Lw \times 1000}$$

X.3.3. Coefficient de ruissellement : Cr

Pour caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler, un indice est toujours utilisé en hydrologie, qui est le coefficient de ruissellement Cr, il est exprimé comme suit :

Il dépend de :

- La nature du sol ;

- La végétation ;
- La pente.

$$Cr = \frac{hauteur\ d'eau\ ruisselée\ en\ mm}{hauteur\ d'eau\ précipétée\ en\ mm} \times 100$$

Tableau X.1: coefficient de ruissellement en fonction du période de retour T ≥10 ans

T (ans)	10	20	50	100
Cr	0.46	0.53	0.6	0.7

X.3.4. Temps de concentration : Tc (heure)

Le temps de concentration est le temps que mettent les gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Quand ce temps de concentration est atteint, ceci signifie que toutes les régions du bassin versant participent au débit.

Le Tableau suivant résume les différentes méthodes de calcul de temps de concentration en fonction de la surface du bassin versant :

Tableau X.2: méthodes de calcul de temps de concentration

méthode	Surface du BV	Formule	Paramètres
KIRPICH	0.004 et 0.81 km^2	$Tc = \frac{(0.000325 \times L^{0.77})}{Ip^{0.385}}$	Tc : temps de concentration en h L : longueur cours d'eau principal en m Ip : pente moyenne du bassin versant en m/m
VENTURA	< 5 km^2	$Tc = 0.127\sqrt{\frac{S}{Ip}}$	Tc : temps de concentration en h S : surface du bassin versant en km^2 Ip : pente moyenne du bassin versant en m/m
PASSINI	5 et 25 km^2	$Tc = 0.108\frac{(SL)^{1/3}}{Ip^{1/2}}$	Tc : temps de concentration en h S : surface du bassin versant en km^2 L : longueur de thalweg principal en km Ip : pente moyenne du bassin versant en m/m
GIANDOTTI	> 25 km^2	$Tc = \frac{4\sqrt{S}+1.5L}{0.8\sqrt{H}}$	Tc : temps de concentration en h S : surface du bassin versant en km^2 L : longueur de thalweg principal en km $H=H_{moy} - H_{min}$ en m

Les caractéristiques morphologiques des bassins versants sont représentées dans le tableau X.3

Tableau X.3: les caractéristiques morphologiques des bassins versants

N°BV	PK	S(Km^2)	P (km)	L_w (km)	kc	$L_{éq}$ (km)	Hmax(m)	Hmin (m)	Hmoy(m)	Δh	Pente talweg (m/m)	Tc (h)
BV 1	120+421	1.57	5.13	1.75	1.15	1.57	1566	1430	1498	130	0.07	3.07
BV 2	120+655	0.04	0.86	0.28	1.2	0.29	1480	1430	1455	50	0.17	4.66
BV 3	120+865	0.04	0.89	0.38	1.25	0.32	1460	1430	1445	30	0.07	4.2
BV 4	121+128	0.04	1.04	0.15	1.46	0.43	1500	1430	1465	70	0.46	4.03
BV 5	121+300	0.06	1.04	0.35	1.19	0.35	1500	1430	1465	70	0.20	5.03
BV 6	121+470	0.05	1.05	0.35	1.31	0.4	1500	1425	1462.5	75	0.21	5.71
BV 7	121+674	0.98	4.04	0.99	1.28	1.2	1626	1430	1528	196	0.19	3.5
BV 8	121+905	0.28	2.42	0.29	1.51	0.9	1626	1440	1533	186	0.64	3.46
BV 9	122+285	0.15	2.09	0.14	1.35	0.87	1626	1440	1530	186	1.28	3.23
BV 10	122+432	0.12	1.67	0.52	1.30	0.65	1600	1430	1515	170	0.32	6.76
BV 11	122+518	0.14	1.71	0.48	1.26	0.64	1600	1425	1515	175	0.42	5.89
BV 12	122+582	0.15	1.74	0.37	1.32	0.63	1600	1420	1510	180	0.48	5.25
BV 13	122+800	0.14	1.76	0.28	1.27	0.67	1560	1420	1490	140	0.50	4.17
BV 14	122+890	0.14	1.70	0.59	1.39	0.62	1560	1410	1485	150	0.25	6.26
BV 15	123+040	0.56	3.72	0.88	1.66	1.48	1680	1410	1545	2700	0.30	5.13
BV 16	123+378	0.24	2.90	1.26	1.54	1.26	1660	1420	1540	240	0.19	8.84
BV 17	123+623	0.12	1.91	0.82	1.5	0.8	1600	1440	1520	160	0.19	8.23
BV 18	123+770	0.7	4.48	0.95	0.15	1.86	1791	1420	1605.5	371	0.39	5.59
BV 19	123+907	10.88	1.74	0.64	1.46	1.04	1560	1420	1490	140	0.21	1.43
BV 20	124+040	0.04	1.04	0.44	1.48	0.43	1500	1420	1460	80	0.18	7.39
BV 21	124+365	0.22	2.48	0.811	1.21	1.02	1640	1420	1530	220	0.27	7.09
BV 22	124+918	0.05	0.97	0.29	1.38	0.33	1460	1400	1430	60	0.20	4.65
BV 23	125+002	0.21	2.26	0.86	1.78	0.89	1560	1400	1480	130	0.18	6.37
BV 24	125+405	0.52	4.58	1.53	1.78	2.03	1780	1400	1590	380	0.24	8.33
BV 25	125+501	0.29	2.77	0.81	1.44	1.13	1540	1400	1470	140	0.17	4.92
BV 26	125+750	5.42	9.7	3.35	1.17	3.13	1845	1398	1621.5	447	0.13	4.23
BV 27	127+743	0.88	5.75	1.72	1.72	1.84	1400	1620	25.58	0.24	0.6	7.3
BV 28	128+278	0.43	3.21	0.58	1.37	1.26	1540	1391	1465.5	149	0.25	3.53
BV 29	129+296	1.82	6.88	2.31	1.43	2.79	1880	1391	1635.5	489	0.21	6.2
BV 30	129+468	0.81	4.62	1.37	1.44	1.88	1600	1390	1495	210	0.15	4.69

X.4. CALCUL DES DEBITS DE CRUES :

X.4.1. Période de récurrence de la crue de projet (période de retour) :

Pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques de franchissement du tracé de la nouvelle ligne ferroviaire de notre région, il est évident de définir la crue de projet. Le choix de la période de récurrence de cette crue est fait en considération de l'équilibre du coût d'investissement, de la stratégie de l'ouvrage et de risque des dommages encourus quand les ouvrages sont soit surdimensionnés ou sous dimensionnés. A cet égard, on se propose de retenir les périodes de récurrence de conception suivantes (d'après UIC) :

- 300 ans pour la conception des ponts ;
- 100 ans pour la conception des dalots et buses ;
- 20 ans pour la conception des éléments de drainage de la plate-forme.

X.4.2. Calcul des débits d'apport :

Les méthodes de calcul sont multiples dont les résultats demeurent toujours incertains mais on se propose d'appliquer la méthode rationnelle édictée dans le guide de l'assainissement (route et chemin de fer) de **Sétra**, connue par leur large utilisation dans les projets de drainage ferroviaire en Algérie, la formule est la suivante :

$$Q = 0.2778\ C\ I\ A$$

- **α=0,2778** : Coefficient de convention des unités ;
- **Q**: Débit de crue de période de retour voulue « en m^3/s »;
- **C** : Coefficient de ruissellement dans la période de retour considérée ;
- **I** : Intensité de pluie pour le temps de concentration du B.V et la récurrence souhaitée « en mm/h » ;
- **A** : Superficie du bassin « en km^2 ».

X.4.3. Intensité de pluies :

La détermination de l'intensité des précipitations de calcul a été faite par la méthode graphique, en utilisant le graphique Intensité-Durée-Fréquence pour des périodes de retour allant de 10 ans à 100 ans.

La relation Intensité – Durée – Fréquence recherchée est de la forme :

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

- **I(t,T)** : Intensité de pluie en « mm/h » ;
- **T** : période de retour en « année » ;
- **t** : temps de concentration en « heures » ;
- **a et b** : paramètres de Montana.

Avec **b = 0.78**

T	2	5	10	20	50	100
a (T)	11.7	16.9	20.3	23.6	27.8	31.0

Tableau X.4: calcul des intensités et des débits.

N° BV	PK	S (km^2)	Tc (h)	Intensité de pluie I (mm/h)			Débit		
				I (20 ans)	I (50ans)	I (100ans)	Q (20 ans)	Q (50 ans)	Q (100 ans)
BV1	120+421	1.57	3.07	9.84	11.59	12.92	2.27	3.03	3.94
BV2	120+655	0.04	4.66	7.10	8.37	9.33	0.04	0.05	0.06
BV3	120+865	0.04	4.2	7.70	9.07	10.12	0.045	0.06	0.067
BV4	121+128	0.04	4.03	7.95	9.37	10.45	0.046	0.062	0.08
BV5	121+300	0.06	5.03	6.69	7.88	8.79	0.059	0.07	0.10
BV6	121+470	0.05	5.71	6.06	7.14	7.96	0.044	0.06	0.07
BV7	121+674	0.98	3.5	8.88	10.46	11.66	1.28	1.70	2.22
BV8	121+905	0.28	3.46	8.96	10.55	11.77	0.37	0.49	0.34
BV9	122+285	0.15	3.23	9.45	11.14	12.42	0.20	0.27	0.36
BV10	122+432	0.2	6.76	5.31	6.26	6.98	0.15	0.20	0.27
BV11	122+518	0.15	5.25	6.47	7.62	8.50	0.14	0.19	0.24
BV12	122+582	0.14	4.17	7.74	9.12	10.17	0.16	0.21	0.27
BV13	122+800	0.14	6.26	5.64	6.64	7.41	0.11	0.15	0.20
BV14	122+890	0.56	5.13	6.59	7.76	8.66	0.54	0.72	0.94
BV15	123+040	0.24	8.84	4.31	5.08	5.66	0.15	0.20	0.26
BV16	123+378	0.12	8.23	4.56	5.37	5.99	0.08	0.10	0.14
BV17	123+623	0.7	5.59	6.16	7.26	8.09	0.63	0.84	1.10
BV18	123+770	10.88	1.43	17.85	21.03	23.45	28.59	38.13	49.79
BV19	123+907	0.04	7.39	4.95	5.84	6.51	0.03	0.03	0.05
BV20	124+040	0.22	7.09	5.12	6.03	6.72	0.16	0.22	0.28
BV21	124+365	0.05	4.65	7.11	8.38	9.34	0.05	0.07	0.09
BV22	124+918	0.21	6.37	5.56	6.55	7.31	0.17	0.23	0.30
BV23	125+002	0.52	8.33	4.51	5.32	5.93	0.34	0.46	0.60
BV24	125+405	0.29	4.92	6.81	8.02	8.94	0.30	0.38	0.50
BV25	125+501	5.42	4.23	7.66	9.02	10.06	6.11	8.14	10.60
BV26	125+750	3.89	5.12	6.78	8.51	9.45	4.18	5.15	7.89
BV27	127+743	1.52	5.71	6.06	7.14	7.96	1.35	1.80	2.35
BV28	128+278	0.43	3.53	8.82	10.39	11.59	0.55	0.74	0.97
BV29	129+296	1.82	6.2	5.68	6.69	7.47	1.52	2.03	2.64
BV30	129+468	0.81	4.69	7.07	8.32	9.28	0.84	1.12	1.46

X.5. dimensionnement des ouvrages hydrauliques à projeter :

Connaissant en chaque point, les débits à évacuer et la pente des ouvrages, le choix des sections sera déduit de la formule d'écoulement adoptée. Les dimensions des canalisations varient compte tenu des diamètres courants de fabrication, ce qui apporte de ce fait, une capacité supplémentaire d'écoulement.

Ces ouvrages hydrauliques doivent faire transiter des débits donnés dans des conditions satisfaisantes : curage, vitesse maximale pour limiter l'érosion.

Par analogie entre les deux formules de continuité et de MANNING-STRICKLER on déterminera la section capable d'évacuer le débit en question (débit maximum) sur un écoulement en régime uniforme avec une vitesse d'écoulement normalisée.

$$Qs = V.\ Sm \qquad Qs = Ks.\ Sm.\ Rh^{2/3}.I^{1/2}$$

- **Qs:** Débit maximum (débit capable) « m^3/s »;
- **Sm :** Surface mouillée de l'ouvrage en « m^2 »,
- **b:** Largeur de l'ouvrage en « m » ;
- **Hm:** Hauteur mouillée en « m ».
- **Rh :** Rayon hydraulique « m » ;
- **Sm:** Surface mouillée en « m^2 » ;
- **Pm:** Périmètre mouillé en « m ».
- **I :** Pente de pose de l'ouvrage en « m/m ».
- **Kst :** Coefficient de MANNING-STRICKLER (coefficient de rugosité).

Tableau X.5:valeurs de coefficient de rugosité.

Nature d'ouvrage	En terre	Buse métallique	maçonnerie	Béton (dalot et buse préfabriquée)	PVC
Kst	30	40	50	70	100

X.5.1. Règles à respecter dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques :

Les dimensions retenues pour les ouvrages sont celles qui répondent aux deux conditions suivantes :

- Qa < Qs
  - Qa : Débit d'apport (m^3/s) ;
  - Qs : Débit de saturation de l'ouvrage (m^3/s).
- Selon le Guide technique « Assainissement routier Sétra» la vitesse doit respecter les critères suivants vis-à-vis de la durabilité des ouvrages :
  - Les ouvrages en béton inférieure ou égale 4 m/s ;
  - Les ouvrages métalliques inférieure ou égale 2.5 m/s.

X.5.2. Drainage transversal :

X.5.2.1. Dimensionnement des ouvrages circulaires (les buses) :

- **Taux de remplissage :** h=D (section pleine)
- **La section mouillé :** Sm= πR^2 (m^2)
- **Le périmètre mouillé :** Pm = $2\pi R$ (m)
- **Le rayon hydraulique :** Rh = $\frac{Sm}{Pm}$

  Alors Rh= $\frac{R}{2}$ (m)

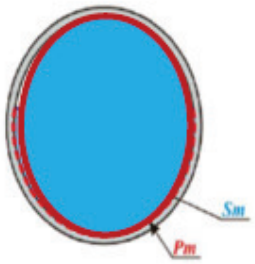


Figure X.2: schéma d'une buse.

En remplaçant dans la formule de MAINING STRIKLER

Qa = Kst. Sm. $Rh^{2/3}.I^{1/2}$

On obtient : R= $\left[\frac{Qa.2^{2/3}}{Kst.\pi.I^{1/2}}\right]^{3/8}$ et D= $\emptyset = 2R$

- **Les conditions d'auto curage :**
  - Pour 1/10 du débit à pleine section (c'est-à-dire Q/Qps = 0.1) : V≥0.60 m/s ;
  - Pour 1/100 du débit à pleine section (c'est-à-dire Q/Qps = 0.01) : V≥0.30m/s.

X.5.2.2. Dimensionnement des dalots :

Hr = 0.8 H (Hr : hauteur de remplissage)

- **La section mouillée** : Sm = Hr. b= 0.8Hb (m^2)
- **Le périmètre mouillé** : Pm = 2Hr b (m)
- **Le rayon hydraulique** : Rh= $\frac{Sm}{Pm}$

  Alors : Rh = $\frac{0.8\,Hb}{1.6H+b}$ (m)

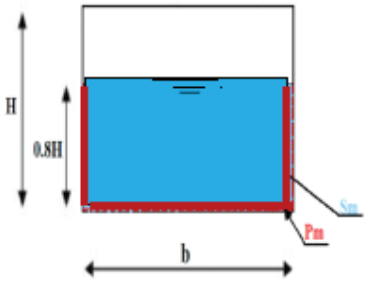


Figure X.3: schéma d'un dalot (pour Hr = 0.8 H)

En remplaçant dans la formule de MAINING-STRIKLER,

Qa = n. Kst. Sm. $Rh^{2/3}.I^{1/2}$ (n: Nombre des cellules)

On obtient : H= $\frac{1}{0.8.n.b}\left[\frac{Qa}{Kst.I^{1/2}}\right]^{3/5}[1.6H+b]^{2/5}$

- **Les conditions d'auto curage :**
  - V< 4 m/s
  - H> $h_{critique}$ tel que $h_{critique} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}}$

Tableau X.6: les ouvrages busés et la vérification des conditions d'auto curage.

N° BV	PK	$Q_{prjeté}$ (m^3/s)	$\emptyset_{adopté}$ (mm)	Sm (m^2)	Q_{PS} (m^3/s)	V_{PS} (m/s)	Vérification	
							Q/Q_{ps}=0.1 v≥0.60 m/s	vérification
BV2	120+655	1.85	1000	0.8	2.55	3.19	4.52	Cond.vérifiée
BV3	120+865	1.87	1000	0.8	2.55	3.19	4.52	Cond.vérifiée
BV5	121+300	2.48	1000	0.8	3.13	3.91	4.49	Cond.vérifiée
BV6	121+470	2.38	1000	0.8	3.18	3.85	4.35	Cond.vérifiée
BV7	121+674	2.28	1000	0.8	3.13	3.91	4.49	Cond.vérifiée
BV10	122+432	4.59	1000	0.8	4.77	5.97	4.51	Cond.vérifiée
BV11	122+518	7.16	1000	0.8	7.88	4.51	2.06	Cond.vérifiée
BV12	122+582	4.57	1000	0.8	3.61	4.51	4.68	Cond.vérifiée
BV14	122+890	4.57	1000	0.8	4.69	4.51	3.46	Cond.vérifiée
BV16	123+378	5.67	1000	0.8	6.25	4.91	2.25	Cond.vérifiée
BV19	123+907	3.65	1000	0.8	3.79	4.69	4.28	Cond.vérifiée
BV21	124+365	1.87	1000	0.8	3.61	4.51	4.5	Cond.vérifiée
BV22	124+918	11.84	1000	0.8	13.26	4.51	1.5	Cond.vérifiée
BV23	125+002	2.25	1000	0.8	3.61	4.51	3.19	Cond.vérifiée
BV24	125+405	2.23	1000	0.8	3.61	3.53	3.19	Cond.vérifiée
BV27	127+743	2.42	1000	0.8	2.55	3.19	4.52	Cond.vérifiée

Tableau X.7: le dimensionnement des dalots avec la vérification des conditions.

N°BV	PK	$Q_{prjeté}$ (m^3/s)	Nombre des cellules n	Largeur du fond b (m)	Hauteur d'eau H(m)	Hauteur de remplissage Hr = H-0.5 (m)	Pente (mm/m)	Qsat (m^3/s)	Vérification 1		Vérification 2	
									V<4 m/s $V=\frac{Qsat}{n\,Sm}$	vérification	H> $h_{critique}$ $h_{critique}=\sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$	vérification
BV1	120+420	Ouvrage d'art										
BV4	121+182	13.58	1	3.00	2.00	1.50	0.01	16.21	2.70	Cond.vérifiér	1.28	Cond.vérifié
BV8	121+905	11.67	1	3.00	2.00	1.50	0.01	16.21	2.70	Cond.vérifiér	1.15	Cond.vérifié
BV9	122+285	10.46	1	3.00	2.00	1.50	0.01	19.23	3.21	Cond.vérifiér	1.07	Cond.vérifié
BV13	122+800	6.94	1	3.00	2.40	1.90	0.005	26.8	3.72	Cond.vérifiér	1.69	
BV15	123+040	11.45	1	3.00	2.00	1.50	0.01	19.23	3.21	Cond.vérifiér	1.14	
BV17	123+482	Ouvrage d'art										
BV20	123+623	3.65	1	3.00	2.40	1.90	0.005	27.79	3.86	Cond.vérifiér	2.01	Cond.vérifié
BV25	124+040	10.08	1	3.00	2.00	1.50	0.01	19.23	3.21	Cond.vérifiér	1.04	Cond.vérifié
BV26	125+501	6.13	1	3.00	2.00	1.50	0.008	14.5	2.42	Cond.vérifiér	1.25	Cond.vérifié
BV28	125+750	20.91	1	3.00	2.40	1.90	0.005	26.8	3.72	Cond.vérifiér	1.49	Cond.vérifié
BV29	128+278	9.10	1	3.00	2.00	1.50	0.01	10.89	3.03	Cond.vérifiér	0.78	Cond.vérifié
BV30	128+296	20.34	1	3.00	2.00	1.50	0.019	22.34	3.72	Cond.vérifiér	1.66	Cond.vérifié

X.5.3. Drainage longitudinal :

- **Fossé de pied de déblai :**

L'objectif de ce fossé est de drainer l'eau tombée sur la plate-forme et sur les talus de déblai, dans le but de la canaliser hors de la plate-forme, soit à un ouvrage de drainage transversal, soit moyennant d'autres éléments de drainage longitudinal.

- **Fossé de tête de talus de déblai :**

Cette fossé a pour objectif d'évacuer les eaux en provenance des zones adjacentes aux déblais, en les canalisant jusqu'à un lit ou ouvrage de drainage.

- **Fossé de pied de talus de remblai :**

Ces fossés sont destinés à collecter les eaux en provenance du réseau d'assainissement de la plateforme ainsi que celles venant des talus adjacents. Ces fossés sont prévus au pied des talus de remblai lorsque le terrain naturel est en contre pente, et ce, afin que les eaux ne stagnent pas sous les assiettes de remblai.

Pour le cas de notre projet, nous prévoyons de mettre en place des fossés trapézoïdaux dont le schéma est représenté dans la figure ci-après.

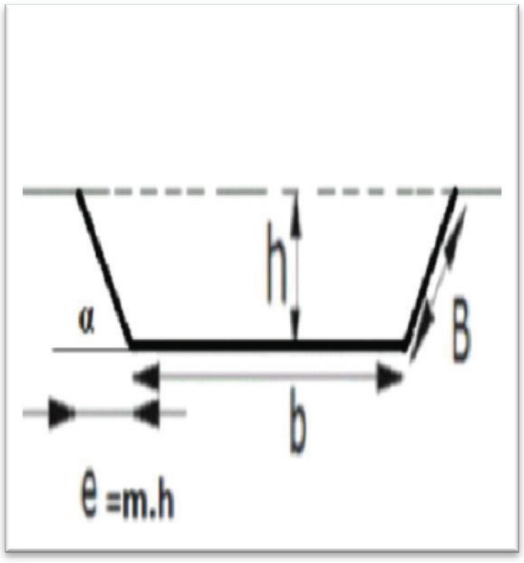


Figure X.4: schéma d'un fossé.

- **La surface mouillée :** Sm = bh + 2 (eh/2) (m^2)

  Avec : $\tan\alpha = \frac{h}{2} = \frac{1}{m}$ et e = m h

  Donc : Sm = h (b + m h)

- **Le périmètre mouillé :** Pm = b + 2B (m)

  Avec B= $\sqrt{e^2 + h^2} = \sqrt{m^2h^2 + h^2} = h\sqrt{m^2 + 1}$

  Donc : Pm= $b + h\sqrt{1 + m^2}$

- **Le rayon hydraulique :** Rh= $\frac{Sm}{Pm}$

  Donc : Rh= $\frac{h(b+mh)}{b+h\sqrt{1+m^2}}$

En remplaçant dans la formule de MANING-STRIKLER (pour les eaux pluviales) :

Qa = Kst. Sm. $Rh^{2/3}.I^{1/2}$

On obtient : h= $\left[\frac{Qa}{Kst\ .I^{1/2}}\right]^{4/7} \frac{\left[b+h\sqrt{1+m^2}\right]^{3/7}}{b+mh}$

- **Hauteur critique :**

  Nombre de Froude Fr = 1 donc : $\frac{V}{\sqrt{gh}} = 1$

  hc= $\left[\frac{Q}{g.b^2}\right]^{1/3}$

X.5.3.1. Dimensionnement des fossés :

Pour le dimensionnement des fossés on prend le cas le plus défavorable, dans le cas des

déblais. La profondeur d'un fossé est généralement comprise entre 0,50 et 1,00 m et sa largeur en plafond entre 0,50 et 1,50 m.

Tableau X.8: calcul des débits d'apports pour les déblais.

