République Algérienne Démocratique et Populaire ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغال العموميـة
فرنسـيس جانســون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics Francis
Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État Filière :
Travaux Publics
Spécialité : Infrastructures de base

Thème

Etude en APD du Raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba du Pk 08+000 au Pk 23+000 avec conception de la gare de Blad El Hadba

Présenté par :

DJIDJELI Alla Eddine

GUERBACHE Mohammed Amin

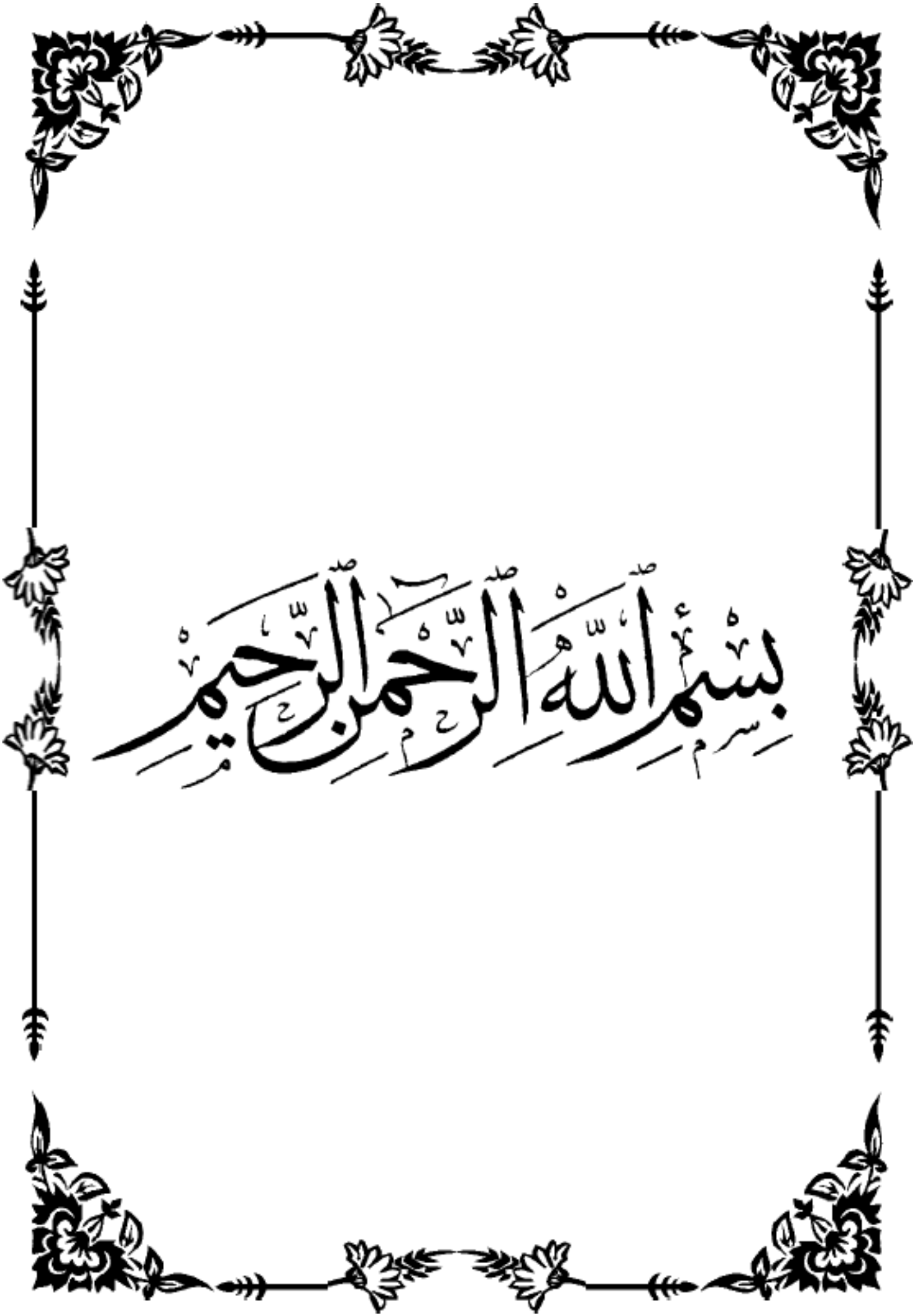
Encadré par :

Mr. ZENNOUCHE Smail

Mr. FEDGHOUCHE Ferhat

Promotion 2024 / 2025

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

ملخص

يَندرج هذا التقرير في إطار دراسة تفصيلية أولية (APD) تتعلق بربط الحقل الجديد الواقع في منطقة "بلاد الحدبة"، والذي يمتد من النقطة الكيلومترية PK 08+ 000 إلى النقطة الكيلومترية PK 23+ 000. وتشمل الدراسة أيضاً تصميم محطة "بلاد الحدبة." وقد تم إنجاز هذه الدراسة وفقاً للمعايير التي وضعتها الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) ، وطبقاً لتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية (SNTF) .ولأغراض النمذجة والتحليل، تم استخدام عدة أدوات رقمية من بينها: Covadis 17، InfraWorks ، Tarlen 5 ، Google Earth ، ArcGIS وCivil 3D .

RESUME

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'une étude en Avant-Projet Détaillé (APD) portant sur le raccordement du nouveau gisement au niveau de Bled El Hadba, s'étendant du PK 08+000 au PK 23+000. L'étude intègre également la conception de la gare de Blad El Hadba.

Elle a été menée conformément aux normes établies par l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) et selon les recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). Pour la modélisation et l'analyse, plusieurs outils numériques ont été mobilisés, notamment Covadis 17, InfraWorks, Tarlen 5, Google Earth, Civil 3D et ArcGIS.

SUMMARY

This report focuses on a detailed preliminary study (APD) of The connection of the new railway alignment in Bled El Hadba area, extending from PK 08+000 to PK 23+000. The study also includes the design of the Blad El Hadba station.

This study was conducted in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and based on the recommendations of the Algerian National Railway Transport Company (SNTF), using the following software : Covadis 17, InfraWorks, Tarlen 5, Google Earth, Civil 3D and ArcGIS.

Remercîment

D'abord, nous exprimons notre gratitude envers Allah pour le courage et la détermination qu'il nous a accordés pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous tenons à remercier toute l'équipe de **l'ENSTP** pour leur soutien inestimable. Nos remerciements particuliers vont à nos familles pour leur soutien et leur appui continu., ainsi qu'à **Mme Y. MAHIAOUI** pour son effort. Nous exprimons également notre gratitude à l'administration du département infrastructures de base : **Mme I. MAKOUDI**, **Mme M. BOUREBIA, Mme S. LOUNES** et **Mme N. KOBTANE** pour leur dévouement et leurs précieux conseils. Leur contribution a été essentielle à la réussite de notre projet.

Nous remercions nos encadrants, **Mr S. ZENNOUCHE** et **Mr. F. FEDGHOUCHE**, pour leur aide précieuse et leur suivi minutieux, ainsi que tous nos professeurs pour leur dévouement, leurs remarques, leurs conseils, leurs réponses et leurs instructions tout au long de notre parcours d'études à l'école. Également nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à **Mr R. MORSLI, K. HAMMADI, Mme F. BELHADJ** et **Mr A. MOBARKI** pour leurs soutiens précieux, leurs remarques éclairées et son encouragement indéfectible.

Nous remercions les professionnels de l'industrie ferroviaire pour avoir généreusement partagé leur expérience, contribuant ainsi à l'élaboration de ce projet. Nous exprimons notre gratitude particulière au personnel de la **SNTF,** notamment **A. ABD EL HAKIM**, **Mr. K. DELLADJ ainsi que Mr D. SEBAA et Mr W. KREIFEUR** de **DTP** pour son encadrement, son assistance durant toute la période de stage, ainsi que pour son soutien et sa participation aux entretiens et discussions techniques. Son informations et idées précieuses ont enrichi ce mémoire, et sans oublier **Mr D. ELBRAZZI** pour son aide avec le logiciel COVADIS.

Nous remercions l'équipe de **COSIDER TP, COSIDER ENGINEERING** et **SETIRAIL** pour leurs efforts et le temps qu'ils ont consacré à partager leur expérience professionnelle.

Nous exprimons notre gratitude envers les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.



Dédicace

« Je dédie ce travail à mes chers parents et mes sœurs Khawla, Kawter et Sirin et mon frère Salah Eddine, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes années d'études.

À mes amis précieux : Souhil, Sami, Chakib, Merouane, Amin, Hamza, Younes, Abdesslam, Abdo, Kamel, Basset, Fadi, Wail & Yasmine vous êtes les meilleurs <3
Merci »

DJIDJELI ALLA EDDINE

Je dédie ce mémoire avec tout mon amour et ma reconnaissance :

À ma chère mère, la reine de ma vie, pour ton amour inconditionnel, ta patience, et tout ce que tu fais pour moi chaque jour.

À mon père, pour tes précieux conseils, ta force et ton soutien indéfectible.

À mon petit frère Sami, pour ta joie de vivre et ton énergie qui m'inspirent chaque jour.

À mes amis intimes, Abada Charaf Eddine et Lourkisti Younes, pour votre amitié sincère, votre soutien et votre présence constante dans les moments importants.

À ma deuxième famille, les ABADA, et à mes amis proches : Khelifi Mohamed, Slaimi Mohamed el habib, Talha Abdo, Oboucho Amin, Zerrouki Younes, Attiche Kamel, Basset, Ilias Khelfaoui, Ibrahim Mihoubi, Benkacir Salah, Zikou, Vous avez été un soutien précieux tout au long de mon parcours.

À mes amies précieuse, Mazouzi Asma, Djeffal Marie, Benrejdal Sabrina, Louni Yasmine et Lamis, pour votre soutien sincère, votre gentillesse, et votre présence réconfortante tout au long de ce parcours.

À mon binôme DJIDJELI Alla Eddine pour ta collaboration précieuse.

Et on n'oublie pas mes deux oncles maternels, Hamidi Miloud et Hamidi Khelifa, et bien sur mon bien-aimé grand-père maternel « PAPITI » Hamidi Abdelkader, dont la sagesse et l'amour continuent de m'inspire.

Ce mémoire est dédié à tous ceux qui m'ont accompagné dans ce voyage. Merci pour votre soutien, vos conseils et vos encouragements.

GUERBACHE MOHAMMED AMIN

Abréviations

A.P.D : Avant-Projet Détaillé.
A.P.S : Avant-Projet Sommaire.
ADV : Appareil De Voie.
ANESRIF : Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires.
BV : Bassin versant.
CW : Chemin Wilaya.
GF : Garage Franc.
IDF : Intensité - Durée – Fréquence.
Lu : Longueur Utile.
NPHE : Niveau des Plus Haut Eaux.
ONM : Office National de la Météorologie.
PK : Point kilométrique.
PU : Puit de reconnaissance.
Qps : Débit pleine section.
RN : Route Nationale.
RPA : Règles Parasismiques Algériennes.
SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.
SNCF : Société Nationale des Chemins de fer Français.
SP : Sondage pressiométrique.
SC : Sondage Carotté.
SPT : Essai de Pénétration Standard.
UIC : Union Internationale des Chemins de fer.
VBS : Essai bleu de méthylène.
LA : Essai Los Angelos.
MDE : Essai Micro-Deval.
Vmar : Vitesse marchandise.
Vps : Vtesse pleine section.
PI : passage inférieur.
PS : passage supérieur.
LRS : Long rail soudé.
GTR : Guide terrassement routier.
HT : hors taxes.
BT : Base Tension.
MT : Moyen Tension.
C′ : Cohésion fictive du sol.

Table de matière

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE

I.1. Introduction 2
I.2. Ligne de chemin de fer construites au 19ème siècle 2
I.2.1. Premiers projets et première ligne construite 2
I.2.2. Premier plan de développement impérial 2
I.2.3. Les plans de développement successifs 3
I.3. Modernisation, crises et relance du réseau ferroviaire 4
I.4. conclusion 5

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET

Introduction 6
II.1. Caractéristiques du réseau ferroviaire minier Est 6
II.2. Présentation générale de la zone d'étude 7
II.2.1. Données clés du réseau 8
II.2.2. Climat 9
II.3. Présentation du projet étudié 9
II.4. Les Objectifs du projet 10
II.5. Les paramètres de conceptions du tronçon du raccordement de Blad El Hadba 10
II.6. Conclusion 11

CHAPITRE III : SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS

Introduction 12
III.1. Présentation du tracé : Embranchement de Blad El Hadba 12
III.2. Résumé de l'étude APS 12
III.3. Analyse comparative des variantes 13
III.4. Objectif de raccordement de gisement de Blad El Hadba 14

CHAPITRE IV : L'INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE

Introduction 15
IV.1. La structure d'assise 15
IV.2. La couche d'assise 15
IV.2.1. Couche de ballast 15
IV.2.2. La sous couche 15
IV.2.2.1. La couche de sous ballast 15
IV.2.2.2. La couche de fondation 16
IV.3. Epaisseur des couches d'assise 16
IV.4. La couche anti-contaminante 17
IV.5. La couche de forme 17

IV.6. Le géotextile 17
IV.7. Classification des sols pour la plate-forme 18
IV.8. Conclusion 19

CHAPITRE V : LA SUPERSTRUCTURE FERROVIAIRE

Introduction 20
V.1. La technologie ferroviaire 20
V.1.1. Description du système 20
V.1.2. Principes fonctionnels fondamentales 21
V.2. Les éléments de superstructure 21
V.2.1. Le Rail 21
V.2.1.1. Les types de rail 21
V.2.1.2. Inclinaison des rails 22
V.2.1.3. Défaut et usure des rails 22
V.2.1.4. Assemblage des rails 22
V.2.2. Les traverses 23
V.2.2.1. Le rôle des traverses 23
V.2.2.2. Type de traverses 23
V.2.2.3. Critères de distinction des modèles de traverse 23
V.2.3. Les attaches 24
V.2.4. Les caténaires 24
V.2.5. Les appareils de voies (ADV) 24
V.2.6. Les traversées de voie 25
V.3. Long rail soudé 25
V.3.1. Définition des LRS 25
V.3.2. Importance et avantages des LRS dans le transport ferroviaire 26
V.3.3. Dilatation des LRS 26
V.3.4. Opération de la libération des LRS et stabilisation de la voie 27
V.4. Pose de voie 27
V.4.1. Préparation de la plateforme de voie : 27
V.4.2. Distribution et pose des rails 28
V.4.3. Préparation et pose de traverses 28
V.4.4. Fixation et assemblage des rails 29
V.4.5. Finitions et stabilisation 30
V.5. Conclusion 31

CHAPITRE VI : LA GEOMETRIE DE LA VOIE

Introduction 32
VI.1. Recherche bibliographique sur les normes 32
VI.2. Le trace en plan 33
VI.2.1. Introduction 33
VI.2.2. Les éléments constitutifs d'un tracé en plan 33
VI.2.2.1. Les alignements droits 33
VI.2.2.2. Les courbes circulaires 33
VI.2.2.3. Courbes de transition 33
VI.2.2.4. Rayon minimal normal des courbes circulaires 34
VI.2.2.5. Dévers 34
VI.2.2.6. Courbe de raccordement 36

VI.2.3. Règles et normes à respecter d'un tracé en plan 38
VI.2.4. Application au projet 39
VI.2.5. Conclusion 40
VI.3. Le profil en long 41
VI.3.1. Introduction 41
VI.3.2. Définition 41
VI.3.3. Règles et normes à respecter pour le profil en long 41
VI.3.4. Élément de composition du profil en long 41
VI.3.5. Application au projet 43
VI.3.6. Conclusion 43
VI.4. Profil en travers 45
VI.4.1. Introduction 45
VI.4.2. Profil en travers type 45
VI.4.3. Constituant du profil en travers type 45
VI.4.4. Élément du profil en travers 45
VI.4.5. Profil type de notre projet 46
VI.4.6. Conclusion 46

CHAPITRE VII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

Introduction 47
VII.1. Objectif 47
VII.2. Etude hydrologique 47
VII.2.1. Situation géographique de la zone 47
VII.2.2. Caractéristiques morphologiques et climatiques des bassins versants 48
VII.2.2.1. Délimitation du bassin versant 48
VII.2.3. Le temps de concentration 49
VII.3. Caractéristiques climatiques 52
VII.3.1. Précipitation 52
VII.3.2. Pluie annuelle 53
VII.3.3. Pluie journalière 53
VII.3.4. Climat 54
VII.3.5. Calcul de l'intensité de pluie 56
VII.3.6. Calcul débit des bassins versant (les crues) 57
VII.4. Assainissement 61
VII.4.1. Méthode de Manning-Strickler 61
VII.4.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux 61
VII.4.3. Les conditions d'auto-curage 61
VII.4.4. Les buses 61
VII.4.5. Les dalots 62
VII.4.6. Assainissement longitudinal 66
VII.4.7. Dimensionnement des fossés 66
VII.5. Conclusion 68

CHAPITRE VIII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Introduction 69
VIII.1. Synthèse géologique et géotechnique 69
VIII.1.1. Objectif de l'étude 69
VIII.1.2. Cadre géologique 69

VIII.1.2.1. Le relief 70
VIII.1.2.2. La sismicité 71
VIII.1.3. Cadre Lithologique 72
VIII.1.3.1. Contexte Géologique et Stratigraphique de la Région de Bir El Ater .. 72
VIII.1.3.2. Localisation des zones à risques 73
VIII.1.4. Synthèse des résultats Géotechniques 73
VIII.1.4.1. Les essais in situ (du pk 02+ 950 au pk 19+000) 73
VIII.1.4.2. Les essais au laboratoire 77
VIII.1.4.3. Calcul et classification 79
VIII.1.5. Conception des ouvrages en terre 82
VIII.1.5.1. Justification de la stabilité au glissement (cas remblai) 82
VIII.1.5.2. Justification de la stabilité au glissement (cas déblai) 84
VIII.1.5.3. Justificatif de la stabilité des remblais au poinçonnement 86
VIII.2. Terrassement 88
VIII.2.1. Gites d'emprunts et carrières 88
VIII.2.2. Conception remblais 89
VIII.2.2.1. Pente de talus en remblai 89
VIII.2.2.2. Risbermes 89
VIII.2.2.3. Purges superficielles 89
VIII.2.2.4. Matériaux pour les remblais 90
VIII.2.2.5. Aménagement des remblais en zones humides (ZH) 90
VIII.2.3. Conception déblais 90
VIII.2.4. Dimensionnement de la structure d'assise 91
VIII.2.5. Mouvement des terres 93
VIII.3. Conclusion 93

CHAPITRE IX : LES CONTRAINTES EXISTANTES

IX.1. Introduction 94
IX.2. Les ouvrages 94
IX.2.1. Influence sur le choix des ouvrages 94
IX.2.2. Le croisement route-rail 95
IX.2.3. Les ouvrages d'art du projet 95
IX.2.3.1. Rétablissement routier 95
IX.2.3.2. Les ouvrages d'art 97
IX.2.3.3. Les lignes électriques 98
IX.2.3.4. Pipes line 98
IX.3. Conclusion 99

CHAPITRE X : CONCEPTION DE LA GARE

Introduction 100
X.1. Conception de la gare 100
X.1.1. Le plan de masse d'une gare 100
X.1.2. Type de gare 100
X.1.3. Aménagement d'une gare 101
X.1.3.1. La marge de glissement 101
X.1.3.2. Garage franc 102
X.1.3.3. La longueur utile 102

X.1.4. Equipement de la gare 103
X.1.4.1. Réseaux de la voie 103
X.1.4.2. Catenaire 103
X.1.4.3. Les heurtoirs 103
X.2. Caractéristiques géométriques de la gare 104
X.2.1. Déclivités dans la gare 104
X.2.2. Quais 104
X.3. Application dans notre projet 104
X.3.1. Dimensionnement des quais 104
X.4. Assainissement dans la gare 105
X.4.1. Transversale 105
X.4.2. Longitudinale 105
X.5. Conclusion 105

CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Introduction 106
XI.1. Rôle de la signalisation 106
XI.2. Système de signalisation 106
XI.2.1. Les fonctions des signaux 107
XI.2.2. L'implantation des signaux 107
XI.2.3. Visibilité des signaux 107
XI.3. Types des signalisation ferroviaires 108
XI.4. Les types des blocs 108
XI.5. Application au projet 111
XI.6. Conclusion 111

CHAPITRE XII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Introduction 112
XII.1. Cadre Législatif et Réglementaire 112
XII.2. Description du Site 112
XII.3. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude 113
XII.4. L'impact du projet 114
XII.4.1. Les effets bénéfiques 114
XII.4.2. Les impacts négatifs et les mesures d'atténuation proposées 114
XII.5. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet 116
XII.6. Conclusion 116

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CONCLUSION GÉNÉRALE ..... …… 119

Liste des figures

Figure I.1 : Carte des principales lignes de chemin de fer construites au 19ème siècle en Algérie 3
Figure I.2 : carte des chemins de fer d'Algérie 1830-1962 4
Figure II.1 : Ligne minière East 6
Figure II.2 : Délimitation administrative des wilayas entourant Tébessa (ArcGIS) 7
Figure II.3 : Situation du projet de l'embranchement de Blad El Hadba (ArcGIS) 7
Figure II.4 : description de la section de projet 8
Figure II.5 : Localisation de la zone d'étude sur Google Map 9
Figure II.6 : Tracé neuf - Section 3 : Oued Keberit / Djebel Onk. 13
Figure III.1 : situation du gisement de Blad El Hadba par rapport à Djbel El Onk 12
Figure III.2 : Tracé neuf : Variante 01 + Variante 02 13
Figure IV.1 : La formule de calcul pour les épaisseurs minimales de l'assise 16
Figure IV.2 : le niveau le plus haut de la nappe 18
Figure V.1 : les constituants de la voie ferrée 20
Figure V.2 : Rails Vignole 22
Figure V.3 : Dénomination des traverses 23
Figure V.4 : Attache type nabla 24
Figure V.5 : Traversée rectangulaire et oblique 25
Figure V.6 : Schéma de principe des LRS 25
Figure V.7 : dilatation et contraction des LRS 27
Figure V.8 : Implantations topographiques de l'axe de voie et piquets rejets 27
Figure V.9 : Pré-ballastage de la voie 28
Figure V.10 : Pose de traverses à l'aide d'un portique 28
Figure V.11 : Pose de traverses à l'aide d'une pelle rail-route 29
Figure V.12 : espacement et nombre des traverses 29
Figure V.13 : Positionneuse des rails 29
Figure V.14 : Mise à l'axe de la voie 30
Figure V.15 : relevage et stabilisation 31
Figure VI.1 : Les éléments du tracé en plan 33
Figure VI.2 : Diagramme des flèches et des courbures et tracé en plan d'un RP 37
Figure VI.3 : Elément de clothoïde 37
Figure VI.4 : les doucines 38
Figure VI.5 : les éléments du profil en travers (SNTF-Chapitre 06) 45
Figure VII.1 : La délimitation des bassins versants sur la carte d'état-major (ArcGIS) 49

Figure VII.2 : Exemple de délimitation de deux bassins versants de notre tracé sur InfraWorks 49
Figure VII.3 : Changement annuel de précipitation – Tébessa (source meteoblue.com) 52
Figure VII.4 : Ajustement de la pluie annuelle à la loi normale, station de Bir El Ater..... 53
Figure VII.5 : Ajustement des pluies maximales journalières à la loi de Gumbel, Station de Bir El Ater..... 54
Figure VII.6 : Anomalies mensuelles de température - Changement climatique Bir El Ater. 54
Figure VII.7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien..... 56
Figure VII.8 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF) 57
Figure VII.9 : Tracé de l'embranchement de Bled El Hadba sur le schéma structural de la région.. 59
Figure VII.10 : Tracé sur la carte d'affectation des terres 59
Figure VII.11 : fossé type 01 78
Figure VIII.1 : situation géologique du tracé..... 70
Figure VIII.2 : Classes des altitudes de la région de Blad El Hadba (ArcGIS)..... 71
Figure VIII.3 : Carte des pentes et des altitudes (ArcGIS) 71
Figure VIII.4 : Carte de zonage sismique de l'Algérie du Nord. (Source RPA 2024) 71
Figure VIII.5 : résultats de calcul de la stabilité du remblai PK 13+125 condition..... 83
Figure VIII.6 : résultats de calcul de la stabilité du remblai PK 13+125 condition statique (TALREN v5) 83
Figure VIII.7 : résultats de calcul de la stabilité du deblai PK 09+900 condition statique (TALREN v5) 85
Figure VIII.8 : résultats de calcul de la stabilité du déblai PK 11+200 condition dynamique (TALREN v5) 86
Figure VIII.9 : gites d'emprunt sur Carte géologique 88
Figure VIII.10 : Les Épaisseurs de la structure d'assise 92
Figure IX.1 : Caractéristiques du Cadre PK 08+825. 96
Figure IX.2 : Coupe longitudinale de l'ouvrage d'art PK 11+200 et PK 12+675 96
Figure IX.3 : coupe transversale sur culées de l'OA de PK 21+375 97
Figure IX.4 : coupe transversale de l'OA du PK 11+996 au PK 12+062 97
Figure IX.5 : Caractéristiques du cadre (protection pipeline)..... 98
Figure IX.6 : Illustration des passages supérieurs N°03, N°04 et N°05 sur InfraWorks..... 99
Figure IX.7 : Illustration de passage inférieur N°01 sur InfraWorks 99
Figure X.1 : Schéma de la marge de glissement..... 102
Figure X.2 : Schéma du garage franc..... 102
Figure X.3 : Schéma de la longueur utile 103
Figure X.3 : la catenaire..... 104

Figure X.4 : Un heurtoir..... 104
Figure X.5 :Assainissement transversale de la gare..... 105
Figure X.6 : Assainissement longitudinale de la gare..... 106
Figure XI.1 : Espacement des trains par block manuel 110
Figure XI.2 : Protection d'une bifurcation par block manuel..... 110
Figure XI.3 : Arrêt différé par block manuel..... 111
Figure XI.4 : Ralentissement par block manuel..... 111
Figure XI.1 : Illustration 3D avec InfraWorks de passage du projet par des terrains agricoles 116

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les paramètres de conceptions du tronçon du raccordement de Blad El Hadba 11
Tableau III.1 : Avantages et inconvénients des deux variantes 13
Tableau IV.1 : La classe la portance de la plate-forme selon Normes UIC 719R 19
Tableau V.4 : type de branchement en fonction de vitesse 25
Tableau VI.1 : Valeurs limites du dévers en pleine courbe selon référentiel technique de SNTF 34
Tableau VI.2 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers admissible selon référentiel technique de IN0272 35
Tableau VI.3 : Valeurs limites de Excès du dévers Imax selon référentiel technique de IN0272..... 35
Tableau VI.4 : Limite de variation de dévers en fonction de la longueur recommandes selon référentiel technique de SNTF. 36
Tableau VI.5 : Valeurs limites de variation du divers en fonction du temps selon référentiel technique de SNTF 36
Tableau VI.6 : Valeurs limites de variation du divers en fonction du temps selon référentiel technique IN0272 36
Tableau VI.7 : les paramètres géométriques du tracé en plan (SNTF) 39
Tableau VI.8 : Tableau récapitulatif des paramètres de tracé 40
Tableau VI.9 : Longueur minimale des déclivités (SNTF) 42
Tableau VI.10 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF) 42
Tableau VI.11 : paramètre géométrique de profil en long de notre projet (SNTF) 43
Tableau VII.1 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants (du PK 08+780 au PK 22+576) 50
Tableau VII.2 : Précipitations moyenne annuelle 52
Tableau VII.3 : Valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies. 53
Tableau VII.4 : Valeurs des pluies journalières selon les fréquences choisies pour la station de Bir El Ater 54
Tableau VII.5 : Moyenne annelles et mensuelles des températures par période pour chacune des stations de Tébessa et El Ma Labiod (source ONM). 55
Tableau VII.6 : Valeurs du paramètre (a) selon les fréquences, au niveau de la station de Saf Saf El Ouisra 56
Tableau VII.7 : Valeurs du paramètre « b » pour la station de Safsaf El Ouesra. 56
Tableau VII.8 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour. 57
Tableau VII.9 : Classes de Pente. 58

Tableau VII.10 : Valeur de C2 58
Tableau VII.11 : Valeur de C3 59
Tableau VII.12 : Résultats des valeurs des coefficients de ruissellement et des débits calculés (PK 08+780 au PK 22+576). 60
Tableau VII.13 : Dimensionnement des buses 63
Tableau VII.14 : Dimensionnement des dalots 65
Tableau VII.15 : Débit des remblais. 79
Tableau VII.16 : Débit des déblais 80
Tableau VII.17 : Dimensions du faussé adopté type 01 68
Tableau VIII.1: Interprétation des résultats des essais in-situ 74
Tableau VIII.2 : résultats de l'essai SPT 75
Tableau VIII.3 : Résultats des essais de pénétromètre dynamique – Résistance Rp en fonction de la profondeur 75
Tableau VIII.4 : Résultats Des Essais Pressiométriques 76
Tableau VIII.5 : Classification des sols selon le rapport E/PL et état de consolidation 76
Tableau VIII.6 : L'analyse granulométrique d'échantillons 77
Tableau VIII.7: Classification des sols selon l'abaque de Casagrande à partir des couples limite de liquidité – indice de plasticité 78
Tableau VIII.8 : Valeurs de la teneur en eau, densité sèche et degré de saturation des échantillons 78
Tableau VIII.9 : Caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne consolidé drainé (CD) 79
Tableau VIII.10 : Caractéristiques Œdométriques 79
Tableau VIII.11 : Résultats des analyses chimiques sommaires du sol 79
Tableau VIII.12 : Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages 80
Tableau VIII.13 : Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance 80
Tableau VIII.14 : Tableau Récapitulatif des Caractéristiques Géotechniques par Unité et par PK .. 81
Tableau VIII.15 : les résultats de calcul de la stabilité du remblai (H>8m) 82
Tableau VIII.16 : calcul de la stabilité des déblais (H>8m) 84
Tableau VIII.17 : corrélation entre essais préssiométriques et les essais SPT 87
Tableau VIII.18 : Calcul de pression limite et module pressiométrique à partir des essais SPT 87
Tableau VIII.19 : Résultats de la vérification de poinçonnement 87
Tableau VIII.20 : Caractéristiques Géotechniques des Matériaux issus des Zones d'Emprunt 88
Tableau VIII.21 : Carrières proposées 89
Tableau VIII.22 : Principales zones de déblais le long du tracé et leurs caractéristiques géométriques 90
Tableau VIII.23 : Épaisseurs des composants de la structure d'assise. 92

Tableau VIII.24 : Volumes des matériaux (déblai, remblai et couches d'assise) entre PK08+000 et PK 23+350 93
Tableau IX.1 : Solutions de franchissement proposées selon les PK 95
Tableau IX.2 : Liste des lignes électriques de moyenne et basse tension 98
Tableau X.1 : Réseau de voie et ses composant 103
Tableau XI.1 : La signalisation du projet 108
Tableau XII.1 : Références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire 113
Tableau XII.2 : Éléments physiques, écologiques et humains de la zone concernée 114
Tableau XII.3 : Bénéfices directs et indirects du projet 115
Tableau XII.4 : Impacts négatifs et mesures d'atténuation 115
Tableau XIII.1 : Devis quantitatif et estimatif 118

INTRODUCTION GENERALE

Le réseau ferroviaire algérien constitue un élément essentiel de l'infrastructure de transport nationale. Depuis ses débuts sous l'administration coloniale française, ce réseau a progressivement évolué pour s'adapter aux exigences croissantes de déplacement des biens et des personnes à travers l'ensemble du pays. Son expansion et sa modernisation ont été influencées par une multitude de facteurs, notamment les caractéristiques géographiques, les dynamiques économiques et le développement des transports publics.

La modernisation et la rectification de la ligne minière reliant Annaba à Djebel El Onk représentent l'un des projets stratégiques majeurs pour la wilaya de Tébessa et toute la région Est du pays, Il est essentiel de moderniser le système d'exploitation afin d'augmenter le trafic et de répondre aux besoins des différentes mines et complexes industriels de la région. Ce mémoire porte sur l'étude d'avant-projet détaillé (APD) d'un Raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba de la wilaya de Tébessa sur 15 km, du PK 08+000 m au PK 23+000 m. Il prévoit également l'étude de conception d'une gare de Blad El Hadba.

La supervision de la réalisation de cette nouvelle ligne ferroviaire est confiée à l'Agence Nationale d'Étude et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF).

Ce travail se compose de 13 chapitres abordant :
Chapitre I et II : Histoire du chemin de fer en Algérie et Présentation du projet ;
Chapitre III : Synthèse de l'étude APS ;
Chapitre IV : L'infrastructure ferroviaire,
Chapitre V, **VI** et **VII** :, La superstructure ferroviaire et La géométrie de la voie (+ profil en long et en travers) et Étude hydraulique et hydrologique ;
Chapitre VIII et **IX** : L'étude géologique et géotechnique ; Les contraintes existantes ;
Chapitre X et **XI** : Conception de la gare et Signalisation ferroviaire ;
Chapitre XII : Étude d'impact sur l'environnement ;
Chapitre XIII : Devis quantitatif et estimatif.

Ce mémoire s'appuie sur l'utilisation de plusieurs logiciels spécialisés, notamment Civil 3D, Covadis, InfraWorks, ArcGIS, Tarlen 5, pour traiter des données complexes avec une grande précision.

Nous concluons notre travail en soulignant les connaissances, les compétences et l'expérience acquises au cours de ce projet, qui seront précieuses au début de notre parcours professionnel.

CHAPITRE I : HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE

CHAPITRE I : HISTOIRE DU CHEMIN DE FER EN ALGERIE

Introduction :

L'implantation du chemin de fer en Algérie a profondément marqué le paysage économique, social et territorial du pays depuis le 19ème siècle. Introduit à l'époque coloniale, le réseau ferroviaire n'a cessé de s'étendre et de se moderniser pour devenir aujourd'hui un élément stratégique de l'infrastructure nationale.

Ce chapitre retrace les grandes étapes de cette évolution, en mettant l'accent sur les premiers projets, les plans de développement successifs, ainsi que les acteurs clés qui ont contribué à la mise en place de ce réseau structurant.

I.1. Lignes de chemin de fer construites au 19ème siècle :

I.1.1. Premiers projets et première ligne construite :

Dès 1833, Émile Pereire propose une première esquisse de réseau ferroviaire destiné à relier les principales villes d'Algérie. Bien que cette proposition ne soit pas immédiatement concrétisée, elle préfigure les développements à venir.

La première ligne effectivement construite est une voie minière à écartement métrique reliant Bône (actuelle Annaba) à Aïn Mokra. Mise en service progressivement entre 1859 et 1867, cette ligne de 32,5 km marque le véritable point de départ du chemin de fer algérien.

I.1.2. Premier plan de développement impérial :

I.1.2.1. Premiers projets et première ligne construite (1833–1867) :

Dès 1833, Émile Pereire propose une première esquisse de réseau ferroviaire destiné à relier les principales villes d'Algérie. Bien que cette proposition ne soit pas immédiatement concrétisée, elle préfigure les développements à venir.

La première ligne effectivement construite est une voie minière à écartement métrique reliant Bône (actuelle Annaba) à Aïn Mokra. Mise en service progressivement entre 1859 et 1867, cette ligne de 32,5 km marque le véritable point de départ du chemin de fer algérien.

I.1.2.2. Premier plan de développement impérial (1857–1887) :

Un tournant décisif intervient avec le décret impérial du 8 avril 1857, édicté sous Napoléon III. Ce plan prévoit un réseau structurant comprenant une ligne principale Oran–Alger–Constantine, longue de 881 km, ainsi que six lignes de raccordement vers les ports de Philippeville, Bougie, Bône, Ténès et Arzew. L'ensemble totalise 1 357 km de voies projetées. Les premiers tronçons prioritaires confiés à la Compagnie des chemins de fer algériens sont :

- Alger–Blida (1862), précédé d'un premier segment Alger–Boufarik réalisé par l'armée en 1858,
- Oran–Saint Denis du Sig (1868),
- Philippeville–Constantine (1870), repris par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée (PLM).

- D'autres réalisations marquantes de cette période incluent :
- Constantine–Sétif (1879–1881) par la Compagnie de l'Est Algérien,
- Blida–Saint Denis du Sig (1868–1871) par le PLM,
- Des lignes à l'ouest, développées par la Compagnie de l'Ouest Algérien.

Par ailleurs, la Compagnie Franco-Algérienne se distingue par la construction de lignes à voie étroite, telles que Arzew–Saïda–Aïn Sefra (1879–1887) et Mostaganem–Tiaret. Au total, ce premier plan permettra la réalisation de 1 365 km de voies.

I.1.2.3. La ligne Bône–Guelma et les extensions vers la Tunisie :

Dans la région orientale, la Société de Construction des Batignolles est chargée de la ligne Bône–Guelma. Cette initiative donne naissance à la Compagnie de Bône à Guelma, qui joue ensuite un rôle majeur dans le développement du réseau ferroviaire de l'Est algérien ainsi que dans l'établissement de lignes en Tunisie.

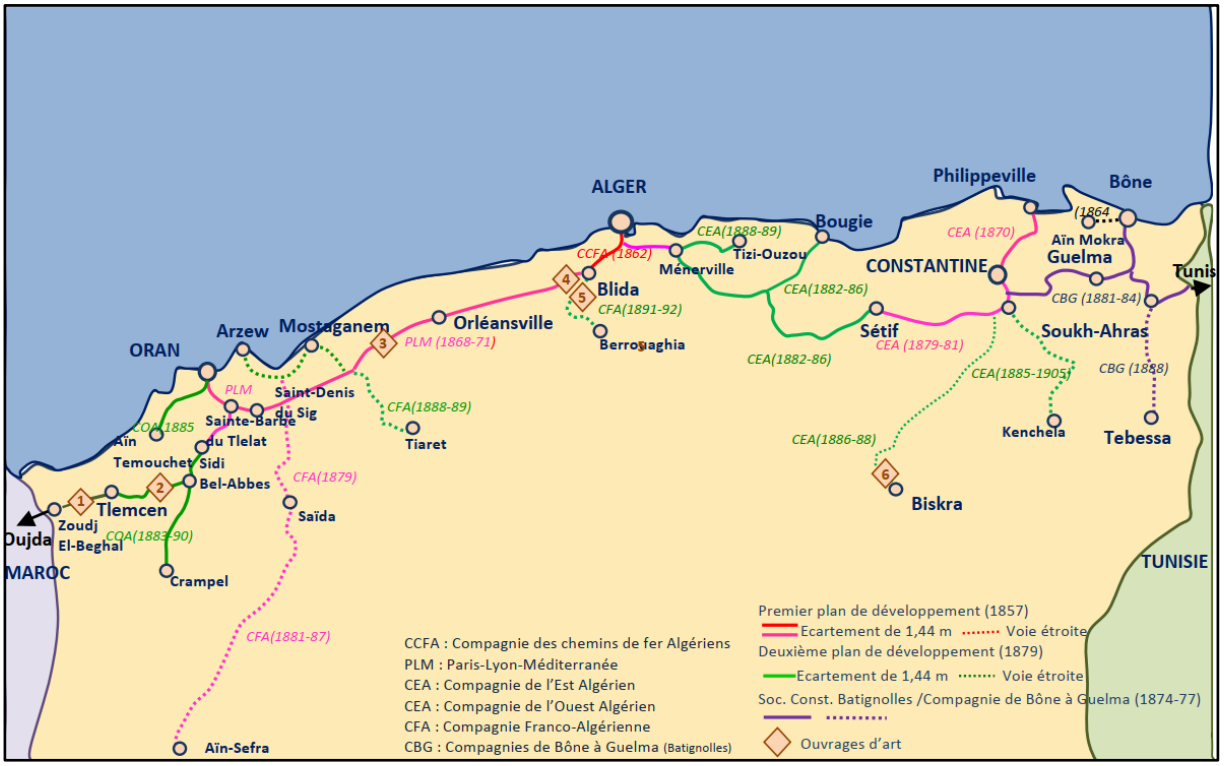


Figure I.1 : Carte des principales lignes de chemin de fer construites au 19ème siècle en Algérie

I.1.3. Les plans de développement successifs :

I.1.3.1. Deuxième plan de développement (1879–1906) :

Adopté le 18 juillet 1879 sous la présidence de Jules Grévy, ce second plan vise à étendre le réseau établi par le premier programme. Il prévoit la construction de 1 747 km de nouvelles lignes. Les compagnies impliquées sont :

- La Compagnie de l'Ouest Algérien, qui poursuit les extensions à l'ouest du pays, notamment vers Sidi-Bel-Abbès et Crampel,
- La Compagnie Franco-Algérienne, chargée de la voie étroite Mostaganem–Tiaret,

- La Compagnie de l'Est Algérien, responsable du bouclage de la liaison Constantine–Alger via Sétif–Ménerville, et du développement du réseau vers le sud avec des lignes vers Biskra (1882) et Khenchela (1905).

Au total, 2 035 km supplémentaires sont mis en service entre 1879 et 1906.

I.1.3.2. Troisième programme d'extension (à partir de 1907) :

Un troisième plan, lancé en 1907, prévoit la construction de 1 256 km supplémentaires. À l'issue de la Seconde Guerre mondiale, le réseau ferroviaire algérien atteint une longueur de 5 014 km en 1946.

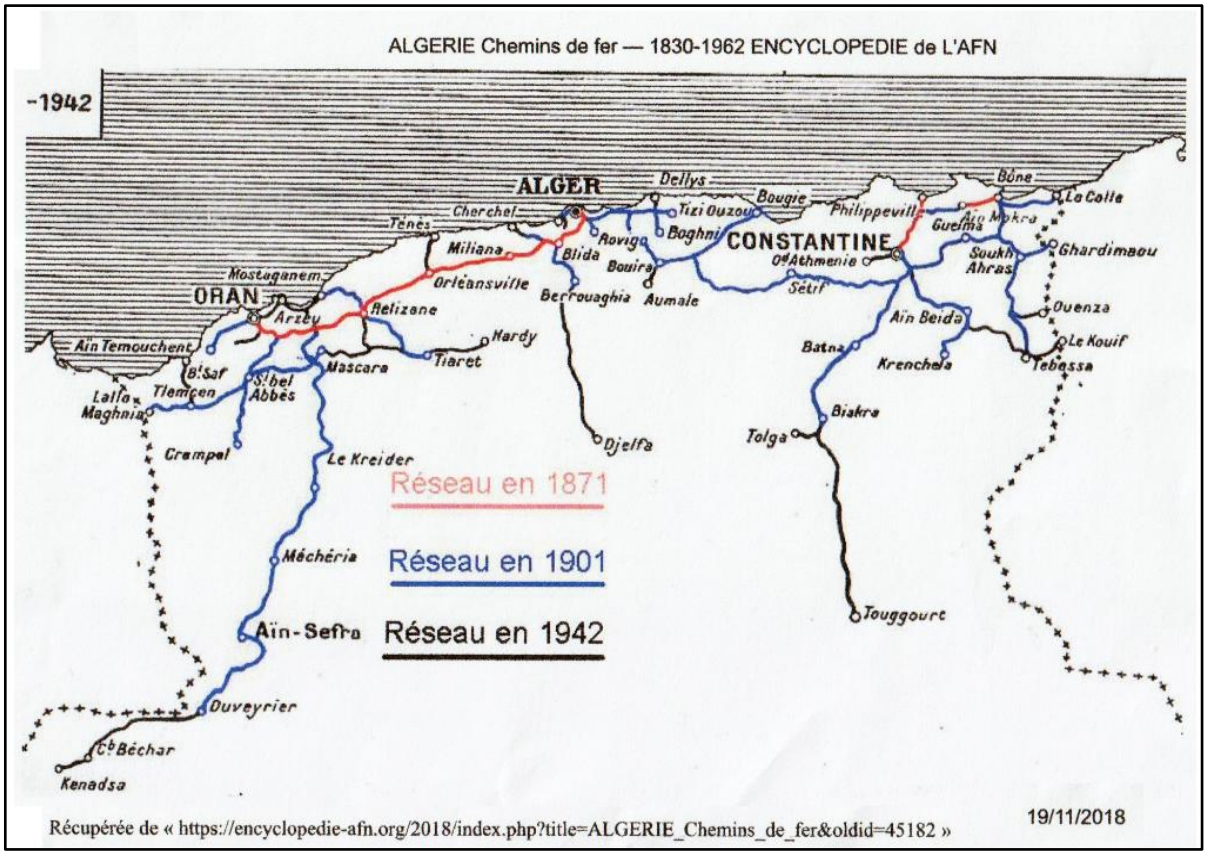


Figure I.2 : carte des chemins de fer d'Algérie 1830-1962

I.2. Modernisation, crises et relance du réseau ferroviaire :

I.2.1. Poursuite de l'expansion coloniale (1907–1946) :

À partir de 1907, un troisième programme d'extension ferroviaire prévoit la réalisation de 1 256 km de nouvelles lignes. Cette phase permet d'approfondir le maillage territorial, notamment dans les régions agricoles et minières. La Première Guerre mondiale ralentit le rythme des constructions, mais l'entre-deux-guerres voit la poursuite des projets lancés.

En 1938, la création de la Société des chemins de fer algériens (CFA) marque le début d'une centralisation de la gestion du réseau sous contrôle de l'État. En 1946, à la sortie de la Seconde Guerre mondiale, le réseau atteint 5014 km, son étendue maximale avant l'indépendance.

I.2.2. Période post-indépendance : restructuration et nationalisation (1962–1990) :

Après l'indépendance en 1962, l'État algérien hérite d'un réseau vieillissant, majoritairement orienté vers les intérêts économiques coloniaux. En 1976, la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) est créée pour assurer la gestion, l'exploitation et la modernisation du réseau ferroviaire algérien. Les années 1970 et 1980 sont marquées par plusieurs projets de réhabilitation, notamment :

- La conversion de lignes minières en lignes mixtes fret/passagers,
- L'extension du réseau vers le sud avec des lignes comme Djelfa–Laghouat et Touggourt–Hassi Messaoud,
- L'électrification partielle de certaines lignes.
- Cependant, la crise économique des années 1980 puis la décennie noire (1990–2000) affectent lourdement les investissements dans le secteur ferroviaire. Plusieurs lignes sont abandonnées, et le matériel roulant se dégrade.

I.2.3. Relance ferroviaire et modernisation (2000–présent) :

À partir des années 2000, l'État engage une vaste politique de relance des infrastructures ferroviaires à travers :

- La création de l'Agence Nationale d'Études et de Suivi de la Réalisation des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) en 2005,
- L'électrification des lignes Alger–Thénia, Alger–El Affroun, et la modernisation du corridor est-ouest,
- L'acquisition de trains modernes (Coradia, autorails CAF),
- Le développement de lignes à grande vitesse en projet (ex : Alger–Oran),
- La construction de nouvelles lignes comme Tébessa–El Oued, Relizane–Tiaret–Tissemsilt, et Tissemsilt–Boughezoul.
- Le réseau atteint plus de 6 300 km en 2024, avec de nouveaux corridors économiques reliant les pôles industriels et miniers aux ports, notamment à l'est vers Annaba, Skikda et Jijel.

I.3. Conclusion :

L'histoire du chemin de fer en Algérie au XIXe siècle est celle d'une expansion méthodique, soutenue par une volonté politique forte et des intérêts économiques convergents. Grâce à une succession de plans de développement ambitieux, le pays s'est doté d'un réseau ferroviaire structurant, destiné à désenclaver les régions, à relier les principaux centres économiques et à faciliter l'exploitation des ressources naturelles.

Ce socle a constitué la base de l'évolution moderne du transport ferroviaire en Algérie.

CHAPITRE II :
PRÉSENTATION DU PROJET

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU PROJET

Introduction

La ligne ferroviaire minière orientale a enregistré un trafic annuel de 26 millions de tonnes en 2020, principalement composé de phosphate et de minerai de fer.

Face à la croissance continue du volume transporté et pour permettre l'exploitation optimale des ressources phosphatées locales, un programme ambitieux de modernisation et d'extension du réseau a été initié. Ces travaux stratégiques visent à augmenter significativement la capacité de transport tout en rationalisant l'exploitation des richesses minérales de la région.

II.1. Caractéristiques du réseau ferroviaire minier Est :

Cet axe vital du transport minéralier algérien assure la liaison entre les zones minières du sud-est, depuis la région d'Annaba au nord jusqu'au bassin de Djebel Onk au sud, dans la wilaya de Tébessa. Ce corridor ferroviaire de 422 kilomètres dessert actuellement cinq wilayas totalisant plus d'un million d'habitants.

Les opérations de modernisation et de doublement de la ligne ferroviaire reliant Djebel Onk à Oued Kebrit, s'étendant sur 177 km, approchent de leur achèvement. En parallèle, plusieurs projets structurants ont été initiés, notamment la réalisation d'un tronçon de 23 km en direction de Blad El Hadba, ainsi que la mise en œuvre du contournement de Tébessa sur une longueur de 43 km. À ces initiatives s'ajoute le chantier de réhabilitation et de doublement de la section nord entre Bouchegouf et Annaba, couvrant 54 km. À long terme, l'extension de cette infrastructure est envisagée vers la wilaya d'El Oued, aux confins orientaux du Sahara algérien.

Les principaux chantiers en cours comprennent :

- L'achèvement du dédoublement de la section Djebel Onk-Oued Kebrit (177 km)
- La réalisation de la nouvelle jonction vers Blad el Hadba (23 km)
- L'aménagement du contournement ferroviaire de Tébessa (43 km)
- La modernisation du segment nord entre Bouchegouf et Annaba (54 km)



Figure II.1 : Ligne minière East

À plus long terme, une extension vers la wilaya d'El Oued est prévue, ouvrant ainsi l'accès aux régions sahariennes orientales.

II.2. Présentation générale de la zone d'étude :

La région d'étude se situe à l'extrême Est algérien sur le territoire de la wilaya de Tébessa. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, au Nord-ouest par la wilaya d'Oum El Bouaghi, à l'Ouest par la wilaya de Khenchela à l'Est par la frontière Algérotunisienne et au Sud par El Oued.

- La wilaya de Tébessa couvre une superficie de 13 396 km2 et se compose de : 12 daïras ET 28 communes.
- Elle est distante de : 618 km d'Alger. 190 km de Constantine. 233 km d'Annaba et 326 km de Tunis.
- La commune de Tébessa s'étend sur une superficie de 184 km2 son chef-lieu de commune Tébessa assure aussi le rôle de chef-lieu de Daïra et de wilaya.
- La commune qui n'occupe que 1.37%du territoire de la wilaya concentre en son sein près de 30% de la population de ce même territoire ce qui explique sa polarisation.

