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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرانسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar - Tindouf- Gara Djebilet du PK 300+000 au 315+000 avec la conception de la gare de Tabelbala

Présenté par :

- HADJAB Othman
- LAKHMI Mehdi Anis

Encadré par :

- Mr. BOUZIANE Messaoud
- Mme. CHIALI Soumaya

Promotion 2023 / 2024

© ENSTP-FJ _ Garidi _ Vieux Kouba

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons à remercier Allah le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, lapatience et la volonté nécessaires pour réaliser ce travail.

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements à nos encadreurs, pour leur patience,leur disponibilité et leurs conseils avisés qui ont grandement nourri notre réflexion.

Nous remercions également tout le personnel de SETI-RAIL, l'INFRAFER et LECACT pourleurs soutiens et leurs remarques constructives.

Nous tenons à témoigner toute notre gratitude à Monsieur Laieb Mohamed Lamine pour sonsoutien, son aide et ses précieux conseils.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils porteront à notretravail.

Nous désirons aussi remercier les professeurs de l'École Nationale Supérieure des TravauxPublics, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études, et particulièrement M. Morsli pour son soutien, son aide, ses conseils avisés et le temps qu'il nous a consacré.

Nous exprimons notre gratitude au service de scolarité DIB, en particulier à Mme Makoudi etMme Mehiaoui et Mr Kamal Hamadi , ainsi qu'à tout le personnel de l'ENSTP.

Un grand merci à toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien, de près ou de loin, pour l'achèvement de ce projet. Nous tenons à exprimer notre vive et sincère reconnaissance à nos parents, notre famille et nos amis pour leur soutien émotionnel et leurs critiques constructives.

DEDICACE

Je dédie ce travail du fond de mon cœur à toutes les personnes qui me sont chères.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mes deux chers parents, pour avoir été constamment présents à mes côtés. Leurs prières, leur soutien infaillible et leurs encouragements ont été essentiels dans ma réussite. Leur amour et leur attention m'ont rendu heureux et ont renforcé ma confiance en moi, me permettant ainsi d'atteindre mes objectifs.

À mon très cher frère BILLEL pour leur appui et leur encouragement ource de joie et de bonheur

À mes cousins, Riyadh, Amine , Yasser , et Nessrine.

À Othman Hadjab , cher mon frère et ami avant d’être binôme .

À mes meilleurs amis : Abdelkarim , Houssam, Daya , Aymen , Reda, Djihad , Mohamed , Akram , Belhadid Madjid , Akil Abderrahmane , Amokrane Ghiles , Sid Med Laid .

À mes amis sans exception.

- LAKHMI MEHDI ANIS

DEDICACE

À ma mère **BOUKHERS Nadhira**, source d'inspiration et fervente admiratrice. Ton amour et ton dévouement ont été les piliers de ma réussite. Je te dois tout ce que j'ai accompli.

À mon père **Abderrahmane**, modèle et guide. Ton influence et ton soutien indéfectibles ont été essentiels à la réussite de mes études. Merci pour ta sagesse, ta foi en moi et ton encouragement constant à atteindre l'excellence.

À mes frères (**Mohammed Taqiyeddine, Omar, Abdelmounaim**) et sœurs (**Ma princesse Hiba, Rayhana et Kawther, Allah repose son âme**), compagnons de mes joies et peines. Votre présence constante et votre complicité ont enrichi chaque étape de ce parcours académique. Je vous suis profondément reconnaissant.

À mes chers **grands-parents**, spécialement Djedda Gouta, pour votre soutien inébranlable tout au long de mes études. Que Dieu vous accorde une longue vie, une santé constante, et vous accueille, ainsi que mes grands-parents Mohammed, Bouzid, Sakhrya dans son vaste paradis.

À mon binôme **Mehdi Anis LAKHMI**, pour ta camaraderie, ton soutien et ta collaboration, qui ont rendu notre cursus d'ingénieur inoubliable et enrichissant.

À mes amis de l'ENSTP : **Djaboub, Bouarouri, Bennadji, Bali, Soufghalem, Zaaf et Azaiz**, pour avoir partagé cette aventure académique avec moi. Votre amitié, vos encouragements et nos discussions enrichissantes ont rendu cette période de ma vie exceptionnelle. Merci pour votre soutien inébranlable.

Àux binômes : **Ouranader et Sobhi, Lahlouh et Bendjedi**, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables tout au long de notre parcours d'ingénieur. Votre camaraderie précieuse, votre soutien indéfectible et votre collaboration essentielle ont enrichi notre projet. Merci pour ces souvenirs enrichissants et inoubliables, vous avez été bien plus que des collègues.

À mes amis proches : **Said, Mohammed El Amine et Badreddine**, votre amitié sincère et votre soutien constant ont été d'une valeur inestimable. Votre présence précieuse a apporté un réconfort immense et une motivation continue dans ma vie. Merci pour les moments précieux partagés et votre fidélité inébranlable.

À EB Bushido, à tout le personnel d'AIESEC et spécialement à **Khawla Fodil 'the Cutina**. Outre l'opportunité de devenir ingénieur d'État en travaux publics à l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics, ce dont je ne regretterai jamais et qui a façonné l'Othman d'aujourd'hui, c'est l'expérience avec **AIESEC**. Merci à tous ceux qui ont eu une influence sur moi, m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette période.

- HADJAB Othman

Résumé

Le transport ferroviaire constitue une branche économique importante. Considéré comme un facteur vital pour le développement d'un territoire donné dans l'économie contemporaine afin de faciliter le transport des voyageurs et marchandises dans le sud.

Le présent travail consiste essentiellement à l'étude d'un tronçon ferroviaire à trafic mixte sur un linéaire de 15 km du projet de la nouvelle ligne ferroviaire Bechar-Tindouf. L'étude a été menée conformément aux normes en vigueur (Référentiel SNTF, normes européennes et code de l'union internationale des chemins de fer).

Les caractéristiques techniques du tracé en plan et du profil en long répondent aux conditions de confort et de sécurité. Les couches d'assises ont été définies et dimensionnées et un devis estimatif a été également établi dans ce travail.

Différentes disciplines techniques ont été consultées et appliquées.

Les logiciels de dessin et de calcul utilisés sont l'Autocad et Covadis.

ملخص

يشكل النقل بالسكك الحديدية صناعة اقتصادية مهمة. وتعتبر عنصرا حيويا لتنمية إقليم معين في اقتصاد معاصر، من أجل تسهيل تنقل السكان والسلع في الجنوب أدى دلك إلى الحاجة لتطوير الهياكل الأساسية للنقل بالسكك الحديدية.

يشمل هذا العمل المنجز في المقام الأول إلى دراسة مقطع لخط سكة حديدية المخصصة لنقل الأشخاص والبضائع بطول 15 كيلومتر التابع للمشروع الجديد لخط السكة الحديدية الرابط بين بشار- تي. وقد أجريت هاته الدراسة وفقا للمعايير المعمول بها (المعايير الأوروبية ومدونة الاتحاد الدولي للسكك الحديدية).

تساعد الخصائص الفنية للمسار الموجودة في المخططات الطولية والعرضية على ضمان الراحة والأمان للركاب. وقد تم حساب وتحديد سمك الطبقات الأرضية وأيضا انجاز التقدير التفصيلي لتكلفة المشروع.

وقد تم توظيف مختلف الخصائص التقنية وتم احترامها، أما برامج الرسم والحساب المستخدمة فقد تم استعمال اوتوكاد و كوفاديس.

Abstract

Rail transport is an important economic industry. It is a vital element for the development of a particular territory in a contemporary economy, in order to facilitate the movement of people and goods in the South.

This work involves primarily the study of a 15-kilometre rail line section of the new Basharat-T rail line project. This study was conducted in accordance with the established criteria (European Standards and IFRC Code).

The technical characteristics of the track found in longitudinal and cross charts help ensure comfort and safety for passengers. The thickness of the ground layers has been calculated and determined and the detailed estimate of the cost of the project has also been completed.

Various technical characteristics were employed and respected. The graphic and calculation programs used were used AutoCad and Covadis.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 01 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : ETUDE DE L'ENSABLEMENT 2

I.1. L'ENSABLEMENT 2

I.1.1. INTRODUCTION 2

I.1.2. Conséquence de l'ensablement 3

I.1.3. Définition de l'ensablement 3

I.1.4. Facteurs d'ensablement 3

I.1.4.1. Le vent 3

I.1.4.2. Le sol 4

I.1.5. Type de traitement 4

I.1.6. Fixation primaire 5

I.1.6.1. Haies artificielles et barrières 5

I.1.6.2. Techniques de palissade 6

I.1.6.3. Technique du Mulch 6

I.1.6.4. Méthode aérodynamique (désensablement par le vent) 6

I.1.7. La lutte biologique 6

I.2. CONCLUSION 8

CHAPITRE 02 : GENERALITE 9

II.3. INTRODUCTION 9

II.4. HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER DANS LE MONDE 9

II.5. HISTORIQUE DE CHEMINS DE FER EN ALGERIE 10

II.6. AVANTAGES DES CHEMINS DE FER 11

II.7. LE RAIL EN ALGERIE ET SON DEVELOPPEMENT 11

II.8. CONCLUSION 12

CHAPITRE 03 : PRESENTATION DE PROJET 13

III.1. INTRODUCTION 13

III.2. PRESENTATION DU SITE 13

III.2.1. Précipitations 15

III.2.2. Humidité 16

III.2.3. Sismicité 16

III.3. CARACTERISTIQUES DE BASE 16

III.4. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LIGNE 17

III.5. CONCLUSION 17
CHAPITRE 04 : TRACE EN PLAN 18
IV.1. INTRODUCTION 18
IV.2. TRACE EN PLAN 18
IV.3. CONDITIONS ET REGLES DE TRACE 18
IV.3.1. Les éléments du trace en plan 19
IV.4. LES PARAMETRES LIMITES QUI CONDITIONNENT LE TRACE 20
IV.5. APPLICATION SUR LE PROJET 22
CHAPITRE 05 : PROFIL EN LONG 24
V.1. INTRODUCTION 24
V.2. LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG 24
V.2.1. Les alignements droits 24
V.3. RACCORDEMENTS CIRCULAIRES EN PROFIL EN LONG 26
V.4. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN 26
V.5. APPLICATION SUR LE PROJET 27
V.6. CONCLUSION 27
CHAPITRE 06 : ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE 28
VI.1. INTRODUCTION 28
VI.2. CARACTERSTIQUE CLIMATIQUE ET PLUVIOMÉTRIQUES 28
VI.2.1. Climat 28
VI.2.2. Les précipitations journalières 29
VI.2.3. Température 31
VI.3. LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS . 31
VI.3.1. Calcul de débit maximal dans les bassins (débit de crue) 33
VI.3.1.1. Formule RATIONNELLE : (A < 10 KM²) 33
VI.3.1.2. Formule de Mallet-gauthier : (A > 10 KM²) 36
VI.4. RÉSULTATS DE CALCUL DES DÉBITS POUR LE PRÉSENT PROJET 37
VI.5. ÉTUDE HYDRAULIQUE 38
VI.5.1. Dimensionnement des ouvrages transversaux 38
VI.5.1.1. Dimensionnement des buses 39
VI.5.1.2. Dimensionnement des dalots 40
VI.5.2. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (fossés) 44
VI.6. CONCLUSION 52
CHAPITRE 07 : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE 53
VII.1. INTRODUCTION 53

VII.2. ÉTUDE GÉOLOGIQUE 53
VII.2.1. Situation géographique 53
VII.2.2. Géomorphologie de la zone traversée par le tracé 54
VII.2.3. Sectorisation selon les résultats de la compagne géotechnique 54
VII.3. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE 55
VII.3.1. PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE 56
VII.3.1.1. LOT TRACÉ 56
VII.3.1.2. 2.1.2. LOT OUVRAGES 58
VII.3.1.3. RÉSULTATS ESSAIS AU LABORATOIRE 58
VII.4. CONCLUSION 59
VII.5. CONCLUSION 60
CHAPITRE 08 : ASSISE FERROVIAIRE 61
VIII.1. INTRODUCTION 61
VIII.2. LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE: 61
VIII.2.1. LE BALLAST 62
VIII.2.2. Sous couche 63
VIII.2.3. 1.3.LA GÉOTEXTILE 64
VIII.2.4. 1.4.LA PLATE-FORME 64
VIII.3. CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATE-FORME 65
VIII.4. LA CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATEFORME 66
VIII.5. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE 67
VIII.6. CONCLUSION 68
CHAPITRE 09 : PROFIL EN TRAVERS 69
IX.1. INTRODUCTION 69
IX.2. LES ÉLÉMENT DU PROFILS EN TRAVERS 69
IX.3. LE PROFILS EN TRAVERS DU PROJET D'ÉTUDE 70
IX.4. CONCLUSION 70
CHAPITRE 10 : TERASSEMENT ET OUVRAGE 71
X.1. INTRODUCTION 71
X.2. Section en déblai 71
X.3. Section en remblai 71
X.4. Etude de stabilité 72
X.5. CALCUL DES VOLUMES DES TERASSEMENTS 72
X.6. CONCLUSION 73
CHAPITRE 11 : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE 74

XI.1. INTRODUCTION 74
XI.2. Types des gares 74
XI.3. Etude du plan de masse d'une gare 74
XI.4. 4. Aménagement de la gare 75
XI.4.1. 4.1 Installations d'une gare à voyageurs 75
XI.4.2. 4.2 Marge de glissement à l'aval des signaux 75
XI.4.3. Garage franc 76
XI.4.4. La longueur utile d'une voie de stationnement 77
XI.4.5. Heurtoir 77
XI.5. Caractéristiques géométriques des gares 78
XI.5.1. Déclivité dans les gares 78
XI.5.2. Quai 78
XI.5.2.1. La longueur de quai (normes SNTF) 78
XI.5.2.2. La largeur des quais 78
XI.5.2.3. Hauteur des quais 78
XI.5.2.4. La distance à l'axe de la voie 79
XI.5.2.5. L'entre-axe des quais 79
XI.5.2.6. Les appareils de voie 79
XI.6. Règles d'implantation 80
XI.6.1. Description de La Gare de Tabelbala 81
XI.6.2. Application Au Projet 81
XI.6.3. Assainissement dans les gares 83
XI.6.3.1. Assainissement transversal 83
XI.6.3.2. Assainissement longitudinal 83
CHAPITRE 12 : SINGALISATION FERROVIAIRE 84
XII.1. INTRODUCTION 84
XII.2. OBJET DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE 84
XII.3. LES SIGNAUX 85
XII.4. IMPLANTATION LONGITUDINALE 85
XII.5. ASPECTS DES SIGNAUX 86
XII.6. LE PRINCIPE DE CANTONNEMENT : (signalisation classique) 87
XII.7. .LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS : (signalisation moderne) 88
XII.8. CONCLUSION 89
CHAPITRE 13 : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 90
XIII.1. INTRODUCTION 90

XIII.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 90
XIII.3. . Les éléments environnementaux pris en compte 91
XIII.3.1. Milieu physique 91
XIII.3.2. Milieu biologique 92
XIII.3.3. Milieu humaine 92
XIII.4. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX SUR NOTRE PROJET 93
XIII.4.1. Impact sur l'agriculture 93
XIII.4.2. Impacts sur les eaux 93
XIII.4.3. Impacts sur la faune 93
XIII.4.4. Impact sur l'air 94
XIII.4.5. Impacts sur la végétation 94
XIII.5. CONCLUSION 94
CHAPITRE 14 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 95
CONCLUSION GENERALE 97

Liste des figures

Figure I-1 : Risque d'ensablement 03
Figure I-2 : Conséquence de l'ensablement 04
FIGURE I-3 : HAIES ARTIFICIELLE 06
FIGURE I-4 : Méthode de palissade 07

Figure II. 1 : PLAN DE DÉVELOPPEMENT DES CHEMINS DE FER EN ALGERIE 15

Figure III. 1 : ZONE D'ETUDE 18
Figure III. 2 : Précipitation moyenne calculée durant la période 1991 – 2021 19
Figure III. 3 : Humidité spécifique à deux (02) mètres en g/kg 20
Figure III. 4 : Présentation de l'axe de projet sur site 21

Figure IV. 1 : Les éléments de tracé en plan. 26

Figure VI. 1 : Ajustement des pluies journalières maximales 39
Figure VI. 2 : Température moyenne calculée durant La période 1991 – 2021 40

Figure VII. 1 : Situation géographique de la zone d'étude 58
Figure VII. 2 : Le tronçon sur la carte géologiques 59

Figure XI. 1 : Schématisation de la marge de glissement 84
Figure XI. 2 : Schémas du garage franc 84
Figure XI. 3 : La longueur utile d'une voie de stationnement 85
Figure XI. 4 : Heurtoir 85
Figure XI. 5 : La hauteur du quai et la distance entre le bout du quai et l'axe de la voie23 86
Figure XI. 6 : Schéma illustratif 88

Figure XII. 1 : Schéma illustratif du canton 96
Figure XII. 2 : contrôle le système des trains ERTMS 98

Liste des tableaux

Tableau III. 1 : Présentation des wilayas 17

Tableau IV. 1 : Les longueurs minimales des alignements. 26
Tableau IV. 2 : Les Valeurs Limite L'insuffisance de dévers. 27
Tableau IV. 3 : Les Valeurs Limite de l'excès. 27
Tableau IV. 4 : Limite de la variation de devers 27
Tableau IV. 5 : Variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps. 27
Tableau IV. 6 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé 29

Tableau V. 1 : Longueur minimale des déclivités 33
Tableau V. 2 : Valeurs de Rayon vertical minimale 33
Tableau V. 3 : Paramètres géométriques de profil en long (SNTF). 34

Tableau VI. 1 : Les précipitations maximales journalières (Station météorologique Bechar). 38
Tableau VI. 2 : Les caractéristiques climatiques 38
Tableau VI. 3 : Pluies journalières maximales en mm 38
Tableau VI. 4 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour. 40
Tableau VI. 5 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour 40
Tableau VI. 6 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants. 42
Tableau VI. 7 : Valeurs de $\boldsymbol{C1}$ 43
Tableau VI. 8 : Valeurs de $\boldsymbol{C2}$ 43
Tableau VI. 9 : Valeurs de $\boldsymbol{C3}$ 43
Tableau VI. 10 : Les débits de crue retenus pour une période de 100 ans. 46
Tableau VI. 11 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé (BV N°09) 49
Tableau VI. 12 : Liste globale des ouvrages busée à projeter 49
Tableau VI. 13 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV N°16). 50
Tableau VI. 14 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage 51
Tableau VI. 15 : Liste globale des ouvrages projetés. 52
Tableau VI. 16 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai. 54
Tableau VI. 17 : Dimensionnement du fossé proposé 55

Tableau VII. 1 : La géologie traversée par la voie. 59
Tableau VII. 2 : Programme d'investigation de Lot tracé 61
Tableau VII. 3 : La lithologie des puits de reconnaissance 62
Tableau VII. 4 : résultats essais de pénétration dynamique lourds 62
Tableau VII. 5 : Récapitulatif des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance 63
Tableau VII. 6 : Zone à risque d'inondation 63
Tableau VII. 7 : Localisation des zones d'ensablement 64

Tableau VIII. 1 : Classification selon GTR / UIC 70
Tableau VIII. 2 : La classe la portance de la plate-forme 71
Tableau VIII. 3 : Dimensionnement de la couche d'assise 72

Tableau X. 1 : Les cubatures des terrassements. 78
Tableau X. 2 : Les cubatures des terrassements. 78
Tableau X. 3 : Les cubatures des terrassements. 80
Tableau X. 4 : Les cubatures des terrassements. 80

Tableau XI. 1 : Longueurs minimal de tracé 87
Tableau XI. 2 : Les branchements 89

Tableau XII. 1 : Les risques ferroviaires. 94
Tableau XII. 2 : Les signaux utilisées dans le tronçon étudié 96

Tableau XIII. 1 : les infrastructures de base aux wilaya 103
Tableau XIII. 2 : Devis Quantitatif et Estimatif (suite). 107

INTRODUCTION GENERALE

Les infrastructures de transport sont cruciales pour assurer la libre circulation des personnes et des biens, soutenant ainsi l'économie nationale. Elles nécessitent l'implication des pouvoirs publics à tous les niveaux et requièrent des espaces dédiés, ce qui peut limiter les espaces privés. Ces infrastructures imposent des changements de gestion pour répondre aux défis mondiaux et prennent en compte des règles d'usage et des préoccupations environnementales.

Le chemin de fer, un système de transport collectif, est une alternative à l'automobile et aux camions, réduisant la congestion urbaine. Dominant dans plusieurs pays, il a influencé l'urbanisme et facilite le transport de grandes quantités de marchandises et de personnes. Après une période d'abandon, les gouvernements se concentrent de nouveau sur le développement ferroviaire. Depuis la première ligne en 1871, le chemin de fer a été essentiel pour l'économie algérienne. Les autorités modernisent maintenant ce secteur pour désenclaver les différentes régions, avec une mise à niveau d'un réseau de 855 kilomètres.

Les infrastructures ferroviaires représentent des investissements majeurs de l'État, des collectivités locales et des entreprises. Avec le développement économique rapide de l'Algérie, l'augmentation des investissements étrangers et les projets nationaux en cours, on s'attend à une croissance continue des réseaux de transport, facilitant le commerce mondial et augmentant la capacité de production des régions desservies.

La ligne minière Ouest, longue de 1650 km, relie Oran à Gara Djebilat en passant par plusieurs villes. La ligne Oran-Bechar est déjà en exploitation après rénovation, et les travaux continuent pour les 950 km restants jusqu'à Tindouf. Cette initiative vise à densifier le réseau ferroviaire, désenclaver les villes et améliorer l'offre de transport.

L'étude se concentre sur le tronçon Bechar-Tindouf, en particulier sur Beni-Abbes, pour localiser le meilleur tracé en évaluant les caractéristiques techniques et l'impact environnemental. Cette étude utilise les normes internationales UIC et d'autres standards en vigueur. Le travail est intitulé " Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf du PK 300+000 au 315+000 avec conception de la gare de Tabelbala". .

CHAPITRE 01 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE : ETUDE DE L'ENSABLEMENT

I.1. L'ENSABLEMENT

I.1.1. INTRODUCTION

Le phénomène d'ensablement est l'une des manifestations les plus impressionnantes de la désertification. Actuellement, il affecte environ 1 333 775 km² (selon des estimations basées sur des images satellites), ce qui représente 56 % de la superficie totale de l'Algérie. Ce problème constitue un défi majeur pour l'État algérien, qui y fait face depuis des décennies en allouant des ressources financières importantes pour divers programmes de lutte contre l'ensablement et de stabilisation des dunes. Toutefois, des ajustements sont nécessaires pour accroître l'efficacité des techniques utilisées.

Le Sahara algérien est couvert par d'immenses dépôts de sable, notamment dans le Grand Erg Occidental à l'ouest et le Grand Erg Oriental à l'est. La mobilisation de cette énorme quantité de sable par le vent représente une menace sérieuse pour les infrastructures de développement dans les régions arides et semi-arides. Dans cette région, ce risque majeur se manifeste par une progression rapide de la désertification et de l'ensablement, compromettant tout développement économique. De nombreuses infrastructures, telles que les routes, les systèmes hydro-agricoles, les oasis et les agglomérations, sont constamment menacées par les dunes mobiles.

La question de l'ensablement est une priorité dans le développement des régions arides et semi-arides du pays. Il est crucial de trouver les techniques les plus efficaces et de proposer des solutions fiables et peu coûteuses pour lutter contre l'ensablement, ainsi que de définir les modalités de leur mise en œuvre.



Figure I-1 : Risque d'ensablement

I.1.2. Conséquence de l'ensablement

- Mauvaise visibilité
- Obstruction des travaux de réalisation de la voie.
- Circulation à vitesse réduite ou arrêt complet.
- Risque de déraillement et de déviation hors des rails.



Figure I-2 : Conséquence de l'ensablement

I.1.3. Définition de l'ensablement

Lorsque des particules de sable, déplacées par le vent ou par l'eau, s'amassent en un endroit, que ce soit sur le rivage, au bord d'une rivière, sur des terres cultivées ou non, on appelle cela l'ensablement. Dans ce cas, les particules de sable sont transportées par le vent.

I.1.4. Facteurs d'ensablement

Lorsque des accumulations de sable ou des dunes se déplacent, elles peuvent ensevelir sous leur masse les cultures, les potagers, les habitations, ainsi que les infrastructures de transport comme les lignes ferroviaires et les routes, ainsi que les réseaux d'eau. Les pertes matérielles et socio-économiques qui en résultent peuvent être si graves que la mise en place de programmes pour lutter contre la désertification et l'ensablement devient une priorité.

Toutefois, pour bien appréhender l'utilisation efficace des moyens de lutte, il est indispensable de comprendre les deux facteurs principaux qui contribuent à la formation et au déplacement des masses sableuses : l'action du vent et la nature du sol.

I.1.4.1. Le vent

Le vent représente un déplacement horizontal d'une masse d'air en fonction d'une direction. L'air se déplace naturellement des zones de haute pression vers celles de basse pression. Le mouvement des particules de sol est étroitement lié à la direction, la vélocité et la durée du vent.

Lorsqu'un vent prévaut de manière régulière dans une direction spécifique, on parle alors de vent dominant. Près de la surface terrestre, la vitesse du vent est minimale. En s'élevant au- dessus du sol, la force du vent augmente avec l'altitude.

Pour soulever des particules de sable, le vent doit atteindre une vitesse critique, appelée seuil d'efficacité. La vitesse du vent est un élément crucial, car elle détermine la force nécessaire pour déplacer le sable. Une augmentation de la vitesse du vent augmente donc sa capacité de transport. Un autre facteur déterminant est la taille et la densité des particules de sable : les particules de diamètre proche de 0,1 mm sont les plus susceptibles d'être entraînées, tandis que les particules plus grosses nécessitent des vents très forts pour être déplacées.

I.1.4.2. Le sol

Ce deuxième facteur est crucial pour comprendre l'apparition de l'ensablement. L'érosion éolienne représente l'action du vent sur le sol. Ce type d'érosion est susceptible de se produire lorsque le sol présente les caractéristiques suivantes :

- Texture fine, sèche et friable.
- Surface uniforme.
- Présence absente ou rare de couverture végétale.
- Zone suffisamment étendue dans la direction du vent.

Les régions arides et semi-arides sont particulièrement vulnérables à l'érosion éolienne. Les sols, souvent desséchés en surface pendant de longs mois, manquent de protection superficielle.

I.1.5. Type de traitement :

Le principe fondamental de la fixation des dunes est d'empêcher le déplacement du sable suffisamment longtemps pour permettre l'établissement d'une végétation naturelle ou plantée. Pour contrôler l'ensablement, il faut réduire la saltation en stabilisant le sol ou en atténuant le 3n de vitesse du vent près du sol. Deux approches principales sont utilisées :

- **Fixation primaire :** Implique la stabilisation mécanique des masses de sable par des moyens tels que l'installation de barrières perpendiculaires au vent dominant, l'épandage de matériaux pour couvrir le sol , et le profilage des obstacles pour modifier la vitesse du vent.
- **Fixation définitive ou biologique :** Consiste à établir une couverture végétale permanente, soit ligneuse, soit herbacée, pour stabiliser les dunes sur le long terme.

Ces méthodes visent à prévenir l'ensablement en modifiant les conditions qui favorisent le déplacement du sable, assurant ainsi la protection des terres et des infrastructures contre les effets néfastes de l'érosion éolienne.

I.1.6. Fixation primaire :

Dans la plupart des situations, la stabilisation mécanique constitue une étape préalable indispensable pour assurer la fixation durable des sables en mouvement et des formations dunaires à court et moyen terme. Son rôle est d'empêcher le déplacement du sable sur une période suffisante pour permettre l'implantation de la végétation. Ces techniques regroupent toutes les méthodes visant à stabiliser les masses de sable en déplacement.

Ces approches, bien que variées, peuvent être classées en quatre principaux groupes :

- Barrières artificielles et haies.
- Techniques de palissade.
- Méthodes de paillage ou mulching.
- Approches aérodynamiques (désensablement par le vent) .

I.1.6.1. Haies artificielles et barrières

On utilise des sacs remplis de petits débris (comme du sable, du tuf, et des cailloux de diamètre inférieur à 10 cm) pour construire des barrières.

Ces sacs, fabriqués en jute ou dans un autre matériau résistant aux hautes températures, ont généralement des dimensions d'environ 70 cm de longueur et 35 à 40 cm de hauteur.

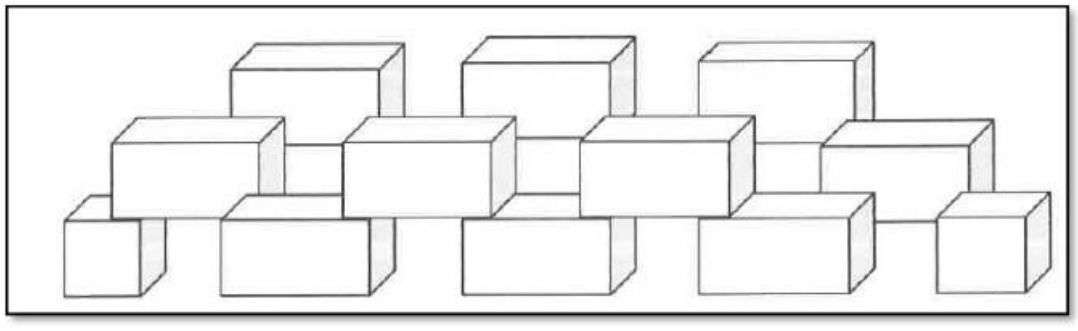


FIGURE I-3 : HAIES ARTIFICIELLE

I.1.6.2. Techniques de palissade

Cette méthode repose sur le positionnement stratégique des obstacles, comme les palissades, dans la trajectoire du vent. Ces structures provoquent une accumulation de sable autour d'elles en ralentissant la vitesse du vent. Les palissades, en tant qu'obstacles linéaires exposés aux vents dominants, sont conçues pour réduire la vitesse du vent et favoriser le dépôt et l'accumulation du sable transporté.