Déblai du PK 126+468 au PK 126+938						
	données	Surface (km^2)	Tc= $0.127\sqrt{\frac{S}{Ip}}$ (heure)	I(t, 20ans)= $\frac{a\,(20\ ans)}{t^b}$ (mm/heure)	C	Qa =0.2778CIA (m^3/s)
Talus en déblai	L= 470m h=2.36m β =3h :2v (0.5 m/m)	St= X.L St=0.002	Tc=0.015	I=624.54 mm/h	0.53	Q_{20ans}=0.184
Berme	L=470m I_B=3.7m I=4%	$S_B=I_B.L$ S_B=0.0017	Tc=0.0145	I=641.27 mm/h	0.3	Q_{20ans}=0.09
Plateforme	L=470m L_P=8m I= 4%	$S_B=I_p.L$ $3.76*10^{-3}$	Tc=0.021	I=480.37 mm/h	0.2	Q_{20ans}=0.10
total	$Qa = Q_{Talus}+ Q_{Berme}+ Q_{Plateforme}$= 0.374 ($m^3/s$)					

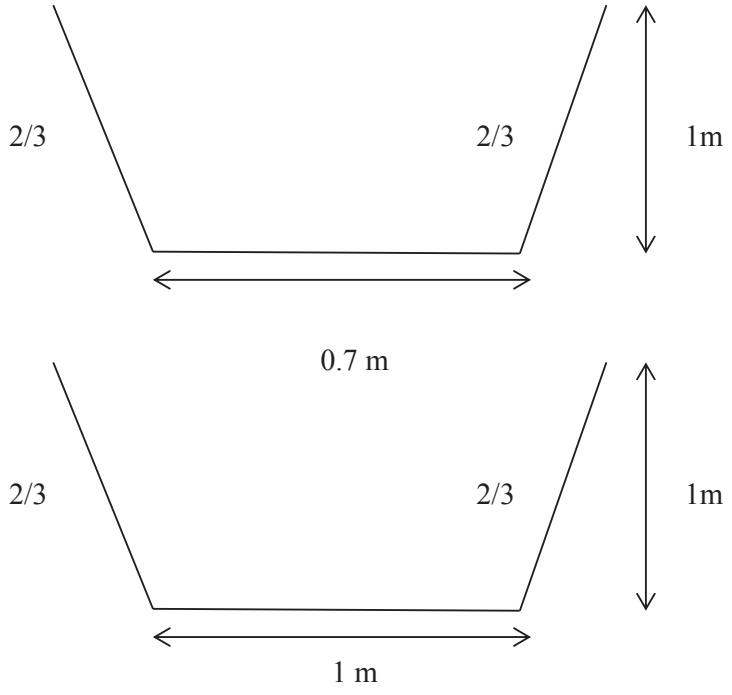
On fixe la base du fossé à b=0.7m= 70 cm et la pente du talus à (1/m =1/1.5) d'où la possibilité de calculer le rayon hydraulique en fonction de la valeur de h.

La valeur du coefficient de rugosité étant fixée (**Kst=70**), la pente du fossé **I= 2%**

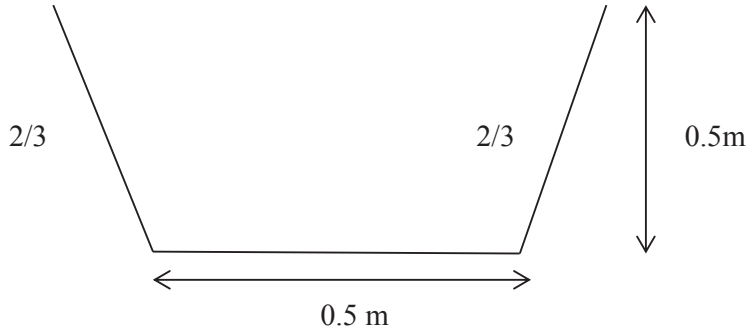
Nous obtenons les valeurs de **b=0.7 m**, et **h=1m** ; celle-ci permettra au fossé d'évacuer le débit des eaux de ruissellement.

hc=0.94 m < h=1m (Fr< 1) ; Donc : le régime est fluvial (subcritique)

Les fossés adoptés sont :



- Fossé en terre :



X.6. CONCLUSION :

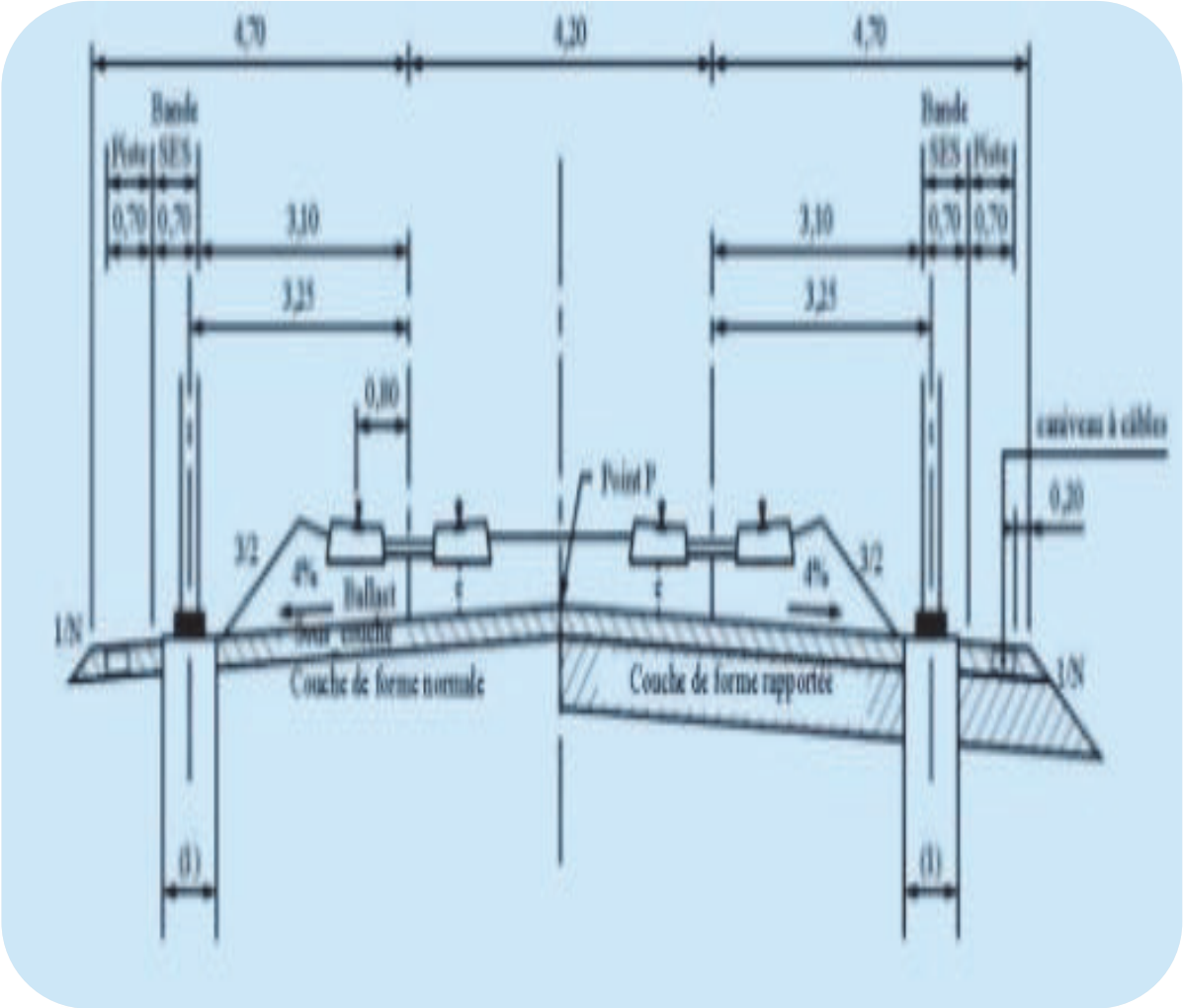
Le rétablissement des cours d'eau et le drainage de la plate-forme sont deux facteurs majeurs à prendre en compte lors d'une étude hydraulique. Cela est justifié par le risque que peut engendrer une sous-estimation des débits d'eau de ruissellement ou un sous dimensionnement des ouvrages d'assainissement.

Vu que notre tracé franchit le grand oued d'El-Bayyadh et de nombreux cours d'eau, qui nécessiteront l'aménagement des ouvrages d'art, ainsi qu'un nombre considérable d'ouvrages hydraulique (15 dalots et 19 buses).

Les solutions adoptées pour les oueds situés sur les déblais sont :

- Des fossés de crête de forme trapézoïdale dans les sections en déblai coté amont sert à dévier les eaux de ruissellement et les assainira vers les ouvrages hydrauliques ou vers un exutoire naturel.
- Des fossés de pied de talus de forme trapézoïdale coté amont protègera la plateforme en remblai, et dégagera les eaux de ruissellement vers les ouvrages hydrauliques.

CHAPITRE XI : le profil en travers



XI.1. INTRODUCTION :

Le profil en travers est une coupe transversale, menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la voie projetée.

Le profil en travers permet de calculer les paramètres suivants :

- La position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements ;
- L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel ;
- Les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

XI.2. LES TYPES DE PROFIL EN TRAVERS :

On distingue deux types de profil :

- **Profil en travers courant :** est une pièce de base dessinée dans les projets à des distances régulières 25m. Il s'applique au PK indiqué, il reprend et mentionne toutes les données caractérisant la section transversale de la voie au PK considéré, notamment cote terrain naturel (TN), cote de projet, dévers de la plate-forme.
- **Profil en travers type :** est un profil unique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant la voie notamment les dimensions de la voie, ses dépendances, la structure de la couche d'assise, sa composante ainsi que les épaisseurs.

XI.3. PROFIL TYPE DE NOTRE PROJET :

Pour notre projet on a opté pour les sections types :

- **Les éléments de la superstructure :**
  - Le type de rail utilisé : UIC 60 E1 ;
  - L'écartement des rails : on a Utilisé un écartement de 1.435 m ;
  - La largeur de la plate-forme en double voie est fixée à 13.60 m avec un entraxe de 4.20 m ;
  - La largeur de la plate-forme en voie simple est fixée à 8 m ;
  - Le type des traverses : des traverses Monobloc B70 en béton précontraint ont utilisées dans notre projet dont les dimensions sont présentées dans le **chapitre IX;**
  - Epaisseur de la couche de ballast : la couche de ballast a une épaisseur de 0.35m.
- **Les éléments de l'infrastructure :**
  - L'épaisseur de chaque couche : comme déjà mentionner dans le **chapitre VII**, nous avons les épaisseurs suivantes :
    - ✓ Epaisseur du sous-ballast : 20 cm.
    - ✓ Epaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
  - la pente de chaque couche :
    - ✓ pente latérale de la plate-forme : 4% ;
- **Les éléments du talus (remblai ou déblais) :**
  - Les talus : la pente de chaque talus : détaillée dans **le chapitre VIII.**

- **Les éléments d'assainissement :**
  - Les dimensions du fossé sont présentées : détaillée dans le **chapitre X**.

Nota : les profils en travers types adoptés pour notre projet sont représentés en **Annexe G**.

XI.4. CALCUL DES CUBATTURES :

Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet. Les éléments qui permettent cette évolution sont : - Les profils en long. - Les profils en travers. - Les distances entre les profils. Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures, parmi eux, on peut citer :

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

Pour notre projet, le calcul des cubatures de terrassement a été fait à l'aide du logiciel **CIVIL 3D**. Les résultats du calcul automatique sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau XI.1: résultats de calcul des cubatures

nature	remblais	déblais	Terre végétale
Volume (m^3)	737844.95	86236.37	16407.4784

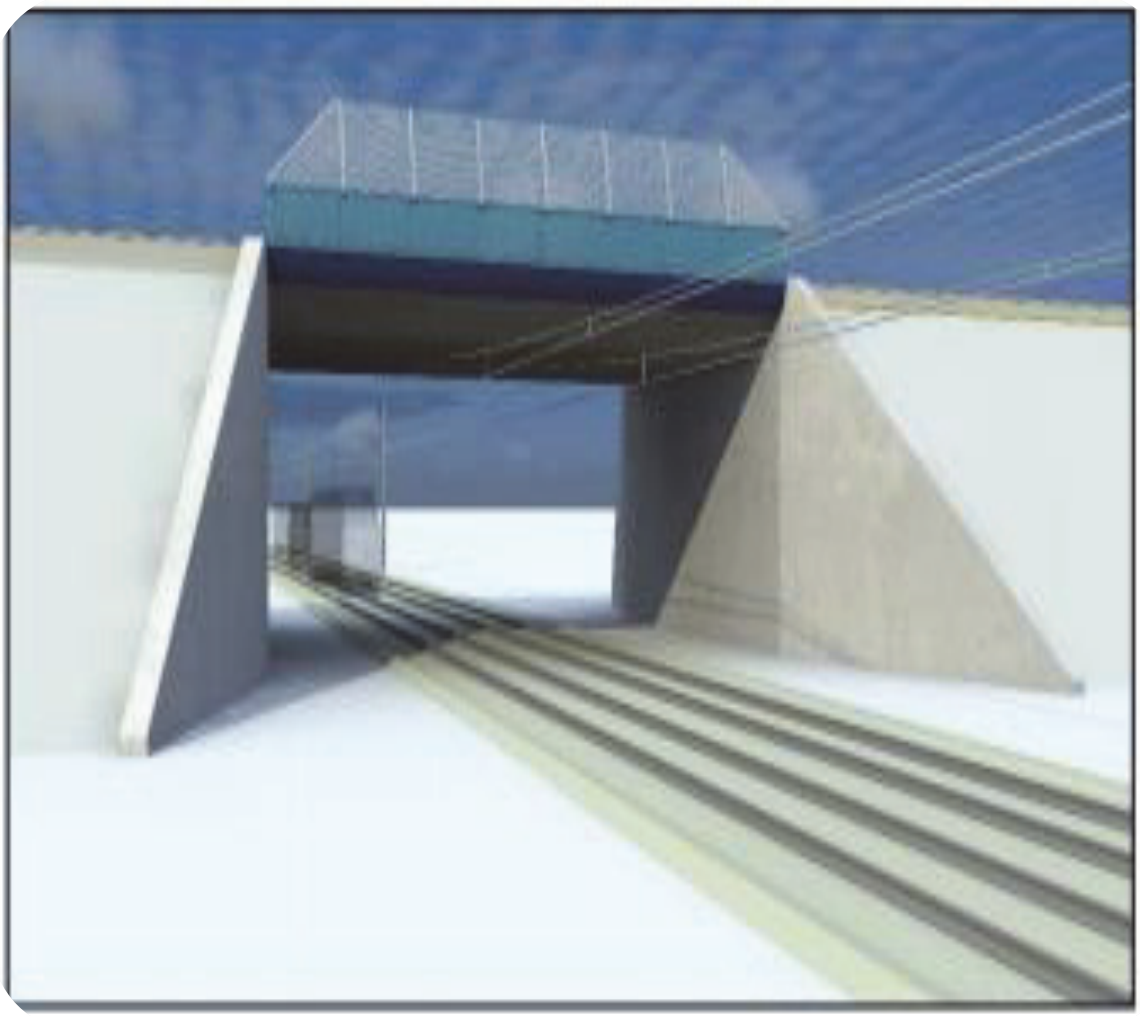
Tableau XI.2: résultats de calcul des matériaux de la couche d'assise

nature	ballast	Sous-ballast	Fondation (GNT)
Volume (m^3)	16926.00	17433.00	14459.00

XI.5. CONCLUSION :

Le calcul des cubatures nous permet d'établir le calcul du devis quantitatif estimatif présenté en **Annexe G**.

CHAPITRE XII : les ouvrages d'arts



XII.1. INTRODUCTION :

Un ouvrage d'art tout ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une voie de circulation terrestre.

La ligne ferroviaire projetée doit être dotée des ouvrages d'art pour assurer la perméabilité transversale, le franchissement des différentes infrastructures existantes ainsi que les cours d'eau et pour répondre aux exigences techniques et économiques, on constate les types d'ouvrage :

- Ponts rail ;
- Ponts routiers et Passage inférieure (pont cadre) ;
- Les ouvrages hydrauliques.

XII.2. LES CRITERES DE CONCEPTION DES OUVRAGES D'ART :

XII.2.1. Critères appliqués aux ouvrages d'art :

Dans tous les cas, le choix du type d'ouvrage dépend des contraintes imposées. Ces dernières sont divisées en deux catégories :

- Situation de l'ouvrage ;
- Exigences techniques. Toutefois, les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles sont :
  - La voie portée, ou l'obstacle franchi ;
  - Programme de charge ;
  - Gabarit ;
  - La topographie ;
  - Tirant d'eau (cas d'une cour d'eau à franchir) ;
  - Adaptation architecturelle à la région ;
  - Condition à respecter durant la conception ;
  - Contrainte économique.

❖ **Pour notre projet :**

- Les ponts sont à concevoir de manière à convenir à l'exploitation des trains à grande vitesse (220km/h) et à faciliter leur maintenance ;
- Les types de ponts sont à choisir en prenant en compte la géométrie de tracé, les caractéristiques géomorphologiques et géotechniques.
- Les détails relatifs au sol des fondations des ouvrages d'art sont basés sur le « Rapport d'investigation géotechnique »
- 3 ponts rails, 01 passages inférieurs sont conçus :
  - Pour le franchissement d'oueds par les ponts rails ;
  - Pour le franchissement des routes par des passages inférieurs.

XII.3. LES OUVRAGES D'ART DE NOTRE PROJET :

XII.3.1. Pont rail :

Tableau XII: les ponts rails de notre projet

N° PONT	PK	Hauteur libre (m)	N*travée (N*m)	Portée (m)	Longueur	Fonction d'ouvrage
1	PK 120+396 AU PK120+421	3.00	10.50	11.50	25.00	Franchissement d'oued
2	PK 123+834 AU PK123+868	5.70	10.50	12.00	34.00	Franchissement d'oued
3	PK 127+201 AU PK 127+232	3.00	2*8.30	18.00	31.00	Franchissement d'oued El Bayadh

- Les tabliers du pont sont en béton armée.
  - **La coupe transversale :**

    Les trois ponts constitués d'un tablier dont les caractéristiques sont les suivants :
    - La largeur du tablier 10.50 m ;
    - Largeur du trottoir : l = 2*1.20 m ;
    - Ecartement de la voie 1.435 m ;
    - Nombre de voies : N = 2 voies ;
    - Entraxe des deux voies : 4.20 m ;
    - Pente transversale : 2.0%.

XII.3.2. Passage inferieur (pont route) :

Ces ouvrages sont adaptés dans les points de croisement d´une piste.

Tableau V:le passage inferieur en cadre fermé

N°	PK	Hauteur libre(m)	Porté (m)	Longeur (m)	type	Fonction d'usage
1	PK 128+342 AU PK 128+362	7.50	11.50	22.00	PI-CF	piste

XII.4. DRAINAGE DES OUVRAGES D'ARTS :

Compte tenu de la maintenance du pont, les tuyaux d'évacuation d'eau pluviale sont à installer sur les côtés latéraux du tablier afin de prévenir la détérioration et la décoloration, causées par la fuite d'eau éventuelle sur la surface supérieure du pont.

La section en coupe doit être en forme circulaire. Compte tenu de l'évacuation d'eau du tablier, le dévers de ce dernier est de 2% vers les deux cotés depuis l'axe central du pont. L'emplacement des trous d'évacuation d'eau est choisi en prenant en compte la configuration structurelle du pont et la pente longitudinale. Le débit de conception retenu pour l'évacuation des eaux de surface est le débit décennal.

XII.5. CONCLUSION :

- Les ouvrages d'art de la nouvelle ligne électrifiée Mechria / El Bayadh sur 10 km sont des ouvrages d'arts simple cadre.
- Les oueds sont été modifiés par des canaux d'assainissements.

CHAPITRE XIII : la conception de la gare



XIII.1. INTRODUCTION :

La gare est un organe de transfert d'un moyen de transport en commun, lorsque doit se produire une ≪rupture de charge≫ dans le trajet de voyageurs ou de marchandises.

Elle est à la fois lieu de passage et stationnement .dans les chemins de fer, on distingue les gares de voyageurs, les gares de marchandises et les gares de triage.

Une gare ferroviaire est donc, régie par des règles d'exploitation très strictes, en raison surtout de la coordination générale du réseau qui exige la précision des horaires.

XIII.2. PRESENTATION DE LA GARE D'EL-BAYADH :

La gare d'El Bayadh est la gare finale de la ligne ferroviaire Mechria et El-Bayadh. Pour laisser ouvert les possibilités à l'extension de la ligne vers l'AFLOU et LAGHOUAT dans la future, elle est conçue comme la gare de passage.

Elle est composée de trois complexes d'exploitation :

- La gare de voyageurs ;
- La gare d'exploitation ;
- La gare de marchandise.



Figure XIII.1: plan d'architecture de la gare d'El-Bayadh

XIII.3. PRINCIPE DE BASE POUR L'ETUDE DE L'IMPLANTATION DE LA GARE :

- Il faut élaborer le plan de gare de sorte à maximaliser le traitement des besoins du transport des voyageurs et des marchandises, en tenant compte des conditions géologiques alentours, de l'accessibilité aux routes existantes, des plans d'urbanisme futurs, etc ;
- L'endroit doit faciliter le rassemblement et la dispersion, mais également la liaison avec les autres moyens de transport ;
- Le terrain se doit d'être droit et plat dans la gare ;
- Le terrain doit être en pente dans la zone d'arrivée et en descente dans la zone de sortie ;

- L'endroit idéal tiendra compte des zones d'habitations alentours, de l'urbanisme, du besoin de transport, de la facilité d'utilisation, de l'efficacité d'exploitation et des points relatifs à la conduction des trains.

XIII.4. LES TYPES DES GARES :

XIII.4.1. Gare de voyageurs :

Les gares de voyageurs, souvent perçues comme des bâtiments, sont en fait des ensembles fonctionnels plus larges, conçus pour regrouper toutes les fonctions centrées sur l'accès au train, dont l'information sur le voyage, l'achat des titres de transports, ainsi que divers services commerciaux liés au voyage. La gare d'El-Bayadh de voyageurs est localisé au **PK 128+798,730** jusqu'au **PK 129+850.**

XIII.4.2. Gare de marchandises :

Une gare de marchandises est une gare ferroviaire destinée uniquement au trafic des marchandises (fret). Elle ne comporte aucun équipement pour les voyageurs qui n'y ont d'ailleurs pas accès. Généralement, seules les grandes villes sont dotées de gare de marchandises. Elles ont été construites lorsqu'il est devenu nécessaire d'isoler le trafic voyageur du trafic marchandises. La gare d'El-Bayadh de marchandises est localisé de **PK 126+677 jusqu'au PK 127+835.**

XIII.4.3. Gare d'exploitation et de remisage :

La gare d'exploitation d'El Bayadh: de **PK 127+841,883 jusqu'au PK 128+788,730.**

XIII.5. RESEAU DE VOIE :

XIII.5.1. Nombre de voies :

Le nombre de voie est variable selon l'importance des gares, chaque voie à une fonction spécifique.

Tableau XIII.1: les voies selon l'importance des gares (SNTF)

Fonction de la gare	Voies composant le réseau
Destiné au transport de voyageurs	• Voie principale ; • Voie de déplacement ; • Voie de gare.
Destiné au transport de marchandises	• Voie de manœuvre ; • Voie de garage ; • Voie de déchargement pour train longs ; • Voie de stationnement prolongé ; • Voie de liaison.
Destiné aux ateliers d'entretien des véhicules	• Voie de liaison ; • Voie d'entretien.
Destiné à l'aire d'approvisionnement en carburant	• Voie d'approvisionnement.
Destiné au service de la maintenance de la voie	• Voie d'acheminement vers hangar de maintenance ; • Voie de hangar.

XIII.5.2. Marge de glissement à l'aval des signaux :

- **Définition :** Définition : c'est le tronçon de la voie située au prolongement d'un

parcours du train à l'aval d'un signal fermé et aucune autre circulation n'est autorisée dans cette marge.