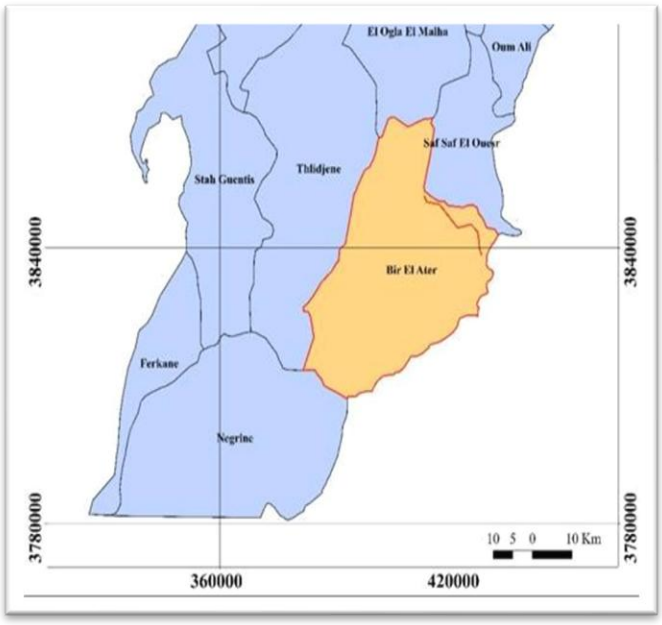


Figure II.2 : Situation du projet de l'embranchement de Blad El Hadba (ArcGIS)



Figure II.3 : Délimitation administrative des wilayas entourant Tébessa (ArcGIS)

II.2.1. Données clés du réseau :

- Longueur totale exploitée : 422 km.
- Sections en travaux : 120 km.
- Projets programmés : 152 km.
- Points d'arrêt : 30 gares et haltes.

(Source : ANESRIF, rapport annuel 2022)

Notre travail de fin d'études s'inscrit dans ce cadre en proposant une solution technique

pour intégrer le nouveau gisement de Bled El Hadba au réseau existant, combinant étude de raccordement, optimisation du tracé et amélioration des capacités logistiques.

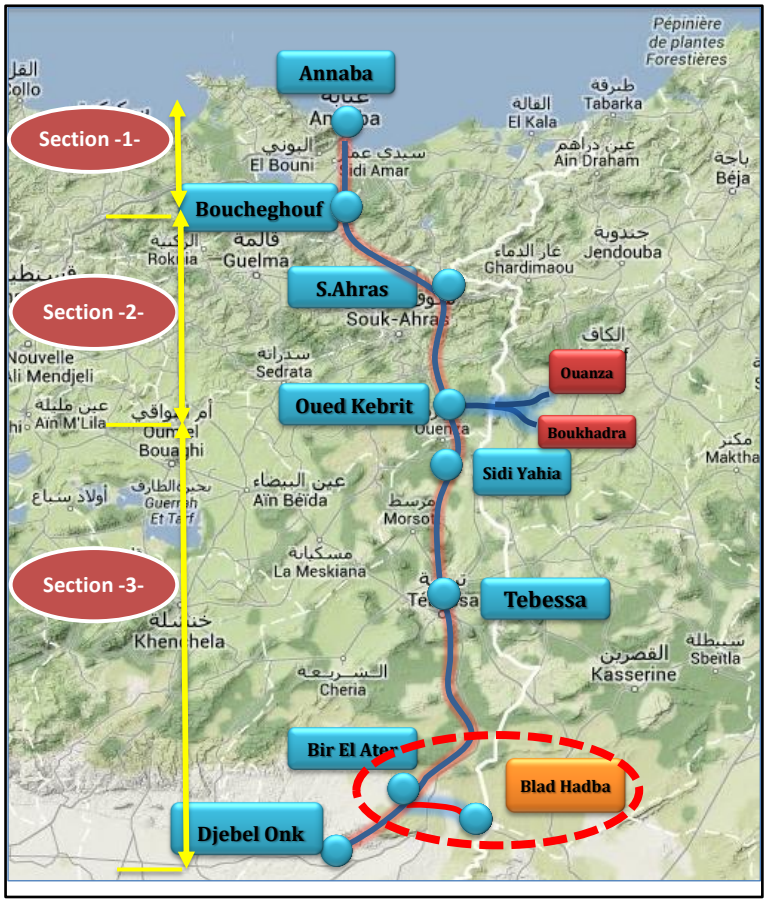


Figure II.4 : description de la section de projet

II.2.2. Climat :

Située dans les hautes plaines telliennes, la wilaya de Tébessa présente un climat semi-aride à forte tendance continentale, marqué par :

- Étés : Caractérisés par une sécheresse prononcée et des températures élevées (moyenne estivale > 30°C).
- Hivers : Rigoureux avec des précipitations notables (moyenne hivernale < 5°C).
- Amplitude thermique : Variation annuelle accentuée (> 15°C d'écart).

Cette dualité climatique influence directement :

✓ Les cycles agricoles

✓ Les contraintes d'exploitation minière

✓ Les exigences techniques des infrastructures

II.3. Description du projet étudié :

Ce travail consiste en une étude d'Avant-Projet Détaillé (APD) pour le raccordement ferroviaire de la mine de phosphate de Blad el Hadba au réseau national, visant spécifiquement

à renforcer la capacité de la ligne minière Est. Le projet, dédié exclusivement au transport des marchandises, porte sur un tronçon de 15,35 km (du PK 8+000 au PK 23+350) incluant la conception d'une gare technique de marchandises entre les PK 22 et 23+350 pour l'acheminement des phosphates.

II.3.3.1. Description de tracé :

Le tracé de cette section prend son origine à partir d'une nouvelle gare marchandises (PK 90+750 de la ligne Tenoukla/Djebel Onk) à proximité de la localité de Bir El Ater ou la gare actuelle de cette dernière a été aménagée et modernisée dans le cadre de la même étude Section 3 : Oued Keberit / Djebel Onk.

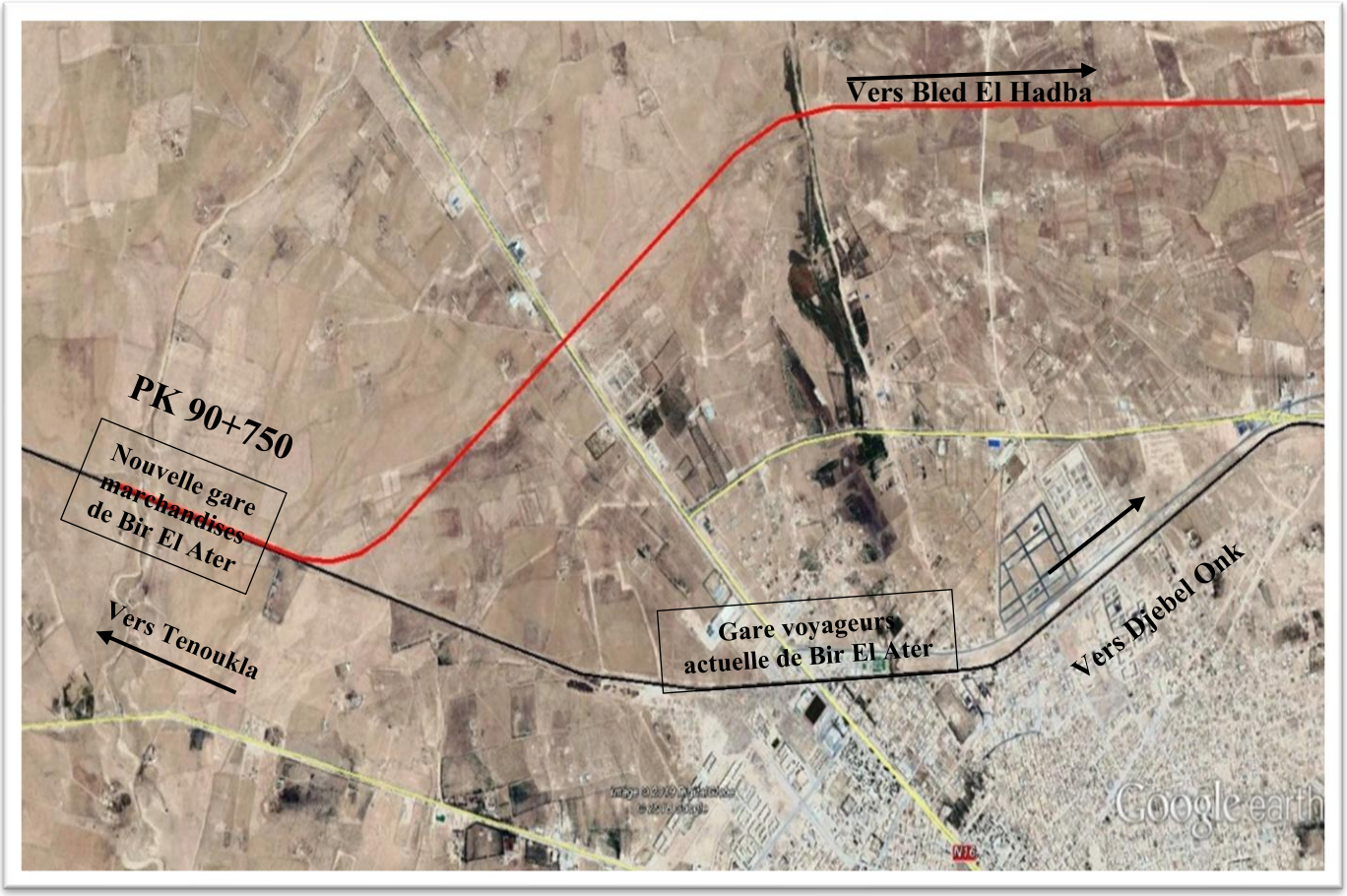


Figure II.5 : Localisation de la zone d'étude sur Google Map

A la sortie de cette nouvelle gare marchandises le tracé vers ce raccordement prend une direction Nord vers le PK 23 le tracé arrive à sa fin avec la projection d'une installation pour permettre le chargement du produit au niveau du nouveau gisement de Blad El Hadba.

II.4. Les Objectifs de projet :

Ce projet vise à réaliser le raccordement ferroviaire de la mine de phosphate de Blad El Hadba au réseau national pour :

- Augmenter la capacité de transport de la ligne minière Est.
- Remplacer le transport routier par une solution ferroviaire plus économique et écologique.

- Permettre l'exploitation industrielle du gisement de Blad El Hadba.
- Construire une gare de marchandises fonctionnelle.

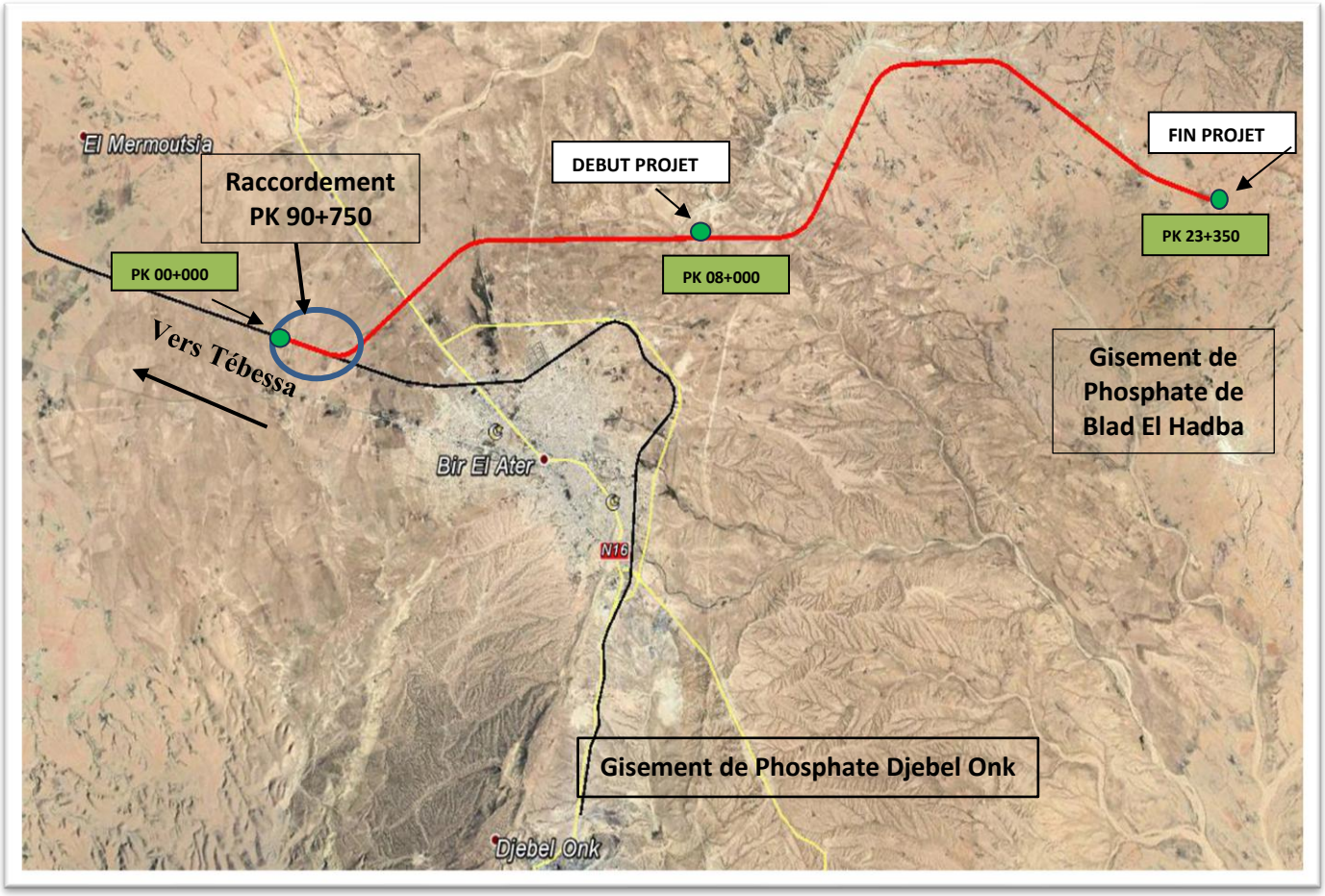


Figure II.6 : Tracé neuf - Section 3 : Oued Keberit / Djebel Onk.

II.5. Les paramètres de conceptions du tronçon du raccordement de Blad El Hadba :

Les paramètres adaptés pour la conception du tracé du tronçon du raccordement de Blad El Hadba sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Les paramètres de conceptions du tronçon du raccordement de Blad El Hadba

Paramètres	Caractéristiques
Tronçon : raccordement de Blad El Hadba	Voie unique
Longueur du tronçon étudié	15.3 Km
Vitesse de conception du tracé pour le Traffic voyageurs	/
Vitesse de conception du tracé pour le Traffic	80 km/h

marchandise	
Longueur maximale des trains	600 m
Charge à l'essieu de conception en pleine voie	22.5 t
Charge à l'essieu de conception pour les ouvrages	25 t
Ouvrage d'art	Pour voie unique

II.6. Conclusion :

En synthèse, le projet de raccordement ferroviaire de la mine de Blad El Hadba, étudié dans ce mémoire entre les PK 8+000 et PK 23+350, représente une étape clé dans la mise en œuvre du plan national de développement des infrastructures minières, conformément aux orientations techniques validées lors de l'Avant-Projet Détaillé (APD).
Cette réalisation s'inscrit dans une logique :

- D'optimisation des capacités de transport de la ligne minière Est
- De modernisation des infrastructures ferroviaires dédiées au fret minéralier
- D'intégration harmonieuse du nouveau gisement phosphaté dans le réseau existan

CHAPITRE III :
SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS

CHAPITRE III : SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE APS

Introduction

Ce chapitre propose une synthèse de l'étude d'avant-projet sommaire (APS) réalisée dans le but d'identifier la variante la plus adaptée aux contraintes techniques et aux exigences du projet. La solution retenue servira de base pour l'avant-projet détaillé (APD) concernant le raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba.

III.1 Présentation du tracé : Embranchement de Bled El Hadba

Le tracé étudié débute au niveau d'une nouvelle gare marchandises, située au point kilométrique PK 90+750 de la ligne Tenoukla/Djebel Onk, près de la localité de Bir El Ater. Cette gare, modernisée et réaménagée dans le cadre de l'étude de la Section 3 (Oued Keberit/Djebel El Onk), constitue le point de départ du raccordement.

À la sortie de la gare de Blad El Hadba, le tracé s'oriente vers le nord jusqu'au PK 23+350, où il aboutit à une installation dédiée au chargement des produits miniers extraits du gisement de Blad El Hadba.

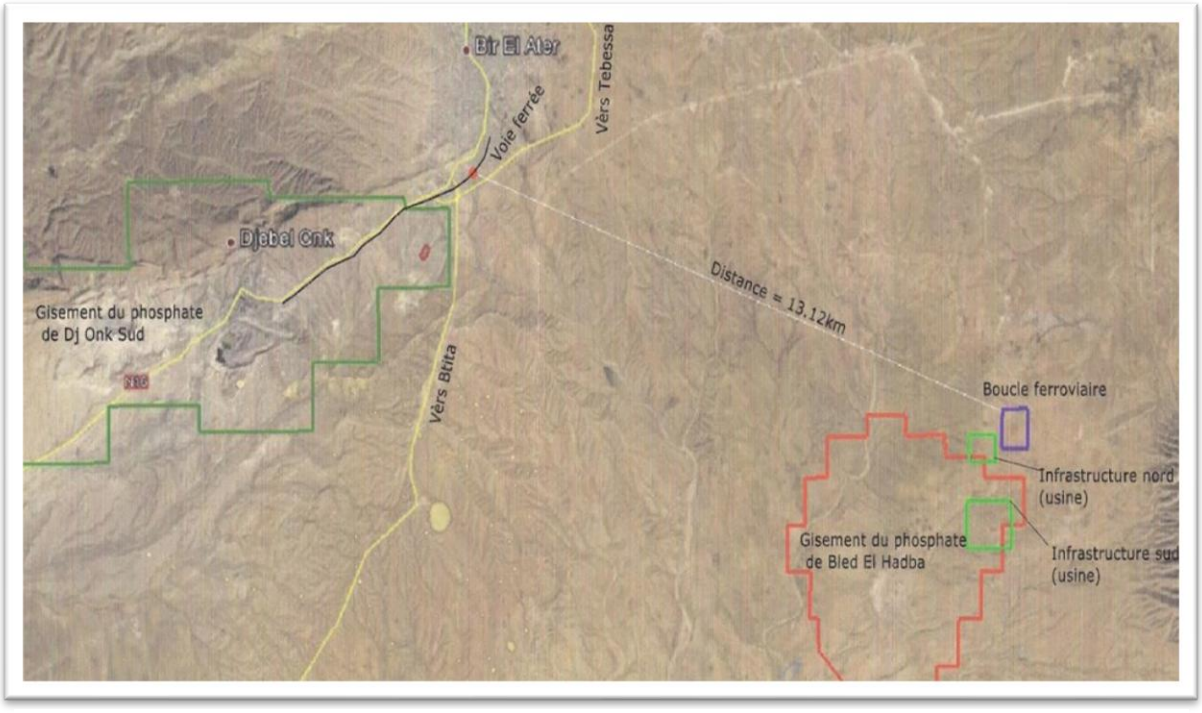


Figure III.1 : situation du gisement de Blad El Hadba par rapport à Djbel El Onk

III.2 Résumé de l'étude APS :

L'étude d'avant-projet sommaire (APS) a initialement envisagé deux variantes pour le projet. Par suite d'une analyse technique et économique approfondie, une seule variante a été retenue, l'autre ayant été écartée pour des raisons d'optimisation.

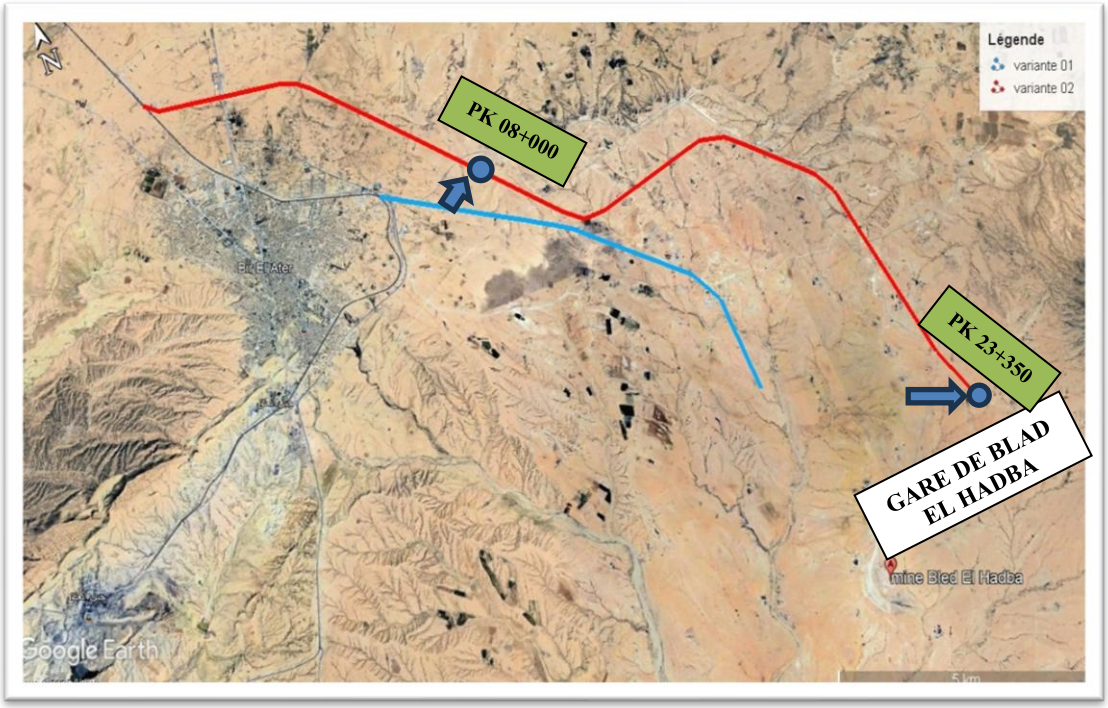


Figure III.2 : Tracé neuf : Variante 01 + Variante 02

III.3 Analyse comparative des variantes :

Le tableau ci-dessous présente une évaluation multicritère des différentes options étudiées, permettant une comparaison objective des variantes selon plusieurs paramètres clés.

Tableau III.1 : Avantages et inconvénients des deux variantes

Variantes	Avantages	Inconvénients
V 01	- Trajet plus direct, réduit les coûts. - Traversée limitée des zones montagnardes.	- Traverse des zones humides avec risque d'instabilité. - Possibilité de présence de sols compressibles ou instables. - Augmente les nuisances pour les habitants proches.
V 02	- Meilleure compatibilité géotechnique (sols stables). - Desserte possible des zones périurbaines. - Moins d'impact sur les zones urbaines. - Déclivité normale de 16‰.	- Longueur plus importante, coûts accrus. - Traverse des reliefs plus complexes.

Résultat : La variante 02 a été retenue car elle répond aux exigences du maître de l'ouvrage, notamment grâce à :

- Sa meilleure compatibilité géotechnique avec des sols stables
- Sa capacité à desservir les zones périurbaines, son faible impact sur les zones urbaines
- Une déclivité conforme de **16‰.**

III.4 Objectif de raccordement de gisement de Bled El Hadba :

Mettre en œuvre un tracé ferroviaire optimal pour raccorder le nouveau gisement de Bled El Hadba à la voie ferrée nationale (Est). Ce projet vise à répondre aux exigences du maître de l'ouvrage en assurant :

- Une compatibilité géotechnique adéquate
- Une desserte efficace des zones périurbaines
- Un impact minimal sur les zones urbaines, et le respect des normes de déclivité (16‰), tout en garantissant la durabilité et l'efficacité de l'infrastructure.

CHAPITRE IV :
L'INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE

CHAPITRE IV : L'INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE

Introduction :

La structure d'assise constitue un élément fondamental dans la conception et la durabilité des infrastructures ferroviaires. Elle regroupe l'ensemble des couches rapportées qui assurent la transmission des charges de la voie ferrée vers le sol naturel ou les remblais, tout en garantissant une stabilité géométrique et mécanique adéquate.

Ce chapitre présente en détail les différentes composantes de cette structure notamment le ballast, la sous-couche, la couche de forme, les géosynthétiques ainsi que leurs caractéristiques techniques, leur rôle fonctionnel, et les exigences normatives associées. Une attention particulière est portée à la classification des sols et aux conditions hydrogéologiques, déterminantes dans la conception d'une plate-forme ferroviaire performante.

IV.1. La structure d'assise :

Terme général qui désigne l'ensemble des éléments rapportés pour constituer la fondation de la voie ferrée. C'est donc l'ensemble constitué par le ballast et, lorsqu'ils existent :

- La sous-couche ou la couche intermédiaire,
- Le géosynthétique,
- La couche de forme rapportée.

IV.2. La couche d'assise :

IV.2.1. Couche de ballast :

Un granulat grossier, généralement de roche dure, utilisé pour assurer la stabilité géométrique et mécanique de la voie ferrée en répartissant les charges, facilitant le drainage et permettant la maintenance de la voie.

- Granulométrie : 31,5/50 mm ou 25/50 mm
- Teneur en fines (< 0,063 mm) : ≤ 1 %
- Micro-Deval (MDE) : ≤ 20–25
- Los Angeles (LA) : ≤ 25–30

IV.2.2. La sous couche :

IV.2.2.1. La couche de sous ballast :

C'est la partie supérieure de la sous-couche en contact avec le ballast. La couche "sous ballast" est en grave 0/315 (dont les spécifications sont précisées à la ST 590 annexe 9 à la CG AS 2 C 3 n° 1), compactée à 100 % OPM.

En voie courante, l'épaisseur de la couche "sous ballast" ne doit pas être inférieure à :

- 0,20 m pour les lignes parcourues à grande vitesse et les lignes des groupes UIC 1 et 2
- 0,15 m pour les lignes des groupes UIC 3 à 9.

IV.2.2.2. La couche de fondation :

C'est la partie inférieure de la sous-couche. Elle peut être en grave 0/315 ou en grave sableuse, dont les spécifications sont précisées à la ST 590, compactée à 100 % OPM, cette couche permet la circulation des engins de chantier exclusivement pour la mise en œuvre de la couche "sous ballast". Elle n'existe pas sur les plates-formes P3. Sur plates-formes P1 et P2, l'épaisseur de la couche de fondation ne doit jamais être inférieure à : 0,15 m, quel que soit le groupe UIC de la ligne.

Remarque : L'utilisation de grave sableuse en couche de fondation doit correspondre à un avantage économique, même en tenant compte :

- Des contraintes éventuelles d'approvisionnement,
- De stockage,
- Et de mise en œuvre.

S'il n'en est pas ainsi, l'ensemble de la sous-couche peut être réalisé en grave 0/315, mise en œuvre en plusieurs couches dès que l'épaisseur est supérieure à 0,30 m.

IV.3. Epaisseur des couches d'assise :

Les épaisseurs minimales de l'assise (ballast + sous-couche), en fonction des paramètres précédemment définis, sont calculées à partir de la formule de la figure IV.1. Ce dimensionnement a été établi pour des voies d'écartement normal (1,435 m) et un travelage compris entre 1 500 et 1 800 traverses au km.

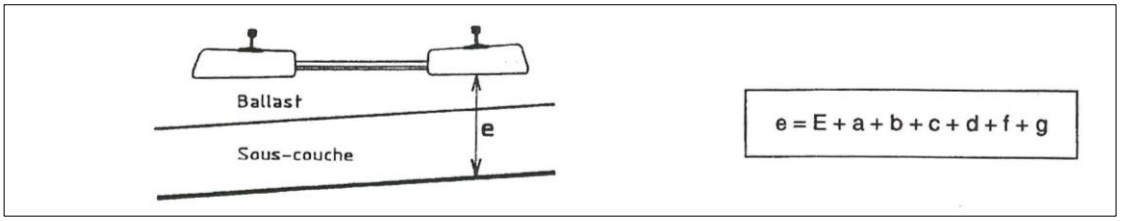


Figure IV.1 : La formule de calcul pour les épaisseurs minimales de l'assise

E = 0,70 m pour les plates-formes de classe de portance P1 (1).
= 0,55 m pour les plates-formes de classe de portance P2 (1).
= 0,45 m pour les plates-formes de classe de portance P3 (1).

a = 0 pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h quel que soit le groupe UIC)
= -0,05 m pour les groupes UIC 3 et 4.
= -0,10 m pour les groupes UIC 5, 6.
= -0,15 m pour les groupes UIC "7, 8, 9" sans voyageurs.

b :
= 0 → pour les traverses bois de longueur 2,60 m.

= + (2,50 - L) / 2 → pour les traverses béton de longueur L (b en m, L en m, b peut être négatif si L > 2,50 m).

c :
= 0 → pour un dimensionnement normal.
= -0,10 m → à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que "7, 8, 9 sans voyageurs".
= -0,05 m → à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur lignes existantes de groupe UIC "7, 8, 9 sans voyageurs".

d :
= 0 → lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN.
= +0,05 m → lorsque la charge nominale d'essieu est de 225 kN.
= +0,12 m → lorsque la charge nominale d'essieu est de 250 kN.

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.
= +0,05 m → pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse (1).
= +0,10 m → pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse (1).

g :
= + géotextile → lorsque la couche de forme est en sol S1, S2, Rt1, Rt2.
= 0 (pas de géotextile) → lorsque la couche de forme est en sol S3 ou Rt3.

IV.4. La couche anti-contaminante :

Elle est en sable propre et complétée si nécessaire par une feuille de feutre synthétique (géotextile)

IV.5. La couche de forme :

Couche située entre le sol support (terrain naturel ou remblai) et la sous-couche, destinée à améliorer la portance, à homogénéiser les conditions de répartition des charges, et à assurer le bon comportement mécanique et hydraulique de la plate-forme ferroviaire.

IV.6. Le géotextile :

1. Géotextile :

Le géotextile est interposé entre la sous-couche et toute couche de forme comportant plus de 12% de fines. Il améliore la qualité anti-contaminante des structures d'assise et facilite également leur mise en œuvre en évitant l'orniérage de la couche de forme. Il est souhaitable

d'égaliser la surface de la couche de forme sur laquelle est déroulé le géotextile par un épandage de sable fin.

2. Géomembrane :

Les géomembranes doivent être conformes aux recommandations de la NG EF 2 C 20 n° 4. Les géomembranes de type M1 résistent aux efforts de poinçonnement du ballast et sont utilisées en fond de dégarnissage pour la réfection localisée de l'assise des voies existantes Les autres doivent être protégées de l'action du ballast par une couche de grave 0/315 d'épaisseur minimale 0,15 m.

IV.7. Classification des sols pour la plate-forme :

La classe de portance de la plate-forme est déterminée à partir de la nature géotechnique du sol support et de conditions extérieures diverses (conditions hydrologiques et hydrogéologiques, climatiques, traitements effectués).

- Les Conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales :

Pour ce qui concerne leur influence sur la portance des sols, ces conditions sont réputées bonnes si :

La couche supérieure du sol considéré est hors de toute nappe naturelle (niveau de cette dernière mesuré avant toute opération de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable). On estime que cette condition est remplie lorsque le niveau le plus haut de la nappe se trouve à une profondeur supérieure ou égale à **2m** sous le point P (**voir Figure V.2**).

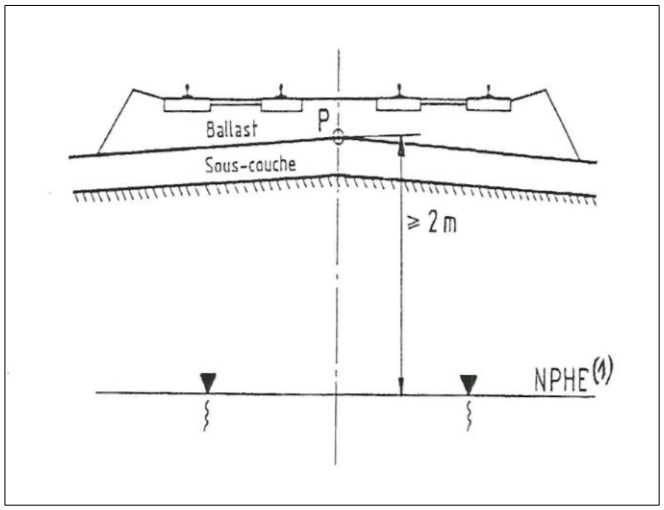


Figure IV.2 : le niveau le plus haut de la nappe

- Cette profondeur peut être ramenée à 1,5 m lorsque la nappe est rabattue par un système de collecteurs drainants ou de fossés longitudinaux profonds.
- La plate-forme n'est pas le siège de percolations naturelles transversales, longitudinales ou verticales.
- Les eaux de pluie sont évacuées correctement, les dispositifs de drainage sont en bon état de fonctionnement.

- Si l'une au moins de ces trois conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont réputées mauvaises.

Le tableau ci-dessous présente les classes de plateforme en fonction de la qualité du sol support :

Tableau IV.1 : La classe la portance de la plate-forme selon Normes UIC 719R

Classe de qualité du sol	Classe de la Plate-forme	Couche de forme	
		Qualité	Épaisseur min (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.5
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

IV.8. Conclusion :

La mise en œuvre rigoureuse de la structure d'assise est essentielle pour assurer la stabilité, la sécurité et la longévité d'une voie ferrée. Chaque composant, du ballast jusqu'au sol support, remplit une fonction spécifique, contribuant collectivement à une meilleure répartition des charges, au drainage efficace des eaux, et à la résistance aux déformations.

Le respect des spécifications techniques, des conditions de compacité et des exigences environnementales garantit non seulement la performance de l'infrastructure, mais aussi sa résilience face aux contraintes d'exploitation.

Ce chapitre a permis de poser les bases techniques indispensables à la conception et à la réalisation de plateformes ferroviaires adaptées aux exigences actuelles du transport ferroviaire.

CHAPITRES V : LA SUPERSTRUCTURE FERROVIAIRE

CHAPITRES V : LA SUPERSTRUCTURE FERROVIAIRE

Introduction :

La voie ferrée est composée d'un ensemble d'éléments aux fonctions et propriétés physiques et mécaniques distinctes. Ses constituants principaux incluent le ballast, les traverses, les rails, ainsi que leurs éléments de fixation.

Dans le cadre de l'exploitation du réseau, il est parfois nécessaire que certaines voies se croisent ou qu'elles puissent être reliées entre elles. Pour répondre à ces exigences, on installe des appareils de voie, qui regroupent notamment les branchements et les traversées, permettant ainsi la communication et l'interconnexion entre différentes sections de voie.

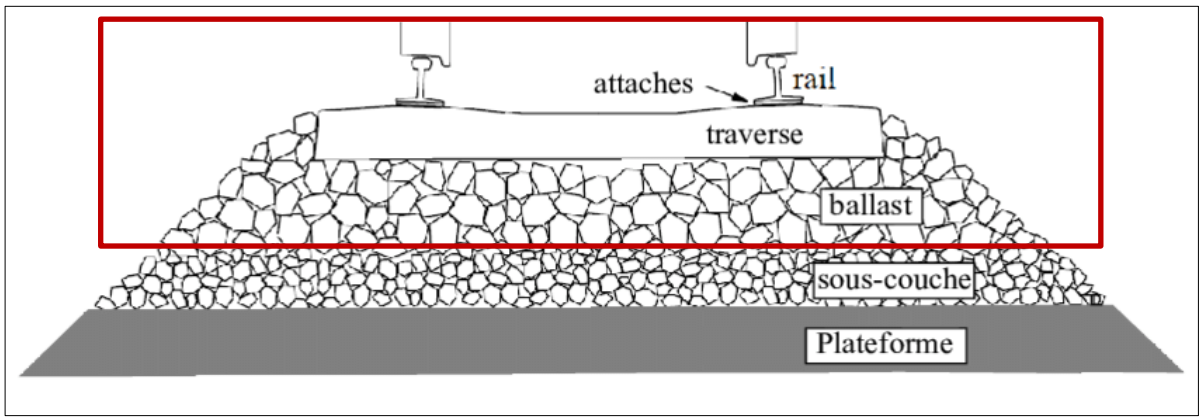


Figure V.1 : les constituants de la voie ferrée

V.1. La technologie ferroviaire :

La technologie ferroviaire regroupe l'ensemble des techniques, équipements et procédés utilisés pour la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des systèmes de transport ferroviaire. Elle couvre aussi bien les infrastructures (voies, ouvrages d'art, signalisation) que le matériel roulant (locomotives, wagons, trains) et les systèmes de gestion du trafic.

V.1.1. Description du système :

Le système ferroviaire est un ensemble complexe et intégré composé de plusieurs sous-systèmes interconnectés :

- Infrastructure : voie ferrée, plateforme, ponts, tunnels, gares, équipements de signalisation.
- Matériel roulant : trains, locomotives, wagons de voyageurs et de marchandises.
- Systèmes d'exploitation : gestion du trafic, horaires, sécurité, communication.
- Énergie et alimentation : systèmes de traction (diesel ou électrique) et distribution d'énergie.
- Entretien et maintenance : procédures et équipements assurant la pérennité du réseau.
- Ce système fonctionne comme une chaîne coordonnée où chaque élément doit être conçu en cohérence avec les autres pour assurer sécurité, régularité, efficacité et confort.

V.1.2. Principes fonctionnels fondamentales :

La technologie ferroviaire repose sur un ensemble de principes fonctionnels fondamentaux visant à assurer un transport fiable, sécurisé et efficace des personnes et des marchandises. Ces principes s'articulent autour des éléments suivants :

- **Guidage par rail :** Le train est guidé par deux rails en acier qui assurent sa stabilité directionnelle et limitent les frottements, permettant une grande efficacité énergétique.
- **Adhérence roue-rail :** Le contact entre la roue métallique et le rail permet le déplacement tout en assurant une bonne transmission des efforts de traction et de freinage.
- **Système de traction** : Il s'agit du dispositif qui permet au train d'avancer, qu'il soit diesel, électrique ou hybride. La traction électrique est la plus courante dans les lignes modernes.
- **Freinage :** Différents types de freins sont utilisés (freins à air comprimé, électromagnétiques, mécaniques) pour assurer des arrêts sûrs et progressifs.
- **Signalisation et contrôle** : Des systèmes de signalisation permettent de réguler le trafic ferroviaire, éviter les collisions, et optimiser la sécurité et la fluidité des circulations.
- **Infrastructure spécialisée :** Cela inclut la voie ferrée, la plateforme, les traverses, le ballast, les aiguillages, les ouvrages d'art (ponts, tunnels), etc.

V.2. Les éléments de superstructure :

V.2.1. Le Rail :

Le rail constitue l'élément de contact direct entre le train et la voie. Sa caractéristique principale est son poids par mètre linéaire, qui influence sa résistance et son usage. Il remplit plusieurs fonctions essentielles : il sert à la fois de chemin de roulement, de système de guidage, et joue un rôle dans le retour du courant de traction en tant que conducteur électrique. De plus, il participe au fonctionnement des circuits de signalisation. Les longueurs standards des rails sont généralement de 18 mètres et 36 mètres.

- Dans notre projet le rail utilisé sera du type **60E** (60.34 kg/m).

La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la version la plus récente de la norme EN 13674-1 intitulée « Rails Vignole de masse supérieure ou égale à 46 kg/m ».

V.2.1.1. Les types de rail :

Au fil du temps, de nombreux profils de rails ont été développés pour s'adapter aux différents types de véhicules guidés. Toutefois, seuls trois profils principaux sont encore couramment utilisés aujourd'hui :

a) Le rail à gorge :

Ce type de rail est spécialement conçu pour les voies encastrées dans la chaussée, ce qui permet une intégration harmonieuse avec la circulation routière. Il est principalement utilisé dans les installations industrielles et sur les lignes de tramway.

b) Les rails à double champignons :

Ce type de rail, à profil symétrique, a été initialement conçu pour pouvoir être retourné une fois usé, prolongeant ainsi sa durée de vie. Cependant, en pratique, cette solution s'est révélée peu efficace : lors du retournement, le rail présentait déjà des dégradations importantes, notamment des poinçonnements dus à l'écrasement au niveau des appuis (berceaux). En raison de ces limitations, ce principe est aujourd'hui abandonné.

c) Le rail Vignole :

Le rail Vignole est le profil le plus couramment utilisé dans les infrastructures ferroviaires modernes. Sa section transversale se compose de trois parties distinctes :

- Le patin, qui repose sur la traverse et assure la stabilité du rail,
- Le champignon, partie supérieure sur laquelle roule la roue du train,
- L'âme, élément vertical qui relie le patin au champignon, assurant la cohésion et la résistance de l'ensemble.

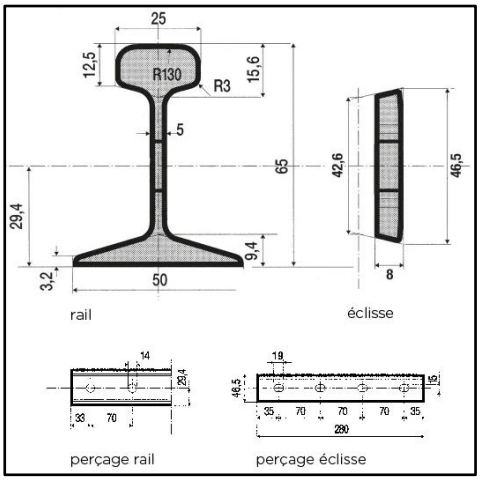


Figure V.2 : Rails Vignole

V.2.1.2. Inclinaison des rails :

L'inclinaison des rails est une caractéristique géométrique essentielle qui consiste à incliner le rail vers l'intérieur de la voie, généralement selon un angle de 1/20 (soit 2,86°). Cette inclinaison favorise une meilleure répartition des charges, réduit l'usure des rails et des roues, et améliore la stabilité du train en courbe. Elle est obtenue soit par la conception des traverses, soit par l'utilisation de semelles d'appui inclinées (ANNEXE B de l'IRS 70727 de l'UIC).

V.2.1.3. Défaut et usure des rails :

Les rails peuvent présenter divers défauts au fil du temps, tels que des fissures, des écaillages ou des déformations, dus à des facteurs comme la fatigue, la corrosion ou des charges excessives. L'IRS 70712 de l'UIC fournit une classification standardisée de ces défauts, en les codifiant selon leur localisation, leur apparence et leur cause.

V.2.1.4. Assemblage des rails :

L'assemblage des rails est réalisé à l'aide d'éclisses (ou barres d'assemblage) qui relient les extrémités des rails pour assurer la continuité de la voie. Les profils UIC54 et UIC60 sont couramment utilisés, notamment pour les lignes à grande vitesse et les charges lourdes. Ces assemblages garantissent la stabilité de la voie et permettent une transmission efficace des efforts mécaniques.

V.2.2. Les traverses :

Les traverses constituent l'élément de support principal des deux files de rails formant la voie. Elles ont pour rôle essentiel de transmettre les efforts reçus par les rails vers le ballast, tout en maintenant constant l'écartement entre les rails.

Selon les standards de la SNTF, le nombre de traverses par kilomètre, appelé travelage, est généralement compris entre 1666 et 1667 traverses/km. Dans le cas de notre projet les traverse sont espacé de 0.6m et sont des traverses bi-blocs.

V.2.2.1. Le rôle des traverses :

Les traverses jouent un rôle fondamental dans la structure de la voie ferrée. Elles assurent :

- Le maintien de l'écartement entre les deux rails, garantissant ainsi la stabilité directionnelle des trains.
- La transmission des charges des rails vers le ballast, en répartissant les efforts verticaux générés par le passage des trains sur une surface suffisante pour éviter une surcharge du ballast.

V.2.2.2. Type de traverses :

Les différents types de traverses sont définis dans la norme IN0213 (voir annexe L).

V.2.2.3. Critères de distinction des modèles de traverse :

❖ **Dénomination des traverses :**

Toutes les traverses (exceptées les traverses VAX VSP pour les voies de service) fabriquées de 1974 à 2003 répondent aux exigences de la norme française NF 51-101 (voir annexe L).

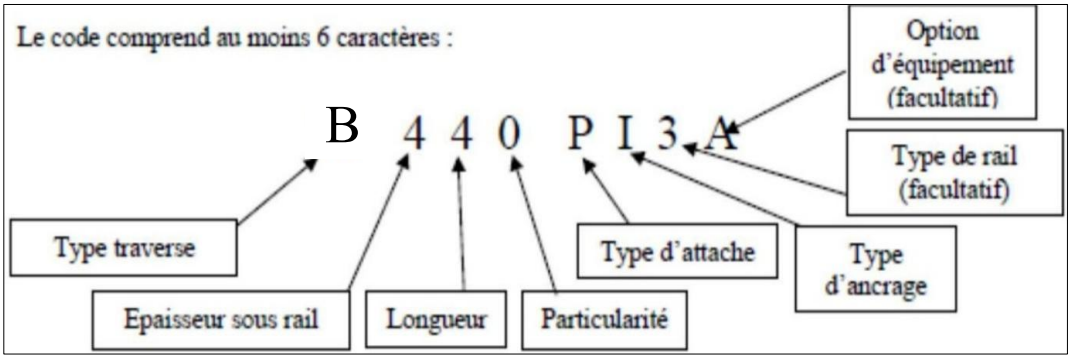


Figure V.3 : Dénomination des traverses

➢ Le type des traverses adoptées est : **B 440 NI3A**

❖ **Ses Caractéristiques :**

- Longueur : de 2226 à 2260 mm
- Largeur : 290 mm

- Épaisseur sous rail : 220 mm
- Classe vis-à-vis des LRS : 03 pour la traverse **B440**

V.2.3. Les attaches :

Le système d'attache est la partie qui transmet les charges entre le rail et les traverses et qui maintient l'écartement. Le système de fixation du rail appliqué sur ce projet se confirme à la norme EN13481-2 (système de fixation des traverses en béton). Plusieurs types et techniques d'attache sont disponibles sur le marché. Mais l'attache élastique est recommandée selon l'exigence du type de traverse en béton armé ainsi que pour la pose en LRS.

❖ **Attache élastique :**

- Forme un intermédiaire doublement élastique entre rail et traverse.
- Les efforts verticaux dirigés vers le bas sont réduits par l'interposition d'une semelle néoprène cannelée 4,5 mm d'épaisseur, (voir annexe L).



Figure V.4 : Attache type nabla

V.2.4. Les caténaires :

Le système de caténaire constitue l'infrastructure de traction électrique qui permet l'alimentation des trains en courant. Il se compose principalement d'un fil de contact suspendu à une hauteur précise au-dessus des rails, maintenu en tension par un dispositif de suspension. Ce système assure le transfert continu de l'énergie électrique vers la locomotive via le pantographe, garantissant ainsi une alimentation stable, même à grande vitesse. Sa conception doit répondre à des exigences strictes en termes de sécurité, de fiabilité et de compatibilité avec le matériel roulant (Normes UIC 799, EN 50119, référentiels SNTF sur l'électrification ferroviaire).

V.2.5. Les appareils de voies (ADV) :

Parmi les différents dispositifs intégrés à la voie ferrée, on distingue notamment :

1- Les branchements :

Ils permettent à une ligne principale de se diviser en deux itinéraires distincts, voire exceptionnellement en trois, facilitant ainsi la gestion des flux ferroviaires et les changements

de direction. Le choix de la géométrie et du type de branchement dépend principalement de son domaine d'utilisation ainsi que de la vitesse à laquelle l'appareil peut être franchi, comme le précise le tableau ci-dessous :

Tableau V.1 : type de branchement en fonction de vitesse

Type de branchement	Vitesse de branchement	Cas d'application
190-1 :7 (tg=0,143) 190-1 :9 (tg=0,111)	40	Faisceaux, drainage , nettoyage, entretien
300-1 :9 (tg=0,111)	50	Entrée et sortie de voies de quai utilisées pour les trains voyageurs et marchandises.
1200-1 :7 (tg=0,054)	100	Bifurcation d'une voie de ligne

2- Les communications :

Il s'agit d'une combinaison de deux branchements en déviation, conçue pour assurer la liaison entre deux itinéraires principaux qui ne sont pas convergents.

V.2.6. Les traversées de voie :

Sont des appareils qui servent à faire traverser une voie par une autre voie, ce sont les traversées qui peuvent être rectangulaires ou obliques

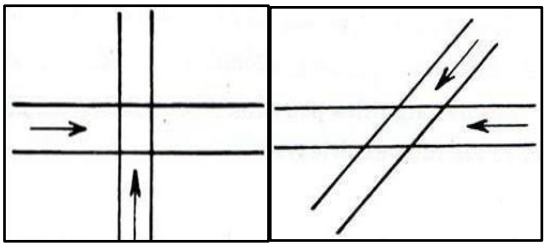


Figure V.5 : Traversée rectangulaire et oblique

V.3. Long rail soudé :

V.3.1. Définition des LRS :

Le long rail soudé (LRS) est une barre dont la longueur est telle qu'il subsiste une zone centrale appelée zone neutre dont la longueur minimale admise est de 300 m où aucun mouvement de dilatation du rail ne se produit, quelles que soient les variations de température.

De part et d'autre de cette zone neutre de la dilatation, il se produit des mouvements de dilatation du rail qui atteignent leur amplitude maximale aux extrémités des barres. Ces deux zones en mouvement sont appelées zones de respiration.

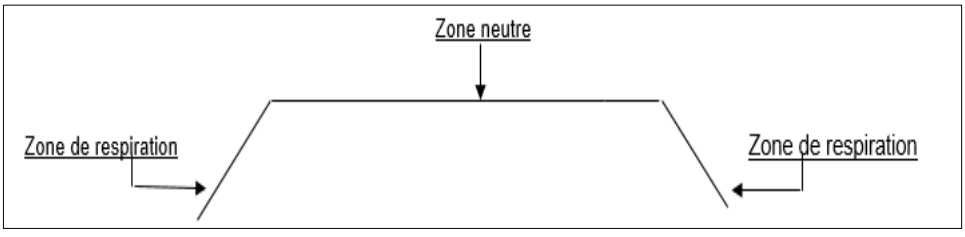


Figure V.6 : Schéma de principe des LRS

V.3.2. Importance et avantages des LRS dans le transport ferroviaire :

- Réduction des Joints : Les LRS permettent de créer des sections continues de rails, ce qui élimine les joints réguliers présents dans les rails traditionnels. Cela contribue à une surface de roulement plus lisse.
- Confort des Passagers : Une voie sans joints réduit les chocs et les vibrations, améliorant ainsi le confort des passagers.
- Durabilité et Longévité : Les LRS sont moins sujets à l'usure et aux dommages causés par les chocs répétés des roues sur les joints, ce qui prolonge leur durée de vie et ainsi réduit la fréquence de remplacement des rails.
- Sécurité : La continuité des LRS améliore la stabilité de la voie, réduisant les risques de déraillement.
- Réduction des Coûts de Maintenance : Moins de joints à entretenir signifie moins de frais de maintenance. Les joints sont des points faibles qui nécessitent des inspections et des réparations fréquentes.

V.3.3. Dilatation des LRS :

La dilatation thermique est le changement de longueur des rails dû aux variations de température.