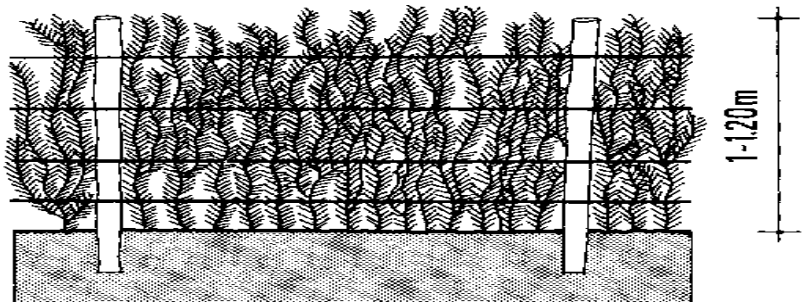


FIGURE I-4 : Méthode de palissade

I.1.6.3. Technique du Mulch

Dans ce contexte, l'approche ne vise plus à modifier la vitesse du vent, mais plutôt à protéger le sol et à renforcer sa cohésion. Cette technique implique de couvrir uniformément le sable avec une couche protectrice afin d'empêcher l'action du vent au niveau du sol et d'éviter le phénomène de saltation.

I.1.6.4. Méthode aérodynamique (désensablement par le vent)

Ce procédé utilise l'énergie naturelle du vent contre lui-même, représentant une approche innovante pour le désensablement. Il exploite la force et la vitesse du vent pour évacuer le sable sans entraver son mouvement naturel. Cette méthode repose sur des techniques aérodynamiques qui modifient la vitesse et la direction du vent, créant des conditions favorables à l'élimination des accumulations de sable. On optimise ainsi le vent comme un agent de nettoyage efficace, essentiel pour les régions arides en Algérie confrontées au défi de l'ensablement.

I.1.7. Fixation définitive (La lutte biologique)

Avant d'entreprendre toute méthode de stabilisation des dunes, il est essentiel de comprendre que l'objectif principal est de créer des conditions favorables au développement

des plantes. Les dunes possèdent une végétation naturelle spécifique qui est physiologiquement adaptée aux conditions locales, mais qui est menacée par l'activité humaine et les changements climatiques. Les espèces végétales sélectionnées pour remplacer cette végétation doivent répondre à des critères stricts :

- Adaptation aux conditions locales.
- Résistance à la sécheresse et robustesse.
- Tolérance à des sols pauvres en éléments nutritifs.
- Capacité à supporter de grandes variations de température.
- Résistance aux vents forts, au déchaussement et à l'ensevelissement.
- Enracinement profond pour stabiliser le sol efficacement.
- Croissance rapide pour fixer et protéger le sol rapidement.
- Capacité de régénération naturelle et amélioration du sol.

L'utilisation prioritaire des espèces végétales indigènes est recommandée. Toutefois, lorsque les espèces locales ne répondent pas aux exigences de résistance et de stabilisation rapide des dunes, l'introduction d'espèces exotiques pour la phase initiale de fixation peut être envisagée. En plus des critères environnementaux, des considérations socio-économiques sont également prises en compte.

La stabilisation végétale des dunes implique trois processus principaux :

- Le développement artificiel du couvert végétal (reboisement, semis direct).
- La régénération naturelle du couvert végétal (mise en défens).
- Le développement semi-naturel de la végétation.

Ces approches visent à restaurer et à protéger la biodiversité locale tout en renforçant la résilience des écosystèmes face aux pressions environnementales et anthropiques.

I.2. CONCLUSION

En raison de son relief et de sa géographie, l'Algérie doit faire face à des défis importants liés à l'ensablement et à la désertification, qui touchent une part significative de son territoire. Pour répondre à ces enjeux, il est nécessaire d'élaborer une stratégie globale de lutte contre l'ensablement, qui comprend principalement les actions suivantes :

- Élaboration d'un guide spécifique pour la conception des voies ferrées dans les zones sujettes aux dunes.
- Développement de méthodes de surveillance et d'évaluation pour les projets de protection des chemins de fer contre l'ensablement.

Ces initiatives visent à maintenir l'efficacité des infrastructures ferroviaires et à atténuer les impacts négatifs de l'ensablement, essentiel pour soutenir le développement durable et économique des régions touchées en Algérie**.**

CHAPITRE 02 : GENERALITES

II.3. INTRODUCTION

Dans le contexte du développement mondial, l'Algérie a mis en place toutes les mesures nécessaires pour améliorer son réseau ferroviaire en investissant dans le dédoublement, la modernisation, l'électrification et la construction de nouvelles lignes ferroviaires.

La construction des gares modernes pour les passagers et les marchandises ont également été présents partout dans le pays.

Le gouvernement a mis en place un plan national visant à connecter toutes les régions de l'Algérie au réseau ferroviaire, dans le but de favoriser l'économie du pays.

II.4. HISTORIQUE DU CHEMIN DE FER DANS LE MONDE

Le chemin de fer est originaire des carreaux de mines, servant initialement au transport du charbon depuis les puits d'extraction jusqu'aux voies navigables. Dès le18e siècle, les mineurs utilisaient des barres de guidage en bois pour faire glisser les chariots, avant de progressivement adopter des rails métalliques. Au départ, la traction était généralement assurée par des chevaux, mais cela a évolué avec l'avènement de la première locomotive à vapeur, conçue par l'ingénieur anglais Richard Trevithick en 1803. Son succès lors des essais réalisés dans le sud du pays de Galles a marqué le début de l'ère des chemins de fer.

La première ligne de chemin de fer au monde a été établie en 1825 en Angleterre, reliant Stockton à Darlington, près de Newcastle. Cette ligne était principalement utilisée pour le transport du charbon, tout comme d'autres lignes construites à la même époque en Écosse et dans le Lancashire. C'est dans cette dernière région qu'a été inaugurée la première véritable ligne de chemin de fer, entre Liverpool et Manchester (51 km). Mise en service en 1830, cette ligne a révolutionné non seulement le transport du charbon, mais également celui des passagers, marquant ainsi une avancée majeure dans l'histoire des chemins de fer.

À partir des années 1840, le chemin de fer a connu un développement spectaculaire dans les pays disposant de charbon ou ayant accès facilement à cette ressource, comme en Europe et aux États-Unis. Profitant de l'essor de la révolution industrielle, de vastes réseaux ferroviaires ont été construits entre 1830 et 1890. En 1875, soit un demi-siècle après l'apparition des premières voies ferrées, les États-Unis comptaient 129 000 km de lignes, tandis que l'Europe occidentale en possédait 123 000 km.

Quelques années plus tard, en 1890, on dénombrait 363 000 km de voies ferrées dans le monde, dont 172 000 km en Europe et 165 000 km aux États-Unis. En 1950, ces derniers étaient

desservis par 350 000 km de lignes ferroviaires, sur un total mondial de 1,3 million de km. Il est notable que les pays colonisés ont bénéficié, dans une certaine mesure, de l'apport de diverses technologies pendant cette période de développement. Prenez l'exemple de l'Algérie, où les premières voies ferrées ont été établies aux alentours de 1863, avec un écartement étroit de 1055 mm.

II.5. HISTORIQUE DE CHEMINS DE FER EN ALGERIE

L'histoire des chemins de fer en Algérie remonte au 8 avril 1857, date à laquelle un décret du gouvernement français a autorisé la construction de 1 357 km de voies ferrées dans la colonie d'Algérie. Le premier chantier a débuté le 12 décembre 1859 avec la construction dela ligne Alger-Blida dans la Mitidja. Le plan initial prévoyait la construction d'une ligne principale reliant Oran, Alger et Constantine sur une distance de 881 km, ainsi que six lignes de raccordement aux principaux ports tels que Philippeville, Bougie, Bône, Ténès et Arzew. L'objectif de 1 357 km a été largement dépassé, avec la construction de 1 365 km de voies ferrées touchant presque toutes les villes importantes d'Algérie.

En juillet 1879, une nouvelle campagne d'investissement a été lancée au niveau national pour renforcer les lignes d'intérêt général, avec pour objectif d'ajouter 1 747 km au réseau existant. La construction de ces lignes d'intérêt local a été confiée aux investisseurs privés et aux collectivités locales. Au cours des trente années suivantes, 2 035 km de voies ferrées ont été ajoutés au réseau, formant ainsi l'armature du futur réseau ferroviaire algérien.

Dans une troisième phase de développement, entre 1907 et 1946, une nouvelle campagne d'investissement a permis d'ajouter 1 614 km au réseau. En 1925, le réseau ferroviaire algérien comptait 4 724 km de voies ferrées, auxquels il fallait ajouter 127 km de tramways. En 1941, le Transsaharien a été inauguré, reliant l'Afrique noire à la Méditerranée. À la fin de la Seconde Guerre mondiale, en 1945, le réseau ferroviaire algérien s'étendait sur plus de 5 000 km.

Après l'indépendance de l'Algérie, la Société Nationale des Chemins de Fer Français en Algérie a été transformée en Société Nationale des Chemins de Fer Algériens (SNCFA) en 1963, puis en Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) en 1976. Des changements structurels ont eu lieu dans les années suivantes, avec notamment la dissolution de certaines entités et la reprise des prérogatives par la SNTF. Depuis les années 2000, des efforts considérables ont été déployés pour moderniser et étendre le réseau ferroviaire algérien, avec des programmes d'investissement visant à porter le réseau à 12 500 km.

II.6. AVANTAGES DES CHEMINS DE FER

La répartition du trafic entre les différents modes de transport résulte des décisions prises par les usagers des transports, lesquelles dépendent des avantages que supposent les différentes solutions possibles, ainsi que l'investissement de l'état dans les chemins de fer est bien justifiable vue les bienfaits de la voie ferrée qui peuvent se résumer comme suit :

- Le transport par voie ferrée est plus rapide que par la route (pour son système de guidage et l'absence d'obstacles) et peut même concurrencer l'avion vue les grandes vitesses atteintes par le TGV.
- Il garantit aux états leur indépendance à long terme grâce aux réductions de consommations en hydrocarbures.
- Le moins couteux parmi tous les autres moyens de transport.
- Sécurité vis-à-vis des accidents par rapport à la route.
- Il est non polluant, et peut être bientôt encore plus si l'énergie est produite par les systèmes géothermique et solaire.
- Le dégagement de capacités dans les infrastructures routières et aéroportuaires.
- Gain de temps, confort et sécurité.
- Réduction des dommages corporels et matériel (vu les dégâts des accidents routier)..

II.7. LE RAIL EN ALGERIE ET SON DEVELOPPEMENT

En Algérie, Le rail marque une négligence regrettable et complètement oubliée jusqu' aux années 80 où il a été un peu redynamisé avec la création de 303 km de lignes nouvelles et le renouvellement de la voie et du ballast sur 800 km. Après la crise sécuritaire algérienne, le rail a connu une période de stagnation et d'ignorance ce qui a détérioré l'état des infrastructures ferroviaires et du matériel roulant. A partir de l'an 2000, le réseau Algérien a connu l'électrification de 340 km et la réalisation de 500 km de lignes nouvelles. Aujourd'hui, le secteur ferroviaire connaît une véritable relance, une importante enveloppe allouée au secteur dans le cadre du programme de modernisation de l'infrastructure ferroviaire (Voir la fig ci-dessous), une nécessité absolue, compte tenu de la vétusté de l'infrastructure existante. La mise en service d'un réseau moderne aura pour effet de réduire les temps de parcours des trains, et de désenclaver un certain nombre de régions du pays en les reliant au réseau ferroviaire national existant. Enfin, il s'agit de rénover l'ensemble des voies existantes, procéder à leur dédoublement, électrifier la rocade nord et acquérir de nouveaux équipements en matériel roulant, pour la signalisation ainsi que pour les télécommunications.

- Les grands axes du plan de modernisation du rail en ALGERIE :
- Modernisation des lignes existante : 855 Km.
- Doublement de voie : 430 Km
- Autre ligne : 1120 Km
- Ligne des hauts plateaux : 600 Km
- Boucle du sud : 800 Km.
- Autre ligne en cours de réalisation : 828 Km. • Lignes projetées : 1400 Km.



FIGURE II. 1 : PLAN DE DÉVELOPPEMENT DES CHEMINS DE FER EN ALGERIE

II.8. CONCLUSION

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

CHAPITRE 03 : PRESENTATION DE PROJET

III.1. INTRODUCTION

L'Agence Nationale d'Étude et de Suivi des Réalisations des Investissements Ferroviaires (ANESRIF) a lancé un programme ambitieux dans le cadre du développement du réseau ferroviaire en Algérie, visant à favoriser le développement économique et à réduire l'isolement des villes du Sud. Dans cette optique, un programme spécifique a été élaboré pour l'extension de la ligne minière Oran (Arzew) - Bechar jusqu' 'a Gara Djebilet (Tindouf).

La ligne minière Ouest relie la ville d'Oran, dans le nord, à Gara Djebilat, à Tindouf dans le sud, en passant par Sidi Bel Abbès, Naama, Mecheria, Béni Ouanif, Bechar , Beni Abbes et Tindouf, sur une distance totale de 1650 km.

Actuellement, la portion de la ligne entre Oran et Bechar, qui s'étend sur 700 km, est opérationnelle suite à des travaux de rénovation et de modernisation. Récemment, cette section a bénéficié de l'installation de systèmes de signalisation et de télécommunication avancés.

La deuxième phase du projet, consistant en 950 km de travaux en cours, relie Bechar à Tindouf et Gara Djebilet. Cette nouvelle liaison traversera six wilayas, abritant plus de deux millions d'habitants, représentant environ 6% de la population. Au total, le projet comprendra 12 gares et haltes, renforçant ainsi l'accessibilité et la connectivité de la région.

III.2. PRESENTATION DU SITE

Le projet objet de l'étude se développe sur le territoire des wilayas de Bechar, Beni Abbes et Tindouf à l'intérieur de laquelle sont définies les communes directement impliquées dans le couloir du projet. Il s'agit de :

Wilaya	Communes
Bechar	Bechar,Kenadsa,Abadla,Erg Ferradj et Mechraa Houari Boumdiene
Beni Abess	Tabelbala
Tindouf	Oum El Assel et Tindouf

Tableau III. 1 : Présentation des wilayas.

a. Présentation de la Wilaya de Bechar

La Wilaya de Béchar est l'une des plus grandes wilayas du Sud. Elle s'étale sur une superficie d'environ 161.400 Km², soit 6.77 % du territoire national. Localisée au Sud-Ouest du territoire national. Elle est limitée :

- Au Nord et Nord-Est par les Wilayas de Naâma et d'El Bayadh,
- Au Sud et Sud-Ouest par la wilaya de Tindouf,
- A l'Est et Sud-Est par la Wilaya d'Adrar,
- A l'Ouest par le royaume du Maroc.

b. Présentation de la Wilaya de Beni Abbes

La wilaya de Béni Abbès est localisée au Sud-Ouest algérien. Elle s'étend sur unesuperficie de près de 101 350 km2 .

Elle est délimitée:

- Au Nord par la wilaya de Bechar;
- A l'Est par la wilaya de Timimoun;
- A l'Ouest par le Royaume du Maroc;
- Au Sud-Ouest par la wilaya de Tindouf;
- Au Sud et Sud-Est par la wilaya d'Adrar.

c. Présentation de la Wilaya de Tindouf

La Wilaya de Tindouf occupe une position géostratégique sur la partie Sud– Ouest de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 158 874 km2 représentant 6,67 % de la superficie totale du territoire national.

Elle est limitée :

- Au Nord par le royaume du Maroc.
- Au Nord–Est par la wilaya de Béchar.
- Au Sud-Ouest par la Mauritanie.
- Au Sud-Est par la Wilaya d'Adrar.
- A l'Ouest par le territoire du Sahara occidental.

III.2.1. Précipitations

Au mois de Juillet, la sécheresse est absolue avec un niveau de pluviométrie presque insignifiant de seulement 0,02 mm.

En revanche, le mois d'octobre connaît le pic de précipitations avec une moyenne de 0,38 mm. Ces valeurs soulignent la nature aride et peu pluvieuse du climat de la zone d'étude.

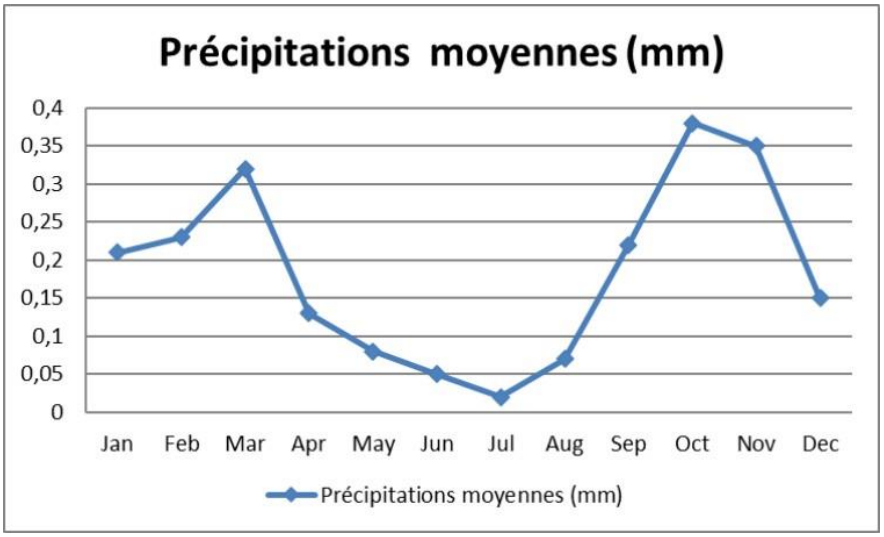


FIGURE III. 2 : PRECIPITATION MOYENNE CALCULEE DURANT LA PERIODE 1991 – 2021

Source : Les données hydrologiques et hydrauliques du rapport du SETIRAIL.

III.2.2. Humidité

La région se caractérise par une faible humidité de l'air, qui est un élément constant du climat régional en raison de sa faible variabilité temporelle. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité spécifiques dans la région d'étude varient entre 3 et 6 (g/kg

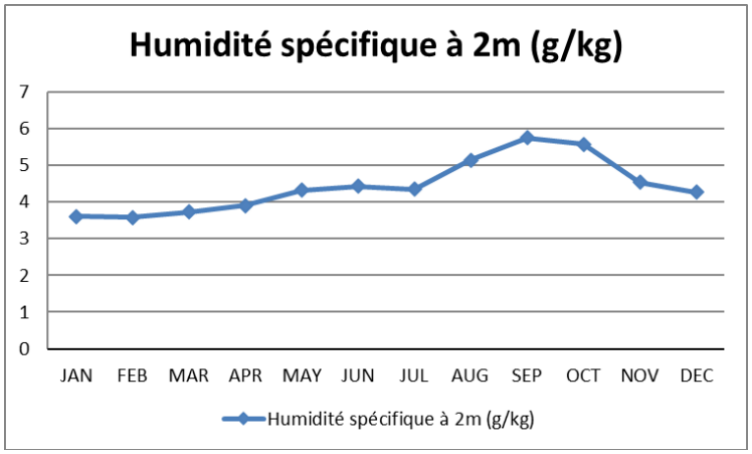


FIGURE III. 3 : HUMIDITE SPECIFIQUE A DEUX (02) METRES EN G/KG

Source : Les données hydrologiques et hydrauliques du rapport du SETIRAIL.

III.2.3. Sismicité

Le règlement parasismique Algérien (version 2003), divise le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies comme suit :

- Zone 0 : sismicité négligeable .
- Zone I : sismicité faible .
- Zone (II.a - II.b) : sismicité moyenne .
- Zone III : sismicité élevée.

La Wilaya de Beni Abbes est classée dans la zone 0.

Cela implique que l'activité tectonique et sismique dans la zone d'étude est faible, voire même nulle.

III.3. CARACTERISTIQUES DE BASE

La conception du projet et les paramètres géométriques du tracé d'une ligne de transport du minerai de Fer, soit une ligne minière permettant le transport des voyageurs au même temps.

- Les caractéristiques géométriques et techniques pour cette étude d'APD seront basées sur les résultats des simulations prises en charges dans l'étude du plan de transport, ainsi

que des **recommandations européennes** et celles pratiques de la **S.N.T.F.**

- Longueur totale de projet est de **15 km**.
- Vitesse de circulation des trains Vides (Voyageurs) ; **160 km/h**
- Vitesse de circulation des trains chargés (Marchandise):**70 km/h**
- La gare de Tabelbala est une **gare voyageurs** .

III.4. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LIGNE

- Écartement standard (1 435 mm en alignement).
- Charge à l'essieu :
  - Infrastructure : 32,5 T
  - Ouvrage d'art : 32,5 T
- Le rail utilisé sera du type 60 E1 (60,21 kg/ml).
- Gabarit d'obstacle : selon UIC (y compris caténaire en 25 KV)
- Mode de traction : DIESEL.
- Signalisation de type ERTMS .
- La ligne ne comprend aucun passage à niveau.
- Les traverses utilisées sont des traverses mono-bloc en béton précontraint, type V.A.X. U31
- La ligne contient des clôtures dans les zones qui sont proche de la ville.

III.5. CONCLUSION

Les autorités publiques ont initié un ambitieux programme d'investissement visant à revitaliser le secteur des transports. Nous avons l'opportunité de réaliser cette étude et c'est un privilège pour nous, d'autant plus qu'il s'agit d'un grand projet en Algérie et nous espérons que nous contribuerons grandement à sa réalisation.

CHAPITRE 04 :
TRACE EN PLAN

IV.1. INTRODUCTION

L'étude géométrique du tracé de la voie ferrée est une démarche scientifique et technique visant à garantir un roulement optimal des trains. Son objectif est de déterminer la configuration géométrique idéale de la voie et du tracé. Cela nécessite une analyse rigoureuse des paramètres clés tels que les courbes, les pentes et les dénivelés afin de concevoir un tracé qui réduit au minimum les forces centrifuges et permet de maintenir une vitesse constante.

En parallèle, des considérations essentielles telles que l'espacement entre les voies, la largeur des plateformes et la position stratégique des aiguillages sont prises en compte. Ces éléments visent à garantir une circulation fluide des trains, facilitant les croisements et assurant la sécurité des opérations ferroviaires, ainsi que la sécurité des voyageurs et du personnel ferroviaire.

Cette étude repose sur une approche méthodologique fondée sur des normes et recommandations spécifiques, notamment celles établies par le référentiel de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF). Son objectif principal est de déterminer le tracé le plus économique tout en garantissant un roulement parfait et sécurisé des véhicules. De plus, elle vise à répondre aux exigences des normes internationales applicables dans le domaine ferroviaire.

IV.2. TRACE EN PLAN

Le tracé en plan d'une voie ferrée comprend des alignements droits ainsi que d'autre en courbe circulaire qui nécessitent généralement l'insertion de courbes de raccordement afin d'assurer une transition en douceur entre les tronçons. Ces derniers présentent une courbure progressive qui permet d'atténuer les impacts et les secousses.

Il représente la projection de l'axe de la voie sur un plan horizontal. Sans omettre que le tracé en plan d'une voie ferrée est principalement défini par deux vitesse :

- Vv : vitesse des trains rapides (voyageurs): 160 km/h
- Vm : vitesse des trains lents (marchandises):70km/h

IV.3. CONDITIONS ET REGLES DE TRACE

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

- Comme c'est une étude APD on ne doit pas sortir du couloir choisi.
- Respecter les règlements recommandés par le Référentiel SNTF et UIC.

- Respecter le rayon et les longueurs minimum recommandées par le Référentiel SNTF
- Utiliser le maximum d'alignements droit (le plus petit Alignement droit dans notre projet est de **187.59** m).
- Eviter le franchissement des oueds et des routes dans la mesure du possible qui nécessite la réalisation des ouvrages d'arts, dans le cas où c'était inévitable le franchissement s'effectuera perpendiculairement à sa ligne d'écoulement ou à partir desendroits les plus étroits.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières.
- Eviter les zones militaires.
- Suivre les courbes de niveau afin de diminuer les volumes des terrassements.
- Eviter le passage sur les zones de grande importance.
- Eviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques et géotechniques.

IV.3.1. Les éléments du tracé en plan

Un tracé en plan est constitué de trois (3) éléments géométriques :

a. Alignement droit (R = ∞):

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation. Il représente le meilleur tracé qui convient aux voies ferrées sur le plan technique (la force centrifuge est nulle)et sur le cote du confort du voyageur(Plus confortable avec aucun secousse).

b. Les pleins courbes

Dans les endroits où la topographie ne permet pas de réaliser les alignements, on a recoursau raccordement circulaire ou le rayon sera le plus grand possible de sa valeur minimale.

c. Raccordement progressif

C'est un élément géométrique qui assure le raccordement entre l'alignement droit et l'arc de cercle, dont la courbure varie progressivement d'un rayon R=∞ à la fin de l'alignementjusqu'à une valeur R constante au début de l'arc de cercle. Dans notre projet on a utilisé le raccordement entre les alignements et les cercle seulement.

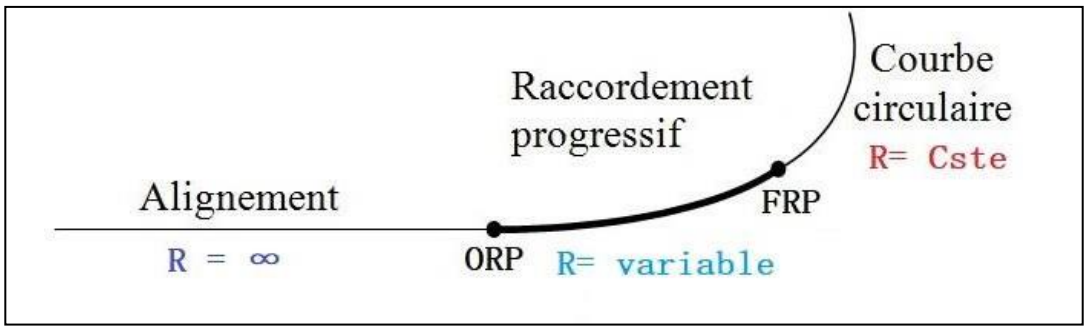


FIGURE IV. 1 : LES ELEMENTS DE TRACE EN PLAN.

IV.4. LES PARAMETRES LIMITES QUI CONDITIONNENT LE TRACE

Sont repris ci-après :

a. Vitesses

- Vv : vitesse des trains rapides (voyageurs): 160 km/h.
- Vm : vitesse des trains lents (marchandises) :70km/h.

b. Longueur minimum des éléments de tracé

Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes, entre milieux de doucines, doivent respecter les valeurs exprimées en mètres ci-après (la vitesse V est exprimée en km/h) :

Valeur limite normal	V/2
Valeur limite exceptionnelle	V/3

Tableau IV. 1 : Les longueurs minimales des alignements.

c. Rayon minimum de l'alignement circulaire

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

$$\mathbf{R_{min} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{D_{max} + I_{max}}}$$

d. Devers théorique (d_{th})

Se définit par la formule suivante :

$$\mathbf{d_{th} = \frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}}$$

e. Devers pratique (d_p)

Se définit par la formule suivante :

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

Tel que :

- Le coefficient de dévers : $C = 0.006 \times {V_{max}}^2 \ \ C$
- La valeur de C doit être un multiple de 15 et doit répondre à la relation :

$$0.5 < \frac{C}{0.118 \times {V_{max}}^2} < 0.7$$

f. Insuffisance de dévers (I)

$$\mathbf{I = d_{th} - d_p}$$

Les valeurs maximales admissibles sont :

Valeur maximal normal	**150 mm**
Valeur maximal exceptionnelle	160 mm

Tableau IV. 2 : Les Valeurs Limite L'insuffisance de dévers.

g. Exces de dévers (E)

$$E = d_p - \frac{11.8 \times {V_{min}}^2}{R}$$

Les valeurs maximales admissibles sont les suivantes :

Valeur maximale normale	**110 mm**
Valeur maximal exceptionnelle	130 mm

Tableau IV. 3 : Les Valeurs Limite de l'excès.

h. Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur: $\boldsymbol{dd/dl}$

Limites de ce taux exprimé en mm (la vitesse est exprimée en km/h):

Valeur maximale normale	**180/V**
Valeur maximal exceptionnelle	216/V

Tableau IV. 4 : Limite de la variation de devers .

i. Limite la variation d'insuffisance de dévers $\boldsymbol{dI/dt}$

Les valeurs maximales sont indiquées ci-dessous :

Valeur maximale normale	**75 mm/s**
Valeur maximal exceptionnelle	90 mm/s

Tableau IV. 5 : Variation d'insuffisance de dévers par rapport au temps.

j. La longueur de clothoïde

$$L_{rp} = \frac{d_p}{d_d/d_l}$$

IV.5. APPLICATION SUR LE PROJET

Notre projet reliant Bechar à Tindouf débute au point kilométrique (PK) 300+000 et s'étend jusqu'au PK 315+000, sur une distance totale de 15 km. Le tracé démarre sur une ligne droite et se termine par une courbe d'un rayon de 5 000 mètres. Il s'étend sur une longueur totale de 15 000 mètres et comprend 7 courbes horizontales dont les rayons varient entre 2 400 mètres et 5 000 mètres.

Conformément aux normes de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) et pour une vitesse de 160 km/h, le rayon minimum autorisé est de 974 mètres. Ainsi, tous les rayons de notre tracé doivent être supérieurs à cette valeur minimale.

Prenons un exemple de calcul pour illustrer les différentes étapes de détermination du dévers et des paramètres associés pour un rayon de 5 000 mètres.