- **Son utilité** : elle a pour but de minimiser les conséquences d'un accident de collision lorsqu'un train n'a pas pu s'arrêter avant cette marge, à cause d'un freinage défaillant.
- **Valeur de la marge (LG)** : Elle varie en fonction de la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de protection, d'entrée, intermédiaires ou de sortie.

XIII.5.3. Longueur utile d'une voie de stationnement :

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

XIII.5.4. Garages franc :

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

La distance D est déterminée de telle façon qu'on obtient un entre axe entre les vois de 4.50 m.

XIII.6. CARACTERISTIQUE GEOMETRIQUE DE LA GARE :

Tableau XIII.2: les caractéristiques géométriques recommandées pour la gare (SNTF).

La longueur utile	• **Voie de stationnement et de croisement : 1200m ;** • **Voie de service : 800m.**
La longueur de quai	• Grande ligne 450m ; • Service régional 350 m ; • Banlieue 225 m.
Hauteur des quais	• Quai bas h = 35 m ; • Quai mi- haut h = 55m ; • Quai haut 73≤ h ≤ 100 cm.
Largeur du quai	• Quai intermédiaire 8m ; • Quai normal 3.5m.
L'entre axe des quais	• e normal > 11.3 m ; • e minimal > 9.3m.

XIII.7.APPLICATION A NOTRE PROJET : LA GARE D'EL-BAYADH :

XIII.7.1. Implantation de la gare :

La zone de la gare d'El Bayadh se trouve en amont de la ville d'El Bayadh à proximité de la voie d'évitement en projet actuellement, avec possibilité de relier la gare à la N47.

La proposition de la jonction est dessinée sur le plan d'ensemble. Ceci s'applique également pour la zone de la gare de remisage avec le bâtiment d'exploitation et administratif d'El Bayadh qui se trouve à environ 600 m de la gare voyageurs.

La partie du quai, opposé au bâtiment de voyageurs comme l'entré dans le passage souterraine au quai sont protégées par une toiture d'abri des quais.

La gare d'El Bayadh disposera d'un bâtiment de voyageurs dans la gare de voyageurs et

d'un bâtiment d'exploitation et d'un local technique de la signalisation et télécommunication dans l'air de la gare de remisage



Figure XIII.2: terrain réservé pour l'implantation de la gare

XIII.7.2. Les installations de la gare :

- **type de trafic :** gare conçue pour le trafic de voyageurs.
- **Longueur utile de la voie en gare :** 2709 m.
- **Bâtiments :** Les bâtiments des gares seront les ouvrages rectangulaires maçonnés en béton armé d'une :
  - longueur de 46,80 m ;
  - largeur de 13,35 m ; } reposant sur des semelles filantes
  - d'une hauteur de 5 m.
  - Les dimensions de la toiture du bâtiment de voyageurs El Bayadh : 78,90 m x 24,00 m ; Hauteur des poteaux de support est de 8,0 m.
- **Voies :** Les voies suivantes composent la gare de voyageurs d'El Bayadh :
  - 2 Voies à quai : L'espace pour le sentier de personnel de service et poteaux de caténaire
  - Voie principale : Elargissement de 4.20m à 4.50 m en vue de l'installation des signaux entre les voies
- **Quai :**
  - Longueur utile: 350 m ;
  - Largeur des quais (Quai latéral): 6,00 m avec passage souterrain.
- **Accès aux quais :**
  - Rapport entre marches: 16,9/30 cm ;
  - Passages souterrains, largeur: 4,80 m ;
  - Escaliers largeur: 4,80 m.
- **Appareils de voies :** La Gare d'El Bayadh compose des appareils de voies suivantes :
  - UIC60 E1 1/12 : 8 unités.

XIII.7.3. Assainissement dans la gare :

- **Assainissement transversale** : Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les quais doivent avoir une pente de 2% en toit, de même, les plates formes est incliner transversalement d'une pente de 4%.
- **Assainissement longitudinal** : Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4°/00, permettent de collecter les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme et les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

XIII.8. CONCLUSION :

La gare de voyageurs El Bayadh est conçue comme un complexe des voyages avec une gare routière, stationnements des taxis et aussi la réserve foncière pour la création d'un P+R parking pour stationnement des véhicules des voyageurs.

CHAPITRE XIV : étude environnemental et social



XIV.1. INTRODUCTION :

Techniquement, l'étude d'impact vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné.

D'un point de vue légal, l'étude d'impact sur l'environnement est un document exigé en vue de l'obtention de l'autorisation administrative d'un projet pouvant avoir des impacts négatifs sur l'environnement.

Les principales étapes d'une l'EIE :

- Délimitation de la zone d'étude ;
- Analyse de l'état initial ;
- Evaluation des impacts ;
- d'insertion (ou d'intégration) : Mesures préventives, réductrices et compensatoires ;
- Suivi et Bilan environnemental.

XIV.2. CONTEXTE JURIDIQUE :

Les différentes lois et décrets qui s'appliquent sur notre projet sont cités en détail dans l'**Annexe I.**

XIV.3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE :

L'étude d'impact doit définir et justifier les limites de la zone d'étude qui correspond en quelque sorte à la zone d'influence du projet. Puisque notre tracé est dans la ville d'**El-bayadh,** donc on vas prendre cette ville comme une zone d'étude.
Les limites de la Wilaya d'EL- Bayadh sont :

- Au Nord : Saida et Tiaret ;
- A l'Est : Laghouat – Ghardaïa ;
- A l'Ouest :Sidi BelAbbés– Naama ;
- Au Sud – Ouest : Bechar ;
- Au Sud – Est : Adrar.

XIV.4. L'ANALYSE DE L'ETAT INITIAL :

Elle comporte l'Analyse du :

- Milieu physique ;
- Milieu biologique ;
- Milieu humain (socio-économique) ;
- Paysage et patrimoine.

(Voir ***l'Annexe A***)

XIV.5. IDENTIFICATION DES SOURCES D'IMPACT :

Pour mieux appréhender les interactions entre les éléments impactés des milieux biophysique et humain et les activités sources d'impacts et identifier les impacts, une grille d'interrelation a été conçue. Cette grille permet d'examiner pour chaque activité source d'impact du projet de chemin de fer Mechria El Bayadh, ses effets potentiels sur les composantes du milieu récepteur (voir **l'Annexe I**).

XIV.6. MESURES D'INSERTION (D'INTEGRATION) :

XIV.6.1. Milieu physique :

- **Sols et géologie** : Plusieurs filières d'élimination des déblais sont envisageables :
  - Valorisation et en matériaux de remblai ;
  - Dépôt en décharge agrée ou une ancienne carrière ;
  - Stockage définitif à terre.
- **Hydrologie** : En phase de travaux, les principales mesures consisteront en la mise en place de dispositifs de collecte et de traitement des effluents de chantier par décantation (bassins provisoires) notamment pour éviter les apports massifs de MES dans les cours d'eau, avec notamment :
  - La réalisation des décapages juste avant les terrassements ;
  - La mise en végétation immédiate des talus, des fossés et berges de cours d'eau, en saison favorable ;
  - La mise en œuvre d'une toile de protection dans les secteurs sensibles à l'érosion ;
  - Le ralentissement du cheminement de l'eau dans les fossés provisoires ou définitifs en pieds de talus (écrans filtres mobiles avant rejet dans les cours d'eau et enherbement des fossés) ;
  - Le traitement des eaux de chantier dans des bassins de décantation/ filtration provisoires avant rejet dans les cours d'eau sensibles ;
  - Le rejet à l'aval des captages, au-delà de leur aire d'alimentation après décantation ;
  - Drainage et collecte des eaux de ruissellement issues des terrassements dans des bassins de décantation avant rejet dans le cours d'eau.



Figure 0.1: ouvrage hydraulique provisoire sous la piste de chantier.



Figure 0.2: mise en place d'un filtre dans un fossé longitudinal.

XIV.6.2. Milieu biologique :

- **La flore :**
  - Eviter les dépôts de matériaux dans la zone humides et sensibles ;
  - La propagation de la poussière sera limitée par l'arrosage des voies de circulation sur le chantier par temps sec.
- **La faune :**
  - Mettre en place des clôtures de protection pour la sécurité des animaux ;
  - Installation des dispositifs dissuasifs pour éviter que les oiseaux se posent sur les poteaux d'électrification.
  - Des ouvrages de franchissement : passage à faune / passage mixtes doivent être conçu afin de limiter les allongements de parcours et à désenclaver toutes les parcelles et faciliter les déplacements d'animaux d'élevages.



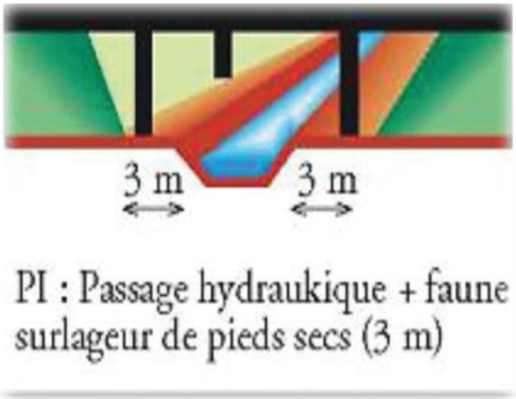


Figure XIV.3: passage à grande faune. **Figure XIV.4 : passage hydraulique et passage petite faune**

- **Les espaces boisés :**
  - Les arbres de la ceinture verte doivent être déplacé et non pas déboisé ;
  - La mise en place de clôtures provisoires ou de dispositifs de protection des fûts vis-à-vis des chocs.

XIV.6.3. Milieu humain :

- **Les activités agriculture :**
  - Afin de remédier à la destruction des parcellaires, une procédure efficace peut être mise en œuvre : le réaménagement foncier.
  - Remise en état des terres pour leur réutilisation pour les cultures dans les sites de dépôts ;
  - Limitation des émissions de poussières (vitesse limitée, arrosage des pistes en cas de besoin) ;
- **Mesure de compensation pour l'expropriation des bâtis :**

Selon la réglementation Algérienne en vigueur, notamment la *« Loi n° 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique »,* qui indique que toute personne déplacée doit être indemnisé et avoir un bien être équivalent ou meilleur que celui d'avant.

XIV.6.4. Passage et patrimoine :

- **Mesures de réduction concernant l'impact sur le paysage :**
  - Remise en état des lieux après les travaux ;
  - Dépôt des excès de matériaux dans une décharge autorisée ou une ancienne carrière ;
  - Adoucissement et végétalisation des talus dans la phase exploitation afin de minimiser l'impact visuel.

XIV.6.5. Milieu ambiant :

- **Le bruit (Protection par des écrans acoustiques et des merlons) :**

Pour limiter la propagation des ondes sonores, il existe deux types de protection à la source :

- La mise en place d'une butte en terre, nommée merlon ;
- La mise en place d'un écran acoustique.



Figure 0.5: protection par écran anti-bruit (écran acoustique)



Figure 0.6: protection par butte de terre (merlon).

- **Qualité de l'air :**
  - Arrosage des pistes, notamment par vent fort et temps sec pour limiter les envols de poussières ;
  - Eviter les opérations de chargement et de déchargement de matériaux par vent fort ;
  - Vitesse de circulation des engins limitée à 30 km/h dans les zones sensibles1 à la poussière ;
  - Utilisation de véhicules aux normes (échappement et taux de pollution) et contrôle régulier de leur respect.

XIV.7. PHENOMENE D'ENSEMBLEMENT ET DE DESERTFICATION :

XIV.7.1. Processus et dynamique de l'ensablement :

On parle d'ensablement lorsque les vents ou les eaux transportent les grains de sable qui vont s'accumuler quelque part au bord d'un cours d'eau, sur des terres cultivées ou incultes. Sous l'action du vent, les accumulations sableuses s'amoncèlent et forment des dunes. Ces dunes sableuses occasionnent en se déplaçant :

- L'ensablement des terres de cultures, des points d'eau et des infrastructures ;
- La baisse de la production agro-pastorale ;
- L'exode et le déplacement des villages sous la pression des dunes mouvantes ;
- Lorsque toutes ces conditions sont réunies, on dit que le milieu est sensible à l'érosion éolienne.



Figure XIV.7: phénomène d'ensablement sur la vois.

XIV.7.2. Perspectives de lutte contre la désertification et la pollution du ballast :

Le tracé passe par une zone qui connaît des phénomènes de désertification et des zones à accumulation sableuses. De ce fait le projet peut agir de manière positive ou négative sur l'environnement et l'écologie de la zone du projet parce que la voie ferrée peut être un obstacle et occasionner la formation de dunes de sable et accentuer une désertification annoncée.

La fixation des dunes et la lutte contre l'ensablement recourent essentiellement aux techniques mécaniques visant à réduire le phénomène de saltation :

- Soit stabiliser le sol et les masses sableuses en mouvement ;
- Soit réduire le gradient de vitesse du vent au voisinage de la surface du sol ce qui empêche la formation de dépôts de sable.

Ces techniques, malgré leur variabilité apparente, se subdivisent en trois groupes :

- **Technique de palissade** : La phase initiale de la lutte contre l'ensablement consiste a freiner le mouvement du sable en érigeant des palissades de 1 à 1,5 m de hauteur, afin de provoquer à leur niveau une accumulation de sable qui permettra la formation d'¦une dune artificielle.
- **Le mulching ou écran protecteur** : Consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation. L'expérience Algérienne qui date déjà d'une dizaine d'années à porte d'excellents résultats.
- **La technique aérodynamique** : Le principe de base est d'utiliser la force du vent pour faciliter le transport du sable au niveau des sites a protéger et éviter son accumulation.
- **Fixation biologique** : Lorsque les dunes ont été stabilisées mécaniquement, il est possible de les fixer définitivement par l¡¦installation d'une végétation arborée et herbacée pérenne.
  - **Le reboisement** : Il s'agit de l'installation d'une couverture végétale vivante a base d'espèces locales ou introduites et qui peuvent être arborées, arbustives

ou herbacées.

- **La bande forestière** : Les bandes forestières sont des plantations de forme linéaire installées le long des principaux axes routiers et conçues comme de véritables corridors forestiers. Elles permettent également de briser la monotonie due au manque de relief.
- **La ceinture verte** : Ce sont des plantations réalisées au tour des agglomérations. Elles se créent pour humaniser les centres de vie et fixer les sols aux alentours.

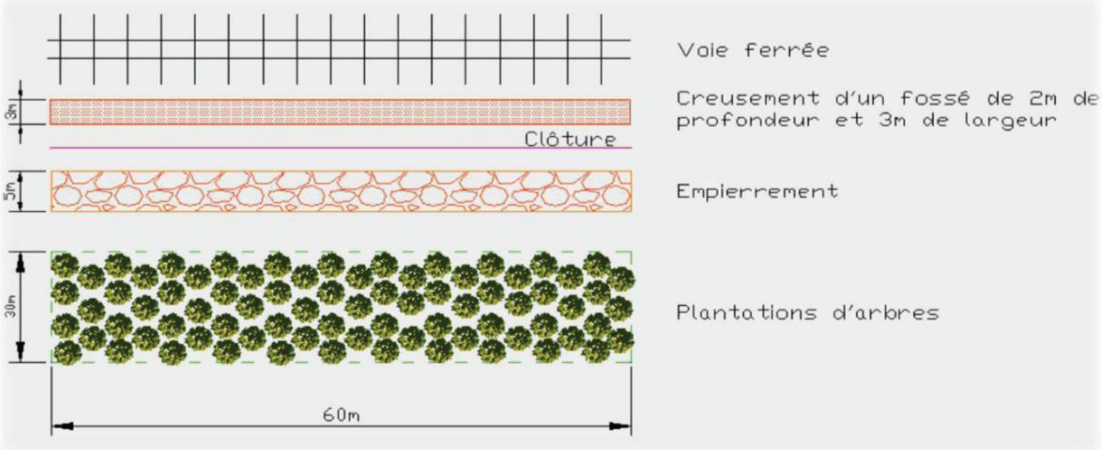


Figure XIV.8: vues en plan de solutions proposées pour lutter contre l'ensablement de la voie.

XIV.8. SUIVI ET BILAN ENVIRONNEMENTAL :

Le projet de construction de la voie ferrée inclut un plan de gestion environnemental et social dont le but est d'assurer le respect des dispositions prévues à l'égard de l'environnement à chacune des phases du projet, soit aux phases de construction et exploitation.

Pour des fins de présentation, le plan est structuré en deux sections :

- Programme de surveillance environnementale ;
- Programme de suivi environnemental.

XIV.8.1. Le programme de surveillance environnementale :

Un programme de surveillance environnementale sera mis en place afin de s'assurer du bon déroulement des lors de la phase de construction et du bon fonctionnement des équipements et installations projetés. Il vise principalement à s'assurer du respect des éléments suivants :

- Lois et règlements pertinents ;
- Conditions fixées par les autorités réglementaires ;
- Engagements du promoteur prévus aux autorisations ;
- Mesure proposées dans l'étude d'impact sur l'environnement, notamment les mesures d'atténuation.

XIV.8.2. Le programme de surveillance environnementale :

- **Suivi de la phase travaux** : Assurer la mise en œuvre et le suivi des mesures d'élimination ou de réductions des impacts.
- **Suivi-Bilan (évaluation à posteriori)** : Contrôler la mise en place et l'efficacité des dispositions prises pour améliorer l'insertion environnementale du projet.

XIV.9. CONCLUSION :

Le projet de la voie ferroviaire Mechria/El Bayadh, en prolongeant le tronçon Mechria/Tousmouline/El Bayadh, s'intègre dans le réseau ferroviaire national et constitue ainsi un axe structurant pour le développement économique et social de l'Algérie. Cet impact positif majeur, justifient à eux seuls le projet. Il existe néanmoins des impacts négatifs significatifs, décrits plus haut, mais pour lesquels des mesures d'atténuation ou de compensation existent.

Sur la base d'une comparaison des impacts positifs et des impacts négatifs du projet, et en considérant les mesures environnementales d'accompagnement du projet (qui permettront de réduire et compenser globalement les impacts négatifs) et que le Maître d'ouvrage doit veiller à leur application, il ressort que le projet de la voie ferroviaire Mechria/El Bayadh est acceptable sur le plan environnemental et social.

CHAPITRE XV : Signalisation, Télécommunication, Energie



XV.1. INTRODUCTION :

La signalisation et télécommunication sont des systèmes d'informations destinés à renseigner le conducteur et à assurer un haut niveau de sécurité et de la régularité des circulations, afin de pallier les risques ferroviaires. Ce chapitre présentera le système de signalisation et de télécommunication utilisé à la nouvelle ligne ferroviaire entre **Mechria~ El Bayadh** et qui sera électrifié et alimenté en énergie à basse tension.

❖ Partie A : signalisation :

XV.2. LES OBJECTIFS D'INSTALATION DES SIGNALISATION :

Les objectifs d'installations des signalisations sur la ligne à voie unique sont :

- D'assurer un haut niveau de sécurité des circulations ;
- D'optimiser et d'améliorer les conditions d'exploitation en terme de débit grâce à la commande centralisée des installations *(PCC)* ;
- D'assurer la sécurité dans les gares grâce aux différents enclenchements ;
- D'assurer l'espacement des circulations sur les intervalles entre les gares de croisement (pour éviter les rattrapages de trains sur une même voie) ;
- Eviter les déraillements par excès de vitesse (limitation de vitesse dans les courbes, les zones d'aiguillages) ;
- Permettre un freinage sans risque par une distance d'arrêt suffisante.

XV.3. SYSTEME SIGNALISATION ERTMS/ETCS NIVEAU 2 :

Le système ERTMS se compose de 3 éléments : ETCS (système européen de contrôle des trains), GSM-R (standard international de communication mobile pour les chemins de fer) et ETML (couche de gestion informatique des circulations). Destiné principalement à la standardisation des interfaces logicielles pour la gestion d'horaires au niveau européen, ETML n'est pas ici l'objet de l'étude.

La ligne ferroviaire Mechria –El Bayadh sera équipée de L'ERTMS / ETCS Niveau 2, Ce système permettra aux trains de circuler à une vitesse de 220 km/h sur la base d'une signalisation de cabine associée à un contrôle de vitesse de sécurité, La constitution principale du sous-système est comme suit :

- **Système ETCS (Européen Train Control System) :** est une partie du sous-système de l'ERTMS, système composé de matériel et de logiciel de haute performance offrant la fonction de surveillance.
- **ETCS Niveau 2** : permettra de transmettre automatiquement des autorisations de mouvement du sol au train. Ce système assurera par ailleurs un contrôle de vitesse automatique (fonction ATP/Automatique Train Protection).
- **Système d'ATP :** L'ATP est un dispositif qui protège le train, en utilisant des informations sur l'état de la piste [par exemple, courbure, pente, tunnels, etc.] qui affectent la sécurité de fonctionnement du train.
- **Poste de commande centralise PCC :** Les équipements de contrôle sont des dispositifs qui accomplissent le contrôle et la surveillance et procèdent à l'exploitation des trains efficacement Le poste de commande centralisée (PCC) se chargera de la sécurité de l'exploitation des trains entre Mechria~ Elbayadh.

Tableau XV.1: caractéristiques principales de l'ETCS Niveau 2.

désignation	Niveau 2
Introduction	Basé sur les signaux du côté de la voie, la performance de type discontinu (balise ou boucle) pour la fonction de contrôle des trains.
Méthode de blocage	Fixe : basé sur le principe de la distance à parcourir. qui accorde la permission de se déplacer à la distance autorisée, par le calcul de la distance de freinage dans l'ordinateur de bord par la réception de l'information de la vitesse autorisée ainsi que la position du train précédent de la part de voie.
Méthode de transmission des informations	Par balise
Détection du train	Circuit sur voie/compteur d'essieux
Utilisation de l'appareil de signalisation	Utilisation de l'appareil de signalisation au sol
Caractéristiques principales	• Basé sur le principe d'un blocage fixe ; • L'autorisation peut être accordée pour aller à la fin de blocage fixe et occupé ; • Les informations de signal sont transmises au train de LEU par la balise de sorte qu'il protège de quitter l'autorisation de déplacement du train ; • Le conducteur exploite le train en vérifiant toutes les conditions de piste de service par MMI ; • La méthode de signalisation au sol est facilement modifiable au système d'ATP ; • La construction du système n'est possible sans une infrastructure ferroviaire dédiée de communications.

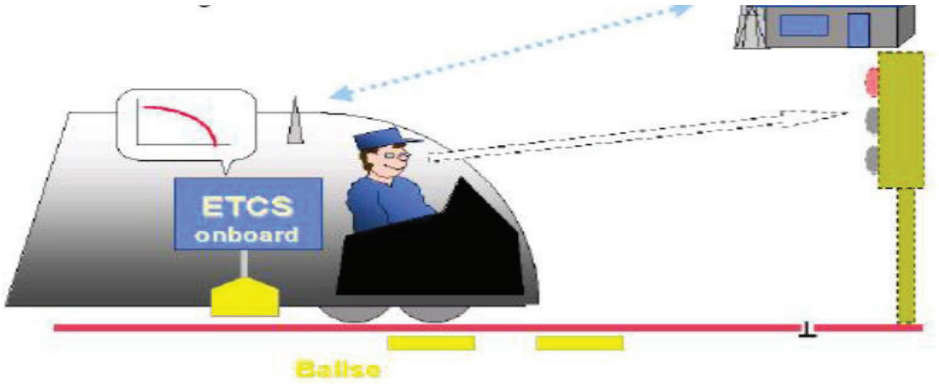


Figure XV.1: vue d'ensemble du système ETCS Niveau 2

XV.4. SIGNALISATION LATERAL LUMINEUSE :

La ligne sera équipée de signaux lumineux dotés de systèmes optiques DEL. Les mâts des signaux et les fondations (en béton pour mâts en treillis) de l'ensemble des signaux d'exécution, de manœuvre et d'avertissement seront réalisés conformément aux dessins-types actuellement en vigueur. Les aspects des signaux seront réalisés conformément au « Règlement Général de Sécurité ».

L'implantation des nouveaux signaux sera optimisée en fonction des prescriptions d'exploitation de manière à atteindre les longueurs utiles maximales possibles des voies et

prendra en compte la possibilité des entrées et sorties simultanées dans les voies principales courantes des gares (position et longueur des distances de glissement).