- Lorsqu'une barre de rail de longueur L et de section S est posée sans contrainte (libre de toute attache), elle peut se dilater ou se contracter librement proportionnellement à la variation de température qu'elle subit.
- Si t_o est la température de pose de la barre, sa variation de longueur ΔL à la température t sera suivant la formule ci-après :

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta t$$

où

α est le coefficient de dilatation linéaire de l'acier à rail ($\alpha = 11.10^{-6}$)

Δt est la variation de température, avec $\Delta t = (t - t_o)$

- D'une façon, la dilatation est en réalité contrariée par le frottement traverses-ballast.
- En considérant les attaches bien serrées, la partie centrale d'une barre longue ne bouge pas quelles que soient les variations de températures du fait de l'équilibre qui s'établit entre les efforts longitudinaux dus à la température et les forces de frottements ballast traverses.
- Seuls les 150 derniers mètres (où cet équilibre n'existe plus) se déplacent, entrainant un mouvement de l'extrémité.
- D'où l'effort thermique F au niveau de la partie centrale du LRS : $F = E*\alpha*S*\Delta t$

Où :

E est le module d'élasticité de l'acier à rail, $E = 2{,}1.10^6$ kg/cm^2

S est la section du rail en cm^2

→ Ce qui résulte de l'effort thermique F, une contrainte thermique dans le rail suivant la formule :

$$\delta = \frac{F}{S} = E * \alpha * \Delta t$$

si $\Delta t > 0$ = dilatation. si $\Delta t < 0$ = contraction.

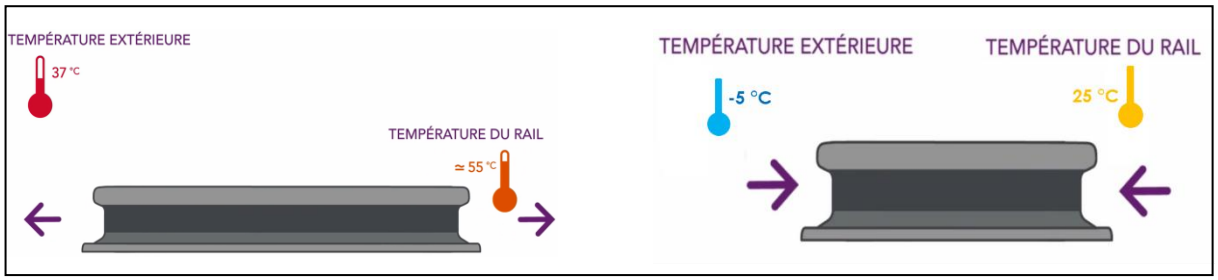


Figure V.7 : dilatation et contraction des LRS

V.3.4. Opération de la libération des LRS et stabilisation de la voie :

Le but de l'opération de la libération des LRS est de :

- permettre au LRS de se dilater librement et annuler ainsi toutes les contraintes.
- fixer la barre à une température déterminée, comprise dans l'intervalle des températures de fixation admis dans chaque zone du réseau ferroviaire (Zone Nord = 38 °C - Zone Haut Plateau = 42°C - Zone Sud Sahara = 45°C).

Le mode opératoire de libération par tendeurs hydraulique est décrit comme suit :

- La libération s'effectue simultanément sur les deux files de rails.
- La longueur à libérer en une seule fois ne doit pas excéder 1200 m.
- On procèdera par fractionnement en tronçonnant le rail puis en déboitant une extrémité de la longueur traitée.
- Desserrer les attaches.
- Mettre la barre sur rouleaux (un rouleau toutes les 10 à 15 traverses).
- Faire vibrer toute la partie du rail desserrée à l'aide des marteaux frappeurs disposés tous les 150 mètres entre frappeurs par file de rail.
- La fixation des LRS est assurée après les travaux de soudures aluminothermiques.

V.4. Pose de voie :

V.4.1. Préparation de la plateforme de voie :

❖ **<u>Implantations topographiques de l'axe de voie et piquets rejets :</u>**

- Objectif : Définir précisément l'axe de la voie et les points de référence pour la pose.
- Axe de voie : permet de définir avec précision l'alignement horizontal de la voie, y compris les courbes et les alignements droits. Cela garantit que la voie suit le tracé prévu sans déviation.
- Piquets rejets : ce sont des relevés topographiques temporaires placés à une distance fixe par rapport à l'axe de la voie ou les bords des traverses ou les jointures

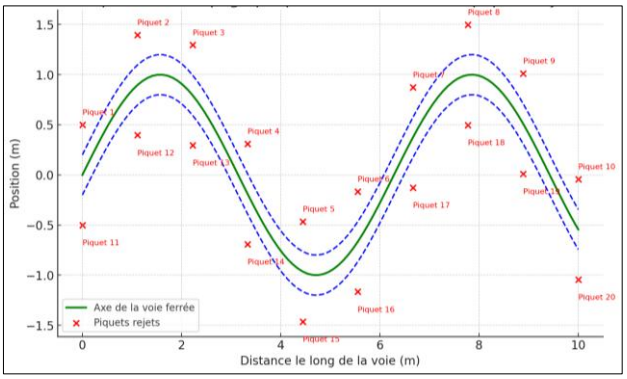


Figure V.8 : Implantations topographiques de l'axe de voie et piquets rejets

des rails.

- Ils permettent de vérifier régulièrement l'alignement et le nivellement de la voie.

V.4.2. Distribution et pose des rails :

1. Distribution des rails sur plateforme :

a. Transport des rails : acheminement des rails depuis le lieu de stockage jusqu'à la plateforme en utilisant des grues et des chariots élévateurs.

b. Alignement initial : positionnement des rails le long de la plateforme en respectant l'axe défini.

2. Soudage des rails en barres LRS :

a. Soudage électrique :

- Application de courant électrique pour chauffer et souder les extrémités des rails.
- Ils formeront des Longs Rails Soudés (LRS) de 216 mètres minimum = assemblage d'au moins 12 rails de 18 m chacun.

b. Contrôle de qualité :

- Vérification des soudures par des tests non destructifs pour s'assurer de leur intégrité.

Soudage des rails en barres LRS.

V.4.3. Préparation et pose de traverses :

1. Pré-ballastage de la voie :

Une machine qui s'appelle un finisheur, déverse une première couche ballast sur la voie (largeur et épaisseur réglables selon les besoins).

Elle va ensuite niveler le ballast pour obtenir une surface plane et uniforme, prête pour le compactage.



Figure V.9 : Pré-ballastage de la voie

2. Pose des traverses :

a. Pose de traverses à l'aide d'un portique :

Structure mobile équipée de bras ou de crochets qui permet de soulever et de placer les traverses avec précision.

Il peut être monté sur des rails ou des roues pour se déplacer le long du chantier.



Figure V.10 : Pose de traverses à l'aide d'un portique

b. Pose de traverses à l'aide d'une pelle rail-route :

- Elle est équipée de roues pour circuler sur les rails ou de chenilles pour se déplacer sur les voies et les zones environnantes.
- Elle est équipée de dispositifs de levage pour manipuler les traverses.
- Elle est disposée perpendiculairement au tracé de la voie.



Figure V.11 : Pose de traverses à l'aide d'une pelle rail-route

3. Calcul du nombre de traverses :

a. Espacement spécifique :

- Il varie en fonction du type de la voie et de la charge espérée. Il est généralement compris entre 600 et 700 mm.

b. Nombre de traverses/km :

- Le travelage moyen est de 1722 tr/km.
- Le nombre de traverses/km est obtenu par la formule : $N = \frac{1000}{Ltr}$

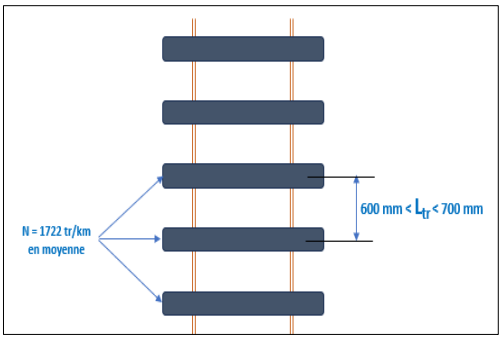


Figure V.12 : espacement et nombre des traverses

Où :

Ltr : représente l'espacement des traverses d'axe en axe, en mètre.

4. Montage des rails sur traverses :

a. Semelles en caoutchouc cannelées :

- Équipent les traverses et sont placées entre le rail et la traverse pour répartir les charges, absorber les vibrations et augmenter la durée de vie des traverses.



Figure V.13 : Positionneuse des rails

b. Positionneuse des rails :

Machine disposant de bras de levage qui saisit le rail et le soulève pour le mettre en place sur les traverses. Elle permet un positionnement rapide et précis, en évitant tout contact direct des rails sur les semelles en caoutchouc qui pourrait les endommager.

V.4.4. Fixation et assemblage des rails :

1. Fixation des rails aux traverses :

a. Utilisation d'attaches spécifiques :

- Elles peuvent par exemple être élastiques (dans notre projet on utilise le type NABLA), qui grâce à leur flexibilité, permettent de maintenir les rails en place tout en absorbant les

vibrations et chocs générés par les passages des trains.

b. Fixation des rails :

- Le couple de serrage est modéré pour éviter les contraintes excessives, grâce notamment à l'utilisation de clés dynamométriques.

2. <u>Assemblage des rails :</u>

a. Préparation des extrémités du rail :

- Nettoyage des surfaces de contact des rails pour éliminer toute saleté, rouille ou débris.
- Inspection visuelle en vérifiant les extrémités des rails pour s'assurer qu'elles sont en bon état et qu'il n'y a pas de fissures ou de défauts.

b. Assemblage à l'aide des éclisses :

- Les éclisses sont des pièces métalliques utilisées pour joindre deux rails.
- Elles s'insèrent dans des rainures prévues à cet effet sur les côtés des rails.

c. Fixation avec les dispositifs de serrage en ''C'' :

- Utilisés pour serrer les éclisses contre les rails, assurant une connexion solide avec contrôle des tolérances pour maintenir l'intégrité de la voie.

d. Assemblage des rails en LRS :

intervient après la 2ème phase de relevage de la voie et de la 1ère stabilisation de la voie.

3. <u>Mise à l'axe de la voie :</u>

Objectif : aligner la voie conformément aux plans de conception.

Utilisation de systèmes de mesure et de réglage pour corriger toute déviation, en vérifiant les alignements longitudinal et transversal.



Figure V.14 : Mise à l'axe de la voie

V.4.5. Finitions et stabilisation :

1. <u>Soudage aluminothermique/Meulage :</u>

- Utilisation d'un mélange de poudre d'aluminium et d'oxyde de fer pour souder les rails des barres LRS, suivi d'un meulage pour une surface lisse.

2. <u>Stabilisation de la voie :</u>

- Bourrage et compactage additionnels après les relevages R2 et R3 pour assurer la stabilité finale.

3. **Complément de ballast et nivellement :**

- Ajustement du profil des banquettes pour atteindre les spécifications requises. Ajout de ballast si nécessaire.

4. **Libération des LRS :**

- Retrait des dispositifs de maintien temporaire : Suppression des équipements utilisés pour maintenir les rails en place pendant les travaux (dispositifs de serrage, les attaches)

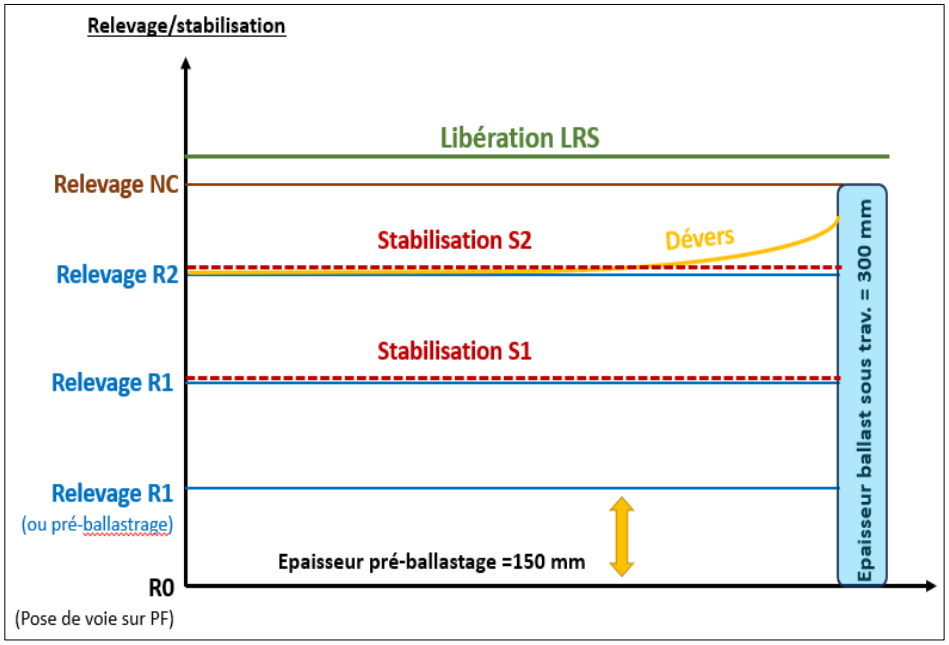


Figure V.15 : relevage et stabilisation

V.5. Conclusion :

La superstructure ferroviaire constitue un élément fondamental du système de transport ferroviaire, assurant la stabilité, la sécurité et l'efficacité du trafic ferroviaire. Composée principalement des rails, traverses, attaches, ballast, caténaires et appareils de voie, elle représente une chaîne technique cohérente où chaque composant joue un rôle précis et complémentaire.

L'adoption de technologies modernes, comme les longs rails soudés (LRS), les traverses en béton armé, ou les attaches élastiques, contribue à améliorer la durabilité de la voie, à réduire les coûts de maintenance et à offrir de meilleures conditions de confort et de sécurité pour les usagers.

Enfin, la maîtrise des normes (EN, UIC, SNTF) et des méthodes de pose et d'entretien garantit une infrastructure performante, capable de répondre aux exigences actuelles et futures du transport ferroviaire, aussi bien en matière de transport de voyageurs que de marchandises.

CHAPITRES VI : LA GEOMETRIE DE LA VOIE

CHAPITRES VII : LA GEOMETRIE DE LA VOIE

Introduction :

L'ingénierie ferroviaire repose en grande partie sur une analyse géométrique approfondie, essentielle pour assurer la sûreté, l'efficacité et la longévité des infrastructures. Cette phase cruciale permet d'établir un tracé optimal, à la fois respectueux de l'environnement et adapté aux spécificités du terrain, tout en répondant aux exigences du trafic.

La démarche s'appuie sur une approche méthodique, conforme aux standards et bonnes pratiques du secteur. Elle s'inspire notamment des prescriptions techniques définies par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), qui serviront de référence dans le cadre de notre projet.

VI.1. Recherche bibliographique sur les normes :

❖ UIC 703 — Normes de l'Union Internationale des Chemins de fer :

- Titre complet : 'UIC Code 703 – Disposition des lignes ferroviaires : caractéristiques géométriques des lignes parcourues par des trains de voyageurs à des vitesses allant jusqu'à 200 km/h'
- Éditeur : Union Internationale des Chemins de Fer (UIC)
- Année : Dernière édition consultée vers 2009–2015
- Résumé : cette norme définit les caractéristiques géométriques minimales à respecter pour la conception des lignes ferroviaires empruntées par des trains de voyageurs circulant à des vitesses allant jusqu'à 200 km/h : Rayon minimal de courbure, dévers et variation du dévers, clothoïdes et raccordements, normes de confort dynamique et optique.
- Utilité : Référence internationale pour la conception des tracés ferroviaires. Applicable comme base dans les pays membres de l'UIC.

❖ RFN-NG — Référentiels Ferroviaires Nationaux (France) :

- Titre :"Référentiels RFN – Normes de la conception géométrique des infrastructures ferroviaires"
- Éditeur : SNCF Réseau
- Contenu principal : Géométrie des voies (plan et profil), Normes de sécurité d'exploitation, Raccordements de dévers, règles de visibilité, Conditions de confort et de sécurité.
- Documents clés :
  - RFN-NG 5712 : Tracé en plan des voies
  - RFN-NG 5800 : Géométrie des voies nouvelles
- Utilité : Ces normes sont obligatoires sur le réseau ferré français. Elles servent aussi de modèle pour l'adaptation dans d'autres réseaux francophones.

❖ SNTF — Références et normes techniques algériennes :

- Organisme : Société Nationale des Transports Ferroviaires (Algérie)
- Statut : Entreprise publique économique (EPE)

- Création : 1976 (succédant à la Société des chemins de fer algériens)
- Siège : Alger, Algérie

Mission :

- Transport de voyageurs et de marchandises par train
- Entretien et modernisation du réseau ferroviaire
- Développement de projets ferroviaires (électrification, lignes nouvelles, gares... etc.).

VI.2. Le trace en plan :

VI.2.1. Introduction :

Le tracé en plan représente la projection de l'axe de la chaussée sur un plan horizontal. Il se compose d'une alternance de lignes droites, d'arcs de cercle et de courbes de raccordement.

Son objectif principal est de garantir des conditions optimales de sécurité et de confort, tout en assurant une bonne intégration dans la topographie du terrain.

Dans le domaine ferroviaire, on distingue deux vitesses caractéristiques fondamentales, qui permettent de déterminer l'ensemble des paramètres géométriques de la voie. Ces caractéristiques doivent rester homogènes afin de respecter les exigences de sécurité et de confort :

Vr : vitesse des trains rapides (voyageurs).

Vm : vitesse des trains lents (marchandises).

VI.2.2. Les éléments constitutifs d'un tracé en plan :

VI.2.2.1. Les alignements droits :

(R = ∞) : Section rectiligne où le rayon de courbure est théoriquement infini.

VI.2.2.2. Les courbes circulaires :

(R = constant) : Arc de cercle de rayon fixe, conçu pour maintenir une trajectoire stable à vitesse constante.

VI.2.2.3. Courbes de transition :

(R = variable) : Segment intermédiaire permettant une variation progressive du rayon entre l'alignement droit et la courbe circulaire.

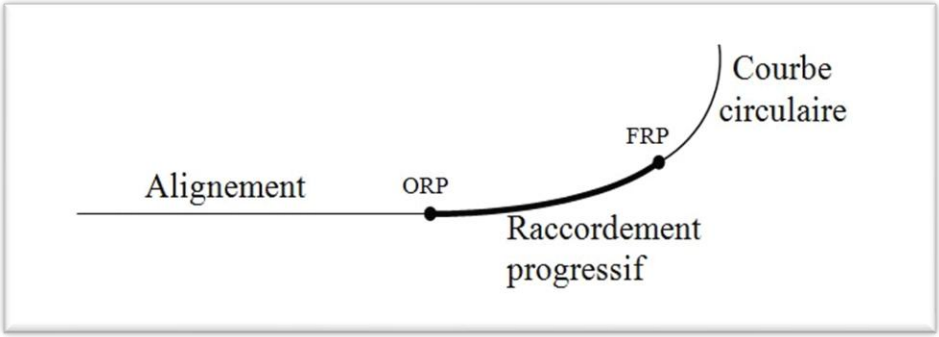


Figure VI.1 : Les éléments du tracé en plan

VI.2.2.4. Rayon minimal normal des courbes circulaires :

Le rayon minimal des courbes circulaires est la plus petite valeur admissible du rayon d'une courbe horizontale dans le tracé d'une voie ferrée, déterminée en fonction de la vitesse des trains, du type de ligne, du confort des passagers, et des contraintes mécaniques exercées sur les rails et les véhicules.

Cette valeur minimale est définie pour limiter les effets centrifuges, réduire l'usure des rails et des roues, et maintenir la sécurité et le confort de roulement.

VI.2.2.5. Dévers :

Le dévers est la différence d'altitude entre les deux files de rails en un point de la voie. Une courbe est posée en dévers lorsque la file de grand rayon (rail extérieur à la courbe) est surélevée par rapport à la file de petit rayon (rail intérieur à la courbe) et en contre - dévers lorsque la file de petit rayon est surélevée par rapport à l'autre file.

- **Dévers théorique :** Le dévers théorique est la valeur de l'inclinaison transversale de la voie (différence de hauteur entre les deux rails), calculée de manière à compenser la force centrifuge exercée par un train circulant à une vitesse donnée dans une courbe de rayon connu. (R en m, d en mm et V en km/h). Le dévers théorique se calcule par :

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

Tableau VI.1 : Valeurs limites du dévers en pleine courbe selon référentiel technique de SNTF

Valeur maximale normale (mm)	**110**
Valeur maximale exceptionnelle (mm)	**130**

- **Dévers prescrit (pratique) :** Le choix du dévers 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 prescrit.

Le dévers prescrit se calcule par : $$d_p = \frac{1000 \times C}{R}.$$

- **Dévers maximum admissible :** Le dévers maximum admissible est la limite supérieure de l'inclinaison transversale de la voie dans une courbe, fixée pour garantir :
la stabilité des trains, le confort des passagers, la durabilité des infrastructures ferroviaires.

- **Insuffisance de dévers (I) :** 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 compensée. Le dévers de la voie est donc insuffisant et la résultante des forces se déplace vers l'extérieur de la courbe. On appelle insuffisance de dévers (exprimée en mm) la différence entre le dévers d'équilibre et le dévers prescrit.

Elle est calculée avec la formule :

$$I = \frac{11,8 \times V^2}{R} - d_p$$

Tableau VI.2 : Valeurs limites de l'insuffisance de dévers admissible selon référentiel technique de IN0272

Valeur maximale normale (mm)	**110**
Valeur maximale exceptionnelle (mm)	**130**

- **Excès de dévers (E)** : Lorsque la vitesse d'un véhicule en courbe est plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers prescrit, ce véhicule est soumis à une force centripète non compensée. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieur de la courbe. On appelle excès de dévers (exprimé en mm) la différence entre le dévers prescrit et le dévers d'équilibre.

Il est calculé avec la formule :

$$E = d_p - \frac{11,8 \times V^2}{R}$$

En Algérie, la SNTF utilise les valeurs suivantes pour les voies courantes dont la vitesse est inférieure à 220 km/h.

Tableau VI.3 : Valeurs limites de Excès du dévers Imax selon référentiel technique de IN0272.

Valeur limite normale [mm]	**110**
Valeur limite exceptionnelle [mm/s]	**130**

- **Raccordement de devers :** désigne la transition progressive du dévers de la voie, passant d'une valeur nulle en alignement droit à une valeur spécifique en courbe. Cette transition s'effectue sur une longueur appelée rampe de dévers, garantissant le confort des passagers et la stabilité du matériel roulant.

- **Variation de devers par rapport aux longueurs ($\Delta d/\Delta l$) :** taux exprimé en mm/m suivant lequel le dévers augmente ou diminue par unité de longueur. Selon la SNTF sa limite est donnée en fonction de la vitesse comme suit :

Tableau VI.4 : Limite de variation de dévers en fonction de la longueur recommandes selon référentiel technique de SNTF.

Valeur limite normale (mm/s)	**180/V**
Valeur limite exceptionnelle (mm/s)	**216/V**

- **Variation de devers par rapport aux temps (Δd/Δt) :** indique la rapidité avec laquelle le dévers augmente ou diminue pendant la transition entre une section rectiligne et une courbe ou inversement elle s'écrit :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{I \times Vr}{3{,}6 \times L}$$

Tableau VI.5 : Valeurs limites de variation du divers en fonction du temps selon référentiel technique de SNTF

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

- **Variation de l'insuffisance de devers dans le raccordement (ΔI/Δt) :** taux exprimé en mm/s suivant lequel l'insuffisance de dévers, appliquée à une circulation à une vitesse donnée, augmente ou diminue par unité de temps.

Tableau VI.6 : Valeurs limites de variation du divers en fonction du temps selon référentiel technique IN0272

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

VI.2.2.6. Courbe de raccordement :

- Raccordement progressif (RP) : C'est une courbe à rayon variable assurant la transition entre un alignement et une pleine courbe ou entre deux courbes circulaires de rayons différents. La clothoïde, ou son approximation la parabole cubique (dite de Nordling), présente une variation uniforme de la courbure et donc de la flèche. En général, du fait de la proportionnalité dévers / courbure, la variation de dévers est elle aussi uniforme. L'origine du raccordement progressif (ORP) est l'extrémité du RP côté alignement. La fin du raccordement progressif (FRP) est l'extrémité du RP côté 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 du raccordement progressif,

FRP : Fin du raccordement progressif.

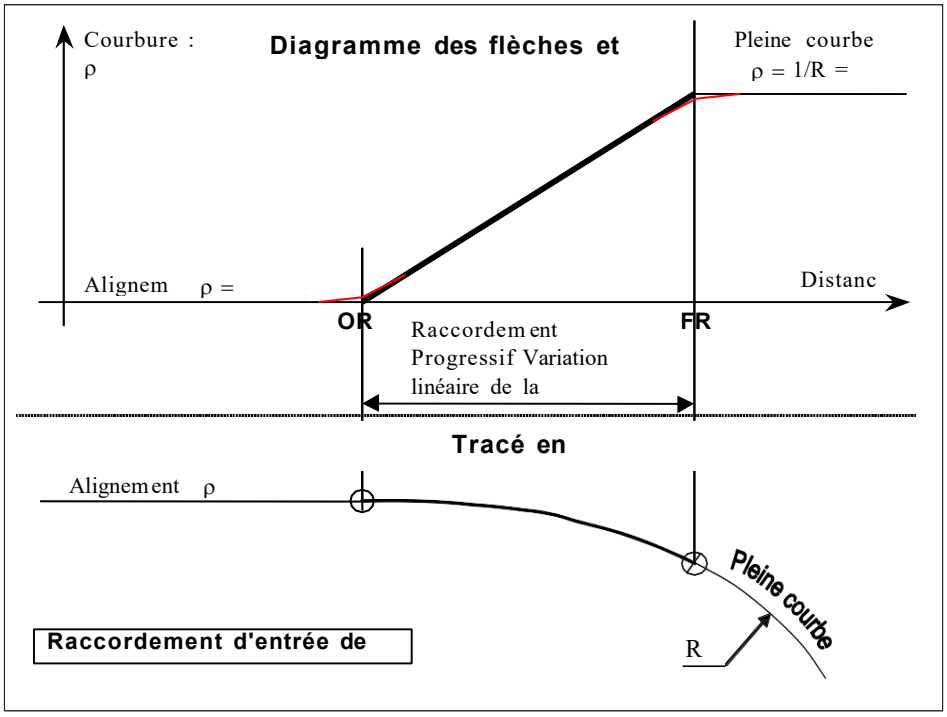


Figure VI.2 : Diagramme des flèches et des courbures et tracé en plan d'un RP

- **La clothoïde :** une courbe de raccordement dont la courbure est proportionnelle à l'abscisse curviligne. Cette propriété permet une transition douce entre une section droite et une courbe, réduisant ainsi les efforts latéraux sur le matériel roulant et améliorant le confort des passagers.

$$\frac{D}{L} \leq R_p$$

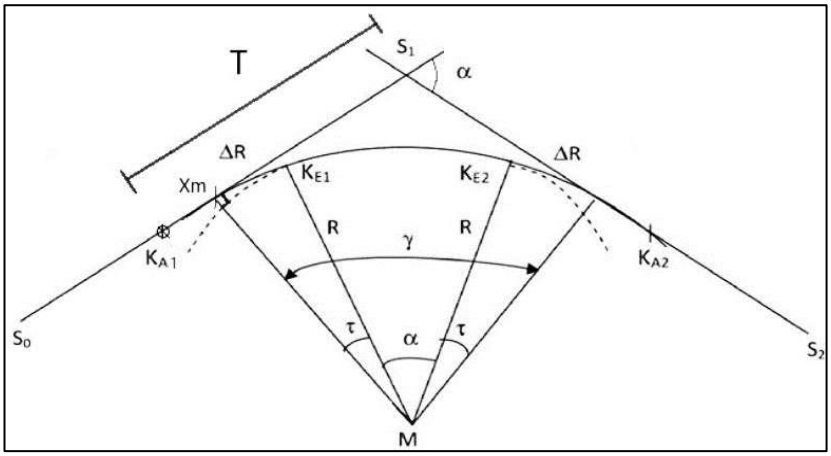


Figure VI.3 : Elément de clothoïde

- **Raccordement progressive d'inflexion :** C'est un RP unique reliant une courbe à une contre-courbe avec une variation uniforme des flèches et des dévers entre les deux pleines courbes.

- **Doucines :** au changement de pente du rail haut entre un raccordement progressif et un élément de tracé constant (alignement ou pleine courbe), le véhicule subit une accélération du mouvement de roulis. Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP). Du fait de la proportionnalité dévers / courbure, ce raccord se traduit dans le diagramme des flèches par des arrondis appelés doucines.

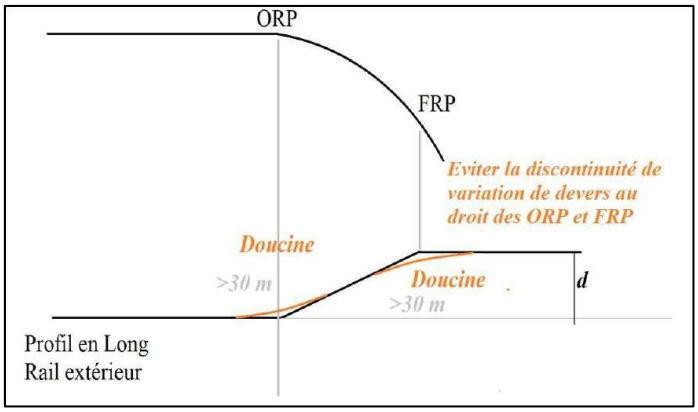


Figure VI.4 : les doucines

- **Pente et rampe :**

  • **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).

VI.2.3. Règles et normes à respecter d'un tracé en plan :

Pour aboutir à un tracé économiquement viable et techniquement fiable, plusieurs impératifs doivent être pris en compte :

- Intégration du réseau existant : Dans le cas d'une modernisation d'infrastructure, les raccordements avec le réseau en place doivent être anticipés dès la phase initiale, y compris les liaisons avec les tronçons conservés, tout en restant dans l'emprise autorisée.
- Rayon minimal des courbes : Déterminé en fonction de la vitesse de circulation et de la nature des convois.
- Longueurs minimales : Respecter les distances requises pour les alignements droits et les courbes circulaires.
- Transition progressive : Insérer des courbes de raccordement entre les sections rectilignes et les virages pour assurer un passage en douceur.
- Adaptation au relief : Épouser autant que possible la topographie naturelle afin de réduire les travaux de terrassement.
- Optimisation du parcours : Limiter les traversées d'oueds, de routes, de zones cultivées ou habitées pour maîtriser les coûts et renforcer la rentabilité du projet.

- Évitement des risques géotechniques : Écarter les secteurs à risques (instabilité du sol, présence de nappes, etc.). Si une implantation dans ces zones s'avère indispensable, une étude géotechnique détaillée devra être menée pour garantir la stabilité de l'infrastructure

En voie ferrée, on recherche toujours à avoir les paliers dans le tracé pour faciliter la traction du train.

Tableau VI.7 : les paramètres géométriques du tracé en plan (SNTF)

		dp max (mm)	I max (mm)	E max (mm)	$\frac{dd}{dl}$max (mm/m)	$\frac{dd}{dt}$max (mm/s)	$\frac{dI}{dt}$max (mm/m)	R min (m)	Lmin
Formule	Normal	-	-	-	$\frac{180}{Vmax}$	-	-	$\frac{11.8\ x\ Vmax^2}{Dmax + Imax}$	$\frac{Vmax}{2}$
	Exceptionnel	-	-	-	$\frac{216}{Vmax}$	-	-	$\frac{11.8\ x\ Vmax^2}{Dmax + Imax}$	$\frac{Vmax}{3}$
Application	Normal	160	110	110	2.25	50	75	290	40
	Exceptionnel	180	130	130	2.7	60	90	245	27

Avec :

dpmax : Dévers prescrit (pratique)

Imax : L'insuffisance de dévers admissibles.

Emax : L'excès de devers admissible.

$\frac{dd}{dl}$***max*** : Variation de devers par rapport aux longueurs.

$\frac{dd}{dt}$***max*** : Variation de devers par rapport aux temps.

$\frac{dI}{dt}$***max*** : Variation de l'insuffisance de devers dans le raccordement.

Lmin : La longueur minimale des éléments de tracé (alignement droit, pleines courbes)

Rmin : Le rayon minimum.

Rmin $= \frac{11.8\ x\ Vmax^2}{Dmax\ x\ Imax}$ on prend **Rmin = 290m**

VI.2.4. Application au projet :

On considère un exemple de calcul pour un rayon : **Rmin= 290 m** comme référence pour décrire les étapes de détermination de toute les paramètres correspondants

❖ Détail de calcul pour le Rayon minimum de 290 :

- Coefficient de dévers C :

C= 0.006 x V^2max = 38.4

- Dévers théorique (pour R=290) :

$Dth(R = 290) = \frac{11.8\ x\ Vmax^2}{R=290}$ = 260.41 mm

- Dévers prescrit (pratique) :

Dp(R = 290) = $\frac{1000\ x\ C}{R=290}$ = 132.41 mm< dp max = 160 mm.

on adopte Dp (R=290) = 155 mm

- **L'excès de dévers E:**

E = dp – dth

On prend la valeur positive : E = 155 – 260.41 = 105.41 mm < Emax = 110 mm.

- **Longueur du raccordement progressif Lrp :**

$Lrp = \frac{Dp}{dd/dl} = \frac{155}{2.25}$ = 68.88m

On prend Lrp = 80m.

- **Vérification de la variation de devers par rapport aux longueurs :**

  $dd/dl = \frac{dp}{Lrp} = \frac{155}{80}$ = 1.94 < 2.25

- **Vérification de la variation de devers par rapport aux temps :**

  $dd/dt = \frac{dp\ x\ Vmax}{Lrp\ x\ 3.6} = \frac{155x80}{80x3.6}$ = 43.06 < 50 mm/s.

Tableau VI.8 : Tableau récapitulatif des paramètres de tracé

		Rayons (m)			
	Formule	**800**	**900**	**1200**	**1000**
d_{th} (mm)	$\frac{11.8\ x\ Vmax^2}{R}$	94.4	83.91	62.93	75.52
C	0.006 x V²max	38.4	38.4	38.4	38.4
d_p (mm)	$\frac{1000\ x\ C}{R}$	48	42.66	32	38.4
d_p retenu (mm)	-	50	45	35	40
Vérification de d_p retenu	dp adopté < 160 mm	**OUI**			
E (mm)	dp - dth	44.4	38.91	27.93	35.52
Vérification de E	E < 110 mm	**OUI**			
Lrp (m)	$\frac{Dp}{dd/dl}$	22.22	20	15.55	17.77
Lrp retenu (m)	-	40	40	40	40
dd/dl (mm/ml)	$\frac{dp}{Lrp}$	1.25	1.125	0.875	1
Vérification dd/dl	dd/dl < 2.25	**OUI**			
dd/dt (mm/s)	$\frac{dp\ x\ Vmax}{Lrp\ x\ 3.6}$	27.77	25	19.44	22.22
Vérification dd/dt	dd/dt < 50 mm/s	**OUI**			

VI.2.5. Conclusion :

L'étude géométrique de la voie a permis de définir un tracé conforme aux normes ferroviaires, assurant à la fois sécurité, confort et efficacité. Les éléments principaux tels que

le plan en alignement, le profil en long et les rayons de courbure ont été soigneusement choisis en fonction des contraintes du terrain.

Cette étape constitue une base essentielle pour la suite du dimensionnement et la réalisation du projet ferroviaire.

VI.3. Le profil en long :

VI.3.1. Introduction :

Lors de la conception d'une infrastructure ferroviaire, le profil en long constitue une étape stratégique qui influence directement la faisabilité technique, les performances d'exploitation et les coûts du projet. Il permet de traduire les contraintes topographiques du terrain en un tracé vertical optimisé, adapté aux exigences du matériel roulant et aux normes en vigueur.

Dans cette partie, on s'intéressera à la manière dont le profil en long est élaboré, aux critères techniques à respecter (déclivités, longueurs minimales, rayons verticaux...), ainsi qu'aux principes permettant d'assurer une transition fluide entre les différentes sections du tracé.

VI.3.2. Définition :

Le profil en long est une coupe verticale fictive passant par l'axe de la voie, développée et représentée sur un plan avec une échelle. Il est constitué de pentes uniformes reliées entre elles par des courbes circulaires.

VI.3.3. Règles et normes à respecter pour le profil en long :

- La déclivité maximale est limitée à **16‰** en pleine voie, tandis qu'elle doit être nulle **(0‰)** au niveau des gares et haltes afin de garantir la sécurité et le confort des arrêts.
- Il est important de minimiser les volumes de déblais et de remblais, afin de réduire les coûts de terrassement et l'impact environnemental.
- Le tracé projeté doit permettre un raccordement harmonieux au réseau ferroviaire existant, sans rupture de continuité.
- Il convient d'éviter les angles rentrants dans les zones en déblai, pour assurer une bonne évacuation des eaux de ruissellement.
- Une coordination cohérente entre le tracé en plan et le profil en long est nécessaire pour garantir une géométrie fluide et efficace.
- La longueur minimale des éléments du profil en long doit respecter la formule :
- Lmin = V / 2, où V est la vitesse de référence en km/h.
- Le rayon vertical minimal à respecter est donné par : Rv min = 0,35 × V × R, afin d'assurer un bon confort dynamique et la sécurité d'exploitation.

VI.3.4. Élément de composition du profil en long :

- Les alignements droits : Dans le profil en long d'une voie ferrée, les alignements droits désignent les sections caractérisées par une déclivité constante, faible ou nulle, sur une certaine distance. Ces segments permettent de maintenir une vitesse de circulation régulière et favorisent ainsi la stabilité dynamique du train, notamment sur des terrains plats ou

légèrement inclinés. Cela contribue à offrir aux passagers un confort optimal et à garantir la sécurité de l'exploitation.

Selon le référentiel géométrique de la SNTF, les déclivités admissibles varient selon la longueur du tronçon concerné :

- Pour une déclivité de moins de **3 000 m**, la pente maximale tolérée est de **16‰**, avec une exception possible jusqu'à **18‰.**
- Pour une longueur comprise entre **3 000** m et **15 000** m, la pente admissible diminue progressivement de **16‰** à **13‰**, voire exceptionnellement de **18‰** à **15‰.**
- Au-delà de **15 000 m**, la déclivité maximale est fixée à **13‰**, avec un seuil exceptionnel autorisé de **15‰.**
- Respect strict des pentes maximales autorisées.
- Éviter les points bas dans les zones en déblai pour faciliter l'écoulement des eaux de pluie.
- Chercher un équilibre entre déblais et remblais pour optimiser les mouvements de terre.
- En zones inondables, il est indispensable de rehausser la plateforme ferroviaire avec un remblai dont la hauteur dépasse le niveau de la crue centennale (**NPHE + 0,5 m**).

Tableau VI.9: Longueur minimale des déclivités (SNTF)

Paramètre	Valeur limite Normale	Valeur limite Exceptionnelle
Longueur minimale des Déclivités	**V/2**	**V/2.5**

- **Pentes** : tronçon de voie où l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente).
- **Rampes** : tronçon de voie où l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée).
- **Pallier** (Choix des cercles) : Dans le profil en long d'une voie ferrée, les cercles représentent des courbes verticales douces définies par des rayons bien déterminés. Ces courbes sont conçues pour assurer une transition progressive entre différentes pentes, permettant ainsi de réduire les efforts dynamiques sur les véhicules et sur la structure de la voie.

Lorsqu'un changement brutal de pente survient, cela génère une accélération verticale soudaine, perceptible par les usagers, à l'image de la sensation ressentie lorsqu'un véhicule routier franchit une colline. C'est pourquoi l'intégration de courbes de raccordement progressives (ou cercles) dans le profil en long est essentielle pour limiter ces à-coups, garantissant ainsi un meilleur confort pour les passagers et une meilleure préservation des infrastructures.

- Cette accélération est donnée par la formule suivante **:** $\mathbf{Av} = \frac{\mathbf{V^2}}{\mathbf{3.6^2 \times Rv}}$
- En remplaçant les valeurs de Av dans la formule $\mathbf{Rv} = \frac{\mathbf{V^2}}{\mathbf{3.6^2 \times Av}}$ on trouve :

Tableau VI.10 : Valeurs de Rayon vertical minimal (SNTF)

Paramètre	Valeur limite Normale	Valeur limite Exceptionnelle
Longueur minimale des Déclivités	**$0.35V^2$**	**$0.25V^2$**

- Courbes de raccordement verticales : Ce sont des arcs circulaires utilisés pour relier harmonieusement les différentes sections du tracé vertical, appelées éléments de la ligne rouge.
- Coordination profil en long et trace en plan : Pour garantir une bonne coordination entre le profil en long et le tracé en plan, certaines règles doivent être rigoureusement respectées :
- Il est préférable d'éviter d'introduire une courbe verticale immédiatement après une courbe horizontale, afin de préserver la régularité du tracé.
- Un segment de voie horizontal, d'une longueur comprise entre 900 m et 1500 m, doit être prévu pour l'aménagement des gares.
- Pour éviter les effets cumulés ou désagréables entre les courbes verticales et horizontales, il convient de ne pas superposer leurs rayons respectifs.

VI.3.5. Application au projet :

Tableau VI.11 : paramètre géométrique de profil en long de notre projet (SNTF)

		Dmax				Rmin	Lmin
		L < 3000 m	3000 m < L < 15000 m	L > 15000 m	Gares	-	-
Formule	Normal	-	-	-	-	0.325V²	V/2
	Exceptionnel	-	-	-	-	0.25V²	V/2.5
Application	Normal	16‰	6 ‰ à 13 ‰	13 ‰	0	2240	40
	Exceptionnel	18 ‰	18 ‰ à 15 ‰	15 ‰	0	1600	26

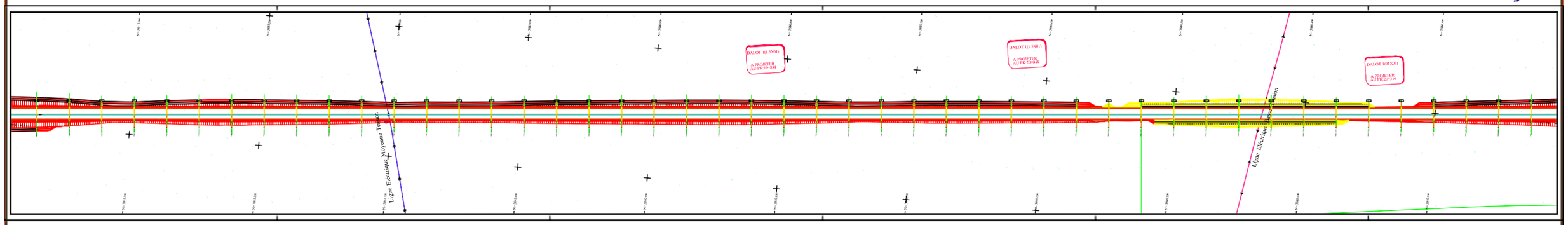
Remarque : nous allons travailler dans notre projet avec les paramètres géométriques de profil en long normal.

VI.3.6. Conclusion :

La précision de l'étude géométrique dans la conception des voies ferrées revêt une importance capitale pour garantir la sécurité et le confort des usagers. Ce chapitre a mis en évidence que l'optimisation du tracé en plan et du profil en long est essentielle pour assurer la faisabilité technique et la stabilité de l'infrastructure.

Une analyse approfondie permet non seulement d'identifier les solutions techniques les plus adaptées, mais aussi de réduire les coûts de construction et d'entretien, tout en limitant les impacts sur l'environnement.

Par ailleurs, l'intégration des normes et réglementations en vigueur dès les premières étapes du projet est indispensable. Elle assure le respect des exigences légales tout en consolidant la sécurité et le confort. Ainsi, une étude géométrique rigoureuse, conforme aux standards en vigueur, constitue un pilier essentiel dans la réalisation d'une infrastructure ferroviaire fiable, performante et durable.

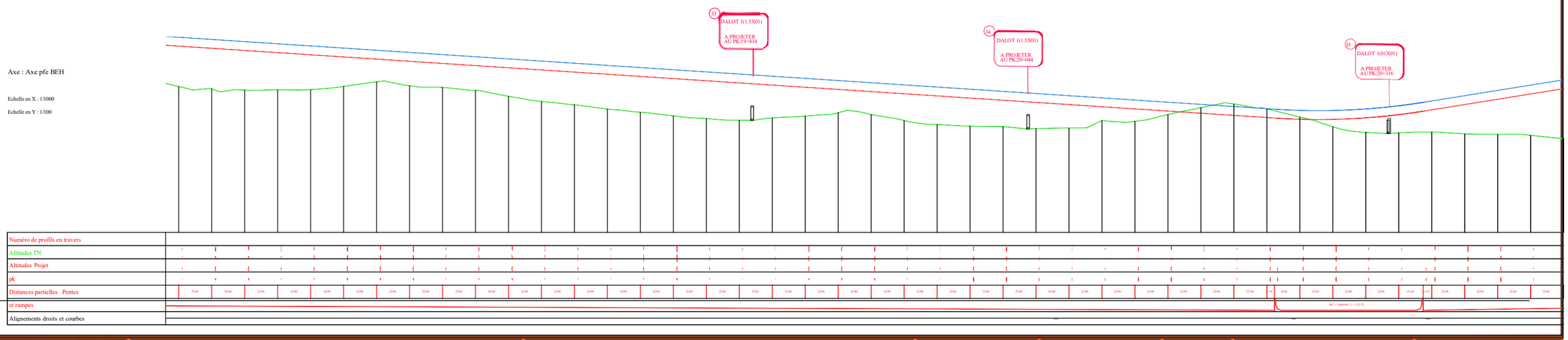


Vers Bir El Ater

Vers Bir El Ater

Vers Blad El Hadba

Vers Blad El Hadba



ENSTP

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger

Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz

Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré Par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD d'un Raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba du Pk 08+000 au Pk 23+000 avec conception de la gare de Blad El Hadba	GUERBACHE Amin DJIDJELI Alla Eddine	Mr. ZENNOUCHE Smail Mr. FEDGHOUCHE Ferhat	1 :1000	Vue en plan et Profil en long du pk 19+400 au pk 20+400	2024 / 2025

VI.4. Profil en travers :

VI.4.1. Introduction :

Le profil en travers représente la coupe perpendiculaire à l'axe de la voie projetée, offrant une vue détaillée des caractéristiques géométriques de l'infrastructure. Il illustre les variations altimétriques du terrain naturel, les dimensions de la plateforme, les dévers, ainsi que la structure des différentes couches de la voie ferrée.

Cet outil joue un rôle clé dans la gestion des projets ferroviaires, en permettant une évaluation précise des volumes de terrassement et en contribuant à la sécurité de l'infrastructure par l'identification des zones à risque. Il participe également à la pérennité et à l'intégration environnementale du projet, en favorisant une conception responsable et durable.

VI.4.2. Profil en travers type :

Le profil en travers type constitue un élément fondamental dans la conception des nouvelles infrastructures ferroviaires ou dans la réhabilitation des voies existantes.

Il présente, de manière détaillée et normalisée, l'ensemble des composants de la voie ferrée dans les différentes configurations possibles (remblai, déblai, ou zone mixte). Ce profil précise notamment les dimensions de la voie, ses éléments annexes, la structure de la couche d'assise, ses différentes couches constitutives ainsi que leurs épaisseurs respectives.

VI.4.3. Constituant du profil en travers type :

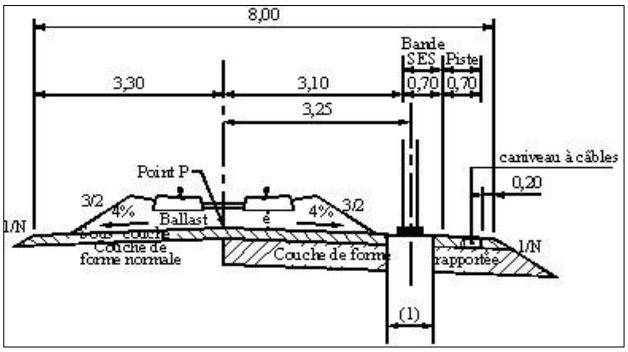


Figure VI.5 : les éléments du profil en travers (SNTF-Chapitre 06)

VI.4.4. Élément du profil en travers :

Les spécifications communes applicables à l'ensemble du projet sont données ci-après :

- La largeur de la plate forme en double voie dont l'entraxe mesurera **4,20 m** (sans obstacles dans l'entrevoie) sera fixée à **13,60** m.
- En voie unique, cette largeur de plate forme sera fixée à **8 m** (cas de notre projet).
- Une zone sera réservée à l'implantation d'équipements de signalisation, de télécommunications, etc.

- Sur les voies à l'air libre, un passage permettant la circulation du personnel a été prévu latéralement pour chaque coté en double voies et d'un seul coté pour les plateformes de voie unique.
- L'axe des poteaux caténaires sera situé au minimum à **3,25 m** de l'axe de la voie.

Les dispositions prises en compte pour les études sont les suivantes :

- Référence en altitude de la plateforme : point P. Le point P étant le niveau supérieur de la sous-couche située sous le ballast considéré dans l'axe de la plateforme future. Ce point P correspond à l'axe de la voie dans le cas de la voie unique et à l'axe de l'entrevoie dans le cas de la voie double.
- Le calage du point P par rapport aux rails sera déterminé à partir de la hauteur de ballast, mesurée entre la partie inférieure de la traverse et la plateforme, à la verticale du rail dans les conditions les plus défavorables permettant d'obtenir l'épaisseur de ballast souhaitée.
- Il faudra tenir compte du fait que le profil longitudinal défini par le point P sera influencé par les variations de la pente transversale de la plateforme.
- Il y aura lieu de vérifier le profil en long des rails qui reste la référence incontournable dans l'étude de tracé après la définition du profil longitudinal de la plateforme (donnée par le point P).
- L'épaisseur du ballast donnée ci-avant prendra en compte les tolérances concernant la mise en place du ballast et la réalisation de la plateforme.

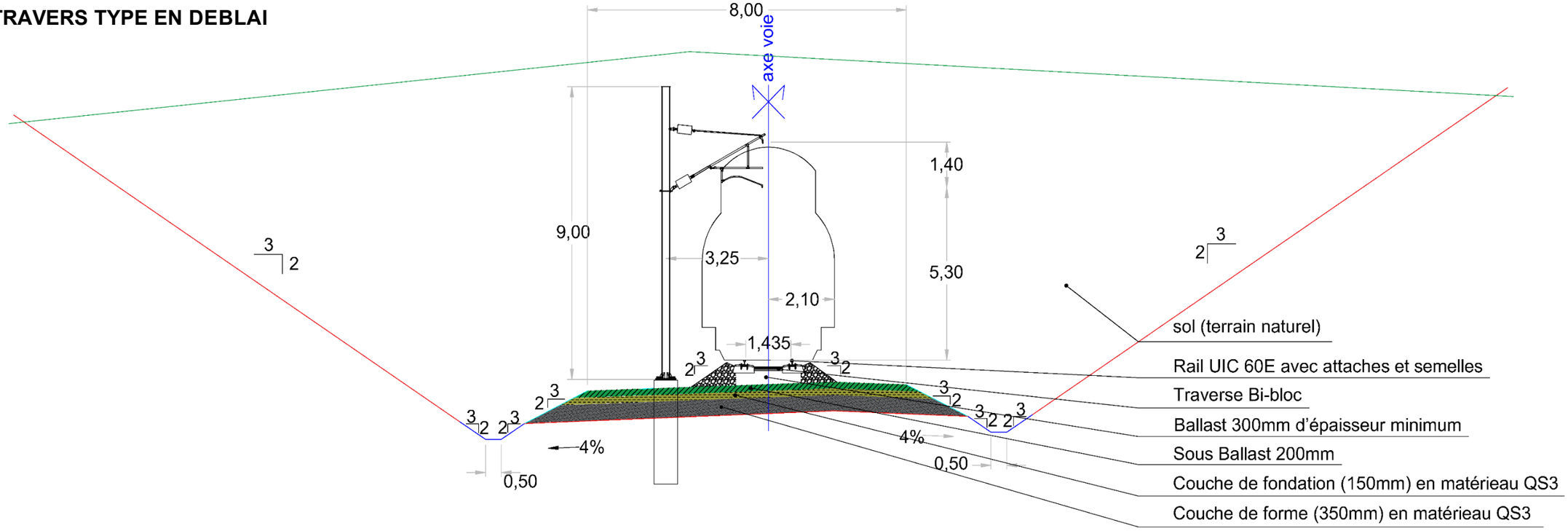
VI.4.5. Profil type de notre projet :

Le projet comprend 02 profils en travers types, présentés sur la même page : Profil en travers type en déblai, Profil en travers type en remblai.