- **Dévers théorique :** $d_{th} = \frac{11.8 \times V_{max}{}^2}{R} = \frac{11.8 \times 160^2}{5000} = 60.42mm$

- **Le coefficient de dévers :** $C = 0.006 \times V_{max}^2 = 0.006 \times 160^2 = 153.6$

La valeur de C doit être un multiple de 15 et doit répondre à la relation $(*)$:

Alors dans ce cas on prend : **C=165**

$0.5 < \frac{C}{0.118 \times V_{max}{}^2} < 0.7$ ..... $(*)$➔ AN $0.5 < \frac{165}{0.118 \times 160^2} = 0.55 < 0.7$ **OK**

- **Dévers pratique :** $d_p = \frac{1000 \times C}{R} = \frac{1000 \times 165}{5000} = 33\ mm$

On prend : ***dp*** **= 15 mm**

- **Insuffisance de dévers :** $I = d_{th} - d_p = 60.42 - 15 = 45.42\ mm.$

- **Excès de devers :** $E = d_p - \frac{11.8 \times V_{min}{}^2}{R} = 40 - \frac{11.8 \times 70^2}{5000} = 3.44\ mm$

- **La longueur de clothoïde :** $L_{rp} = \frac{d_p}{dd/dl} = \frac{d_p}{180/dl} = \frac{15}{180/100} = 13.33\ m$.

On prend : $L_{rp} = 100\ m$

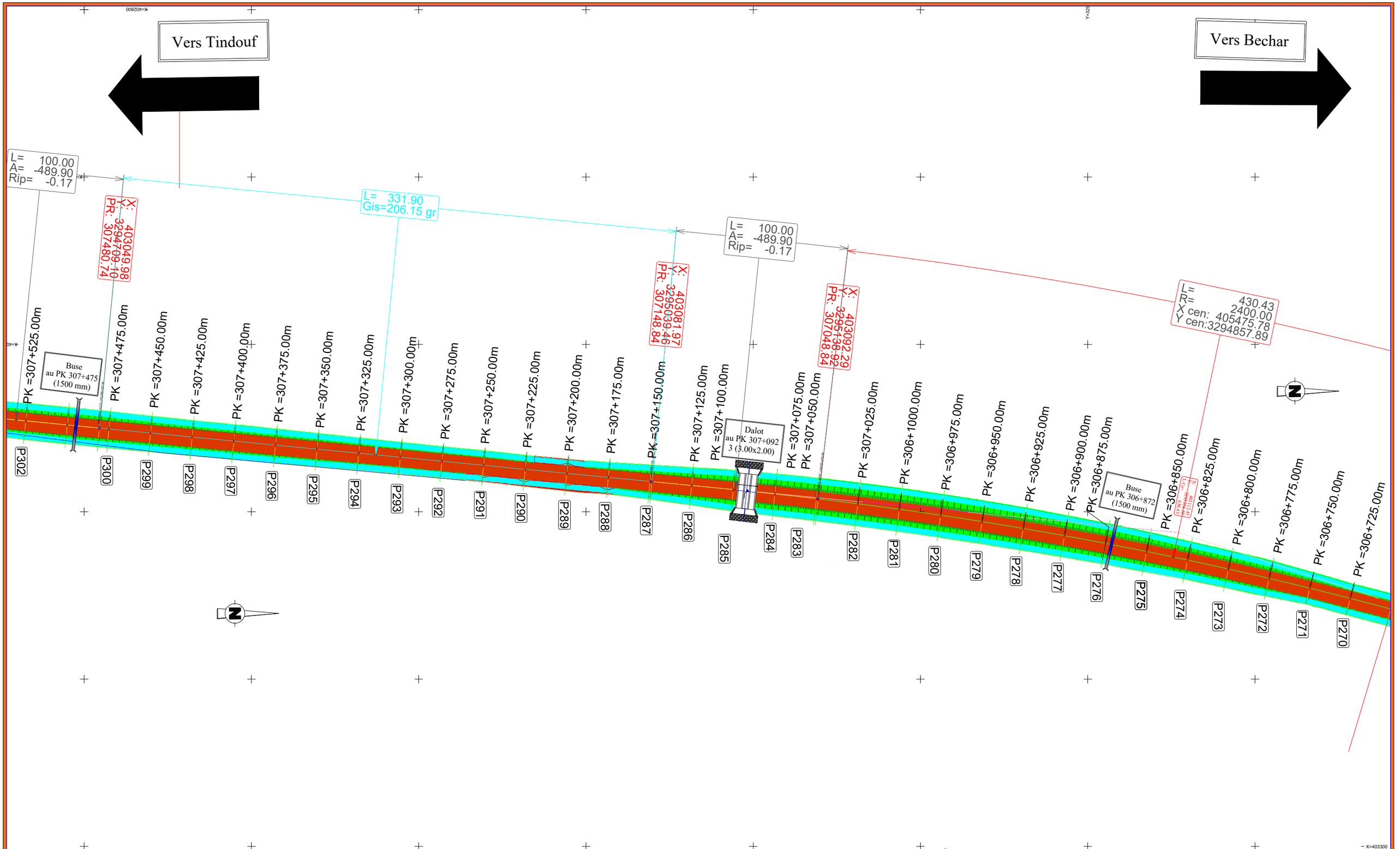
- **Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :** $dd/dl = \frac{15}{100} = 0.15$ mm/m

- **La variation d'insuffisance de dévers :** $\frac{dI}{dt} = \frac{dI}{dl} \times \frac{V_{max}}{3.6} = \frac{20.42}{100} \times \frac{160}{3.6} = 20.18$ mm/s

Ci-dessous, un récapitulatif des paramètres et des dévers associés à chaquerayon rencontré sur le tracé du tronçon d'étude, pour les vitesses de Vmax=160 km/h et Vmin=70 km/h.

Formule		1	2
Rayon (m)	-	2400	5000
Vitesse (Km/h)	-	160	160
dth (mm)	$\frac{11.8 \times V_{max}^2}{R}$	125,87	60.42
C	$0.006 \times V_{max}^2$	153.6	153.6
C adopté	-	165	165
Vérification C	$0.5 < \frac{C}{0.118 \times V_{max}^2} < 0.7$	0.55	0.55
		OK	**OK**
dp (mm)	$\frac{1000 \times C}{R}$	68.75	33
dp adopté	-	25	15
I (mm)	$d_{th} - d_p$	100.87	45.42
E (mm)	$d_p - \frac{11.8 \times V_{min}^2}{R}$	0.91	3.44
Lrp (m)	$\frac{d_p}{dd/dl}$	22.22	13.33
Lrp adopté	-	100	100
dd/dl (mm/m)	$\frac{d_p}{L_{rp}}$	0.25	0.15
dI/dt (mm/s)	$\frac{I}{L_{rp}} \times \frac{V_{max}}{3.6}$	44.38	40.18

Tableau IV. 6 : Tableau récapitulatif des paramètres du tracé .



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf du PK 300+000 au 315+000 avec la conception de la gare de Tabelbala	- HADJAB - LAKHMI	-Mr. M.BOUZIANE -Mme.S.CHIALI	1:2000	TRACE EN PLAN	2023 / 2024

CHAPITRE 05 :
PROFIL EN LONG

V.1. PROFIL EN LONG

Le profil en long revêt une importance capitale dans les projets ferroviaires, tant sur les plans technique, financier qu'environnemental. Il permet de déterminer le tracé optimal de la voie ferrée en prenant en compte les caractéristiques topographiques du terrain, ce qui réduit les contraintes de construction et les coûts associés. De plus, il influence directement les performances du système ferroviaire en favorisant des vitesses constantes et un confort accru pour les passagers.

En outre, le profil en long est essentiel pour estimer précisément les coûts du projet, établir un budget adéquat et gérer efficacement les ressources nécessaires. En résumé, une conception minutieuse du profil en long est indispensable à la réussite des projets ferroviaires. Elle assure un tracé optimal, des performances efficaces, une gestion financière rigoureuse et une protection environnementale adéquate.

V.2. LES ÉLÉMENTS DE COMPOSITION DU PROFIL EN LONG

V.2.1. Les alignements droits

Le profil en long de la voie ferrée se caractérise par des déclivités particulièrement modérées, conçues pour maintenir des vitesses de circulation appropriées, assurant ainsi une sécurité optimale lors des freinages en descente et garantissant un démarrage confortable des véhicules sur les pentes. Dans cette optique, la Société nationale des chemins de fer (SNTF) a établi une limite supérieure à respecter en termes de déclivité pour les tronçons droits, afin de garantir le respect des normes de sécurité et d'offrir une expérience de voyage agréable aux passagers.

En ce qui concerne l'emplacement des gares, il convient de noter qu'un palier d'une longueur généralement supérieure à 1200 mètres est utilisé, et des déclivités maximales spécifiques sont généralement adoptées :

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

Le choix de la position des droites par rapport au terrain naturel est dicté par plusieurs facteurs importants, notamment :

- Équilibrer les volumes de remblais et de déblais afin de limiter les mouvements de terre.
- Minimiser les déplacements de terre pour réduire les coûts et les perturbations environnementales.
- Éviter l'introduction de creux dans le profil en long lorsqu'il s'agit de sections en déblais, car cela peut entraîner des complications supplémentaires, notamment en ce qui concerne le terrassement et le drainage des eaux de pluie.

Pour remédier à cette situation, deux approches peuvent être envisagées.

La première solution consiste à rehausser ce point par rapport au niveau du terrain naturel, ce qui permet d'éliminer la configuration en point bas. La deuxième option, quant à elle, vise à adoucir les pentes de chaque côté, réduisant ainsi les variations de hauteur et évitant les contraintes associées.

Voici quelques directives importantes à suivre lors de la conception du profil en long d'une voie ferrée :

- - Dans les zones sujettes aux inondations, il est impératif de concevoir un profil en remblai dont la hauteur est supérieure à la hauteur de l'eau maximale attendue (NPHE) plus 0,5 mètre.
- Les points où les appareils de voie seront placés ne doivent pas être situés sur des pentes. Cela garantit une stabilité optimale et évite les problèmes potentiels associés aux variations de déclivité.
- Il est crucial de respecter la longueur minimale des segments du profil en long. Cela permet d'éviter les oscillations indésirables des véhicules dues aux variations de déclivité successives.
- Assurer une coordination adéquate entre le tracé en plan (horizontal) et le profil en long (vertical). Une bonne harmonie entre ces deux aspects garantit une géométrie optimale de la voie ferrée et contribue à une circulation fluide et sécurisée des trains.

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Longueur minimal des déclivités	$\frac{V}{2}$	$\frac{V}{2.5}$

Tableau V. 1 : Longueur minimale des déclivités

V.3. RACCORDEMENTS CIRCULAIRES EN PROFIL EN LONG

Lorsqu'un véhicule ferroviaire rencontre un changement de déclivité, il subit une variation abrupte de l'accélération verticale. Cette variation soudaine engendre des forces de réaction qui entraînent des oscillations dans la suspension du véhicule. Ces oscillations peuvent causer des vibrations et des secousses indésirables, ce qui impacte le confort des passagers à bord du véhicule.

L'accélération verticale peut être calculée à l'aide de la formule suivante : $\boldsymbol{A_V} = \frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{3.6^2 \times R_V}}$

Lorsque la vitesse reste en dessous de 220 km/h, l'accélération maximale admissible est de 0.22 m/s² (correspondant à Av ≤ 0.05g). Exceptionnellement, cette valeur peut atteindre 0.31 m/s² tout en restant considérée comme acceptable du point de vue du confort. Pour obtenir cette accélération, vous pouvez substituer les valeurs de Av dans la formule $\boldsymbol{R_V} = \frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{3.6^2 \times A_V}}$ on trouve :

Paramètre	Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle
Rayon minimalen raccordement verticaux (m)	$0.35V^2$	$0.25V^2$

Tableau V. 2 : Valeurs de Rayon vertical minimale

V.4. COORDINATION PROFIL EN LONG-TRACE EN PLAN

Pour maintenir une coordination efficace entre le profil en long et le tracé en plan, il est essentiel de vérifier certaines conditions :

- - Il ne doit pas y avoir de raccordement de profil en long qui se superpose à la clothoïde du tracé en plan.
- - Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être situés dans des courbes ou des déclivités.

Le respect de ces conditions vise à :

- Assurer la sécurité des passagers et du matériel roulant.
- Offrir un niveau de confort optimal aux voyageurs.
- Minimiser les interactions entre les accélérations verticales et horizontales.

V.5. APPLICATION SUR LE PROJET

		Formule		Application	
		Normal	Exceptionnel	Normal	Exceptionnel
Déclivités maximale	$L < 3000\ m$	-	-	16‰	18‰
	$3000 < L < 15000\ m$	-	-	13‰ a 16‰	15‰ a 18‰
	$L > 15000\ m$	-	-	13‰	15‰
	Gares	-	-	0	0
Rayon minimal en raccordement verticaux (m)	-	$0.35V^2$	$0.25V^2$	8960	6400
La longueur minimal des pentes uniformes et des raccordements en profil en long (m)	-	$V/2$	$V/2.5$	80	64

Tableau V. 3 : Paramètres géométriques de profil en long (Référentiel SNTF).

V.6. CONCLUSION

L'étude géométrique des voies ferroviaires combine des principes mathématiques et d'ingénierie pour assurer une performance optimale, la sécurité des passagers et des marchandises, ainsi qu'une efficacité maximale du réseau ferroviaire.

Dans ce chapitre, nous avons exploré divers aspects de cette étude, notamment la détermination des alignements horizontaux et verticaux, le calcul des courbes, des contre-courbes et des transitions, ainsi que l'évaluation de facteurs tels que les pentes, les dévers et les tolérances géométriques.

Il est essentiel de noter que l'étude géométrique des voies ferroviaires ne se limite pas à la phase de conception initiale. Elle doit être prise en compte tout au long du cycle de vie de la voie pour garantir un transport ferroviaire fiable, sûr et efficace pour les générations actuelles et futures.

CHAPITRE 06 :
ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

VI.1. INTRODUCTION

Pour éviter les perturbations de l'écoulement hydraulique engendrées par la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire, il est primordial de dimensionner adéquatement les ouvrages hydrauliques afin de maintenir la continuité des débits des cours d'eau. Parallèlement, un système de drainage efficace est indispensable pour protéger la plate-forme ferroviaire.

La ligne ferroviaire reliant Bechar à Tindouf ,du (PK300+000) à (PK315+000) traverse un bassin versant comprenant plusieurs cours d'eau naturels d'importance. Les débits de ces cours d'eau peuvent potentiellement entraîner des dommages à certains endroits de la voie ferrée. Il est donc essentiel d'évaluer minutieusement ces débits afin de mettre en œuvre des mesures préventives appropriées.

Les différentes étapes nécessaires pour mener à bien cette mission comprennent :

- La collecte et l'analyse de documents ainsi que d'études hydrologiques de la région.
- L'acquisition et l'examen de cartes topographiques couvrant la zone du projet.
- La collecte de données pluviométriques auprès de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) pour la région concernée.

- L'utilisation des cartes topographiques pour identifier les tracés des oueds traversant la ligne ferroviaire et délimiter les bassins versants.
- Le calcul des paramètres physiques et géomorphologiques des bassins versants.
- L'évaluation des débits de crues pour différentes périodes de retour à l'aide de la méthode rationnelle pour dimensionner les ouvrages hydrauliques.
- L'évaluation des débits de saturation pour chaque type d'ouvrage hydraulique en utilisant des paramètres tels que la section mouillée, la vitesse d'écoulement et la rugosité de l'ouvrage. Cela permettra de dimensionner les ouvrages hydrauliques longitudinaux et transversaux de manière appropriée.

VI.2. CARACTERSTIQUE CLIMATIQUE ET PLUVIOMÉTRIQUES :

VI.2.1. Climat

Tindouf et Béchar sont deux villes situées dans le sud-ouest de l'Algérie, dans une région caractérisée par un climat désertique chaud. Elles connaissent des températures élevées tout au long de l'année. Les mois d'été (juin à septembre) sont particulièrement chauds, avec des températures maximales moyennes dépassant souvent les 40°C. Les hivers sont doux, avec des

températures maximales moyennes autour de 20°C et des minimales autour de 8-10°C. Et elles reçoivent très peu de précipitations, typique d'un climat désertique. Les précipitations annuelles sont extrêmement faibles, généralement inférieures à 100 millimètres par an. La majeure partie des précipitations se produit pendant les mois d'hiver, bien que les quantités restent très limitées

VI.2.2. Les précipitations journaliers

Pour protéger contre les dommages causés par les eaux, il est crucial de prendre en compte les précipitations journalières maximales annuelles. En théorie, ces valeurs extrêmes peuvent être ajustées en suivant la loi des valeurs extrêmes. En Algérie, il a été observé que les précipitations journalières maximales annuelles se conforment à la loi de Gumbel.

L'étude des pluies journalières maximales est basée sur les données observées sur la station météorologique de Bechar dont les caractéristiques sont données dans le tableau suivant:

Années	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pj max (mm)	12.8	56	44.3	11.8	26.6	16.8	9.9	42.4	21.9	2.8	14.6
Années	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Pj max (mm)	8.2	21.9	11.7	23	21.9	84.6	38.3	9.2	18.3	58.8	7.8
Années	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
Pj max (mm)	69.7	19	23.7	11.3	12.9	14	6.4	5.8	12.6		

Tableau VI. 1 : Les précipitations maximales journalières (Station météorologique Bechar).

Dans le tableau suivant nous présentons les caractéristiques climatiques:

Caractéristique	Station Bechar
Minimum (Observé, mm)	2.8
Maximum (Observé, mm)	84.6
Moyenne (mm)	23.8
Ecart-type (mm)	20.1
Médiane (mm)	16.8
Coefficient de variation (Cv)	0.84

Tableau VI. 2 : Les caractéristiques climatiques

Dans le tableau suivant nous présentons les pluies maximales journalières pour différentes fréquences :

T	F(x)	1-F(x)	U. Gumbel	Pjmax
10	0.1	0.9	2,25037	50.3
50	0.02	0.98	3,90194	76.2
100	0.01	0.99	4,60015	87.1

Tableau VI. 3 : Pluies journalières maximales en mm

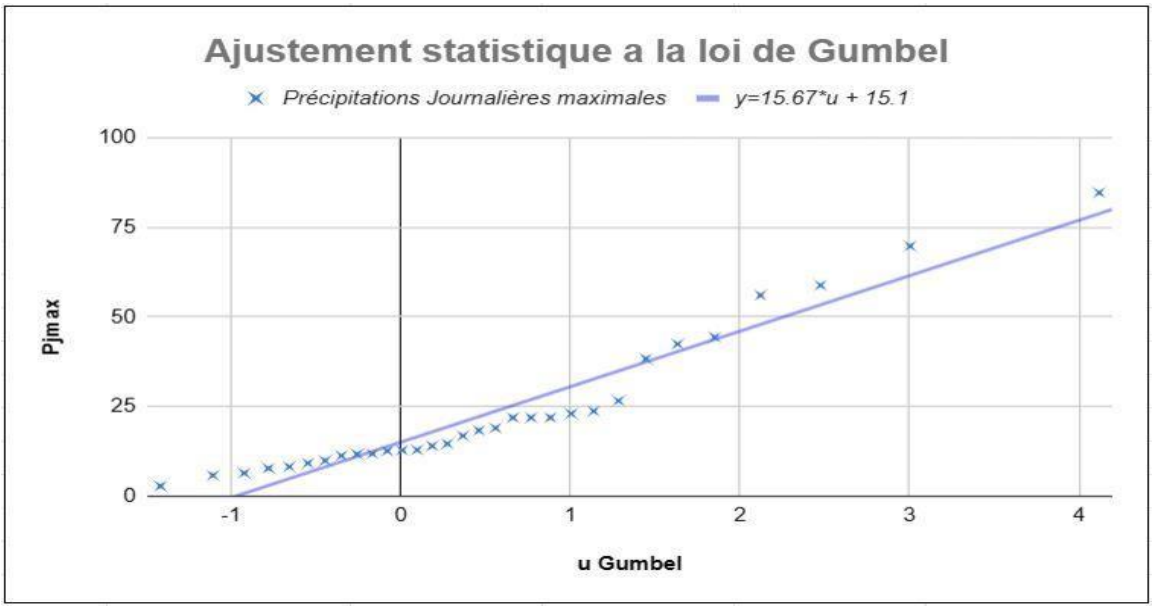


FIGURE VI. 1 : AJUSTEMENT DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES

- **Les pluies de courte durée :**

La recherche de la loi Intensité - Durée - Fréquence (IDF) nécessite une analyse des graphiques des enregistrements pluviométriques. À partir de ces enregistrements, des calculs sont effectués pour déterminer les quantités de précipitations correspondant à différents intervalles de temps (comme 15 mm, 30 mm, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 6 heures, 12 heures, 24 heures). Pour chaque intervalle de temps, la valeur maximale de précipitations par averse est sélectionnée. Ce processus permet d'obtenir une série de données pour chaque intervalle de temps, couvrant l'ensemble de la période étudiée.

La relation Intensité - Durée – Fréquence (IDF) recherchée est de type :

$$\mathbf{I(t,T)} = {}^{\mathbf{a(T)}}/_{\mathbf{t^b}}$$

- **I** : Intensité de pluie exprimée en en mm/tr
- **T** : Période de retour exprimé en ans
- **t :** Temps exprimé en heures
- **a et b** : Paramètres de Montana

Période de retour T (ans)					
Coefficient de Montana	5	10	20	50	100
b	0.8	0.8	0.8	0.79	0.84
a	20.96	27.35	33.49	41.43	50.17

Tableau VI. 4 : Valeur du paramètre de Montana pour les différentes périodes de retour.

I(t,T)	5	10	20	50	100
15 min	63.53	82.90	101.52	123.86	149.78
30 min	36.49	47.61	58.30	71.63	86.62
1 h	20.96	27.35	33.49	41.43	50.1
2 h	12.03	15.70	19.23	23.96	28.97
3 h	8.70	11.35	13.90	17.39	21.03
4 h	6.91	9.02	11.04	13.85	16.75
5 h	5.78	7.54	9.24	11.61	14.04
6 h	4.99	6.52	7.98	10.05	12.16

Tableau VI. 5 : Valeur des intensités pour les différentes périodes de retour

VI.2.3. Température

Dans la zone d'étude, le climat est de type Saharien, caractérisé par des températures très élevées en été. Juillet se distingue comme le mois le plus chaud, affichant une moyenne mensuelle d'environ 35˚C. À l'opposé, Janvier représente le mois le plus froid, avec une température moyenne de 10.61˚C.

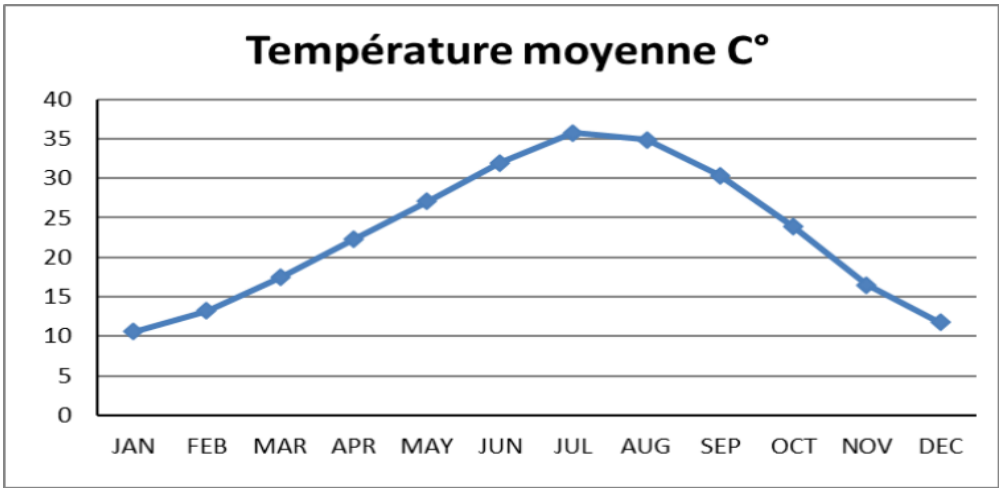


FIGURE VI. 2 : TEMPERATURE MOYENNE CALCULEE DURANT LA PERIODE 1991 – 2021

VI.3. LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS

Le bassin versant agit comme un collecteur en absorbant les précipitations et en les transformant en écoulements qui convergent vers l'exutoire, situé à l'intersection du tracé du

bassin versant. Cette transformation est influencée par les conditions climatiques ainsi que par les caractéristiques physiques spécifiques du bassin versant.

La détermination des caractéristiques des bassins versants vise à calculer et évaluer les paramètres explicatifs nécessaires à l'estimation des débits de crue. Les paramètres physiques peuvent être calculés avec une précision satisfaisante et sont essentiels à cette évaluation.

Les paramètres sont les suivants :

- S (Km2) : Surface.
- P (Km) : Périmètre.
- L (Km) : Longueur du plus long talweg.
- Hmax, Hmin et Hmoy (m) : Altitude max, min et moyenne.
- Dh (m) : Différence entre l'altitude max et minimale du bassin.
- P (m/m) : Pente du talweg principal.
- Kc : Indice de compacité.

N° BV	PK	Kc	S	P	H_{max}	H_{min}	DH	H_{moy}	L	I
			Km^2	Km	m	m	m	m	Km	m/m
1	303+261.76	1,405	0.198	2.235	595	584	11	589.5	0.785	0.014
2	303+707.96	1,266	0.210	2.073	592	581	11	586.5	0.789	0.014
3	304+250.00	1,208	0.099	1.362	586	578	8	582	0.466	0.017
4	304+469.08	1,285	0.560	3.436	594	579	15	586.5	1.285	0.012
5	304+945.62	1,148	0.117	1.404	586	578	8	582	0.399	0.02
6	305+300.00	1,1	0.169	1.620	585	578	7	581.5	0.599	0.012
7	305+465.20	1,298	0.031	0.828	584	579	5	581.5	0.288	0.017
8	305+753.90	1,603	0.033	1.055	583	576	7	579.5	0.399	0.018
9	306+135.66	1,317	0.246	2.335	584	574	10	579	0,998	0.010
10	306+294.00	1,142	0.029	0.699	582	573	9	577.5	0.204	0.044
11	306+420.00	1,122	0.036	0.768	582	574	8	578	0.203	0.039
12	306+542.00	1,35	0.012	0.539	581	576	5	578.5	0.183	0.027
13	306+872.00	1,398	0.034	0.932	579	572	7	575.5	0.306	0.023
14	307+092.60	1,328	9,293	14.461	609	568	41	588.5	6.185	0.007
15	307+495.00	1,133	0.320	2.293	578	568	10	573	0.758	0.013

16	307+886.00	1,607	6.488	14,617	609	568	41	588.5	7.745	0.005
17	308+022.00	1,392	0.184	2.132	577	569	8	573	0.783	0.010
18	308+162.00	1,502	0.130	1.938	577	568	9	572.5	0.747	0.012
19	308+512.00	1,183	0.126	1.502	574	568	6	571	0.471	0.013
20	308+900.00	1,229	0.164	1.782	573	567	6	570	0.529	0.011
21	309+641.00	1,488	0.437	3.515	573	564	9	568.5	1.249	0.007
22	310+921.00	1,396	31.413	27.941	609	559	50	584	10.867	0.005
23	311+857.00	1,369	0.050	1.104	570	562	8	566	0.289	0.028

Tableau VI. 6 : Les caractéristiques morphologiques des bassins versants.

VI.3.1. Calcul de débit maximal dans les bassins (débit de crue)

La nécessité de déterminer le débit maximal d'un cours d'eau est évidente compte tenu des dommages bien documentés causés par les crues. Pour évaluer ces débits maximaux dans les zones où les franchissements sont les plus critiques, on fait appel à des formules empiriques. Ces formules sont développées en tenant compte à la fois des précipitations et des caractéristiques physiques des bassins versants.

VI.3.1.1. Formule RATIONNELLE : (A < 10 KM²)

La formule rationnelle repose sur le principe fondamental selon lequel la pluie responsable des crues est celle ayant une durée égale au temps de concentration. Cette formulation permet de déterminer le débit maximal lié à une période de retour spécifique par le biais de la relation suivante :

$$Q_A = \frac{C.I.A}{3.6}$$

- **Q_A:** Débit de crue de fréquence déterminée en m3/s.
- **C :** Coefficient de ruissellement.
- **I :** Intensité de pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration en (mm/h).
- **A :** Surface du bassin versant en (Km)

- **Le coefficient de ruissellement :**

Pour la détermination du coefficient du ruissellement, on a opté pour la méthode de KENESSEY : $C_r = C_1 + C_2 + C_3$

Avec : C_r : Coefficient de ruissellement :

C_1: Dépend de la pente du cours d'eau principal.

la pente du cours d'eau	Coefficient C_1
Pente < 3.5 %	0.01 - 0.05
3.5 % < Pente < 11 %	0.06 - 0.1
11 % < Pente < 35%	0.12 - 0.2
Pente >35%.	0.22 - 0.3

Tableau VI. 7 : Valeurs de $C1$

C_2: Dépend de la perméabilité du terrain.

la perméabilité du terrain	Coefficient C_2:
les terrains imperméables.	0.22 – 0.3
les terrains pas assez perméables.	0.1 – 0.2
les terrains perméables.	0.06 – 0.1
les terrains très perméables.	0.06 – 0.05

Tableau VI. 8 : Valeurs de $C2$

Les valeurs de la perméabilité ont été estimées en utilisant la carte géologique de la région de la wilaya de Bechar et Tindouf .