- **Performances et compatibilité entre le système de signalisation latérale et ERTMS Niveau 2 :**

La ligne sera équipée avec de la signalisation latérale. Le système ERTMS Niveau 2 sera installé en superposition à la signalisation latérale :

- La vitesse maximum des trains utilisant la signalisation latérale sera de 160 km/h et équipés de l'ERTMS Niveau 2 avec signalisation de cabine sera de 220 km/h ;
- Les deux systèmes (signalisation latérale et ERTMS 2) devront être entièrement compatibles et permettre indifféremment la circulation des trains équipés ERTMS et des trains non équipés sans qu'il soit nécessaire d'intervenir sur les systèmes.

❖ Partie B : Télécommunication

XV.5. TYPES DE SYSTEME DE TELECOMUNICATION :

Dans le cadre de la nouvelle construction de la ligne ferroviaire de Mecheria à El Bayadh de nouvelles installations de signalisation et de télécommunication sont à mettre en place. Les installations de télécommunication devront être adaptées à la conception de la ligne qui est conçue pour le transport de personnes et de marchandises.

Les installations ou bien systèmes de télécommunication de la ligne nouvelle de Mecheria-El Bayadh sont comme suit :

- cheminement des câbles dans les gares et en pleine voie ;
- câbles de télécommunication ;
- réseau de transmission de données SDH ;
- réseau GSM-R le long de la ligne nouvelle ;
- installation de téléphonie (ferroviaire et administrative) ;
- installation de sonorisation pour l'information des voyageurs sur les quais et dans les bâtiments voyageurs ;
- systèmes de téléaffichages sur les quais et dans les bâtiments voyageurs ;
- installations de vidéosurveillance sur les quais, dans les bâtiments voyageurs et passages souterrain ;
- installations de chronométrie sur les quais, dans les bâtiments voyageurs et les bâtiments d'exploitation ;
- systèmes de détection d'incendie et d'effraction dans les bâtiments d'exploitation et les locaux de service ;
- installations SCADA pour le contrôle à distance des installations d'exploitation dans les gares et en pleine voie ;
- installation des distributeurs automatiques de bille.

- **réseau de câblage à fibres optiques :** Le câble à fibres optiques est un système d'alimentation du circuit de télécommunication de bonne qualité pour la transmission audio, vidéo et de données, etc. La capacité et la dimension du câble fibre optique seront déterminées selon la constitution du réseau de transmission.
- **Système de radio sol-trains (GSM-R) (réseau GSM-R) :** Le réseau de télécommunication mobile de GSM-R sera développé de manière à satisfaire toutes

les demandes du réseau de télécommunication téléphonique entre《Sol-Train》et 《 Sol-Sol》 et garanti pour la sécurité de transport. Les informations sur le service ferroviaire seront également échangées.

- *Fonction principale de GSM-R :*
  Cette partie est détaillée dans **l'Annexe J**

❖ Partie C : Energie (alimentation en énergie)

XV.6. NOTION DE L'ALIMENTATION :

L'énergie électrique est l'énergie fournie sous forme de courant électrique à un système électrotechnique ou électronique.

Un système d'électrification ferroviaire est l'ensemble des moyens mis en œuvre pour alimenter en énergie électrique les trains (locomotive électrique ou rame automotrice électrique).

L'électrification d'une ligne ferroviaire est associée à des symboles de vitesse, de performances, de confort, de service et un peu quand même d'écologie, On utilise de moins en moins le diesel, notamment parce que l'électrique coute globalement trois fois moins chère, les locomotives électriques ont un cout d'achat inferieur aux engins moteurs diesel, un entretien plus simple et une puissance supérieure car les locomotives diesels remorquent beaucoup mois de tonnage qu'un train électrique.

- **Alimentation de la charge à basse tension :**
  Cette partie est détaillée dans **l'Annexe J**

XV.7. PERFORMANCE ELECTRIQUE :

L'alimentation électrique doit satisfaire les exigences suivantes : Alimentation de secteur :

- Tension 400 V triphasé 10 % ;
- Fréquence 50 Hz 3%.

Paramètres de sortie :

- Tension nominale 400 / 230 V triphasé ;
- Variation tension statique 1 % ;
- Variation tension dynamique 4 % (100 % altération de charge) ;
- Fréquence nominale 50 Hz ;
- Variation de fréquence 0,1 % (libre) ;
- Variation de fréquence 2 % (synchronisé avec alimentation de secteur) ;
- Rendement ≥ 85 % ;
- Température ambiante 0 à +48 °C ;
- Niveau sonore à 500, 1000 et 2000 Hz ≤ 55 dB (A).

L'alimentation électrique doit être fournie avec des limiteurs de courant de sortie qui protègeront le module du court-circuit. La capacité de surcharge des onduleurs doit s'élever à 150 % de la puissance nominale pendant 1 minute et 125 % pendant les 10 minutes suivantes.

L'alimentation électrique doit générer des messages de statut relatifs au niveau de contrôle et de surveillance de poste d'aiguillage. Les dysfonctionnements courants des redresseurs, les niveaux bas de batterie, les dysfonctionnements des onduleurs, les températures élevées, les surcharges, etc. doivent être surveillés.

XV.8. CONCLUSION :

Avec l'apparition des outils informatiques de plus en plus performante, le domaine de la signalisation et la télécommunication ferroviaire s'est beaucoup développé ces dernières années, contribuant ainsi avec une grande part dans la diminution des accidents et la facilité de circulation du matériel roulant

Pour la nouvelle ligne entre Mechria et El Bayadh, des systèmes de signalisation et de télécommunication permettant d'améliorer la sécurité des trains et des services aux voyageurs ont été sélectionnés en tenant compte de leur sûreté, facilité d'entretien et avantage économique.

Devis quantitatif et estimatif

N°	Désignation Des Travaux	U	Quantités du marché	Prix unitaires	Montant
1	**Installation du chantier**				
1.1	Installation et repliement de chantier	F	1.00	65000000.00	65 000 000.00
2	**Terrassement**				
2.1	Décapage de la terre végétale Ep=0,20 m	m^3	16 408.00	850.00	13 946 800.00
2.2	Déblai terrain meuble mis en dépôts définitives	m^3	25871.00	1200.00	31045200.00
	Déblai mis en remblai	m^3	60365.37	1800.00	108657666.00
2.3	Remblais sélectionné en provenance d'emprunt	m^3	737 844.95	1800.00	1328120910.00
3	**Travaux d'Assainissement**				
3.1	Construction de fossés trapézoïdale en béton (b=0,70, H=1.00) m	ML	18 840.00	2 200.00	41 448 000.00
3.2	Construction de fossés de crête et de pied de remblais en béton	ML	1 500.00	900.00	1 350 000.00
4	**VOIE**				
4.1	Couche de ballast 0/50 Ep= 0,35 m	m^3	16 926.00	5000.00	84630 000.00
4.2	Couche de sous ballast Ep= 0,15 m	m^3	17 433.00	3200.00	55785600.00
4.3	Couche de fondation en GNT Ep= 0,20 m	m^3	14 459.00	3000.00	43377000.00
4.4	fourniture de rail UIC 60 (60.34 kg/m)	T	1 388.00	130 000.00	180440000.00
4.5	Pose de voie les 2 rails	ML	215 000.00	16000.00	3440 000 000.00
4.6	Fourniture traverse Monobloc	U	17 782.00	15 000.00	142 256 000.00
4.7	Attache nabla + accessoires de fixation	U	71 126.00	15000.00	1066890000.00
4.8	Soudage Électrique	U	1189	12000	14268000.00
5	**Ouvrages d'arts**				
5.1	dalots préfabriqués en béton armé	m^3	576.00	35 000.00	20160 000.00
5.2	Buses préfabriqués Diamètre 1000 mm en béton armé	ML	50.00	21 000.00	1050 000.00
5.4	pont rail	m^2	2520.00	1009000.00	2542680000.00
5.5	Passage inferieure	m^2	528.00	1430 000.00	755040 000.00
6	**Travaux des gares**				
6.1	Quais abris de quais	m^2	8 170.00	9 600.00	78 432 000.00
6.2	Appareil de voie UIC-60 500 - 1:12	U	8.00	13500000.00	108 000 000.00
	Montant total général en HT		**10122577176.00**		
	Montant TVA 19%		**1923289663.44**		
	Montant total général en TTC		**12045866839.44**		

Montant total estimé en lettres

Douze milliards quarante-cinq millions huit cent soixante-six mille huit cent quarante

Dinard algérien

CONCLUSION GENERALE

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

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

Ce projet de fin d'étude a eu pour but de mettre en évidence notre bagage théorique et méthodologique acquis durant tout notre cursus, dans l'étude d'avant-projet détaillée d'un tronçon de la nouvelle ligne ferroviaire Mechria–El Bayadh. Cette nouvelle ligne fait partie dans un but de désenclavement et d'accompagnement de la dynamique économique, dans le cadre d'une vision globale induite par le nouveau modèle économique adossé à la promotion de l'investissement et la diversification de l'économie.

Dans notre démarche d'étude nous avons essayé de faire face à toutes les contraintes et chercher des solutions à tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter lors d'une étude de voie ferrée. Nous avons aussi tenu à respecter toutes les normes existantes (UIC, SNCF, SNTF), toute en tenant compte des conditions exigées par la situation réelle, qui nous ont obligé dans certaines circonstances (contraignantes) d'utiliser des cas exceptionnels selon les normes précédentes.

Nous avons proposé plusieurs solutions pour certains problèmes pertinents rencontrés tout au long de l'étude, comme la stabilité des talus de remblai et de déblai.

Ce travail nous a permis d'approfondir, de compléter et d'appliquer nos connaissances acquises tout au long de notre formation au sein de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics. comme, nous avons eu l'opportunité de nous familiariser avec plusieurs logiciels, qui nous ont permis d'accélérer la cadence de notre travail et de mener à bien notre étude, ainsi on peut citer les logiciels suivants : CIVIL 3D, AUTOCAD.

Ce projet a été pour nous l'occasion de toucher à l'aspect pratique des choses, et une opportunité pour poser nos questions et tirer profit de l'expérience des personnes du domaine qu'on a rencontrées lors de notre stage pratique, il était une opportunité pour nous d'immerger dans le monde professionnel de l'ingénierie.

Bibliographie

- **Document ENSTP :**
  - Cours de chemins de fer de l'Ecole Nationale Sépurieur des Travaux Publics, par Mr Assri et Mr Kadi.
  - Projet de fin d'étude- voie ferré.
  - Cours d'Hydraulique appliquée, par Mr Rahmani et Mr Fkir, 2016 et 2017.
  - Cours d'Environnement, par Mme S.Bouafia, 2016.
- **Fiche UIC :**
  - 703R : Caractéristiques de trace des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides (2éme éditions du 01/01/1989).
  - 741F : Quais des voyageurs- règle pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie (4ème éditions, Décembre 2005).
  - 719R : Ouvrages en terre et couches d'assises ferroviaire (2éme éditions du 01/01/1994).
- **Fiche SNCF :**
  - Conception du tracé de la voie courante V≤ 220 Km/h (Version 1 du 12/09/2006).
  - Référentiel technique SNTF-Chapitre 6 « Géométrie de la voie » (Version 2 du 22/12/2005).
- **Livre :**
  - GOUMETTRE Ahmed ; KALLI Fatima-Zohra, Manuel de projet de routes, Octobre 2011.
  - ROBERTO ² BOTELHO, Les matériaux de la voie ferrée sur ligne grande vitesse(LGV), Janeiro de 2010.
  - Thèse de ZELLAGUI Redouane **:** Modélisation du Comportement à la Fatigue et à la Fissuration d'un Boggie de Train .
  - Thèse de Si Hai MAI : Étude de dégradation des voies ferrées urbaines.
- **Sites Internet :**
  - Société nationale des transports ferroviaire [http://www.sntf.dz].
  - Wékimapia [www.wékimapia.org].
  - ANESRIF [www.anesrif.dz].
  - Dictionnaire visuel [www.infovisuel.info].
  - INFRARAIL [www.infrarail.dz].
  - Ministère du transport algérien [www.ministere-transports.gov.dz].
  - Ainsi que d'autre sites (Google, Wikipédia…etc.).

Annexes

ANNEXE A : PRESENTATION DU PROJET

PRESENTATION DES VILLES LIMITROPHEAU PROJET :

1. Présentation de la ville MECHRIA :

- **Milieu physique :**

a. *Situation géographique* :

Mecheria est une commune d'Algérie située dans la wilaya de Naâma, dans le nord-ouest algérien. Elle est considérée comme l'un des carrefours qui relient le sud algérien à l'Oranie. Elle couvre une superficie de 736,25 km^2.Elle est limité géographiquement :

- au Nord et à l'Ouest par la commune d'El-BIODH ;
- à l'Est par la wilaya d'El-Bayadh ;
- au sud par la commune de NAAMA.



Figure 0.I.1 localisation de la commune de Méchria dans la wilaya de NAAMA

b. Le relief :

situé entre l'extrémité des monts de ksour au nord-ouest et la région des hautes plateaux au sud, la ville de Méchria s'étend au pied à L'Atlas saharien. Elle est recouverte par des vastes de forêts de chênes, pins d'Alep et alfa.

c. Le climat :

Le climat de la région de Méchria est du type méditerranéen aride à hiver frais. il est caractérisé par deux saison contrastées, l'une froide et humide, qui s'étale de la fin octobre jusqu'au début Mai avec une température moyenne de 10.05°C et une pluviométrie de 147 mm, l'autre sèche et chaude, qui va de la mi-Mai à la mi-octobre avec une température moyenne de 21.77°C et une pluviométrie de 86.49 mm .

- **Interprétation :**

Une différence de 30 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 21.2 °C.

Pluviométrie : schématiquement, les précipitations décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un gradient latitudinal, altéré néanmoins par l'effet orographique de l'Atlas saharien, la zone de Méchria présente une valeur des précipitations annuelles de l'ordre de 268 mm/an.

Tableau3 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle. (Station de MECHERIA :(1966 - 1998)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Total
Pan (mm)	20,04	21,46	28,85	19,48	23,85	25,32	33,71	30,10	23,47	11,02	4,21	8,13	**249,62**
Pan (%)	8,03	8,60	11,56	7,80	9,56	10,14	13,50	12,06	9,40	4,42	1,68	3,26	**100 %**

Température :

Tableau A.6: température moyenne et annuelle de la ville de Méchria.

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Température moyenne (°C)	6.4	7.7	10.5	14	17.5	23	27.6	27.3	22.2	16.1	10.2	6.6
Température minimale (°C)	1.7	2.5	4.7	7.6	11.2	16.2	20.4	20.4	15.2	10.4	5.3	2.6
Température maximale (°C)	11.1	13	16.4	20.5	23.8	29.9	34.9	34.3	29.3	21.9	15.1	10.7

- **Interprétation :**
  Juillet est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 27.6 °C à cette période. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 6.4 °C.

d. Situation démographique :

Structure de la population : la population totale de la ville de Méchria est estimée à 66 465 habitants, soit une densité de 90 habitants par km^2.

e. Infrastructure de base :

Réseau aérien : La ville est desservie par l'aéroport national à 30 km environ au nord de Naâma.

Réseau routière : la réalisation d'une nouvelle route reliant la zone touristique d'Ain Ouarka à la RN-47, aux limites territoriales avec la wilaya d'El-Bayadh, via les Oasis du ksar de Boussemghoune, l'élimination des virages dangereux et la réalisation de trois routes de contournement des villes de Naâma, Mécheria et Ain-Sefra.

Réseau ferroviaire : la ville de Méchria dispose d'une ligne de chemin de fer qui relie la wilaya d'El-Bayad sur 130 km.

2. <u>Présentation de la wilaya EL Bayadh :</u>

- **Milieu physique :**

a. Situation géographique :

Géographiquement, la Wilaya est comprise entre les parallèles 30° 42'et 34° 28' de l'altitude Nord et entre les méridiens de longitude 0° 24' à l'Ouest fuseau 30 et 2° 16' à l'Est fuseau 31.

Elle s'étend sur une superficie de 71 697 km², soit 3 % du territoire national. Elle s'étend du Chott Echergui à l'Erg Occidental et est dominée par les trois monts du djebel Amour de la chaîne Atlas Saharien, le Boudergua, El Ouastani et le grand Ksel.

Limitées géographiques :

La wilaya est limitée par suit :

- *Au Nord : Saida et Tiaret ;*
- *A l'Est : Laghouat – Ghardaïa ;*
- *A l'Ouest : Sidi Bel Abbés Naama ;*
- *Au Sud-ouest : Bechar ;*
- *Au Sud-est : Adrar*

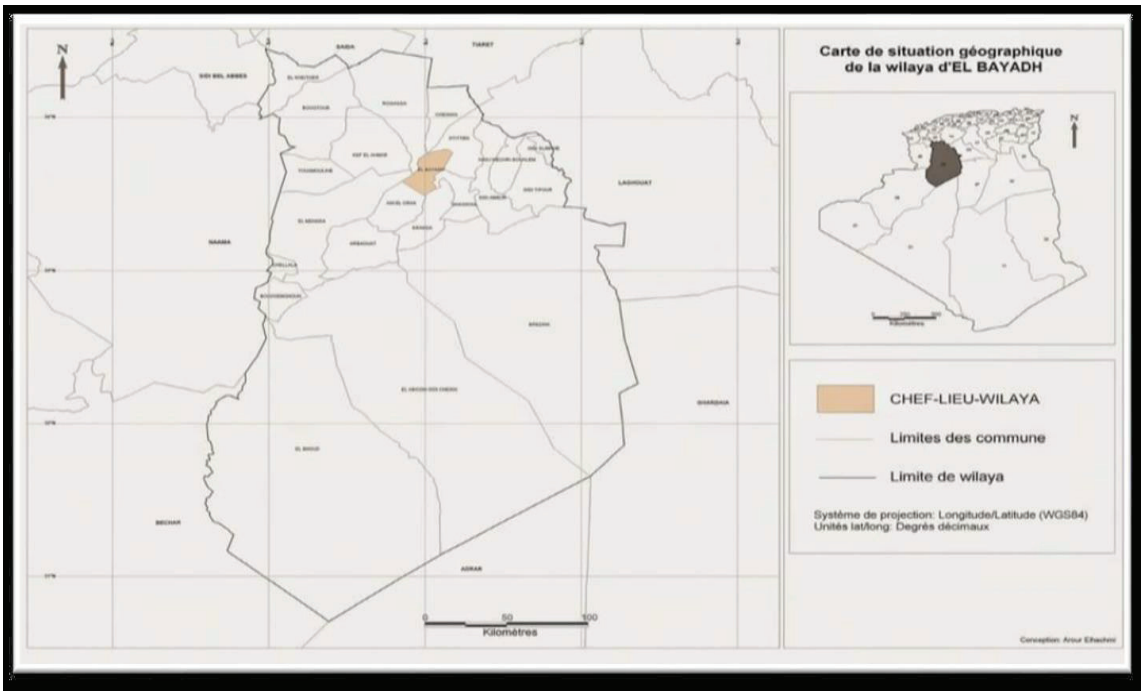


Figure A.3: carte de situation géographique de la wilaya d'EL Bayadh.

b. Le relief :

Le relief de la Wilaya est constitué en grande partie de :

- *Montagnes : 6.111 km² ;*
- *Collines et piémonts : 10.422 km² ;*
- *Plaines : 47.254 km² ;*
- *Autres : 7.910 km².*

La Wilaya d'El Bayadh est constituée aussi de (03) zones distinctes qui sont :

Zone - I - Hautes Plaines : Les Hautes Plaines composées de 06 communes : Bougtob, El Kheiter, Tousmouline, Rogassa, Kef Lahmar, Cheguig et une partie de Mehara. Les altitudes varient entre 900 m à 1.400 m à Hassi Ben Hadjam (Mehara). Cette zone se caractérise par l'amplitude élevée (34 à El Kheiter).

Zone - II - Atlas Saharien : L'Atlas Saharien composé de 13 communes : El Bayadh - Boualem - Sidi Amar - Sidi Taiffour-Sidi Slimane-Stitten-Ghassoul-Krakda-Ain El Orak-Arbaouet-Chellala-Mehara et Boussemghoun. Elle présente une situation bioclimatique (semi-aride froid) relativement plus avantageuse par rapport à celle de la partie Saharienne de la Wilaya. Elle bénéficie de l'apport en eau et alluvions provenant des sommets et versants des reliefs montagneux dont les altitudes varient entre 1300 mètres et 2000 mètres (2008 m Djebel Ksel à l'Ouest de la localité de Stitten. Les précipitations sont relativement plus importantes par rapport aux autres zones l'hiver et plus rigoureux.

Zone - III - Prés Saharienne : La Prés - Saharienne est constituée uniquement de Trois communes qui sont : Brezina - El Abiodh Sidi Cheikh et Bnoud. Partie la plus désavantagée, elle représente la superficie la plus importante de la Wilaya (71 % de la superficie totale).

c. La géologie :

Les schémas structuraux typiquement Atlasiques sont bien représentés dans cette région, par une succession de synclinaux et d'anticlinaux étirés et faillés, de direction générale Sud – Ouest, Nord - Est. Les faciès reconnus sont d'âge Jurassique - Crétacé recouverts par des terrains Mio - Pliocène et Quaternaire de remplissage.

d. L'hydrologie, hydrogéologie :

La Wilaya est inscrite sur deux versants, limités par la ligne de partage des eaux passant le long de l'Atlas Saharien. Les Oueds présent dans la willaya sont :

- D'Ouest en Est : Oued Kef Lazreg - Oued Tousmouline - Oued Kef Lahmar Oued Hamaimat - Oued Hanacha et Oued Mehairigua drainent les piémonts Nord de l'Atlas Saharien vers Chott Chergui.
- Au Sud de l'Atlas Saharien, les oueds les plus importants sont :
  - Oued Namous qui constitue la limite de la Wilaya avec celle de Naâma.
  - Les Oueds El Gharbi - Mazar - El Kabech - Saggeur présentent un cours parallèle entre eux orientés vers le Sud - Est.

e. Le climat :

Sur le plan climatologique, la Wilaya est caractérisée par deux périodes principales qui expriment le contraste important durant l'année à savoir :

- Un Hiver rigoureux avec de fréquentes chutes de neige ;
- Un Eté chaud et très sec. Ce qui favorise l'apparition des plantes résistantes à la sécheresse.

Précipitation : La valeur maximale des précipitations est enregistrée au mois de mai 71.2 mm La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 336 mm répartie comme suit:

- 23% en automne ;
- 35% en hiver ;
- 35% au printemps ;
- 7% en été.

Pluviométrie : est très irrégulière et varie de 200 à 300 mm durant l'année on peut assister à plusieurs mois ou d'années de sècheresse de suite.

Température : laisse apparaître des changements temporels (un Hiver froid de température moyenne de 6° C et un Eté chaud de 36° C).

Humidité : L'humidité relative est élevée durant toute l'année (plus de 33%).Les valeurs maximales sont atteintes durant les mois d'hiver (82à 75 %) lorsque les températures sont minimales.

Insolation : La quantité d'heures d'ensoleillement dans la région est assez élevée ; la moyenne annuelle est de 8 heures par jour. L'ensoleillement annuel total est de 2898 heures.

Tableau A.7: précipitation moyenne mensuelle et annuelle à la station d'El Bayadh, pour la période 1970-2009.