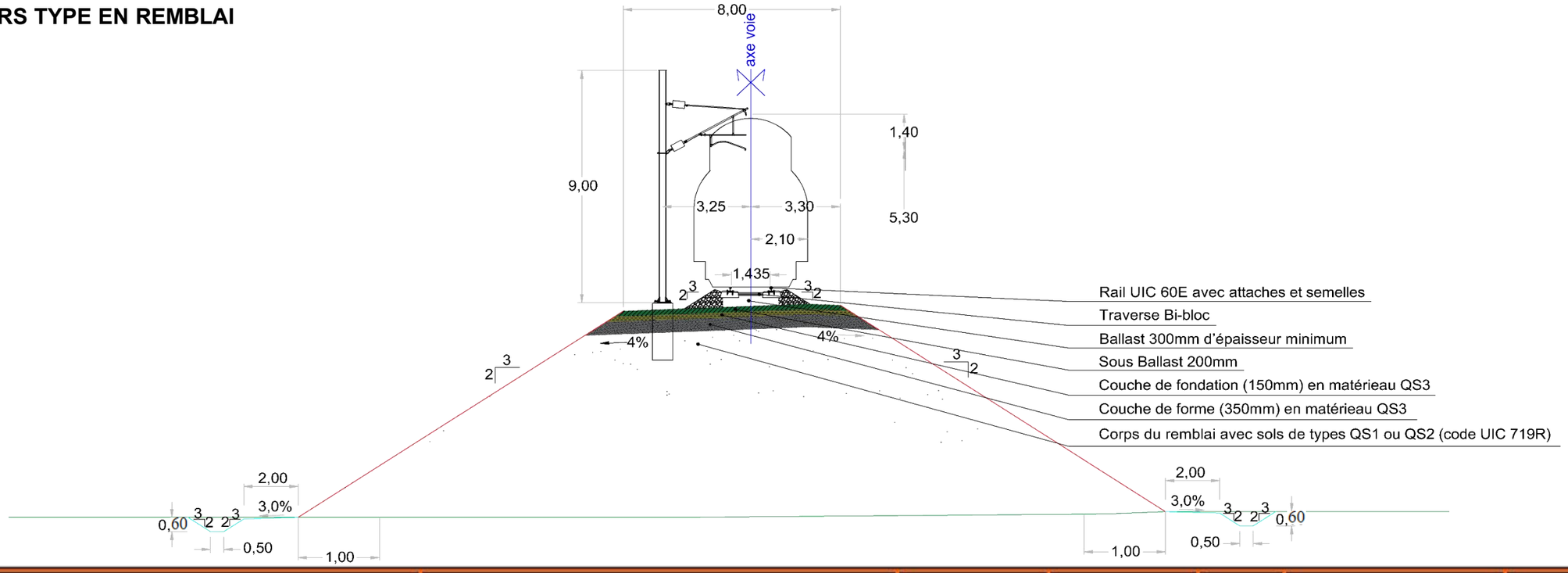
VI.4.6. Conclusion :

Les profils en travers jouent un rôle fondamental dans l'assurance de la précision lors de la planification et de la réalisation des projets d'infrastructure. Ils permettent d'allier exigences de sécurité, rentabilité économique et respect des principes de durabilité.

PROFIL EN TRAVERS TYPE EN DEBLAI



PROFIL EN TRAVERS TYPE EN REMBLAI



ENSTP

Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger

Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz

Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz

PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré Par	Echelle	Planche	Année universitaire
Etude en APD d'un Raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba du Pk 08+000 au Pk 23+000 avec conception de la gare de Blad El Hadba	GUERBACHE Amin DJIDJELI Alla Eddine	Mr. ZENNOUCHE Smail Mr. FEDGHOUCHE Ferhat	1 :100	Profil en travers type en remblai et en déblai	2024 / 2025

CHAPITRE VII :

ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

CHAPITRE VII : ETUDE HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIQUE

Introduction :

Cette étude constitue une étape essentielle dans tout projet ferroviaire, car elle permet de comprendre les mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines. En effet, les aménagements liés au projet modifient les écoulements naturels de l'eau, ce qui peut entraîner des perturbations hydrologiques.

Le présent chapitre vise à fournir les données hydrologiques nécessaires à la réalisation du projet d'embranchement du gisement minier de Blad El Hadba, s'étendant du point kilométrique PK08+000 au PK23+350. Ce tronçon de voie ferrée traverse plusieurs bassins versants, dont l'étude est indispensable pour évaluer les impacts du projet et concevoir les aménagements adéquats.

VII.1. Objectif :

Cette étude constitue une étape essentielle dans tout projet ferroviaire, car elle permet de comprendre les mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines. En effet, les aménagements apportés dans le cadre du projet peuvent perturber les écoulements naturels, entraînant ainsi des déséquilibres hydrologiques.

Le présent chapitre a pour objectif de fournir les données hydrologiques nécessaires à la conception et à la réalisation de l'embranchement ferroviaire du gisement minier de Bled El Hadba, s'étendant du point kilométrique PK08+000 au PK23+000.

Ce tronçon traverse plusieurs bassins versants, dont l'analyse est indispensable afin d'évaluer les impacts potentiels du projet et de définir les aménagements hydrauliques appropriés.

VII.2. Etude hydrologique :

VII.2.1. Situation géographique de la zone :

La wilaya de Tébessa se situe à la convergence de deux grands systèmes hydrographiques :

- Le bassin versant de l'Oued Medjerda, subdivisé en quatre sous-bassins, couvre la partie nord de la wilaya.
- Le bassin versant de l'Oued Melghir, quant à lui, s'étend sur la partie sud.

Dans cette dernière zone, l'écoulement des eaux est de type endoréique, c'est-à-dire qu'il ne rejoint pas la mer mais se concentre dans des dépressions fermées. Les oueds principaux qui drainent cette région sont : l'Oued Cheria, l'Oued Helail, l'Oued Mechra, l'Oued SafSaf, l'Oued Gheznet, l'Oued Djarech et l'Oued Sendess. Ces cours d'eau alimentent des zones d'épandage situées plus au sud.

Le réseau hydrographique local se caractérise par des oueds fortement incisés et profonds. Ils restent généralement à sec tout au long de l'année, ne s'activant que ponctuellement à la faveur des précipitations saisonnières.

La zone de Blad El Hadba dépend du bassin de l'Oued Horchane, qui s'écoule vers le sud

au sein du bassin versant saharien, avant de se jeter dans le Chott Melghir. Les eaux de ruissellement issues du site du projet s'écoulent principalement vers les bassins de l'Oued El Kef Guidoum et de l'Oued El Louz. Ces deux oueds confluent au sud-ouest de la zone du projet pour former l'Oued Horchane.

VII.2.2. Caractéristiques morphologiques et climatiques des bassins versants :

La détermination des caractéristiques des bassins versants consiste à calculer ou estimer les paramètres hydrologiques essentiels à l'évaluation des débits de crue.

Le point kilométrique (PK) permet de localiser avec précision le passage de la voie ferrée au niveau des cours d'eau. C'est à partir de ce repère que la délimitation des bassins versants a été réalisée.

Cette délimitation s'est appuyée sur les cartes d'état-major à l'échelle 1/50 000, en suivant les lignes de partage des eaux, définies selon l'orientation des courbes de niveau. Le réseau hydrographique a ensuite été établi par digitalisation du talweg (ou cours d'eau principal).

Les bassins versants ont été digitalisés sur les cartes topographiques à l'aide du logiciel AutoCAD, ce qui a permis de déterminer les paramètres suivants :

- La surface du bassin versant (**km²**) ;
- Le périmètre du bassin (**km**) ;
- La longueur du cours d'eau principal (**km**) ;
- L'altitude maximale (**m**) ;
- L'altitude minimale (**m**) ;
- L'altitude moyenne (**m**) ;
- La pente moyenne (**m/m**) ;
- L'indice de compacité de Gravelius (**Kc**), reflétant la forme du bassin.

$$Kc = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

VIII.2.2.1. Délimitation du bassin versant :

Le bassin versant fonctionne comme un réservoir naturel, collectant les précipitations et les canalisant vers un exutoire unique. Cette dynamique d'écoulement est influencé par les conditions climatiques locales ainsi que par les caractéristiques géographiques propres à la zone étudiée.

Dans le cadre de cette étape, les bassins versants intersectés par le tracé ferroviaire ont été délimités à l'aide du logiciel ArcGIS et InfraWorks, permettant une représentation précise de leur étendue et de leur structure.

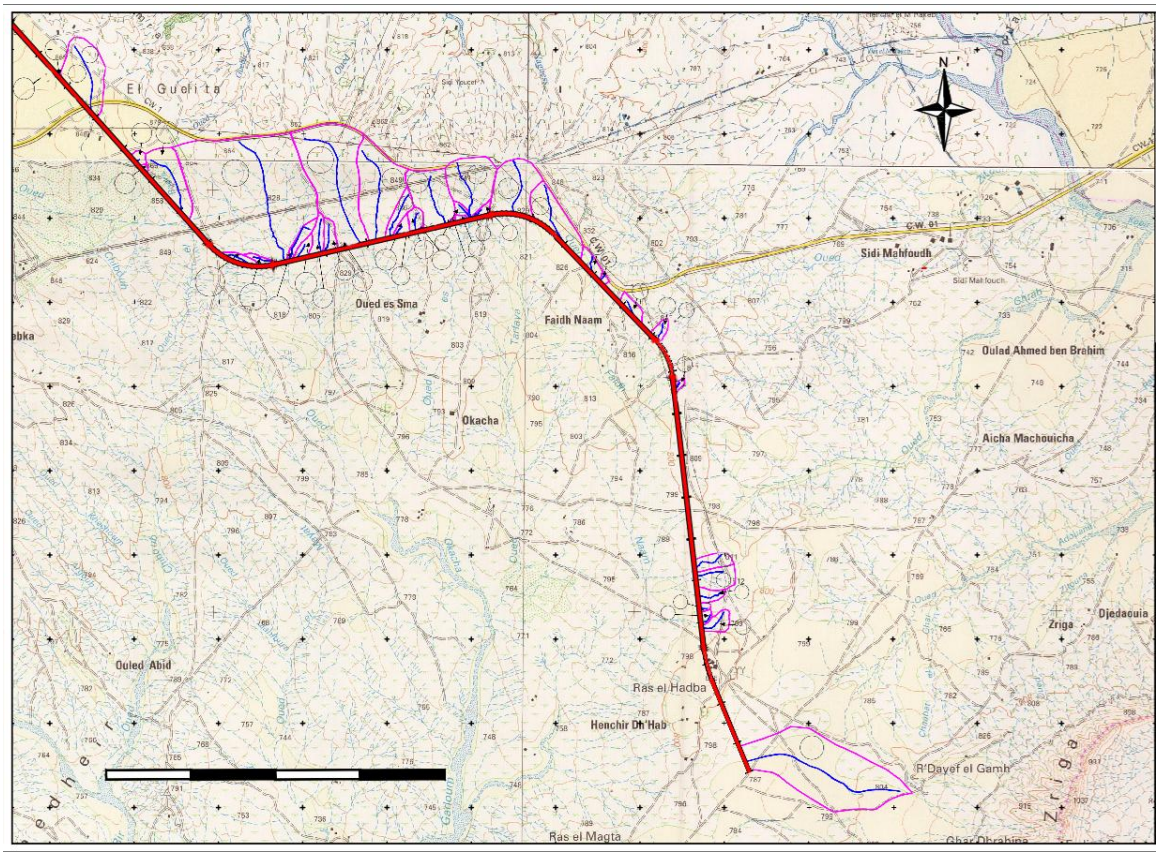


Figure VII.1 : La délimitation des bassins versants sur la carte d'état-major (ArcGIS)

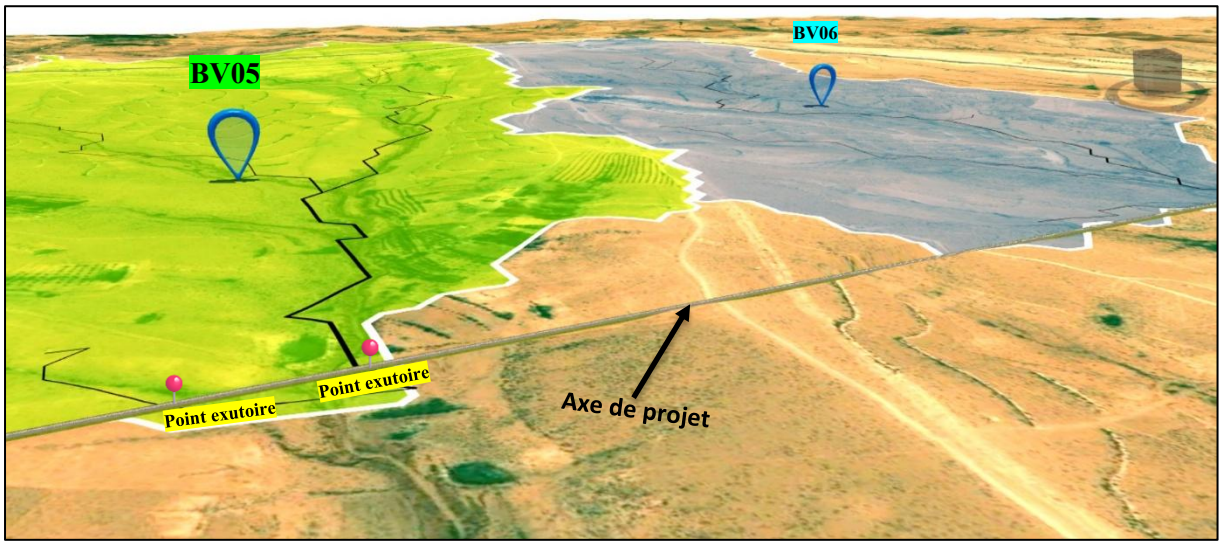


Figure II: Exemple de délimitation de deux bassins versants de notre tracé sur InfraWorks

VII.2.3. Le temps de concentration :

Pour le temps de concentration (Tc), la formule de de calcul a été choisie en fonction de la superficie du bassin versant :

a- Superficie inférieure à 5 km² :

Le temps de concentration est calculé par la formule de VENTURA :

$$\mathbf{Tc = 0.127 \times \sqrt{\frac{S}{I}}}$$

Tc : temps de concentration (heure) ;
S : superficie du bassin versant (Km²) ;
I : pente moyenne du bassin versant (m/m).

b- Superficie comprise entre 5 et 25 Km² :

Le temps de concentration est calculé par la formule de PASSINI : $\mathbf{Tc = 0.11 \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{I}}}$

Tc : temps de concentration (**heure**) ;
S : superficie du bassin versant (**Km²**) ;
L : longueur du cours d'eau principal (**Km**) ;
I : pente moyenne du bassin versant (**m/m**).

c- Superficie supérieure à 25 Km² :

Le temps de concentration est calculé par la formule de GIANDOTTI :

$$\boldsymbol{Tc = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}}}$$

Tc : temps de concentration (**heure**) ;

S : superficie du bassin versant (**Km²**) ;

L : longueur du cours d'eau principal (**Km**) ;

H_{moy} : altitude moyenne (**m**) ;

H_{min} : Altitude minimale (**m**).

Remarque : Le présent projet s'inscrit dans un vaste bassin versant présentant des caractéristiques hydrologiques variées. Afin d'améliorer la précision des estimations, l'utilisation de formules complémentaires s'est révélée nécessaire. Le temps de concentration a ainsi été déterminé en calculant la moyenne des valeurs les plus cohérentes entre elles.

➢ Les caractéristiques des paramètres des bassins versants correspondant aux oueds traversant la ligne minière dans le cadre de l'embranchement de Blad El Hadba sont présentées dans le tableau récapitulatif ci-après :

Tableau VII.1 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants (du PK 08+780 au PK 22+576)

BV n°	PK	S (km²)	P (km)	L (km)	H. max (m)	H. min (m)	I (m/m)	Tc (h)
1	**PK 08+780**	0.06	1.2	0.4	859	852	1,75	0,235
2	**PK 08+825**	0.39	2.8	0.8	860	846	1,75	0,600
3	**PK 09+113**	0.02	0.6	0.0	857	856	1,00	0,180
4	**PK 09+186**	0.01	0.4	0.1	860	855	5,00	0,057

5	**PK 10+504**	0.25	2.2	0.8	861	844	2,13	0,436
6	**PK 11+591**	0.03	1	0.4	845	829	4,00	0,110
7	**PK 11+866**	0.03	0.9	0.3	829	822	2,33	0,144
8	**PK 12+000**	1.89	5.5	1.6	839	815	1,50	1,426
9	**PK 12+035**	0.05	1.3	0.5	832	814	3,60	0,150
10	**PK 12+130**	0.04	0.9	0.2	828	822	3,00	0,147
11	**PK 12+418**	0.06	1.3	0.4	836	825	2,75	0,188
12	**PK 12+905**	0.02	0.7	0.1	830	826	4,00	0,090
13	**PK 12+917**	0.79	4.1	1.5	860	823	2,47	0,719
14	**PK 13+086**	0.48	3.1	1.2	850	822	2,33	0,576
15	**PK 13+253**	0.08	1.5	0.6	841	827	2,33	0,235
16	**PK 13+403**	0.01	0.5	0.1	835	832	3,00	0,073
17	**PK 13+571**	0.04	0.8	0.2	840	833	3,50	0,136
18	**PK 13+939**	0.02	0.6	0.1	838	835	3,00	0,104
19	**PK 13+960**	0.27	2.1	0.1	838	835	3,00	0,381
20	**PK 14+022**	0.005	0.3	0.0	832	831	1,11	0,085
21	**PK 14+225**	0.01	0.4	0.0	832	831	1,11	0,120
22	**PK 14+241**	0.02	0.7	0.2	850	829	10,50	0,055
23	**PK 14+267**	0.31	2.1	0.7	852	829	3,29	0,390
24	**PK 14+273**	0.002	0.2	0.1	831	829	2,00	0,040
25	**PK 14+281**	0.02	0.7	0.1	833	830	3,00	0,104
26	**PK 14+803**	0.31	2.4	0.7	829	827	0,29	1,323
27	**PK 15+594**	0.24	2.4	0.8	846	823	2,88	0,367
28	**PK 16+028**	0.05	1	0.2	830	818	6,00	0,116
29	**PK 16+077**	0.01	0.4	0.1	820	817	3,00	0,073
30	**PK 16+854**	0.04	1.0	0.2	821	814	3,50	0,136
31	**PK 17+310**	0.04	0.8	0.1	815	810	5,00	0,114
32	**PK 18+133**	0.002	0.2	0.0	806	806	1,11	0,054
33	**PK 19+834**	0.07	1.2	0.4	811	792	4,75	0,154
34	**PK 20+044**	0.11	1.3	0.3	812	792	6,67	0,163
35	**PK 20+316**	0.01	0.5	0.1	799	791	8,00	0,045
36	**PK 20+479**	0.01	0.3	0.1	795	791	4,00	0,064
37	**PK 20+519**	0.02	0.5	0.2	797	790	3,50	0,096
38	**PK 20+576**	0.06	1.0	0.4	799	791	2,00	0,220
39	**PK 22+576**	1.09	4.8	2.0	809	787	1,10	1,264

- Surface du bassin versant (**Km²**) ;
- Périmètre du bassin versant (**Km**) ;
- Longueur du plus long cours d'eau (**Km**) ;
- Altitude maximale (**m**) ;
- Altitude minimale (**m**) ;
- L'altitude moyenne (**m**) ;
- La pente (**m/m**) ;
- Le temps de concentration (**Tc**) en heure

VII.3. Caractéristiques climatiques :

VII.3.1. Précipitation :

L'étude pluviométrique revêt une importance majeure en hydrogéologie, car elle permet d'évaluer la lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin versant, ainsi que son impact sur l'alimentation de la nappe phréatique. Elle contribue également à la compréhension des modifications du comportement hydrodynamique de cette dernière. Les données pluviométriques utilisées dans cette étude ont été collectées auprès de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (A.N.R.H.) et de l'Office National de la Météorologie (O.N.M.), organismes de référence en matière de données climatiques et hydrologiques en Algérie. L'analyse des précipitations annuelles dans la région d'étude révèle une variabilité significative au cours de la période 1997-2020, comme l'illustre le tableau ci-dessous :

Tableau VII.2 : Précipitations moyenne annuelle

Station de Tébessa	Précipitation	P min	P max	P moy
	Valeur (mm)	149.1	650.4	360.7
	Année d'observation	2000-2001	2003-2004	-

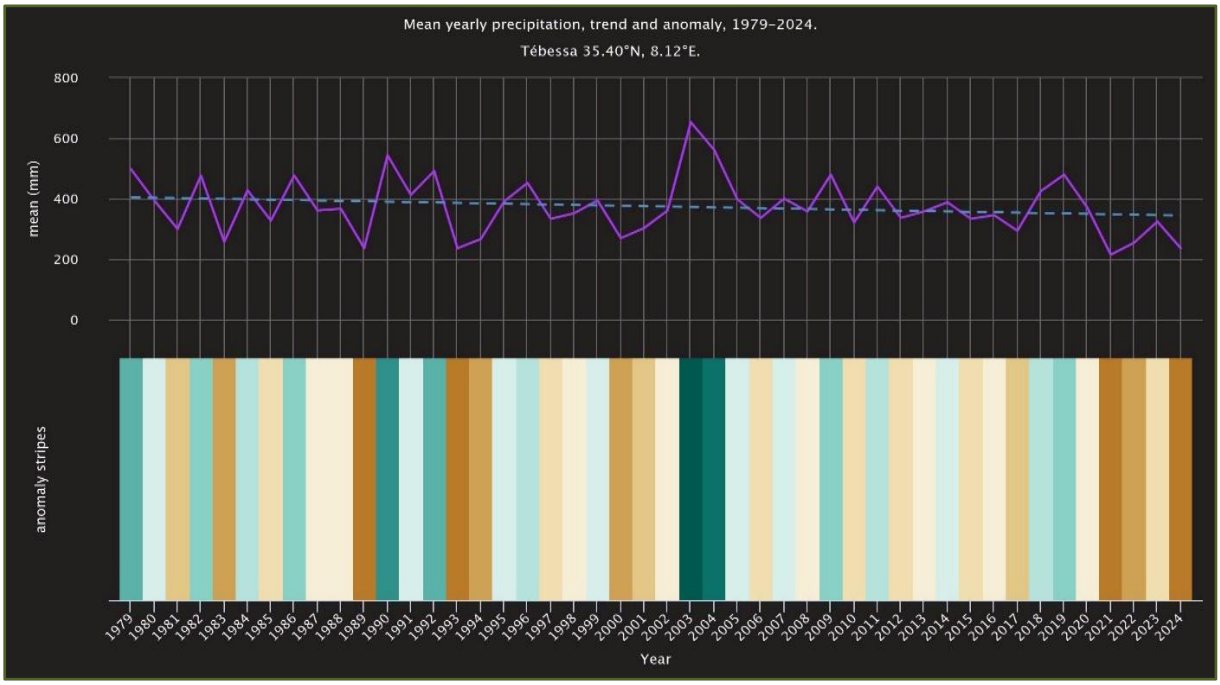


Figure VII.3 : Changement annuel de précipitation – Tébessa (source meteoblue.com)

Remarque : le graphique supérieur montre une estimation des précipitations totales moyennes pour la région de Tébessa. La ligne bleue en pointillés représente la tendance linéaire du changement climatique.

Si la ligne de tendance monte de gauche à droite, la tendance des précipitations est positive et il devient plus humide la région de Tébessa en raison du changement climatique.

Si elle est horizontale, aucune tendance claire n'est observée et si elle descende, les conditions à Tébessa deviennent plus sèches au fil du temps. Dans la partie inférieure, le

graphique montre les bandes des précipitations.

Chaque bande de couleur représente les précipitations totales d'une année - vert pour les années les plus humides et marron pour les années les plus sèches.

VII.3.2. Pluie annuelle :

L'ajustement à une loi normale des pluies annuelles des stations de nous montre que les distributions statistiques dans notre région présentent un caractère nettement symétrique. Dans le tableau suivant nous présentons les pluies annuelles pour différentes fréquences pour la station de Bir El Ater :

Tableau VII.3 : Valeurs des pluies annuelles selon les fréquences choisies.

Fréquence	0,99	0,98	0,95	0,9
Bir El Ater	316,9	357,1	402,3	432,4

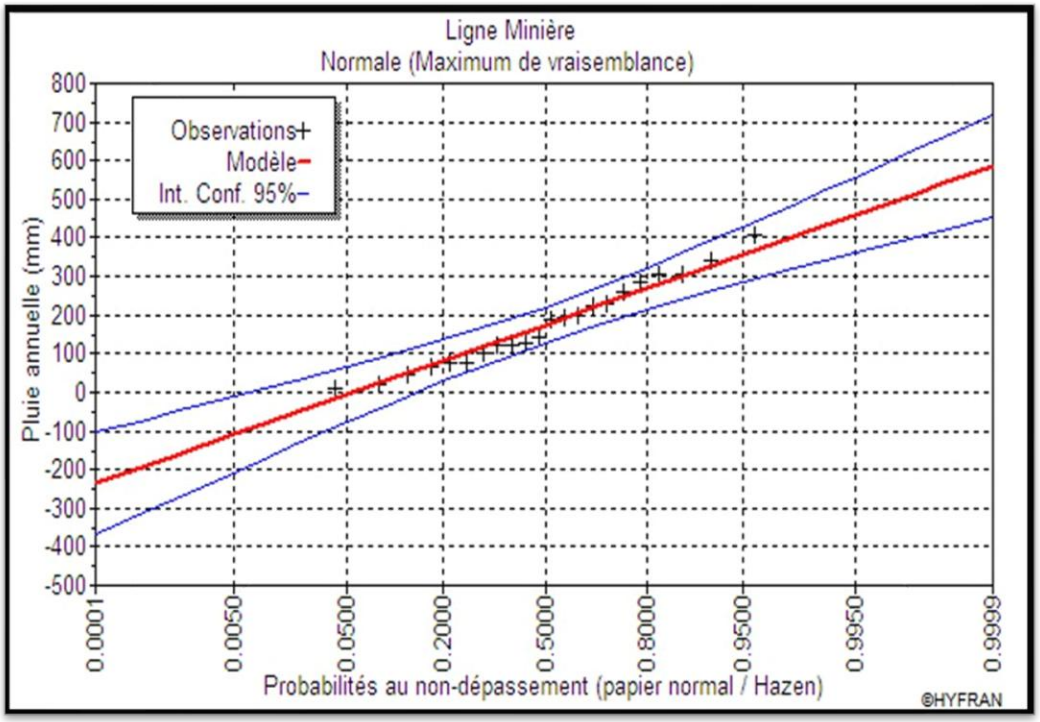


Figure VII.4 : Ajustement de la pluie annuelle à la loi normale, station de Bir El Ater.

VII.3.3. Pluie journalière :

La protection contre les dommages liés aux eaux pluviales impose l'analyse des précipitations journalières maximales enregistrées chaque année. En théorie, ces valeurs extrêmes suivent une loi statistique des valeurs extrêmes. En Algérie, il a été établi que ces précipitations extrêmes s'ajustent particulièrement bien à la loi de Gumbel. Le tableau ci-dessous présente les hauteurs maximales de pluie journalière relevées dans les stations sélectionnées, en fonction de différentes périodes de retour (ou fréquences).

Tableau VII.4 : Valeurs des pluies journalières selon les fréquences choisies pour la station de Bir El Ater.

Fréquence	0,99	0,98	0,95	0,9
Bir El Ater	37,06	42,24	48,95	53,99

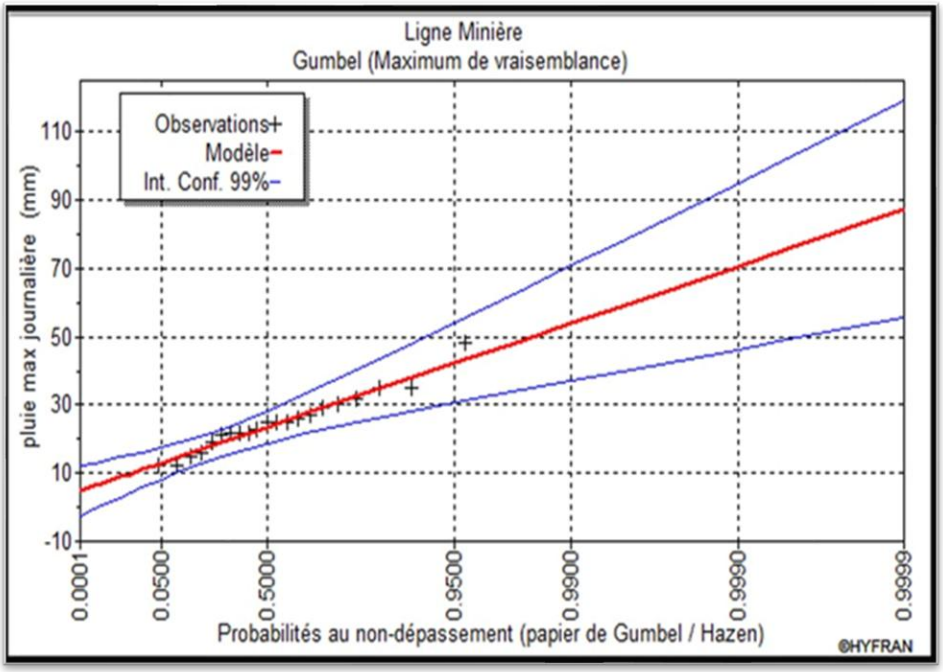


Figure VII.5 : Ajustement des pluies maximales journalières à la loi de Gumbel, Station de Bir El Ater.

VII.3.4. Climat :

a) Température :

La région de l'étude est caractérisée par un climat méditerrané avec un été chaud et un hiver froid avec des températures moyennes annuelles de l'ordre de 15.8°C pour Tébessa et de 14.2°C pour El Ma Labiod.

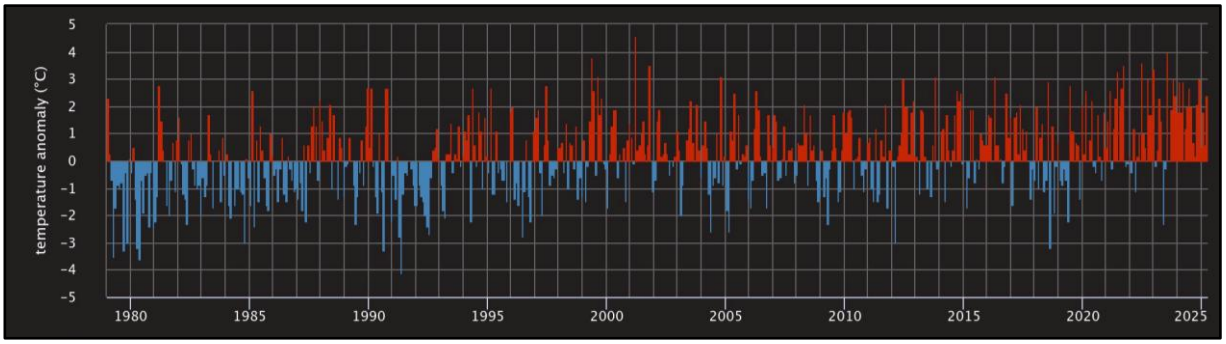


Figure VII.6 : Anomalies mensuelles de température - Changement climatique Bir El Ater.

Remarque : le graphique montre l'anomalie de température pour chaque mois depuis 1979 jusqu'à aujourd'hui. L'anomalie vous indique de combien il a fait plus chaud ou plus froid que la moyenne climatique sur 30 ans de 1980 à 2010. Ainsi, les mois rouges ont été plus chauds

et les mois bleus plus froids que la normale. Dans la plupart des endroits, on constate une augmentation des mois plus chauds au fil des ans, ce qui reflète le réchauffement de la planète associé au changement climatique.

Tableau VII.5 : Moyenne annelles et mensuelles des températures par période pour chacune des stations de Tébessa et El Ma Labiod (source ONM).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne Annuelle
El Ma Labiod 1980-2010	21.28	16.82	11.37	7.01	6.17	7.29	10.06	12.96	17.98	22.89	26.42	25.51	15.48
Tébessa 1980-2010	21.73	17.27	11.82	7.46	6.62	7.74	10.51	13.41	18.43	23.34	26.87	25.96	15.93

b) Humidité (les zones bioclimatiques) :

La combinaison des précipitations et des températures caractérise le rythme climatique à dominance méditerranéenne régnant à travers l'Est algérien : la saison froide et humide s'oppose à la saison chaude et sèche. Cette dernière s'accroît vers le Sud jusqu'à couvrir les douze mois de l'année en zone aride. Calculée en chaque lieu, cette combinaison pluviothermique permet de définir des domaines bioclimatiques. C'est grâce à un tracé sur un clima-gramme combinant Q (quotient pluviothermique d'Emberger) en ordonnée et m (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) en abscisse, que sont définies les limites entre les quatre grands types de bioclimats méditerranéens :

- Humide (pluviométrie annuelle P supérieure à 900 mm) ;
- Forte humidité de l'air,
- Subhumide (P > 600 mm environ) ;
- Semi-aride (300-350 < P < 550-600 mm, net déficit hydrique) ;
- Subaride (P < 350 mm, nombre de mois secs > nombre mois humides) ;
- Aride (P < 150 mm, 12 mois biologiquement secs).

La carte au 1/ 1000 000 de Côte. M. (1998), réalisée suivant ce principe est corroborée à la connaissance des milieux naturels et particulièrement, des groupements végétaux, est illustrative : brutalité des contrastes et disposition en bandes zonales longitudinales rappellent celles du relief et des précipitations.

D'après cette carte la zone d'étude est caractérisée par un climat subaride (au niveau de Blad El Hadba).

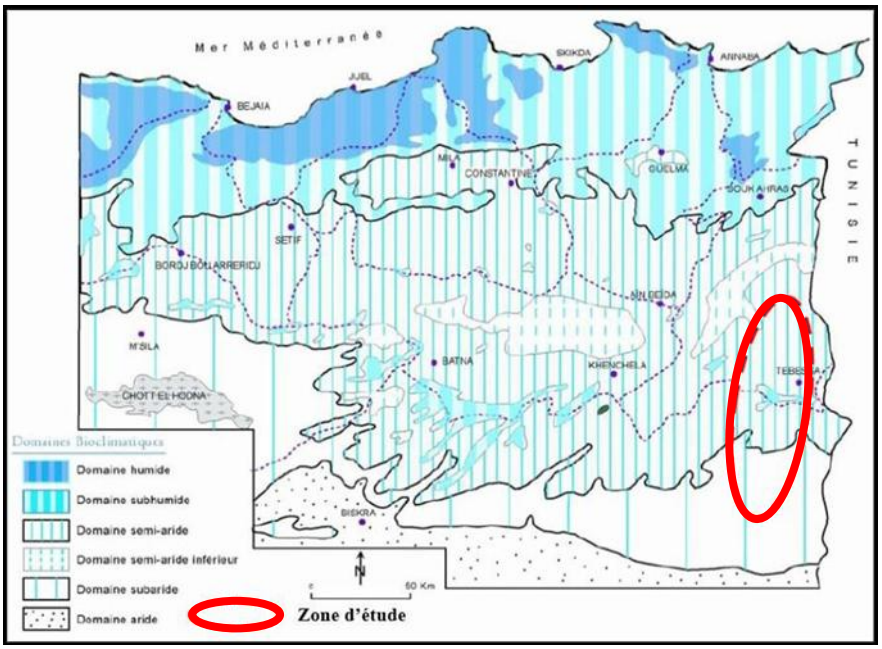


Figure VII.7 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien

VII.3.5. Calcul de l'intensité de pluie :

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques. A partir des dépouillements à intensités constantes, on a calculé les quantités de pluies correspondantes à différents pas de temps (1h, 2h, 3h, 6h, 12h et 24 h).

Pour chaque pas de temps nous avons sélectionné une valeur maximale par averse. Nous avons obtenu donc une série de données pour chaque pas de temps sur toute la période dépouillée. La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme :

$I(t,T) = a(T)/tb$

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

Tableau VII.6 : Valeurs du paramètre (a) selon les fréquences, au niveau de la station de Saf Saf El Ouisra

T(h)	2	5	10	20	50	100
a(T)	13,9	20,8	25,4	29,8	35,5	39,7

Tableau VII.7 : Valeurs du paramètre « b » pour la station de Safsaf El Ouesra.

Station	b
Saf Saf El Ouisra	0,79

La relation sera donc : $I(t.T) = a(T) / t0.79$

Avec : $b = 0.76$ selon la station de Safsaf El Ouesra.

Tableau VII.8 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour.

Durée	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
15 min	41.56	62.19	75.94	89.09	106.13	118.69
30 min	24.03	35.96	43.92	51.53	61.38	68.64
1 h	13.9	20.8	25.4	29.8	35.5	39.7
2 h	8.04	12.03	14.69	17.23	20.53	22.96
3 h	5.84	8.73	10.66	12.51	14.9	16.67
6 h	3.38	5.05	6.17	7.24	8.62	9.64
12 h	1.95	2.92	3.57	4.18	4.99	5.57
24 h	1.13	1.69	2.06	2.42	2.88	3.22

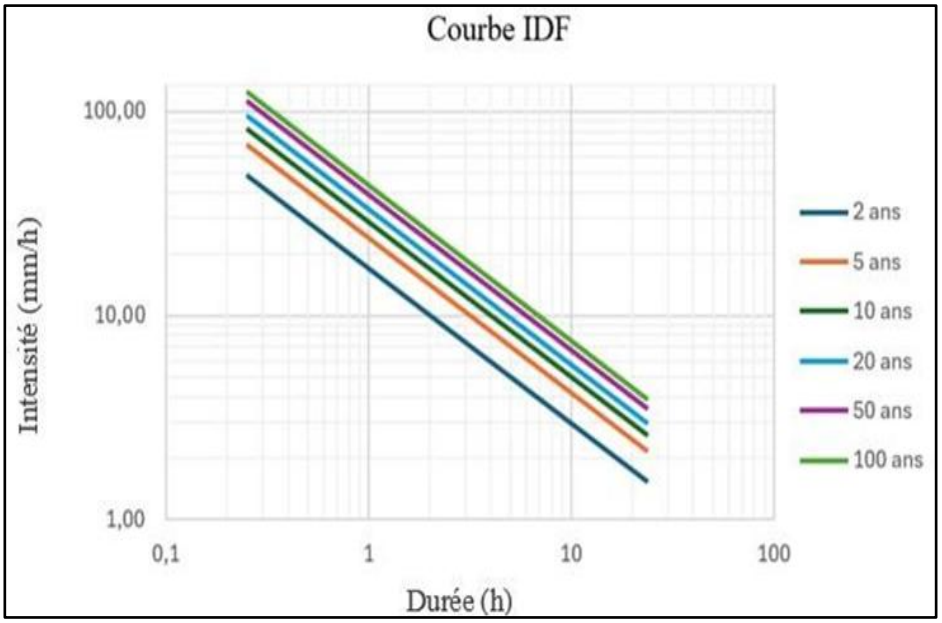


Figure VII.8 : Courbe intensité - durée – Fréquence (IDF)

VII.3.6. Calcul débit des bassins versant (les crues) :

La détermination du débit maximal d'un cours d'eau revêt une importance capitale en raison des conséquences souvent destructrices associées aux crues. Lors de la planification d'ouvrages majeurs, il est indispensable d'estimer la crue maximale probable, afin d'assurer la protection adéquate de ces infrastructures.

Cette crue maximale est généralement définie par trois paramètres essentiels :

- Le débit maximal ;
- La durée de la crue ;
- Le volume total écoulé pendant la crue.

Dans le cas présent, aucune donnée hydrométrique n'est disponible pour la zone étudiée. De plus, la recherche de bassins versants comparables, dotés de stations hydrométriques dans la région, n'a pas abouti à des résultats exploitables.

Face à cette absence de données, l'évaluation des débits maximaux aux points de franchissement les plus critiques repose sur l'utilisation de formules empiriques. Ces formules prennent en compte les précipitations ainsi que certaines caractéristiques physiques des bassins versants.

- **Formule Rationnelle :** $Qmax=0.278\times Cr\times I\times S$

Qmax : débit de crue de période de retour voulue (**m3/s**) ;

Cr : coefficient de ruissellement ;

I : Intensité de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h) ;

S : superficie du bassin versant (Km²)

Pour la détermination du coefficient du ruissellement, on a opté pour la méthode de KENESSEY :

Cr = C1+C2+C3

Avec :

Cr : coefficient de ruissellement

Les valeurs des pentes ont été représentées dans le tableau des caractéristiques morphométriques des bassins versants des écoulements superficiels traversés par le tracé du projet de l'embranchement de Blad El Hadba (**Tableau VIII.1**). Néanmoins, une carte des pentes a été réalisée pour les sous bassins versants traversés par le tracé (**CHAPITRE IX-Figure IX.3**).

D'après cette carte, les pentes sont subdivisées en 09 classes de valeurs :

Tableau VII.9 : Classes de Pente.

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Pente (%)	0–2.5	2.5–4.7	4.7–7.7	7.7–11.3	11.3–15.4	15.4–20.3	20.3–26.7	26.7–36.3	36.3–70.1

Les faibles valeurs se concentrent au niveau des vallées des écoulements superficiels, et les plus importantes sont observées au niveau des reliefs des massifs montagneux qui existent sur la zone d'étude, constituant la limite des sous bassins versants.

C2 : dépend de la perméabilité du terrain, il varie :

Tableau VII.10 : Valeur de C2

La perméabilité	C2
Les terrains imperméables	0.22 – 0.3
Les terrains pas assez perméables	0.10 – 0.2
Les terrains perméables	0.06 – 0.1
Les terrains très perméables	0.05 – 0.06

D'après la carte de Bir El Ater de schéma structural de la région. (**Figure VII.9**), Les terrains traversés se résument en des formations quaternaires, constituées par des alluvions déposées sur les écoulements superficiels et des formations miocènes, constituées par des argiles et des grès mal consolidés. Les formations éocènes et crétacées affleurent au niveau des massifs montagneux tels que djebel El Onk (à l'Ouest) et djebel Zriga (au Sud-est) et constituées par argiles, des marnes et des calcaires.

Cependant, les terrains rocheux tels que les calcaires, les marnes, les argiles se caractérisent par une mauvaise perméabilité et les formations alluvionnaires se caractérisent par une perméabilité moyenne à bonne.

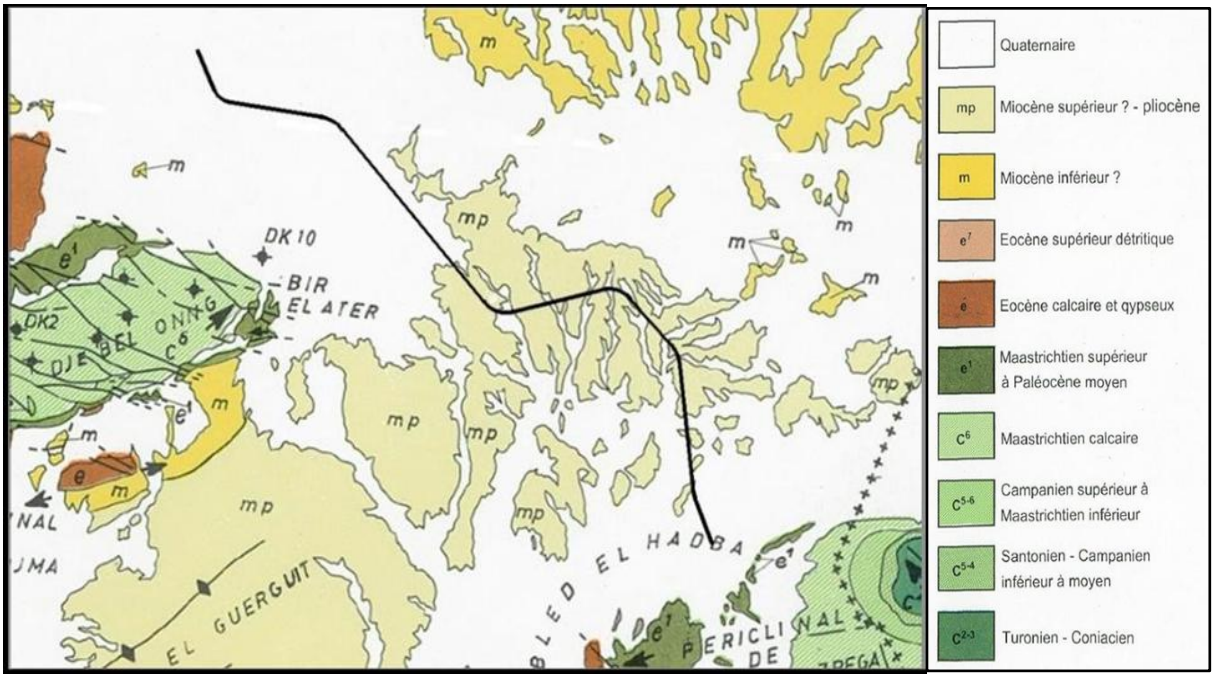


Figure VII.9 : Tracé de l'embranchement de Blad El Hadba sur le schéma structural de la région.

C3 : dépend de la couverture végétale du bassin versant, il varie :

Tableau VII.11 : Valeur de C3

La couverture végétale	C3
Les terrains rocheux	0.22 – 0.3
Les Prés	0.17 – 0.25
Les champs labours	0.07 – 0.15
Les forêts et les sols sableux	0.03 – 0.05

Pour pouvoir estimer les valeurs de ce coefficient, on a utilisé la carte d'affectation des terres de la wilaya de Tébessa (**Figure VII.9**).

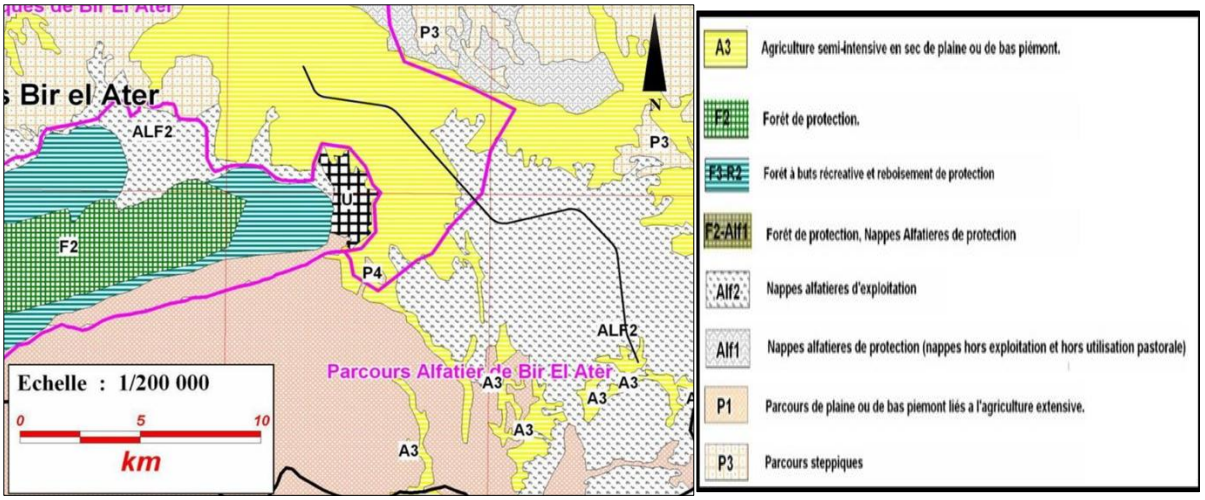


Figure VII.10: Tracé sur la carte d'affectation des terres

Tableau VII.12 : Résultats des valeurs des coefficients de ruissellement et des débits calculés (PK 08+780 au PK 22+576).

BV n°	PK	Cr	Q (100)
	-	-	m^3/s
1	PK 08+780	0,4	0,83
2	PK 08+825	0,4	2,58
3	PK 09+113	0,4	0,34
4	PK 09+186	0,45	0,48
5	PK 10+504	0,4	2,13
6	PK 11+591	0,45	0,85
7	PK 11+866	0,4	0,61
8	PK 12+000	0,4	6,30
9	PK 12+035	0,45	1,11
10	PK 12+130	0,4	0,80
11	PK 12+418	0,4	0,99
12	PK 12+905	0,45	0,67
13	PK 12+917	0,4	4,52
14	PK 13+086	0,4	3,27
15	PK 13+253	0,4	1,11
16	PK 13+403	0,4	0,35
17	PK 13+571	0,4	0,85
18	PK 13+939	0,4	0,53
19	PK 13+960	0,4	2,55
20	PK 14+022	0,4	0,15
21	PK 14+225	0,4	0,23
22	PK 14+241	0,45	0,98
23	PK 14+267	0,4	2,88
24	PK 14+273	0,4	0,11
25	PK 14+281	0,4	0,53
26	PK 14+803	0,4	1,10
27	PK 15+594	0,4	2,34
28	PK 16+028	0,45	1,36
29	PK 16+077	0,4	0,35
30	PK 16+854	0,4	0,85
31	PK 17+310	0,45	1,11
32	PK 18+133	0,4	0,09
33	PK 19+834	0,45	1,52
34	PK 20+044	0,45	2,29
35	PK 20+316	0,45	0,58
36	PK 20+479	0,45	0,44
37	PK 20+519	0,4	0,56
38	PK 20+576	0,4	0,88
39	PK 22+576	0,4	4,00

VII.4. Assainissement :

VII.4.1. Méthode de Manning-Strickler :

Les écoulements superficiels interceptés par l'infrastructure ferroviaire seront rétablis par la mise en place d'ouvrages hydrauliques adaptés et réalisés dans les règles de l'art. Ces ouvrages seront dimensionnés pour un évènement pluvieux d'occurrence centennale.