C_3: Dépend de la couverture végétale du bassin versant.

la couverture végétale du bassin versant	Coefficient C_3
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

Tableau VI. 9 : Valeurs de $C3$

- **Temps de concentration**

Le calcul du temps de concentration exerce une grande influence sur l'évaluation des débits des crues, cette caractéristique du bassin versant dépend de l'étendue, de la forme et de la pente du bassin versant. Nous proposons, ci-dessous, l'utilisation des formules habituelles en Algérie en fonction de la surface des bassins versants :

Formule de Ventura : (A < 5 km²)

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

- **Tc :** Temps de concentration en heure.
- **S :** Surface du bassin versant en km².
- **P :** Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

- **Formule de PASSINI :**

$$Tc = 0.11 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt{P}}$$

- **L :** Longueur du cours d'eau principal en km.
- **S :** Surface du bassin versant en km².
- **P :** Pente moyenne du bassin versant en (m/m)

- **Formule de KIRPICH :**

$$\mathbf{Tc} = \frac{\mathbf{0.066} \times \boldsymbol{L}^{\mathbf{0.77}}}{\boldsymbol{I}^{\mathbf{0.385}}}$$

- **L :** Longueur du cours d'eau principal en km.
- **I :** Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

- **Formule de GIANDOTTI :** (A > 25 km²)

$$\mathbf{Tc} = \frac{\mathbf{4}\sqrt{\boldsymbol{S}} \times \mathbf{1.5}\boldsymbol{L}}{\mathbf{0.8}\sqrt{\boldsymbol{H}}}$$

- **L :** Longueur du cours d'eau principal en km.
- **S :** Surface du bassin versant en km².
- **H =Hmoy - Hmin**

N.B : Le présent projet comprend un bassin versant d'une superficie assez importante avoisinant les 300km² (**BV N°22**). Afin d'améliorer l'estimation, il devenait nécessaire d'incorporer quelques formules supplémentaires. Le temps de concentration sera évalué, alors, en calculant la moyenne des valeurs qui se rapprochent le plus les unes des autres.

- **Formule de Van Te Chow :**

$$Tc = 7.38 \times \left(\frac{L}{I^{0.5}}\right)^{0.64}$$

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

- **Formule de Soil Conservation Service -SCS- :**

$$\mathbf{T_c} = 0{,}059 \times \frac{L^{0.8}}{\sqrt{I}}$$

- **L :** Longueur du cours d'eau principal en km.
- **I :** Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

- **Formule d'Espagnole :**

$$\boldsymbol{t_C = 18 \times L^{0.77} \times I^{-0.1925}}$$

- **L :** Longueur du cours d'eau principal en km.
- **I :** Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

VI.3.1.2. Formule de mallet-gauthier : (A > 10 KM²)

Cette formule a pour but de l'estimation de la crue de période de retour T, elle s'exprime par :

$$\boldsymbol{Q_A = 2\,.k\,.\log(1 + a\,.P)\,.\frac{S}{\sqrt{L}}\,.\sqrt{1 + 4\,\log T - \log S}}$$

Qa : Débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).

- **P :** Précipitation moyenne interannuelle en m.
- **S :** Superficie du bassin versant (Km2).
- **T :** Période de retour en années.
- **L :** Longueur du talweg principal (Km).
- **a :** Paramètre (facteur pluviométrique considéré moyennement) qui varie de 20 et 30. Il estpris généralement égal à 20 pour l'Algérie.
- **k :** Paramètre (facteur pluviométrique considéré dans sa variabilité), compris entre 0.5 et

VI.4. RÉSULTATS DE CALCUL DES DÉBITS POUR LE PRÉSENT PROJET

Dans le tableau ci-dessous, nous calculons les débits centennaux maximaux des Oueds en utilisant les formules expliquées précédemment.

N°BV	PK	S(Km^2)	Cr	Tc (h) Ventura	I (T, Tc) (Mm/H)	Q100 Méthode Rationnelle
1	303+261.76	0,198	0,196	0,478	88,527	3,425
2	303+707.96	0,21	0,196	0,493	87,936	3,604
3	304+250.00	0,1	0,196	0,306	125,774	2,446
4	304+469.08	0,56	0,196	0,88	56,601	6,185
5	304+945.62	0,117	0,196	0,307	138,796	3,174
6	305+300.00	0,17	0,196	0,484	93,590	3,102
7	305+465.20	0,032	0,196	0,172	181,002	1,125
8	305+753.90	0,034	0,196	0,177	189,419	1,254
9	306+135.66	0,247	0,196	0,63	73,724	3,544
10	306+294.00	0,029	0,196	0,104	293,803	1,687
11	306+420.00	0,037	0,196	0,123	266,969	1,912
12	306+542.00	0,013	0,196	0,086	374,689	0,914
13	306+872.00	0,035	0,196	0,157	226,730	1,542
14	307+092.60	9,293	0,196	5.92	13,424	24,326
15	307+495.00	0,321	0,196	0,627	73,823	4,620
16	307+886.00	6,489	0,196	6,46	12,820	16,222
17	308+022.00	0,184	0,196	0,539	81,104	2,912
18	308+162.00	0,13	0,196	0,418	98,206	2,498
19	308+512.00	0,126	0,196	0,4	107,295	2,643
20	308+900.00	0,165	0,196	0,484	92,922	2,985
21	309+641.00	0,437	0,196	0,989	49,563	4,226
22	310+921.00	31,413	0,196	6.84	7,272	44,544
23	311+857.00	0,051	0,196	0,173	205,253	2.041

Tableau VI. 10 : Les débits de crue retenus pour une période de 100 ans.

Plusieurs formules on peut les utiliser pour le calcul de débits, en plus des formules précédentes, on a la formule de TURAZA, MAC-MATH, BURKLIER_ZIERGLER, FULLER II, et après l'analyse des résultats on s'est basé sur les formules du tableau ci-dessus.

VI.5. ÉTUDE HYDRAULIQUE

L'eau représente un élément dont les effets peuvent être néfastes pour un projet ferroviaire, menaçant ainsi son intégrité et la durabilité de la voie ferrée. Par conséquent, il est impératif de mener une étude approfondie afin d'éviter toute perturbation des écoulements naturels d'eau par le tracé ferroviaire envisagé, ainsi que toute entrave aux flux hydriques en veillant à les maintenir dans leurs lits et exutoires naturels situés en dehors de l'emprise de la voie.

L'assainissement des plateformes ferroviaires englobe plusieurs aspects, notamment :

- La mise en place d'ouvrages de collecte longitudinale.
- La conception d'ouvrages transversaux.
- L'installation d'ouvrages de raccordement.
- La création d'ouvrages d'équilibre

VI.5.1. Dimensionnement des ouvrages transversaux

Le principe fondamental de l'assainissement des plateformes ferroviaires est de garantir que le ***débit*** évacué, lors de précipitations intenses, reste inférieur au débit maximal que l'ouvrage hydraulique sélectionné peut supporter. Ce débit maximal est déterminé par la section pleine (ou saturation) de l'ouvrage, qui peut être évaluée à l'aide de la relation de Manning-Strickler.

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

Tel que :

- $\boldsymbol{Q_s}$ **:** Débit de saturation de l'ouvrage.
- **Ks :** Coefficient de rugosité. Pour le béton : Ks = 70.
- ***S***m : Surface mouille
- R_h : $Rayon\ Hydraulique$
- **I :** Pente longitudinale de l'ouvrage (m/m).

VI.5.1.1. Dimensionnement des buses

- **La vérification des conditions d'auto-curage :**

- **Condition 1** : La vitesse d'écoulement V > 1.00 m/s et ne dépasse pas 4.00 m/s.
- **Condition 2** : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de
- Q = 0.1Qps V > 0.6 m/s.
- **Condition 3** : Soit la vitesse d'écoulement calculée comme précédemment, à partir de
- Q = 0.01Qps V > 0.3 m/s.

- **Application numérique :**

Prenons le BV N°09 (PK 306+135) : $\boldsymbol{Q_{max\,(100)}}$ = **3,544** $\boldsymbol{m^3/s}$

On pend : **Ks = 70 ; I = 0.01**

$$\mathbf{D} = \left(\frac{4^{5/3} \times Q_{max(100)}}{K_S \times \pi \times \sqrt{I}}\right)^{3/8} = \left(\frac{4^{5/3} \times 3{,}544}{70 \times \pi \times \sqrt{0.01}}\right)^{3/8} = \mathbf{1.199\ m}$$

On choisit un diamètre commercial de **1500 mm .**

$$\boldsymbol{Q_s} = \boldsymbol{K_s} \times \boldsymbol{S_m} \times \boldsymbol{R_h}^{2/3} \times \boldsymbol{I}^{1/2} = 70 \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \times I^{0.5}\ .$$

$$Q_{ps} = 70 \times \pi \times \frac{1.5^2}{4} \times \left(\frac{1.5}{4}\right)^{2/3} \times 0.01^{0.5} = \mathbf{6.429\ m^3/s}$$

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = \mathbf{3.64\ m/s}$$

$$R_q = \frac{Q_{max}}{Q_{ps}} = 0.559\ \text{, V} = R_v \times V_{ps}\ \text{, H} = R_h \times D$$

(Rapport des vitesses et des hauteurs sont retenus de tableau en annexe)

Le tableau ci-dessous montre la vérification des 3 conditions d'auto-curage de l'ouvrage busée pour le **BV N°09** :

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
1 m/s < V < 4 m/s	0.559	1.027	3.738	**OK**
V > 0.6 m/s	0.1	0.64	2.33	**OK**
V > 0.3 m/s	0.01	0.32	1.16	**OK**

Tableau VI. 11 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage busé (BV N°09)

BV	PK	Nombre de buse	Qmax	D theo	D ret	Qps	Vps	Rq	Hr	CN1	CN2	CN3
01	303+262	1	3,425	1184	1500	**6. 429**	**3.64**	0,5327	779	3,694	2.33	1.16
02	303+708	1	3,604	1207	1500	**6. 429**	**3.64**	0,5606	804	3,738	2.33	1.16
03	304+250	1	2,446	1044	1500	**6. 429**	**3.64**	0,3804	641	3,388	2.33	1.16
04	304+470	**2**	6,185	1478	1500	**12.858**	**3.64**	0,962	1184	4,146	2.33	1.16
05	304+946	1	3,174	1151	1500	**6. 429**	**3.64**	0,4937	745	3,627	2.33	1.16
06	305+300	1	3,102	1141	1500	**6. 429**	**3.64**	0,4825	735	3,607	2.33	1.16
07	305+46	1	1,125	780	1500	**6. 429**	**3.64**	0,1749	423	2,727	2.33	1.16
08	305+754	1	1,254	0813	1500	**6. 429**	**3.64**	0,1951	450	2,821	2.33	1.16
09	306+135	1	3,544	1200	1500	**6. 429**	**3.64**	0,5513	795	3,724	2.33	1.16
10	306+294	1	1,687	908	1500	**6. 429**	**3.64**	0,2624	525	3,064	2.33	1.16
11	306+420	1	1,912	952	1500	**6. 429**	**3.64**	0,2973	560	3,168	2.33	1.16
12	306+542	1	0,914	722	1500	**6. 429**	**3.64**	0,1421	382	2,574	2.33	1.16
13	306+872	1	1,542	878	1500	**6. 429**	**3.64**	0,2398	500	2,984	2.33	1.16
15	307+495	**2**	4,620	1325	1500	**12.858**	**3.64**	0,7185	942	3,957	2.33	1.16
17	308+022	1	2,912	1114	1500	**6. 429**	**3.64**	0,4529	707	3,547	2.33	1.16
18	308+162	1	2,498	1052	1500	**6. 429**	**3.64**	0,3885	649	3,408	2.33	1.16
19	308+512	1	2,643	1075	1500	**6. 429**	**3.64**	0,411	669	3,463	2.33	1.16
20	308+900	1	2,985	1125	1500	**6. 429**	**3.64**	0,4643	719	3,571	2.33	1.16
21	309+641	**2**	4,226	1282	1500	**12.858**	**3.64**	0,6573	888	3,88	2.33	1.16
23	311+857	1	2.041	0975	1500	**6. 429**	**3.64**	0,3174	581	3,229	2.33	1.16

Tableau VI. 12 : Liste globale des ouvrages busée à projeter .

VI.5.1.2. Dimensionnement des dalots

Pour un canal rectangulaire (dalot), le dimensionnement consiste à déterminer sa section et sahauteur utile d'eau avec une hauteur de remplissage de :

- Ht ≤ 2.5 m : Hr =80%

La hauteur totale

- Ht > 2.5 m : Hr = Ht-0.5

- **Pré dimensionnement de dalot**

On prend l'écoulement au Pk 307+886 qui corresponde à BV16, dont le débit Q_{100}=16.222 m^3/s.

Soit deux dalots de dimensions (3×2).

H_r: la hauteur de remplissage : $H_r = Ht \times 0.8 = 1.6\,m$.

$S_m = H_r \times B = 4.8\,m^2$ et $P_m = B + 2 \times H_r = 6.2\,m.$

- Une pente de I = 0.005.
- Dalot en béton : Ks = 70.

- **Calcul débit de transition avec la formule de MANNING STRICKLER :**

$$Q_{ps} = K_s \times I^{1/2} \times \frac{(H_t \times B)^{5/3}}{(B + 2H_t)^{2/3}}$$

AN : Q_{ps} $= 70 \times 0.005^{1/2} \times \frac{(3\times2)^{5/3}}{(3+2\times2)^{2/3}} = \mathbf{26.8 > Q_{100} = 16.222\ m^3/s}$

$$V_{ps} = \frac{Q_{ps}}{S_m} = 4.466\ m/s$$

- **Vérification de la condition d'auto-curage :**

$R_q = \frac{Q_{max}}{3\times Q_{ps}} = 0.3025$, V = $R_v \times V_{ps}$, H = $R_h \times D$

(Rapport des vitesses et des hauteurs sont retenus de tableau en annexe)

Le tableau ci-dessous montre la vérification des conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot

Condition	R_q	R_v	V	Vérification
1 m/s < V < 4 m/s	0.3025	0.875	3.9	**OK**
V > 0.6 m/s	0.1	0.64	2.86	**OK**
V > 0.3 m/s	0.01	0.32	1.43	**OK**

Tableau VI. 13 : Conditions d'auto-curage de l'ouvrage dalot (BV N°16).

On a trouvé que :

- Les conditions auto curage sont vérifiées.
- $Q_{PS} > Q_{100}$

Bassin	14	16	22
PK	307+093	307+886	310+921
$Q_{max\,(100ans)}\ (m^3/s)$	24.326	16.222	44.544
Rugosité Ks	70	70	70
Pente (m/m)	0,005	0,005	0,005
Nombre dalot	3	2	4
Dimensions obtenue BxH (mxm)	3.00 x 2.00	3.00 x 2.00	3.00 x 2.00
Q_{ps}	80.4	53.6	107.2
V_{ps}	4.466	4.466	4,466
$R_q = Q/Q_{ps}$	0,3025	0,3026	0,3088
$R_V = V/V_{ps}$ (Tableau 6, Annex)	0.875	0.8755	0.88
$V > 0.3\ m/s$	1.43	1.43	1.43
$V > 0.6\ m/s$	2.86	2.86	2.86
Vérification	OK	OK	OK

Tableau VI. 14 : Tableau récapitulatif des dimensions des dalots avec les vérifications des conditions d'auto-curage.

N° BV	PK de l'exutoire	S (Km^2)	Q_{100} (m^3/h)	Ouvrage projeté	Dimensions
1	303+262	0,198	3,425	Buse	1500
2	303+708	0,21	3,604	Buse	1500
3	304+250	0,1	2,446	Buse	1500
4	304+470	0,56	6,185	Buse	1500
5	304+946	0,117	3,174	Buse	1500
6	305+300	0,17	3,102	Buse	1500
7	305+46	0,032	1,125	Buse	1500
8	305+754	0,034	1,254	Buse	1500
9	306+135	0,247	3,544	Buse	1500
10	306+294	0,029	1,687	Buse	1500
11	306+420	0,037	1,912	Buse	1500
12	306+542	0,013	0,914	Buse	1500
13	306+872	0,035	1,542	Buse	1500

14	307+093	**9,293**	24.326	Dalot	3*(3.00 x 2.00)
15	307+495	**0,321**	4.620	Buse	1500
16	307+886	**6,489**	16.222	Dalot	2*(3.00 x 2.00)
17	308+022	**0,184**	2,912	Buse	1500
18	308+162	**0,13**	2,498	Buse	1500
19	308+512	**0,126**	2,643	Buse	1500
20	308+900	**0,165**	2,985	Buse	1500
21	309+641	**0,437**	4,226	Buse	1500
22	310+921	**31,413**	44.544	Dalot	4*(3.00 x 2.00)
23	311+857	**0,051**	2.041	Buse	1500

Tableau VI. 15 : Liste globale des ouvrages projetés.

VI.5.2. Dimensionnement des ouvrages longitudinaux (fossés)

Le bon fonctionnement du drainage longitudinal est essentiel pour recueillir et diriger les eaux provenant à la fois des pentes et des talus vers la plateforme de la voie. Ce système utilise des fossés positionnés à des hauteurs spécifiques pour canaliser les eaux soit vers des ouvrages hydrauliques, soit directement vers les cours d'eau existants.

Pour identifier les zones à drainer, une analyse détaillée des profils transversaux et des caractéristiques topographiques du terrain a été réalisée. Le fossé sélectionné pour l'aménagement suit un profil trapézoïdal.

- **Calcul des débits d'apport :**

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

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

Avec : $\boldsymbol{S_m = (b + z \times h) \times h}$; $\boldsymbol{P_m = b + 2h.\sqrt{1 + z^2}}$; $\boldsymbol{R_h = S_m/P_m}$

Les hypothèses suivantes ont été émises pour le dimensionnement :

- Coefficient de rugosité Strickler Ks = 75 (correspondant à des fossés consolidés, revêtement en béton grossier).
- La déclivité longitudinale des fossés en zone de déblai est identique à celle du profil enlong de la voie.
- Profil trapézoïdal avec une pente du talus (H/V) 1/1.
- Le débit à évacuer qui est la somme des 3 débits La plate-forme, les bermes et les talus: $Qa = Q_{pf} + Q_t$
- Le calcul des débits se fait dans le cas le plus défavorable, où il y a un remblai ou undéblai qui s'étend une grande longueur avec une hauteur importante.
- Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle : $\boldsymbol{Q = 0.278 \times C_r \times I \times A}$
    - Q : Débit de crue correspondant au bassin versant, avec une période de retour T (m^3/s).
    - C : Coefficient de ruissellement.
    - I : Intensité de pluie (mm/h).
    - A : Surface du bassin versant considérer : la plate-forme / les talus, en (km^2).

		CAS REMBLAI	CAS DÉBLAI
		Le cas plus défavorable : Longueur =5375 m H_{talus} = 4.2 m Largeur de la plateforme =6.8 m	Le cas plus défavorable : Longueur = 2225 m H_{talus} =0.37 m Largeur de la plateforme =6.8 m
Plateforme	C_r	0.7	0.7
	P(m/m)	0.04	0.04
	A(Km2)	0.03655	0.01513
	T_c(h)	$0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	
		0.1214	0.0781
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ avec a =33.49 , b = 0.8	
		180.94	257.49
	Q_{pf} (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		1.29	**0.76**
Talus	C_r	0.5	0.5
	P(m/m)	2/3	2/3
	A(Km2)	0,017668	0.0099
	T_c(h)	$0.127 \times \sqrt{\frac{A}{P}}$	
		0.0207	0.01548
	I (mm/h)	$I = a \times t_c^{-b}$ avec a =33.49 , b = 0,8	
		539.22	939.94
	Q_T (m3/s)	$Q = 0.278 \times C_r \times I \times A$	
		1.32	**1.29**
Q_a (m3/s) (totale)		$Q_{pf} + Q_T$ = **2.61**	$Q_{pf} + Q_T$ = **2.05**

Tableau VI. 16 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai et déblai.

Remarque : Il convient de noter que notre plateforme ferroviaire est conçue selon une disposition en forme de chapeau chinois, avec une largeur de 6,8 m à gauche et de 1,2 m à droite. Par conséquent, il est nécessaire de dimensionner le fossé situé à gauche, car il représente le cas le plus contraignant en termes de conception et de drainage.

Le choix de type du fossé se fait en fonction du débit à évacuer rapporté par la plateforme et les talus.

b	h	z	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h	K_s	I (m/m)	Q_s (m^3/s)
0.6	**0.6**	0.85	0.665	2.174	0.306	70	0.02	**2.99**

TABLEAU VI. 17 : DIMENSIONNEMENT DU FOSSE PROPOSE.

Les dimensions retenues pour les fossés sont celles qui répondent à la condition suivante :

Qa < Qs

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet de forme trapézoïdal (**b=0.6 m ,h=0.6 m, pente=1/1).**

VI.6. CONCLUSION

Dans cette section, notre projet a bénéficié d'une exploration approfondie des aspects hydrologiques et hydrauliques afin d'assurer sa sécurité et sa stabilité. Nous avons réalisé une évaluation des bassins versants, calculé les débits d'eau, et dimensionné les infrastructures hydrauliques pour réduire les risques d'inondation et garantir le bon fonctionnement du réseau ferroviaire tout au long de l'année. Cette approche méticuleuse de nos études contribue à la durabilité et à la fiabilité du projet ferroviaire, tout en préservant les ressources en eau et en minimisant l'impact sur l'environnement environnant.

CHAPITRE 07 :

ÉTUDEGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

VII.1. INTRODUCTION

L'étude géotechnique et géologique vise à évaluer en détail les caractéristiques du sol (tant physiques que mécaniques), de la roche et des formations géologiques qui seront rencontrées tout au long de la phase de construction et d'exploitation. Cette étude comprend des investigations sur le terrain, des essais en laboratoire et l'analyse des données collectées afin de caractériser les matériaux géotechniques.

Les informations ainsi obtenues permettent d'évaluer divers aspects tels que la capacité portante du sol, sa perméabilité, sa résistance à l'érosion, et d'autres paramètres cruciaux pour la conception de l'assise, des fondations, des remblais, des talus et d'autres structures associées au projet ferroviaire.

Une compréhension approfondie de la géologie et de la géotechnique est indispensable pour garantir la stabilité, la durabilité et la sécurité des infrastructures ferroviaires.

VII.2. ÉTUDE GÉOLOGIQUE

L'étude géologique se concentre sur l'analyse détaillée des formations géologiques présentes dans la zone d'étude. Son objectif est d'analyser la composition géologique, la structure et l'histoire du sous-sol. En identifiant les différentes couches géologiques, les failles, les zones instables, les aquifères et les formations rocheuses, cette étude permet de prévoir les risques potentiels tels que les mouvements de terrain, les affaissements ou les infiltrations d'eau, qui pourraient impacter la conception, la construction et l'exploitation de la voie ferrée.

De plus, elle contribue à la réduction des impacts environnementaux en permettant la mise en place de mesures d'atténuation appropriées. Par ailleurs, elle facilite la distinction entre les sites où les matériaux peuvent être réutilisés et ceux qui présentent des caractéristiques médiocres, ce qui est essentiel pour une gestion efficace des ressources et des coûts du projet.

VII.2.1. Situation géographique

La zone d'étude fait partie du Nord-Ouest du Sahara algérien, elle se trouve limiter au Nord par le bassin de Bechar-Abadla et la hamada du Guir, à l'Ouest par les frontières algéro-marocaines (Anti-Atlas marocain), à l'Est par le grand Erg Occidental et au Sud par la hamada de Draa et l'Erg Iguidi.

Elle présente une vaste superficie avec une combinaison de trois ensembles morphologiques :

- L'ensemble tabulaire : plateau désertique appelé « Hamada » .
- L'ensemble en cuvette : Dépressions (lits d'Oued) .
- Et les Erg (accumulation sableuses).

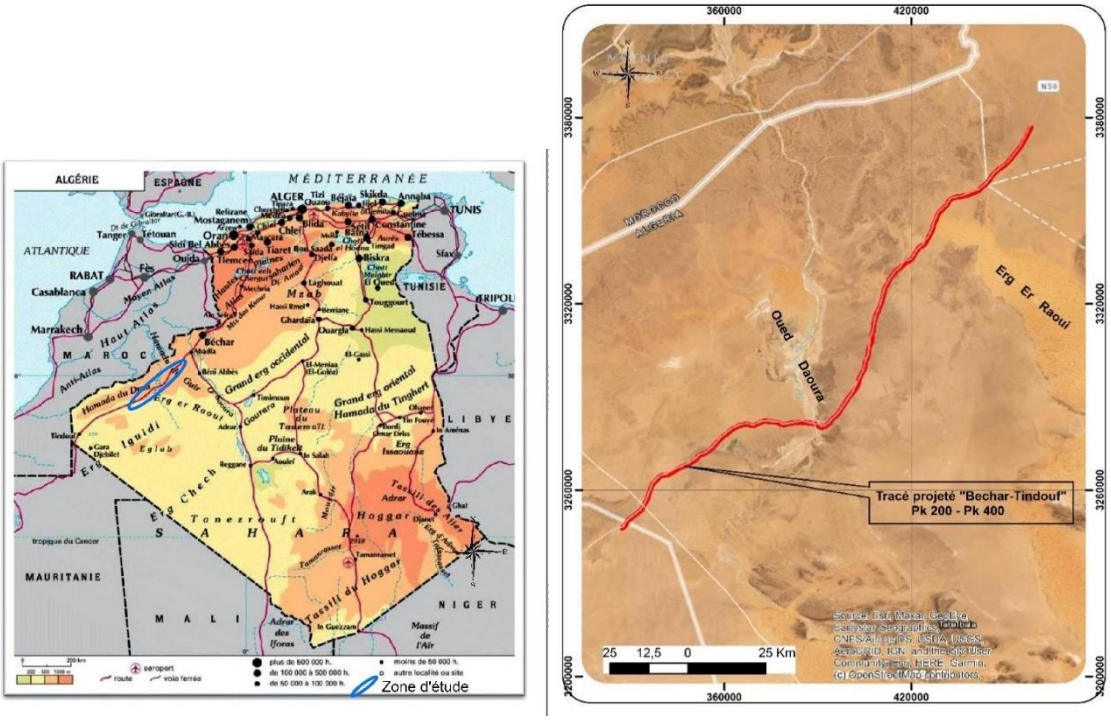


FIGURE VII. 1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

VII.2.2. Géomorphologie de la zone traversée par le tracé

Le tracé traverse le plateau crétacé de Kem Kem caractérisé par un substratum de formations conglomératique, calcaire et calcaire-gréseux, ce plateau est surmonté par des formations néogènes des hamadas environnantes, qui sont caractérisées généralement par des sables, des sables limoneux et des argiles sableuses

VII.2.3. Sectorisation selon les résultats de la compagne géotechnique

Le tracé traverse un substratum rocheux caractérisé par des roches conglomératique et calcaire gréseux qui peuvent être attribué au Crétacé du plateau de Kem Kem. Ce substratum est surmonté par des formations néogènes : sable rougeâtre, sable argileux caillouteux, sable limoneux, sable grossière compacte, argile sableuse.

- **Les familles géologiques**
  - Selon la carte géologique de la Hamada du Guir 1/500 000 (fig10), le tracé traverse :

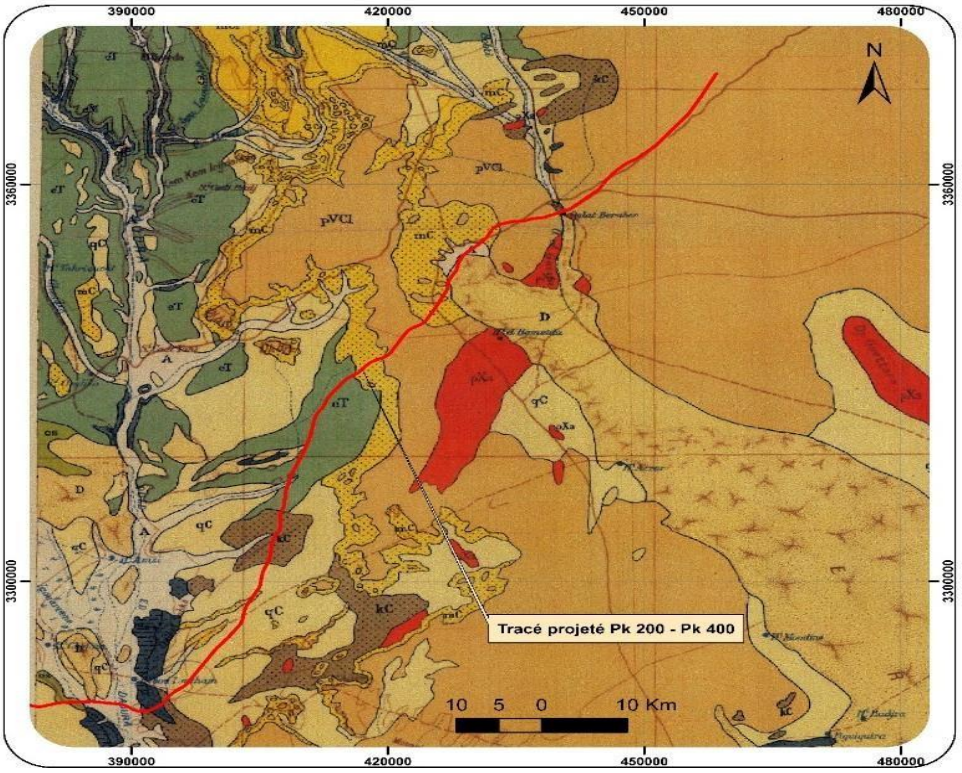


FIGURE VII. 2 : LE TRONÇON SUR LA CARTE GEOLOGIQUES .

Localisation	Famille Géologique	Description lithologique
Du Pk 300+000 au Pk 303+900	qC	Alluvions anciennes, regs et terrasses alluviales
Du Pk 303+900 au Pk 305+500	mC	Argiles conglomératiques, grés et calcaires lacustres du tertiaire
Du Pk 305+500 au Pk 315+000	qC	Alluvions anciennes, regs et terrasses alluviales

Tableau VII. 1 : La géologie traversée par la voie.