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
El Bayadh	20.03	34.35	41.43	39.43	37.43	35.83	30.03	33.13	29.73	10.63	4.83	9.53	326.41

Tableau A.8: température moyenne mensuelle et annuelle à la station d'El Bayadh, pour la période 1995-2003.

station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	année
El Bayadh	25.8	19.3	13.1	18.8	7.6	10.3	12.9	16.1	21.6	27.3	30.6	30.7	19.5

- **Milieu biologique :**
  - **a. La faune :**

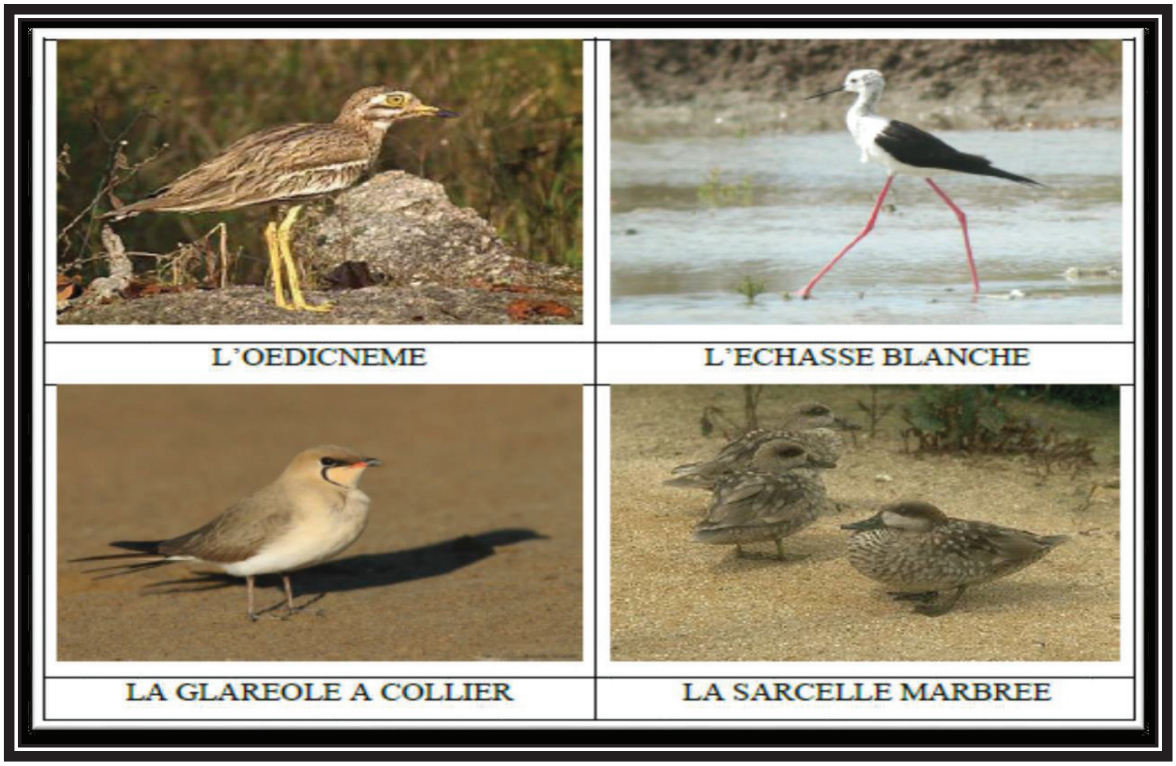


Figure A.4: la faune remarquable

  - **b. La flore :**

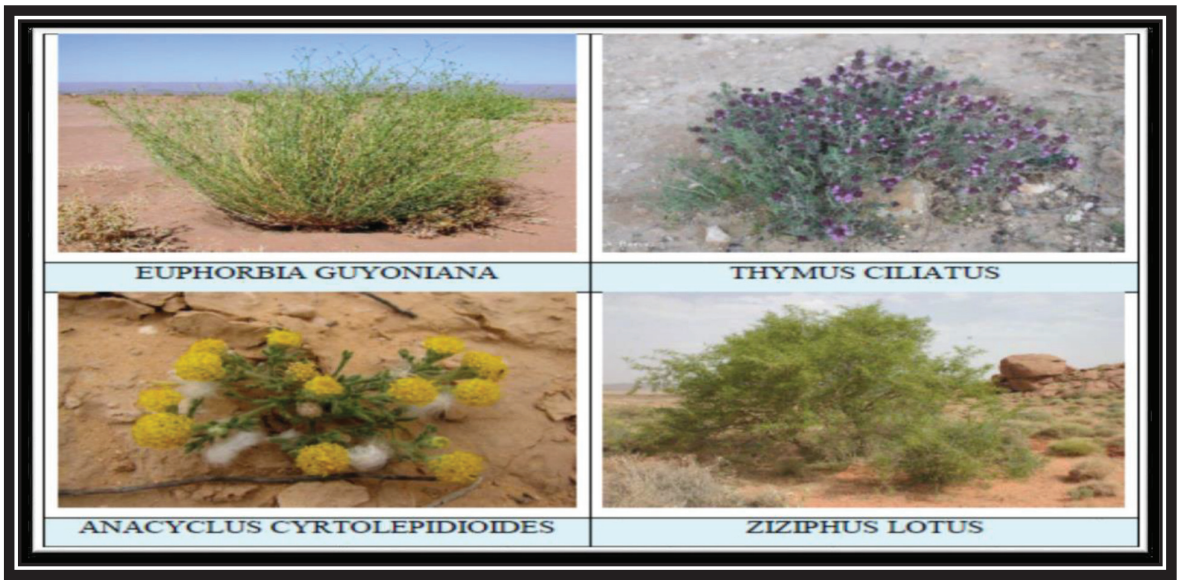


Figure A.5: la flore remarquable.

c. Les espaces boisés :

La Wilaya se caractérise par un patrimoine forestier constitue essentiellement de forêts domaniales d'une superficie de 122 111 hectares, soit 1,70 % de la superficie totale. A cette superficie s'ajoute 13 553 hectares de reboisement dans le cadre du barrage vert qui traverse la Wilaya du Sud-Ouest au Nord Est.



Figure A.6: nappes alfatières

❖ **Milieu humain (socio-économique) :**

a. Population :

Structure de la Population : La population de la Wilaya à fin 2010 est de 278 100 habitants, cette situation traduit une évolution importante de la population dans la mesure où en 44 ans, elle a doublé à un rythme moyen annuel absolu de 6.167 habitants selon les différents recensements de la population effectués depuis l'indépendance.

Répartition de la population par sexe et par âge : La population ayant un âge inférieur à 16 ans Représentant 38% du total de la population, constitue dans les années à venir une importante ressource humaine.

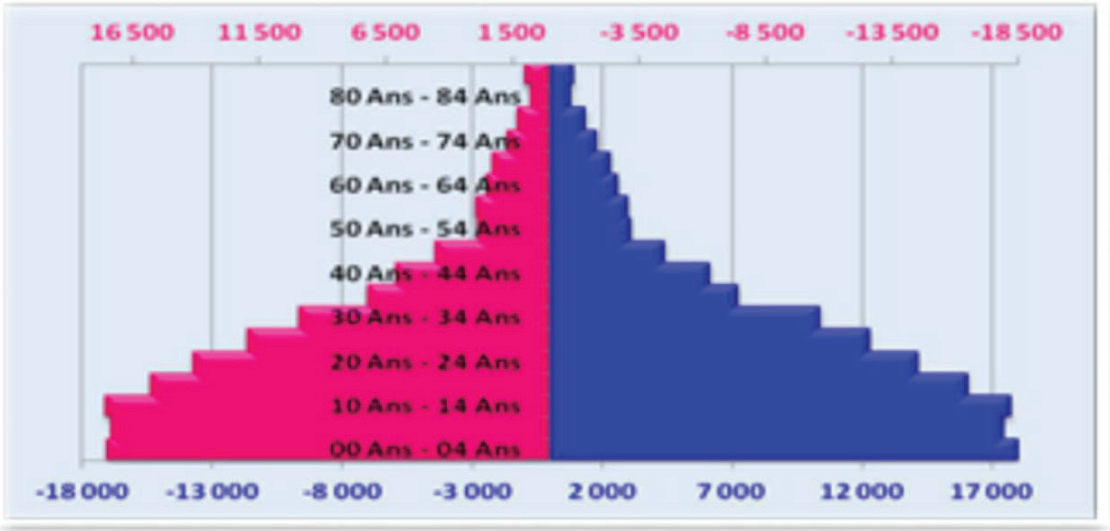


Figure A.7 : évolution de la population par âge et par sexe de la wilaya d'El Bayadh.

b. Aspect administrative :

Elle est issue de la récente réorganisation territoriale de la région Hauts Plateaux Ouest du pays entreprise en 1984. Administrativement la Wilaya est constituée de 8 daïras et 22 communes.

Tableau A.9: découpage administratif et superficie de la willaya d'El Bayadh.

désignation	Wilaya d'El Bayadh
Nombre de Daïra	8
Nombre de commune	22
superficie	71.697^2

c. Agriculture :

La répartition générale des terres est présentée en deux grandes rubriques :

- Terres utilisées pour l'agriculture ;
- Autres terres : Se répartissent en 04 rubriques ou catégories :
  - Zone alfatière d'une superficie de 240 251 hectares,
  - Zone forestière situant dans l'Atlas Saharien pour une superficie de 122111 hectares,
  - Terres improductives non affectées à l'agriculture d'une superficie de 1 041558 ha.
  - Terres improductives (Sebkha) d'une superficie de 550 ha, comprend les terres improductives.

d. Activités industrielles :

Le tissu industriel est quasiment inexistant, l'emploi industriel ne représente que 1,99 % de la population occupée de la Wilaya.

e. Réseaux d'énergie :

La longueur totale du réseau d'électrification de la Wilaya est de 3 429 km dont 2 172 km de moyenne tension et 1 257 km de basse tension, avec la mise en service chaque année de nouveaux centres d'électrification, permettant à nombreux foyers d'être accordés au réseau, le taux d'électrification déjà appréciable atteint 94,03 % à fin 2012 avec un ensemble de 44 891 abonnés.

f. Infrastructures sanitaires :

L'action sanitaire s'articule autour de trois établissements publics hospitaliers (EPH) à El Bayadh, Bougtob et Abiod Sidi Cheikh qui couvrent l'ensemble du territoire de la Wilaya, ces établissements regroupant 470 lits.

g. Infrastructure de base :

Réseau routier : La wilaya dispose d'un important réseau routier constitué de :

Tableau A.10: le réseau routier de la wilaya d'El Bayadh.

type	Longueur en km	%
Réseau primaire : R.N	539.5	38.4
Réseau secondaire : C.W	130	9.25
Réseau tertiaire : C.C	730.45	52.35
ensemble	1404.9	100

Réseau ferroviaire : La wilaya est concernée par trois projets de voies ferrés :

- Ligne El-bayadh /El-bayadh prêt à être réaliser.
- Ligne El-bayadh /Saida en cours d'étude.
- Ligne El-bayadh /Aflou/Djelfa

Réseau Aéroportuaire : L'aérodrome Ksel d'El Bayadh est situé à 12 Km² au Nord Est du Chef-lieu de la Wilaya considéré comme l'un des principaux objectifs de lutte contre L'enclavement de la wilaya.

❖ **Paysage et Patrimoine :**

La Wilaya est un véritable musée naturel par la diversité de ses sites à savoir : Les gravures rupestres, les vieux ksour, les grottes, les oasis est un paysage fascinant, elle est le foyer des

différents sites que l'on rencontre dans certaines zones de l'Atlas Saharien Sites Touristiques : Deroua (El Bayadh), Timenderat (Sidi Amar), Medgoug (Sidi Taiffour), El Ghor, Oasis, Grottes (Brezina), Palmerie (El Abiodh Sidi Cheikh), Moulk Slimane et El Areg El Gharbi (Bnoud), l'Oasis et l'Oued (Boussemghoun), et El Ayoune (Chellala).



Figure A.8: Grottes- Brezina

ANNEXE B : TRACE EN PLAN

Tableau B.1: les éléments du tracé en plan

Elément	Définition
L'alignement (R=∞)	c'est un tracé droit, il est considéré comme étant le meilleur tracé pour le confort et la sécurité qu'il offre aux voyageurs.
Arcs de cercles (R=constante)	Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recourt au raccordement circulaire. Vu le poids important, donc pour la diminuer, le rayon sera le plus grand possible et sa valeur minimale dépend de la vitesse de base.
Courbes de raccordement (R=variable)	C'est un élément géométrique qui raccorde l'alignement à un arc de cercle dont la courbure varie progressivement d'un rayon R=∞ à la fin de l'alignement jusqu'à une valeur 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.

Tableau B.2 : définition des paramètres géométriques de conception du tracé en plan

paramètre	définition	Unité
Longueur minimale des éléments de tracé L_{min}	La longueur effective de tout élément de tracé (autre que les courbes de raccordement) doit se situer au-dessus d'une valeur exceptionnelle, en prenant en considération les paramètres de conception du tracé effectivement utilisés pour les éléments de tracé encadrants (dévers, insuffisance de dévers et leurs variations).	m
Rayon minimal : R_{min}	Le concepteur du tracé de la voie doit s'efforcer d'utiliser les plus grands rayons et courbes de raccordement permis par les contraintes de conception de la voie. Ceci permettra toute augmentation future de la vitesse. En tout état de cause, le concepteur du tracé de la voie ne doit pas utiliser des rayons de courbe inférieurs à 180 m pour les nouveaux tracés.	m
Le dévers d	Le dévers est la dénivelée entre les deux files de rails composant la voie. Une courbe est posée en dévers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur de la voie) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur de la voie). Le dévers a pour but de s'opposer aux déraillements des trains dus à la force centrifuge exercée sur les trains qui se déplacent sur une courbe.	mm
Le dévers théorique d_{th}	Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est telle que la résultant « *R* » du poids du véhicule « *P* » et de la force centrifuge « *F* » est perpendiculaire au plan de roulement, l'action de l'accélération transversale est entièrement compensée. Pour obtenir ces conditions, il est nécessaire de surhausser la file du rail de grand rayon par rapport au niveau de	mm

	l'autre, d'une valeur appropriée.	
Le dévers prescrit d_p	Il est utilisé Afin de conserver l'homogénéité du confort pour les passagers sur la ligne**.** Le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapide, et un excès de dévers pour les trains lents.	mm
Le coefficient de dévers	Le coefficient de dévers exprime la proportionnalité entre le dévers prescrit et la courbure à la création d'une ligne, le respect d'un coefficient de dévers commun à toutes les courbes conduit à avoir un rapport constant entre courbure et insuffisance de devers. La prise en compte de cette disposition constitue un facteur de confort.	/
Insuffisance de dévers	Lorsque la vitesse d'un véhicule empruntant une courbe est plus élevée que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centrifuge non compensé. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe.	mm
Excès de dévers E	Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieure de la courbe.	mm
Variation de dévers en fonction de la longueur : $\frac{\Delta d}{\Delta l}$	La variation du dévers provoque 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 quatre roues, et sous des charges dynamiques pour de grandes vitesses, le problème s'avère néfaste.	mm/m
Variation de dévers par rapport au temps : $\frac{\Delta d}{\Delta t}$	C'est le taux suivant lequel le dévers augmente ou diminue relativement à la vitesse d'un véhicule franchissant une courbe de raccordement.	mm/s
Variation de l'insuffisance par rapport au temps : $\frac{\Delta I}{\Delta t}$	C'est le taux suivant lequel l'insuffisance de dévers augmente ou diminue relativement à la vitesse d'un véhicule franchissant une courbe de raccordement.	mm/s
clothoïde	Les clothoïdes sont des courbes homothétiques, c'est-à-dire géométriquement semblables entre elles, le paramètre de la clothoïde étant le rapport d'homothétie ou facteur de similitude. Les angles et les rapports sont donc des invariants. On utilise ce type de raccordement afin de : • Introduire progressivement le devers ; • Concevoir un tracé esthétiquement satisfaisant ; • Respecter les conditions du confort et de sécurité.	

❖ ***Exemple de calcul manuel (paramètres de conception de tracé en plan) :***

(Exemple de calcule pour le rayon R=4500) :

- Dévers théorique pour voyageurs :

V_v = 220 km/h; $d_{th} = \frac{11.8 \times V_V^2}{R} = \frac{11.8 \times 220^2}{4500}$ = 126.9 mm;

On prend **d_{th}max = 127 mm**

- Devers théorique pour merchandises :

V_m= 80 m/h; $d_{th} = \frac{11.8 \times V_m^2}{R} = \frac{11.8 \times 80^2}{4500} = 16.78mm$;

On prend **d_{th}min = 17 mm**

- Coefficient du Devers :

C= $\frac{dRmin \times Rmin}{1000}$ alors: C= $\frac{122 \times 2150}{1000} = \mathbf{262.3}$

Avec : dRmin = $\frac{V_{max}^2 \times Emax + V_{min}^2 \times Imax}{V_{max}^2 - V_{min}^2} = \frac{(220^2 \times 90) + (80^2 \times 120)}{220^2 - 80^2} = 122$

- Dévers pratique :

d_p= 1000× $\frac{C}{R} = \frac{1}{R} \times 1000 \times \frac{dRmin \times Rmin}{1000} = \frac{dRmin \times Rmin}{R}$

$d_p = \frac{122 \times 2150}{4500} = 58.28mm$; on prend **d_p=58 mm**

Vérification 1 : **d_p=58 mm < d_{pmax}=150mm** (condition vérifiée)

Vérification 2 : **dth_{min}=17mm < d_p=120mm < dth_{max}=127mm** (condition vérifiée)

- Insuffisance du dévers :

I= $\frac{11.8 \times V_v^2}{R} - dp = dthmax - dp = 127 - 58 = 69mm$

Vérification : **I=69mm< I_{max}= 120mm** (condition vérifiée)

- Excès du dévers :

E= $dp - \frac{11.8 \times V_m^2}{R} = dp - dthmin = 58 - 17 = 41mm$

Vérification : **E= 41mm < E_{max}= 90mm** (condition vérifiée)

- Longueur de raccordement :
  - L ≥ $\frac{Vv}{3.6} \times \Delta d \times \left(\frac{dd}{dt}\right)_{lim}^{-1}$; L ≥ $\frac{220}{3.6} \times 58 \times (28)_{lim}^{-1}$; **L ≥ 126.59m**
  - L ≥ $\Delta d \times \left(\frac{dd}{dt}\right)_{lim}^{-1}$; L ≥ 58× $(0.82)_{lim}^{-1}$; **L ≥ 70.73 m**
  - L ≥ $\frac{Vv}{3.6} \times \Delta I \times \left(\frac{\Delta I}{dt}\right)_{lim}^{-1}$; L ≥ $\frac{220}{3.6} \times 69 \times (25)_{lim}^{-1}$; **L ≥ 168.67m**

L = Max (126.59 ; 70.73 ; 168.67) on prend L_R= 170 m

- Paramètre de clothoïde : A= $\sqrt{R \times L} = \sqrt{4500 \times 170} = \mathbf{874.64}$

❖ ***Exemple de calcul manuel (calcul d'axe) :***

Soit: $S_0 \begin{cases} X_{S0} = 312794.906 \\ Y_{S0} = 3718710.910 \end{cases}$ $S_1 \begin{cases} X_{S1} = 314029.88 \\ Y_{S1} = 3720091.626 \end{cases}$ $S_2 \begin{cases} X_{S2} = 314891.046 \\ Y_{S2} = 3720809.684 \end{cases}$

R=4500m; A= 804.984

- **Calcul des gisements :**

$|\Delta X| = |X_{S1} - X_{S0}| = 1234.974 > 0$

$|\Delta Y| = |Y_{S1} - Y_{S0}| = 1380.716 > 0$

$|\Delta X1| = |X_{S2} - X_{S1}| = 861.166 > 0$

$|\Delta Y1| = |Y_{S2} - Y_{S1}| = 718.058 > 0$

Calcul des distances:

$S_0S_1 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 1852.44m$

$S_1S_2 = \sqrt{\Delta X1^2 + \Delta Y1^2} = 1121.25m$

Donc:

$$G_{S0}^{S1} = 200 - arctg\frac{\Delta X}{\Delta Y} = \mathbf{158.18913}\boldsymbol{grade}$$

$$G_{S1}^{S2} = 200 - arctg\frac{\Delta X1}{\Delta Y1} = \mathbf{149.82204}\ \boldsymbol{grade}$$

- **Calcul de l'angle entre l'alignement γ :**

$$\gamma = \left|G_{S1}^{S2} - G_{S0}^{S1}\right| = \mathbf{8.36709\ grade}$$

- **Calcul de l'angle de tangente τ :**

$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200}{\pi}$ Avec : $L = \frac{A^2}{R}$

$L = \frac{A^2}{R} = 144m$ et $\tau = \frac{144}{2\times4500} \times \frac{200}{\pi} = \mathbf{1.019}\ \boldsymbol{grade}$

- **Calcul de la tangente T :**

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

Avec $X_M = \frac{L}{2} = \frac{144}{2} = 72m$ et : $\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{144^2}{24(4500)} = 0.192m$

$T = 72 + (4500 + 0.192)\tan\frac{8.367}{2} = \mathbf{368.15}\boldsymbol{m}$

- **Calcul de la distance S_0K_{A1} :**

$S_0K_{A1} = S_0S_1 - T = 1852.44m - 368.15 =$ **1484.28 m**

- **Calcul de la corde S_L:**

$S_L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} =$ **144.002m**

Avec : $X_{KE} = L = 144$ m et $Y_{KE} = \frac{A^2}{6R} = \frac{144^2}{6(4500)} = 0.768m$

- **Calcul de l'angle σ :**

$$\sigma = arctg\frac{Y_{KE}}{X_{KE}} = arctg\frac{0.768}{144} = \mathbf{0.339grade}$$

- **Calcul de l'angle α :**

$\alpha = \gamma - 2\tau =$ **8.367** $- 2(1.019) =$ **5.31 grade**

- **Calcul des coordonnées des points singuliers :**

$$K_{A1}= \begin{cases} X_{KA1} = X_{S1} - T\ sin\ G_{S0}^{S1} = 314029.88 - 368.15 \sin\ \mathbf{158.18913} \\ Y_{KA1} = Y_{S1} - T\ sin\ G_{S0}^{S1} = 3720091.626 - 368.15\ sin\ \ \mathbf{158.18913} \end{cases}$$

$$K_{A1}= \begin{cases} X_{KA1} = 313805.1227m \\ Y_{KA1} = 3719846.869m \end{cases}$$

$$K_{A2}= \begin{cases} X_{KA2} = X_{S1} + T\ sin\ G_{S1}^{S2} = 314029.88 + 368.15 \sin\ \mathbf{149.82204} \\ Y_{KA2} = Y_{S1} + T\ sin\ G_{S1}^{S2} = 3720091.626 + 368.15\ sin\ \ \mathbf{149.82204} \end{cases}$$

$$K_{A2}= \begin{cases} X_{KA2} = 314294.2941m \\ Y_{KA2} = 3720356.046m \end{cases}$$

$$K_{E1}= \begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} - T\ sin(G_{S0}^{S1} + \sigma) = 313805.1227 + 368.15 \sin\ (\mathbf{158.52813}) \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} - T\ sin(G_{S0}^{S1} + \sigma) = 3719866.869 + 368.15\ sin\ \ (\mathbf{158.52813}) \end{cases}$$

$$_{KE1}= \begin{cases} X_{KA1} = 313862.107 \\ Y_{KA1} = 3719301.578 \end{cases}$$

$$K_{E2}= \begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} - T\ sin(G_{S1}^{S2} - \sigma) = 314294.2941 + 368.15 \sin\ (\mathbf{149.81}) \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} - T\ sin(G_{S1}^{S2} - \sigma) = 3720356.046 + 714.9032\ sin\ \ (\mathbf{149.81}) \end{cases}$$

$$K_{E2}= \begin{cases} X_{KA2} = 314232.987m \\ Y_{KA2} = 3720259.076m \end{cases}$$

❖ **Remarque :**

On Remarque bien que les résultats de calcul avec le logiciel sont identiques avec les résultats de calcul manuel.