Le calcul du débit de saturation est déterminé par la formule de Manning Strickler :

$$Qs = Ks\ Sm\ Rh^{2/3}\ I^{1/2} \qquad \text{et} \qquad Rh = \frac{Sm}{Pm}$$

Avec :

- **Qs [m³/s]** : Débit de saturation de l'ouvrage.
- **Ks :** Coefficient de rugosité pour le béton **Ks=70.**
- **Sm [m²]** : Section mouillée de l'ouvrage hydraulique.
- **Rh [m]** : Rayon hydraulique.
- **I [m/m]** : Pente longitudinale de l'ouvrage

VII.4.2. Dimensionnement des ouvrages transversaux :

Les dimensions sélectionnées pour les ouvrages sont celles qui satisfont aux deux critères suivants : **Q100 < Qps**

Avec :

Q100 : débit d'apport (de projet **Qmax**).
Qps : le débit de saturation de l'ouvrage.

VII.4.3. Les conditions d'auto-curage :

L'auto-curage fait référence à la faculté naturelle d'un réseau d'assainissement à entraîner les matières solides avec l'écoulement. Pour que ce processus soit efficace, le flux doit être suffisamment puissant pour empêcher la déposition et l'accumulation des solides au sein du réseau. Les conditions nécessaires à cela sont les suivantes :

- **Qa < Qs** (Avec **Qa** débit d'apport et **Qs** le débit de saturation de l'ouvrage).
- **Vps < 4.45 m/s.**

VII.4.4. Les buses :

En utilisant la méthode des itérations, il s'agit de déterminer le diamètre D de la buse en considérant une hauteur de remplissage égale à **0,8D**. Cette condition permet d'établir l'égalité entre le débit estimé à l'aide de la formule de Manning-Strickler et le débit que peut effectivement évacuer la buse.

❖ Exemple de calcul :

- Prenons le **BV N14** : Qmax = 3,27 m3/s ; Ks = 70 ; I = 0.005 m/m.

Par itération on trouve pour D = 1,326 m ; on obtient Qs = 3.27 m3/s

On adopte un diamètre commercial : D = 1.5 m.

$$Qps = Ks.\sqrt{I}\frac{(\frac{D^2(Q-sin\emptyset)}{R})^{\frac{5}{3}}}{(\frac{1}{2}\emptyset\ x\ D)^{\frac{2}{3}}} = \mathbf{7{,}84 > 3.27\ m3/s}$$

$$Sm = \frac{D^2}{8}(\emptyset - sin\emptyset) = 1.77\ m^2$$

$$Vps = \frac{Qps}{Sm} = \frac{7.84}{1.77} = 4.44 < 4.45m^2.$$

$$Rq = \frac{Qmax}{Qps} = 0.1 \text{ donc rv=0.64}$$

$$V = Vps\ x\ rv = 4.44\ x\ 0.64 = \mathbf{2.84m/s > 0.6m/s}$$

$$Rq = \frac{Qmax}{Qps} = 0.01 \text{ donc rv=0.32}$$

$$V = Vps\ x\ rv = 4.44\ x\ 0.32 = \mathbf{1.42m/s > 0.3m/s}$$

VII.4.5. Les dalots :

Lors de la conception d'un canal de section rectangulaire (HxB), il convient de déterminer sa surface transversale ainsi que la hauteur d'eau requise, en veillant à ce que le niveau de remplissage **Hu = 80 %** de la hauteur totale Ht si Ht < 2.5m et Hu = Ht-0.5 si Ht > 2.5m avec un débit maximal **Qmax =Qps.**

$$\mathbf{Qps = Ks\ I^{1/2}\ Sm\ Rh^{2/3}}$$

$$\boldsymbol{Qmax = Ks\ x\ I^{0.5}\ x\ (0.80\ x\ H\ x\ B)\frac{(0.80\ x\ H\ x\ B)^{\frac{2}{3}}}{B + 1.5H}}$$

Pour dimensionner le dalot, on commence par fixer une valeur pour la largeur B, puis on applique une méthode itérative afin de calculer la hauteur H, en s'appuyant sur la formule suivante :

$$\boldsymbol{H_{i+1} = (\frac{Qmax}{Ks\ x\ \sqrt{I}})^{\frac{3}{5}}\ x\ \frac{(B + 1.5H_i)^{\frac{2}{5}}}{0.80\ x\ B}}$$

❖ Exemple de calcul pour notre projet :

On prend le **BV N13** : Qmax =4.52 m3/s ; Ks = 70 ; I = 0.007 m/m ; B=2m. après le calcul itératif de l'équation précédente on obtient : H = 1.2624 m. On prend H = 2 m.

Le dalot retenu (B x H) = (2m x 2m).

S_m = 3.2 m; Pm = 5.2 m; Rh = 0.6154 m.

$$Qps = Ks\ \sqrt{I}\ Sm\ Rh^{2/3} = 70\ x\ \sqrt{0.007}\ x\ 3.2\ x\ 0.6154^{2/3} = 13.56\ m^3/s > 4.52\ m^3/s.$$

$$H_c = \sqrt[3]{\frac{Qps}{g\ x\ B^2}} = 0.487\ m < 0.80\ H = 1.6\ m \text{ (condition de régime fluviale)}$$

$$V_{ps} = \frac{Qps}{Sm} = \mathbf{4.24\ m/s < 4.45\ m/s}$$

Tableau VII.13 : Dimensionnement des buses.

N° BV	PK	Q_{100} (m^3/s)	Pente (%)	Ks	$D_{calculé}$ (m)	Dimension de l'ouvrage			n	Qps (m^3/s)	h_{utile} (m)	S_m (m^2)	Vps < 4.45 m/s	V > 0.6 m/s	V > 0.3 m/s	Vérification
1	PK 08+780	0,83	0,1	70	1,072	Buse	Φ	2000	2	10,54	1.00	3,14	3,35	2,14	1,07	OUI
2	PK 08+825	2,58	0,3	70	1,334	Buse	Φ	1500	2	6,05	0.75	1,77	3,42	2,19	1,09	
3	PK 09+113	0,34	0,7	70	0,534	Buse	Φ	1500	1	1,69	0.75	0,44	3,82	2,44	1,22	
6	PK 11+591	0,85	0,2	70	0,950	Buse	Φ	1500	2	6,19	0.75	1,77	3,50	2,24	1,12	
7	PK 11+866	0,61	0,2	70	0,839	Buse	Φ	1500	2	6,72	0.75	1,77	3,81	2,43	1.21	
8	PK 12+000	6,30	Déverser dans l'ouvrage d'art du PK 11+996 au PK 12+063													
9	PK 12+035	1,11														
10	PK 12+130	0,80	0,2	70	0,930	Buse	Φ	1500	2	6,28	0.75	1,77	3,55	2,27	1,13	
12	PK 12+905	0,67	0,8	70	0,668	Buse	Φ	1500	1	1,55	0.75	0,44	3,52	2,25	1.12	
14	PK 13+086	3,27	0,5	70	1,326	Buse	Φ	1500	2	7,84	0.75	1,77	4,44	2,25	1,12	
15	PK 13+253	1,11	0,3	70	0,972	Buse	Φ	1500	2	7,47	0.75	1,77	4,23	2,83	1,41	
16	PK 13+403	0,35	Assainissement longitudinal													
17	PK 13+571	0,85														
18	PK 13+939	0,15	0,7	70	0,628	Buse	Φ	1500	1	1,51	0.75	0.44	3.43	2,19	1,09	
20	PK 14+022	0,23	0,6	70	0,408	Buse	Φ	1500	1	1,87	0.75	0,44	4,23	2,19	1,09	
21	PK 14+225	0,98	0,6	70	0,477	Buse	Φ	1500	1	1,68	0.75	0,44	3,81	2,70	1,35	
22	PK 14+241	2,88	0,9	70	0,754	Buse	Φ	1500	1	1,52	0.75	0,44	3,44	2,43	1,21	
23	PK 14+267	0,11	0,4	70	1,317	Buse	Φ	1500	2	7,04	0.75	1,77	3,99	2,20	1,10	

24	**PK 14+273**	0,53	0,5	70	0,374	Buse	Φ	1500	1	1,81	0.75	0,44	4,09	2,55	1,27	
25	**PK 14+281**	1,10	0,9	70	0,599	Buse	Φ	1500	1	1,77	0.75	0,44	4,01	2,62	1,31	
26	**PK 14+803**	2,34	0.9	70	0,788	Buse	Φ	1500	1	1,48	0.75	0,44	3,34	2,56	1,80	
27	**PK 15+594**	1,36	0,4	70	1,219	Buse	Φ	1500	2	7,42	0.75	1,77	4,20	2,13	1,06	
28	**PK 16+028**	0,35	0,1	70	1,290	Buse	Φ	1500	2	3,57	0.75	1,77	2,02	1,29	0,64	
29	**PK 16+077**	0,85	0,6	70	0,553	Buse	Φ	1500	1	1,53	0.75	0,44	3,46	2,30	1,15	
30	**PK 16+854**	0,15	0,9	70	0,718	Buse	Φ	1500	1	1,57	0.75	0,44	3,56	2,21	1,10	
36	**PK 20+479**	0,15	0,8	70	0,571	Buse	Φ	1500	1	4,23	0.75	0,44	3,90	2,27	1,13	
37	**PK 20+519**	0,23	0,8	70	0,627	Buse	Φ	1500	1	1,72	0.75	0,44	3,67	2,43	1,21	
38	**PK 20+576**	0,98	0,9	70	0,724	Buse	Φ	1500	1	1,62	0.75	0,44	3,53	2,20	1,10	
39	**PK 22+576**	2,88	0,5	70	1,429	Buse	Φ	1500	2	1,56	0.75	1,77	4,22	2,55	1,27	

Avec :

Φ : diamètre de l'ouvrage (m).

Qps : débit à pleine section (m^3/s).

V : vitesse d'écoulement dans la buse (m/s).

n : le nombre des ouvrages à mettre.

Tableau VII.14 : Dimensionnement des dalots

N° BV	PK	Q100 (m3/s)	Ks	Pente (%)	Dimension de l'ouvrage				S_m (m^2)	P_m (m)	Rh (m)	Qps>Q100 (m3/s)	Hu (m)	Vps < 4.45 m/s	Vérification
					B	x	H	n							
4	PK 09+186	0,48	Assainissement longitudinal												OUI
5	PK 10+504	2,13	70	0,9	1.5	x	1	1	1,20	3,10	0,39	4,23	0.8	3,53	
11	PK 12+418	0,99	70	0,9	1.5	x	1	1	1,20	3,10	0,39	4,23	0.8	3,53	
13	PK 12+917	4,52	70	0,7	2	x	2	1	3,20	5,20	0,62	13,56	1.6	4,24	
19	PK 13+960	2,55	70	0,7	1.5	x	1.5	1	1,80	3,90	0,46	6,30	1.2	3,50	
31	PK 17+310	1,11	Assainissement longitudinal												
32	PK 18+133	0,09	70	0,9	1.5	x	1	1	1,20	3,10	0,39	4,23	0.8	3,53	
33	PK 19+834	1,52	70	0,9	1.5	x	1	1	1,20	3,10	0,39	4,23	0.8	3,53	
34	PK 20+044	2,29	70	0,9	1.5	x	1	1	1,20	3,10	0,39	4,23	0.8	3,53	
35	PK 20+316	0,58	70	0,9	1.5	x	1	1	1,20	3,10	0,39	4,23	0.8	3,53	

Avec :

B : largeur de l'ouvrage (m).

H : hauteur de l'ouvrage (m).

H_u : hauteur utile de l'ouvrage (m).

Qps : débit à pleine section (m^3/s).

V : vitesse d'écoulement dans le dalot (m/s).

Rh : le rayon hydraulique

VII.4.6. Assainissement longitudinal :

Les dispositifs de drainage longitudinal ont pour rôle de collecter et d'évacuer les eaux pluviales s'écoulant sur la plate-forme, celles provenant du ruissellement des talus et bassins versants, ainsi que les éventuelles eaux internes.

Les deux premiers types d'eaux peuvent être traités à l'aide de systèmes peu profonds, permettant d'assainir les structures d'assise. En revanche, le traitement des eaux internes ou de nappe phréatique nécessite des ouvrages plus profonds, capables d'abaisser le niveau de la nappe et de drainer la plate-forme sur une hauteur suffisante.

L'étude du système de drainage longitudinal doit garantir une continuité hydraulique depuis tout point de la plateforme jusqu'à l'exutoire.

Les dispositifs de drainage peuvent être classés selon :

- Leur position : drainages en déblai ou en remblai (les remblais d'une hauteur inférieure à 1,50 m sont généralement traités comme des déblais en matière de drainage) ;
- Leur nature : systèmes à ciel ouvert (tels que fossés et cunettes) ou enterrés (collecteurs avec ou sans fonction drainante) ;
- Par leur destination : drainages superficiels, destinés uniquement à capter les eaux de ruissellement, et drainages profonds conçus pour capter également les eaux souterraines.

En général, les remblais nécessitent des drainages superficiels, sauf cas particuliers liés à des contraintes géotechniques, tandis que les déblais peuvent justifier l'emploi de drainages soit superficiels soit profonds.

VII.4.7. Dimensionnement des fossés :

L'évacuation efficace des eaux issues des talus et des pentes adjacentes vers la plateforme ferroviaire constitue un enjeu majeur. Elle est assurée grâce à un dispositif de drainage longitudinal, tel que les fossés, qui permettent de canaliser les eaux de ruissellement, de maintenir la stabilité des talus et de protéger les infrastructures ferroviaires. Ce système contribue ainsi à la sécurité et à la pérennité de la voie ferrée.

Dans ce cadre, une analyse du profil en travers et des caractéristiques du terrain naturel a été réalisée afin d'identifier les surfaces à drainer. Le type de fossé retenu pour ce projet est le type 01.

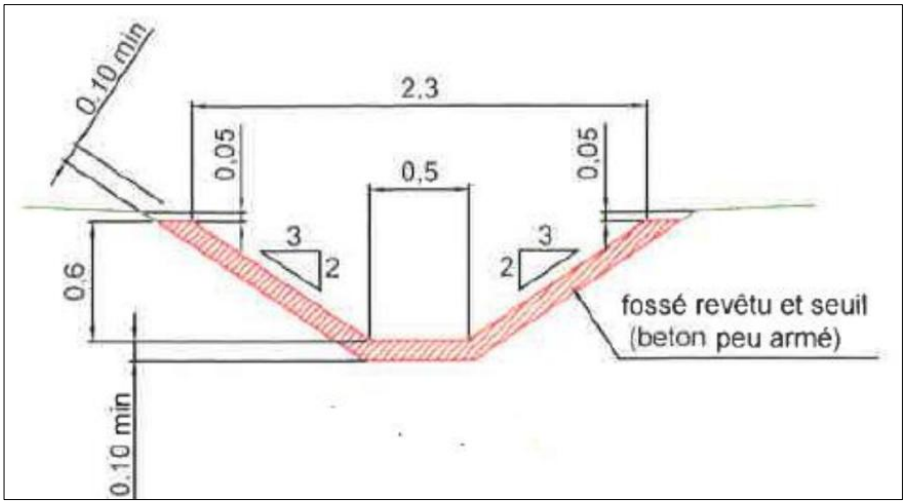


Figure VII.11 : fossé type 01

Pour le calcul hydraulique de fossé, la formule de **Manning Strickler** a été utilisée :

z = 1.082 m

Sm = (b + z × h) × h = 0.68952 m²

Pm = b + 2h. $\sqrt{1+z^2}$ **=2.268 m²**

$$\mathbf{Pm} = \frac{\mathbf{Sm}}{\mathbf{Pm}} = \mathbf{0.303m.}$$

❖ **Hypothèses adoptées pour le dimensionnement :**

Le coefficient de rugosité de Strickler est fixé à Ks = 70, correspondant à un revêtement en béton. Le débit à évacuer est obtenu en additionnant les contributions des différentes surfaces, à savoir la plateforme, les bermes et les talus : **Qa = Qpf + Qt + QB**

En zone de déblai, la pente des fossés est supposée suivre celle du profil en long de la voie. Le cas le plus défavorable est retenu pour le calcul, correspondant à un déblai et remblai de droite longueur et de hauteur significative.

Les débits sont évalués à l'aide de la méthode rationnelle, selon la formule suivante :

Q = 0,278 × Cr × I × A

où :

- **Q [m³/s]** : Débit de crue généré par le bassin versant,
- **Cr :** Coefficient de ruissellement,
- **I [m/m]** : Pente longitudinale,
- **A [km²]** : Superficie du bassin versant concerner (incluant la plateforme, les talus et les bermes).

Tableau VII.15 : Débit des remblais.

		Remblai		
		Le cas plus défavorable : H_{max} = 9 m Longueur = 754.76 m Largeur de la plateforme = 3.3 m		
	Formule	**Plateforme**	**Talus**	**Bermes**
S (Km²)	**A = d × l**	0.0024907	0.0081538	0.0022643
P(m/m)	**-**	0.04	2/3	0.04
Cr	**-**	0.95	0.4	0.4
Tc (h)	$\mathbf{Tc = 0.127}\sqrt{\frac{A}{P}}$	0.03169	0.01404	0.03264
I (mm/h)	$\mathbf{I = a \times t^{-b}}$ **Avec : a = 39.7 ; b= 0.79**	606.82	1154.44	592.75
Q (m³/s)	$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$	0.3991	1.0467	0.1492
Qtotal (m³/s)	**Qpf + QT + QB**	1.5950		
Qps (m³/s)	**Qps = Ks Sm Rh $^{2/3}$ I ^{½}**	2.18		
Type de faussé	**-**	Type 01		
Vérifications	**Qps > Qtotal**	Oui		
	Vps < 4m/s	2.31m/s		

Tableau VII.16 : Débit des déblais.

		Déblais		
		Le cas plus défavorable : H_{max} = 12 m Longueur = 1129.76 m Largeur de la plateforme = 3.3 m		
	Formule	**Plateforme**	**Talus**	**Bermes**
S (Km²)	**A = d × l**	0.0037282	0.014260	0.0033893
P(m/m)	**-**	0.04	2/3	0.04
Cr	**-**	0.95	0.4	0.4
Tc (h)	$Tc = 0.127\sqrt{\frac{A}{P}}$	0.03877	0.01857	0.03696
I (mm/h)	$I = a \times t^{-b}$ **Avec : a = 39.7 ; b= 0.79**	517.46	296.16	537.38
Q (m^3/s)	$Q = 0.278 \times Cr \times I \times A$	0.5095	0.4696	0.2326
Qtotal (m^3/s)	**Qpf + QT + QB**	1.2117		
Qps (m^3/s)	**Qps = Ks Sm Rh $^{2/3}$ I ^{½}**	2.18		
Type de faussé	**-**	Type 01		
Vérifications	**Qps>Qtotal**	Oui		
	Vps < 4m/s	1.75m/s		

Tableau VII.17 : Dimensions du faussé adopté type 01

b	B	h	z	S_m (m^2)	P_m (m)	Rh (m)	K_s	I (m/m)	Q_{ps} (m3/s)	V_{ps} < 4m/s
0.5	1.8	0.6	1.082	0.68952	2.268	0.303	70	0.01	2.18	3.16

Les dimensions des fossés ont été choisies en fonction des conditions suivantes :

- **Q_{total}< Qs**
- **Vps < 4m/s.**

➢ Le fossé choisi pour notre projet est le suivant : **B= 1.8m** ; **b = 0.5m** ; **h = 0.6 m** ; **pente =2/3.**

VII.5. Conclusion :

Ce chapitre a porté sur l'analyse hydrologique et hydraulique, éléments fondamentaux pour garantir la sécurité et la stabilité de notre projet. Nous y avons étudié les caractéristiques des bassins versants, évalué les débits d'eau, et dimensionné les ouvrages hydrauliques transversaux et longitudinaux. Cette partie nous a permis de mettre en pratique les compétences acquises au cours de notre formation, en particulier dans le domaine du calcul hydraulique.

CHAPITRE IX : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

CHAPITRE VIII : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Introduction :

L'étude géologique et géotechnique joue un rôle fondamental dans la planification et l'exécution des projets de génie civil et de construction. Elle consiste à analyser la nature des sols et des formations rocheuses afin de formuler des recommandations techniques assurant la sécurité des ouvrages.

La géologie permet d'anticiper les aléas naturels tels que les séismes, tandis que la géotechnique évalue la stabilité des fondations et des structures enterrées. En associant ces deux disciplines, il devient possible de concevoir des solutions sur mesure, adaptées aux conditions du site, garantissant la durabilité et la fiabilité des infrastructures réalisées.

VIII.1 Synthèse géologique et géotechnique :

VIII.1.1. Objectif de l'étude :

L'étude géologique et géotechnique vise à analyser les formations souterraines afin d'anticiper les risques géologiques pouvant impacter la conception et l'exploitation de la future infrastructure ferroviaire. Elle a également pour but d'identifier les propriétés des sols, de dimensionner la plateforme ferroviaire, de localiser les contraintes techniques du tracé, de définir les zones d'emprunt et les carrières exploitables, et de proposer des solutions de fondation adaptées.

Elle contribue aussi à une gestion optimisée des ressources et à la réduction des impacts environnementaux du projet.

VIII.1.2. Cadre géologique :

Le projet de l'embranchement de la région de Bled el Hadba se situe dans La commune de Bir El Ater.

Elle est située au Sud-Est de l'Algérie, sur le territoire de la wilaya de Tébessa, à 100 kilomètres au Sud de chef- lieu, et à 20 km de la frontière Algéro-Tunisienne, sur la route qui relie Tébessa à El Oued.

La région de Bir El Ater constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. Le massif du Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 Km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya.

Ce massif constitue l'extrémité orientale des monts des Nememcha qui prolongent vers l'Est de massif des Aurès.

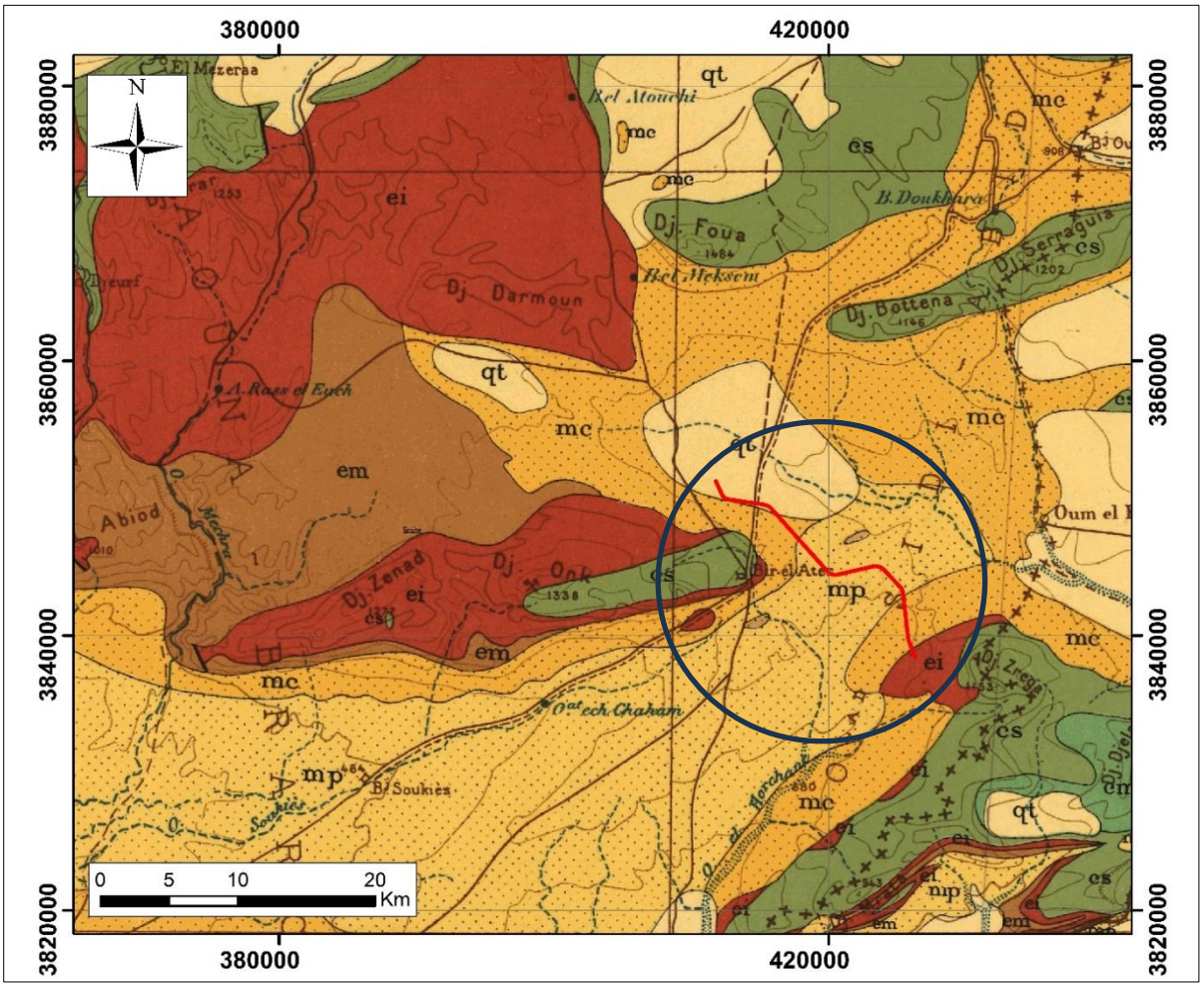


Figure VIII.1 : situation géologique du tracé

VIII.1.2.1. Le relief :

La région de Bir El Ater constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. Le massif du Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 Km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya.

Ce massif constitue l'extrémité orientale des monts des Nememcha qui prolongent vers l'Est de massif des Aurès, les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635m .La représentation graphique ci-dessous illustre le Modèle Numérique de Terrain (MNT) des zones traversées par le tracé de la nouvelle section ferroviaire, depuis la gare marchandises projetée située au PK 90+750 de la ligne Ténoukla/Djebel Onk, à proximité de la localité de Bir El Ater.

Le tracé progresse en direction du Nord dès la sortie de la nouvelle gare, traverse les zones concernées jusqu'à atteindre le PK 22, où une installation est prévue pour le chargement du produit au niveau du nouveau gisement de Bled El Hadba.

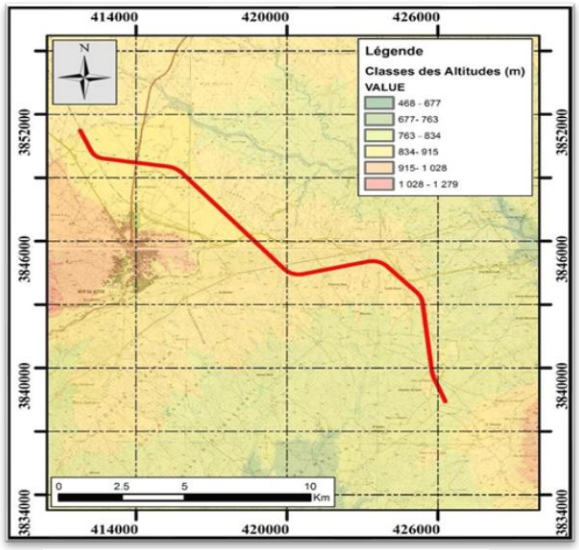


Figure VIII.2 : Classes des altitudes de la région de Blad El Hadba (ArcGIS)

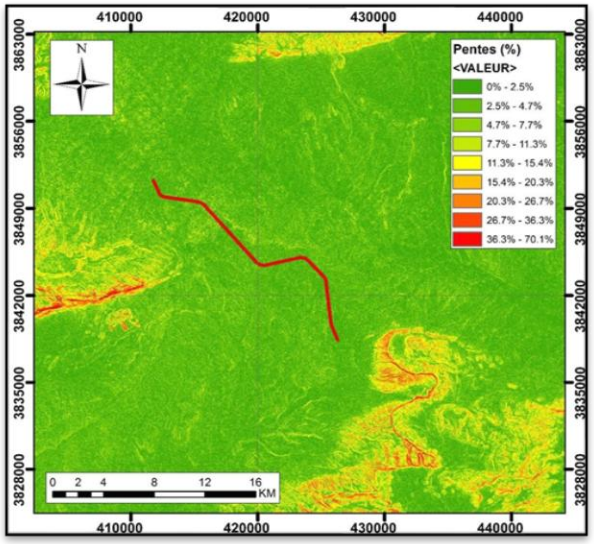


Figure VIII.3 : Carte des pentes et des altitudes (ArcGIS)

Cette cartographie, qui met en évidence les variations de pentes et d'altitudes tout au long du tracé, a été élaborée à l'aide du logiciel ArcGIS.

VIII.1.2.2. La sismicité :

Conformément à la réglementation parasismique algérienne (RPA-2024), le territoire national est classé en sept zones de risque sismique croissant. L'analyse de la carte de zonage jointe (***Figure VIII.4***) révèle que notre projet se situe en Zone II, correspondant à une activité sismique faible à moyenne.

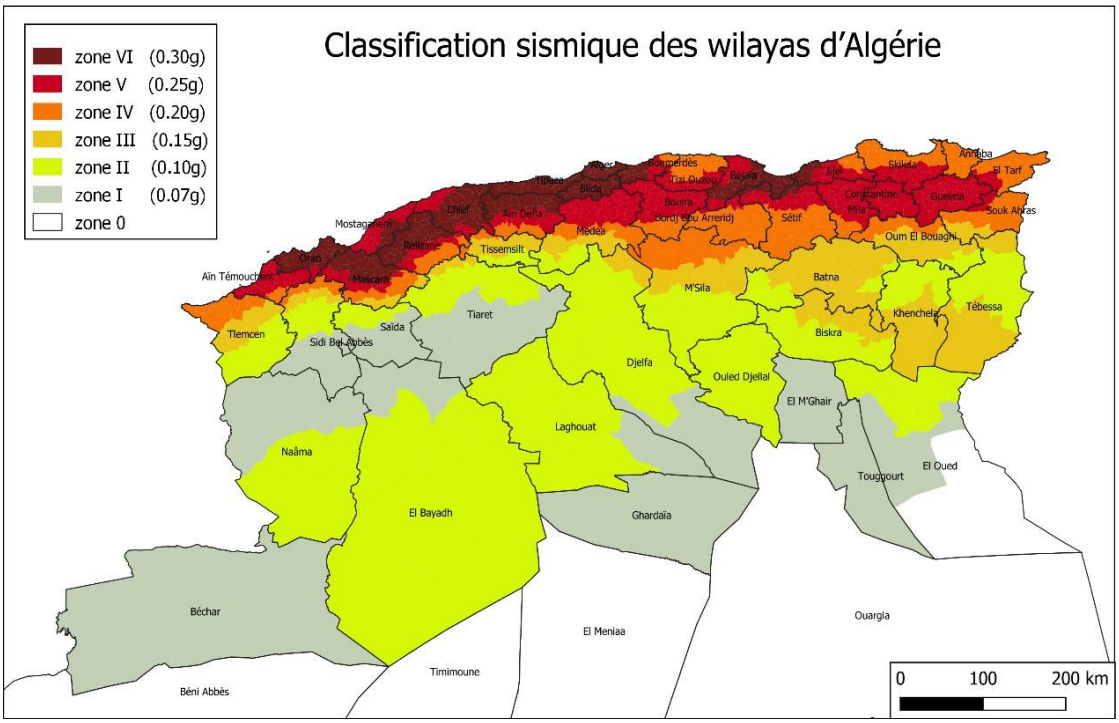


Figure VIII.4 : Carte de zonage sismique de l'Algérie du Nord. (Source RPA 2024)

❖ **Caractéristiques de la Zone II :**

- Accélération sismique nominale : **0.10g**
- Risque sismique : **Modéré à moyen**
- Conception parasismique : Normes allégées applicables (nécessitant l'adoption de mesures spécifiques de renforcement et de techniques de construction adaptées).

***(Figure IX.4** : Carte de zonage sismique selon RPA-2024 - Zone du projet mise en évidence)*

Cette classification permet d'adapter les exigences constructives aux caractéristiques sismiques locales, tout en optimisant les coûts d'infrastructure.

VIII.1.3. Cadre Lithologique :

VIII.1.3.1. Contexte Géologique et Stratigraphique de la Région de Bir El Ater :

La série sédimentaire affleurant dans la région de Bir El Ater est exprimée par une succession stratigraphique allant du crétacé supérieur (Maestrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien), surmonté par une série sablo-argileuse continentale datée du Miocène et du Quaternaire.

La région de Bir El Ater possède une stratigraphie riche et diversifiée, s'étendant du Crétacé jusqu'au Quaternaire, caractérisée par une succession de formations sédimentaires d'origine marine et continentale :

a. Formations Crétacées :

- Maestrichtien (C6) : Calcaires blancs massifs avec marnes, affleurant dans l'anticlinal de Djebel Onk.
- Campanien – Maestrichtien basal (C5-6) : Alternance de calcaires et de marnes dans le périclinal de Djebel Zrega.
- Santonien – Campanien inférieur à moyen (C5-4) : Argiles et calcaires blancs.
- Turonien – Coniacien (C2-3) : Argiles, calcaires, lumachelles et calcaires à rudistes.

b. Formations Paléogènes :

- Paléocène (Danien) :
  - Inférieur : Argiles marneuses schisteuses, gypses.
  - Supérieur : Calcaires durs blancs, marne phosphatée.
- Montien :

  Calcaires lumachelliques, dolomies, marnes avec huîtres abondantes.
- Thanétien :
  - Inférieur : Schistes marneux, calcaires, couches phosphatées riches en matière organique.
  - Supérieur : Niveau dolomitique, phosphate (30 m), se terminant par des lumachelles.

c. Formations Éocènes :

- Yprésien :
  - Inférieur : Conglomérats, alternance calcaire-marne-phosphate, silex.

- Supérieur : Calcaires dolomitiques et marnes.

▪ Lutétien :

- Inférieur : Marnes riches en matière organique.
- Supérieur : Marnes blanches, argiles et gypse (épaisseur jusqu'à 100 m).

d. Formations Miocènes :

Constituées de sédiments terrigènes (conglomérats, grès, sables, argiles).

- Miocène inférieur : Sables grossiers, argiles (épaisseur > 200 m).
- Miocène moyen : Argiles brunes schisteuses (≈ 100 m).
- Miocène supérieur : Sables et graviers grossiers stratifiés.

e. Formations Quaternaires :

- Dépôts variés : éboulis, sables éoliens et fluviaux, alluvions.
- Principales unités : croutes calcaires (Qc), glacis anciens (Qt2), éventails alluviaux (eA), limons (Q), alluvions actuelles (A).

VIII.1.3.2. Localisation des zones à risques :

1. Risque d'agressivité chimique du sol :

Tous les résultats des analyses chimiques du sol réalisé au niveau des échantillons prélevés des sondages ont révélé la présence de sulfates, les teneurs en sulfates varient entre **0.46** et **0.86 %** ce qui représente un environnement à un risque d'agressivité chimique modérée vis-à-vis du béton de l'infrastructure des ouvrages selon la norme **FD P18-011** du décembre 2009.

A cet effet, il y'a lieu de prendre des dispositions particulières pour la confection du béton de l'infrastructure.

2. Risque des zones humide (stagnation des eaux) :

Vu la nature du sol et le régime climatique qui caractérise la région d'étude, qui fait partis du domaine aride caractérisé par des précipitations irrégulières dans l'espace et dans le temps, qui peuvent être forte en intensité en fréquence rare.

La ligne traverse des zones humides entre Bir El Ater et Bled El Hadba, ce sont des zones où la nappe d'eau est très proche de la surface du terrain naturel.

VIII.1.4. Synthèse des résultats Géotechniques :

VIII.1.4.1. Les essais in situ (du pk 02+ 950 au pk 19+000) :

La campagne géotechnique sur le terrain a été menée sur la base d'un programme de travail établi en fonction de la situation des ouvrages d'arts (ponts, viaducs, tunnels), ouvrages en terre et de terrassements envisagées le long du tracé où il a été réaliser :

- ✓ **04** Sondages carottés de 12m a 15m de profondeur avec piézomètre.
- ✓ **08** essais de pénétration dynamique jusqu'au refus le long du tracé.

- ✓ **02** puits de reconnaissances creusés jusqu'à une profondeur de 4m.
- ✓ Des essais de laboratoires.

Un tableau synthétique regroupant l'ensemble des investigations géotechniques in-situ avec localisation et profondeurs (**voir annexe D**)

a. Interprétation des résultats des essais in-situ :

Les coupes des sondages carotté, des puits de reconnaissance, des sondages préssiométriques ont révélé le long du tracé la succession géologique suivante :

Tableau VIII.1 : Interprétation des résultats des essais in-situ

Sondage	Profondeur (m)	Nature du sol
F 01	0.00 – 0.30	Tuf constitué de sable + gravier
	0.30 – 12.00	Sable grossier jaunâtre avec passage de sable marneux (3.00 m – 3.20 m)
F 02	0.00 – 0.15	Terre végétale
	0.15 – 5.00	Sable grossier marneux jaunâtre
	5.00 – 8.80	Argile marneuse limoneuse peu sableuse
	8.80 – 12.00	Sable grossier, passage sable compact (6.20 m – 10.00 m)
F 03	0.00 – 6.50	Sable grossier jaunâtre
	6.50 – 15.00	Sable grossier jaunâtre avec blocs centimétriques de grès
F 04	0.00 – 7.00	Sable grossier jaunâtre
	7.00 – 9.00	Sable marneux jaunâtre
	9.00 – 12.00	Sable grossier jaunâtre
SP 01	0.00 – 12.00	Sable argileux marneux
SP 02	0.00 – 15.00	Dépôt alluvionnaire (tuf blanchâtre à rougeâtre, gravier, galets, blocs calcaires)
SP 03	0.00 – 1.00	Tuf constitué de sable + gravier
	1.00 – 12.00	Sable grossier
SP 04	0.00 – 1.20	Tuf constitué de sable + gravier
	1.20 – 12.00	Sable grossier

b. Essais de « Standard Pénétration Test » SPT :

L'essai de pénétration au carottier consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu au fond d'un forage préalable. En fonction de la profondeur, on donne le nombre de coups de mouton N nécessaire pour enfoncer le carottier de 30 cm. Ce nombre N caractérise la résistance à la pénétration.

Quatre (04) essais SPT ont été exécuté dans la formation argileuse, mise en évidence au droit du sondage carotté réalisé.

Les résultats de l'essai SPT sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau VIII.2 : résultats de l'essai SPT

N° forage	Profondeur (m)	N1	N2	N3	N_{spt}	Observation
F 01	4.00-4.45	4	5	5	10	Moyennement compact
	8.00-8.45	5	5	7	12	
	12.00-12.45	8	10	12	22	
F 02	4.00-4.45	5	6	8	14	Moyennement compact
	8.00-8.45	10	14	17	31	Compact
	12.00-12.45	14	15	17	32	
F 03	4.00-4.45	6	8	10	18	Moyennement compact
	8.00-8.45	10	11	14	24	
	12.00-12.45	50	Refus	-	50	Compact
	15.00-15.45	50	Refus	-	50	
F 04	4.00-4.45	8	11	11	22	Compact
	8.00-8.45	10	14	16	30	
	12.00-12.45	12	14	17	31	

c. Interprétation Des Résultats Des Essais De Pénétromètre Dynamique :

Comme cité auparavant huit essais de pénétration dynamique ont été implanté le long du tracé, les résultats des essais sont présentés sur un référentiel, résistance dynamique R_P en fonction de la profondeur. Les valeurs obtenues sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau VIII.3 : Résultats des essais de pénétromètre dynamique – Résistance Rp en fonction de la profondeur

N° forage	PK	Refus (m)	Rp max (bars)
PDL 01	02+950	2.20	769.77
PDL 02	05+820	3.60	715.22
PDL 03	08+800	2.00	833.33
PDL 04	12+000	1.80	833.33
PDL 05	12+680	2.80	769.77
PDL 06	14+000	3.00	769.77
PDL 07	16+000	3.40	715.22
PDL 08	19+000	2.40	769.77

Remarque :

l'examen des résultats obtenus, permettent de constater que les refus ont été obtenus entre 1.8 et 3.6 m avec des valeurs de résistance de pointe qui s'améliore dès la surface jusqu'à atteindre le refus avec des valeurs entre 700 et 800 bars.

d. Interprétation Des Résultats Des Essais Pressiométriques :

Le tableau suivant donne les caractéristiques mécaniques mesurée dans les forages :

Tableau VIII.4 : Résultats Des Essais Pressiométriques

Essai In Situ	PK	Profondeur (m)	Module de déformation E(bars)	Pression P_L (bars)	E/P_L
SP 01	PK 05+820	2.00	93.32	15.33	6.09
		4.00	87.58	18.46	4.74
		6.00	84.84	18.73	4.53
		8.00	87.03	16.51	5.27
		10.00	117.59	29.07	4.05
		12.00	110.87	35.28	3.14
SP 02	PK 10+850	2.00	87.01	15.27	5.70
		4.00	96.44	13.51	7.14
		6.00	92.47	16.63	6.78
		8.00	83.73	16.80	4.99
		10.00	100.91	25.15	4.01
		12.00	101.03	25.62	3.94
		14.00	125.29	30.73	4.08
SP 03	PK 12+000	2.00	93.97	15.68	5.99
		4.00	91.46	15.85	5.76
		6.00	86.13	19.20	4.48
		8.00	99.50	14.71	6.77
		10.00	91.97	17.22	5.34
		12.00	108.24	26.39	4.10
SP 04	PK 12+680	2.00	91.89	12.18	7.54
		4.00	96.83	13.02	7.44
		6.00	93.93	13.20	7.12
		8.00	127.99	15.48	8.27
		10.00	100.91	26.36	3.83
		12.00	100.74	27.13	3.71

Les résultats sont récapitulés dans le tableau qui suit avec l'état de consolidation selon la classification des sols basée sur le rapport **E/PL** :

Tableau VIII.5 : Classification des sols selon le rapport E/PL et état de consolidation

SP	E (bar)	Pl (bar)	E/Pl (bar)	$\frac{\overline{Ep}}{\overline{Pl}}$	État de consolidation	$\overline{Ep}$ (bars)	$\overline{Pl}$ (bars)	Catégorie selon RPA
SP-01	84.84 – 117.59	15.33 – 35.28	3.14 – 6.09	4.44	Bien consolidé	95.34 > 80	20.26 > 4	S3
SP-02	83.73 – 125.29	13.51 – 30.73	3.94 – 7.14	6.00	Bien consolidé	108.65 > 80	19.93 > 4	S3
SP-03	86.13 – 108.24	14.71 – 26.39	4.10 – 6.76	5.25	Bien consolidé	94.72 > 80	17.50 > 4	S3
SP-04	91.89 – 127.99	12.18 – 27.13	3.71 – 8.27	5.67	Bien consolidé	100.83 > 80	16.04 > 4	S3

Remarque : Les résultats des essais pressiométriques ont donné de moyennes à fortes valeurs

où la pression limite varie entre 12.18 bars et 35.28 bars, et le module de déformation varie entre 91.89 et 127.99 bars. Ces résultats dénotent un sol bien consolidé classé en catégorie **S3** (Sol meuble) selon le **RPA 2024.**

VIII.1.4.2. Les essais au laboratoire :

Des échantillons intacts et remaniés, prélevés à différentes profondeurs au niveau des puits de reconnaissance et des sondages carottés, ont fait l'objet d'une série d'analyses en laboratoire. Ces analyses ont permis de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des sols, à travers les essais suivants :

1. Essais Physiques :

- Analyse granulométrique ;
- Détermination des limites d'Atterberg ;
- Mesure de la teneur en eau naturelle ;
- Détermination de la densité ;
- Essai CBR (California Bearing Ratio) ;
- Essai VBS (bleu de méthylène) ;
- Essai Proctor modifié.

2. Essais Mécaniques :

a. Résistance au cisaillement (essai à la boîte de Casagrande consolidé drainé – CD) :

- Cohésion apparente du sol (C) ;
- Angle de frottement interne apparent (φ).

b. Compressibilité (essais œdométriques) :

- Pression de consolidation (Pc) ;
- Indice de compression (Cc) ;
- Indice de gonflement (Cg).

a. Granulométrie Et Sédimentation :

L'analyse granulométrique d'échantillons testés est montrée par le tableau suivant :

Tableau VIII.6 : L'analyse granulométrique d'échantillons

à partir de forages :				
N° Sondage	Profondeur (m)		< 80µm	Observation
	De	À		
F01	2.00	2.50	16	Granulométrie étalée attestant d'un sol fin
	4.00	5.00	43	
F02	2.00	3.00	13	
	7.30	7.50	70	
	8.50	8.80	71	
F03	7.30	7.50	25	
F04	7.50	7.85	88	
à partir des puits de reconnaissance :				

N° Sondage	Profondeur (m)		< 80 µm	Observation
	De	À		
PU01	0.30	4.00	89	Granulométrie étalée attestant d'un sol fin
PU02	0.20	4.00	40	
PU03	0.20	4.00	34	
PU04	0.20	4.00	25	

b. Plasticité :

Les couples de valeurs limite de liquidité-Indice de plasticité, et la classification des sols testés selon l'abaque de Casagrande sont données par le tableau suivant :

Tableau VIII.7 : Classification des sols selon l'abaque de Casagrande à partir des couples limite de liquidité – indice de plasticité

à partir de forages :						
N° Sondages	Profondeur (m)		WL (%)	WP (%)	IP (%)	Observation
	De	À				
F01	4.00	5.00	33.02	16.85	16.17	Argile plastique
F02	7.30	7.50	52.89	26.19	26.7	Argile plastique
	8.50	8.80	51.78	25.84	25.94	
F04	7.50	7.85	47.13	23.76	23.37	Argile plastique
à partir des puits de reconnaissance :						
N° Sondages	Profondeur (m)		WL (%)	WP (%)	IP (%)	Observation
	De	À				
PU01	0.30	4.00	54.04	26.8	27.24	Argile plastique
PU02	0.20	4.00	31.13	15.65	15.48	Argile plastique
PU03 GITE 01	0.20	4.00	27.43	13.7	13.73	Argile peu plastique
PU04 GITE 02	0.20	4.00	42.91	21.3	21.61	Argile plastique

c. Densité Sèche & Teneur En Eau :

Les valeurs de la teneur en eau, densité sèche et degré de saturation sont données par le tableau suivant :

Tableau VIII.8 : Valeurs de la teneur en eau, densité sèche et degré de saturation des échantillons

à partir de forages :						
N° Sondages	Profondeur (m)		W (%)	γd (t/m3)	γh (t/m3)	Sr (%)
	De	À				
F01	7.30	7.50	15.92	1.77	2.05	81.68
F02	8.50	8.80	17.39	1.74	2.04	84.95
	7.50	7.85	18.95	1.70	2.11	86.84
à partir des puits de reconnaissance :						
N° Sondages	Profondeur (m)		δd OPM	W OPM	Sr	VBS
	De	À				
PU01	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
PU02	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
PU03	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71

PU04	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80

d. Essais De Résistance Au Cisaillement Rectiligne À La Boite :

Les caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne consolidé drainé CD sont :

Tableau VIII.9 : Caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne consolidé drainé (CD)

N° Sondages	Profondeur (m)		Φ (°)	C (bar)
	De	À		
F01	2.00	2.50	31	0.06
F02	2.00	3.00	32	0.05
	7.30	7.50	20	0.18
F03	2.00	3.00	30	0.06

e. Caractéristiques Œdométriques :

Les valeurs de l'indice de compressibilité Cc, pression de consolidation Pc et l'indice de gonflement Cg ; sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.10 : Caractéristiques Œdométriques

N° Sondages	Profondeur (m)		Pc (bar)	Cc (%)	Cg (%)
	De	À			
F02	8.50	8.80	1.61	19.32	2.21
F04	7.50	7.85	1.54	16.32	2.41

f. Analyses Chimiques :

Les résultats des analyses chimiques sommaires du sol sont donnés par le tableau suivant :

Tableau VIII.11 : Résultats des analyses chimiques sommaires du sol

N° Sondage	Profondeur (m)		Sulfate SO^{-4}	$CaCO_3$	Chlorure Na Cl	MO	Observation
	De	À					
F01	2.00	2.50	0.46	11.20	0.31	1.51	- Agressivité faible. - Non organique
F02	2.00	3.00	0.86	17.20	0.35	1.41	- Agressivité moyenne - Non organique
F03	2.00	3.00	Traces	2.20	0.28	1.25	- Agressivité moyenne. - Non organique
F04	7.50	7.85	0.57	10.60	0.31	1.15	- Agressivité faible. - Non organique

VIII.1.4.3. Calcul et classification :

→ Les tableaux ci-dessous présentent un résumé des essais de laboratoire sur les échantillons récupérés des puits de reconnaissance et des sondages carottés, ainsi que la classification du sol selon les normes **GTR** et **UIC 719R** (**ANNEXE G**).

→ Un Tableau récapitulatif des caractéristiques géotechniques par unité et par PK est également présenté, regroupant de manière synthétique l'ensemble des résultats obtenus.