VII.3. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

La géotechnique est une discipline scientifique qui vise principalement à localiser et à caractériser les différentes couches géologiques, ainsi qu'à fournir des informations détaillées sur les propriétés mécaniques et physiques des sols.

Une compréhension approfondie des conditions géologiques des terrains traversés est essentielle lors de la conception et de la construction d'un projet ferroviaire, ce qui rend les investigations géotechniques indispensables.

VII.3.1. PROGRAMME D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE :

Le programme d'investigation géotechnique se construit généralement à partir des données et observations recueillies lors de la campagne de reconnaissance géotechnique. Cette première phase offre une évaluation initiale des conditions géotechniques du site, identifiant les zones problématiques et celles nécessitant des investigations plus approfondies.

En utilisant les informations de la reconnaissance, le programme d'investigation géotechnique est conçu pour définir les méthodes d'investigation spécifiques, les emplacements des forages, les essais en laboratoire et les analyses géotechniques nécessaires.

Nous proposons un programme de reconnaissance géotechnique pour notre tracé le long du tracé projetée du tronçon PK 300+000 au 315+000, après avoir examiné attentivement le tracé en plan et le profil en long.

- **Lot tracé:**

Ce programme évalue la qualité des sols et des roches, analyse les matériaux de remblais et étudie les conditions d'extraction et de réutilisation pour des fondations solides et résistantes aux trains.

- **Lot des ouvrages d'art :**

  Pour notre tronçon , on est pas besoin des ponts et tunnels

VII.3.1.1. LOT TRACÉ :

- **PUITS DE RECONNAISSANCE :**

Les puits de reconnaissance sont des forages qui permettent d'observer la nature des formations géologiques en profondeur, d'évaluer l'épaisseur de la terre végétale et de prélever des échantillons pour l'identification et la caractérisation géotechnique en laboratoire.

- **ESSAI AU LABORATOIRE :**

Pour les échantillons récupérés, divers tests sont envisagés, notamment :

- Des tests d'identification (tels que la granulométrie, les limites d'Atterberg, , et l'essai au bleu de méthylène VBS…).
- Des essais mécaniques (comme le Proctor modifié, le cisaillement rectiligne et l'essai œdométrique).

Essais géotechnique				
Localisation		Essais in Situ	Profondeur	Essais au laboratoire
PU 84	PK 300+ 500	01 puit de reconnaissance	3 m	- Granulométrie. - Limite d'Atterberg. - Proctor modifié. - VBS.
PU 85	PK 302+ 000			
PU 86	PK 303+ 500			
PU 87	PK 305+ 000			
PU 88	PK 306+ 500			
PU 89	PK 308+ 000			
PU 90	PK 309+ 500			
PU 91	PK 311+ 000			
PU 92	PK 312+ 500			
PU 93	PK 314+ 000			
PU 94	PK 315+ 500			

Tableau VII. 2 : Programme d'investigation de Lot tracé

	PK	La lithologie	
PU84		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-00,70	sable carbonaté avec passage des nodules de grés calcaire
		00,70-00,80	Calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU85		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-01,20	sable carbonaté avec passage des nodules de grés calcaire
		01,20-01,40	dalle gréseux calcaire
PU86		00,00-00,30	remblais (sable)
		00,30-00,80	Calcaire gréseux enrobe dans une matrice sableuse argileuse
		00,80-01,00	calcaire dolomitise enrobé dans une matrice sableuse argileuse
PU87		00,00-00,30	remblais (sable)
		00,30-00,80	sable carbonaté gypseux
		00,80-01,00	calcaire dolomitise enrobé dans une matrice sableuse argileuse
PU88		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-01,00	sable carbonaté avec passage des nodules des grés
		01,00-01,20	calcaire dolomitise enrobé dans une matrice sableuse argileuse
PU89		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-01,30	sable carbonaté rougeatre avec passage des nodules de grés
		01,30-01,50	calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU90		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-00,90	sable carbonaté avec passage des nodules de grés calcaire
		00,90-01,00	calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU91		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-01,00	sable carbonaté avec passage des nodules de grés calcaire
		01,00-01,20	calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU92		00,00-00,20	remblais (sable)
		00,20-01,00	sable carbonaté blanchâtre avec passage des nodules de calcaire
		01,00-01,20	calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU93		00,00-00,30	remblais (sable)
		00,30-01,30	sable carbonaté brunâtre
		01,30-01,40	Calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse
PU94		00,00 00,30	remblais (sable)

		00,30-01,30	sable carbonaté brunâtre
		01,30-01,50	Calcaire dolomitise dans une matrice sableuse argileuse

Tableau VII. 3 : La lithologie des puits de reconnaissance.

- **Conclusion sur la lithologique le long du tracé :**
- Remblais (sable) de 00 m à 0.30m
- Sable carbonaté ou sable argileux ou limoneux avec passage des calcaires gréseux blanchâtre jaunâtre de 0.20 m à 1.00m
- Calcaire induré blanchâtre ou calcaire dolomite de 0.2 à 1,5m ou parfois plus de 3 m

VII.3.1.2. 2.1.2. LOT OUVRAGES

Pour recueillir les informations essentielles en vue de la construction des futurs ouvrages d'art, un plan géotechnique sera élaboré, intégrant les tests suivants :

- **ESSAIS IN SITU :**

- **ESSAIS DE LABORATOIRE :**
- Essais d'identification (Granulométrie, Limites d'Atterberg, essai d bleu VBS).
- Essais mécaniques (Proctor modifié).

VII.3.1.3. RÉSULTATS ESSAIS AU LABORATOIRE :

Tous les échantillons collectés à partir des puits de reconnaissance ont été soumis à des analyses en laboratoire, conformément aux normes en vigueur, comme indiqué dans les tableaux ci-dessous :

	Granulométrie		VBS	Limites d'Atterberg			Proctor modifié		CBR	GTR
N° PU	%< 2mm	%< 0.08mm		WL %	WP %	IP	ρ OPM (t/m3)	W OPM %		
84	88	35	0.20	33	18	15	1.94	8.8	13.69	B5
85	83	20	0.30	29	16	13	1.84	10.5	13.23	B5
86	91	39	1.25	33	17	16	1.9	10.8	14.73	A2
87	87	33	0.19	30	15	15	1.73	14.3	16.56	B5
88	55	22	0.19	28	15	13	1.91	9.7	11.91	B5
89	84	59	0.167	N.M	N.M	N.M	1.98	10	36.77	A1
90	44	14	0.21	28	17	11	2.05	6.9	15.55	B5
91	59	12	0.67	N.M	N.M	N.M	2.1	8	35.2	B4
92	61	20	0.83	N.M	N.M	N.M	2.06	8	21.13	B5
93	61	24	0.83	21.52	18.25	3.27	2.09	8.0	39.11	B5
94	48	7	1.17	N.M	N.M	N.M	1.99	8	50.07	B4

Tableau VII. 5 : Récapitulatif des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons des puits de reconnaissance.

- **INTERPRÉTATIONS ET OBSERVATIONS :**

D'après la Classification GTR : les sols présents sont **majoritairement** de la classe B5 qui regroupe les sols composés de sols sableux et graveleux avec fines, d'argile, de limon, de marnes.

VII.4. CONCLUSION

Selon l'étude géologique et géotechnique de la région, le sol est de majorités de QS2 donc on a classé le sol dans la région en **QS2.**

NB: La classification est faite selon l'annexe A.4 de la fiche UIC 719R. (voir Annexe I).

- **CONTRAINTES GÉOLOGIQUES**
  - **Inondation**

La morphologie de la zone d'étude, le réseau hydrographique ainsi que le climat aride, font que la zone traversée par le tracé présente une vulnérabilité face au risque d'inondation.

La principale zone à risque d'inondation traversé par le tracé est énumérée dans le tableau ci-dessous :

PK	Zone à risque d'inondation et les grands lits d'oued traversé par le tracé
Pk 313+450 – Pk 313+775	Risque d'inondation par Stagnation des eaux.

Tableau VII. 6 : Zone à risque d'inondation.

Solution adopté : Il faut adopter un profil en travers en zone d'inondation conforment a lanorme IN 3278 (Voir annexe **G**)

- **Ensablement**

Dans la zone d'étude on constate des traces de sable sous forme de pollution éolienne, localisées généralement au niveau des plateaux (Hamada) et des dépressions. Les principaux pièges à sable rencontrés dans la zone d'étude se trouvent :

- Dans le couvert végétal ;
- Dans les bassins versants et les lits d'oueds, cela est dû à la dynamique fluviatile qui soutire les sables piégés des versants et les redistribue le long du réseau hydrographique, au cours des crues ;
- Auteurs des reliefs, ces derniers constituent un obstacle ce qui fait que le sable éolien épouse la forme des reliefs ;
- Dans les dayas.

Localisation	
PK Début	**PK Fin**
PK 298 +500	PK 304 +000
PK 309 +500	PK 316 +000

Tableau VII. 7 : Localisation des zones d'ensablement

VII.5. CONCLUSION

L'étude détaillée a permis une évaluation précise des caractéristiques géologiques du site, ainsi que l'identification des risques géotechniques potentiels, aboutissant à des mesures d'atténuation appropriées. L'analyse approfondie des données géologiques a également permis de déterminer les différentes formations géologiques présentes sur le terrain. De plus, elle a révélé l'existence de zones à risque géotechnique, telles que les zones d'inondation, offrant ainsi la possibilité de recommander des mesures préventives et correctives. Il convient de noter que cette étude, en tant que processus itératif et évolutif, nécessite une surveillance continue tout au long des phases de construction et d'exploitation du projet ferroviaire.

Ces informations ont servi de base pour la conception d'une infrastructure robuste, durable et résiliente, garantissantdes services ferroviaires sûrs et fiables, tout en préservant l'environnement naturel et en limitantles impacts négatifs sur les communautés locales.

CHAPITRE 08 :
ASSISE FERROVIAIRE

VIII.1. INTRODUCTION

Lorsque l'on évoque les chemins de fer, notre imagination nous transporte souvent vers des trains filant à grande vitesse, reliant des destinations lointaines. Cependant, derrière ces voyages impressionnants se cache une infrastructure ferroviaire complexe, faite de voies solides et sécurisées. Au cœur de cette infrastructure se trouve le corps d'assise ferroviaire, un élément essentiel garantissant la stabilité et les performances globales du système ferroviaire.

Le dimensionnement des couches d'assise ferroviaire représente une discipline cruciale de l'ingénierie ferroviaire, visant à définir les caractéristiques optimales de cette base de voie. Dans ce chapitre, nous allons explorer les principes fondamentaux et les considérations clés liés au dimensionnement du corps d'assise ferroviaire, en mettant l'accent sur les éléments essentiels influençant sa conception.

Nous débuterons par une analyse des rôles et des fonctions du corps d'assise ferroviaire, en examinant les différents types de matériaux utilisés dans sa construction et les critères à prendre en compte pour le choix des matériaux adéquats. Ensuite, nous plongerons dans les méthodes de dimensionnement permettant d'évaluer la capacité portante du corps d'assise et de déterminer sa géométrie optimale. Nous aborderons des aspects tels que la répartition des charges, la résistance à la déformation et la stabilité globale du système.

Tout au long de ce chapitre, nous mettrons en lumière les normes et les recommandations internationales en vigueur dans le domaine du dimensionnement du corps d'assise ferroviaire, dans le but de créer une infrastructure ferroviaire robuste et pérenne.

VIII.2. LES COUCHES D'ASSISE FERROVIAIRE :

Les couches d'assise sont essentielles pour garantir le bon fonctionnement de la voie ferrée en termes de rigidité, de maintien du nivellement et de drainage. Elles se composent de la couche de ballast et de la sous-couche, dont la nature et l'épaisseur sont déterminantes pour assurer ces critères de performance.

Il est important de souligner que l'épaisseur et la composition des couches d'assise sont déterminées selon plusieurs facteurs :

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

- Les propriétés globales de la plate-forme, qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site.
- Les conditions climatiques du site.
- Le trafic (tonnages, charges, vitesses).
- L'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses).

VIII.2.1. LE BALLAST

Le ballast, un granulat essentiel dans la construction des voies ferrées, se distingue par une caractéristique particulière : chaque grain est entièrement concassé sur sa surface. Il est considéré comme une composante de la superstructure et offre une résistance élevée aux diverses contraintes subies par la voie.

- **Caractéristiques de ballast :**

Pour répondre aux exigences de qualité définies par la SNTF et la norme NF P53-695, le ballast doit respecter plusieurs critères :

- Sa **granulométrie** doit être comprise dans un fuseau spécifique **(25/50 mm)**

[avec des limites précisées dans la Norme Européenne CEN/TC/154 AD HOC Group Aggregates for Railway ballast.]

- Sa résistance à la fragmentation **Los-Angeles** doit être ≤**15 %** .
- Sa résistance à la compression **(RC)** doit être **≥1200 kg/cm².**
- La forme des granulats, caractérisée par leur angularité et leur rugosité de surface, garantit une bonne cohésion de la masse.
- De plus, le contact entre le ballast et les traverses doit assurer une immobilisation efficace de ces dernières.
- Les matériaux doivent être **propre**s, dépourvus de toute matière indésirable. La masse relative des éléments passant à travers un tamis à mailles carrées de **1,6 mm** ne doit pas dépasser **0,5 %.**

- **Les principales fonctions et rôles du ballast :**

Le ballast joue un rôle crucial dans la construction des voies ferrées en remplissant plusieurs fonctions essentielles :

- Il assure une répartition uniforme des charges induites par les véhicules ferroviaires sur la plate-forme, garantissant ainsi une transmission homogène de ces charges et prévenant les déformations dues à l'affaissement.
- En encastrant les traverses, il contribue à la stabilité de la superstructure de la voie.
- Grâce à sa granularité spécifique, il facilite le drainage et l'évacuation des eaux superficielles, ce qui prévient les problèmes d'inondation.
- Le ballast agit comme un amortisseur de vibrations efficace en dissipant l'énergie des vibrations par frottement entre ses éléments, assurant ainsi la sécurité et le confort des circulations.
- Il limite la dilatation thermique à un niveau minimale.
- En empêchant la croissance des plantes sous la voie, il évite des problèmes potentiels.

Ces différentes fonctions du ballast sont cruciales pour garantir la performance, la sécurité et la durabilité des voies ferrées.

VIII.2.2. Sous couche

La sous-couche, positionnée entre la plateforme et le ballast, présente de multiples avantages :

- Elle favorise une répartition plus uniforme des charges et améliore la portance globale.
- Elle offre une protection contre l'érosion, le gel et les contaminations.
- Tout en contribuant à améliorer les propriétés vibratoires et à faciliter le drainage des eaux.

La sous-couche peut être de type mono ou multicouche, mais elle doit toujours comporter une couche de sous-ballast.

En cas de sol de qualité médiocre, une couche de fondation peut être ajoutée, éventuellement accompagnée d'une couche anticontamination en sable, renforcée par une feuille géotextile.

- **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)
- LA+MDE ≤ 50.
- Bien graduée avec une valeur de propreté Vbg ≤1

- Un coefficient de forme A ≤25.
- Compacité ≥ 80 %

La couche de fondation :

La couche de fondation conformément à la spécification technique ST590B, est exécuté en :

- Grave sableuse
- LA+MDE ≤ 50.
- avec une valeur de propreté Vbg ≤1
- un cœfficient de forme A ≤25
- Compacité ≥ 80 %

VIII.2.3. 1.3.LA GÉOTEXTILE

Les géotextiles constituent une catégorie de géo synthétiques perméables à l'eau et à l'air, largement employés dans diverses applications. Ils servent notamment à :

- la séparation
- la prévention de la contamination
- Le drainage filtrant
- Le renforcement des structures.

VIII.2.4. 1.4.LA PLATE-FORME

La plateforme constitue la partie de la voie ferrée composée soit de sol rapporté (remblais) soit de sol en place (déblais), aménagée en couche de forme.

- Si elle est construite sur des remblais, sa qualité sera généralement meilleure.
- En cas de déblais, la couche de forme est obtenue par le compactage du fond de fouilles.

Le sol constituant la plate-forme doit remplir plusieurs fonctions :

- La répartition des charges.
- Le drainage des eaux.
- La prévention de la pénétration du ballast par les limons et les argiles.
- L'atténuation des vibrations et le contrôle des eaux souterraines.

L'évaluation de la qualité de la plate-forme est essentielle. Elle permet de prendre des mesures appropriées, comme la modification du sol, le renforcement du sol ou l'utilisation de techniques spécifiques, afin de garantir une plate-forme solide, fiable et durable.

VIII.3. CLASSIFICATION DES SOLS POUR LA PLATE-FORME :

La qualité du sol dépend de sa nature géotechnique et des conditions hydrogéologiques/hydrologiques locales.

L'évaluation de la nature géotechnique se fait par identification géotechnique, tandis que les bonnes conditions hydrogéologiques/hydrologiques locales sont déterminées par plusieurs critères, tels que la couche supérieure du sol située hors de toute nappe naturelle, l'absence de percolations naturelles et le bon fonctionnement des dispositifs de drainage pour évacuer les eaux de pluie

L'évaluation de ces paramètres permet de déterminer la qualité globale du sol, garantissant des conditions favorables tant sur le plan géotechnique qu'hydrologique.

Selon la classification des sols (identification géotechnique) décrite dans la fiche UIC 719 R, quatre classes de qualité de sols peuvent être distinguées. Le tableau suivant présente la classification du sol UIC pour tous les puits de reconnaissance réalisés :

Puits N°	PK	Classification GTR / UIC		
		Selon la nature	Selon l'état hydrique	UIC
01	PK 300+ 500	B5	s	QS2
02	PK 302+ 000	B5	s	QS2
03	PK 303+ 500	A2	s	QS2
04	PK 305+ 000	B5	s	QS2
05	PK 306+ 500	B5	s	QS2
06	PK 308+ 000	A1	s	QS1
07	PK 309+ 500	B5	s	QS2
08	PK 311+ 000	B4	s	QS2
09	PK 312+ 500	B5	s	QS2
10	PK 314+ 000	B5	s	QS2
11	PK 315+ 500	B4	s	QS2

Tableau VIII. 1 : Classification selon GTR / UIC.

NB : La classification a été faite selon la fiche UIC 719R (Annexz.4) (Voir Annexe I).

- **Remarque :**

Lors de la campagne d'investigation géotechnique, la détermination du teneur en eau naturelle pour déterminer l'état hydrique du sol était impossible. Alors, en se basant sur la région du projet et l'hydrologie de la région on peut constater que le sol soit en état sec.

VIII.4. LA CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATEFORME

Le choix du type de plate-forme est déterminé par la nature et l'état hydrique des sols constituant le couronnement des remblais ou les sols situés au niveau de la fondation de la plateforme en excavation, ainsi que leur épaisseur. Selon le code - UIC 719 R, p16 , trois classes de qualité des sols sont définies :

- P1 (médiocre qualité)
- P2 (moyenne qualité)
- P3 (bonne qualité).

Chaque classe correspond à une capacité de support spécifique. Les plateformes de médiocre qualité ont une capacité de support limitée, tandis que les plateformes de moyenne qualité offrent une capacité de support modérée. Les plateformes de bonne qualité sont composées de sols de haute qualité et peuvent supporter des charges importantes.

La classification des plateformes en fonction de ces types permet de choisir les sols appropriés et d'assurer une construction adaptée aux charges prévue

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

Tableau VIII. 2 : La classe la portance de la plate-forme

- **Plate-forme proposée :**

En prenant en compte les éléments précédemment mentionnés, notamment la classification des qualités du sol selon la catégorie QS2 et les directives des UIC, nous recommandons l'utilisation d'une plateforme de type P3 (qualifiée de bonne plateforme), dimensionnée en tenant compte des caractéristiques spécifiques du sol (QS3).

Ces résultats démontrent que la mise en place d'une couche de forme est indispensable pour assurer la performance optimale de la plateforme.

- **Couche de forme :**

Pour répondre à l'exigence d'une plateforme de support de qualité de type P3, il a été décidé d'appliquer une couche de forme d'une épaisseur minimal de 35 cm, utilisant un matériau de qualité de sol QS3, sur les zones caractérisées par des matériaux de qualité de sol QS2.

Cette décision vise à garantir les performances et la stabilité nécessaires à la plateforme, en tenant compte des caractéristiques spécifiques du sol dans ces zones.

VIII.5. CALCUL DES ÉPAISSEURS MINIMALES DES COUCHES D'ASSISE

L'épaisseur est dimensionnée en utilisant la formulation spécifiée dans le code UIC 719 R, selon l'expression suivante, en tenant compte des paramètres spécifiques à la section en cours d'étude.

$$e \geq E + a + b + c + d + f + g$$

Les valeurs et les caractéristiques de ces paramètres son détaillé en annexe selon le code UIC 719 R.

Pour le présent projet, Nous avons adopté les valeurs suivantes (fiche UIC 719 R).

Paramètre	Valeur	Critère de choix
E	0.45	pour une plate-forme de classe de portance P3
a	0	pour les groupes UIC 1 et 2
b	0.05	pour les traverses en béton de longueur L = 2,415 m
c	0	pour un dimensionnement normal
d	0.15 m	Tonnage de 325 KN
f	0.05	On a pris cette valeur a cause de mesure de sécurité (Tonnage).
g	0	Pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS3
Épaisseur de e (m)	**0.70**	
Épaisseur adopté (m)	**0.70**	

Tableau VIII. 3 : Dimensionnement de la couche d'assise

Soit approximativement une épaisseur de **0,70 m**. Donc notre structure de voie :

- Epaisseur de la couche de ballast : **0.30 m**.
- Epaisseur de la couche de sous-ballast : **0.20 m**.
- Epaisseur de la couche de fondation : **0.20 m**.
- Epaisseur de la couche de Forme : **0.35 m**.

VIII.6. CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis d'explorer l'importance cruciale de l'assise ferroviaire et de son dimensionnement dans la construction de voies ferrées sécurisées et efficientes. Nous avons constaté que le dimensionnement approprié de l'assise est fondamental pour garantir la stabilité structurelle, la résistance aux charges et la durabilité des voies.

Il est essentiel de souligner que chaque projet ferroviaire est unique et peut nécessiter une approche spécifique en fonction des conditions locales et des contraintes particulières. À cet égard, nous avons référencé les normes en vigueur et sollicité l'expertise d'acteurs du domaine pour assurer un dimensionnement adéquat de l'assise ferroviaire.

En conclusion, nous avons renforcé la conviction qu'une compréhension approfondie des principes et des méthodes de dimensionnement de l'assise ferroviaire, ainsi qu'une vigilance constante à l'égard de la maintenance, sont des éléments essentiels pour contribuer à la création et à la préservation d'un réseau ferroviaire sûr, durable et performant.

CHAPITRE 09 : PROFIL EN TRAVERS

IX.1. INTRODUCTION

Une fois que le tracé en plan et le profil en long sont établis et après le dimensionnement de l'assise ferroviaire, la prochaine étape consiste à développer le profil en travers.

Cette phase revêt une grande importance dans un projet ferroviaire, car elle permet de définir la section type prévue pour le couloir, ainsi que les volumes des déblais et des remblais. Les travaux de terrassement sont ensuite entrepris pour matérialiser les profils transversaux, assurant ainsi la mise en place de la structure d'assise et du réseau d'assainissement.

Le profil en travers offre une représentation détaillée des caractéristiques topographiques de la voie ferrée, ce qui facilite la prise de décisions en matière de construction, de sécurité et d'efficacité de l'infrastructure. De plus, il intègre des considérations environnementales visant à réduire l'impact sur l'environnement.

IX.2. LES ÉLÉMENT DU PROFILS EN TRAVERS :

Pour ce qui est des éléments du profil en travers, il est essentiel qu'il inclût les informations suivantes :

Les éléments de superstructure :

- Le type de rail utilisé : UIC 60 VAX31.
- La valeur de l'écartement de la voie : 1435 mm
- La distance entre les axes (dans le cas de plusieurs voies) : voie unique a futur dédoublement à droite.
- La valeur du dévers en courbe (maximum).

- **Les éléments de l'infrastructure :**
- Les épaisseurs et la désignation de chaque couche.
- Les pentes transversales de chaque couche.
- La pente latérale de la plate-forme.

- **Les éléments du talus :**
- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuels.
- Les éléments d'assainissement :
- Le type et les dimensions des ouvrages d'assainissement et/ou des drains.

IX.3. LE PROFILS EN TRAVERS DU PROJET D'ÉTUDE :

Le profil en travers type en pleine voie, du présent projet, correspondant à un profil pour voie **unique a futur dédoublement à droite** , il présente une largeur de plateforme de 8,0 m soit en déblais soit en remblai.

Le profil en travers présente une forme asymétrique, avec une largeur droite de 4,70 m et une largeur gauche de 3,30m mesurés à partir de l'axe de la voie.

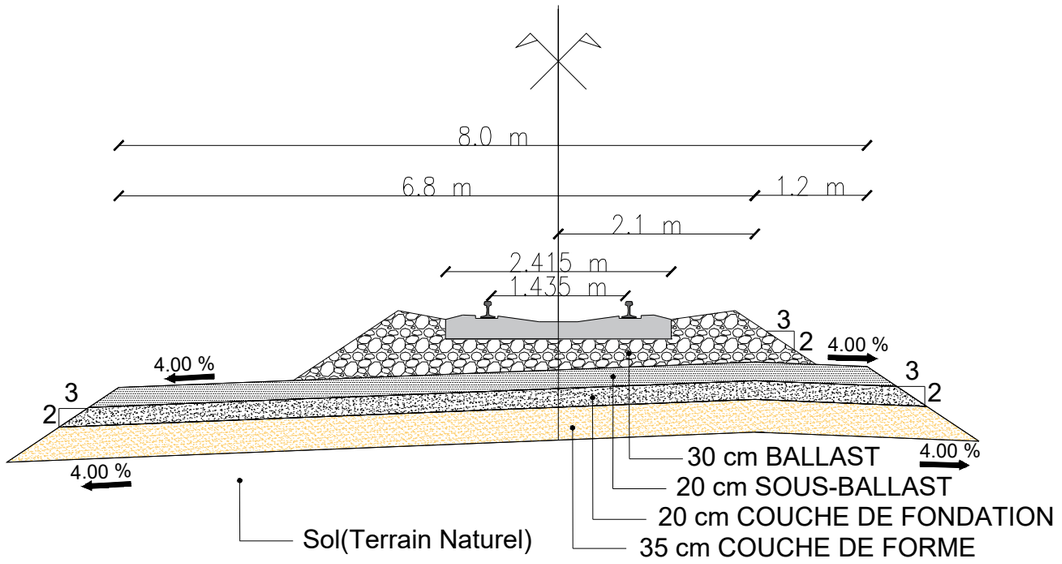
La superstructure est formée par des rails UIC-60 espacé de 1435 mm et des traverses Monoblocs VAX U-31, sur ballast dont son épaisseur minimale est de 0,30 m et sa pente latérale est de 2/3.

Dont l'épaisseur de la sous- ballast 20 cm et l'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.

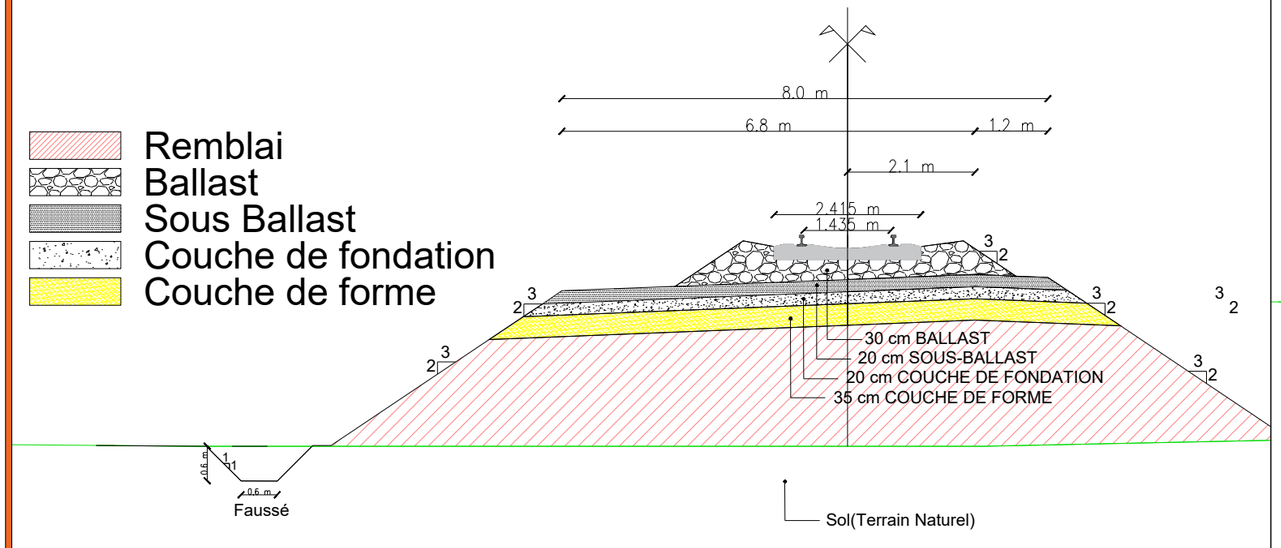
IX.4. CONCLUSION

En conclusion, un profil en travers est un outil essentiel pour comprendre la topographie d`un projet d'infrastructure et pour concevoir les éléments nécessaires à sa construction. Il permet de visualiser les courbes de niveau, les pentes, les élévations et les éléments linéaires tels que les routes et les canalisations.