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Axe en plan : Axe – (1)
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0+000.00, Fin: 10+254.674

Elément	Caractéristiques	Longueur(M)	Abscisse	X	Y
			0+000.00	312794.906	3718710.910
DR1	ANG=46.4566 (g)	1 ,451.278			
			1+451.278	313762.436	3719792.618
CLO2	A= 804.984				
	R=4,500.000	144.000			
			1+595.278	313859.007	3719899.433
ARC3	R=4,500.000	513.135		317164.648	3716846.117
			2+108.413	314227.891	3720255.729
CLO4	A= 804.984				
	R=4,500.000	144.000			
			2+252.413	314337.993	3720348.535
DR5	ANG=55.7532 (g)	720.087			
			2+972.500	314891.046	3720809.684
CLO6	A= 806.226				
	R=5,000.000	130.000			
			3+102.500	314990.528	3720893.368
ARC7	R=5,000.000	900.613		311738.844	3724691.598
			4+003.113	315618.375	3721537.357
CLO8	A= 806.226				
	R=5,000.000	130.000			
			4+133.113	315699.508	3721638.931
DR9	ANG=42.6310 (g)	1,151.684			
			5+284.797	316414.368	3722541.899
CLO9	A=812.404				
	R=6,000.000	110.000			
			5+394.797	316482.909	3722627.934
ARC10	R=6,000.000	1107.911		321152.821	3718860.718
			6+502.708	317253.973	3723421.308
CLO8	A=812.404				
	R=6,000.000	110.000			
			6+612.708	317338.019	3723492.274

DR9	ANG=55.5534 (g)	3,641.966			
			10+254.674	320127.848	3725833.379

ANNEX C : PROFIL EN LONG

Tableau C.1: définition des paramétres géometriques de conception du profil en long

Elément	Définition
Pente	Tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente).
Rampe	Tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée).
Palier	C'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale
courbes de raccordement vertical	Ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison entre les éléments de la ligne rouge

Tableau C.2: définition des paramètres géométriques de conception du profil en long

Paramètre	Définition	Unité
Longueur minimale des éléments du profil en long	Lors du passage du train par deux déclivités successives de sens différents, ce dernier subit deux accélérations verticales brutales qui peuvent provoquer des oscillations très importante aux véhicules, ce qui représente un malaise aux passagers ainsi que des dégâts possibles aux rails..	m
Rayon minimal des éléments du profil en long	Pour raccorder les éléments du profil en long, on utilise des courbes paraboles de type $y=x^2/2R$, l'équation d'un cercle est $x^2+ (y-R)^2=R^2$ ou encore sous la forme : $x^2+y^2-Ry=0$. On constate que pour les grands rayons $R \geq 4000$m la variation de l'ordonnée y sur l'arc de raccordement est négligeable devant l'abscisse x. Le raccordement circulaire permet d'assurer le confort et la sécurité en réduisant l'accélération centrifuge due à la vitesse des véhicules, alors on est obligé d'intervenir pour que l'accélération verticale ne dépasse pas sa valeur maximale permise	m
Déclivité	Elle est considérée comme étant la tangente de l'angle compris entre le profil en long et l'horizontal, elle joue un rôle important pour l'écoulement des eaux. Dans la terminologie ferroviaire, on parle en générale de déclivité lorsque cette tangente est ≥ 1 à 1.8 ‰, c'est une rampe en montée et une pente en descente suivant le sens du kilométrage ou de la circulation.	‰

❖ Exemple de calcul manuel (calcul d'axe) :

○ **Cas d'un rayon convexe** :

Soit : $A\begin{cases} X_A = 00.00\text{m} \\ Z_A = 1418.32\text{ m} \end{cases}$ $B\begin{cases} X_B = 1851.00\text{ m} \\ Z_B = 1415.28\text{ m} \end{cases}$ $\begin{cases} P_1 = \mathbf{0.01\%} \\ P_2 = \mathbf{-0.23\%} \end{cases}$

$$\mathbf{R = 25000m} \qquad \mathbf{L= 1851m}$$

$$\begin{cases} Z_D = Z_B + L \times P_2 = 1415.28 + 1851 \times 0.0023 = \mathbf{1419.53\ m} \\ Z_{D'} = Z_A - L \times P_1 = 1418.32 - 1851 \times 0.0001 = \mathbf{1418.50m} \end{cases}$$

○ **Calcul de la tangente** :

- $T=(R/2) \times (P_1-P_2)$
- $T=(25000/2)\times(0.0001-0.0023)$ **=29.5 m**

○ **Calcul des coordonnées de sommet (s) :**

- $S\begin{cases} X_E = \frac{(l\times m)}{m+n} = \frac{1851\times 1.21}{1.21+3.22} = \mathbf{500\ m} \\ Z_{E/A} = Z_A - P_1 \times X_S = 1418.32 - 500 \times 0.0023 = \mathbf{1418.27\ m} \end{cases}$

○ **Calcul des coordonnées des points de tangentes :**

- $A'\begin{cases} X_C = X_S - T = 500 - 29.5 = \mathbf{470.5\ m} \\ Z_{A'} = Z_S - T \times P_1 = 1418.27 + 29.5 \times 0.0001 = \mathbf{1418.28\ m} \end{cases}$
- $B'\begin{cases} X_D = X_S + T = 500 + 29.5 = \mathbf{529.50\ m} \\ Z_{B'} = Z_S + T \times P_2 = 1418.27 - 29.5 \times 0.0023 = \mathbf{1418.20m} \end{cases}$

○ **Calcul de la longueur de raccordement :**

- $L=2\times T =2\times 29.5= 59$ **m**

○ Calcul des coordonnées du sommet de la courbe (J) :

$$\begin{cases} X_{J/A} = R \times P_1 \\ Z_{J/A} = X_{J/A} \times P_1 - \frac{(X_{J/A})^2}{2\times R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{J/A} = 25000 \times 0.0023 = \mathbf{57.5\ m} \\ Z_{J/A} = 57.5 \times 0.0023 - \frac{(57.5)^2}{2\times 25000} = \mathbf{0.0087\ m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_J = X_S + X_{J/A} = 500 + 57.5 = \mathbf{1098.447m} \\ Z_J = Z_E - Z_{J/A} = 1428.17 - 0.0087 = \mathbf{1427.16m} \end{cases}$$

❖ **Remarque :**

On remarque bien que les résultats de calcul avec le logiciel sont identiques avec les résultats de calcul manuel.

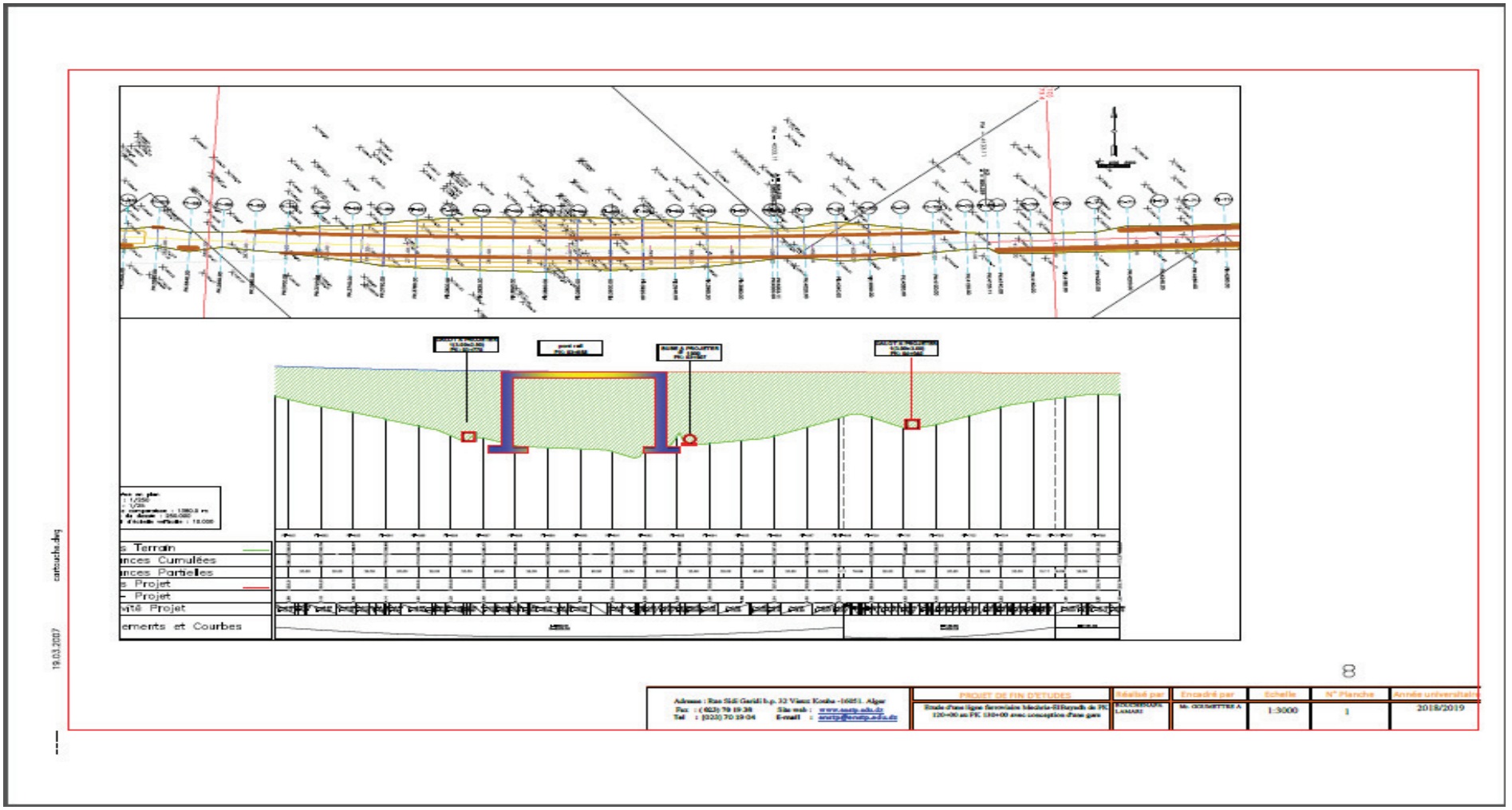
Listing de profil en long

Profil en long : LR 1
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0+000.00, Fin: 10+254.674.
Longueur de l'axe : 10,254.674m

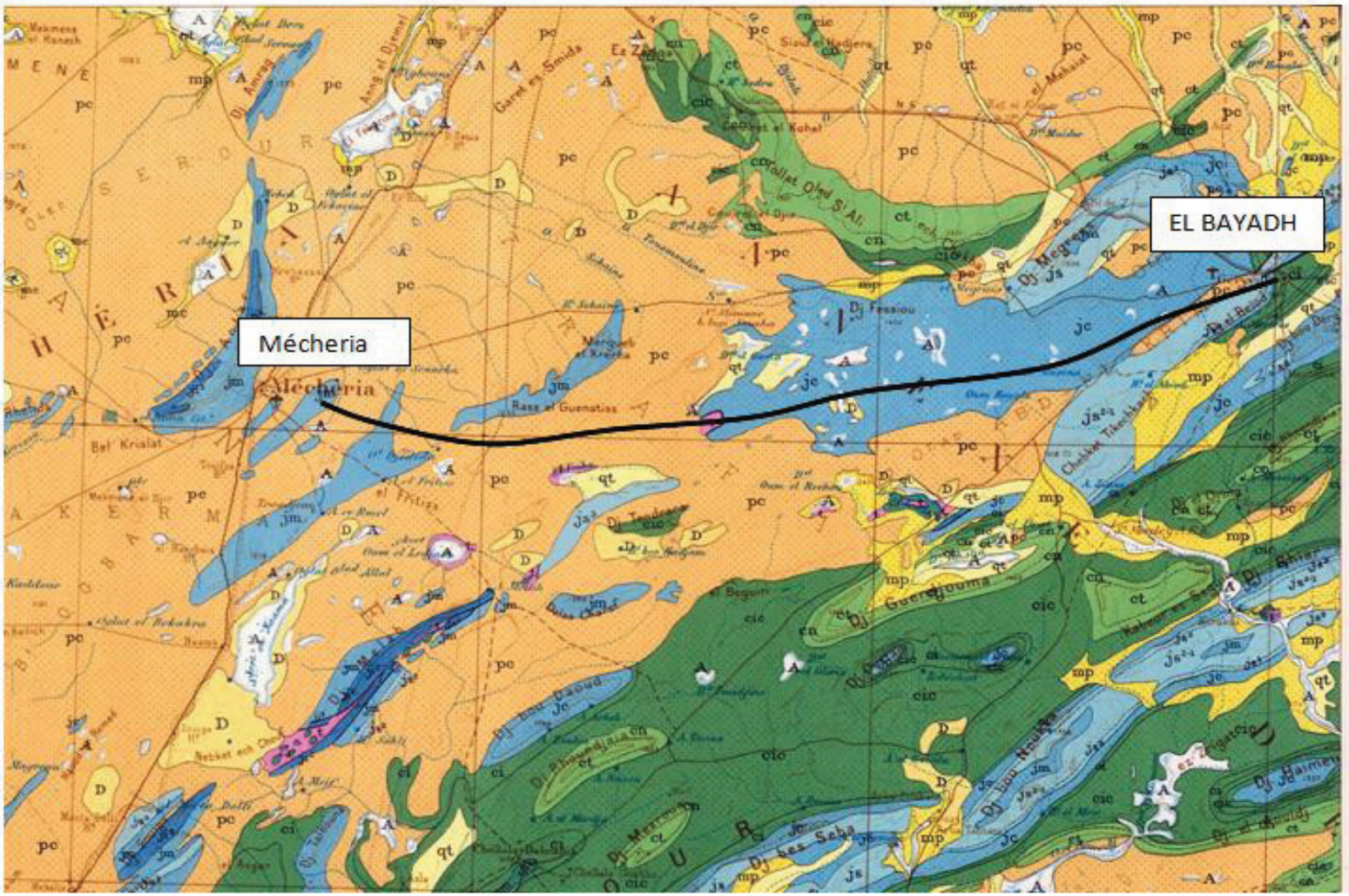
Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur(m)	Abscisse(m)	Z(m)
			0+000.00	1418.320
D1	PENTE= 0.01%	469.36		
			0+469.36	1418.372
PAR1	S= 4+99.28.32 Z=1418.372			
	R = 25000.000	59.847		
			0+529.20	1,418.304
D2	PENTE= -0.23%	1,321.77		
			1+850.97	1,415.278
PAR2	S= 2+078.65.99 Z=1,414.756			
	R = 35,000.000	455.349		
			2+306.32	1,411.273
D3	PENTE= -1.53%	856.27		
			3+162.59	1,398.173
PAR3	S= 3+498.61 Z=1,393.032			
	R = 45,000.000	672.038		
			3+834.63	1,392.909
D4	PENTE= -0.04%	1670.56		
			5+505.19	1,392.299
PAR4	S= 5+591.37 Z=1,392.268			
	R = 55,000.000	172.373		
			5+677.56	1,391.966

D5	PENTE= -0.35%	1476.13		
			7+153.69	1,386.801
PAR5	S= 7235.71 Z=1,386.514			
	R = 65,000.000	164.043		
			7+317.73	1,386.434
D6	PENTE= 0.03%	2936.95		
			10+254.674	1,387.41

ANNEXE C : PROFIL EN LONG



ANNEXE C : PROFIL EN LONG



ANNEXE D : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Tableau D.1: les essais in situ

L'essai	but	principe	L'implantation	
			sondage	PK
Sondage carottier (SPT) NF P 94-116	• Tracé un profil de pénétration ; • Fournir des échantillons de sol remaniés qui peuvent servir à la reconnaissance des horizons traversés et sur lesquels on peut pratiquer les essais d'identification classiques (granulométrie, limites d'Atterberg et teneur en eau) ; • Connaître la compacité des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents traversés ; • Sa réussite dépend du choix du matériel, de l'implantation correcte des forages et de la capacité du sondeur.	Cet essai consiste à enfoncer dans le terrain par battage un carottier de conception et de dimensions normalisées. On compte le nombre de coups de mouton nécessaire pour enfoncer le carottier sur une certaine profondeur. Une fois plein, le carottier est remonté à la surface, vidé de sa carotte puis redescendre au fond du forage. L'opération est répétée sur toute la hauteur du profil à tester.	F-31-SB	Pk 121+933
			F-32-SB	Pk124+098
			F-33-SB	PK128+113
			F-34-SB	Pk129+117
Puits de reconnaissance PU NF P94-119.	• La vérification la nature des matériaux d'excavation et leurs conditions de réutilisation dans les remblais ; • L'identification géo-mécanique afin d'examiner la portance des terrains et de préciser les types des fondations ; • La reconnaissance surtout de la qualité des matériaux d'assise au niveau des plateformes.	Les puits de reconnaissance devront atteindre des profondeurs de l'ordre de 3 à 4m, ou aller jusqu'à la profondeur limite du bras mécanique de la rétro-excavatrice, leur implantation sera faite à l'emplacement des ouvrages de drainage et des zones de déblais et de remblais.	PU-41-SB	PK120+500
			PU-42-SB	PK122+000
			PU-43-SB	PK123+500
			PU-44-SB	PK125+000
			PU-45-SB	PK126+500
			PU-46-SB	PK126+790
			PU-48-SB	PK128+000
			PU-49-SB	PK129+500
			PU-50-SB	PK130+000

Sondage pressiométrique SP NF P94-110	L'essai permet de définir trois caractéristiques pressiométriques : • Pression limite $\mathbf{P_l}$; • Pression de fluage $\mathbf{P_f}$; • Module pressiométrique $\mathbf{E_m}$.	Il s'agit d'un essai contrainte-déformation mené jusqu'à la rupture pour une configuration d'application des charges bien précises. Cet essai, met au point par MENARD, consiste à mesurer l'augmentation de volume d'un cylindre dilatable, soumis à une augmentation de pression intérieure, et placé à la profondeur à laquelle on désire tester le sol. Il est donc nécessaire d'exécuter préalablement un forage dans lequel on introduit la sonde. Suivant la nature des terrains rencontrés, ce forage peut être réalisé à l'aide d'une tarière, d'un carottier, ou de toute autre forme de moyen mécanisé. Notons cependant qu'on ne réalise jamais un seul essai pressiométrique à une profondeur unique, mais on effectue une série d'essais espacés d'un mètre par exemple. Par raison de précaution, on fait progresser le forage au fur et à mesure des essais jusqu'à la profondeur maximale à atteindre.	SP-11-SB	PK124+098
			SP-21-SB	PK126+855
Essai pénétromètre dynamique lourd PDL NF P 94-114	• Connaître la résistance des terrains de surface à partir de la résistance de pointe ; • La reconnaissance qualitative des terrains lors d'une reconnaissance préliminaire ; • Contrôle de l'homogénéité d'un site ; • Détermination des épaisseurs des différentes couches de sols ; • Localisation des cavités ou d'autres discontinuités.	Un sondage eu pénétromètre dynamique consiste à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui –même. L'ensemble est battu dans le terrain sous l'action de chocs répétés, exercés sur la tête du train de tige par une masse tombant en chute libre d'une hauteur constante.	PDL-25-SB	PK120+035
			PDL-26-SB	PK121+933
			PDL-27-SB	PK123+000
			PDL-28-SB Bis	PK124+098
			PDL-29-SB	PK124+098
			PDL-30-SB	PK125+000
			PDL-31-SB	PK126+855
			PDL-31-SB Bis	PK126+855
			PDL-33-SB Bis	PK127+977
			PDL-33-SB	PK128+000
			PDL-34-SB	PK129+500
			PDL-35-SB	PK126+855
			PDL-35-SB Bis	PK126+855
			PDL-36-SB	PK130+000

Tableau D.2 : les essais au laboratoire

L'essai	But	Principe
Analyse granulométrique des sols par tamisage à sec après lavage NF P94-056	L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions des grains de différentes tailles dans le sol. Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm.	L'essai consiste à séparer par brassage sous l'eau, les grains agglomérés, puis une fois séchée, à les classer au moyen d'une série de tamis et à peser le refus cumulé sur chaque tamis. La masse cumulée des refus sur chaque tamis est rapporté à la masse totale sèche en vue de calculer par différance le pourcentage de passant (tamisât).
Analyse granulométrique des sols par sédimentométrie NF P94-056	L'analyse granulométrique d'un sol par la méthode de sédimentation a pour objet de déterminer la distribution pondérale de la taille des particules d'un sol fin Elle s'effectue par tamisage pour les grains d'un diamètre inférieur à 80 µm.	L'essai utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leurs dimensions. La loi de Stokes donne, dans le cas des grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalent des particules.
Essais limites d'Atterberg NF 94-051	Le but de l'essai est de déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre ces différents états sont les « Limites d'Atterberg » • Limite de Liquidité : W_L (frontière entre état plastique et liquide) ; • Limite de Plasticité : W_P(frontière entre état solide et plastique). A partir des limites d'Atterberg, on peut calculer les indices suivants qui expriment la sensibilité à l'eau du sol (IP) et sa consistance (IC) par rapport à sa teneur en eau (ω_n) : • Indice de plasticité : $I_p = W_L - W_P$ • indice de consistance : $Ic = \frac{W_L - w_n}{I_P}$	L'essai s'effectue sur la fraction 0/400 m en 2 phases : • Détermination de la teneur en eau WL pour laquelle une rainure pratiquée dans une coupelle se ferme, suite à des chocs répétés pour un nombre de coups donnés (cette limite de liquidité correspond à une résistance à un cisaillement conventionnel) ; • Détermination de la teneur en eau WP pour laquelle le rouleau de sol se fissure (cette limite de plasticité correspond à une résistance à la traction conventionnelle
	Il nous permet de réaliser la caractérisation mécanique des sols. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau. Il nous	On compacte avec une dame standard dans un moule standard, l'échantillon de sol recueilli sur le site, selon un processus bien déterminé, à la teneur en eau optimum (Proctor modifié) avec trois (3)

Essai de CBR NF P 94-078	permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement.	énergies de compactage 25c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant quatre (4) jours. Ensuite poinçonner l'échantillon par pénétration d'un poinçon cylindrique à vitesse constante. On relève les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm. Nous calculons le coefficient CBR pour chacune de ces valeurs correspondantes et prenons le maximum: MAX (CBR (2.5), CBR (5)).
Essai teneur en eau NF P94-050 et NF P94-053	Elle permet de caractériser l'état hydrique d'un sol par la détermination de la teneur en eau.	Prélève une certaine quantité de matériau et placer dans un récipient (taré). Pesée de la prise(M), ensuite la prise est séchée à l'étuve 105°c. Après 24h, nouvelle pesée (Ms). Détermination la teneur en eau Natural et la masse volumique des sols fins : $\omega = \frac{M-M_S}{M_S} = \frac{M_\omega}{M_S}$
Essais Proctor NF P 94-093	Il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau, il a donc pour but de déterminer une teneur en eau optimale afin d'obtenir une densité sèche maximale.	L'essai consiste à humidifier un matériau a au moins cinq teneurs en eau et à le compacter dans un moule selon un procédé et une énergie normalisée. On détermine pour chaque teneur en eau la masse volumique sèche.
Essai de Compressibilité à l'odomètre NF P 94-090-1	Pour déterminer les caractéristiques de compressibilité et estimer le tassement d'un massif de sol sous l'effet des charges.	L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une enceinte cylindrique rigide (odomètre)- Diamètre de la boite : D≥60 mm- hauteur de l'éprouvette : Max (10mm ; 6dmax) ≤Hi≤0.4D. un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai. La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini.