Tableau VIII.12 : Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des sondages

N° Forages	PK	Profondeur		W	Niveau	Densité (t/m3)		Limites d'Atterberg			granolu	Cisaillement			Œdomètre			Analyses chimiques			
		De	à	%	piézo	γd(t/m3)	γh(t/m3)	Wl	Wp	Ip	<80 µm	Type	C (bars)	Φ (°)	Pc	Cc	Cg	SO4	CaCO3	Cl-	MO
F 01	02+950	2.00	2.50	/		/	/	/	/	/	16	CD	0.06	31	/	/	/	0.46	11.20	0.31	1.51
		4.00	5.00	/	5.85	/	/	33.02	16.85	16.17	43	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
F 02	08+800	2.00	3.00	/		/	/	/	/	/	13	CD	0.05	32	/	/	/	0.86	17.20	0.35	1.41
		7.30	7.50	15.92		1.77	2.05	52.89	26.19	26.7	70	CD	0.18	20	/	/	/	/	/	/	/
		8.50	8.80	17.39	4.66	1.74	2.04	51.78	25.84	25.94	71	/	/	/	1.61	19.32	2.21	/	/	/	/
F 03	10+850	2.00	3.00	/		/	/	/	/	/	/	CD	0.06	30	/	/	/	traces	2.20	0.28	1.25
		7.30	7.50	/	5.01	/	/	/	/	/	25	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
F 04	19+000	7.30	7.50	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
		7.50	7.85	18.95	2.41	1.70	2.11	47.13	23.76	23.37	88	/	/	/	1.54	16.32	2.41	0.57	10.60	0.31	1.15

Tableau VIII.13 : Récapitulatif des paramètres géotechniques à partir des puits de reconnaissance

Puits	PK	Profondeur		Nature lithologique	granulo	Limites d'Atterberg (%)			Proctor			VBS	Classification	
		DE	A		<80 µm	Wl	Wp	Ip	γd (t/m3)	Wopm	Sr		GTR	UIC
PU 01	14+000	0.30	4.00	Argile sableuse marneuse brunâtre noirâtre	89	54.04	26.8	27.24	1.71	11.80	56.9	2.00	A3	QS1
PU 02	16+000	0.20	4.00	Sable argileux marneux brunâtre	40	31.13	15.65	15.48	1.97	7.60	58.49	1.06	A2	QS1
PU 03 GITE 01	/	0.20	4.00	Dépôt alluvionnaire constitué de tuf blanchâtre a rougeâtre, gravier, galets, et blocs centimétriques de calcaire.	34	27.43	13.7	13.73	2.02	8.10	69.57	0.40	B5	QS1
PU 04 GITE 02	/	0.20	4.00	Dépôt alluvionnaire constitué de tuf blanchâtre a rougeâtre, gravier, galets, et blocs centimétriques de calcaire.	25	42.91	21.3	21.61	2.10	5.70	57.27	0.26	B5	QS1

Tableau VIII.14 : Tableau Récapitulatif des Caractéristiques Géotechniques par Unité et par PK

					Densité sèche	Limites d'Atterberg			granolu	OEdométre			Cisaillement CD		Sr	Analyses chimiques			
Unité	**Nature de la formation**	**PK**	**Profondeur approximative (m)**	**W (%) (Min / max)**	**γd (t/m³) (Min / max)**	**W_L (Min / max)**	**Wp (Min / max)**	**Ip (Min / max)**	**% < 80 µm**	**Pc (bars)**	**Cc**	**Cg (%)**	**Φ (°)**	**C (bars) (Min / max)**	**(%)**	**SO_4**	**$CaCO_3$**	**Cl^-**	**MO**
Unité 01	**Tuf**	**PK 12+000 à 12+675**	~1.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Unité 02	**Sable Grossier**	**Tout le tracé**	Jusqu'à 15	15.92 – 17.39 Moy : 16.65	1.74 – 1.77 Moy : 1.75	33.02 – 52.89 Moy : 42.95	16.85 – 26.19 Moy : 21.52	16.17 – 26.7 Moy : 21.43	13 – 71 Moy : 42	/	/	/	30 – 32 Moy : 31	0.05 – 0.18 Moy : 0.16	/	0.46 – 0.86 Moy : 0.66	2.20 – 17.20 Moy : 9.7	0.28 – 0.35 Moy : 0.32	1.25 – 1.51 Moy : 1.38
Unité 03	**Sable Argileux Marneux**	**PK 15+250 à 17+500**	Jusqu'à 15 puis diminue	7.6 – 19.95 Moy : 13.77	1.7 – 1.97 Moy : 1.83	31.13 – 47.13 Moy : 39.13	15.65 – 23.76 Moy : 17.71	15.48 – 23.37 Moy : 19.42	40 – 88 Moy : 64	1.54	16.32	2.41	/	/	/	0.57	10.60	0.31	1.15
Unité 04	**Argile Sableuse Marneuse**	**PK 15+250 à 17+500**	Jusqu'à 15 puis diminue jusqu'à 2	11.8 – 17.39 Moy : 14.59	1.71 – 1.74 Moy : 1.72	51.78 – 54.04 Moy : 52.91	25.84 – 26.8 Moy : 26.32	25.94 – 27.24 Moy : 26.59	74 – 89 Moy : 81.5	1.61	19.32	2.21	/	/	56.9	/	/	/	/

VIII.1.5. Conception des ouvrages en terre :

VIII.1.5.1. Justification de la stabilité au glissement (cas remblai) :

Les conditions de stabilité des remblais ont été évaluées par l'analyse des surfaces de glissement pour un talus de remblais dépassant les **8m** de hauteur avec une pente de **3H/2V** en considérant une berme de 3m chaque 8m de hauteur. L'analyse selon la méthode simplifiée de **Bishop** a été effectuée en utilisant le Logiciel **TALREN 5**.

La surface de glissement la plus critique a été obtenue en déterminant la surface dotée du coefficient de sécurité minimal parmi une série de surfaces de glissement probables. Dans l'analyse de stabilité des remblais sous charge statique, on a pris en considération l'effet d'une surcharge additionnelle de **30 kPa**, correspondant aux charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse bibloc, afin de simuler le trafic sur la voie ferrée.

La stabilité des remblais a été analysée sous conditions statiques et aussi vérifiée sous des conditions sismiques. Selon les « Règles Parasismiques Algériennes, **RPA 2024** », la valeur de l'accélération horizontale d'après la carte de zonage sismique du territoire national est de **0,10g**. Par conséquent, la stabilité contre le glissement sous des conditions sismiques a été évaluée en considérant une accélération verticale égale à la moitié de cette valeur, soit **0,05g.** Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique **SNTF** sont les suivants :

Cas statique à long terme : en considérant les paramètres de résistance effective. Pour ce cas, le coefficient de sécurité (**F.S.**) minimum recherché pour assurer la stabilité à long terme du talus est de **1,5.**

Cas d'un événement sismique (méthode pseudo-statique) : en considérant les paramètres de résistance non drainée pour les sols cohérents et les paramètres de résistance drainée pour les sols pulvérulents. Pour ce cas, le coefficient de sécurité (F.S.) minimum recherché pour assurer la stabilité du talus est de **1,00**. Le tableau suivant représente les résultats de calcul de la stabilité du remblai (**H>8m**) :

Tableau VIII.15 : les résultats de calcul de la stabilité du remblai (H>8m)

Pk ouvrage	Pentes proposées	Conditions hydraulique	Longueur de berme	FS		Observation
				Conditions statique	Conditions dynamique	
Remblai PK 13+125	3H/2V	Sans nappe	3m	1.58> 1.50	1.18 >1	Stable

→ Le remblai est jugé stable, en vue des valeurs obtenues des coefficients de sécurités pour les deux cas de vérification sus-indiquées au tableau

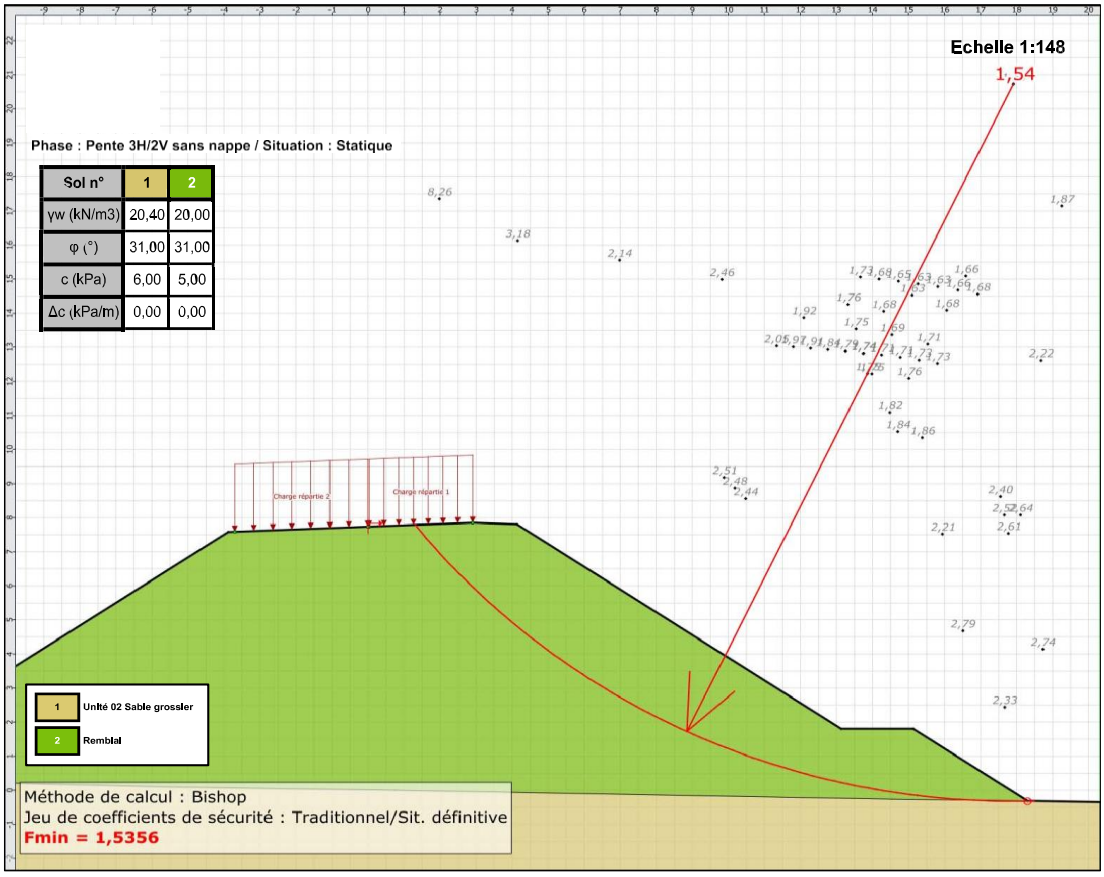


Figure VIII.5 : résultats de calcul de la stabilité du remblai PK 13+125 condition statique (TALREN v5)

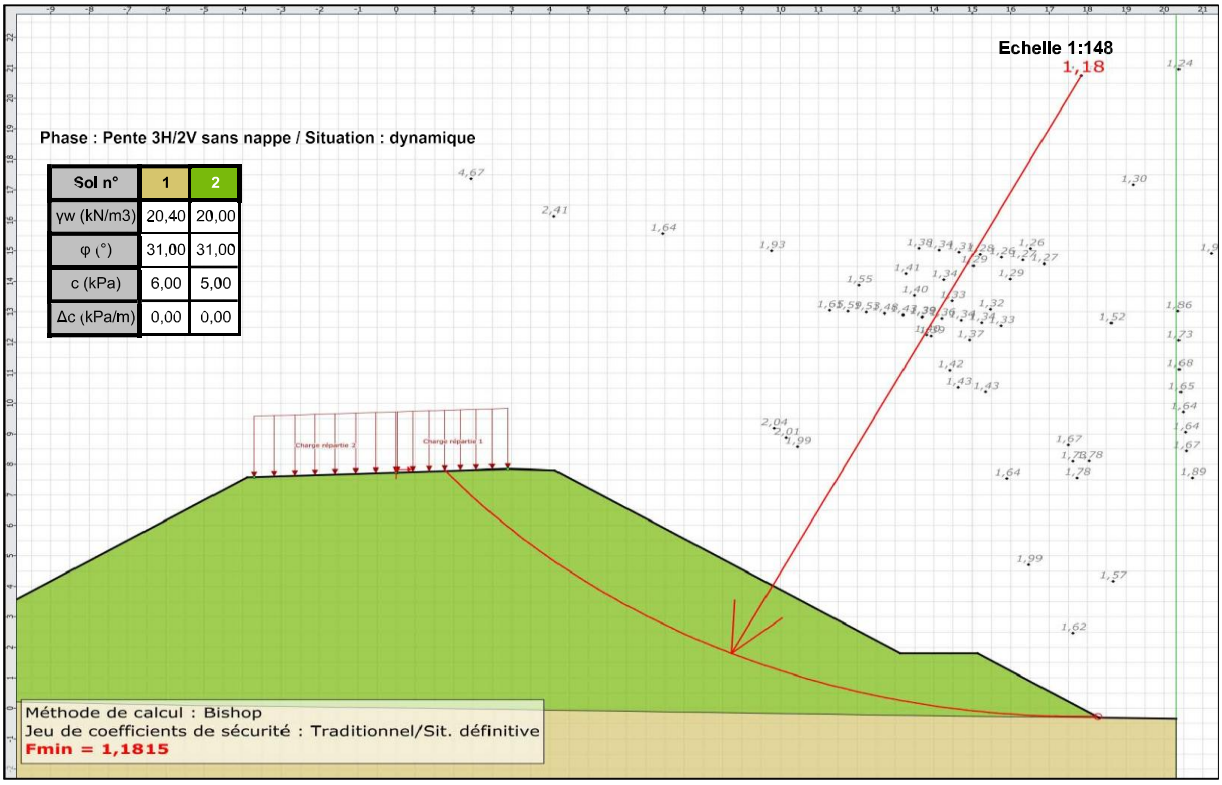


Figure VIII.6 : résultats de calcul de la stabilité du remblai PK 13+125 condition dynamique (TALREN v5)

VIII.1.5.2. Justification de la stabilité au glissement (cas déblai) :

Les conditions de stabilité des déblais ont été évaluées par l'analyse des surfaces de glissement pour un talus de remblais dépassant les **8m** de hauteur avec une pente de **3H/2V** en considérant une berme de **3m** chaque **8m** de hauteur. L'analyse selon la méthode simplifiée de **Bishop** a été effectuée en utilisant le Logiciel **TALREN 5.**

La surface de glissement la plus critique a été obtenue en déterminant la surface dotée du coefficient de sécurité minimal parmi une série de surfaces de glissement probables. Dans l'analyse de stabilité des remblais sous charge statique, on a pris en considération l'effet d'une surcharge additionnelle de **30 kPa**, correspondant aux charges transmises au sommet de la couche de ballast par l'intermédiaire d'une traverse monobloc, afin de simuler le trafic sur la voie ferrée.

La stabilité des déblais a été analysée sous conditions statiques et aussi vérifiée sous des conditions sismiques. Selon les « Règles Parasismiques Algériennes, **RPA 2024** », la valeur de l'accélération horizontale d'après la carte de zonage sismique du territoire national est de **0,10g**. Par conséquent, la stabilité contre le glissement sous des conditions sismiques a été évaluée en considérant une accélération verticale égale à la moitié de cette valeur, soit **0,05g.**

Les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération selon le référentiel technique **SNTF** sont les suivants :

- Cas statique à long terme : le coefficient de sécurité (**FS**) minimum recherché pour assurer la stabilité à long terme du talus est de **1,5.**
- Cas d'un événement sismique (méthode pseudo-statique) : le coefficient de sécurité (**FS**) minimum recherché pour assurer la stabilité du talus est de **1,00.**

Le tableau suivant représente les résultats de calcul de la stabilité des déblais (**H>8m**) :

Tableau VIII.16 : calcul de la stabilité des déblais (H>8m)

Pk ouvrage	Pentes proposées	Conditions hydraulique	Longueur de berme	FS		Observations
				Conditions statique	Conditions dynamique	
Déblai 9+900	3H/2V	Sans nappe	3m	1.55 > 1.50	1.13 > 1	Stable
	3H/2V	Présence de nappe	3m	1.024 < 1.50	0.7 < 1	Instable
	2H/1V	Présence de nappe	3m	1.16 < 1.50	0.8 < 1	Instable
	3H/2V	Présence de nappe	3m	1.52 > 1.50	1.13 > 1	Stable avec rabattement de la nappe + éperon de drainage
Déblai 11+200	3H/2V	Sans nappe	3m	1.60 > 1.50	1.22 > 1	Stable

	2H/1V	Présence de nappe	3m	0.94 < 1.50	0.71 < 1	Instable
	3H/2V	Présence de nappe	3m	1.53 > 1.5	1.13 > 1	Stable avec rabattement de la nappe + éperon de drainage

→ Les déblais sont jugés stable en vue des valeurs obtenues des coefficients de sécurités pour une valeur de pente **3H/2V** après le rabattement de la nappe et en ajoutant un éperon de drainage, les données de calcul sont détaillées dans (**Annex H**).

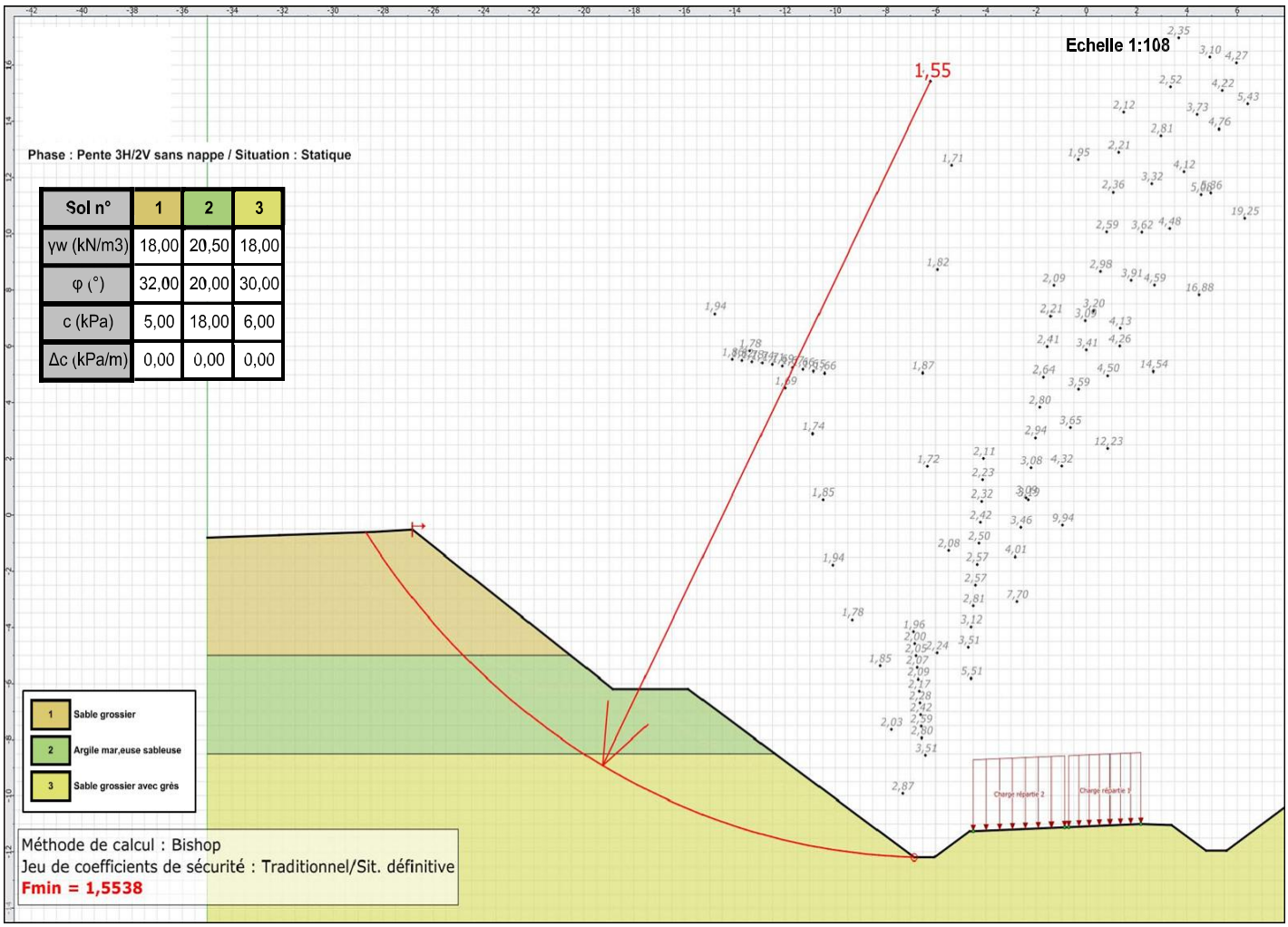


Figure VIII.7 : résultats de calcul de la stabilité du deblai PK 09+900 condition statique (TALREN v5)

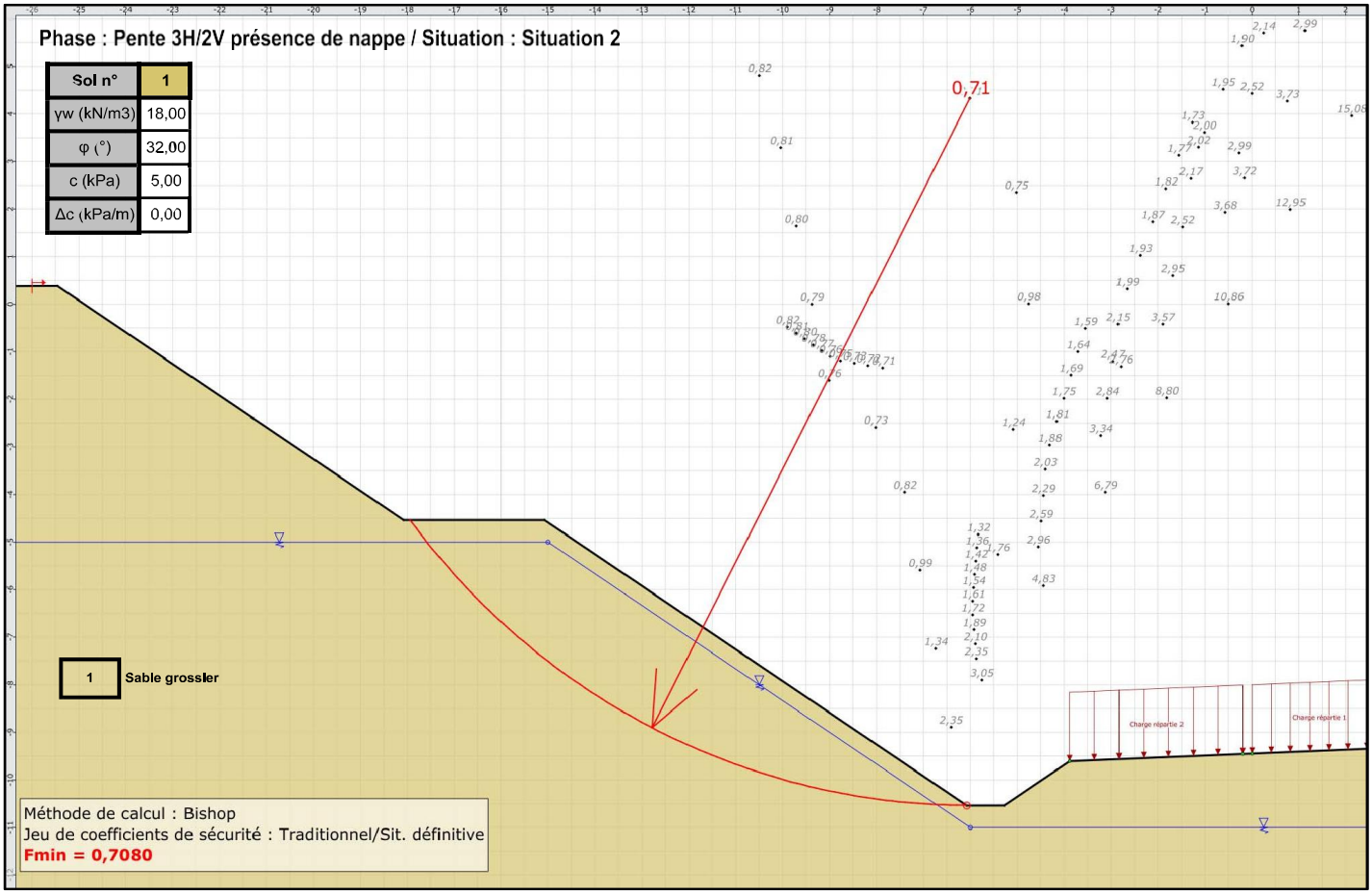


Figure VIII.8 : résultats de calcul de la stabilité du déblai PK 11+200 condition dynamique (TALREN v5)

VIII.1.5.3. Justificatif de la stabilité des remblais au poinçonnement :

Conformément au chapitre 2.1.2.2.1 du tome II du référentiel **IN 3278**, un facteur de sécurité F ≥ 1,5 sera recherché pour la justification de la stabilité à court terme. Dans le cas des sols mous fins cohérents, le coefficient de sécurité vis-à-vis du poinçonnement est donné par l'égalité suivante :

$$\mathbf{F = \frac{qmax}{q} = \frac{qmax}{\gamma r \times Hr}}$$

Où,

- **γr** : poids volumique du remblai, en **kN/m³,**
- **Hr** : hauteur du remblai, en mètres,
- **qmax** : Charge maximale que le sol peut supporter le sol d'assise.

Les résultats des calculs effectués sont résumés dans le tableau au ci-dessous, la Condition relative à la justification de la stabilité vis- à-vis la portance du sol (Poinçonnement) est satisfaite le fait que le coefficient de sécurité obtenu **Fs >1,5.**

La corrélation entre nombre D'**SPT** et essais préssiométrique nous vous présentons les résultats selon le tableau au ci-dessous :

Tableau VIII.17: corrélation entre essais préssiométriques et les essais SPT

Nature du sol	Corrélation (PI →N)	Corrélation (E → N)
Limons	N = 32 × PI	N = 2,6 E
Sables	N = 21 × PI	N = 2,9 E
Argiles vertes	N = 26 × PI	N = 2,3 E
Argiles plastiques	N = 18 × PI	N = 1,6 E
Marnes	N = 23 × PI	N = 1,9 E
Craie	N = 6 × PI	N = 0,7 E

Tableau VIII.18 : Calcul de pression limite et module pressiométrique à partir des essais SPT

N° Sc	PK	Nature de sol	N SPT	Corrélation PL-N (MPa)	Corrélation E-N (MPa)
SC	**8+800**	Sable grossier marneux	13	0.61	4.48
SC	**13+125**	Sable grossier	50	2.3	17.24
SC	**22+247**	Sable grossier	32	1.5	11.03

Les résultats des calculs effectués sont résumés dans le tableau ci-dessous, la condition relative à la justification de la stabilité vis- à-vis la portance du sol (poinçonnement) est satisfaite le fait que le coefficient de sécurité obtenu **Fs >1,5.**

❖ **Exemple de calcule pour le PK 8+880** :

Formule de Menard $\mathbf{q_{max}= \alpha \cdot PL}$

avec :

PL : est la pression limite (exprimée en **MPa**),

α : coefficient empirique qui dépend du type de sol, (sols non cohérents (sables), α=1.)

- Nature du sol : sable grossier marneux
- N SPT = 13
- PL = 0.61 MPa = 610 kPa
- q_{max} =1× PL= 610 kPa

$$FS = \frac{Qmax}{Q} = \frac{qmax}{\gamma r \times Hr} = \frac{610}{18 \times 8.8} = \mathbf{3.8510 > 1.5}$$

Tableau VIII.19 : Résultats de la vérification de poinçonnement

PK	H_r (m)	γr (KN/m³)	Q (kpa)	Q_{max} (kpa)	F	Vérification
8+880	8.80	18	158.4	610	3.85	**Justifiée**
12+025	12.24	18	220.32	1568	7.11	
13+125	8.55	18	153.9	2300	24.6	
22+247	2.00	18	236	1500	41.66	

VIII.2 Terrassement :

VIII.2.1. Gites d'emprunts et carrières :

1- Gîtes d'emprunts :

Deux 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 suivant :

Tableau VIII.20 : Caractéristiques Géotechniques des Matériaux issus des Zones d'Emprunt

N° GITES	Distance / tracé (m)	Nature lithologique	Granulo <80 µm	Plasticité (%)	VBS	Sr	Classification GTR	Observation
01	544	Dépôt alluvionnaire constitué de tuf, gravier, galets et blocs centimétriques de calcaire	34	IP = 13.73 Etat : peu plastique	0.40	69.57	B5 : sable et gravier très silteux	Acceptable pour l'utilisation en couches de remblai (remblai de hauteur <10m)
02	482		25	IP = 21.61 Etat : peu plastique	0.26	57.27		

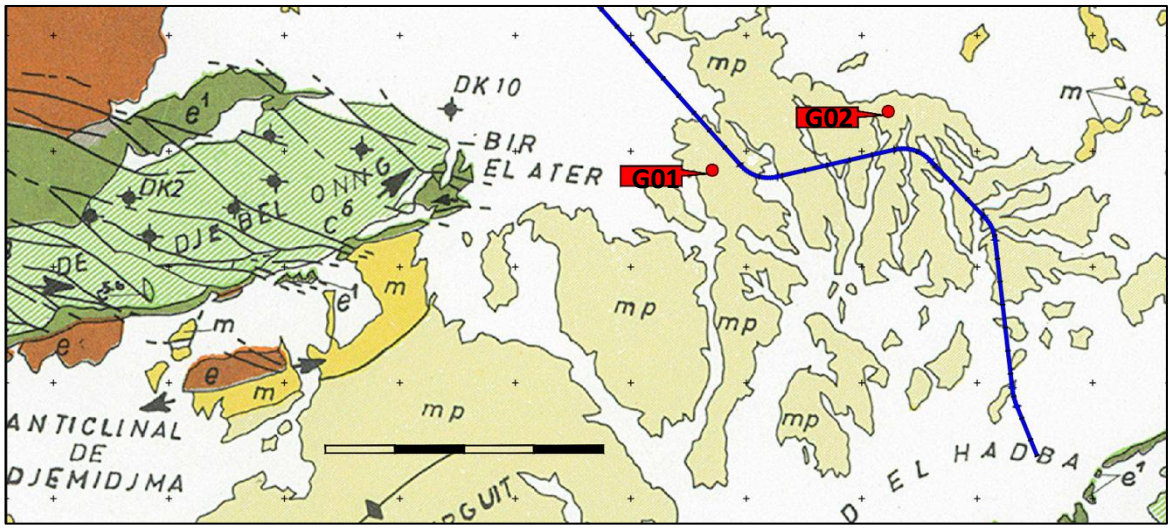


Figure VIII.9 : gites d'emprunt sur Carte géologique

Gite 01 : X= 419263 ; Y=3844592
Gite 02 : X= 423073 ; Y=3845859

2- Les carrières :

Le long du tracé, plusieurs indices de substance utile à utiliser comme matériaux (ballast, agrégats pour béton) ont été mise en évidence. **Le tableau VIII.21** montre les différentes carrières identifiées :

Tableau VIII.21 : Carrières proposées

Nom de la carrière	Localisation	Substance	Utilisation possible
ECDE EPE/SPA	BP 22, route de Morsot	Sable pour ciment	Utilisation pour béton
Entreprise : Zouabri Carrière Eurl	Nouveau Bayad Ouenza	Exploitation de calcaire	Couche de fondation Agrégats pour béton Couche de sous-ballast Couche de forme
EPAV : Entreprise De Production D'agrégats Et De Viabilisation	BP 43, Ennahda	Exploitation de calcaire	Couche de fondation Agrégats pour béton Couche de sous-ballast Couche de forme
ERTP : Entreprise De Réalisation Des Travaux Publics	BP 116, ZI	Exploitation de calcaire	Utilisation pour béton

VIII.2.2. Conception remblais :

La conception des remblais a été menée en prenant en considération d'une part les caractéristiques géotechniques des sols support recoupés par la ligne ferroviaire.

VIII.2.2.1. Pente de talus en remblai :

La géométrie des ouvrages en terre est conçue pour assurer leur stabilité à court et à long terme en adoptant un coefficient de sécurité supérieur ou égal à 1,5 en condition normale.

Les remblais seront profilés à 3H/2V (Horizontal/Vertical) pour une hauteur H≤12m. Les pentes de talus pourront être optimisées et cela en fonction des résultats des études de stabilité et des caractéristiques mécaniques des matériaux de réutilisation.

VIII.2.2.2. Risbermes :

Les bermes de stabilité ont été prévues pour assurer la stabilité des talus sur le tracé tous les 8m en hauteur. Leur largeur est de 3m et leur pente est de 4% vers la cunette.

VIII.2.2.3. Purges superficielles :

Les purges superficielles sont également réalisées au droit des remblais ainsi que dans les zones de transition entre déblais et remblais.

VIII.2.2.4. Matériaux pour les remblais :

En général, les matériaux provenant des excavations des déblais pourront être utilisés dans la construction des remblais (corps), tant qu'ils soient appliqués de façon appropriée avec quelques restrictions constructives d'après les normes en vigueur, comme le GTR.

La réutilisation des matériaux des déblais et des zones d'emprunt devra être menée avec soin, en conformité avec les recommandations du GTR, en particulier en ce qui concerne l'état hydrique des sols.

Concernant les sols à utiliser dans le remblai, il est prévue l'utilisation des sols de meilleure qualité (issues des gites d'emprunt ou déblai de ce tronçon) des types **C1B5**, **B4, B5** ou **B6** (classification GTR LCPC/SETRA) et **QS1**, **QS2** (**code UIC 719R**) dans la partie supérieure des remblais (couronnement) devant garantir un module de déformabilité **Ev2 ≥45MPa** pour des sols fins et de **Ev2≥ 60MPa** pour des sols granulaires.

VIII.2.2.5. Aménagement des remblais en zones humides (ZH) :

Lors des travaux, si la présence d'eau souterraine est confirmée et ou en cas de présence d'autres zones humides, et afin d'éviter des remontées capillaires susceptibles de générer des désordres dans le corps de remblai. Un filtre géotextile et une couche filtrante de matériaux granulaires conformes à **la fiche N°6** du document intitulé : Spécification Technique (ST 590 Indice B, **voir annexe I**)

La base des remblais en zones humides est constituée de matériaux **ZH** sur une épaisseur minimale de **50 cm (voir annexe K)**, afin de constituer une coupure capillaire. (voir profil en travers type de remblai en zone humide).

.

VIII.2.3. Conception déblais :

VIII.2.3.1. Reconnaissance géotechnique dans le secteur des déblais :

Les principales zones de déblais le long du tracé ont fait l'objet d'un programme de reconnaissance géotechnique établi sur la base du profil longitudinal.

Les principales zones des déblais le long du tracé sont récapitulées dans le tableau ci-dessous, avec leurs caractéristiques géométriques dont la hauteur est variable :

Tableau VIII.22 : Principales zones de déblais le long du tracé et leurs caractéristiques géométriques

Début	Fin	PK Hmax	Hmax (m)	Travaux D'investigation géotechnique	Unité géotechnique	Longueur (m)
9+550	**10+350**	9+900	10.320	/	Unité 02	775
11+060	**11+375**	11+200	8.661	/	Unité 02	315
12+575	**12+750**	12+675	2.354	SP 04 / PDL 05		175
13+475	**13+875**	13+525	3.261	/	Unité 04	400
14+425	**14+650**	14+543	3.992	/	Unité 04	225
16+275	**16+675**	16+475	5.447	/	Unité 03	400
17+097	**17+300**	17+175	3.265	/	Unité 03	203
18+650	**19+000**	18+800	4.989	F 04 / PDL 08		350

20+893	**21+475**	20+956	7.185	/	Unité 02, 03	579

VIII.2.3.2. Protection Des Talus :

Les talus des ouvrages en terre, ou des terrassements nécessitent une protection afin de ;

- Éviter l'altération des matériaux superficiels des talus en évitant toute modification des caractéristiques intrinsèques.
- Protéger les matériaux en place des évolutions liées aux agents météorologiques (eau, gel, soleil).

Les talus en déblais soient revêtus d'une couche minimale de 0,15 mètre de "terre végétale" assortie d'espèces végétales appropriées dès l'ouverture des excavations. Cette mesure a pour objectif de prévenir l'effet érosif potentiel du ruissellement superficiel.

VIII.2.3.3. Végétalisation :

La végétalisation consiste en la mise en place par épandage d'une couverture de terre végétale sur les ouvrages en terre, puis à son ensemencement et à son éventuelle plantation.

Les objectifs de cette opération sont :

- D'éviter le lessivage des fines, le ravinement et la détérioration des talus par leur exposition prolongée aux intempéries,
- D'apporter une aide à la stabilisation superficielle des talus de déblais et de remblais,
- D'améliorer l'environnement en intégrant les ouvrages en terre dans le contexte végétal.

VIII.2.3.4. Les Conditions d'éxcavabilité/rippabilité :

Selon la nature géologique et les caractéristiques mécaniques des matériaux de déblais, ils seront classés comme suit selon leur mode d'excavation :

- Terrain meuble : ils comprennent tous les terrains extractibles avec une pelle mécanique, niveleuse.
- Terrain semi dur (rippable) : on considère les terrains semi durs quand les matériaux ne peuvent pas être enlevés par les engins de terrassement utilisés pour les terrains meubles. Matériaux nécessitant l'emploi d'un ripper.
- Terrain rocheux dur (non rippable) : sont considéré comme terrains rocheux dur tous les matériaux qui nécessitent pour leur extraction l'utilisation d'explosifs et/ou de brise roche.

Compte tenu des résultats disponibles, tous les terrains sont classés comme étant des terrains meubles et peuvent être excavés par des engins de terrassements légers (pelle mécanique, niveleuse).

VIII.2.4. Dimensionnement de la structure d'assise :

VIII.2.4.1. Plate- Forme Proposée :

Compte tenu de ce qui précède, notamment de la classe des qualités du sol support le plus souvent rencontré le long du tracé est en majorité **QS1**, ainsi que les prescriptions données par les UIC nous conseillons d'opter pour une plateforme de type **P2** (plateforme moyenne)

dimensionnée préalablement pour un tel type de sol (**QS1**).

VIII.2.4.2. Méthode de dimensionnement adoptée :

Le dimensionnement de la couche d'assise et de l'épaisseur de la couche de forme a été effectué en suivant les indications de la fiche **UIC 719R**.

La définition de la classe de la plateforme suppose la classification préalable aussi bien de la qualité du sol support que de celle des matériaux constituant la couche de forme elle-même (**voir le tableau Tableau V.1**).

Dans ce contexte et pour homogénéiser la structure d'assise, nous considérons que le sol support est de type QS1 tout le long du tracé.

VIII.2.4.3. Calcul d'épaisseur minimal d'après la fiche UIC 719 R :

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

Une couche de ballast, Une sous-couche qui comprend les couches de sous ballast, couche de fondation, couche anti-contaminant et géotextile. L'épaisseur de l'ensemble ballast + sous-couche, conformément à la fiche UIC 719 (**voir Figure V.1**).

Tableau VIII.23 : Épaisseurs des composants de la structure d'assise.

Couches	Epaisseur (cm)
Ballast	30
Sous-ballast	20
Couche de fondation	15
Couche de forme de type QS3	35

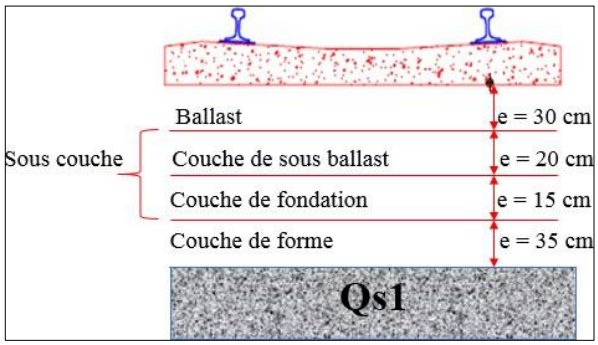


Figure VIII.10 : Les Épaisseurs de la structure d'assise

VIII.2.4.4. Exigences sur les constituants de l'assise :

a. Le Ballast :

Le ballast sera constitué par de la roche concassée. Les exigences suivantes devront être satisfaites (selon le référentiel technique SNTF et la norme NF P53-695) :

- Résistance à la fragmentation Los-Angeles (LA) : ≤ 19 %.
- Résistance à l'usure Micro Deval (MDE) : ≤ 6 %.
- La granulométrie doit être comprise dans le fuseau suivant (25/50mm) et devra respecter les limites mentionnées dans la catégorie" A de la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast, conformément au tableau : Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695) (**voir annexe D)**

b. Couche de sous ballast :

Pour la construction du sous-ballast et conformément au document des spécifications techniques (**ST590B**) il est prévu l'emploi de grave propre entièrement concassée (0 /31.5mm), bien graduée avec une valeur de propreté **Vbg ≤ 1** et un coefficient de forme A ≤25. (**Fiche N° 1 Annexe E**).

c. Couche de fondation :

La couche de fondation conformément à la spécification technique **ST590B**, est exécutée en grave sableuse entièrement concassée, avec une valeur de propreté **Vbg ≤ 1** et un cœfficient de forme A ≤ 25 et LA+MDE ≤ 50. Entre autres, les matériaux employés peuvent être issus soit des sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions d'oued (**fiche N°02 Annexes E**).

d. Couche de forme de qualité S3 :

Conformément au document des spécifications techniques **ST590B**. Elle est exécutée en grave 0/D. avec une résistance **LA+MDE ≤ 60** et une valeur de propreté **Vbg ≤ 2** (**Fiche n° 4 Annexe E**). Le taux de compactage et le module de déformation minimale sont : γd ≥ 100% de l'OPM, EV2 ≥ 80 MN/m².

VIII.2.5. Mouvement des terres :

Dans notre projet, les volumes de terrassement ont été calculés à l'aide du logiciel COVADIS 17.

→ Les détails de calcul résumés dans le tableau suivant :

Tableau VIII.24 : Volumes des matériaux (déblai, remblai et couches d'assise) entre PK08+000 et PK 23+350

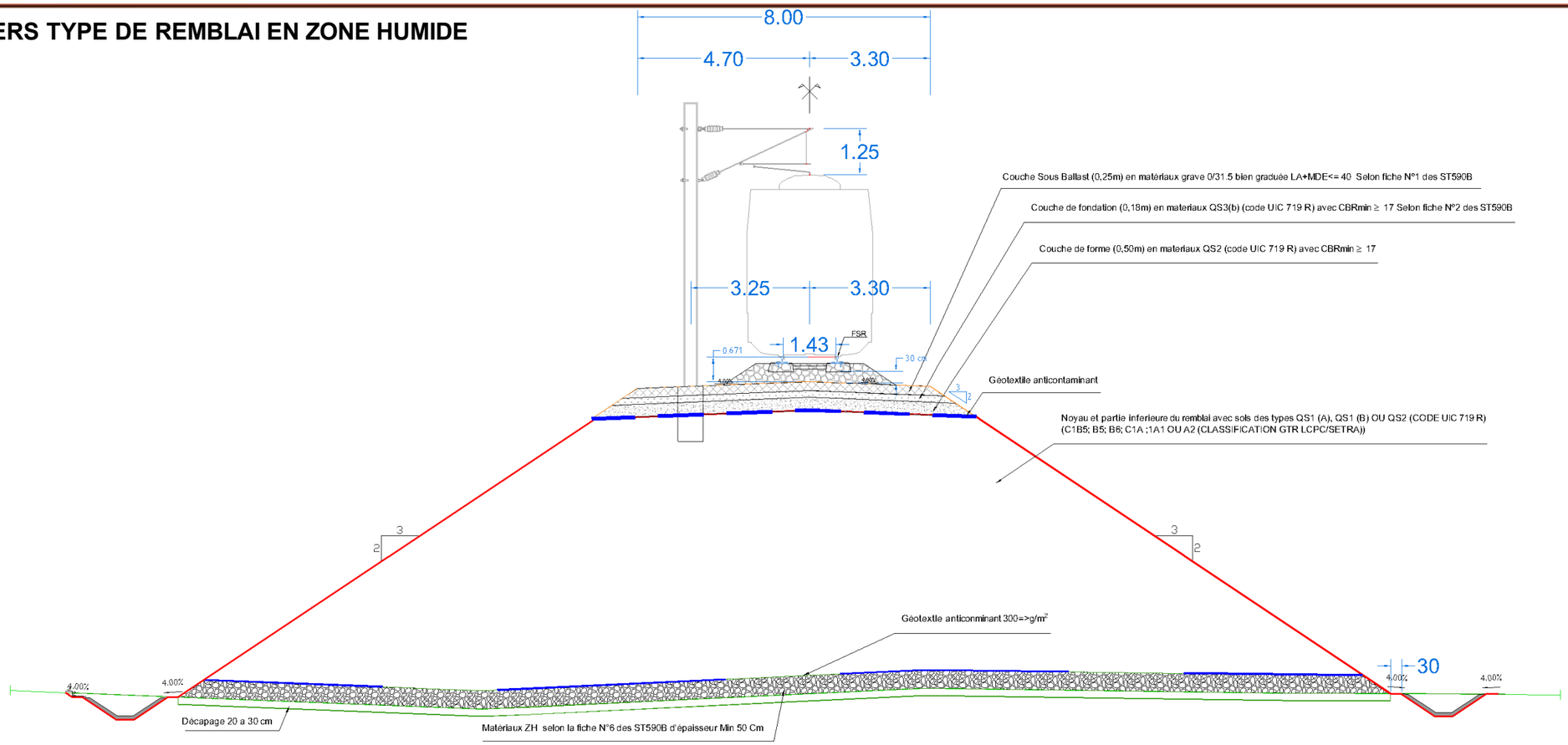
Matériaux	Remblais	Déblais	Couche de forme	Couche de fondation	Couche de sous ballast	Couche de ballast
Quantités (m3)	402 724	628 094	57 771	22 919	28 842	23 337

VIII.3 Conclusion :

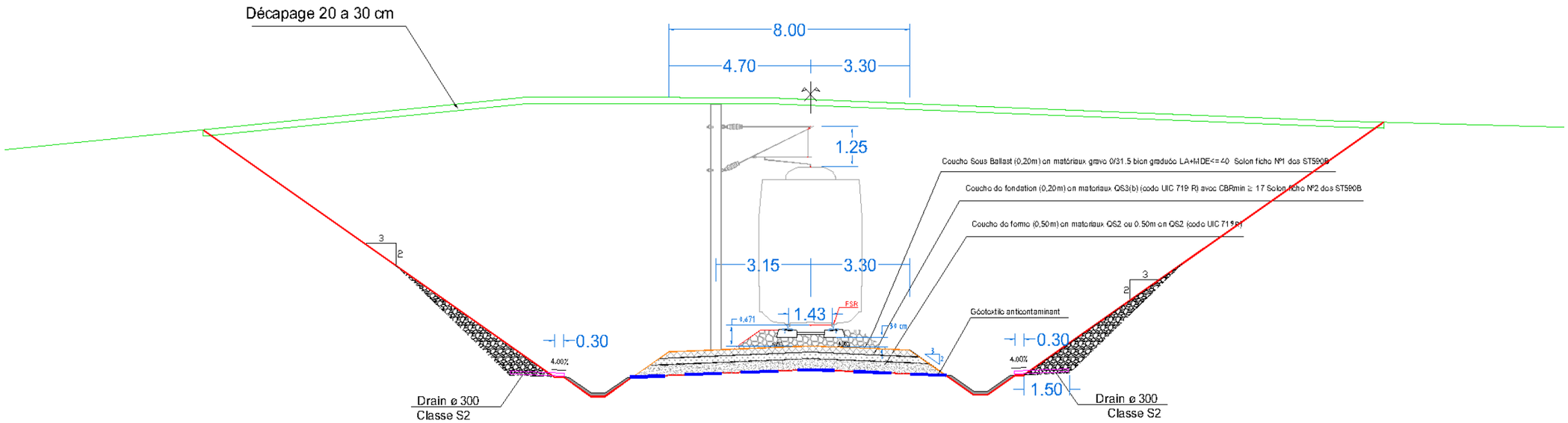
Ce chapitre a mis en évidence l'importance d'une compréhension approfondie des conditions géologiques et géotechniques du site, ainsi que la nécessité d'un dimensionnement rigoureux de l'assise ferroviaire. L'adaptation aux spécificités du terrain et aux exigences du projet permet d'assurer la stabilité, la performance et la durabilité de l'infrastructure.

L'ensemble de ces éléments constitue une base essentielle pour la réussite du projet ferroviaire, tout en illustrant la nécessité d'une approche technique adaptée et évolutive.

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE REMBLAI EN ZONE HUMIDE



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE DEBLAI EN ZONE HUMIDE



ENSTP	Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz	PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré Par	Echelle	Planche	Année universitaire
		Etude en APD d'un Raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba du Pk 08+000 au Pk 23+000 avec conception de la gare de Blad El Hadba	GUERBACHE Amin DJIDJELI Alla Eddine	Mr. ZENNOUCHE Smail Mr. FEDGHOUCHE	1 :100	Profil en travers type en ZH en remblai et en déblai	2024 / 2025

CHAPITRE IX : LES CONTRAINTES EXISTANTES

CHAPITRE IX : LES CONTRAINTES EXISTANTES

IX.1. Introduction :

Les ouvrages sont des structures de génie civil indispensables à la réalisation des projets ferroviaires. Ils permettent de franchir divers obstacles naturels ou artificiels tels que les rivières, les routes ou les vallées. Parmi ces ouvrages, on retrouve notamment les ponts, les viaducs, les passages inférieurs et supérieurs, ainsi que les tunnels.

IX.2. Les ouvrages :

IX.2.1. Influence sur le choix des ouvrages :

Le choix du type de travaux à entreprendre dans un projet ferroviaire dépend principalement de deux grandes catégories de contraintes :

- Les caractéristiques naturelles : Elles englobent des éléments propres au site, tels que la nature du sol ou le débit d'eau, qui influencent directement la conception des ouvrages.
- Les impératifs techniques : Ils concernent notamment la portée à réaliser, le type de matériel à employer (comme les engins de levage), ainsi que les techniques d'assemblage à privilégier.

En complément, plusieurs paramètres doivent être pris en compte pour assurer la faisabilité et la fonctionnalité des ouvrages :

- La nature de l'obstacle à franchir, qui conditionne la forme et la configuration de la structure.
- Les charges prévues, définies dans le programme de charge, que l'ouvrage devra être en mesure de supporter.
- Le gabarit, c'est-à-dire les dimensions maximales autorisées pour garantir la compatibilité avec les autres infrastructures.
- Le tirant d'eau, particulièrement déterminant pour les projets impliquant des milieux aquatiques.
- L'harmonisation architecturale avec le paysage environnant, afin d'assurer une bonne intégration visuelle et culturelle.
- Les contraintes spécifiques du chantier, qui doivent être prises en compte pour garantir la sécurité et le respect des réglementations en vigueur.

IX.2.2. Le croisement route-rail :

De manière générale, la problématique du croisement nécessite une analyse spécifique pour chaque situation, en tenant compte de la nature de la voie à franchir ainsi que de son débit. Cette évaluation permet d'adapter la solution au contexte, notamment en fonction de la vitesse maximale autorisée sur le tronçon concerné.

Trois options principales peuvent être envisagées pour assurer le franchissement :

a. Passage supérieur :

Cette solution est privilégiée lorsque la voie ferrée se situe en hauteur (sur remblai) par rapport à la route, ce qui permet de ménager un gabarit suffisant pour le passage routier en dessous. Elle est également adaptée dans les cas où la vitesse des trains est élevée, rendant les croisements à niveau inappropriés.

b. Passage à niveau :

Ce type de croisement est autorisé uniquement si la vitesse des trains ne dépasse pas 100 km/h, et dans des conditions de trafic routier limité. Il est interdit pour les voies à grande vitesse, sauf dans des cas exceptionnels (comme des chemins à faible fréquentation et si la configuration du terrain le permet).

c. Passage inferieur :

Solution plus rare, elle est envisagée lorsque le niveau de la voie ferrée est nettement supérieur à celui de la route. Elle est choisie uniquement si la topographie du site l'exige.

IX.2.3. Les ouvrage d'art de notre projet :

IX.2.3.1. Rétablissement routier :

Tableau IX.1 : Solutions de franchissement proposées selon les PK

N°	PK	Type obstacle	Solution proposé
01	**PK 08+825**	Croisement route CW01	à rétablir PI
02	**PK 11+200**	Croisement piste	à rétablir PS
03	**PK 12+675**	Croisement piste	à rétablir PS
04	**PK 21+375**	Croisement piste	à rétablir PS
05	**PK 22+425**	Croisement route	à rétablir PS

❖ **Présentation de l'ouvrage PK 08+825 :**

L'ouvrage en question est de type cadre en béton armé, composé de dalle de pieds droit et d'une fondation en radier général, l'ouverture nette du cadre est (7,00m×5,70m) sur une longueur de 09,50m, l'épaisseur de la dalle et de 100 cm le radier est de 100 cm, les voiles latéraux 100cm, la hauteur du remblai au-dessus du cadre est d'environ 100 cm. Aussi l'ouvrage est doté dans sa tête par une murette en béton armé d'épaisseur 30 cm et d'hauteur de 40 cm et une bèche a sa base de (40x40 cm2)

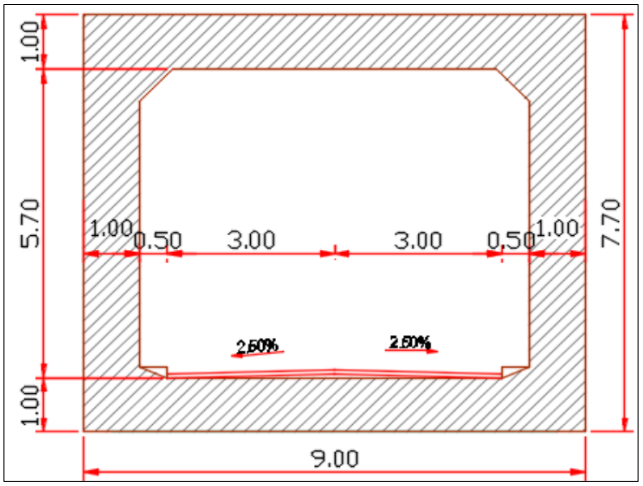


Figure IX.1 : Caractéristiques du Cadre PK 08+825.