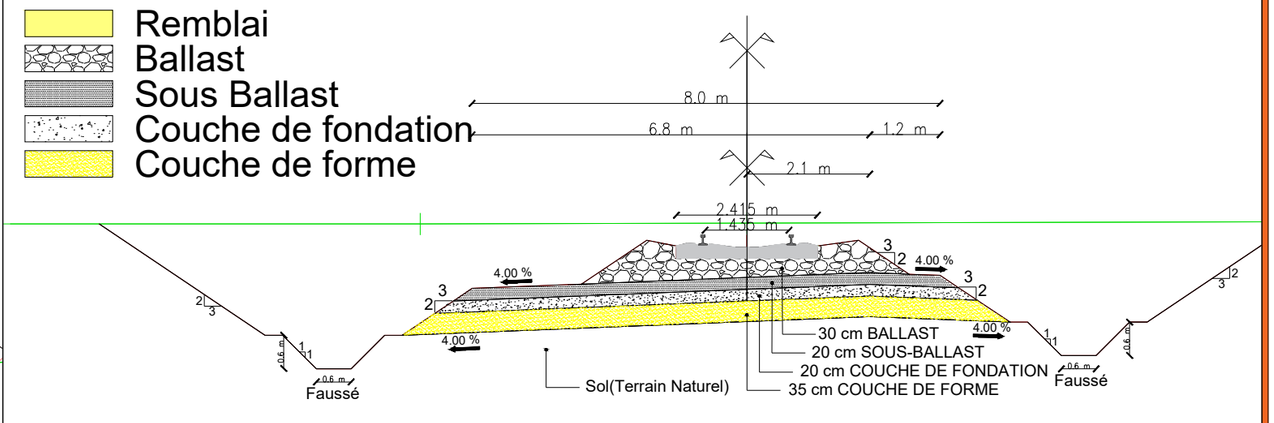
Profil en travers Type Ech 1:50



Profil en travers (En Zone de Remblai) Ech 1:50



Profil en travers (En Zone de Déblai) Ech 1:50



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf du PK 300+000 au 315+000 avec la conception de la gare de Tabelbala	- HADJAB - LAKHMI	-Mr. M.BOUZIANE -Mme.S.CHIALI	1:50	Profil en travers	2023 / 2024

CHAPITRE 10 : TERASSEMENT ET OUVRAGE

X.1. INTRODUCTION

Les travaux de terrassement et de construction d'ouvrages sont le pilier de tout projet ferroviaire ambitieux. Ils représentent bien plus que de simples tâches de construction ; ils forment la base solide sur laquelle tout le système ferroviaire repose. Ce chapitre se concentrera sur l'importance de ces éléments essentiels et explorera les différentes étapes, techniques et considérations nécessaires pour mener à bien ces travaux. Nous examinerons également les facteurs géotechniques et environnementaux qui doivent être pris en compte lors de l'exécution des terrassements.

En ce qui concerne les ouvrages, nous analyserons leur intégration dans le réseau ferroviaire global. Les ponts, par exemple, sont essentiels pour traverser des obstacles naturels tels que des cours d'eau, des vallées ou des zones urbaines denses.

X.2. Section en déblai

Les déblais consistent à réduire le niveau du terrain en retirant de la terre, également connus sous le nom de fouilles ou d'extraction. Dans le cadre de ce projet, on constate qu'il n'y a pas de zones importantes de déblais.

PK Début	PK Fin	L (m)	Hmax (m)	Pente Proposé
300+175	303+275	100	0.21	3H/2V
301+200	301+300	100	1.22	
314+750	315+000	250	0.37	

Tableau X. 1 : Les cubatures des terrassements.

X.3. Section en remblai

Les remblais consistent à ajouter de la terre pour élever le niveau du terrain, également appelés remblaiement. La majeure partie du tracé se trouve sur des zones de remblais dont la hauteur varie de 0 à 3.7 mètres.

PK Début	PK Fin	L (m)	Hmax (m)	Pente Proposé
300+000	300+175	175	3.57	3H/2V
300+275	301+200	925	3.14	
301+300	314+750	13450	4.2	

Tableau X. 2 : Les cubatures des terrassements.

Étant donné la particularité de la région, le profil en long est conçu de manière à maximiser le recours aux remblais dans la mesure du possible. Étant donné que la région présente des terrains très peu accidentés, les hauteurs des déblais et des remblais restent acceptables et ne sont pas trop élevées, toutes étant inférieures à huit mètres (H < 8 m). Ainsi, il n'est pas nécessaire d'inclure des bermes.

A cause de l'existence de plusieurs ruissellement que nous avons affranchie par notre tracée de PK 303+261 au PK 311+857 ou c'était nécessaire d'installer des buses et des dalots qui nécessitent un gabarit d'au moins 2.5 m et même la fixation de la pente 0.0 ‰ le long de 2.5 Km en gare (PK 309+800 au PK 312+330 } , le remblai a été une prédominance sur long de tracée.

X.4. Etude de stabilité

Selon la norme UIC 719 R, la sécurité contre le glissement à court et à long terme doit être vérifiée en effectuant des calculs basés sur les caractéristiques mécaniques, hydrogéologiques et géotechniques des matériaux.

Les principaux paramètres géotechniques utilisés pour les analyses de stabilité des déblais et remblais incluent le poids volumique ($\boldsymbol{\gamma}$), la cohésion (c'), et l'angle de frottement interne ($\boldsymbol{\varphi}$ ').

Pour assurer la stabilité, les facteurs de sécurité globaux recommandés sont :

- $\boldsymbol{F_s \geq 1.3}$ pour le court terme.
- $\boldsymbol{F_s \geq 1.5}$ pour le long terme.
- $\boldsymbol{F_s \geq 1.1}$ pour les situations accidentelles telles que les séismes.

Dans le cas du notre projet , les hauteurs des déblais et remblais sont toutes inférieures à huit mètres (8 m), ce qui les rend stables selon les critères géotechniques établis par la norme UIC 719 R.

X.5. CALCUL DES VOLUMES DES TERASSEMENTS

Les volumes des terrassements sont déterminés après avoir défini la ligne rouge du projet ainsi que les différentes altitudes du terrain naturel à partir des plans de situation, du profil en long et du profil en travers. Les calculs des volumes de terrassement ont été réalisés à l'aide de logiciel "COVADIS 2017"

Les tableaux suivants résument les résultats obtenus :

Terrassement	Volume (m3)
Déblais	107313,1
Remblais	206534,5

Tableau X. 3 : Les cubatures des terrassements.

Couche	Volume (m3)
Ballast	50811,6
Sous ballast	32406,0
Couche de fondation	34260,8
Couche de forme	64595.4

Tableau X. 4 : Les cubatures des terrassements.

X.6. CONCLUSION

Ce chapitre met en lumière l'importance accordée aux opérations de terrassement et à la construction des ouvrages d'art dans la réalisation réussie d'un projet ferroviaire. Ces éléments sont cruciaux et exigent une approche méticuleuse et une collaboration étroite entre tous les intervenants impliqués. En effet, le respect scrupuleux de ces étapes clés garantit la sécurité, la fiabilité et l'efficacité d'un réseau ferroviaire. En investissant dans la qualité des terrassements et des ouvrages d'art, nous contribuons à établir une infrastructure ferroviaire durable qui répond aux besoins de mobilité et de connectivité de notre société moderne.

CHAPITRE 11 : CONCEPTION ET AMENAGEMENT DE LA GARE

XI.1. INTRODUCTION

Une gare ferroviaire est un lieu où les trains marquent un arrêt. Elle est dotée de diverses installations qui remplissent deux fonctions principales : faciliter l'embarquement et le débarquement des voyageurs, et, pour certaines gares, permettre le chargement et le déchargement des marchandises. et fonctionnalité pour créer des hubs de transport essentiels à notre société moderne.

XI.2. Types des gares

On distingue plusieurs types des gares :

- **Les gares de voyageurs :** Situées dans les grandes villes ou les zones à forte densité de population, elles sont équipées de toutes les installations nécessaires pour accueillir les voyageurs.
- **Les gares de marchandises** : Implantées dans des zones industrielles, agricoles et commerciales importantes, à proximité des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands entrepôts, elles sont dotées de toutes les installations nécessaires pour le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises.
- **Les gares mixtes** : Localisées dans des zones combinant des activités industrielles, agricoles et commerciales, elles sont équipées de plusieurs installations permettant à la fois l'accueil des passagers et le chargement, déchargement et stockage des marchandises.
- **Les gares de croisement** : Ce sont des gares de petite taille, généralement situées sur les lignes de chemin de fer à voie unique. Elles assurent la réception sécurisée des trains venant des deux directions, nécessitant parfois l'arrêt de l'un des deux trains (ou sans arrêt).

XI.3. Etude du plan de masse d'une gare :

Le responsable de la conception de la gare a pour mission d'établir un plan de masse intégrant toutes les fonctions fondamentales des installations, en tenant compte de troiséléments clés lors de l'étude :

- **Catégories de la voie :** Elles jouent un rôle déterminant dans la définition des fonctions spécifiques de chaque voie de la gare et des éléments qui y sont associés.

- **Le trafic** : L'évaluation de l'importance du trafic est primordiale pour concevoir la gare de manière appropriée. Cela implique de dimensionner adéquatement les installations et les espaces nécessaires pour répondre à la demande prévue.
- **Emplacement :** L'emplacement de la gare influence directement le type de trafic attendu et les catégories de voies nécessaires. Il doit donc être soigneusement étudié et pris en compte lors de la conception du plan de masse.

Ainsi, la prise en compte attentive de ces trois éléments est essentielle pour établir un plan de masse précis, adapté à la fonctionnalité et à la pertinence de la gare.

XI.4. 4. Aménagement de la gare

XI.4.1. 4.1 Installations d'une gare à voyageurs :

Les installations et constructions d'une gare ferroviaire varient selon son type, sa conception et sa catégorie. Voici quelques éléments clés :

- **Bâtiment de voyageurs :** Cet espace est dédié aux passagers et peut inclure diverses installations telles qu'une salle d'attente, des guichets de vente de billets, un poste de sécurité, un kiosque, et d'autres équipements.
- **Bâtiments à usages divers (B.U.D) :** Ces espaces sont réservés aux services des agents de chemin de fer.
- **Quais :** Ce sont des bandes parallèles à la voie ferrée permettant aux passagers d'accéder aux trains.
- **Abris de quais :** Ces installations sur les quais protègent les voyageurs des intempéries.
- **Passages souterrains et passerelles :** Ces constructions permettent aux voyageurs de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

XI.4.2. 4.2 Marge de glissement à l’aval des signaux :

La marge de glissement est une section de voie située en aval d'un signal fermé, correspondant au parcours du train. Aucun autre train n'est autorisé à circuler sur cette section. Son but est de limiter les conséquences d'un accident et, en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision si un train ne s'arrête pas avant cette marge.

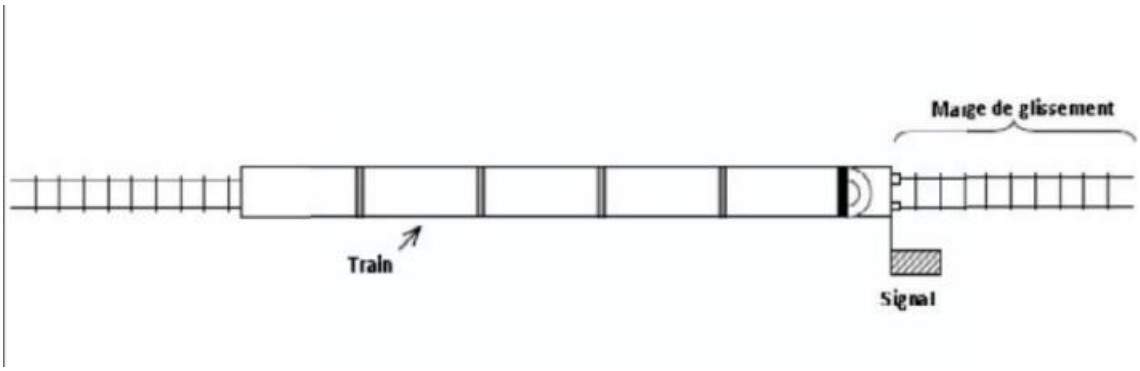


FIGURE XI. 1 : SCHEMATISATION DE LA MARGE DE GLISSEMENT

Les longueurs de la marge de glissement sont définies selon la norme UIC 739 comme suit :

- 50 m ⩽ LG ⩽ 200 m, selon la vitesse de la ligne, utilisée comme marge a l'aval des signaux de protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.
- LG = 200 m pour une vitesse V ⩾ 60 km/h.
- LG = 100 m pour une vitesse comprise entre 40 km/h et 60 km/h (40 km/h ⩽ V ⩽ 60 km/h).
- LG = 50 m pour une vitesse V < 40 km/h.

*Remarque : Si la marge de glissement ne peut pas être réalisée, il est impératif de réduire la vitesse d'approche du train avant le signal pour éviter toute collision.

XI.4.3. Garage franc

Le garage franc représente la zone de la voie dans laquelle les trains sont autorisés à circuler en gare. Sa valeur théorique est de 3,57 fois la distance entre les axes des voies directe et déviée. Toutefois, pour des raisons de sécurité, le garage franc est généralement installé à 1 mètre de cette valeur théorique. Ainsi, la formule pour calculer le garage franc est la suivante :

$$GF = 3.57 \times N + 1\ metre$$

N : varie selon l'ouverture de l'appareil de voie.

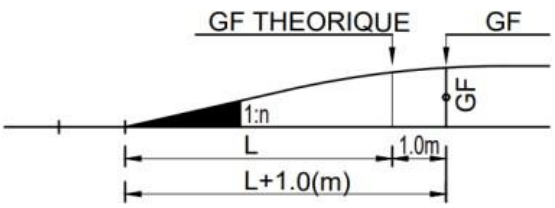


FIGURE XI. 2 : SCHEMAS DU GARAGE FRANC

XI.4.4. La longueur utile d'une voie de stationnement :

La longueur utile d'une voie de stationnement est définie comme la distance entre deux garages francs, permettant au train de se garer sur la voie de dépassement sans entraver la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement adjacentes.

Les valeurs de la longueur utile sont définies dans la norme SNTF relative à l'aménagement des gares et au tracé des voies. Selon cette norme :

- - La longueur utile minimale pour les trains voyageurs est de 426 m.
- - Pour les trains de marchandises sur la voie principale, la longueur utile est de 870 m.

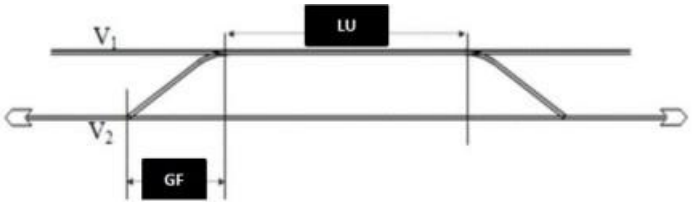


FIGURE XI. 3 : LA LONGUEUR UTILE D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT

XI.4.5. Heurtoir

Les heurtoirs sont des dispositifs placés à l'extrémité des voies de garage ou de sécurité pour signaler la fin de celles-ci et éviter que les véhicules en mouvement ne continuent leur chemin au-delà de la voie. Ils sont conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent, grâce à des tampons qui réduisent l'impact.



FIGURE XI. 4 : HEURTOIR

XI.5. Caractéristiques géométriques des gares :

XI.5.1. Déclivité dans les gares :

La pente en gare doit être réglementée en fonction des différentes activités qui s'y déroulent. Dans notre projet, la pente sera maintenue à 0 ‰ pour prévenir tout mouvement indésirable des trains.

XI.5.2. Quai :

XI.5.2.1. La longueur de quai (normes SNTF) :

- Grande ligne : 450 m.
- Service régional : 350 m.
- Banlieue : 225 m.

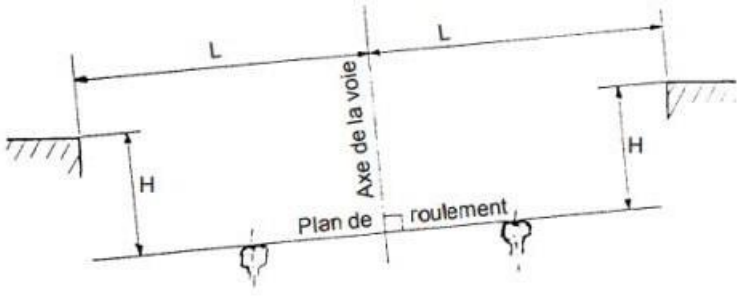
XI.5.2.2. La largeur des quais :

Selon les recommandations de la SNTF pour une gare de ce type :

- - Quai intermédiaire : largeur (B) > 8 m.
- - Quai extérieur : largeur (B) ⩾ 6 m.

XI.5.2.3. Hauteur des quais :

La hauteur nominale des bordures des quais au-dessus du plan de roulement est fixée à 550 mm. La hauteur du quai dépend du type de matériel roulant susceptible de s’arrêter à ce quai.



H = Hauteur au-dessus du plan de roulement, perpendiculaire au plan de roulement

L = Distance par rapport à l’axe de la voie, parallèle au plan de roulement

FIGURE XI. 5 : LA HAUTEUR DU QUAI ET LA DISTANCE ENTRE LE BOUT DU QUAI ET L'AXE DE LA VOIE23

XI.5.2.4. La distance à l'axe de la voie :

Cette section traite de la distance entre l'axe de la voie et les bordures de quai. Pour les bordures de quai sitées à une hauteur nominale de 550 mm et de 760 mm, la distance nominale à l'axe de la voie est égale à :

$$\mathbf{L(mm) = 1650 + S}$$

La valeur de S est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{S(mm) = (3750/R) + ((I - 1435)/2)}$$

Où :

- R : représente le rayon de la voie en mètres.
- I : l'écartement de la voie en millimètres .

XI.5.2.5. 5L'entre-axe des quais :

- Entre-axe normal : > 11.3 m.
- Entre-axe minimal : > 9.3 m.

XI.5.2.6. Les appareils de voie :

Les règles d'implantation selon la norme SNTF sont les suivantes :

a. Conditions générales :

Les appareils de voie doivent être installés sur une pente constante. Il en va de même pour les communications. De plus, dans les zones situées à proximité d'un ouvrage d'art, les appareils de voie doivent être placés à des distances minimales qui dépendent de la longueur L de l'ouvrage.

Lmin	Longueur de l'appareil
≥ 20m	L ≤ 30 m
≥ 50m	30 m < L ≤ 90 m
≥ 50m	L> 90 m depuis le côté opposé à l'appareil de dilatation

Tableau XI. 1 : Longueurs minimal de tracé

Si la présence d'un appareil de dilatation est nécessaire en raison de la longueur (L) de l'ouvrage d'art, l'appareil de voie devra être implanté à une distance minimale de 100 mètres de l'extrémité de l'appareil de dilatation.

XI.6. Règles d'implantation

- **En tracé en plan :**

L'implantation des appareils de voie s'effectuera conformément aux longueurs minimales du tracé retenues ci-dessous :

- **En pointe :**

La longueur minimale d'alignement L1 devra être égale à (Vd/2), où Vd est la vitesse de franchissement en voie déviée exprimée en km/h.

- **En talon de la branche déviée :**
  - Si la sortie d'appareil est en alignement : La longueur minimale d'alignement à respecter devra être égale à (Vd/2).
  - Si la sortie d'appareil est en courbe :

- Pour Vd < 100 km/h : Il conviendra de réserver un alignement de longueur minimale égale à Vd/2 ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie elle-même d'un raccordement progressif.
- Pour 100 ≤Vd < 160 km/h : Il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens pour toute situation nouvelle.
- Pour Vd ≥ 160 km/h :La condition ci-dessus est obligatoire. Quelle que soit la vitesse Vd , la longueur des raccordements sera calculée afin d'obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers $\Delta I/\Delta t$ de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

- **En talon de la voie directe :**

La longueur minimale d'alignement (L2) à réserver doit être supérieure à 50 m.

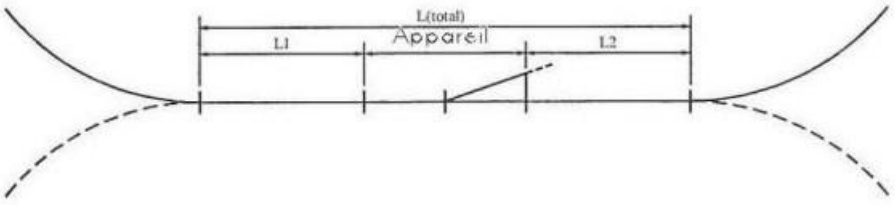


FIGURE XI. 6 : SCHEMA ILLUSTRATIF

Domaine d'emploi du branchement	Vitesse (Km/h)	Type de branchement
***Comme branchement d'entrée et de sortie de voies de quais les trains de voyageurs. *Dans le faisceau de transfert de la a gare de marchandises. * Dans la voie de circulation des trains marchandise.**	50	R300- 1/9 tg (0,111)
***Comme branchement d'entrée et de sortie des voies de quai utilisées par les trains de banlieue ou de voyageurs. *Dans les communications des voies de ligne. *Dans la bifurcation d'une voie de ligne Comme branchements d'entrée et de sortie des gares.**	60	R500- 1/12 tg (0,083)

Tableau XI. 2 : Les branchements

XI.6.1. Description de La Gare de Tabelbala

La gare de Tabelbala située sur le tronçon 3 de la ligne Bechar – Tindouf . Elle commence au Pk 309+800 et elle se termine au Pk 312+330 d'une longueur totale de 2530m. La gare de Tabelbala se compose de 2 voies principale et d'une voie d'évitement plus d'une voie de garage d'une longueur utile de 240m. elle offre aussi un service de changement de voie en amont et en aval par des communications implantées en chapeau de gendarme. Elle comporte aussi deux quais voyageur latéraux d'une longueur de 300m et de 6m de largueur dans le quai extérieur et 8 m dans les quais intermédiaire et d'un bâtiment voyageur.

XI.6.2. Application Au Projet

Dans notre projet, la gare de Tabelbala est située entre les PK 309+800 au PK 312+330 d'une longueur totale de m. Il s'agit d'une gare intermédiaire est conçue pour un trafic voyageur. Elle dispose de trois voies de quai. Les voies principales sont V1 et V2 tandis que V3 est destinée au stationnement.

- **- Longueurs de la marge de glissement :**

  Comme V ≥ 60 km/h alors LG = 200m.

- **La longueur du quai :**

  Pour notre gare on prend 300m comme longueur des quais.

- **Largeur des quais :**

Selon la SNTF (aménagement et gare tracé des voies) On prend :

B= 6 m pour le quai extérieure (Quais 1) .

B= 8 m pour le quai intermédiaire (Quais 2).

- **Hauteur des quais :**

On prend pour notre cas quai mi-haut h= 55 cm.

- **Entre–axe des quais :**

On prend : e= 14.5 m (entre quai 1 et 2).

- **La distance à l'axe de la voie :**

L (mm)= 1650+ (3750/∞) + ((1435-1435) /2) =1650mm.

- **Entraxe entre les voies :**

Entraxe entre les voies est de 4.2 m

- **La longueur utile d'une voie de stationnement :**
- **Longueur de garage de franc :**

Pour l'appareils de voie type (UIC 60 E1-500-1/12) : **GF=3.57×12+1=43.84 m .**

Pour l'appareils de voie type (UIC 60 E1-300-1/9) **: GF=3.57×9+1=33.13 m** ..

- **Longueurs utiles des voies :**

Voie 1 : **2350 ml**

Voie 2 : **2400 ml**

Voie 3 : **2614.77 ml**

- **La passerelle :**

Elle permet le franchissement sans risques des voies. Pour notre gare, un passage supérieur est conçu pour les déplacements des passagers au sein de la gare, entre les quais et les bâtiments des voyageurs dont les dimensions sont : La largeur doit être : B ≥ 2.4 m, donc on prend : B= 2.5 m La hauteur doit être : H > 6.2 m, donc on prend : H= 6.5 m

XI.6.3. Assainissement dans les gares :

XI.6.3.1. Assainissement transversal :

Pour assurer un bon écoulement des eaux de pluie dans les gares, il est crucial de mettre en place un système d'assainissement transversal. Ce système implique l'inclinaison des quais avec une pente de 2% en forme de toit ou en V, permettant ainsi le drainage des eaux vers les voies. Les pentes transversales des plates-formes facilitent également l'évacuation des eaux.

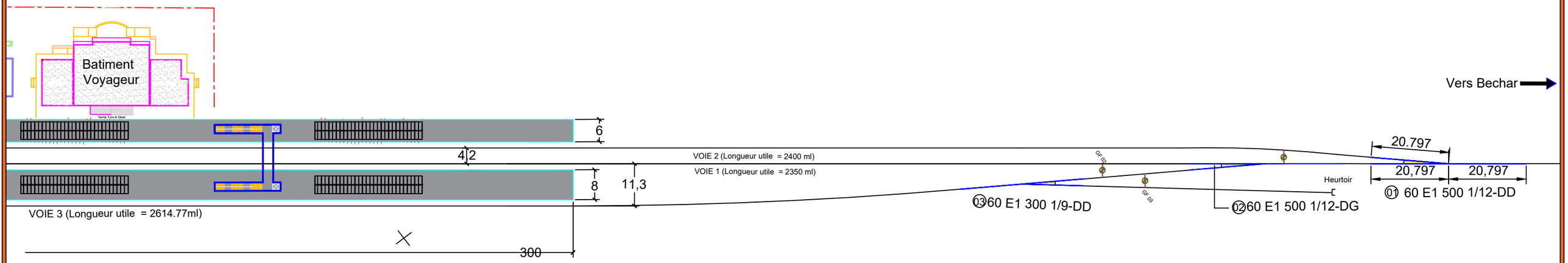
En résumé, l'installation d'un système de pentes approprié garantit un drainage efficace des eaux de pluie sur les quais et les plates-formes des gares, évitant ainsi l'accumulation d'eau, ce qui pourrait entraîner des problèmes d'hygiène et de sécurité pour les passagers et le personnel de la gare.

XI.6.3.2. Assainissement longitudinal :

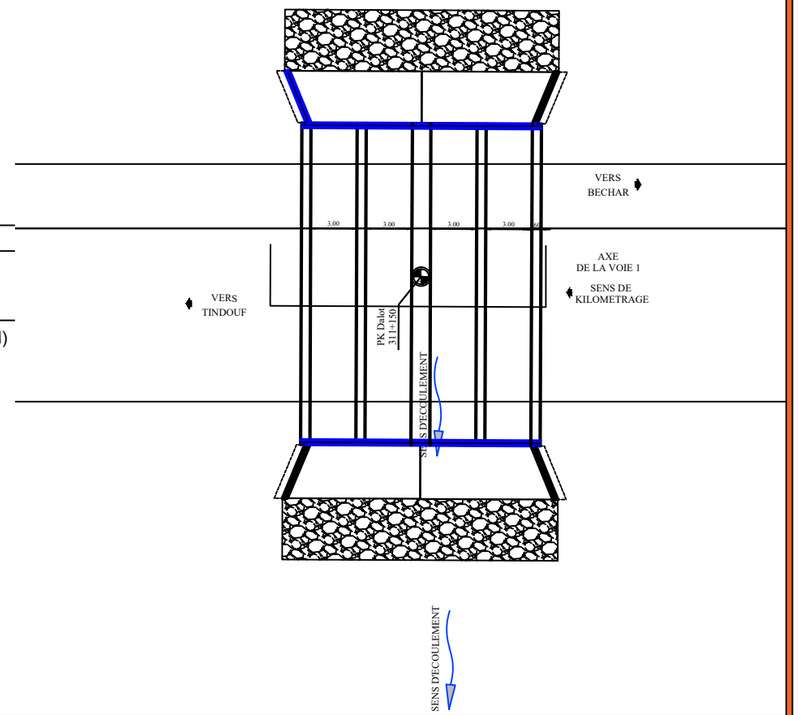
Pour recueillir les eaux de ruissellement infiltrées dans le ballast et la plate-forme, des drains disposés longitudinalement avec une pente de 4‰ sont utilisés. Ces drains permettent ensuite l'évacuation des eaux vers le réseau d'assainissement à travers des regards de visite.

Entrée Principale

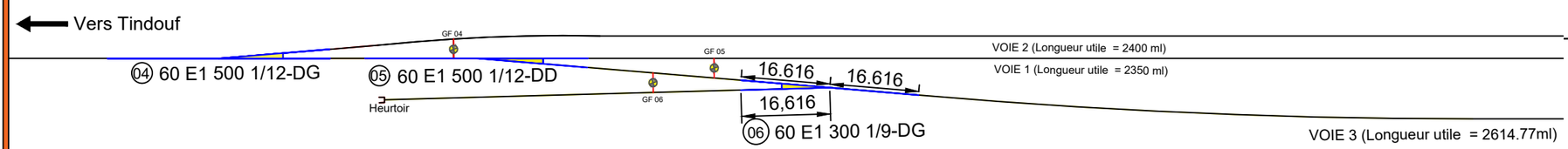
Vue en plan de la gare de Tabelbala (Ech: 1: 1000)



DALOT (Ech: 1:400)



Vue en plan de la gare de Tabelbala (Ech: 1: 1000)



ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Build and Ground works engineering

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'ETUDES	Réalisé par	Encadré par	Echelle	Titre	Année universitaire
Etude APD de la nouvelle ligne ferroviaire Béchar-Tindouf du PK 300+000 au 315+000 avec la conception de la gare de Tabelbala	- HADJAB - LAKHMI	-Mr. M.BOUZIANE -Mme. S.CHIALI	1:400	Vue en plan de la Gare de Tabelbala	2023 / 2024

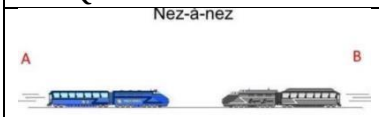
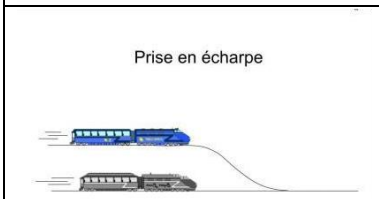
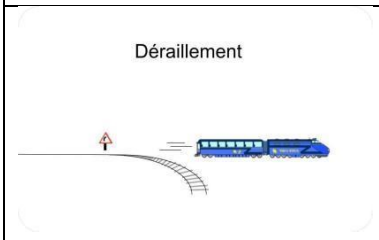
CHAPITRE 12 : SINGALISATION FERROVIAIRE

XII.1. INTRODUCTION

Depuis l'avènement des chemins de fer, les systèmes de signalisation ont évolué, passant d'infrastructures rudimentaires à des systèmes complexes et sophistiqués. Leur rôle essentiel est désormais de gérer efficacement le trafic sur de vastes réseaux ferroviaires, en assurant le contrôle des mouvements des trains, la prévention des collisions et la coordination harmonieuse des différents itinéraires. Ce chapitre s'attache à explorer les principes fondamentaux de la signalisation ferroviaire, mettant en lumière l'importance primordiale accordée à la sécurité et à la fluidité. Nous examinerons ainsi les divers types de signaux utilisés et les systèmes de commande qui leur sont associés.