Résultats des sondages carottiers

F-31 Bis-SB


Dat. 22/01/2011
3.00

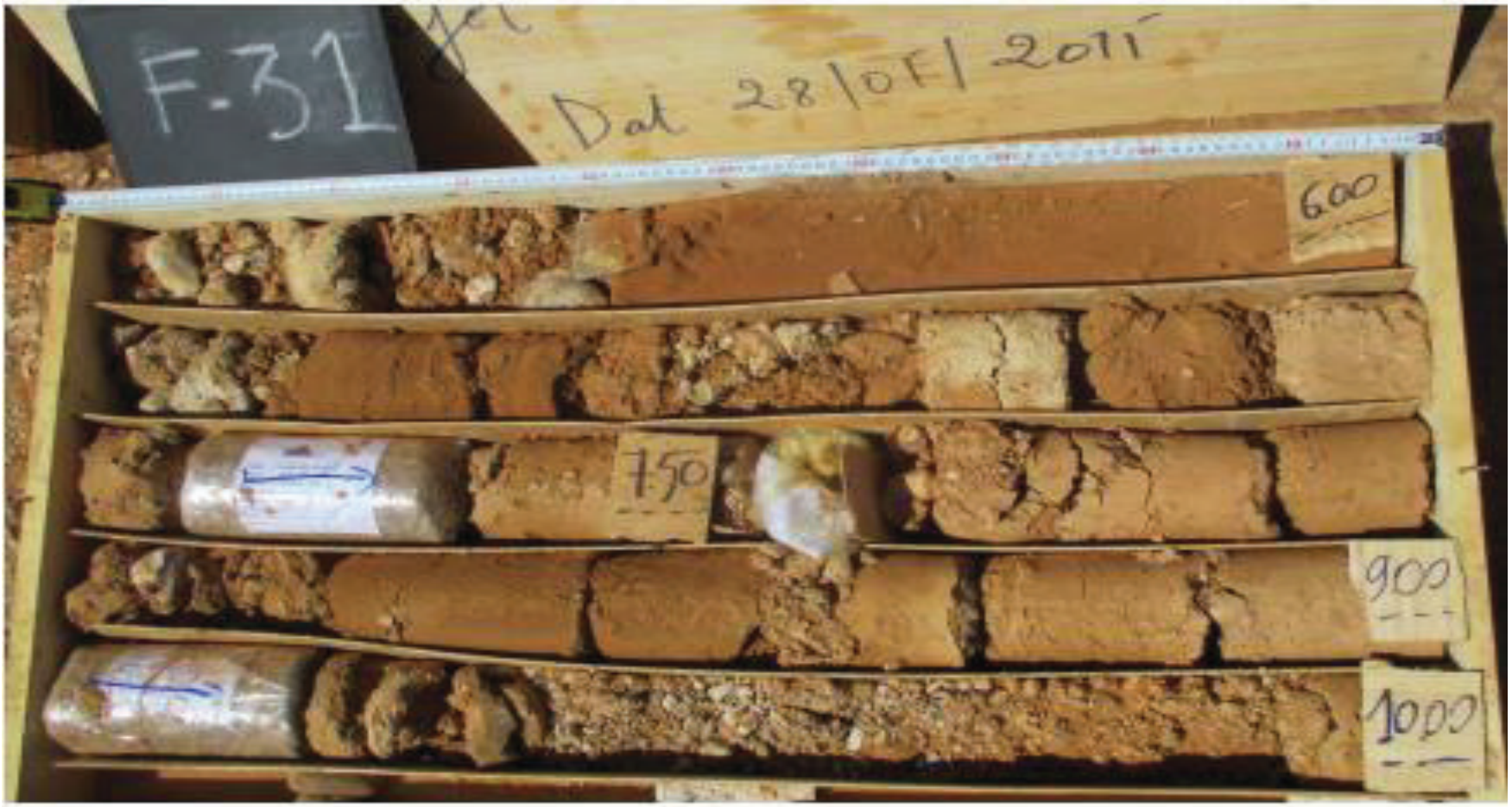


Figure D.2 : ***Sondage : F-31Bis-SB - Caisse n° : 1/2 Profondeur : 0,00 à 5,00 m***

Résultats des puits de reconnaissance
PU-41 Bis-SB

Résultats d'essai pressionmétrique Ménard
SP-11-SB

Résultats d'essai au pénétromètre dynamique lourd *PDL-29-SB*

ANNEXE E : TERRASSEMENT

E.1. Présentation de logiciel du calcul GEO-SLOPE:

C'est un logiciel qui analyse la stabilité des talus et détermine la surface de rupture potentielle. Le calcul se fait par la méthode de **Bishop** et **Fellenius** et donne un coefficient de sécurité pour l'ensemble des zones étudiées.

E.2. Calcul de stabilité des déblais :

- **Vérification à long terme**
  - **Caractéristiques du sol de fondation :**
    - ✓ C' = 26 kpa
    - ✓ ϕ'= 18°

D'après ce logiciel (et selon la méthode de Fellenius) on a un Fs=1.90 pour un talus de (1V/2H);

- **vérification de stabilité de pente selon la methode de Bishop :**
  - somme des forces actives : F_a = 518.78 kn/m
  - somme des forces passives : F_P= 987.77 kn/m
  - moment de glissement : M_a= 8284.89 Knm/m
  - moment résistant : M_p = 15774.70 KNm/m
  - coefficient de sécurité FS = 1.90 > 1.50

D'après ces résultats la stabilité de pente admissible.

- **Vérification de la stabilité de pente selon Fellenius/ Petterson :**
  - somme des forces actives : Fa = 517.95 kN/m
  - somme des forces passives : FP= 932.20 kn/m
  - moment de glissement : Ma= 7380.80 Knm/m
  - moment résistant : Mp = 13283.79 KNm/m
  - coefficient de sécurité FS = 1.80 > 1.50

La stabilité des pentes est admissible.

- ***Vérification à court terme :***
  - **Caractéristiques du sol de fondation :**
    - ✓ C' = 20 kpa

D'après ce logiciel on a un Fs=3.28 selon **BISHOP** et Fs= 1.79 selon Bishop

- **Vérification de la stabilité de pente selon Bishop :**
  - somme des forces actives : Fa = 324.93 kN/m
  - somme des forces passives : FP= 581.54 kn/m
  - moment de glissement : Ma= 4032.32 KNm/m
  - moment résistant : Mp = 7216.88 KNm/m
  - coefficient de sécurité FS = 1.79 > 1.50

La stabilité des pentes est admissible.

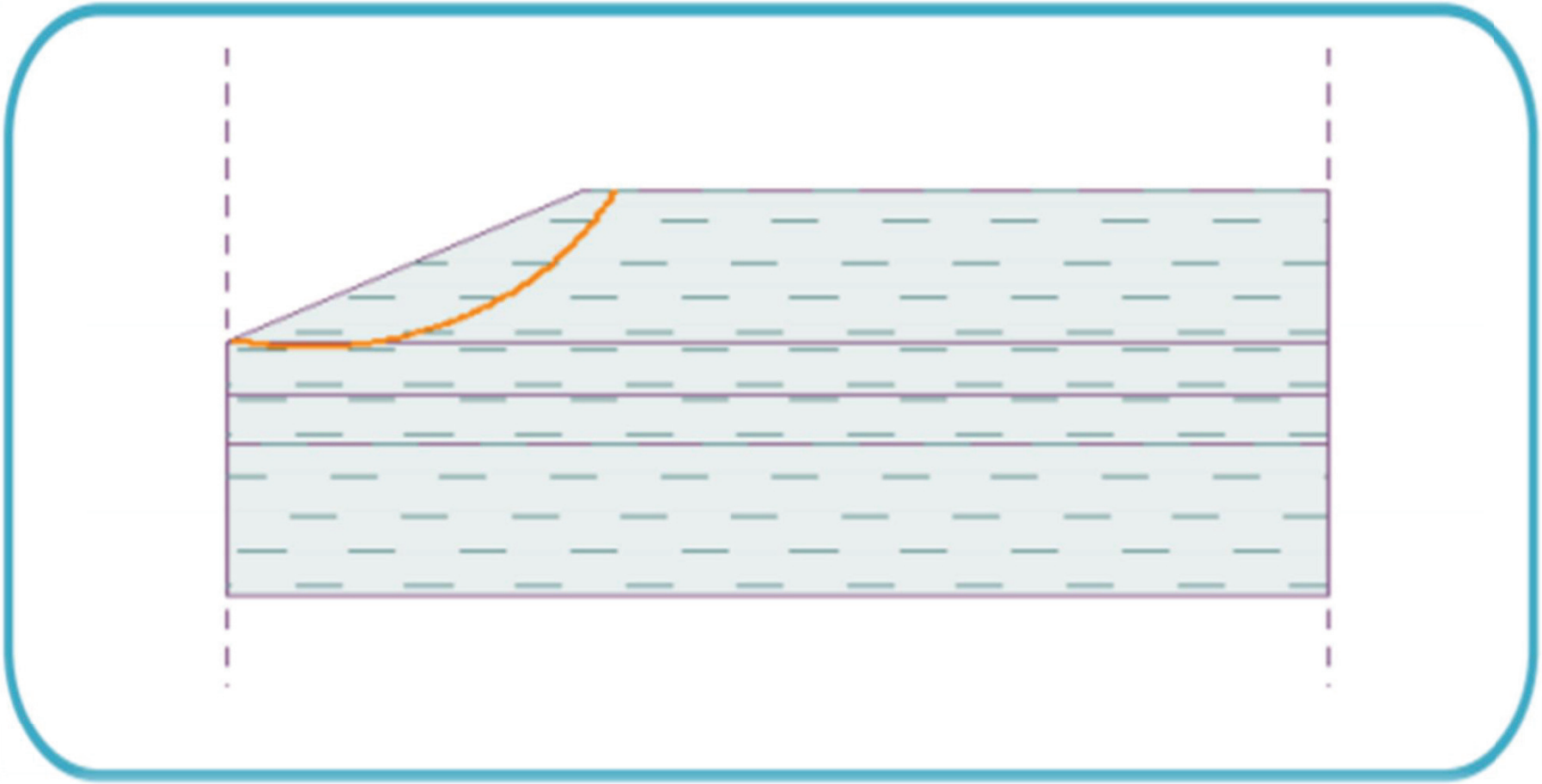


Figure E.1 : modélisation du déblai et le cercle de rupture le plus défavorable à long terme pour le déblai

E.3. Calcul de stabilité du remblai :

On utilise le logiciel GEO-SLOPE pour le cas le plus défavorable, c'est-à-dire en considérant le déblai le plus haut de 9.5 m (du **PK 120.240 AU PK 126+468**). Dans ce tronçon de la rocade on a un sol de type argile limoneuse à sableuse.

- **Vérification à long terme**
  - **Caractéristiques du sol de fondation :**
    - ✓ C' = 26 kpa
    - ✓ ϕ'= 18°

D'après ce logiciel (et selon la méthode de Fellenius) : on a un Fs=1.86 pour un talus de (1V/2H);

  - **Vérification de la stabilité de pente selon Bishop :**
    - ✓ somme des forces actives : Fa = 730.82 kN/m
    - ✓ somme des forces passives : FP= 1358.37 kn/m
    - ✓ moment de glissement : Ma= 14850.18 KNm/m
    - ✓ moment résistant : Mp = 27602.02 KNm/m
    - ✓ coefficient de sécurité FS = 1.86 > 1.50

La stabilité des pentes est admissible.

  - **Vérification de la stabilité de pente selon Fellenius/ Petterson :**
    - ➢ somme des forces actives : Fa = 730.82 kN/m
    - ➢ somme des forces passives : FP= 1285.85 kn/m
    - ➢ moment de glissement : Ma= 14850.18 Knm/m
    - ➢ moment résistant : Mp = 26128.12 KNm/m
    - ➢ coefficient de sécurité FS = 1.76 > 1.56

La stabilité des pentes est admissible.

- ***Vérification à court terme :***
  - **Caractéristiques du sol de fondation :**
    - ✓ C' = 20 kpa

D'après ce logiciel on a un Fs= 1.64 selon **Fellenius** pour un talus de (1V/2H)

  - **Vérification de la stabilité de pente selon Bishop :**
    - ➢ somme des forces actives : Fa = 336.10 kN/m
    - ➢ somme des forces passives : FP= 596.16 kn/m
    - ➢ moment de glissement : Ma= 5377.63 KNm/m
    - ➢ moment résistant : Mp = 9538.53 KNm/m
    - ➢ coefficient de sécurité FS = 1.77 > 1.50

La stabilité des pentes est admissible.

  - **Vérification de la stabilité de pente selon Fellenius/ Petterson :**
    - ➢ somme des forces actives : Fa = 413.26 kN/m
    - ➢ somme des forces passives : FP= 675.89 kn/m
    - ➢ moment de glissement : Ma= 5785.68 Knm/m
    - ➢ moment résistant : Mp = 9462.42 KNm/m
    - ➢ coefficient de sécurité FS = 1.64> 1.50

La stabilité des pentes est admissible.

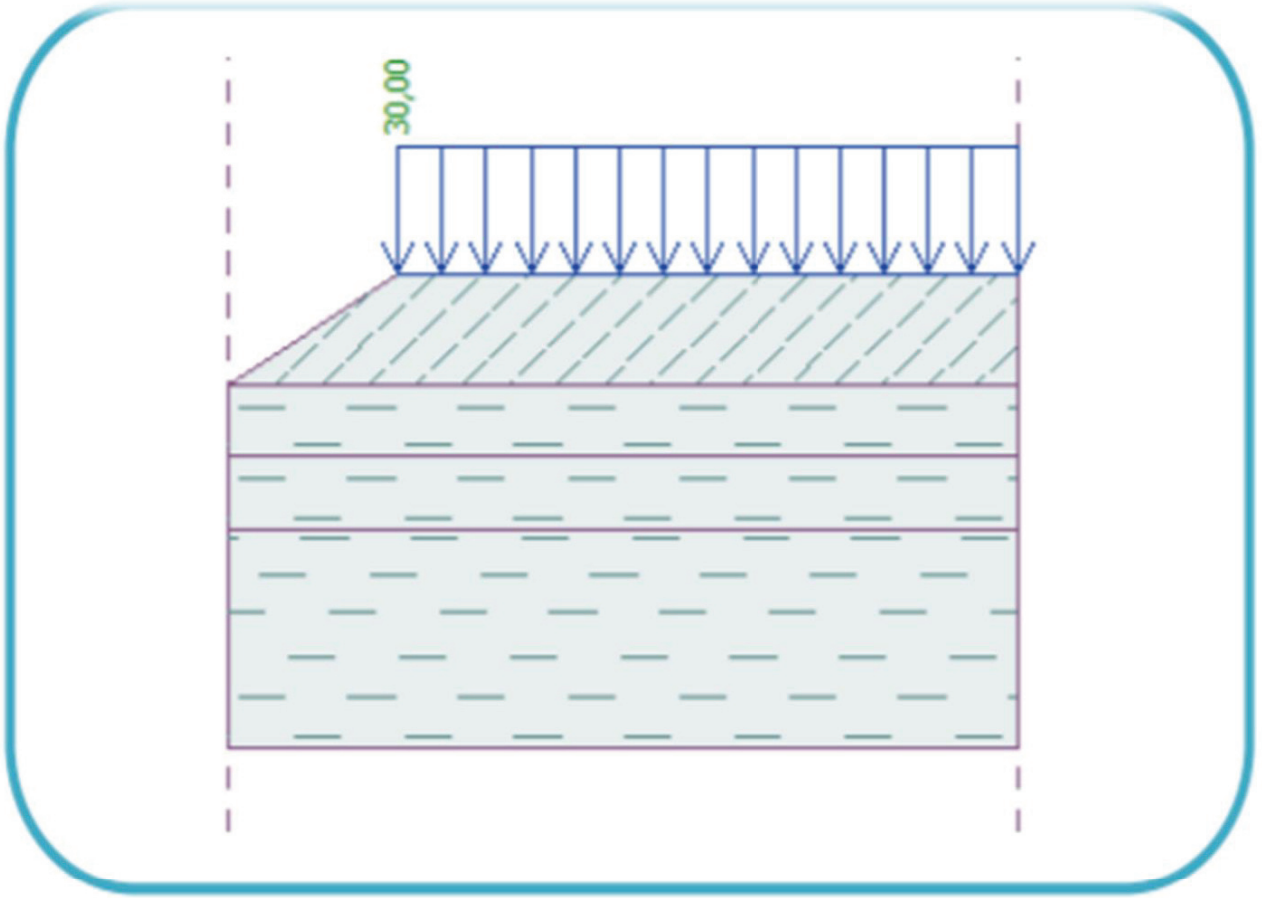


Figure E.2: Schéma de la modélisation du remblai

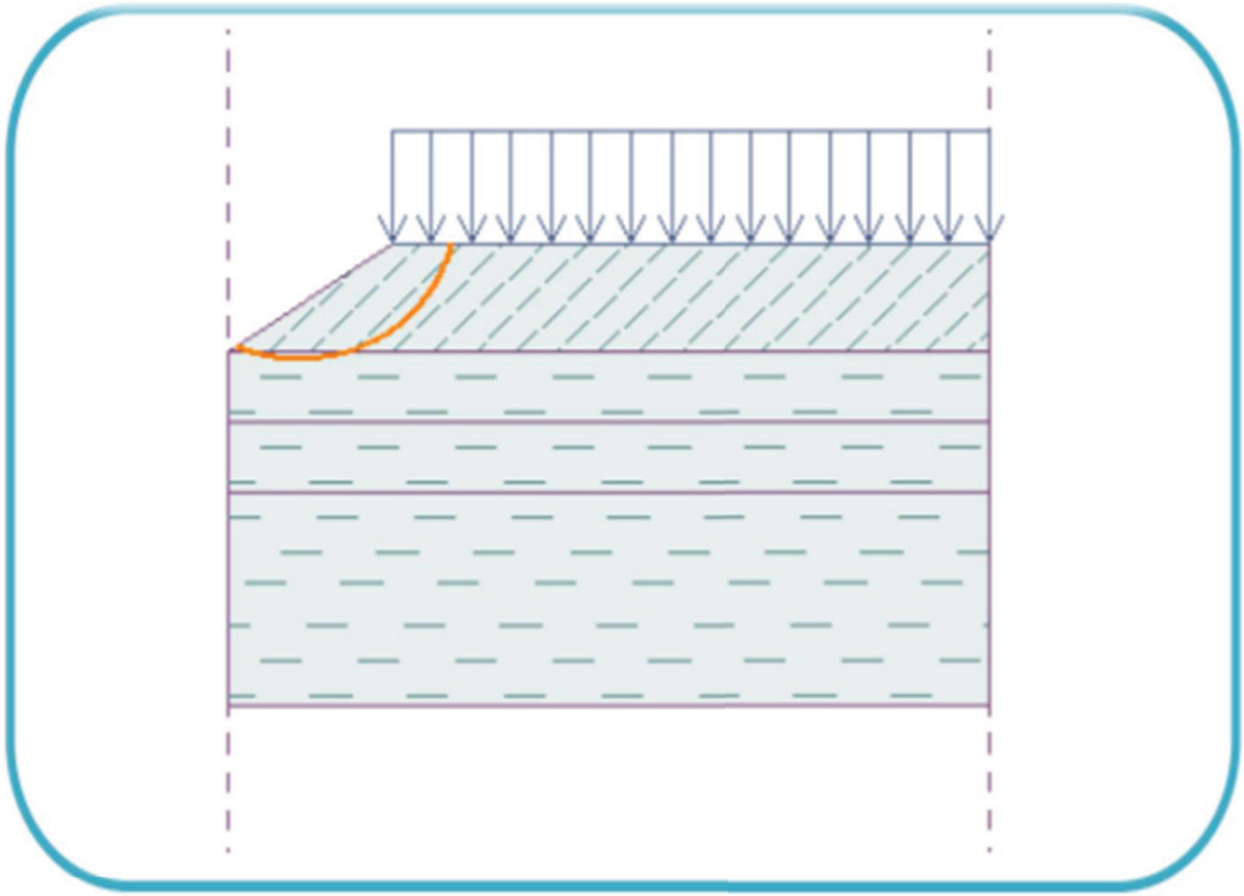


Figure E.3: Schéma de cercle de rupture le plus défavorable à long terme pour le remblai

Tableau E.1: résultats des essais de laboratoire relatif aux puits d'exploitation des gites d'emprunt.

Zone d'emprunt	puits	Prof (m)		Analyse granulométriques			W_n (%)	Limites d'atterberg			VBS	Proctor normal		Indice CBR			Classe GTR
		De	A	<2mm	<80µm	<2µm		W_L (%)	W_P(%)	I_P		γ_{dmax} t/m^3	W_{opt} (%)	Imbibé à 4 jours			
														10 C	25C	56C	
ZE-12	PU-ZE12-SB	0.5	2	26.15	8.7	2.18	6.57	37	30	7	-	1.58	20.3	7.34	13.15	17.91	R23
ZE-13	PU-ZE13-SB	0.2	1.2	77.54	60	9.79	11.99	-	-	-	0.21	1.57	19.8	4.97	11.09	15.5	R23

Tableau E.2: nature des terrains et des travaux de reconnaissance géotechnique de chaque ouvrage d'art

Ouvrage	PK	Travaux d'investigation	Nature des terrains	Unité GEO	Mode de fonction probable
Pont rail	127+201	F-31-SB SP-11-SB	➢ De 0 à 2 m : argile limono-sableuse marron carbonaté ferme ;	AGS	Semi-profonde à profonde
			➢ A partir de 2m : sable moyen à grossier avec cailloux et galets.	S	
Pont inferieur	128+342	F-32-SB SP-21-SB	➢ De 0 à 5 m : Argilite gris-verdâtre, altérée, de consistance rocheuse ;	ARG	superficielle
			➢ A partir de 5 : Argilite gris-verdâtre, saine, de consistance rocheuse.	ARG	
BATIMENTS et GARES					
Gare El-Bayadh	129+00	PU-41-SB PDL-31-SB	➢ De 0 à 2 m : Encroutement calcaire, beiges à de consistance ferme à dure.	EN	superficielle
			➢ A partir de 2 m : Argile sableuse, marron, à concrétions carbonatées. ➢ Compacte à ferme, présence de passage caillouteux,	AGS	

ANNEXE F : ETUDE HYDRAULIQUE ET ASSAINISSEMENT

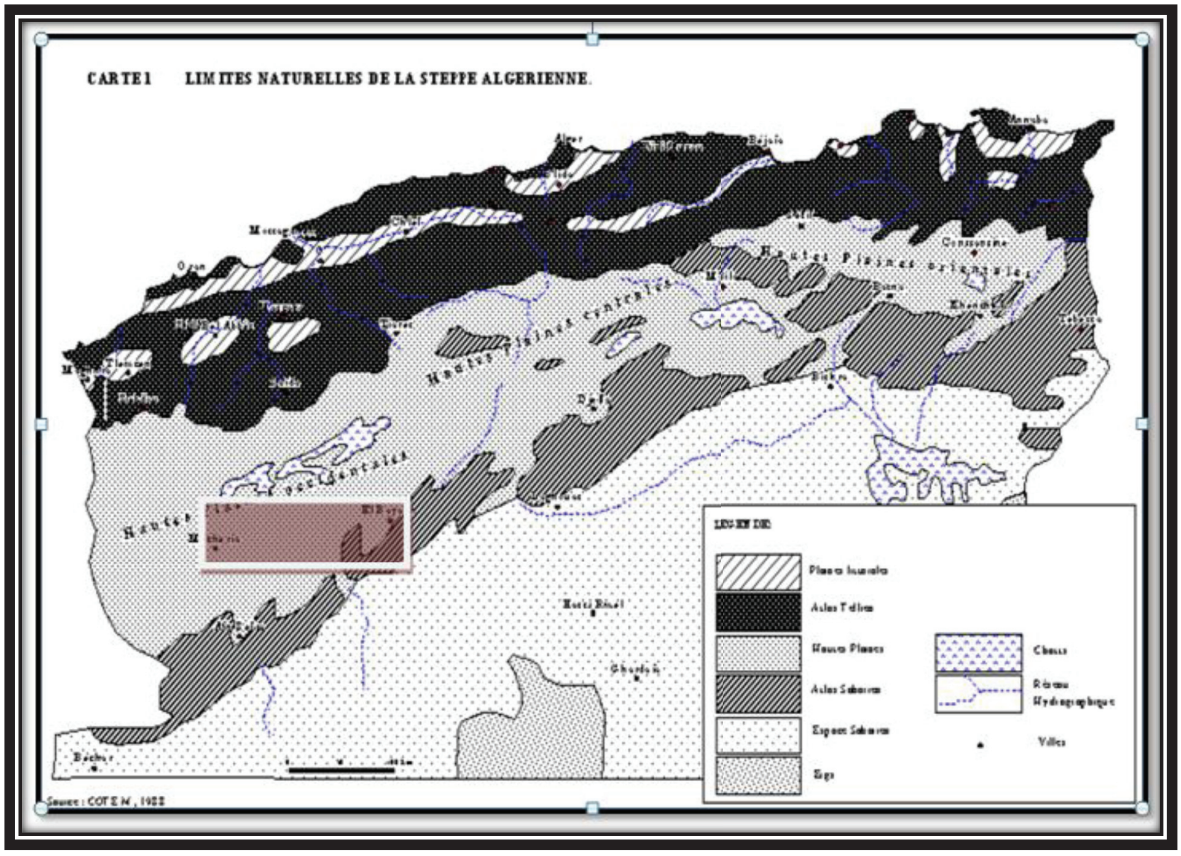


Figure F.1 : situation géographique de la zone d'étude.