❖ **Présentations des ouvrages de PK 11+200 et PK 12+675 :**

L'ouvrage projeté sera de type pont à poutres en Béton armé d'une travée isostatiques de 20 m de longueur. Le tablier est formé d'une dalle en béton armé de 0,20 m de d'épaisseur et de largeur totale de 7.10 m, surmonté de deux trottoirs de 0,75 m. L'infrastructure est constituée de deux culées, Les culées sont pleines, avec des murs en retour encastrés sue le mur de front, chacune repose sur une semelle de liaison. L'ouvrage est accompagné des murs des de soutènement en 'U' des deux cotés afin de retenir les remblais.

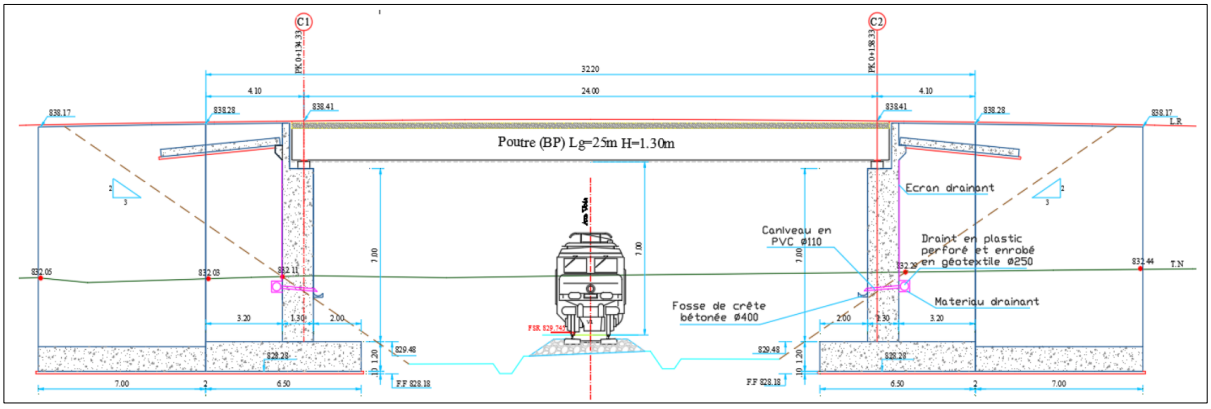


Figure IX.2 : Coupe longitudinale de l'ouvrage d'art PK 11+200 et PK 12+675

❖ **Présentation de l'ouvrage PK 21+375 :**

L'ouvrage concerné est un pont d'une travée de 25m. Le tablier est constitué de 5 poutres en précontrainte préfabriquées avec une hauteur et un espacement de 130cm. Ces poutres transmettent les efforts vers l'infrastructure au moyen d'appareils d'appui en élastomère fretté.

On prévoit pour l'infrastructure :

- Deux culées C1 et C2 à mur frontal fondées sur des semelles superficielles.
- La dalle de transition est d'une longueur de 5.00m.

La figure ci-après présente la coupe transversale sur culées :

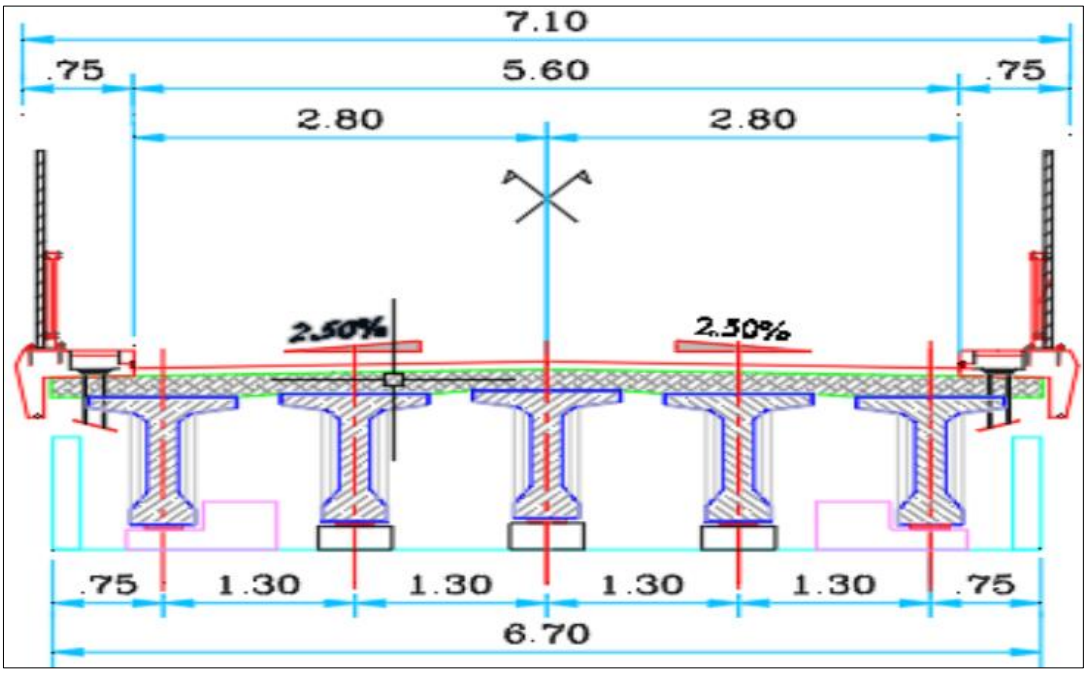


Figure IX.3 : coupe transversale sur culées de l'OA de PK 21+375

IX.2.3.2. Les ouvrages d'art :

❖ **Présentation de l'ouvrage du PK 11+996 au PK 12+062 :**

L'ouvrage concerné est un ouvrage de deux travées de 33.4 m chacune (2x33.4ml), avec une largeur totale de 8.70 m (largeurs de la dalle y compris corniche 8.70 m). Le tablier est constitué de poutres en précontrainte par poste tension, avec 7 poutres de 170 cm de hauteur espacées de 120 cm. Ces poutres transmettent les efforts vers l'infrastructure au moyen des appareils d'appui en élastomère fretté.

- On prévoit pour l'infrastructure des culées à mur frontal fondées sur des pieux de 21 m de longueur.
- une pile centrale avec deux fûts circulaire fondée sur des pieux de 21 m.
- Poids de la poutre : 62.06 tonnes.
- Épaisseur de la dalle : 30.00 cm.
- Poids volumique du béton : 2.50 t/m³.

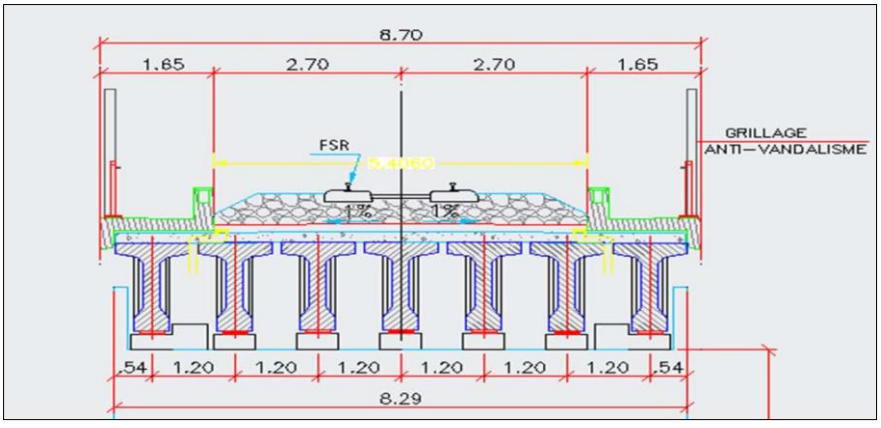


Figure IX.4 : coupe transversale de l'OA du PK 11+996 au PK 12+062

IX.2.3.3. Les lignes électriques :

La protection des lignes électriques de moyenne et basse tension intersectant notre tracé ferroviaire constitue une priorité essentielle. Mettre en place des mesures préventives dès les premières phases du projet permet d'assurer la sécurité des ouvriers ainsi que des riverains, tout en favorisant une réalisation efficace et sans risque de l'ensemble des travaux.

Tableau IX.2 : Liste des lignes électriques de moyenne et basse tension

PK	Type obstacle	Solution proposé
PK 09+115	Croisement ligne électrique BT	**à déplacer**
PK 09+660	Croisement ligne électrique BT	
PK 12+660	Croisement ligne électrique MT	
PK 12+800	Croisement ligne électrique BT	
PK 13+150	Croisement ligne électrique BT	
PK 13+520	Croisement ligne électrique BT	
PK 14+535	Croisement ligne électrique BT	
PK 16+580	Croisement ligne électrique BT	
PK 16+825	Croisement ligne électrique MT	
PK 17+150	Croisement ligne électrique MT	
PK 17+650	Croisement ligne électrique BT	
PK 17+925	Croisement ligne électrique MT	
PK 19+600	Croisement ligne électrique MT	
PK 20+265	Croisement ligne électrique BT	
PK 20+915	Croisement ligne électrique BT	
PK 21+035	Croisement ligne électrique BT	
PK 21+200	Croisement ligne électrique BT	

IX.2.3.4. Pipes line :

Dans le cadre de notre projet, une seule conduite (pipeline) nécessite une protection, située entre le **PK 10+800** et le **PK 10+875**. Il est proposé de mettre en place un ouvrage de protection spécifique à cet emplacement, conformément aux exigences techniques et de sécurité.

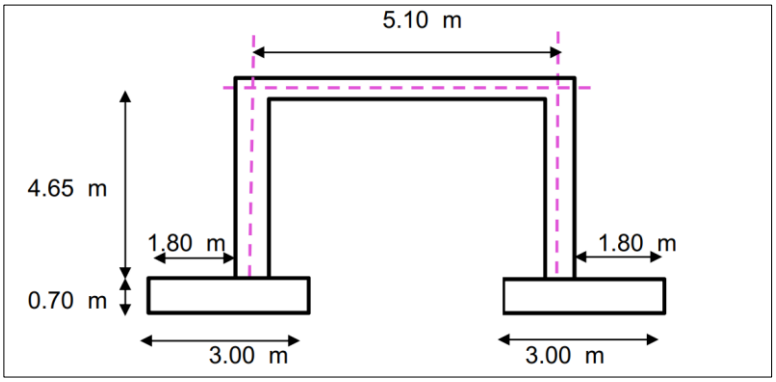


Figure IX.5 : Caractéristiques du cadre (protection pipeline)

→ Dans les photos suivantes nous allons présenter quelques passages sup/inf de notre projet.

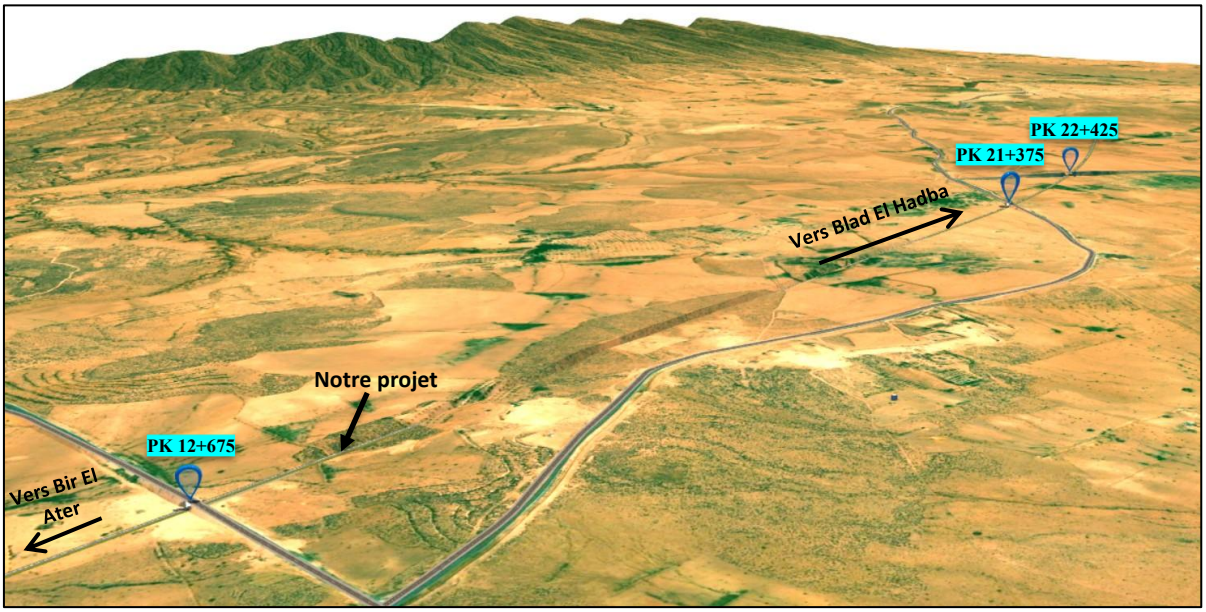


Figure IX.6 : Illustration des passages supérieurs N°03, N°04 et N°05 sur InfraWorks



Figure IX.7 : Illustration de passage inférieur N°01 sur InfraWorks

IX.3. Conclusion :

En somme, les ouvrages constituent des éléments clés dans l'aménagement des infrastructures ferroviaires. Leur conception et leur mise en œuvre doivent répondre à des exigences techniques rigoureuses afin d'assurer la continuité du tracé, la sécurité des usagers et l'intégration harmonieuse dans l'environnement. Le choix de chaque type d'ouvrage dépend des contraintes du terrain et des besoins spécifiques du projet, faisant de ces structures des composantes stratégiques pour la réussite de toute ligne ferroviaire.

CHAPITRE X :
CONCEPTION DE LA GARE

CHAPITRE XI : CONCEPTION DE LA GARE

Introduction :

L'aménagement d'une gare ferroviaire, qu'il s'agisse d'une infrastructure destinée aux voyageurs, aux marchandises ou aux opérations de triage, représente une composante essentielle du réseau de transport. La conception d'une telle installation exige une étude approfondie de ses différentes fonctions, de ses contraintes géométriques et techniques, ainsi que de ses exigences d'exploitation.

Dans ce contexte, l'ingénieur ferroviaire joue un rôle central dans l'élaboration du plan de masse, un document fondamental qui détermine l'implantation et l'organisation des diverses composantes de la gare. Ce travail repose sur plusieurs paramètres clés tels que le type de gare, le volume de trafic à traiter et sa localisation géographique, autant de facteurs qui influencent directement les choix d'aménagement et les caractéristiques techniques des installations.

Ce document s'intéresse particulièrement à la gare de marchandises, en abordant son architecture fonctionnelle, ses équipements, ses contraintes d'exploitation, ainsi que les normes à respecter pour une organisation optimale de l'espace ferroviaire.

X.1. Conception de la gare :

X.1.1. Plan de masse :

L'ingénieur chargé de l'aménagement ferroviaire doit établir un plan de masse en intégrant les fonctions de l'ensemble des installations principales constituant la gare.

À cette étape, trois éléments clés doivent être pris en considération pour l'élaboration du plan de masse.

- Le type de la gare : Ce critère permet de définir le rôle de la gare ainsi que les installations nécessaires à son fonctionnement.
- Le volume de trafic : C'est à travers ce paramètre qu'on peut estimer l'importance de la gare et orienter son aménagement de manière adéquate.
- La localisation : Cet aspect influence généralement le choix de la catégorie de la gare et son trafic prévisionnel.

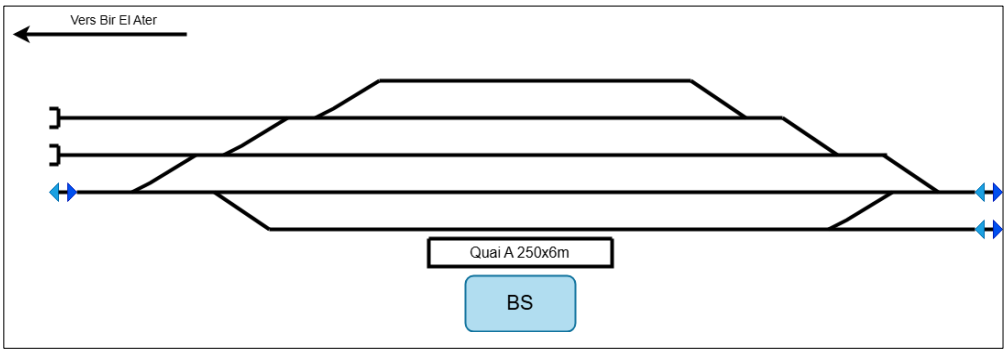


Figure X.1 : Schéma de la gare

X.1.2. Type de la gare :

Nous avons 4 types des gares :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises.
- Gare de triage.
- Gare mixte.

a. Gare de marchandise :

La gare de marchandises (ou gare fret) est une infrastructure ferroviaire spécialement conçue pour le transport, la manutention et le transbordement des biens (et non des personnes). Contrairement aux gares voyageuses, elle est destinée exclusivement à gérer les flux logistiques de marchandises.

b. Installation de la gare de marchandise :

Une gare de marchandises comprend plusieurs installations essentielles, à savoir :

- Un bâtiment de service (BS)
- Des cours de débord
- Des quais de débord
- Une halle de stockage
- Un parking

X.1.3. Aménagement d'une gare :

- Bâtiment de services fret : Il s'agit des bureaux et locaux administratifs utilisés pour gérer les aspects commerciaux et opérationnels du trafic de marchandises.
- Halles à marchandises : Des bâtiments servant de zones de stockage et de transit pour les marchandises avant leur chargement ou après leur déchargement des wagons.
- Quais de chargement : Des plateformes élevées situées à la fin des voies, utilisées pour le transfert direct des marchandises entre les wagons et les moyens de transport routiers.
- Abris de quais fret : Des structures de couverture permettant de protéger les opérations de manutention contre les intempéries.
- Cours de débord : Des espaces extérieurs aménagés pour le stationnement, l'embarquement et le débarquement des wagons de fret.
- Voies de triage et de manœuvre : Un réseau de voies multiples permettant de recomposer les trains de fret en fonction des destinations des wagons.

X.1.3.1. La marge de glissement :

Il s'agit du segment de voie situé dans le prolongement du trajet d'un train, en aval d'un signal fermé. Aucun autre train ne peut y circuler, cette zone devant rester libre sur certains réseaux. Elle est destinée à réduire les conséquences d'une collision en cas d'arrêt insuffisant du train, notamment en raison d'un freinage inefficace ou de rails rendus glissants.

Longueurs de la zone de sécurité (marge de glissement) : $50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse

de la ligne. Cette marge est utilisée en aval des signaux de protection, d'entrée, intermédiaires ou de sortie.

- LG = 200 m pour V ≥ 60 km/h.
- LG = 100 m pour 40 km/h ≤ V ≤ 60 km/h.
- LG = 50 m pour V < 40 km/h.

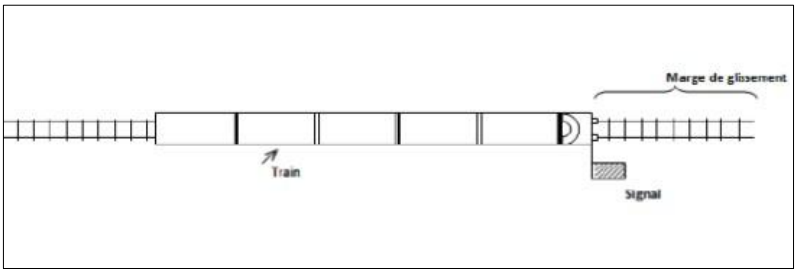


Figure X.1 : Schéma de la marge de glissement

X.1.3.2. Garage franc :

Un garage franc est une marque au sol, généralement une plaque rectangulaire en béton peinte en blanc, placée dans l'entrevoie entre deux voies convergentes. Elle indique le point limite où un train peut s'arrêter sans empiéter sur l'autre voie « la limite de gabarit », afin d'éviter tout risque de prise en écharpe (collision latérale) par un train circulant sur la voie convergente, il est utilisé notamment pour :

Marquer les limites de stationnement sur les voies de service.

Assurer la sécurité des opérations ferroviaires en définissant des zones de stationnement claires.

Optimiser l'organisation des gares et des faisceaux de voies.

Le positionnement du garage franc se fait à une distance D du cœur de l'appareil de voie, cette distance permet de localiser l'élément GF selon la relation suivante :

GF = (3,57 × N) + 1

Où N représente un paramètre dépendant de l'angle d'ouverture de l'appareil de voie.

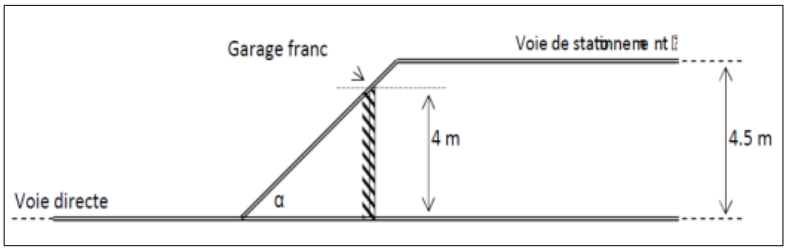


Figure X.2 : Schéma du garage franc

X.1.3.3. La longueur utile :

Il s'agit de la longueur minimale requise pour qu'un train puisse s'arrêter sur une voie de dépassement sans obstruer la voie principale ni interférer avec les autres voies de dépassement adjacentes. Cette longueur utile est définie en fonction de la longueur des trains, du type de train, ainsi que du tonnage du phosphate transporté, comme c'est le cas dans notre projet.

Et elle est calculée selon la formule suivante :

Lu = Lg + Ls + Lt + La + Lc

Lu : longueur utile.
Lg : longueur de glissement.
Ls : longueur de sécurité.
Lt : longueur maximale du train.
La : marge de tolérance pour l'arrêt.
Lc : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

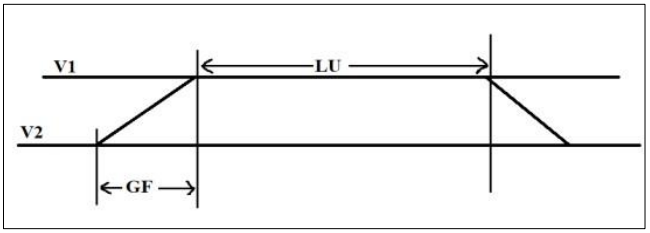


Figure X.3 : Schéma de la longueur utile

Tableau X.1 : Les paramètres géométrique de la gare

Quai	Longueur	250m
	Largeur : Quai extérieur	6m
	Hauteur	0,55 m
	Distance par rapport à l'axe de la voie	1,65m
Entraxe		5m
Type d'ADV		UIC 60 190 1/7
La longueur utile d'une voie de stationnement	VB	1100 m
	VA	1250 m
	V3	1100 m
	V5	900 m
	V7	900 m

X.1.4. Equipement de la gare :

X.1.4.1. Réseaux de la voie :

Tableau X.2 : Réseau de voie et ses composant

Réseau de voies	Voies composant le réseau
Réseau de service	Voies de garage, voies de manœuvre, voies de stationnement
Réseau de triage	Voies de triage, voies de formation, voies de réception et d'expédition
Réseau de fret	Voies de chargement/déchargement, voies d'accès aux entrepôts, voies d'embranchement particulier
Réseau industriel	Voies d'embranchement industriel, voies de desserte interne, voies de service spécifiques
Réseau portuaire	Voies d'embranchement portuaire, voies de transbordement, voies de liaison quai-entrepôt

X.1.4.2. Catenaire :

Une caténaire c'est un système de câbles aériens fournissant l'électricité aux trains dépendent de l'électrification de la ligne ferroviaire concernée, facilitant ainsi :

- Le stationnement des trains sans interruption de l'alimentation électrique.
- Les manœuvres pour le triage et la recomposition des convois.
- Le chargement et déchargement des marchandises, notamment pour les wagons nécessitant une alimentation continue.



Figure X.4 : la catenaire

X.1.4.3. Les heurtoirs :

Ils signalent la terminaison d'une voie de garage ou de sécurité. Installés à l'extrémité des voies en impasse, leur rôle est d'empêcher les véhicules en mouvement de dépasser la fin de la voie. En général, des patins de freinage doivent être disposés 10 mètres en amont du heurtoir, et réinstallés après chaque manœuvre. On distingue principalement deux catégories de heurtoirs :

- Les heurtoirs à déplacement (ou patinant), disponibles en petit et grand format.
- Les heurtoirs fixes.



Figure X.5 : Un heurtoir

X.2. Caractéristiques géométriques de la gare :

X.2.1. Déclivités dans la gare :

Selon les normes établies par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) en Algérie, la déclivité maximale autorisée dans les gares est de **0,00‰.** Cette exigence vise à garantir une stabilité optimale des trains lors des opérations d'arrêt, de stationnement et de manœuvre, en éliminant tout risque de mouvement non contrôlé des véhicules ferroviaires.

X.2.2. Quais :

Un quai de marchandises est une plateforme située le long de la voie ferrée, utilisée dans les gares de fret pour charger et décharger les marchandises. Il est construit à la même hauteur que le plancher des wagons pour faciliter le transfert. Ce quai peut être équipé d'outils comme des chariots élévateurs ou des grues, et parfois couvert pour protéger les opérations contre la pluie ou le soleil. Il permet de faire passer facilement les marchandises entre les trains, les

camions ou les entrepôts.

X.3. Application dans notre projet :

XI.3.1. Dimensionnement des quais :

a. Longueur de quai :

Le quai de marchandise A est localisé en alignement droit et possèdent une longueur de **250m.**

b. La largeur de quai :

Selon la norme **SNTF** (aménagement et gare tracé des voies), pour le quai extérieur A on prend une largeur de **6m.**

c. La hauteur de quai et distance par rapport à l'axe de la voie :

Selon UIC741, pour la hauteur nominale des quais on préconise une hauteur de 0.55m, la distance par rapport à l'axe de la voie L = 1650+S

Avec :

$$S = \frac{3750}{R} + \frac{I - 1435}{2}$$

Tel que :

R : rayon de la voie (le tracé dans la gare est droit **R** = ∞).

I : écartement de la voie.

Donc **S = 0**

On prend **L = 1650 mm** dans notre projet.

d. Longueur du garage franc :

En utilisant la formule suivante qui permet de calculer la longueur du garage franc

Où : $Gf = 3.57 \times N + 1$ (**N** : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie).

$Gf = 3.57 \times 7 + 1 = 26\ m.$

Pour notre projet on a recours à un appareil de voie (**UIC 60 190 1/7**).

- nombre des appareils = **14 appareils.**

X.4. Assainissement dans la gare :

X.4.1. Transversale :

Afin de permettre un bon écoulement des eaux pluviales dans les gares, le quai est conçu avec une pente de **2 %** en forme de toit, ce qui favorise l'évacuation de l'eau vers les voies ferrées. Ensuite, ces eaux sont guidées par les pentes transversales des plateformes pour être correctement drainées.

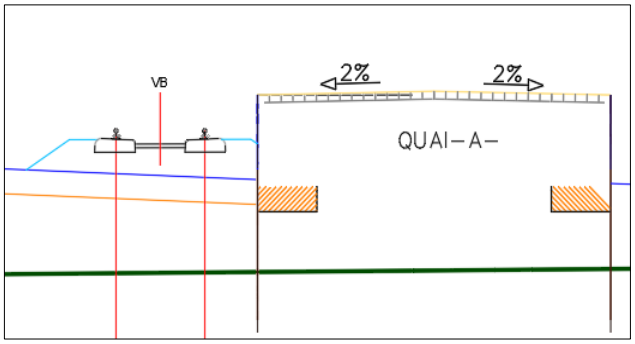


Figure X.6 : Assainissement transversale de la gare

X.4.2. Longitudinale :

Les fossés installés le long de la voie, avec une pente de **4%**, servent à recueillir les eaux de ruissellement qui pénètrent dans le ballast et la plateforme. Ces eaux sont ensuite dirigées vers le réseau d'assainissement à travers des regards de visite.

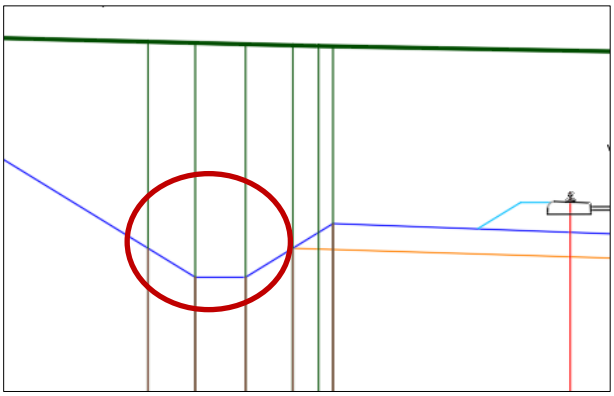


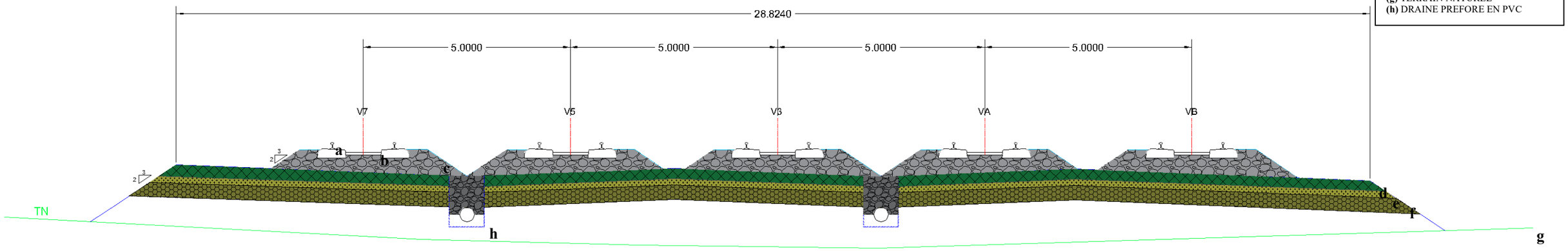
Figure X.7 : Assainissement longitudinale de la gare

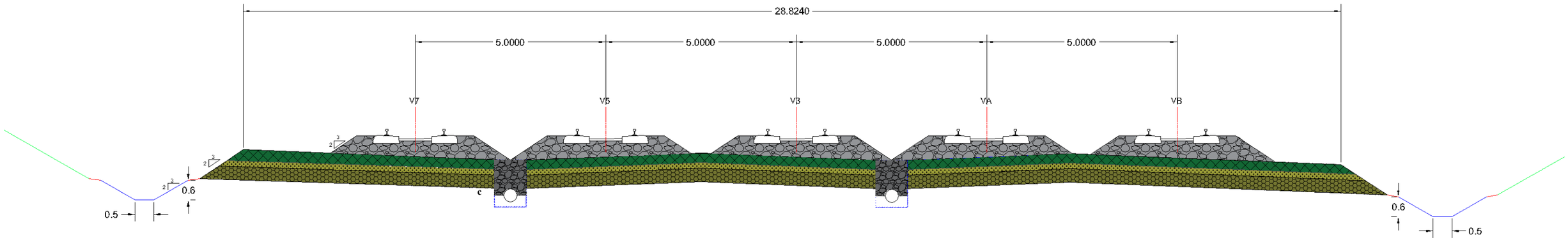
X.5. Conclusion :

La conception d'une gare de marchandises nécessite une bonne organisation et une planification précise. Le plan de masse permet de bien répartir les différentes installations pour assurer le bon fonctionnement de la gare. En tenant compte du type de gare, du trafic attendu et de sa localisation, on peut créer une infrastructure efficace, conforme aux normes, et adaptée aux besoins du transport de marchandises.

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA GARE EN REMBLAI ET EN DEBLAI

(a) RAIL UIC 60
(b) TRAVERSE BIBLOC
(c) COUCHE DE BALLAST (30 cm)
(d) COUCHE SOUS BALLAST (20 cm)
(e) COUCHE DE FONDATION (15 cm)
(f) COUCHE DE FORME (35 cm)
(g) TERRAIN NATUREL
(h) DRAINE PREFORE EN PVC





Adresse : Rue Sidi Garidi b.p. 32 Vieux Kouba -16051. Alger Fax : (023) 70 19 38 Site web : www.enstp.edu.dz Tel : (023) 70 19 04 E-mail : enstp@enstp.edu.dz	PROJET DE FIN D'ETUDE	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Planche	Année universitaire
	Etude en APD d'un Raccordement du nouveau gisement de Blad El Hadba du Pk 08+000 au Pk 23+000 avec conception de la gare de Blad El Hadba	GUERBACHE Amin DJIDJELI Alla Eddine	Mr. ZENNOUCHE Smail Mr. FEDGHOUCHE Ferhat	1 :100	Profil en travers type de la gare en remblai et en déblai	2024 / 2025

CHAPITRE XI :

SIGNALISATION FERROVIAIRE

CHAPITRE XI : SIGNALISATION FERROVIAIRE

Introduction :

Avec l'extension progressive de son réseau ferroviaire, l'Algérie accorde une attention croissante à la signalisation ferroviaire, un élément essentiel pour renforcer la sécurité et optimiser l'efficacité du transport ferroviaire.

La signalisation joue un rôle crucial dans la gestion du trafic, la prévention des accidents et la coordination de l'exploitation des lignes.

Dans cette section, nous aborderons les principes fondamentaux de la signalisation ferroviaire, en détaillant les différents types de signaux utilisés ainsi que les mécanismes de contrôle qui leur sont associés, dans un contexte où la sécurité et la fluidité de la circulation sont des priorités absolues.

XI.1. Rôle de la signalisation :

La signalisation ferroviaire constitue un pilier fondamental pour assurer la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire en Algérie. Elle englobe un ensemble de dispositifs et de systèmes conçus pour réguler la circulation des trains, prévenir les accidents et garantir la protection des passagers, du personnel et des marchandises. Parmi les fonctions essentielles de la signalisation ferroviaire figurent :

- **La régulation du trafic :** en maintenant des distances de sécurité entre les trains, la signalisation empêche les collisions et assure une fluidité optimale du trafic.
- **La prévention des accidents :** en informant les conducteurs des limitations de vitesse, des arrêts obligatoires et des conditions particulières de la voie, elle réduit les risques de déraillements et d'autres incidents.
- **La gestion des voies uniques :** en coordonnant la circulation bidirectionnelle sur une seule voie, la signalisation évite les conflits de circulation.
- **La sécurité des usagers :** en protégeant les passagers, le personnel et les marchandises contre les dangers liés à la circulation ferroviaire.
- **L'amélioration de la communication :** en facilitant les échanges d'informations entre les trains et les centres de contrôle, elle permet une meilleure coordination des opérations.

XI.2. Système de signalisation :

XI.2.1. Les fonctions des signaux :

Les signaux ferroviaires remplissent principalement trois fonctions essentielles :

- **La signalisation d'arrêt :** qui informe les conducteurs des zones où un arrêt complet est requis.
- **La signalisation de limitation de vitesse :** qui indique les sections de voie nécessitant une réduction de vitesse pour des raisons de sécurité.
- **La signalisation de direction :** qui oriente les conducteurs quant à la voie à emprunter.

Chaque fonction est généralement liée à deux catégories de signaux : ceux qui annoncent l'action à anticiper, et ceux qui la matérialisent ou en rappellent l'application. Par ailleurs, le terme « signalisation d'arrêt » désigne spécifiquement l'instruction imposant l'arrêt du train.

XI.2.2. L'implantation des signaux :

Afin d'assurer une réaction appropriée des mécaniciens face aux signaux d'arrêt ou aux limitations de vitesse dans certaines zones, il est essentiel de les en avertir suffisamment en amont. Cela est rendu possible grâce à l'implantation de signaux d'annonce placés de façon stratégique, en tenant compte de plusieurs paramètres :

- La distance d'arrêt, déterminée notamment par le profil moyen de la voie (comme la pente), afin de garantir un freinage sûr et efficace.
- La distance de ralentissement, calculée en fonction de la vitesse maximale d'approche du signal et des performances de freinage des trains.

Ces signaux sont spécifiquement conçus pour fournir aux conducteurs une information claire et anticipée, leur permettant d'adapter leur conduite en temps utile aux exigences de la signalisation ferroviaire.

XI.2.3. Visibilité des signaux :

La bonne lisibilité des signaux est un élément fondamental de la sécurité ferroviaire. Elle varie selon leur positionnement et les conditions d'exploitation. On distingue principalement :

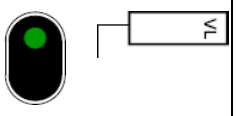
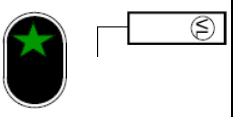
a. Visibilité des signaux hauts : Ces signaux, placés en hauteur (généralement au-dessus de la voie), offrent une visibilité étendue, particulièrement adaptée aux longues distances et aux zones à forte circulation.

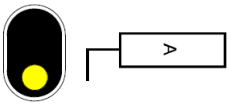
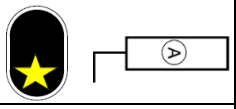
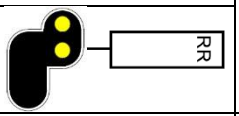
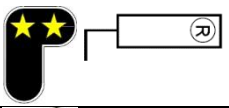
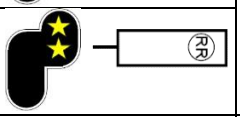
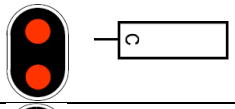
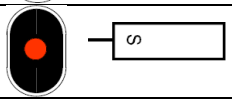
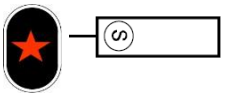
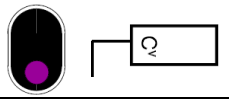
b. Visibilité des signaux bas : Situés au niveau de la voie ou à faible hauteur, ces signaux sont utilisés dans des contextes spécifiques, tels que les manœuvres ou les zones à vitesse réduite.

c. Visibilité normale d'un signal : Elle correspond à la distance minimale à laquelle un signal doit être perçu clairement par le mécanicien, afin de garantir un temps de réaction suffisant pour appliquer l'instruction donnée (freinage, arrêt, ralentissement, etc.).

XI.3. Types des signalisation ferroviaires :

Tableau XI.1 : La signalisation du projet

Nom du signal	Représentation	Signification
Feu vert		informe le conducteur que la circulation en marche normale est autorisée, à condition qu'aucun obstacle ou restriction ne s'y oppose.
Feu vert clignotant		indique au conducteur d'un train circulant à une vitesse supérieure à 160 km/h qu'il doit engager un freinage afin de réduire sa vitesse.

Feu blanc		confirme au mécanicien qu'il peut circuler en mode manœuvre.
Feu blanc clignotant		interdit systématiquement le départ d'un train en ligne.
Avertissement / feu jaune		Un avertissement fermé impose au conducteur de se préparer à l'arrêt avant les signaux d'arrêt annoncés, tels que le carré, le sémaphore, ou un feu rouge clignotant.
Feu jaune clignotant		impose au conducteur de se tenir prêt à s'arrêter devant le signal annoncé à courte distance par l'avertissement suivant.
Ralentissement 30		Le signal de ralentissement 30 fermé impose au mécanicien de franchir l'aiguillage ou les aiguillages concernés à une vitesse ne dépassant pas 30 km/h.
Rappel 30		
Ralentissement 60		Le signal de ralentissement 60 fermé impose au conducteur de ne pas dépasser 60 km/h lors du franchissement de l'aiguillage ou des aiguillages concernés.
Rappel 60		
Carré (2)		Un carré fermé impose au mécanicien de s'arrêter impérativement avant le signal.
Sémaphore		Un sémaphore fermé impose au mécanicien de s'arrêter avant le signal.
Feu rouge clignotant		Lorsqu'un mécanicien est confronté à un feu rouge clignotant, il est autorisé à poursuivre sa progression en marche à vue, sans obligation de marquer l'arrêt. Toutefois, la vitesse au franchissement de ce signal ne doit pas excéder 15 km/h.
Carré violet		Ce signal fermé ordonne au conducteur de stopper son train avant son emplacement.

XI.4. Les types des blocs :

1- Le block manuel (BM) :

Historiquement, le Block Manuel fut le premier mis en service et c'est aussi le plus rudimentaire. Il est encore en service sur les lignes peu fréquentées. Il est économique car il comporte peu de signaux mais il exige davantage de personnel pour le servir. En effet, chaque canton qui peut mesurer 10 à 25 km est sous la responsabilité d'un garde qui règle les circulations.

BM : Espacement des trains :

Lorsqu'un train entre dans le canton 3, le garde ferme le sémaphore interdisant à d'autres trains l'aus au canton 3. II rend la voie au garde du canton 2 après s'être assuré que le train entier a bien franchi le signal (d'où l'importance de la signalisation de fin de convoi). Un signal d'avertissement qui se situe à la distance d'arrêt du sémaphore est également présenté au mécanicien pour permettre le ralentissement et l'arrêt d'un train suiveur avant le sémaphore. Cette distance d'arrêt dépend de la vitesse limite autorisée sur la ligne.

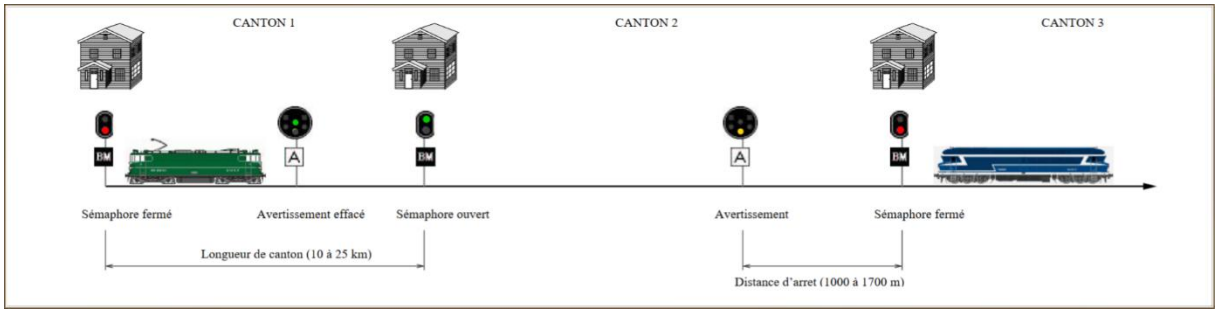


Figure XI.1 : Espacement des trains par block manuel

BM : Protection d'un point dangereux :

à la jonction de deux lignes de chemin de fer, le risque de collision est toujours important. Pour éviter que deux trains ne se prennent en écharpe, un signal de protection du type carré sur les voies principales ou carré violet sur les voies de service est installé à proximité de l'aiguille. Ce dispositif permet d'arbitrer les circulations convergentes. Un signal d'avertissement est installé à la distance d'arrêt du carré. Pour s'assurer qu'à la suite d'un freinage trop long un train n'engage le gabarit au niveau de l'aiguille, une distance de glissement de quelques centaines de mètres au plus est prévue entre le signal de protection et l'aiguille.

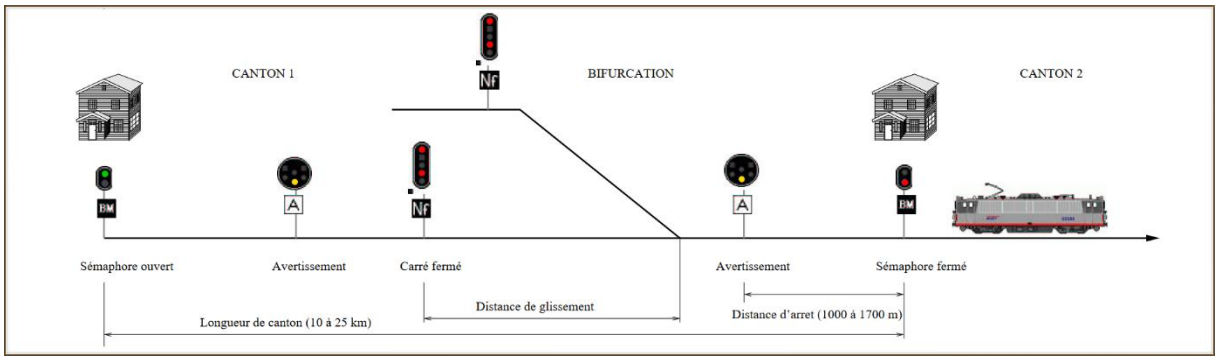


Figure XI.2 : Protection d'une bifurcation par block manuel

BM : Arrêt différé :

avec le souci de réaliser des économies, le disque est apparu pour remplacer le groupe carré-avertissement. Ce seul signal commande au mécanicien de passer en marche à vue et de s'arrêter avant le signal suivant ou le premier appareil de voie rencontré. De ce fait, on le voit à distance de freinage des embranchements particuliers ou des aiguilles dirigeant vers les voies de service des petits établissements.

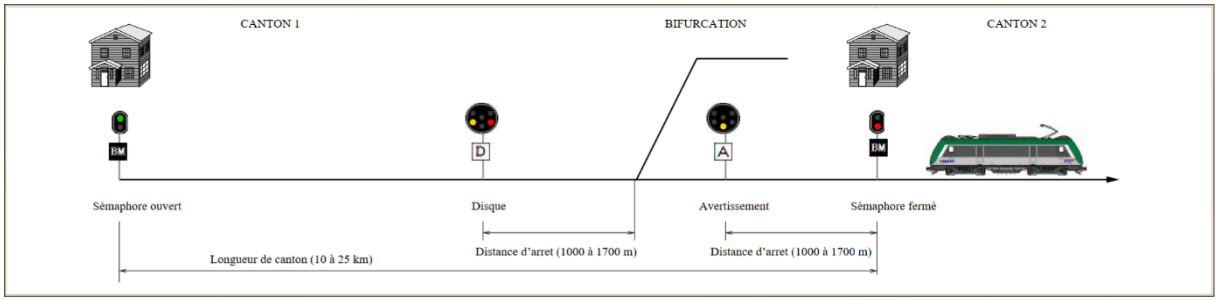


Figure XI.3 : Arrêt différé par block manuel

BM : Ralentissement :

Le franchissement d'une aiguille ou d'une série d'aiguille en position déviée est rarement effectué à vitesse normale car le risque de déraillement est trop grand. On place alors des signaux mobiles qui commandent le ralentissement des trains à 30 km/h lorsque l'aiguille est en position déviée et qui sont effacés lorsque l'aiguille est en position non déviée. Deux panneaux sont nécessaires : un premier annonce le ralentissement (le mécanicien amorce immédiatement le ralentissement de son train), un second marque le point où la consigne est normalement exécutée (juste avant l'aiguille). Lorsque le train complet a franchi l'aiguille, le mécanicien peut reprendre une marche normale conformément au livret de marche des trains.

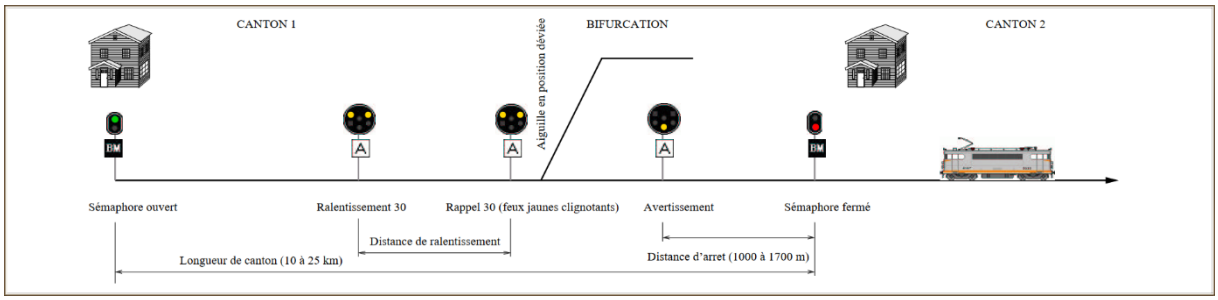


Figure XI.4 : Ralentissement par block manuel

2- Le block automatique lumineux (BAL) :

Pour faire face à l'augmentation incessante du trafic, deux solutions furent envisagées :

- La première qui est aussi la plus coûteuse.
- La seconde solution, un peu plus économique, consistait à réduire la longueur des cantons donc l'espacement des trains. Ainsi, les sémaphores sont plus rapprochés et le temps de réaction nécessaire à leur manœuvre devient souvent trop court pour que celle-ci soit confiée à un garde.

Ce dispositif a finalement été retenu lorsque les automatismes furent jugés suffisamment fiables et il a donné naissance au Block Automatique Lumineux.

Le Block Automatique Lumineux requérant l'installation de très nombreux signaux il est utilisé sur les lignes à fort trafic.

3- Le block automatique à permissivité restreinte (BAPR)

Le Block Automatique à Permissivité Restreinte est le dernier modèle de block à avoir été mis en service pour répondre à des impératifs d'ordre économique. Il reprend les

automatismes du Block Automatique Lumineux mais appliqués à des cantons de longueur plus grande. II nécessite donc moins de signaux que le BAL et moins de personnel que le BM. II est principalement utilisé sur les lignes à débit moyen et les lignes secondaires.

XI.5. Application au projet :

Dans le cadre de notre projet de raccordement ferroviaire au nouveau gisement de Blad El Hadba, nous avons retenu l'utilisation du Bloc Manuel (**B.M**) comme mode de cantonnement. Ce choix s'inscrit dans une logique d'adéquation entre le niveau de trafic marchandises modéré, la voie unique, et l'absence de perspective d'extension ou de doublement à long terme.

Le système **B.M** permet une gestion sûre et efficace des circulations à travers l'échange d'autorisations entre agents, tout en limitant les besoins en infrastructure et en automatisation coûteuse. Cette solution, conforme aux normes **RFN** et **UIC**, assure un niveau de sécurité élevé pour les mouvements de trains, tout en étant économiquement justifiée dans un contexte industriel ou minier comme celui du gisement. Elle garantit une exploitation fiable et adaptée, en phase avec les exigences techniques du tracé et les caractéristiques spécifiques de l'exploitation fret.

XI.6. Conclusion :

Ce chapitre a mis en évidence l'importance capitale de la signalisation ferroviaire dans la sécurité et la régulation des circulations sur le réseau. Elle permet d'assurer une gestion fluide, d'éviter les conflits de circulation et de prévenir les accidents. Au-delà de la sécurité, elle contribue également à améliorer la performance globale du transport ferroviaire.