XII.2. OBJET DE LA SIGNALISATION FERROVIAIRE :

La signalisation ferroviaire revêt une importance capitale dans la transmission des instructions aux conducteurs de trains, garantissant ainsi une circulation sécurisée. Ces installations sont élaborées de manière spécifique pour résoudre divers problèmes et faire face à des risques majeurs, comme décrit dans le tableau ci-dessous :

RISQUE	DESCRIPTION	SOLUTION
	Deux trains se trouvant en situation de face-à-face sur la même voie.	La gestion assurée par les dispositifs d'enclenchement de sens.
	Un train suivant rattrapant celui devant lui sur la même voie.	L'application du système de cantonnement pour garantir le maintien de distances de sécurité entre les trains.
	Un train approchant d'un aiguillage déjà occupé par un train venant d'une autre direction.	L'installation d'enclenchements internes dans les postes d'aiguillage, comprenant les enclenchements d'itinéraires et de transit.
	Une ou plusieurs roues d'un véhicule quittant la voie ferrée.	- La mise en œuvre de limitations de vitesse dans les virages, les zones d'aiguillage et les zones de travaux. - L'installation de systèmes de surveillance.

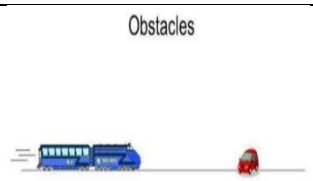
	Les dangers liés aux passages à niveau.	La gestion à travers des dispositifs d'annonce des trains, qui alertent les conducteurs routiers de l'approche d'un train.

Tableau XII. 1 : Les risques ferroviaires.

XII.3. LES SIGNAUX

En Algérie, le déploiement des signaux ferroviaires se subdivise en deux principales catégories. En général, ces signaux sont installés du côté gauche de la voie empruntée par les trains, sauf en cas de contraintes particulières. Ces deux types de signaux comprennent :

- Des panneaux munis d'un ou plusieurs feux de couleur fixes ou clignotants, disposés sur un fond noir bordé de blanc, exception faite de certains tunnels.
- Des tableaux lumineux pouvant présenter une bande colorée, une inscription ou un symbole conventionnel.

La signalisation ferroviaire englobe une diversité de signaux, chacun ayant des fonctions spécifiques :

- **Les signaux d'arrêt :** Ils ordonnent aux conducteurs de train de stopper entièrement avant de poursuivre leur trajet.
- **Les signaux de limitation de vitesse :** Ils renseignent les conducteurs de train sur la vitesse maximale autorisée sur une portion particulière des voies.
- **Les signaux de direction :** Ils dirigent les conducteurs de train en leur indiquant la voie à suivre ou les changements de direction à effectuer.

Chaque type de signalisation comprend généralement une phase initiale d'annonce et une phase de rappel ou d'exécution ultérieure. Ceci garantit une communication claire et une exécution précise des instructions destinées aux conducteurs de train.

Il est à souligner que certains signaux lumineux restent éteints, ne fournissant d'indication qu'à l'approche des trains, ou leur activation est conditionnée par des circonstances spécifiques.

XII.4. IMPLANTATION LONGITUDINALE :

L'organisation des signaux ferroviaires le long de la voie revêt une importance cruciale pour prévenir les arrêts devant un signal d'arrêt ou de limitation de vitesse dans une zone donnée.Dans cette optique, avertir le conducteur à une distance appropriée est essentiel pour permettre

un freinage sécurisé dans des conditions normales. Les signaux d'annonce à distance remplissent cette fonction vitale.

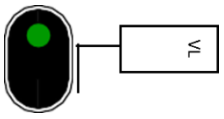
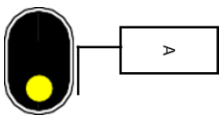
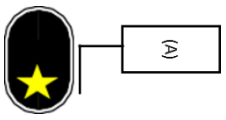
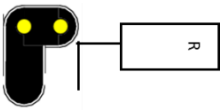
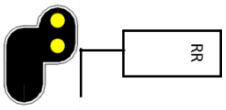
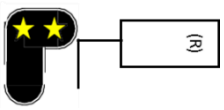
Pour ce faire, deux distances clés sont prises en considération lors de l'installation de ces signaux :

- **La distance d'arrêt :** correspond à la distance nécessaire pour arrêter le train en toute sécurité entre le signal d'arrêt et le point à protéger.
- **La distance de ralentissement :** représente la distance requise pour que le train réduise sa vitesse et respecte la limitation de vitesse dans la zone spécifiée.

La disposition de ces signaux à distance dépend de divers facteurs, comme le profil moyen de la voie en question (la pente moyenne), la vitesse maximale à laquelle le signal à distance est approché, et les caractéristiques de freinage propres aux trains circulant sur cette portion de voie.

XII.5. ASPECTS DES SIGNAUX :

Les éléments prévus pour la ligne Bechar - Tindouf ainsi que les indications essentielles pour leur compréhension sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

Signal	Indication	Signalisation lumineuse
Signal ouvert Voie libre	La voie libre indique au conducteur que lacirculation en marche normale est autorisée, franchissement à la vitesse admise.	
L'**avertissement Feux jaune**	Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signauxsuivants : Carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant.	
Le feu jaune Clignotant (A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.	
Le ralentissement 30 Fermé	Limiter la vitesse à 30km/h pour franchir uneaiguille	
Le rappel 30 fermé		
Le ralentissement 60 km/h		

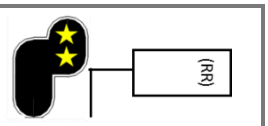
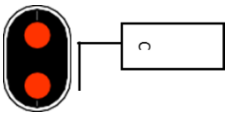
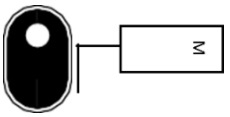
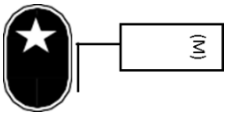
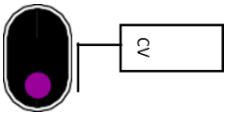
Le rappel 60 km/h	Limiter la vitesse à 60km/h pour franchir uneaiguille	
Carré	Arrêt avant le signal.	
Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de lamarche en manœuvre.	
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'untrain.	
Feu violet Carré Violet	Commande l'arrêt, il est installé surles voies de service, son ouverture seule.	

Tableau XII. 2 : Les signaux utilisées dans le tronçon étudié.

XII.6. LE PRINCIPE DE CANTONNEMENT : (signalisation classique)

Le terme "canton" désigne une section spécifique de voie ferrée alimentée en énergie électrique, essentielle pour réguler l'espacement des trains et éviter les collisions arrière (risque de rattrapage et de prise en écharpe, voir Tableau des risques).

Une voie ferrée est divisée en plusieurs cantons distincts, chacun étant protégé par un signal et isolé indépendamment grâce à un joint isolant. En règle générale, un seul train peut circuler dans un canton à la fois. Dans ce système de signalisation, aucune intervention humaine n'est nécessaire car le train assure sa propre protection. L'interaction entre les signaux des cantons successifs est illustrée dans la figure ci-dessous :

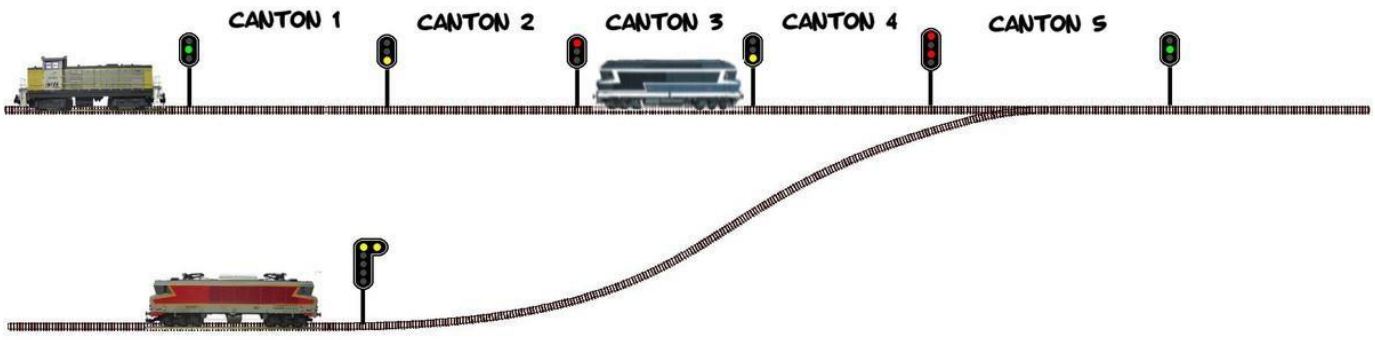


FIGURE XII. 1 : SCHEMA ILLUSTRATIF DU CANTON

Les différents systèmes de gestion des signaux, appelés "block", varient en fonction de la catégorie de la ligne et sont décrits ci-dessous :

- **Le block manuel (B.M)** : est utilisé sur les lignes à faible trafic, où la gestion est réalisée manuellement. Il se distingue par un nombre limité de signaux le long des voies et des installations de commande simples. Cependant, son principal inconvénient est sa capacité limitée à gérer un volume important de trains.
- **Le block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) :** est employé sur les lignes à trafic moyen. Ce système automatique utilise des cantons relativement longs, couvrant plusieurs kilomètres. Il offre une sécurité accrue par rapport au B.M. en réduisant le risque d'erreur humaine et reste économique grâce à un nombre limité de signaux. Cependant, il ne permet pas de gérer des débits élevés sur une ligne.
- **Le block automatique lumineux (B.A.L) :** est principalement utilisé sur les lignes à fort trafic. Il se caractérise par des cantons courts, nécessitant un plus grand nombre de signaux, ce qui peut être plus coûteux. Néanmoins, il offre une grande flexibilité dans la régulation des circulations ferroviaires. Grâce aux cantons courts, l'espacement entre les trains est réduit, permettant une gestion plus efficace du trafic ferroviaire.

XII.7. .LE PRINCIPE DU SYSTÈME ERTMS : (signalisation moderne)

European **R**ailways **T**raffic **M**anagement **S**ystem signifie en Français système européen de la gestion de la circulation ferroviaire.

Ce système de contrôle et de commande assure un trafic ferroviaire standardisé et interopérable. Il vise à harmoniser et simplifier la gestion du trafic ferroviaire, garantissant une coordination efficace entre les divers acteurs et facilitant l'interopérabilité des réseaux ferroviaires. il est à trois niveaux. (Voir **Figure 19**)

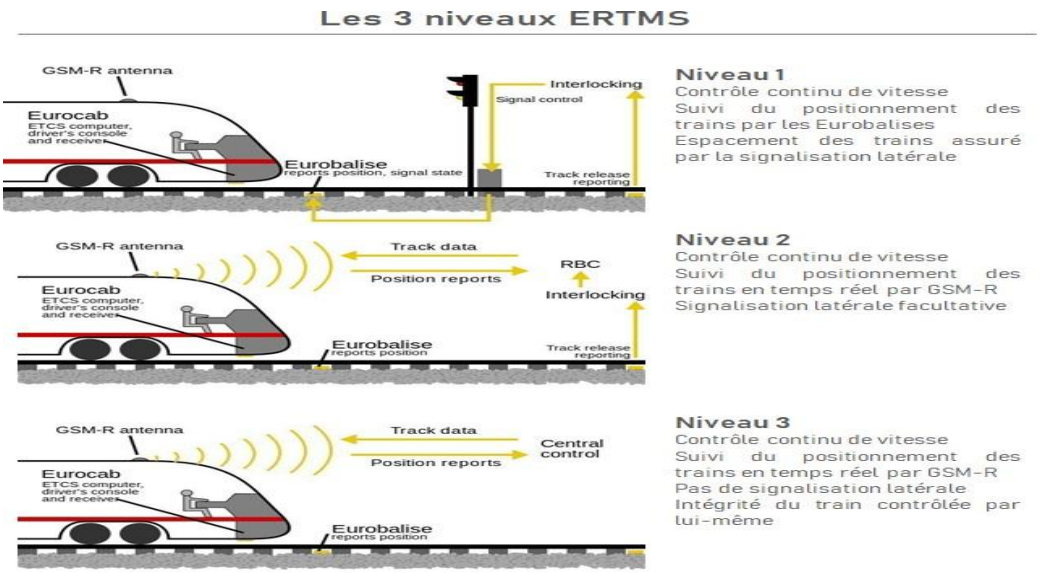


FIGURE XII. 2 : CONTROLE LE SYSTEME DES TRAINS ERTMS

- **LES FONCTIONS D'ERTMS :**

L'ERTMS assure plusieurs fonctions clés :

- Surveiller l'état de la signalisation latérale à l'aide d'une balise standard qui communique avec un système embarqué dans le train.
- Accorder l'autorisation de déplacement jusqu'au prochain système de signalisation latérale en se basant sur le principe de blocage établi.
- Convertir les informations de signalisation latérale à travers l'Unité de Contrôle Latéral (LEU) afin de les transmettre au train via la balise.
- Permettre au train de transmettre en continu sa position et sa vitesse via une antenne.
- Assurer la protection des trains grâce à une communication discontinue entre la voie et le train via des balises.

XII.8. CONCLUSION

Ce chapitre met en lumière l'importance capitale de la signalisation ferroviaire pour garantir la sécurité et l'efficacité dans le domaine des chemins de fer. Nous avons examiné divers aspects de la signalisation, allant des signaux visuels aux systèmes de contrôle automatisés. Notre analyse met en évidence le rôle crucial d'une communication claire entre les conducteurs de train et les signaux, ainsi que le strict respect des indications fournies, comme facteurs essentiels pour réduire les risques d'accidents et assurer la fluidité du trafic. Toutefois, il est essentiel de poursuivre les efforts visant à améliorer les systèmes de signalisation et à les adapter aux évolutions du trafic, afin de répondre aux besoins croissants de notre société.

CHAPITRE 13 : ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

XIII.1. INTRODUCTION

L'évaluation d'impact vise à examiner les répercussions potentielles d'un projet sur l'environnement naturel et humain, en tenant compte des caractéristiques propres au réseau ferroviaire. Elle constitue également un soutien décisif à la prise de décision en identifiant les risques et les mesures d'atténuation nécessaires pour réduire au minimum les effets néfastes et encourager un développement durable du projet.

En outre, cette évaluation favorise la transparence et la participation du public. Elle donne aux parties prenantes et à la population l'occasion d'exprimer leurs préoccupations et d'influencer le processus décisionnel, assurant ainsi une prise en compte adéquate des intérêts des communautés locales et favorisant le développement d'un projet socialement acceptable.

L'Algérie s'est engagée dans la protection et la préservation de l'environnement en ratifiant des conventions internationales et en les traduisant dans des lois et des décrets applicables. Parmi les textes législatifs et réglementaires auxquels les projets ferroviaires doivent se conformer, celui-ci inclus :

La Loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.

La Loi nº 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Le Décret n° 87-91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire.

Le Décret exécutif n° 12-235 du 3 Rajab 1433 correspondant au 24 mai 2012 fixant la liste des espèces animales non domestiques protégées.

Le Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.

XIII.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Aider le maître d'ouvrage à concevoir un projet respectueux de l'environnement en lui fournissant des indications de nature à améliorer la qualité de son projet et à favoriser son insertion dans l'environnement.

Aider l'autorité compétente à prendre une décision et, à déterminer les conditions environnementales de l'autorisation des projets. A ce titre, elle éclaire le décideur sur la nature et le contenu de la décision à prendre. Elle peut, le cas échéant, l'inciter à préconiser une mise en œuvre environnementale des travaux et un suivi.

Informer le public et lui donner le moyen de jouer son rôle de citoyen averti et vigilant.

XIII.3.. Les éléments environnementaux pris en compte

L'Étude d'Impact Environnemental a émergé pour explorer les différents facteurs qui devraient être pris en compte dans une évaluation d'impact. Pour notre projet, ces éléments sont représentés par :

XIII.3.1. Milieu physique

- **Relief :**

La Hamada du Guir est un vaste plateau s'étendant sur environ 200 km du nord au sud et sur environ 100 km d'est en ouest. Sa surface est relativement plane, parsemée de petites dépressions appelées dayas, drainées par des oueds peu organisés. Les monts d'Ougarta, qui bordent la Hamada, se divisent en deux faisceaux principaux, la Saoura à l'est et la Daoura à l'ouest, séparés par l'Erg Er Raoui. Les ergs, des champs dunaires, occupent de vastes étendues dans la région, notamment l'Erg Erraoui, l'Erg El Atchane et l'Erg Iguidi.

- **Hydrologie :**

Le réseau hydrographie de la région se regroupe dans plusieurs bassins autonomes. Il s'agit du bassin de Daoura, Saoura et de Guir. Le territoire de Béni-Abbès est traversé du Nord au Sud par la Saoura, qui continue sa course vers le Sahara central. Dans cette partie de son cours aucun affluent digne de remarque n'apporte sa contribution à ce fleuve, qui a son lit presque toujours à sec. Au niveau de Béni-Abbès la Saoura fait une immense boucle. En temps normal, elle ne présente qu'un long chapelet de mares laissées par les crues ou créées par les résurgences du cours souterrain, celles-ci constituant 1es Redir et les Guelta. Les crues du Guir ne parviennent pas toujours jusqu'ici. Elles sont d'autres fois très puissantes et causent alors des débats à la palmeraie dont la lisière occidentale est séparée .

- **Climatologie :**

Le climat est de type désertique chaud. Les étés sont extrêmement chauds, avec des températures dépassant souvent les 40°C, voire même les 50°C pendant les mois les plus chauds. Les hivers sont généralement doux et secs.

- **Géologie :**

La région étudiée présente des formations géologiques d'âge Paléozoïque, surmontées par des dépôts crétacés et néogènes. Les principales unités comprennent le Conglomérat du djebel Ben Tadjine, les grès arkosiques de la Sebkhet el Melah et les quartzites d'Aïn Néchéa attribués au Cambrien, ainsi que des schistes argileux, argilo-gréseux, et argilocalcaires du sommet de la

série paléozoïque. Ces formations sont recouvertes par des dépôts crétacés et néogènes. Les formations plio-pléistocènes et holocènes, qui s'insèrent dans ces topographies, sont également bien développées.

- **Sismicité :**

La Wilaya de Beni Abbes est classée dans la zone 0. Cela implique que l'activité tectonique et sismique dans la zone d'étude est faible, voire même nulle.

XIII.3.2. Milieu biologique

- **Flore :**

La région d'étude présente principalement des formations végétales steppiques du Sahara Nord-occidental algérien, avec des zones arbustives et ripicoles le long des oueds. On trouve également des "bouquets" de palmiers dattiers sauvages dans ces oueds. La végétation steppique domine en dehors de ces zones, avec des formations dégradées.

- **Faune :**

La faune est adaptée aux conditions désertiques, comprenant des espèces telles que le fennec, le lézard des sables, le chacal doré . Les mammifères sont principalement nocturnes pour éviter la chaleur, tandis que les reptiles et les oiseaux sont mieux adaptés aux températures extrêmes. La région abrite également une variété d'insectes et d'arthropodes adaptés au climat aride.

XIII.3.3. Milieu humaine

- **Démographie :**

Du point de vue administratif la wilaya de Beni Abbes est divisée en 06 daïra regroupant 10 communes. Elle s'étend sur une superficie de 101350 Km² pour une population de 50 163 habitants (RGPH 2008) . En 2022la population de la wilaya est estimée à 66 183 habitants, soit une densité moyenne de 0.65 habitants par Km².

- **Habitat :**

Le parc total de logements dans la wilaya de Béni Abbes s'élève à 23 301, on compte 8 305 logements urbains, ce qui représente environ 36% du parc total, tandis que 14 927sont des logements ruraux avec un taux de 64 % .

- **Activités économiques :**
    - Agriculture :

La superficie agricole totale s'élève à 728 401 hectares. Sur cette étendue, seulement 46 407 hectares, représentant 6.37 %, sont utilisés comme terres agricoles utiles. Parmi celles-ci, environ 6 921 hectares, soit 14.91 %, bénéficient d'un système d'irrigation. Les cultures céréalières produisent une moyenne de 5010.70 quintaux par an, tandis que la production laitière annuelle atteint environ 428.50 litres. Le tableau ci-après montre la répartition des terres agricoles.

- **Réseau d'énergie :**

La wilaya de Béni Abbes affiche un taux global de raccordement à l'électricité de 90%, avec une couverture similaire tant dans les zones urbaines que rurales. Cependant, pour le gaz, le taux global de raccordement est seulement de 11,45%, ce taux étant constant dans les zones urbaines, tandis que les zones rurales n'ont aucun raccordement au gaz, indiquant un besoin d'investissements pour améliorer l'accès dans ces régions.

- **Infrastructures de base :**

Longueur totale du réseau routier	Longueur de la traversée autoroutière	Longueur des routes nationales	Longueur des chemins de wilaya	Longueur des chemins communaux	Longueur des pistes
1 098.86	0	462	123	513.86	857.5

Tableau XIII. 1 : les infrastructures de base aux wilaya .

XIII.4. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX SUR NOTRE PROJET :

XIII.4.1. Impact sur l'agriculture :

La mise en place de l'infrastructure engendre des perturbations dans les pratiques agricoles. Ces perturbations peuvent être directes, entraînant la suppression de terres agricoles, ou indirectes en modifiant les facteurs de production tels que le l'eau et le sol, ce qui peut avoir un impact sur l'agriculture dans la région concernée.

XIII.4.2. Impacts sur les eaux :

La circulation du train se traduit par la pollution aussi bien des cours d'eau de surface que des eaux souterraines par le biais du ruissellement en provenance de la plateforme ferroviaire. En effet les écoulements en provenance de la voie peuvent contenir divers polluants : solides, matières organique ou minéraux, graisses, huiles et autres polluants.

XIII.4.3. Impacts sur la faune :

La nouvelle voie ferrée aura un impact négatif sur la faune environnante en constituant une barrière physique pour les animaux terrestres, fragmentant leur habitat et séparant les

populations. Les trains risquent de causer des collisions mortelles avec les animaux tentant de traverser les voies, particulièrement pour les espèces lentes ou migratrices. Le bruit des trains perturbera également les animaux, les poussant à éviter les zones proches des voies, limitant ainsi leur accès à des ressources vitales. La construction de la voie ferrée fragmentera davantage les habitats naturels, réduisant la diversité génétique, les populations et augmentant le risque d'extinction de certaines espèces.

XIII.4.4. Impact sur l'air :

Les travaux de chantier affecteront la qualité de l'air par les émissions de poussières et de polluants, principalement dues à la circulation des véhicules et à la combustion des hydrocarbures. Ces impacts sont jugés de faible intensité et limités à la zone proche du chantier, avec une durée moyenne.

XIII.4.5. Impacts sur la végétation :

Les travaux de préparation du site, tels que le décapage et le terrassement, peuvent entraîner la suppression de la végétation locale et altérer la topographie des sols. Cela peut avoir des conséquences sur la capacité des plantes à se développer et à se régénérer ce qui accentue considérablement le risque d'érosion surtout dans les zones les plus affectées par les travaux.

XIII.5. CONCLUSION

Les impacts principaux de l'implantation d'une nouvelle ligne ferroviaire concernent la consommation de terrains et la fragmentation du paysage. Un cadre réglementaire permet de mettre en œuvre des mesures pour atténuer, réduire ou compenser ces impacts. Des solutions techniques éprouvées existent pour intégrer le projet de manière optimale dans son environnement. Par conséquent, une concertation constructive entre toutes les parties prenantes (maître d'ouvrage, élus, associations, riverains, agriculteurs, bureaux d'études, etc.) est essentielle pour garantir que la nouvelle ligne soit bénéfique pour tous et maximise lesavantages offerts par cette opportunité.

CHAPITRE 14 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Lot.N°	Désignations	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
1. ÉTUDE D'EXÉCUTION ET INSTALLATION DE CHANTIER :					
1-1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F			4 865 918 125,20
1-2	Repli du matériel	F			2 432 959 062,60
1-3	Fourniture et installation de laboratoire de chantier	F			1 216 479 531,30
1-4	Repliement de laboratoire de chantier	F			608 239 765,65
				PRIX TOTAL :	9 123 596 485DA
2. TERRASSEMENT :					
2-1	Décapage de terre végétale.	M³	750,00	72 745,641	54559230,00
2-2	Mise en Déblais	M3	1 200,00	107313.1	128775720
2-3	Mise en remblai	M³	3 800,00	206534,5	784831100
2-5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M3	2 600,00	64595.4	167948040
2-6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	M³	3 200,00	34260,8	109634560
2-7	Fourniture et mise en œuvre de sous Ballast	M³	3 800,00	32406,0	123142800
2-8	Évacuation des terres en excès.	M³	600,00	3021498,26	1 812 898 955,40
				PRIX TOTAL :	3 181 790 405 DA
3. DRAINAGE ET ASSAINISSEMENT :					
3-1	Buses de tuyaux en béton arme diamètre 1500 mm.	Ml	34 000,00	9 000,00	306 000 000,00
3-2	Fossé en béton arme.	Ml	15 000,00	27 000,00	405 000 000,00
3-3	F/p dalot en béton armée	M³	12 000,00	97,10	1 165 200,00
3-4	Enrochement	M³	2 500,00	151,00	377 500,00
				PRIX TOTAL :	7 125 427 000 DA
4. TRAVAUX DE LA VOIE SUR LE PARCOURS :					
5-1	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60,34 kg/m).	T	199962.00	21 845,392	4 368 248 315,10
5-2	Fourniture des traverses mono-bloc.	U	12 000,00	302 350	3 628 200 000,00
5-3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles).	U	1 800,00	1 209 400	2 176 920 000,00
5-4	Pose de la voie.	Ml	8 500,00	181 410,0	1 541 985 000,00
5-6	Soudures électriques	U	18 400,00	1666	347 698 666,67
5-7	Fourniture et pose ballast	M³	7 400,00	50811,6	376005840
				PRIX TOTAL :	1 243 905 782 DA

Lot.N°	Désignations		Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant
5. TRAVAUX DE LA VOIE DANS LA GARE						
5-1	Fourniture des rails neufs UIC 60 (60,34 kg/m)		T	199962,00	1 343,670	268 683 029,32
5-2	Fourniture des traverses mono-bloc		U	12 000,00	25005	30060000,00
5-3	Fourniture des attachés pour rails UIC 60 (butées isolantes, lames élastiques, goujons et semelles)		U	1 800,00	74 388	133 898 400,00
5-4	Pose de la voie		Ml	8 500,00	11 158,20	94 844 700,00
5-5	Soudures électriques		U	18 400,00	278	511 5200,00
5-6	Fourniture adv	UIC 60-500-1/12	U	18900000,00	04	75600000,00
5-7		UIC 60-300-1/9	U	15700000,00	02	31400000,00
5-8	Pose adv	UIC 60-500-1/12	U	654 000,00	04	2616000,00
5-9		UIC 60-300-1/9	U	580 000,00	02	1160000,00
5-10	Heurtoir		U	620 000,00	02	1240 000,00
5-11	Traverses de Garage Franc		U	55 000,00	06	330000,00
					PRIX TOTAL :	6 449 473 293DA
MONTANT TOTAL DU PROJET (en HT) :						**27,124,192,970.0 DA**
MONTANT TOTAL FINAL (en TTC) :						**32,277,789,636.68 DA**

Tableau XIII : Devis Quantitatif et Estimatif.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

De nos jours, les infrastructures de transport sont un reflet direct du niveau de développement d'un pays en termes de mobilité, d'échanges commerciaux et de communication. Ainsi, les autorités publiques ont initié un programme ambitieux visant à moderniser les lignes existantes et à en créer de nouvelles.

Le tronçon examiné fait partie de ce programme et concerne la nouvelle liaison ferroviaire entre Bechar et Tindouf, précisément à Beni Abbes, du PK 300+000 au PK 315+000.

Ce projet de fin d'études nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie du transport ferroviaire dans ses multiples dimensions. Le travail réalisé dans le cadre de ce projet a été une opportunité de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises durant nos années de formation à l'ENSTP et de nous familiariser avec les défis auxquels les ingénieurs sont confrontés.

L'étude APD de cette nouvelle liaison ferroviaire nous a conduits à examiner des éléments essentiels tels que la planification du tracé, la conception des infrastructures et des installations, tout en intégrant les aspects environnementaux et de développement durable pour assurer une conception équilibrée et respectueuse de l'environnement.

Au cours de ce travail, nous avons également pu développer des compétences en analyse de données, en utilisation d'outils de modélisation et de simulation (AutoCAD, Covadis,), ainsi qu'en gestion de projet. Nous avons appris à travailler en équipe, à communiquer efficacement avec les parties prenantes (durant la période de stage), et à prendre des décisions éclairées en fonction des contraintes et des objectifs du projet.