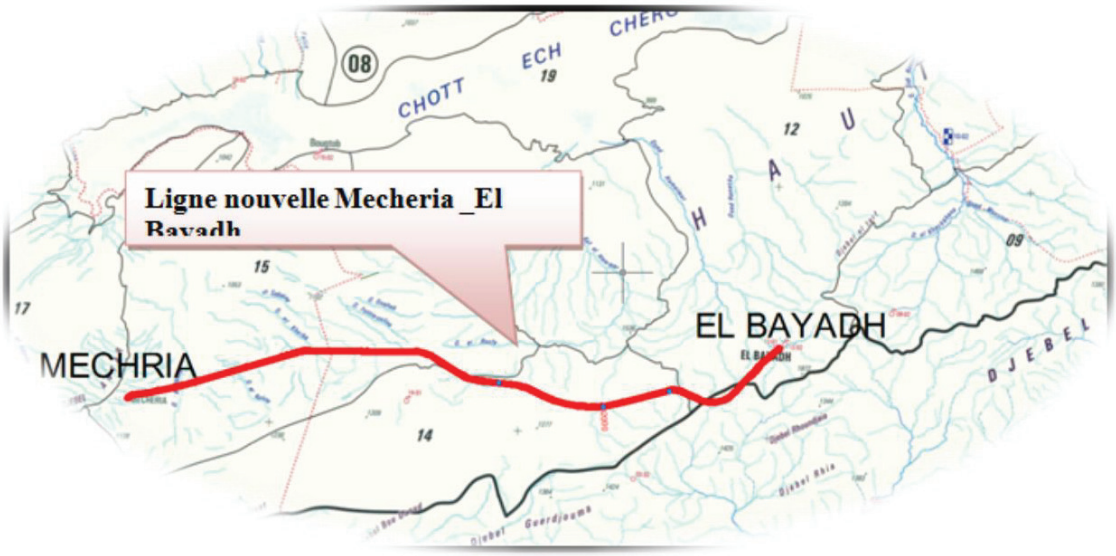


Figure F.2: Situation du projet sur carte des bassins versants.

❖ ***Application au projet :***

Calcul des caractéristiques géomorphologiques des bassins versant :

Prenant comme exemple le bassin versants N°6

N°BV	PK	S (Km^2)	P (Km)	L_W (Km)	Hmax(m)	Hmin(m)
BV6	121+470	0.05	1.05	0.35	1500	1425

- **Calcul de l'indice de compacité :**

$$Kc = \frac{p}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28\frac{P}{\sqrt{S}} = 0.28\frac{1.05}{\sqrt{0.05}} = \mathbf{1.3}$$

- **Calcul de la longueur du rectangle équivalent :**

$$Léq = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.12} \times \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2}\right) = \frac{1.3\sqrt{0.05}}{1.12} \times \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.3}\right)^2}\right) = \mathbf{0.4\ km}$$

- **Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant :**

$$Hmoy = \frac{Hmin + Hmax}{2} = \frac{1500+1425}{2} = \mathbf{1462.5m}$$

- **Calcul de l'indice de pente moyenne :**

$$I_P = \frac{\Delta h}{L_w \times 1000} \quad \text{avec :} \quad \Delta h = Hmax - Hmin = 1500 - 1425 = \mathbf{75\ m}$$

$$Ig = \frac{75}{0.4 \times 1000} = \mathbf{0.2m/m}$$

- **Calcul de temps de concentration :**

Nous avons la surface du bassin versant S > 25 km^2, alors :

$$H = H_{moy} - H_{min} = 1462.5 - 1425 = \mathbf{37.5\ m}$$

$$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} = \frac{4\sqrt{0.05} + 1.5(0.35)}{0.8\sqrt{37.5}} = \mathbf{0.3h}$$

❖ ***pluies annuelles :***

Après l'Analyse détaillée des observations (ajustement à une loi racine-normale des pluies annuelles de la région), nous avons constaté que les distributions statistiques dans notre région présentaient un caractère nettement symétrique.

Le tableau suivant nous donne les pluies annuelles qui correspondent à la station pluviométrique Le tableau suivant nous donne les pluies annuelles pour des fréquences allant de 0.9 à 0.99 (qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans). Les valeurs de Gauss et de Galton.

Tableau F.1: résultats de l'ajustement des pluies annuelles de la station d'El-Bayadh

Station d'El-Bayadh			
Période de retour	fréquence	P_{an} (mm) GAUSS	P_{an} (mm) GALTON
10 ans	0.9	348	357
20 ans	0.98	373	396
50 ans	0.95	401	444
100 ans	0.99	420	479

❖ ***précipitation journalier :***

La protection contre les dégâts des eaux nécessite de s'intéresser aux pluies journalières maximales annuelles. Les précipitations sous forme de pluie ou de neige sont mesurées dans des stations pluviométriques où les relevés se font soit manuellement (pluviomètres), soit à l'aide d'appareils enregistreurs (pluviographes).

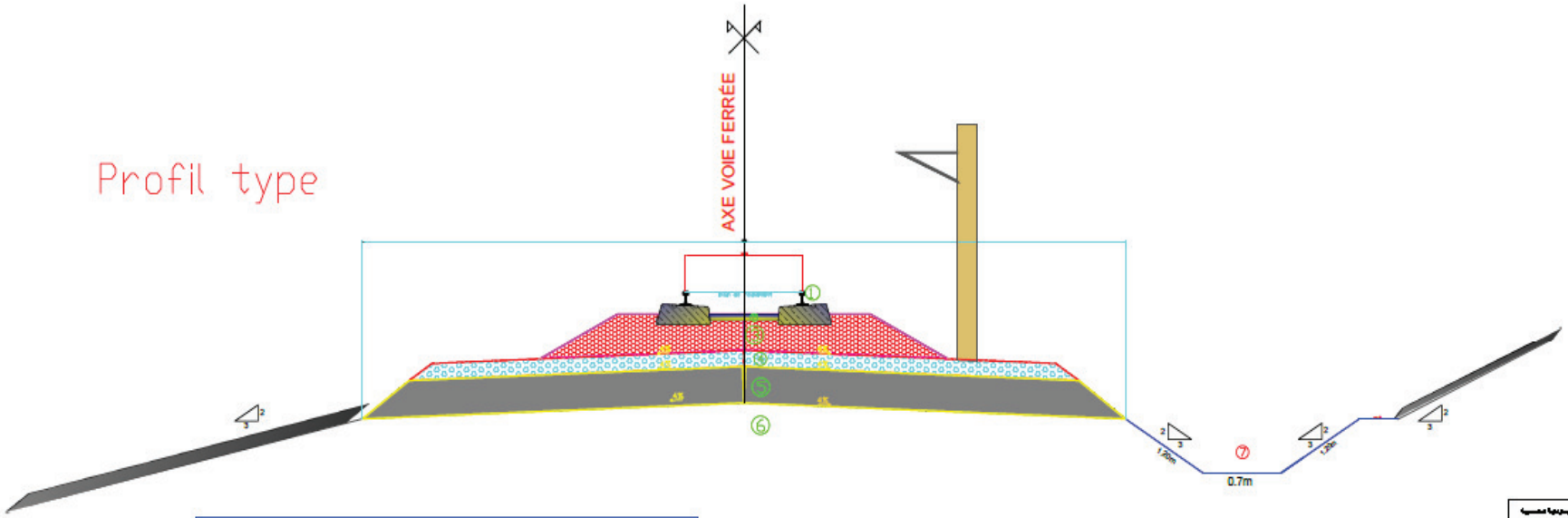
Le tableau suivant nous donne les pluies Journalières maximales qui correspondent aux mêmes stations, pour des fréquences allant de 0.9 à 0.99 (qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans). Les valeurs d'U.Gumbel (variables réduites de Gumbel) varient de 2,25 à 4,6.

Tableau F.2: résultats des ajustements.

Période de retour	Fréquence F(x)	Gumbel y	Pmax j. calculé	Pmax j.graph
10	0.9	2.25	41.19	41.07
20	0.95	2.97	47.07	46.89
50	0.98	3.9	54.65	54.42
100	0.99	4.60	60.37	60.08

PROFIL EN TRAVERS

Profil type



1-Rail 60E1
2-Traverse monobloc B70 EN béton précontraint
3-Ballast (0.35m)
4- Sous ballast (0.20m)
5- Couche de forme (0.15m)
6- Partie supérieure des terrasements (PST) - remblais. Fond de forme - deblais
7- fossé

V max =220 KM/H



ANNEXE I : ETUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

Contexte juridique :

La politique Algérienne de préservation de l'environnement s'insère d'une part dans le processus de mise en place de projet de développement respectueux des conventions internationales entériné par l'Algérie. Une politique qui vise la mondialisation et l'ouverture des frontières et d'autre part dans un cadre législatif très riche qui témoigne de l'intérêt porté depuis plusieurs années à la protection des ressources naturelles du pays, les différents lois et décrets qui s'appliquent sur notre projet sont les suivants

Tableau XI.1: contexte juridique.

Rubrique	Lois/décrets/ordonnances
Protection de l'environnement et développement durable	• Loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement. • Loi nº 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. • Loi n° 01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire. • Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
Etude d'impact sur l'environnement	• Décret n° 87-91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire. • Décret exécutif n° 07-145 correspondant au 19 mai 2007 Ce décret détermine le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des Etudes et des notices d'impact sur l'environnement.
Eaux & Zones Humides	• Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau. • Ordonnance n°09-02 du 29 Rajab 1430 correspondant au 22 juillet 2009 modifiant et complétant la loi n°05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 Aout 2005 relative à l'eau. • Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux. • Décret exécutif n° 93-163 du 10 juillet 1993 portant institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles. • Décret n° 82-439 du 11 décembre 1982 portant adhésion de l'Algérie à la convention relative aux zones humides, d'importance internationale.
Faune et flore	• Loi n°84-12 du 23 juin 1984 portant régime général des forets. • Loi n° 91-20 du 2 décembre 1991, modifiant et complétant la loi n° 84- 12 du 23 juin 1984 portant régime général des forets. • Décret exécutif n° 12-03 du 10 Safar 1433 correspondant au 4 janvier 2012 fixant la liste des espèces végétales non cultivées protégées. • Décret présidentiel n° 02-400 du 20 Ramadhan 1423 correspondant au 25 novembre 2002 portant ratification de la convention internationale pour la protection des végétaux. • Ordonnance n°75-43 du 17 juin 1975 portant code pastoral. • Loi n°83-18 du 13 Aout 1983 relative à l'acquisition et la protection foncière agricole.

	• Décret exécutif n° 12-235 du 3 Rajab 1433 correspondant au 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées. • Loi n° 06-14 du 22 Chaoual 1427 correspondant au 14 novembre 2006 portant approbation de l'ordonnance n° 06-05 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. • Ordonnance n° 06-05 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. • La loi n°04-07 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 aout 2004 relative à la chasse.
Les aires protégées	• La loi n° 11-02 du 17 février 2011 et ces articles, relative aux aires protégées : – **Parc national** : Protéger l'intégrité d'un ou de plusieurs écosystèmes (conservation et la protection de région naturelles uniques, en raison de leur diversité biologique, tout en les rendant accessibles au public à des fins d'éducation et de récréation) **(Art.5).** – **Parc naturel :** Assurer la préservation, la protection et la gestion durable de milieux naturels, de la faune, de la flore, d'écosystème et de paysages représentatifs et /ou significatifs d'une région **(Art.6)**. – **Réserve naturel intégrale :** Assurer la protection intégrale d'écosystèmes, ou de spécimens de faune ou de flore rares méritant une protection intégrale **(Art.7).** Dans la réserve naturelle intégrale, il est interdit : (i) de résider, de pénétrer, de circuler ou de camper , (ii) toute forme de chasse ou de pêche , (iii) d'abattage ou de capture de la faune , (iv) de destruction ou de collection de la flore, (v) toute exploitation forestière , agricole ou minière, (vi) toute pâturage, (vii) toute fouille ou prospection , toute sondage, (viii) terrassement ou construction, (ix) tout travaux tendant à modifier l'aspect du terrain ou de la végétation ,(x) tout acte de nature à nuire à la faune ou à la flore toute introduction ou évasion d'espèces animales ou végétales **(Art.8) .** – Y sont autorisées et réglementées des activités ponctuation à des fins de recherche scientifique ou ayant un caractère d'urgence et d'importance nationale. Des projets d'intérêt national peuvent être implantés dans la réserve naturelle intégrale après approbation du conseil des ministres. L'extension ou la transformation du type de ces projets ne peut s'effectuer qu'après approbation du conseil des ministres **(Art .9)** – **Réserve naturelle :** Conservation, de protection et / ou de restauration des espèces de faune, de flore, des écosystèmes et des habitats (toutes les activités humaines y sont réglementées **(Art. 10).** – **Réserve de gestion des habitas et des espèces :** Assurer la conservation des espèces et de leurs habitats le maintien des conditions d'habitats nécessaire à la préservation et à la protection de la diversité biologique **(Art.11).** – **Site naturelle :** Tout espace contenant un ou plusieurs éléments naturels d'importance environnementale et notamment les chutes d'eau, les cratères et les dunes de sables **(Art.12)** – **Corridor biologique :** Tout espace assurant la liaison entre écosystème ou entre différents habitats d'une espèce ou d'un groupe d'espèces interdépendantes permettant sa dispersion et sa migration **(Art .13)**
	• Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel dans ses dispositions relatives aux territoires archéologiques et historiques. • Ordonnance n° 67-281 du 20 décembre 1967 relative aux fouilles et à la protection

Patrimoine culturel Et sites archéologiques	des sites et monuments historiques et naturels. • Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. • Décret n° 87-182 du 18 août 1987, relatif aux huiles à base de polychlorobiphényles (PCB), aux équipements qui en contiennent et aux matériaux contaminés par ce produit. • Décret exécutif n° 93-161 du 10 juillet 1993 réglementant le déversement des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel. • Décret exécutif n° 93-162 du 10 juillet 1993 fixant les conditions et les modalités de récupération et de traitement des huiles usagées. • Décret exécutif nº 06-141 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. • Décret exécutif n05-315 correspondant au 10 septembre 2005 fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux.
Transport	• Décret exécutif n° 90-79 du 27 février 1990, portant réglementation du transport des matières dangereuses. • Décret présidentiel n° 90-198 du 30 juin 1990 portant réglementation des substances explosives
Emission atmosphérique	• Décret exécutif nº 06-138 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle. • Décret exécutif n03-410 du correspondant au 5 novembre 2003 fixant les seuils limites des émissions des fumées, des gaz toxiques et des bruits par les véhicules automobiles. • Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits.
Installations classées	• Décret exécutif n° 98-339 du 03 novembre 1998, définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature. • Décret exécutif nº 06-198 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
Hygiène et sécurité	• Une loi n°88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail. • Décret exécutif n°91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail. • Décret exécutif n°02-247 du 3 Chaoual 1423 correspondant au 7 décembre 2002 relatif aux conditions d'organisation de l'instruction, de l'information et de la formation des travailleurs dans le domaine de la prévention des risques professionnels. • Décret exécutif n°05-08 du 8 janvier 2005 relatif aux prescriptions particulières applicables aux substances, produits et préparations dangereuses.
L'expropriation	• Loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique. • Décret exécutif nº 93-186 déterminant les modalités d'application de la loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique. • Décret exécutif nº08-202 complétant le décret exécutif nº 93-186 déterminant les modalités d'application de la loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique. • Décret exécutif nº05-248 complétant le décret exécutif nº 93-186 déterminant les modalités d'application de la loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique.

Tableau I.2: grille d'identification des impacts sur les milieux biophysique et humain

Phases du projet	Activités sources d'impact	Composantes environnementales								
		Milieu biophysique					Milieu humain			
		sols	eaux	air	végétation	faune	Affection des terres	santé	bruit	emplois
Pré-construction / construction	Travaux de dégagement des aires des bases vie (organisation des chantiers, notamment la mise en place des ateliers, garages et magasins, habitations du personnel).	-	-	-	-		-		-	+
	Transport des équipements et matériaux de construction.			-	-	-				+
	Travaux de préparation de l'emprise.	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	Travaux d'ouverture de territoire (emprunts et pistes).	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	Travaux de terrassement (remblais et déblais).	-	-	-		-		-	-	+
	Installation des rails et la construction des ouvrages connexes.	-	-			-		-	-	+
exploitation	Utilisation du chemin de fer.	-				-			+	+
	Travaux d'entretien des rails et ouvrages connexes.	-	-	-	-	-		-	-	+

Légende :

(+) : impact positif ;

(-) : impact négatif

Tableau I.3:evaluation des impacts prévisibles et effets cumulatifs.

Impact sur le milieu physique	
Thème environnemental	**impact**
Sol et géologie	• A la réalisation de dépôts de matériaux provisoires, entrainant temporairement l'existence de buttes à l'échelle locale ou régionale ; • Erosion et déstabilisation du sol (érosion régressive).
Hydrologique	• Inondation et emportement de la voie par les eaux lors de crues spectaculaires (Oued Kef Lahmar en 2002 et inondation de 2008) ; • Bouleversement écologique dus à des itinéraires différents des eaux de précipitation ; • Discontinuité hydraulique des cours d'eau et autres écoulements dans la période pluviale lors de la phase de terrassement et de construction des ouvrages hydrauliques ou des ouvrages d'art ; • Abaissement du niveau de la nappe phréatique ; • Assèchement des puits peut être provoqué.
Air	• Altération de la qualité de l'air par et les émissions des gaz nocifs, de vapeurs, de fumées ou de particules fines ; • Pollution due à l'émanation de poussières.
Impact sur le milieu biologique	
Thème environnemental	**impact**
Flore	• La destruction et/ou la dégradation de la couverte végétale (surtout pour les terres qui contiennent de la Alfa); • Déplacement des sables (déboisement au niveau de la ceinture verte qui stoppe le phénomène de l'érosion éolienne) ; • Disparition des espèces végétales rares, menacés ou en voie d'extinction ; • la voie ferrée peut être un obstacle et occasionner la formation de dunes de sable et accentuer une désertification annoncée (impact positif).
Faune	• Risque de perturbation liée au bruit et à la lumière entraînant un dérangement local de la faune ; • Pour certaines espèces (allant de l'insecte au mammifère, en passant par les oiseaux), l'éclairage des infrastructures (chantier nocturne) peut constituer des barrières physiques entraînant l'abandon d'axes de déplacement ; • Disparition ou diminution des espèces faunistiques.
Les espaces boisés	• L'implantation des installations de chantier, de même que la réalisation des terrassements et des accès au chantier, peuvent également entraîner des atteintes aux biotopes et aux individus au sein des emprises du projet et affecter les écosystèmes proches.
Impact sur le milieu humain (socio-économique)	
Thème environnemental	**impact**
Population	• Risques d'accidents de circulation et de travail ; • Risques de contaminations des maladies transmissibles.
	• Coupure des cheminements et allongements de parcours pour les

Agriculture et élevage	animaux ; • Difficultés d'accès aux parcelles agricoles ; • Destruction de clôtures pour les besoins du chantier ; • Morcellement des parcelles : Ces terrains peuvent alors être incultivables ou peu rentables du fait de leurs tailles trop réduites ; • Problèmes d'assainissement (inondation, érosion de terres agricoles…).
Habitat	• Déguerpissement des habitations ; • Les fermes et berges qui se trouvent dans l'emprise ferroviaire vont être uniquement déplacées vue le statu domanial des terrains.
Impact sur le paysage et le patrimoine	
Thème environnemental	**impact**
Paysage	• La gêne visuelle pour les riverains et usagers ; • Modification de la topographie ; • Changement de la qualité esthétique du paysage et de l'environnement.
Les monuments historique et archéologique	• Aucun monument historique ou site archéologique n'a été recensé dans l'air d'étude sauf des Zaouia qui se trouve dans l'aire d'étude.
Impact sur le milieu ambiant	
Thème environnemental	**impact**
Acoustique (Bruit)	• Nuisances sonores des travaux de préparation des emprises, de construction et d'installation des machines pour les travailleurs de chantier.
Emissions lumineuses	• Des impacts sur le cadre de vie des riverains (système d'éclairage supplémentaires ou de panneaux indicateurs lumineux, le tout pour des raisons de sécurité).
Odeurs et fumées	• Le chantier peut être générateur de mauvaises odeurs ou d'odeurs fortes et de fumées.
Qualité de l'air	• L'émission de poussières et de particules de taille variable ; • L'émission des gaz d'échappement (SO2 et CO2): Cette émission provenant essentiellement des engins et les camions du chantier, va contribuer à altérer la qualité de l'air ambiant).

ANNEXE J : SIGNALISATION, TELECOMMUNICATION, ENERGIE

❖ ***Fonction principale de GSM-R :***

Les domaines choisis pour l'utilisation du GSM-R doivent satisfaire les mentions suivantes :

- Le système radiocommunication de train (Radio Sol Train : RST) doit connecter entre le conducteur du train et les opérateurs d'énergie électrique et de transport ;
- Le système de radio d'exploitation et de Maintenance (REM) est dédié aux équipes de maintenance, d'exploitation et de travaux ;
- Commande du train Le système de GSM-R doit connecter les éléments suivants
  - Terminal fixe par câble et radio terminal fixe ;
  - Terminal fixe par câble et terminal portable sur sol ;
  - Terminal fixe par câble et terminal équipé dans le train (CAB).

o **Alimentation de la charge à basse tension :**

Il y a deux catégories d'alimentation à prévoir pour les installations de la gare et les équipements de signalisation et de télécommunication : alimentation électrique primaire (normale) et alimentation électrique secondaire (de secours). En cas de rupture de l'alimentation à basse tension, les équipements de signalisation, de télécommunication sont directement touchés. Il est nécessaire de prévoir une alimentation de secours pour une fourniture continue de qualité.

L'alimentation normale est fournie par SONELGAZ (en cas d'indisponibilité de celui-ci, par la caténaire), et l'alimentation de secours par la caténaire ou le générateur électrique. Le commutateur de transfert automatique doit être installé entre l'alimentation normale et celle de secours en cas de panne.

L'alimentation primaire prend le réseau de SONELGAZ ou la caténaire (en cas d'absence du réseau disponible de SONELGAZ) comme source de courant électrique après réduction de la tension électrique. Les éléments consommateurs sont représentés dans la **Figure J.1.**

L'UPS peut prendre l'alimentation normale ou l'alimentation de secours comme sa source électrique pour l'utilisation des équipements représentés dans la **Figure J.1.**

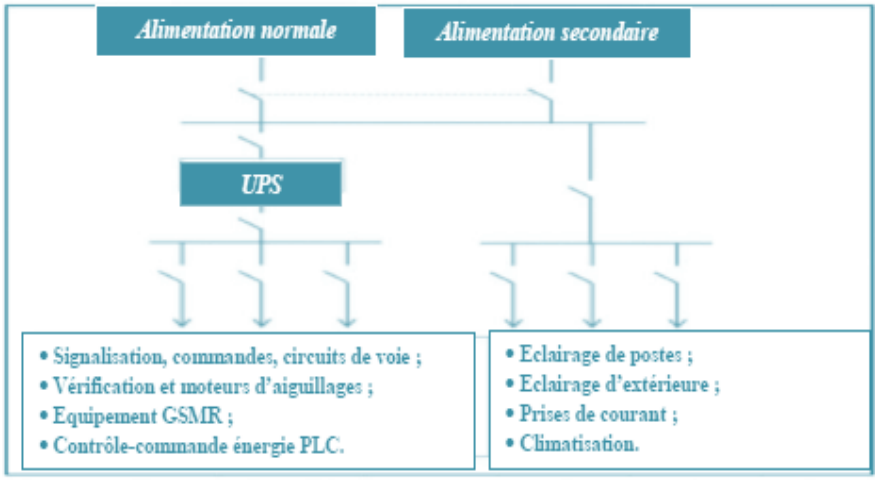


Figure J.1: schéma de distribution de l'alimentation normale/ de secours