L'évolution des technologies rend nécessaire la modernisation continue des systèmes de signalisation. Adapter ces systèmes aux besoins réels d'exploitation permet de concilier sécurité, fiabilité et efficacité, tout en respectant les normes en vigueur. Ainsi, une signalisation bien dimensionnée et conforme constitue un levier essentiel pour une exploitation durable, sécurisée et optimisée du réseau ferroviaire.

CHAPITRE XII :

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE XIII : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Introduction :

L'étude d'impact sur l'environnement, également appelée étude d'incidence environnementale, est une démarche qui vise à identifier et évaluer les effets potentiels d'un projet sur l'environnement dès les premières étapes de sa planification. Elle permet de situer le projet dans son contexte territorial, d'en justifier la pertinence, et de décrire les principales composantes du milieu récepteur.

L'objectif de cette étude est de détecter les atteintes possibles aux écosystèmes traversés par le tracé, d'évaluer l'ampleur des impacts et de proposer des mesures pour atténuer les effets négatifs sur l'être humain, l'environnement, ainsi que sur les ressources naturelles et agricoles.

XII.1. Cadre législatif et réglementaire :

Pour garantir une mise en œuvre respectueuse de l'environnement, le projet doit se conformer aux lois et règlements algériens en matière de protection de l'environnement. L'Algérie accorde une attention particulière à la préservation des écosystèmes et à l'intégration du développement durable dans ses politiques. Voici quelques dispositions juridiques clés à prendre en compte :

Tableau XII.1 : Références légales et réglementaires applicables au projet ferroviaire

Domaine	Références légales et réglementaires
Faune et flore	-Ordonnance n° 06-05 du 15 juillet 2006 relative à la protection et à la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition. -Décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.
Protection de l'environnement et développement durable	-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.
Patrimoine culturel et sites archéologiques	- Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.
Étude d'impact sur l'environnement	-Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement. Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007 déterminant le champ d'application. le contenu et les modalités d'approbation des études et notices d'impact sur l'environnement.

XII.2. Description du Site :

Le tracé ferroviaire entre Bir El Ater et Bled El Hadba traverse une zone géographiquement

variée, constituée de formations sédimentaires du Miocène et du Quaternaire, avec des sables, grès et argiles. Il longe également des zones alluviales en fond de vallée et passe à proximité de zones rurales habitées, nécessitant des mesures pour limiter l'impact sur les populations locales.

XII.3. Ressources physiques biologiques et humaines de la région d'étude :

Tébessa se distingue par ses richesses naturelles, humaines et son potentiel économique et touristique.

Tableau XII.2 : Éléments physiques, écologiques et humains de la zone concernée

Ressource	Type	Description
Physique	Relief	La zone d'étude comprend deux ensembles géographiques : au nord, le domaine atlasique (Monts de Tébessa, Hauts Plateaux), et au sud, le domaine saharien, caractérisé par un relief uniforme et un climat aride.
	Climat	La zone d'étude se divise entre le nord atlasique (relief accidenté) et le sud saharien (relief uniforme, climat aride).
	Géologie / Hydrogéologie	Formations crétacé, quaternaire, miocène. Zone de sismicité (Zone 2).
	Réseau hydrographique	Eaux superficielles : cours d'eau et oueds.
Biologique	Flore	La région se distingue par une flore diversifiée, dominée par une végétation herbacée composée d'espèces typiques telles que l'alpha, l'armoise, le sparte, ainsi que diverses herbes adaptées aux zones montagneuses.
	Faune	La faune locale est riche et variée, comprenant des mammifères, reptiles et de nombreux oiseaux, dont certaines espèces protégées.
Humaine	Activités économiques	L'agriculture locale combine cultures variées (céréales, fourrages, maraîchage, oliviers) et élevage, contribuant à la production de viande blanche.
	Les infrastructures de base existantes	Réseau routier devers. Ligne minière Tébessa-Annaba : transport de voyageurs et de phosphate.
	Tourisme	La wilaya de Tébessa représente un centre touristique majeur, reconnue notamment pour ses vestiges romains, avec en particulier le célèbre mur de Caracalla. La diversité des atouts de cette wilaya offre de nombreuses possibilités favorables à l'investissement et au développement de projets touristiques à fort potentiel.

XII.4. L'impact du projet

XII.4.1. Les effets bénéfiques :

Ces effets se manifestent à la fois de manière directe et indirecte, notamment par :

Tableau XIII.3 : Bénéfices directs et indirects du projet

Direct	Indirect
- Renforcer la capacité de la ligne minière Est. - Générer de nouvelles opportunités d'emploi. - Accroître la vitesse de circulation sur la ligne et raccourcir les temps de trajet.	- L'élimination du transport routier des minerais, ce qui diminue les coûts liés à l'entretien des routes. - La baisse du trafic routier, contribuant à réduire la pollution de l'air ainsi que les risques d'accidents. - L'optimisation de la gestion des ressources locales pour plus d'efficacité.

XII.4.2. Les impacts négatifs et les mesures d'atténuation proposées :

Les impacts négatifs désignent les conséquences défavorables ou nuisibles engendrées par un projet ou une action, pouvant toucher l'environnement, la santé, la sécurité, l'économie ainsi que le bien-être des populations.

Le tableau suivant offre une synthèse des principaux impacts négatifs prévus, leur gravité estimée, ainsi que les solutions envisagées pour les réduire :

Tableau XII.4 : Impacts négatifs et mesures d'atténuation

Catégorie d'impact	Impacts négatifs	Solutions d'atténuation proposées
Sols	- Réduction des superficies agricoles et dégradation des sols. - Compactage du sol limitant sa perméabilité et l'absorption de l'eau.	- Gérer rigoureusement les déchets solides, effluents et eaux usées. - Stabiliser les sols pour limiter l'érosion. - Réduire la poussière par arrosage régulier. - Éviter les produits chimiques près des zones sensibles. - Protéger les espèces et habitats naturels. - Optimiser le chantier et utiliser des matériaux à faible impact.
Eau (superficielle / souterraine)	- Risque de pollution des eaux de surface par ruissellement de polluants. - Perturbation possible des nappes phréatiques et des sources locales.	
L'air	- Émissions et poussières nuisibles à la santé, la sécurité et au paysage. - Nuisances sonores perturbant les habitants et la faune.	
Flore	- Disparition de végétation due au décapage du sol. - Pollution affectant la flore autour du chantier.	- Restaurer les sites dégradés par re-végétalisation avec des espèces locales.

Faune	- La suppression de prairies et zones humides entraîne la perte d'écosystèmes vitaux pour de nombreuses espèces animales. - Le bruit généré par le passage des trains de fret perturbe les comportements naturels de la faune, notamment en altérant leur communication, leur reproduction et leurs habitudes alimentaires	- Sensibiliser les populations locales et les usagers du rail à l'importance de la protection de la faune et aux actions mises en place pour sa préservation. - Réduire la vitesse des trains lors de la traversée d'habitats sensibles afin de limiter les risques de collision avec la faune.
Milieux humain	- Bruit des trains affectant le sommeil, la concentration et la qualité de vie des riverains. - Le projet peut accroître les risques d'accidents, tant pour les ouvriers du chantier.	- Créer des passages sécurisés pour piétons et véhicules. - Installer des barrières anti-bruit près des zones habitées. - Limiter l'accès au chantier au personnel autorisé.
Milieux agricoles	- La réalisation des voies ferrées diminue la superficie des terres agricoles disponibles.	- Éviter les zones agricoles de haute valeur pour préserver les terres cultivables.

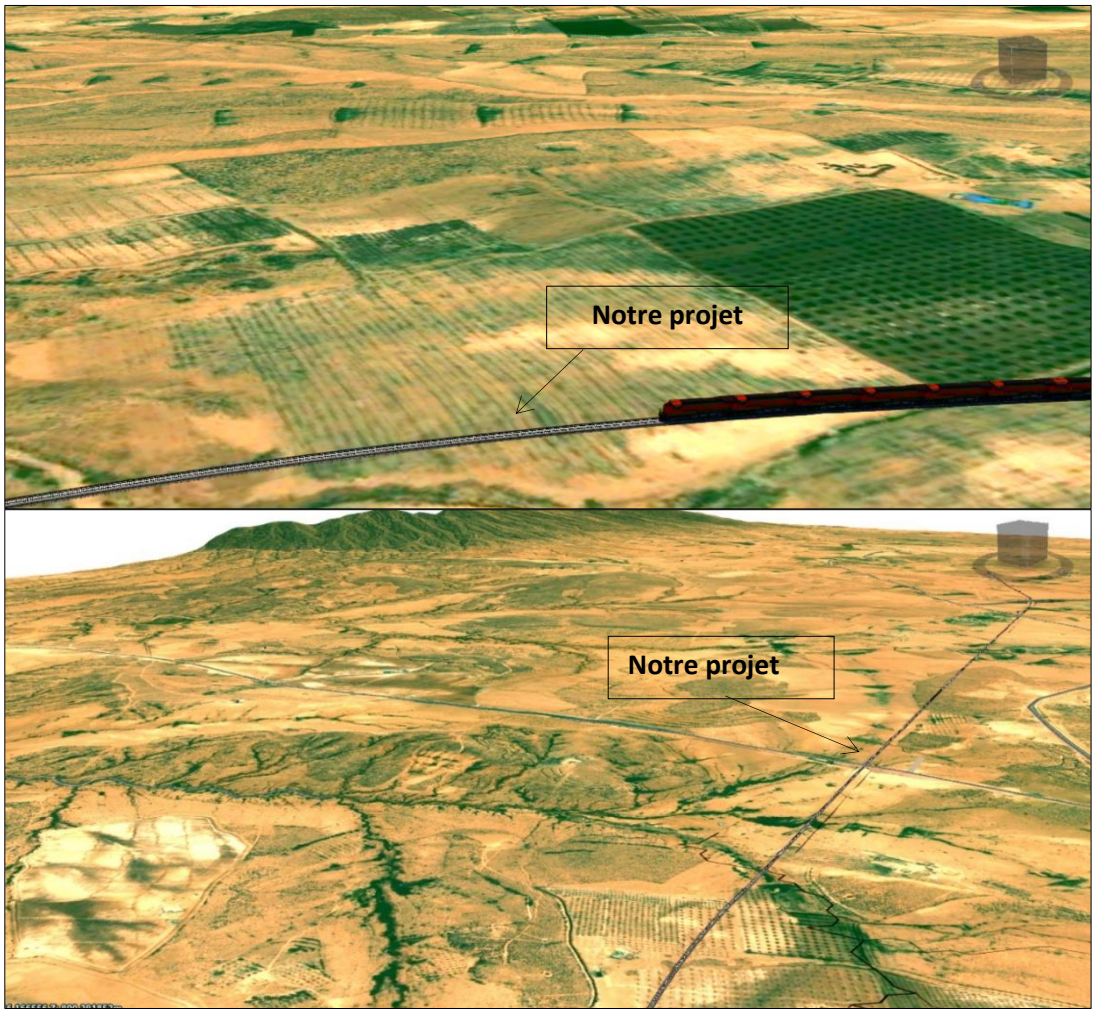


Figure XII.1 : Illustration 3D avec InfraWorks de passage du projet par des terrains agricoles

XII.5. Influence de l'environnement sur la réalisation du projet :

L'environnement constitue un facteur déterminant dans la réalisation d'un projet ferroviaire, car il conditionne à la fois le choix du tracé, les techniques de construction et les mesures de gestion des impacts. La présence des zones écologiquement sensibles, de reliefs complexes ou de ressources hydriques exige une adaptation rigoureuse des travaux pour limiter la dégradation des écosystèmes et préserver la qualité des sols et de l'eau.

Par ailleurs, le respect des réglementations environnementales impose la réalisation d'études d'impact et l'adoption de mesures d'atténuation, telles que la gestion des déchets, la réduction des nuisances sonores et la re-végétalisation des zones affectées.

Enfin, la prise en compte des préoccupations sociales liées à l'environnement, notamment les activités agricoles et le bien-être des populations locales, est essentielle pour assurer l'acceptabilité et la durabilité du projet.

XII.6. Conclusion :

En somme, l'environnement joue un rôle crucial dans la conception et la réalisation du projet ferroviaire. La prise en compte des contraintes écologiques, géographiques et sociales permet de minimiser les impacts négatifs tout en maximisant les bénéfices pour la région.

Le respect des normes environnementales et l'application des mesures d'atténuation sont indispensables pour garantir un développement durable et harmonieux du projet.

CHAPITRE XIII :

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

CHAPITRE XIII : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Tableau XIII.1 : Devis quantitatif et estimatif

N°	DESIGNATIONS	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
1	**INSTALLATIONS GENERALES**				
1.01	Amenée du matériel et installation générale de chantier	**F**	1.00	100 000 000,00	100 000 000,00
1.02	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	**F**	1.00	30 000 000,00	30 000 000,00
1.03	Etude d'exécution et plan de recollement	**F**	1.00	150 000 000,00	150 000 000,00
TOTAL 1					**280 000 000,00**
2	**TERRASSEMENTS GENERAUX**				
2.01	Décapage des terres végétale	**M3**	91 191,15	800,00	72 952 920,00
2.02	Remblai provenant des zones d'emprunt	**M3**	25 868,00	1 300,00	33 628 400,00
2.03	Déblais mise en remblai	**M3**	376 856,00	900,00	339 170 400,00
2.04	Déblais en terres mise en dépôt	**M3**	251 238,00	750,00	188 428 500,00
2.05	Fourniture Mise en place du Géotextile	**M2**	6 966,80	1 700,00	11 843 560,00
2.06	Matériau de zone inondable/humide	**M3**	172 000,00	4 200,00	722 400 000,00
TOTAL 2					**1 368 423 780,00**
3	**ASSISE FERROVIAIRE**				
3.01	F/P couche de forme	**M3**	57 771,00	1 100,00	63 548 100,00
3.02	F/P couche de fondation	**M3**	22 919,00	2 800,00	64 173 200,00
3.03	F/P couche de sous ballast	**M3**	28 842,00	3 200,00	92 294 400,00
3.04	F/P couche de ballast	**M3**	23 337,00	7 000,00	163 359 000,00
TOTAL3					**383 374 700,00**
4	**DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT**				
4.01	Dalots en béton armé (1.5x1.5) -(2x2) -(1.5x1) – (1x1)	**M3**	134,00	45 000,00	6 030 000,00
4.02	Buses en béton arme diamètre (1500)	**ML**	129,00	70 000,00	9 030 000,00
4.03	Fossé en béton arme.	**ML**	26 500,00	11 400,00	302 100 000,00
TOTAL 4					**317 160 000,00**
5	**TRAVAUX DE VOIE ET DE GARE**				
5.01	Fourniture des rails UIC 60 E	**T**	2 449,29	173 250,00	424 339 492,50
5.02	Fourniture des traverses Bi-bloc en béton armé (B400 PI3A)	**U**	34 943,56	9 256,00	323 437 591,36
5.03	Fourniture des attaches (Type NABLA)	**U**	69 887,12	1 200,00	83 864 544,00
5.04	Pose de voie	**ML**	15 350,00	9 400,00	144 290 000,00
5.05	Soudures électriques	**U**	1 128,00	9 500,00	10 716 000,00
5.06	Soudures aluminothermiques	**U**	52,00	9 500,00	494 000,00
5.07	Fourniture des adv UIC 60-190-1/7	**U**	11,00	11 920 990,00	166 893 860,00
5.08	Pose des adv UIC 60-190-1/7	**U**	11,00	500 000,00	7 000 000,00
5.09	Heurtoir	**U**	2,00	936 686,00	1 873 372,00
5.10	fourniture et pose de garage franc	**U**	14,00	400 000,00	5 600 000,00

5.11	Batiment de service	**F**	1,00	75 022 510,20	75 022 510,20
5.12	F/P des quais avec ces installations	**U**	1,00	19 417 281,00	19 417 281,00
5.13	Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de la gare	**F**	1,00	180 803 927,00	180 803 927,00
TOTAL 5					**1 443 752 578,06**
6	**SIGNIALISATION**				
6.01	Signalisation	**F**	1,00	4 500 000,00	4 500 000,00
TOTAL 6					**4 500 000,00**
7	**OUVRAGES D'ART :**				
7.01	Passage superieur	**F**	4.00	35 000 000,00	140 000 000,00
7.02	Passage inferieur	**F**	1.00	35 000 000,00	35 000 000,00
7.03	Pont rail	**F**	1.00	35 000 000,00	35 000 000,00
TOTAL 7					**210 000 000,00**
Total en HT					**4 007 211 058,06**
MMONTANT TVA					**761 370 101,03**
MONTANT TOTAL EN TTC					**4 768 581 159,09**

Montant total en TTC (en lettres) :

Quatre milliards sept cent soixante-huit millions cinq cent quatre-vingt-un mille cent cinquante-neuf dinars et neuf centimes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le présent mémoire de fin d'études porte sur la réalisation du raccordement ferroviaire du nouveau gisement de Blad El Hadba, s'étendant du PK 8+000 au PK 23+350, ainsi que sur la conception de la future gare de Blad El Hadba. Ce projet s'inscrit dans la dynamique nationale d'amélioration du réseau ferroviaire, avec pour objectif de soutenir la croissance du secteur minier et d'accompagner le développement socio-économique régional.

L'étude a abordé les aspects essentiels à la réussite de cette infrastructure. Une analyse géométrique rigoureuse a permis de définir le tracé optimal en tenant compte des contraintes topographiques locales. Des investigations géologiques et géotechniques ont été menées pour évaluer les caractéristiques du sol, garantissant ainsi la stabilité de la plateforme ferroviaire et des ouvrages associés. Parallèlement, des études hydrauliques ont été réalisées afin d'assurer une gestion efficace des eaux de ruissellement et de préserver la durabilité de l'ensemble de l'infrastructure.

La conception de la gare de Blad El Hadba a été pensée en fonction des besoins logistiques liés à l'exploitation du gisement, avec des aménagements adaptés au trafic de marchandises.

Les logiciels spécialisés tels qu'AutoCAD Civil 3D, InfraWorks et Talren 5 ont été utilisés pour modéliser le projet, produire des plans détaillés, réaliser des simulations et proposer des visualisations réalistes, facilitant ainsi les prises de décision et la communication avec les différents intervenants.

Le respect des normes de l'UIC et des directives de la SNTF a guidé toutes les étapes du projet, assurant sa conformité, sa sécurité et sa viabilité à long terme.

En conclusion, ce travail représente une contribution concrète à l'amélioration du transport ferroviaire dans une zone stratégique. Il renforce la capacité d'acheminement des ressources minières tout en développant une infrastructure durable. Ce mémoire nous a permis de consolider nos compétences tant sur le plan théorique que pratique, et constitue une base solide pour aborder avec confiance notre avenir professionnel dans le domaine de l'ingénierie ferroviaire.

Bibliographie

[1] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.

[2] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.

[3] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.

[4] COSIDER, « Rapport de l'étude géologique et géotechnique ».

[5] COSIDER, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».

[6] METEOBLUE, WILAYA TEBESSA / BIR EL ATER.

[7] COSIDER, « formation : THEME TRAVAUX DE VOIE FERREE- Long Rail Soudé LRS et poses de voies ».

[8] SETRA, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.

[9] SNTF, Appareils de vois.

[10] ST N°590 B-Oct 95.

[11] IN 260, Dimensionnement des structures d'assise pour la construction et la réfection des voies ferrées.

[12] IN 0272, Conception du tracé de la voie courante V ≤ 220 km/h.

[13] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.

[14] SNCF / nitrathor.fr, fiches/enchainement-signalisation ferroviaire.

[15] CDHA : naissance du réseau ferre en Algérie - lignes principales

ANNEXE

ANNEXE A : Listing de profil en long

Les Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-1.00 %	1161,010	8000,000	862,562
Cercle 1	Rayon	10000.000 m	168,793	9161,010	850,941
	Sommet Absc.	9261.105 m			
	Sommet Alt.	850.440 m			
Pente 2	Pente	0.69 %	646,513	9329,804	850,676
Cercle 2	Rayon	-10000.000 m	228,651	9976,317	855,117
	Sommet Absc.	10045.015 m			
	Sommet Alt.	855.353 m			
Pente 3	Pente	-1.60 %	1724,690	10204,968	854,074
Cercle 3	Rayon	7000.000 m	141,294	11929,658	826,483
	Sommet Absc.	12041.625 m			
	Sommet Alt.	825.588 m			
Pente 4	Pente	0.42 %	1856,354	12070,953	825,649
Cercle 4	Rayon	-10000.000 m	45,968	13927,306	833,427
	Sommet Absc.	13969.203 m			
	Sommet Alt.	833.515 m			
Pente 5	Pente	-0.04 %	1018,207	13973,275	833,514
Cercle 5	Rayon	-10000.000 m	117,969	14991,482	833,099
	Sommet Absc.	14987.410 m			
	Sommet Alt.	833.100 m			
Pente 6	Pente	-1.22 %	1602,634	15109,451	832,355
Cercle 6	Rayon	10000.000 m	70,607	16712,085	812,795
	Sommet Absc.	16834.126 m			
	Sommet Alt.	812.050 m			
Pente 7	Pente	-0.51 %	1428,416	16782,692	812,183
Pente 8	Pente	-0.65 %	2019,632	18211,107	804,836
Cercle 7	Rayon	5000.000 m	112,683	20230,739	791,614
	Sommet Absc.	20263.472 m			
	Sommet Alt.	791.507 m			
Pente 9	Pente	1.60 %	555,246	20343,422	792,146
Cercle 8	Rayon	-6500.000 m	200,817	20898,667	801,026
	Sommet Absc.	21002.602 m			
	Sommet Alt.	801.857 m			
Pente 10	Pente	-1.49 %	759,395	21099,485	801,135
Cercle 9	Rayon	4000.000 m	58,207	21858,879	789,815
	Sommet Absc.	21918.499 m			
	Sommet Alt.	789.370 m			
Pente 11	Pente	-0.04 %	1469,904	21917,087	789,370
Longueur totale de l'axe 15386.991 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 15387.672 mètre(s)					

ANNEXE B : Listing de l'axe en plan

Les Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	154.10gr	2999,744	8000,000	417917,540	3846960,207
Clothoïde 1	Paramètre	178,885	40,000	10999,744	419897,719	3844706,908
Arc 1	Rayon	800.000 m	815,663	11039,744	419924,372	3844677,083
	Centre X	420511.915 m				
	Centre Y	3845220.032 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-178,885	40,000	11855,407	420666,736	3844435,156
Droite 2	Gisement	86.01gr	2487,282	11895,407	420705,844	3844443,550
Clothoïde 3	Paramètre	-189,737	40,000	14382,689	423133,309	3844985,755
Arc 2	Rayon	-900.000 m	841,860	14422,689	423172,410	3844994,185
	Centre X	423349.036 m				
	Centre Y	3844111.687 m				
Clothoïde 4	Paramètre	189,737	40,000	15264,549	423954,475	3844777,602
Droite 3	Gisement	148.39gr	1536,167	15304,549	423983,669	3844750,259
Clothoïde 5	Paramètre	-219,089	40,000	16840,716	425097,044	3843691,862
Arc 3	Rayon	-1200.000 m	832,593	16880,716	425125,882	3843664,142
	Centre X	424284.719 m				
	Centre Y	3842808.312 m				
Clothoïde 6	Paramètre	219,089	40,000	17713,309	425478,698	3842928,367
Droite 4	Gisement	194.68gr	3066,662	17753,309	425482,257	3842888,526
Clothoïde 7	Paramètre	200,000	40,000	20819,970	425738,170	3839832,561
Arc 4	Rayon	1000.000 m	264,785	20859,970	425741,774	3839792,725
	Centre X	426736.418 m				
	Centre Y	3839896.087 m				
Clothoïde 8	Paramètre	-200,000	40,000	21124,756	425803,489	3839536,026
Droite 5	Gisement	175.28gr	2222,235	21164,756	425818,387	3839498,905
Longueur totale de l'axe 15386.991 mètre(s)						

ANNEXE C : Canalisation circulaire partiellement remplie

CANALISATIONS CIRCULAIRES PARTIELLEMENT REMPLIES

H/D	TETA	Q/QPS	V/VPS	S/SPS	L/D	$R_{H/D}$	RER
0.02	0.2838	0.001	0.14	0.005	0.280	0.013	0.151
0.04	0.4027	0.003	0.22	0.013	0.392	0.026	0.187
0.06	0.4949	0.007	0.29	0.024	0.475	0.039	0.210
0.08	0.5735	0.013	0.35	0.037	0.543	0.051	0.228
0.10	0.6435	0.021	0.40	0.052	0.600	0.064	0.241
0.12	0.7075	0.031	0.45	0.068	0.650	0.075	0.251
0.14	0.7670	0.042	0.50	0.085	0.694	0.087	0.260
0.16	0.8230	0.056	0.54	0.103	0.733	0.099	0.266
0.18	0.8763	0.071	0.58	0.122	0.768	0.110	0.272
0.20	0.9273	0.088	0.62	0.142	0.800	0.121	0.276
0.22	0.9764	0.106	0.65	0.163	0.828	0.131	0.279
0.24	1.0239	0.126	0.68	0.185	0.854	0.142	0.281
0.26	1.0701	0.148	0.72	0.207	0.877	0.152	0.283
0.28	1.1152	0.171	0.75	0.229	0.898	0.161	0.284
0.30	1.1593	0.196	0.78	0.252	0.917	0.171	0.284
0.32	1.2025	0.222	0.80	0.276	0.933	0.180	0.284
0.34	1.2451	0.249	0.83	0.300	0.947	0.189	0.283
0.36	1.2870	0.277	0.86	0.324	0.960	0.198	0.281
0.38	1.3284	0.307	0.88	0.349	0.971	0.206	0.279
0.40	1.3694	0.337	0.90	0.374	0.980	0.214	0.277
0.42	1.4101	0.368	0.92	0.399	0.987	0.222	0.274
0.44	1.4505	0.400	0.94	0.424	0.993	0.229	0.271
0.46	1.4907	0.433	0.96	0.449	0.997	0.237	0.268
0.48	1.5308	0.466	0.98	0.475	0.999	0.243	0.264
0.50	1.5708	0.500	1.00	0.500	1.000	0.250	0.260
0.52	1.6108	0.534	1.02	0.525	0.999	0.256	0.255
0.54	1.6509	0.568	1.03	0.551	0.997	0.262	0.250
0.56	1.6911	0.603	1.05	0.576	0.993	0.268	0.245
0.58	1.7315	0.637	1.06	0.601	0.987	0.273	0.239
0.60	1.7722	0.672	1.07	0.626	0.980	0.278	0.233
0.62	1.8132	0.706	1.08	0.651	0.971	0.282	0.227
0.64	1.8546	0.740	1.09	0.676	0.960	0.286	0.221
0.66	1.8965	0.773	1.10	0.700	0.947	0.290	0.214
0.68	1.9391	0.806	1.11	0.724	0.933	0.293	0.207
0.70	1.9823	0.837	1.12	0.748	0.917	0.296	0.200
0.72	2.0264	0.868	1.13	0.771	0.898	0.299	0.192
0.74	2.0715	0.898	1.13	0.793	0.877	0.301	0.184
0.76	2.1176	0.926	1.14	0.815	0.854	0.302	0.175
0.78	2.1652	0.953	1.14	0.837	0.828	0.304	0.166
0.80	2.2143	0.977	1.14	0.858	0.800	0.304	0.157
0.82	2.2653	1.000	1.14	0.878	0.768	0.304	0.148
0.84	2.3186	1.021	1.14	0.897	0.733	0.304	0.138
0.86	2.3746	1.039	1.14	0.915	0.694	0.303	0.127
0.88	2.4341	1.054	1.13	0.932	0.650	0.301	0.116
0.90	2.4981	1.066	1.12	0.948	0.600	0.298	0.104
0.92	2.5681	1.073	1.12	0.963	0.543	0.294	0.091
0.94	2.6467	1.076	1.10	0.976	0.475	0.289	0.077
0.96	2.7389	1.071	1.09	0.987	0.392	0.283	0.061
0.98	2.8578	1.057	1.06	0.995	0.280	0.274	0.041
1.00	3.1416	1.000	1.00	1.000	0.000	0.250	0.000

ANNEXE D : La localisation des sondages et essais in -situ réalisés du PK 02+950 au PK 19+000.

Type	PK	Essai In Situ	Prof. (m)	Prof forage	Prof préssio	Piezo m	SPT	Coordonnées	
								X	Y
PS	PK 02+ 950	F-01	12,00	12,00	-	12	3	413972	3849728
		PDL-01	Refus	-	-	-	-		
PI	PK 05+ 820	SP-01	12,00	-	12,00	-	-	416429	3848553
		PDL-02	Refus	-	-	-	-		
PS	PK 08+ 800	F-02	12,00	12,00	-	12	3	418398	3846350
		PDL-03	Refus	-	-	-	-		
Viaduc	PK 10+ 850	SP-02	15,00	-	15,00	-	-	419777	3844821
		F-03	15,00	15,00	-	15	4		
OH	PK 12+ 000	SP-03	12,00	-	12,00	-	-	420800	3844481
		PDL-04	Refus	-	-	-	-		
PS	PK 12+ 680	PDL-05	Refus	-	-	-	-	421449	3844631
		SP-04	12,00	-	12,00	-	-		
Plateforme	PK 14+ 000	PU-01	4,00	-	-	-	-	422752	3844931
		PDL-06	Refus	-	-	-	-		
Plateforme	PK 16+ 000	PU-02	4,00	-	-	-	-	424456	3844311
		PDL-07	Refus	-	-	-	-		
PS	PK 19+ 000	F-04	12,00	12,00	-	12	3	425573	3841674
		PDL-08	Refus	-	-	-	-		
ZE 01	-	PU-03	4,00	-	-	-	-	419263	3844592
ZE 02	-	PU-04	4,00	-	-	-	-	423073	3845859

Fuseau granulométrique pour ballast (NFP 53-695)

CEN/TC-154/SC-4	
MAILLE (mm)	**% de la masse passante**
63	100
50	70-100
40	30-65
31,5	0-25
22,4	0-3
31,5-50	50

- Résistance à la compression : **RC ≥ 1200 kg/cm²**
- Les éléments doivent avoir une forme polyédrique et à arêtes vives
- Propreté : les matériaux doivent être expurgés de toute matière impropre. La masse relative des éléments passant au tamis à maille carrées de 1.6mm ne doit pas excéder 0.5 %.

ANNEXE E : ST590 ind B

Fiche n° 1 : Sous-couche pour couche "sous-ballast"

*Type de matériau: D2, D3, R21 [1] , **R41, R61***

		lignes parcourues à grandes vitesses V > 160 km/h	autres lignes	Observations
désignation		Grave 0 / 31,5 bien graduée		voir § 7.3.2
Caractéristiques intrinsèques				
résistance	LA+MDE	<= 40	<= 50	
Caractéristiques de fabrication				
dimensions nominales	d	0		
	D	31,5	31,5 (ou 40)	
granularité (fuseau de spécification)	P[2D] P[1,58D] P[D] P[D/2] P[D/5] P[D/10] P[D/20] P[D/50] P[D/100] P [D/200] P[0,08]	100 100 - 99 99 - 85 81 - 55 57 - 31 45 - 23 36 - 17 26 - 11 19 - 8 13 - 6 8 - 4	fuseau de la courbe moyenne P[D/2] : 73 - 65 P[D/5] : 52 - 42 P(D/10]: 40 - 31 P[D/20] : 31 - 22 P[D/50] : 21 -16 P[D/100] : 15 - 12 P[D200] : 10 - 8	[2]
angularité		Entièrement concassée	>= 95 sec. (sur fraction 6,3/10)	voir § 7.4
forme	A	<= 25		
propreté	Vbg	<= 1		voir § 7.6.1
Caractéristiques complémentaires				
compacité		>= 82 %	>= 80 %	
sensibilité au gel		non gélif		voir § 8.2.3
granulats artificiels			[3]	

[1] L'utilisation de granulats calcaires d'origine géologique autre que "Primaire" doit être soumise à l'accord du Département IG-LG

[2] La limite inférieure du fuseau de spécification est la même que la limite inférieure du fuseau des graves non traitées routières 0 / 31,5 dures (Norme P 98-129)

[3] utilisation possible de matériaux de démolition : F71 , sous réserve des recommandations des annexes 1 et 2

Fiche n° 2 : Sous-couche pour couche de fondation

*Type de matériau : B5, D , **R21 , R41, R61***

		lignes parcourues à grandes vitesses V > 160 km/h	autres lignes	Observations
désignation		Grave sableuse		
Caractéristiques intrinsèques				
résistance	LA+MDE	<= 50		
Caractéristiques de fabrication				
dimensions nominales	d	0		
	D	20 à 40		
granularité (fuseau de spécification)	P[2D]	100		
	P[1,58D]	100 - 99		
	P[D]	99 – 85		
	P[D/2]	88 – 66		
	P[D/5]	67 – 46		
	P[D/10]	54 – 35		
	P[D/20]	46 – 27		
	P[D/50]	38 – 19		
	P[D/100]	30 – 13		
	P [D/200]			
	P[0,08]	14 - 5		
angularité		Entièrement concassée	>= 95 sec. (sur fraction 6,3/10)	voir § 7.4
forme	A	<= 25		
propreté	Vbg	<= 1		voir § 7.6.1
Caractéristiques complémentaires				
compacité		>= 82 %	>= 80 %	
sensibilité au gel		non gélif		voir § 8.2.3
granulats artificiels		[1]		

[1] utilisation possible de matériaux de démolition : F71 , sous réserve des recommandations des annexes 1 et 2

Fiche n° 4 : couche de forme de qualité S3 ou Rt3

Type de matériau : B3, CiBi, D2, D3, R21 , R41 , R61 , F31 , F71

désignation		Grave 0/D	Observations
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	R [1]	<= 60	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	20 à 125	
granularité (fuseau de spécification)	P[2D]	100	
	P[Dmax]	100 – 99	
	P[D]	99 – 85	
	P[D/2]	84 – 55	
	P[D/5]	60 – 31	
	P[D/10]	49 – 23	
	P[D/20]	40 – 17	
	P[D/50]	30 – 11	
	P[D/100]	22 – 8	
	P [D/200]	16 – 6	
	P[D/500]	9 – 3	
	P[D/1000]	6 - 2	[2]
angularité			
forme	A	<= 25	
propreté	Vbg	< 2	voir § 7.6.1
Caractéristiques complémentaires			
compacité		>= 80 %	
sensibilité au gel		[3]	voir § 8.2.3
granulats artificiels		[4]	

[1] R = LA + MDE si D < 50

R = LA + MDA si D >= 50

[2] à prendre en compte si D >= 63

[3] Selon la situation géographique il n'est pas toujours nécessaire de vérifier que les granulats utilisés en couche de forme rapportée Rt 3 soient "non gélifs" .

[4] Voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2.

ANNEXE G : Classes de qualité des sols UIC 719R

Classification des sols (identification géotechnique)		Classe de qualité des sols
0.1	Sols organiques	QS0
0.2	Sols fins (comportant plus de 15 % de fines[a]) foisonnés, humides et donc non compactables	
0.3	Sols thixotropes[b] (quick-clay par exemple)	
0.4	Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse)	
0.5	Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple)	
0.6	Sols mixtes "minéraux organiques"[b]	
1.1	Sols comportant plus de 40 % de fines[a] (sauf sols 0.2)	QS1
1.2	Roches très évolutives Par exemple : - Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altérés	
1.3	Sols comportant de 15 à 40 % de fines[a] (sauf sols 0.2)	QS1[c]
1.4	Roches évolutives Par exemple : - Craies de ρ_d < 1,7 t/m^3 et de friabilité faible - Schistes altérés	
1.5	Roches tendres Par exemple : Si microdeval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) > 40	
2.1	Sols comportant de 5 à 15 % de fines[a]	QS2[d]
2.2	Sols comportant moins de 5 % de fines[a] mais uniformes ($C_U \leq 6$)	
2.3	Roches moyennement dures Par exemple : Si 25 < MDE ≤ 40 et 30 < LA ≤ 40	

ANNEXE I : Matériaux zone humide selon ST 590B

Fiche n° 6 : Matériaux de zone humide

Type de matériau, CiB1, CiB3, D3, R21 , R22 , R41 , R42 , R61 , R62 , F31 , F71 [1]

désignation		Grave 0/D	Observations
Caractéristiques intrinsèques			
résistance	LA + MDA	<= 80	
Caractéristiques de fabrication			
dimensions nominales	d	0	
	D	63 à 500	
granularité	P[Dmax]	>= 99%	
(fuseau de spécification)	P[D]	[2]	
	P[D/20]		
	P[0,08]	<= 12%	[3]
angularité			
forme			
propreté	ESP	>= 35	[4]
Caractéristiques complémentaires			
sensibilité au gel		non gélif	
dégradabilité		non mesurable	
granulats artificiels		[5]	

[1] Les sols B1 , B3 , D1 peuvent également être utilisés en matériaux de zone humide, à condition d'être mis en noyau .
Les caractéristiques intrinsèques des sols B1 , B3 , D1 sont R = LA + MDE <= 80 ou FS <= 60

[2] si D<=200 mm : P[D] = 99 à 85% (Dmax=1,25 D)
si D > 200 mm : P[D] >= 99% (D = Dmax)

[3] mesuré sur la fraction 0/50

[4] si le pourcentage de passants à 2mm de la fraction 0/50 est supérieur ou égal à 30%

[5] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

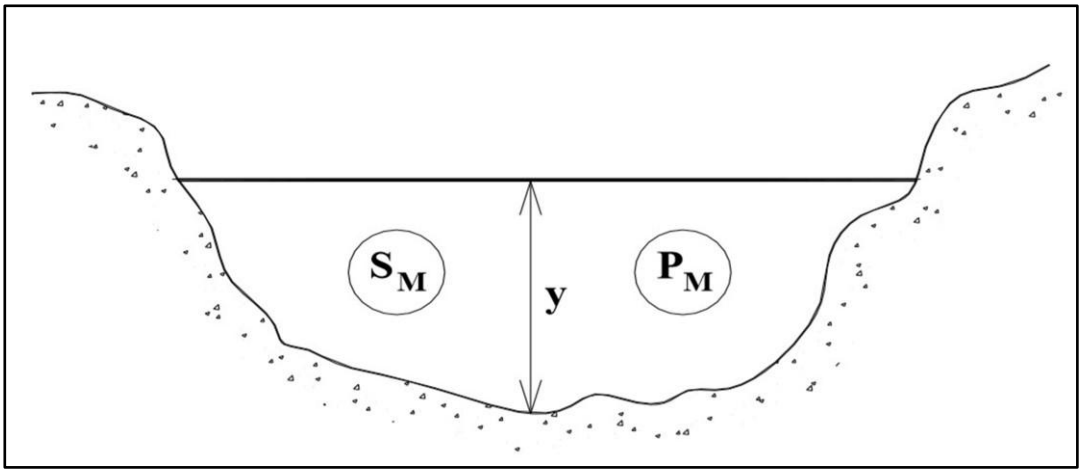
ANNEXE K : calcul NPHE

Débits en fonction des hauteurs.

H (m)	S (m²)	P (m)	I (m/m)	Rh (m)	Q (m3/s)
PK 10+504 – Q = 2.13 m³/s					
0.1	0.26	5.27	0.0200	0.05	0.20
0.1	0.24	4.84	0.0200	0.05	0.19
0.15	0.54	7.26	0.0200	0.07	0.55
0.2	0.97	9.68	0.0200	0.10	1.18
0.25	1.51	12.10	0.0200	0.12	2.14
0.3	2.18	14.52	0.0200	0.15	3.47
0.35	2.96	16.95	0.0200	0.17	5.24
PK 12+917 – Q = 4.52 m³/s					
0.05	0.3	13.0	0.025	0.02	0.18
0.06	0.5	15.6	0.025	0.03	0.29
0.07	0.6	18.2	0.025	0.03	0.43
0.08	0.8	20.8	0.025	0.04	0.61
0.09	1.1	23.4	0.025	0.04	0.84
0.1	1.3	26.0	0.025	0.05	1.11
0.11	1.6	28.5	0.025	0.05	1.44
0.12	1.9	31.1	0.025	0.06	1.81
0.13	2.2	33.7	0.025	0.06	2.24
0.14	2.5	36.3	0.025	0.07	2.73
0.15	2.9	38.9	0.025	0.07	3.28
0.16	3.3	41.5	0.025	0.08	3.90
0.17	3.8	44.1	0.025	0.08	4.59
0.18	4.2	46.7	0.025	0.09	5.34
0.19	4.7	49.3	0.025	0.09	6.17
0.2	5.2	51.9	0.025	0.10	7.07
0.21	5.7	54.5	0.025	0.10	8.05
PK 13+960 – Q = 2.66 m³/s					
0.1	1.1	22.4	0.005	0.05	0.43
0.11	1.4	24.6	0.005	0.05	0.55
0.12	1.6	26.8	0.005	0.06	0.70
0.13	1.9	29.1	0.005	0.06	0.86
0.14	2.2	31.3	0.005	0.07	1.05
0.15	2.5	32.9	0.005	0.08	1.28
0.16	2.8	34.1	0.005	0.08	1.54
0.17	3.2	35.4	0.005	0.09	1.82
0.18	3.6	36.7	0.005	0.10	2.12
0.19	3.9	37.9	0.005	0.10	2.45
0.2	4.3	39.2	0.005	0.11	2.80
0.21	4.7	40.5	0.005	0.12	3.18
0.22	5.1	41.8	0.005	0.12	3.58

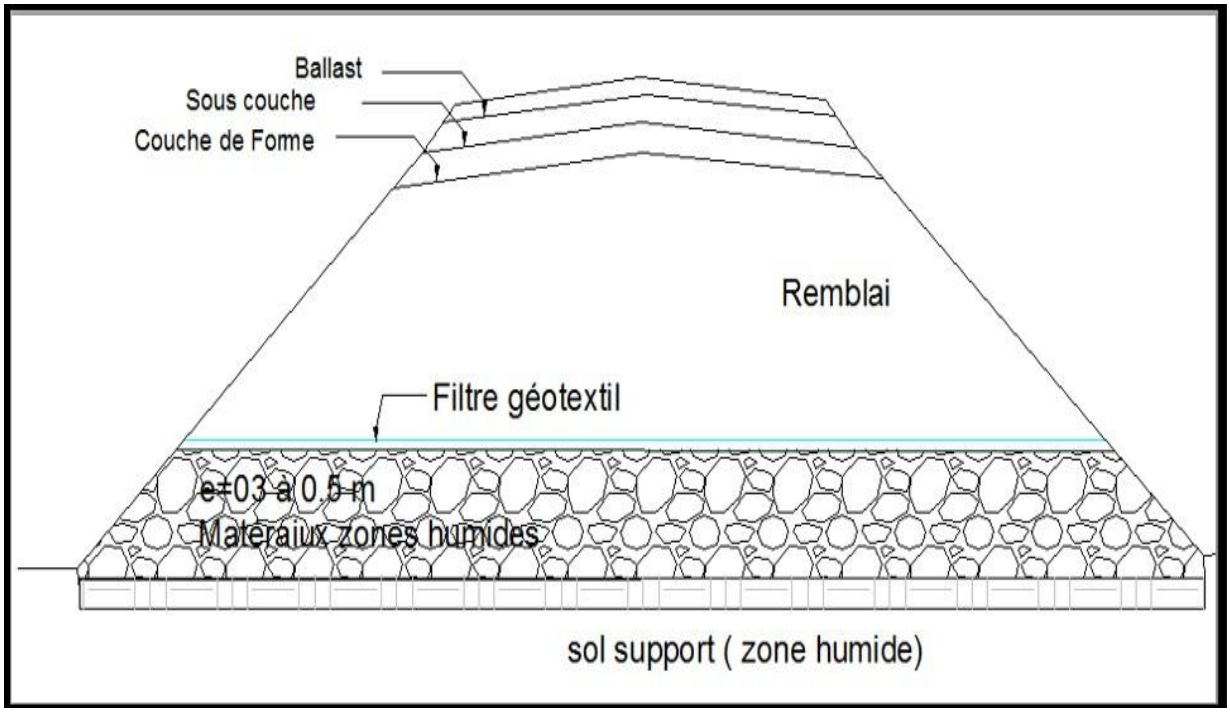
Résultats de calcul des Niveau Des Plus Hautes Eaux (NPHE).

PK	Le débit (m³/s)	Pente (m/m	NPHE	Ouvrage
PK 10+504	Q = 2.13 m³/s	0.02	**0.258**	1.5x1
PK 12+917	Q = 4.52 m³/s	0.025	**0.175**	2x2
PK 13+960	Q = 2.66 m³/s	0.005	**0.218**	1.5x1.5



Profil en travers d'un oued.

Dispositif de lutte contre la remontée capillaire :



Conception admise des remblais en zones humides.

Avant la mise en place du matériau drainant envisagé sous forme de granulats concassés, un géotextile à fonction de renforcement devra être installé au niveau de la fondation. Un second géotextile, servant de couche de séparation, sera interposé entre le matériau drainant et les matériaux de remblai.

Ce dispositif vise à optimiser les performances de drainage tout en renforçant la portance du sol de fondation des remblais. Ce traitement sera mis en œuvre entre le point kilométrique **22+000** et la fin du tracé, située au **PK 22+375**.

Annexe H :

Note de calcule des ouvrages en terre

(logiciel Talren v5*)*

Données de la situation 1 (Remblai PK 13+125 situation statique)

Nom de la phase : Pente 3H/2V sans nappe

Nom de la situation : Statique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Traditionnel/Sit. définitive

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmin	1,500	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γpl	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	Γs3	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 10,000

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 18,305; Y= -0,324

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,5356

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 34; X0= 17,91; Y0= 20,73; R= 21,06

Données de la situation 2 (Remblai PK 13+125 situation dynamique)

Nom de la phase : Pente 3H/2V sans nappe

Nom de la situation : dynamique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Traditionnel/Sit. définitive

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmin	1,500	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γpl	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	Γs3	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 10,000

Abscisse émergence limite aval : 0,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 18,278; Y= -0,276

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,150

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,750

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1815

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 46; X0= 17,84; Y0= 20,75; R= 21,02

Données de la situation 1 (déblai PK 09+900 situation statique)

Nom de la phase : Pente 3H/2V sans nappe

Nom de la situation : Statique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Traditionnel/Sit. définitive

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmi	1,500	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γp	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	Γs3	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 10,000

Abscisse émergence limite aval : -26,840

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= -6,854; Y= -12,194

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,5538

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 105; X0= -6,20; Y0= 15,44; R= 27,64

Données de la situation 2 (déblai PK 11+200 situation dynamique)

Nom de la phase : Pente 3H/2V présence de nappe

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Traditionnel/Sit. définitive

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmin	1,500	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γpl	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	Γs3	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 10,000

Abscisse émergence limite aval : -26,840

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= -6,854; Y= -12,194

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,150

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,750

Résultats

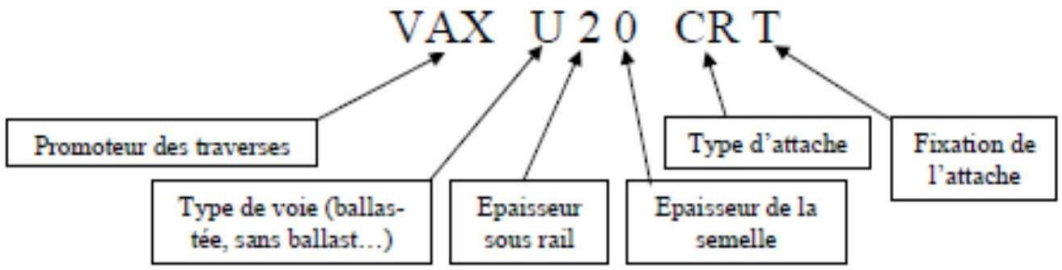
Coefficient de sécurité minimal : 0,7113

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 136; X0= -10,43; Y0= 5,04; R= 17,60

ANNEXE L : désignations des traverses IN0213

Classes	Nouvelles traverses à partir de 2003		Traverses fabriquées de 1974 à 2003		Traverses fabriquées avant 1974[3]	
	bibloc	monoblocs	Bibloc	monoblocs	bibloc	monoblocs
4	B450		VAX U41 SF U41			
		M240 M243 M440 M450 M453				
		Supports d'AdV		U41 ou U413		
		S 37x IP S275 IP		SAT U40x SAT U307		
3	B440		VAX U31 SF U31 VAX U30 SL U30		VAX U2 SL, SLU2 VAX 68	
					VAX 54 RS	
2	B 241 B 244	M260	VAX U20 VAX U201 VAX U21	U31 [1] U30 [2]		
1[3]		M140		VXP U71		SCOP VW

[1] BON U31; COST U31, STUP ou TROU U31.
[2] COST U30 ;STUP U30.
[3] L'utilisation de traverses en béton d'avant 1974, ainsi que des traverses de classe 1 est soumise à étude particulière suivant l'article 407.1



Désignation de la traverse		
Promoteur des traverses (ensemble de 2 à 4 lettres)	SATEBA	VAX (bibloc) SAT (monobloc) SFS (bibloc)
	BONNA	BON (monobloc)
	COSTAMAGNA	COST (monobloc)
	TROUILLARD	TROU (monobloc)
	FREYSSINET-INTERNATIONAL	STUP (monobloc)
Type de voie (1 lettre)	Normale ballastée	U
	Normale sans ballast	S
	Métrique ballastée	MU

Désignation de la traverse			
1ère lettre	**Type de traverse**	B	Traverse biblocs pour voie ballastée (Norme EN 13230-3)
		M	Traverse monobloc pour voie ballastée (Norme EN 13230-2)
		A	Support béton pour appareil de voie (Norme EN 13230-4)
		S	Supports spéciaux précontraints utilisés comme traverse (Norme EN 13230-5)
		D	Traverse à coque ou chaussons pour voie sur dalle
		C	Support à coque ou chaussons pour voie sur dalle
1er chiffre	**Epaisseur sous rail comprenant la selle** (incidence gabarit et bourrage)	1	14 cm
		2	17 cm
		3	20 cm
		4	22 cm
2nd chiffre	**Longueur de la traverse L et Longueur de porte à faux L_p** (distance entre l'axe de la table d'appui et l'extrémité de la traverse)	3	L < 2 226 mm et L_p < 349 mm
		4	2 226 mm < L < 2 260 mm et 350 ≤ L_p < 399 mm (2 260 mm = longueur maximum pour dégarnissage en quai)
		5	2 400 mm < L < 2 422 mm et 400 ≤ L_p < 449 mm (2415 mm = nominal sur VAX U41)
		6	2 490 mm < L < 2 510 mm et L_p ≥ 450 mm (2 500 mm = nominal sur mono U31/U41)
		7	L = 2 600 mm (Supports d'appareils pour aiguillage, Supports spéciaux précontraints)
		8	L = 2 800 mm (Supports d'appareils renforcés pour zone d'aiguillage)
		9	L > 2 800 mm (Supports d'appareils renforcés)

Les attaches :

Type d'attache (2 lettres)	- Crapaud C - NABLA ou SIMPLEX - Selle avec attaches indirectes	CR NA AI
Fixation de l'attache (1 lettre)	- Garniture THIOLLIER avec goujon-tirefond - Insert d'ancrage isolant femelle avec tirefond spécial - Boulon à came	T G C