En conclusion, ce projet de fin d'études a été une expérience précieuse dans le domaine du transport ferroviaire. Nous sommes convaincus que les compétences et les connaissances que nous avons acquises seront bénéfiques pour notre future carrière, et nous sommes enthousiastes à l'idée de contribuer au développement et à l'amélioration des systèmes de transport ferroviaire à l'avenir. Cependant, nous reconnaissons que ces acquis doivent être complétés par des compétences solides en gestion de projet, car être chef de projet n'est pas seulement une fonction, mais une véritable profession.

Bibliographie

[1] : Groupe d'experts nationaux et internationaux, Règlement Parasismique des Ouvrages d'Art 2008, Alger, ministère des Travaux Publics.
[2] les normes UIC (741). Quais des gares à voyageurs-Règles pour l'implantation des bordures des quais par rapport à la voie.
[3] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 2ème Edition.
[4] UIC 719 R, Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaire, 3ème Edition.
[5] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 6 : Géométrie de la voie, 2005.
[6] SETIRAIL, « Rapport de l'étude géologique ».
[7] SETIRAIL, « Rapport de l'étude hydrologique et hydraulique ».
[8] Sétra, Guide technique : Assainissement routier, Octobre 2006.
[9] SNTF, Référentiel technique, version 02, chapitre 7.2.2 : Ouvrages en terre pour plateformes ferroviaires.
[10] SNTF, Fiche de normalisation : aménagement et gare, trace des voies, 3e édition, JUIN 1985.
[11] SNTF, chapitre 10, signalisation et télécommunication, version 2.
[12] Nationale des Transports Ferroviaires, [http://www.sntf.dz], Société Algérie.
[13] Mémoires de voie ferrée école nationale des travaux publics.
[14] IN-3278-Tome 2 – Ouvrage en terre.
[15] ST N°590 B-Oct 95.

ANNEXES

ANNEXE A : Listing Axe en plan

Elts Caractéristiques				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	218.21gr	225,458	300+000.000	405426,968	3301710,402
Clothoïde 1	Paramètre	489,898	100,000	300+225.458	405363,340	3301494,109
Arc 1	Rayon	2400.000 m	221,815	300+325.458	405335,786	3301397,982
	Centre X	407651.836 m				
	Centre Y	3300768.769 m				
Clothoïde 2	Paramètre	-489,898	100,000	300+547.273	405287,599	3301181,545
Droite 2	Gisement	209.68gr	1489,512	300+647.273	405271,771	3301082,808
Clothoïde 3	Paramètre	-489,898	100,000	302+136.784	405046,212	3299610,474
Arc 2	Rayon	-2400.000 m	740,889	302+236.784	405030,383	3299511,736
	Centre X	402666.146 m				
	Centre Y	3299924.512 m				
Clothoïde 4	Paramètre	489,898	100,000	302+977.674	404793,210	3298812,937
Droite 3	Gisement	231.98gr	2443,256	303+077.674	404745,669	3298724,963
Clothoïde 5	Paramètre	489,898	100,000	305+520.930	403569,195	3296583,606
Arc 3	Rayon	2400.000 m	343,622	305+620.930	403521,654	3296495,632
	Centre X	405648.718 m				
	Centre Y	3295384.056 m				
Clothoïde 6	Paramètre	-489,898	100,000	305+964.552	403384,811	3296180,753
Droite 4	Gisement	220.22gr	453,863	306+064.552	403352,929	3296085,974
Clothoïde 7	Paramètre	489,898	100,000	306+518.414	403211,218	3295654,802
Arc 4	Rayon	2400.000 m	430,426	306+618.414	403180,655	3295559,588
	Centre X	405475.783 m				
	Centre Y	3294857.885 m				
Clothoïde 8	Paramètre	-489,898	100,000	307+048.841	403092,294	3295138,919
Droite 5	Gisement	206.15gr	331,897	307+148.841	403081,965	3295039,456
Clothoïde 9	Paramètre	-489,898	100,000	307+480.738	403049,976	3294709,104
Arc 5	Rayon	-2400.000 m	547,894	307+580.738	403039,647	3294609,640
	Centre X	400656.158 m				
	Centre Y	3294890.674 m				
Clothoïde 10	Paramètre	489,898	100,000	308+128.632	402914,206	3294077,521
Droite 6	Gisement	223.33gr	187,587	308+228.632	402879,022	3293983,917
Clothoïde 11	Paramètre	-489,898	100,000	308+416.219	402811,802	3293808,788
Arc 6	Rayon	-2400.000 m	588,076	308+516.219	402775,321	3293715,682
	Centre X	400553.104 m				
	Centre Y	3294622.187 m				
Clothoïde 12	Paramètre	489,898	100,000	309+104.294	402489,037	3293203,679
Droite 7	Gisement	241.58gr	3954,333	309+204.294	402428,819	3293123,845
Clothoïde 13	Paramètre	707,107	100,000	313+158.627	400025,689	3289983,508
Arc 7	Rayon	5000.000 m	533,135	313+258.627	399965,182	3289903,891
	Centre X	403966.123 m				
	Centre Y	3286905.146 m				
Clothoïde 14	Paramètre	-707,107	100,000	313+791.762	399668,763	3289461,060
Droite 8	Gisement	233.52gr	1108,238	313+891.762	399618,219	3289374,774
				315+000.000	399061,260	3288416,657
Longueur totale de l'axe 15000.000 mètre(s)						

ANNEXE B : Listing Profil en long

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.37 %	393,311	300+000.000	591,660
Cercle 1	Rayon	-20000.000 m	84,075	300+393.311	590,186
	Sommet Absc.	300+318.344 m			
	Sommet Alt.	590.327 m			
Pente 2	Pente	-0.80 %	189,622	300+477.387	589,694
Cercle 2	Rayon	25000.000 m	396,280	300+667.009	588,186
	Sommet Absc.	300+865.812 m			
	Sommet Alt.	587.396 m			
Pente 3	Pente	0.79 %	110,930	301+063.289	588,176
Cercle 3	Rayon	-20000.000 m	147,050	301+174.219	589,052
	Sommet Absc.	301+332.200 m			
	Sommet Alt.	589.676 m			
Pente 4	Pente	0.05 %	409,690	301+321.268	589,673
Cercle 4	Rayon	-50000.000 m	126,749	301+730.958	589,897
	Sommet Absc.	301+758.289 m			
	Sommet Alt.	589.904 m			
Pente 5	Pente	-0.20 %	2268,081	301+857.707	589,806
Cercle 5	Rayon	-100000.000 m	192,212	304+125.789	585,296
	Sommet Absc.	303+926.951 m			
	Sommet Alt.	585.494 m			
Pente 6	Pente	-0.39 %	364,040	304+318.000	584,729
Cercle 6	Rayon	30000.000 m	98,261	304+682.040	583,305
	Sommet Absc.	304+799.355 m			
	Sommet Alt.	583.076 m			
Pente 7	Pente	-0.06 %	734,072	304+780.301	583,082
Cercle 7	Rayon	-20000.000 m	125,105	305+514.373	582,616
	Sommet Absc.	305+501.671 m			
	Sommet Alt.	582.620 m			
Pente 8	Pente	-0.69 %	424,480	305+639.479	582,145
Cercle 8	Rayon	20000.000 m	153,052	306+063.958	579,220
	Sommet Absc.	306+201.766 m			
	Sommet Alt.	578.745 m			
Pente 9	Pente	0.08 %	245,645	306+217.011	578,751
Cercle 9	Rayon	-20000.000 m	166,975	306+462.656	578,938
	Sommet Absc.	306+477.900 m			
	Sommet Alt.	578.944 m			
Pente 10	Pente	-0.76 %	532,828	306+629.631	578,369
Cercle 10	Rayon	22536.778 m	124,182	307+162.458	574,326
	Sommet Absc.	307+333.434 m			
	Sommet Alt.	573.678 m			
Pente 11	Pente	-0.21 %	379,672	307+286.640	573,726
Cercle 11	Rayon	288797.388 m	141,558	307+666.312	572,938
	Sommet Absc.	308+265.950 m			
	Sommet Alt.	572.315 m			
Pente 12	Pente	-0.16 %	906,884	307+807.870	572,679
Cercle 12	Rayon	-25000.000 m	72,198	308+714.754	571,240
	Sommet Absc.	308+675.099 m			

	Sommet Alt.	571.272 m			
Pente 13	Pente	-0.45 %	809,384	308+786.951	571,021
Cercle 13	Rayon	20000.000 m	89,481	309+596.335	567,400
	Sommet Absc.	309+685.817 m			
	Sommet Alt.	567.200 m			
Pente 14	Pente	0.00 %	2689,614	309+685.817	567,200
Cercle 14	Rayon	-11979.779 m	95,835	312+375.431	567,200
	Sommet Absc.	312+375.431 m			
	Sommet Alt.	567.200 m			
Pente 15	Pente	-0.80 %	473,880	312+471.266	566,817
Cercle 15	Rayon	15000.000 m	112,496	312+945.146	563,026
	Sommet Absc.	313+065.142 m			
	Sommet Alt.	562.546 m			
Pente 16	Pente	-0.05 %	1942,358	313+057.642	562,548
				315+000.000	561,576
Longueur totale de l'axe 15000.000 mètre(s)					

ANNEXE C : Canalisation circulaires partiellement

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,0021	0,189	0,033	0,0600	0,548	0,166	0,1179	0,670	0,232	0,1758	0,750	0,283	0,2337	0,814	0,329	0,2916	0,866	0,370
0,0031	0,219	0,040	0,0611	0,551	0,167	0,1190	0,672	0,233	0,1769	0,752	0,284	0,2348	0,815	0,329	0,2927	0,867	0,371
0,0042	0,249	0,048	0,0621	0,554	0,169	0,1200	0,674	0,234	0,1779	0,753	0,285	0,2359	0,816	0,330	0,2938	0,867	0,371
0,0053	0,266	0,053	0,0632	0,557	0,170	0,1211	0,676	0,235	0,1790	0,755	0,286	0,2369	0,817	0,331	0,2948	0,868	0,372
0,0064	0,278	0,057	0,0643	0,560	0,172	0,1222	0,677	0,236	0,1801	0,756	0,287	0,2380	0,818	0,332	0,2959	0,869	0,373
0,0074	0,290	0,061	0,0653	0,563	0,173	0,1233	0,679	0,237	0,1812	0,757	0,288	0,2391	0,819	0,333	0,2970	0,870	0,373
0,0085	0,302	0,065	0,0664	0,566	0,175	0,1243	0,681	0,238	0,1822	0,759	0,289	0,2401	0,820	0,333	0,2981	0,871	0,374
0,0096	0,315	0,069	0,0675	0,569	0,176	0,1254	0,682	0,239	0,1833	0,760	0,290	0,2412	0,821	0,334	0,2991	0,872	0,375
0,0107	0,327	0,073	0,0686	0,571	0,177	0,1265	0,684	0,240	0,1844	0,762	0,290	0,2423	0,822	0,335	0,3002	0,873	0,376
0,0117	0,337	0,076	0,0696	0,574	0,179	0,1275	0,686	0,241	0,1855	0,763	0,291	0,2434	0,823	0,336	0,3013	0,874	0,376
0,0128	0,344	0,079	0,0707	0,576	0,180	0,1286	0,687	0,242	0,1865	0,764	0,292	0,2444	0,824	0,337	0,3023	0,874	0,377
0,0139	0,352	0,082	0,0718	0,579	0,181	0,1297	0,689	0,243	0,1876	0,766	0,293	0,2455	0,825	0,337	0,3034	0,875	0,378
0,0149	0,360	0,085	0,0729	0,582	0,183	0,1308	0,691	0,244	0,1887	0,767	0,294	0,2466	0,826	0,338	0,3045	0,876	0,378
0,0160	0,367	0,088	0,0739	0,584	0,184	0,1318	0,692	0,245	0,1897	0,768	0,295	0,2477	0,828	0,339	0,3056	0,877	0,379
0,0171	0,375	0,090	0,0750	0,587	0,185	0,1329	0,694	0,246	0,1908	0,770	0,296	0,2487	0,829	0,340	0,3066	0,878	0,380
0,0182	0,382	0,093	0,0761	0,589	0,187	0,1340	0,696	0,247	0,1919	0,771	0,297	0,2498	0,830	0,341	0,3077	0,879	0,381
0,0192	0,390	0,096	0,0771	0,592	0,188	0,1351	0,698	0,248	0,1930	0,773	0,298	0,2509	0,831	0,341	0,3088	0,880	0,381
0,0203	0,397	0,099	0,0782	0,594	0,189	0,1361	0,699	0,250	0,1940	0,774	0,299	0,2519	0,832	0,342	0,3099	0,881	0,382
0,0214	0,404	0,101	0,0793	0,597	0,190	0,1372	0,701	0,251	0,1951	0,775	0,300	0,2530	0,833	0,343	0,3109	0,881	0,383
0,0224	0,409	0,103	0,0804	0,599	0,192	0,1383	0,702	0,251	0,1962	0,777	0,300	0,2541	0,834	0,344	0,3120	0,882	0,384
0,0235	0,415	0,105	0,0814	0,602	0,193	0,1393	0,704	0,252	0,1972	0,778	0,301	0,2552	0,835	0,345	0,3131	0,883	0,384
0,0246	0,420	0,108	0,0825	0,604	0,194	0,1404	0,705	0,253	0,1983	0,779	0,302	0,2562	0,836	0,345	0,3141	0,884	0,385
0,0257	0,425	0,110	0,0836	0,607	0,196	0,1415	0,706	0,254	0,1994	0,780	0,303	0,2573	0,837	0,346	0,3152	0,885	0,386
0,0267	0,431	0,112	0,0846	0,609	0,197	0,1426	0,708	0,255	0,2005	0,781	0,304	0,2584	0,838	0,347	0,3163	0,886	0,386
0,0278	0,436	0,114	0,0857	0,612	0,198	0,1436	0,709	0,256	0,2015	0,782	0,304	0,2594	0,839	0,348	0,3174	0,887	0,387
0,0289	0,441	0,116	0,0868	0,615	0,200	0,1447	0,710	0,257	0,2026	0,783	0,305	0,2605	0,840	0,349	0,3184	0,887	0,388
0,0300	0,447	0,118	0,0879	0,617	0,201	0,1458	0,712	0,258	0,2037	0,784	0,306	0,2616	0,841	0,349	0,3195	0,888	0,389
0,0310	0,452	0,120	0,0889	0,619	0,202	0,1468	0,713	0,259	0,2048	0,785	0,307	0,2627	0,842	0,350	0,3206	0,889	0,389
0,0321	0,457	0,122	0,0900	0,621	0,203	0,1479	0,715	0,260	0,2058	0,786	0,308	0,2637	0,843	0,351	0,3216	0,890	0,390
0,0332	0,463	0,125	0,0911	0,623	0,204	0,1490	0,716	0,261	0,2069	0,787	0,308	0,2648	0,844	0,352	0,3227	0,891	0,391
0,0342	0,467	0,126	0,0922	0,625	0,205	0,1501	0,717	0,261	0,2080	0,788	0,309	0,2659	0,845	0,352	0,3238	0,892	0,391
0,0353	0,471	0,128	0,0932	0,627	0,206	0,1511	0,719	0,262	0,2090	0,789	0,310	0,2670	0,846	0,353	0,3249	0,893	0,392
0,0364	0,474	0,130	0,0943	0,629	0,208	0,1522	0,720	0,263	0,2101	0,790	0,311	0,2680	0,847	0,354	0,3259	0,894	0,393
0,0375	0,478	0,132	0,0954	0,631	0,209	0,1533	0,721	0,264	0,2112	0,791	0,312	0,2691	0,848	0,355	0,3270	0,894	0,394
0,0385	0,481	0,133	0,0964	0,632	0,210	0,1544	0,723	0,265	0,2123	0,792	0,312	0,2702	0,848	0,355	0,3281	0,895	0,394
0,0396	0,485	0,135	0,0975	0,634	0,211	0,1554	0,724	0,266	0,2133	0,794	0,313	0,2712	0,849	0,356	0,3292	0,896	0,395
0,0407	0,489	0,137	0,0986	0,636	0,212	0,1565	0,726	0,267	0,2144	0,795	0,314	0,2723	0,850	0,357	0,3302	0,897	0,396
0,0418	0,492	0,139	0,0997	0,638	0,213	0,1576	0,727	0,268	0,2155	0,796	0,315	0,2734	0,851	0,357	0,3313	0,898	0,397
0,0428	0,496	0,140	0,1007	0,640	0,214	0,1586	0,728	0,269	0,2166	0,797	0,316	0,2745	0,852	0,358	0,3324	0,899	0,397
0,0439	0,500	0,142	0,1018	0,642	0,215	0,1597	0,730	0,270	0,2176	0,798	0,317	0,2755	0,853	0,359	0,3334	0,900	0,398
0,0450	0,503	0,144	0,1029	0,644	0,216	0,1608	0,731	0,270	0,2187	0,799	0,317	0,2766	0,854	0,360	0,3345	0,900	0,399
0,0460	0,507	0,146	0,1040	0,646	0,217	0,1619	0,733	0,271	0,2198	0,800	0,318	0,2777	0,854	0,360	0,3356	0,901	0,399
0,0471	0,511	0,147	0,1050	0,648	0,219	0,1629	0,734	0,272	0,2208	0,801	0,319	0,2788	0,855	0,361	0,3367	0,902	0,400
0,0482	0,514	0,149	0,1061	0,650	0,220	0,1640	0,735	0,273	0,2219	0,802	0,320	0,2798	0,856	0,362	0,3377	0,903	0,401
0,0493	0,518	0,151	0,1072	0,652	0,221	0,1651	0,737	0,274	0,2230	0,803	0,321	0,2809	0,857	0,363	0,3388	0,904	0,401
0,0503	0,521	0,152	0,1082	0,654	0,222	0,1661	0,738	0,275	0,2241	0,804	0,321	0,2820	0,858	0,363	0,3399	0,904	0,402
0,0514	0,524	0,154	0,1093	0,656	0,223	0,1672	0,739	0,276	0,2251	0,805	0,322	0,2830	0,859	0,364	0,3410	0,905	0,403
0,0525	0,527	0,155	0,1104	0,658	0,224	0,1683	0,741	0,277	0,2262	0,806	0,323	0,2841	0,860	0,365	0,3420	0,906	0,403
0,0535	0,530	0,157	0,1115	0,660	0,225	0,1694	0,742	0,278	0,2273	0,807	0,324	0,2852	0,861	0,365	0,3431	0,906	0,404
0,0546	0,533	0,158	0,1125	0,662	0,226	0,1704	0,744	0,279	0,2283	0,808	0,325	0,2863	0,861	0,366	0,3442	0,907	0,405
0,0557	0,536	0,160	0,1136	0,664	0,227	0,1715	0,745	0,280	0,2294	0,809	0,325	0,2873	0,862	0,367	0,3452	0,908	0,405
0,0568	0,539	0,161	0,1147	0,665	0,228	0,1726	0,746	0,280	0,2305	0,811	0,326	0,2884	0,863	0,368	0,3463	0,909	0,406
0,0578	0,542	0,163	0,1157	0,667	0,229	0,1737	0,748	0,281	0,2316	0,812	0,327	0,2895	0,864	0,368	0,3474	0,909	0,407

ANNEXE D : Dimensionnement des Ouvrage Hydrauliques (Buses)

Les BV	**Pente**	Débit	D arrondi	D adpoté(mm)	Qps	Vps	Rq= Q/Qps	Rv=V/Vps	Rh
1	0,01	3,425	1184	**1500**	6,429	3,64	0,5327	1,015	0,519
2	0,01	3,604	1207	**1500**	6,429	3,64	0,5606	1,027	0,536
3	0,01	2,446	1044	**1500**	6,429	3,64	0,3804	0,931	0,427
4	0,01	6,185	1478	**1500**	6,429	3,64	0,962	1,139	0,789
5	0,01	3,174	1151	**1500**	6,429	3,64	0,4937	0,996	0,496
6	0,01	3,102	1141	**1500**	6,429	3,64	0,4825	0,991	0,49
7	0,01	1,125	780	**1500**	6,429	3,64	0,1749	0,749	0,282
8	0,01	1,254	813	**1500**	6,429	3,64	0,1951	0,775	0,3
9	0,01	3,544	1200	**1500**	6,429	3,64	0,5513	1,023	0,53
10	0,01	1,687	908	**1500**	6,429	3,64	0,2624	0,842	0,35
11	0,01	1,912	952	**1500**	6,429	3,64	0,2973	0,87	0,373
12	0,01	0,914	722	**1500**	6,429	3,64	0,1421	0,707	0,255
13	0,01	1,542	878	**1500**	6,429	3,64	0,2398	0,82	0,333
15	0,01	4,62	1325	**1500**	6,429	3,64	0,7185	1,087	0,628
17	0,01	2,912	1114	**1500**	6,429	3,64	0,4529	0,974	0,471
18	0,01	2,498	1052	**1500**	6,429	3,64	0,3885	0,936	0,432
19	0,01	2,643	1075	**1500**	6,429	3,64	0,411	0,951	0,446
20	0,01	2,985	1125	**1500**	6,429	3,64	0,4643	0,981	0,479
21	0,01	4,226	1282	**1500**	6,429	3,64	0,6573	1,066	0,592
23	0,01	2,041	975	**1500**	6,429	3,64	0,3174	0,887	0,387

ANNEXE E : Tableau des classes des sols

Classe de qualités des sols	Classification des sols (identification géotechnique)
QS0 : Sols impropres	0.1 sols organiques. 0.2 sols fins (comportant plus de 15% de fines) foisonné, humides et donc non compactables. 0.3 sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels par exemple). 0.6 sols mixtes « minéraux organique ».
QS1 : Sols médiocres	1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols0.2). 1.2 Roches très évolutives par exemple : - Craies de ρd <1.7t/m^3 et de friabilité forte – Marnes - Schistes altérés. 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2). 1.4 Roches évolutives par exemple : - Craies de ρd < 1.7 <t/m3 et de friabilité faible - Schistes non altérés. 1.5 Roches tendres par exemple : Si Microdeval en présence d'eau (MDE)>40 et Los Angeles LA>40.
QS2 : Sols moyens	2.1 Sol comportant de 5 à 15% de fines. 2.2 Sols comportant moins de 5% de fines mais uniformes (Cu≤6). 2.3 Roches moyennement dures par exemple : Si 25<MDE≤40 et 30<LA<40.
QS3 : Bons sols	3.1 Sols comportant moins de 5% de fines 3.2 Roches dures par exemples : Si MDE≤25 et LA≤30

Annexe F : Les épaisseurs minimales de la couche d'assise.

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

(e en mètres)

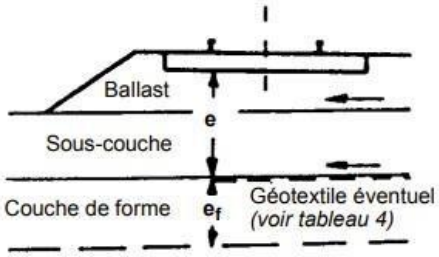


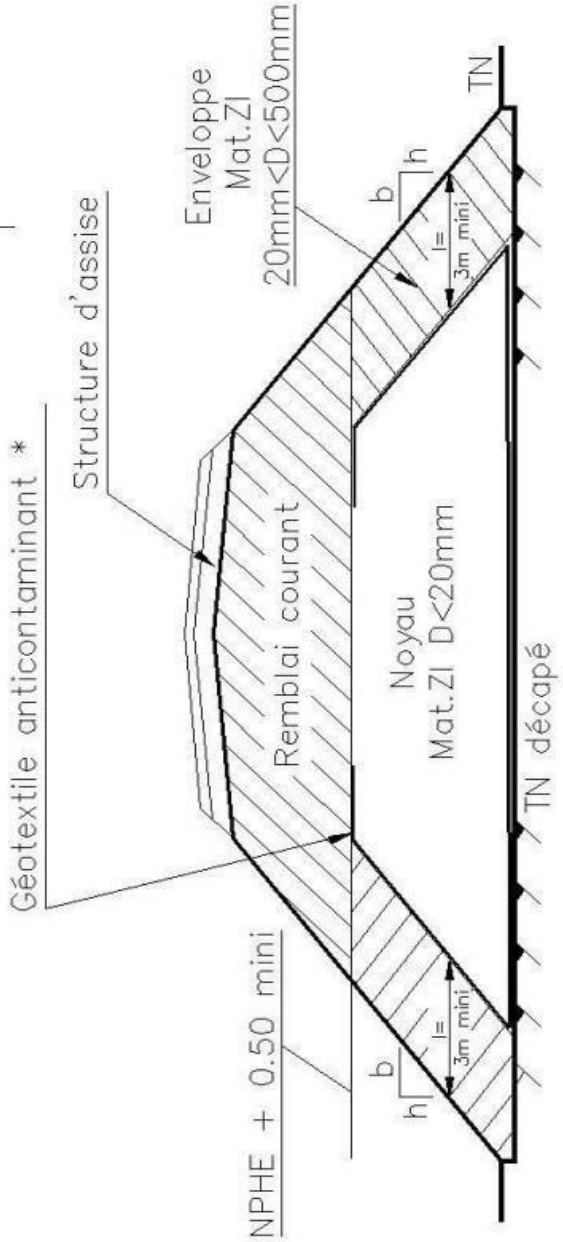
Fig. 9 - Calcul de l'épaisseur minimale "e" des couches d'assise

E	= 0,70 m	pour les plates-formes de classe de portance P1[a]
E	= 0,55 m	pour les plates-formes de classe de portance P2[a]
E	= 0,45 m	pour les plates-formes de classe de portance P3[a]
a	= 0	pour les groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V > 160 km/h, quel que soit le groupe UIC)[b]
a	= - 0,05 m	pour les groupes UIC 3 et 4[b]
a	= - 0,10 m	pour les groupes UIC 5 et 6[b]
b	= 0	pour les traverses bois de longueur 2,60 m
b	$= \frac{2,50 - L}{2}$	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
c	= - 0,10 m	à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autres que "7, 8, 9 sans voyageur"[b]
d	= 0	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 200 kN
d	= + 0,05 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 kN
d	= + 0,12 m	lorsque la charge maximale d'essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 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[a]
f	= + 0,05 m	pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
f	= + 0,10 m	pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse[a]
g	= +	géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2[c]
g	= 0	(pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3[c]

a. Les classes de portance des plates-formes sont définies au tableau 4.
b. Les groupes UIC sont définis dans la fiche n° 714 (édition du 01.01.89) (v oir Bibliographie).
c. Les classes de qualité des sols sont définies au tableau 3.

ANNEXE G : ANNEXE 7 de la norme IN 3278

Annexe 7 – Remblai de zone inondable avec noyau et enveloppe



Le NPHE (niveau des plus hautes eaux) est déterminé par l'étude hydraulique

* Si les conditions de Terzaghi ne sont pas respectées entre les matériaux du noyau et ceux de l'enveloppe

ANNEXE H : FICHE 7 de la norme ST N°590
« Matériaux de zone inondable »

SPECIFICATION TECHNIQUE N° 590B	CHAPITRE 2	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	EDITION mars-99	PAGE 26

ARTICLE 9	SPECIFICATIONS

Fiche n° 7 : Matériaux de zone inondable

Type de matériau : CiB3 , D3 , R21 , R22 , R41 , R42 , R61 , R62 , F31 , F71

désignation		Granulat 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]	[1]	
	P[D/20]		
	P[0,08]	<= 5 %	[2]
angularité			
forme			
propreté			
Caractéristiques complémentaires			
sensibilité au gel		non gélif	
dégradabilité		non mesurable	
granulats artificiels		[3]	

[1] si D <= 200 mm : P[D] = 99 à 85 % (Dmax = 1,25 D)
si D > 200 mm : P[D] >= 99 % (D = Dmax)

[2] mesuré sur la fraction 0/50

[3] voir recommandations d'emploi en annexes 1 et 2

ANNEXE I : Annexe 4 de UIC 719R

A.4 - Définition de la classe de qualité des sols à partir de la classification de la norme NF P 11 300

Classification de la norme NF P 11 300			Classe de qualité des sols (voir tableau 3 - page 15)			
Classe	**Désignation**	**Sous-classe**	**QS 0**	**QS 1**	**QS 2**	**QS 3**
A	*Sols fins*	**A1**	A1h	A1m & A1s	A1s B.C. Hydro. saison sèche	
		A2	A2h	A2m & A2s	A2s B.C. Hydro. saison sèche	
		A3	A3h	A3m & A3s		
		A4	A4h	A4m & A4s[a]		
B	*Sols sableux et graveleux avec fines*	**B1**				
		B2	B2h	B2m	B2s B.C. Hydro.	
		B3				Propre et bien gradué Dureté élevée
		B4	B4h	B4m	B4s	Propre et bien gradué Dureté élevée
		B5	B5h	B5m	B5s	
		B6	B6h	B6m	B6s B.C. Hydro.	
C	*Sols comportant des fines et de gros éléments*	**C1**	La classe de qualité est celle de la fraction 0/50			
		C2	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w \geq 1{,}25$ wopn	fraction 0/50 de classe de qualité QS0 $w < 1{,}25$ wopn	fraction 0/50 de classe de qualité QS1	Propre et bien gradué Dureté élevée
D	*Sols insensibles à l'eau*	**D1**			Assurer la traficabilité Planche d'essai	
		D2		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée
		D3		Dureté faible	Dureté moyenne	Propre et bien gradué Dureté élevée

Légende

h : matériau classé humide (h) ou très humide (th) selon la norme NF P 11 300
m : matériau classé d'humidité moyenne selon la norme NF P 11 300
s : matériau classé sec (s) ou très sec (ts) selon la norme NF P 11 300
w : teneur en eau
wopn : teneur en eau à l'optimum Proctor Normal
B.C. Hydro. : bonnes conditions hydrologiques et hydrogéologiques
Planche d'essai : planche d'essai obligatoire

a. Ne prend pas en compte les sols gonflants qui doivent faire l'objet d'une étude particulière.