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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

ÉTUDE D'APD DE LA LIGNE FERROVIAIRE HASSI MEFSOUKH-MOSTAGHANEM DU PK 7+500 AU PK 18+000 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE BETHIOUA

Présenté par :

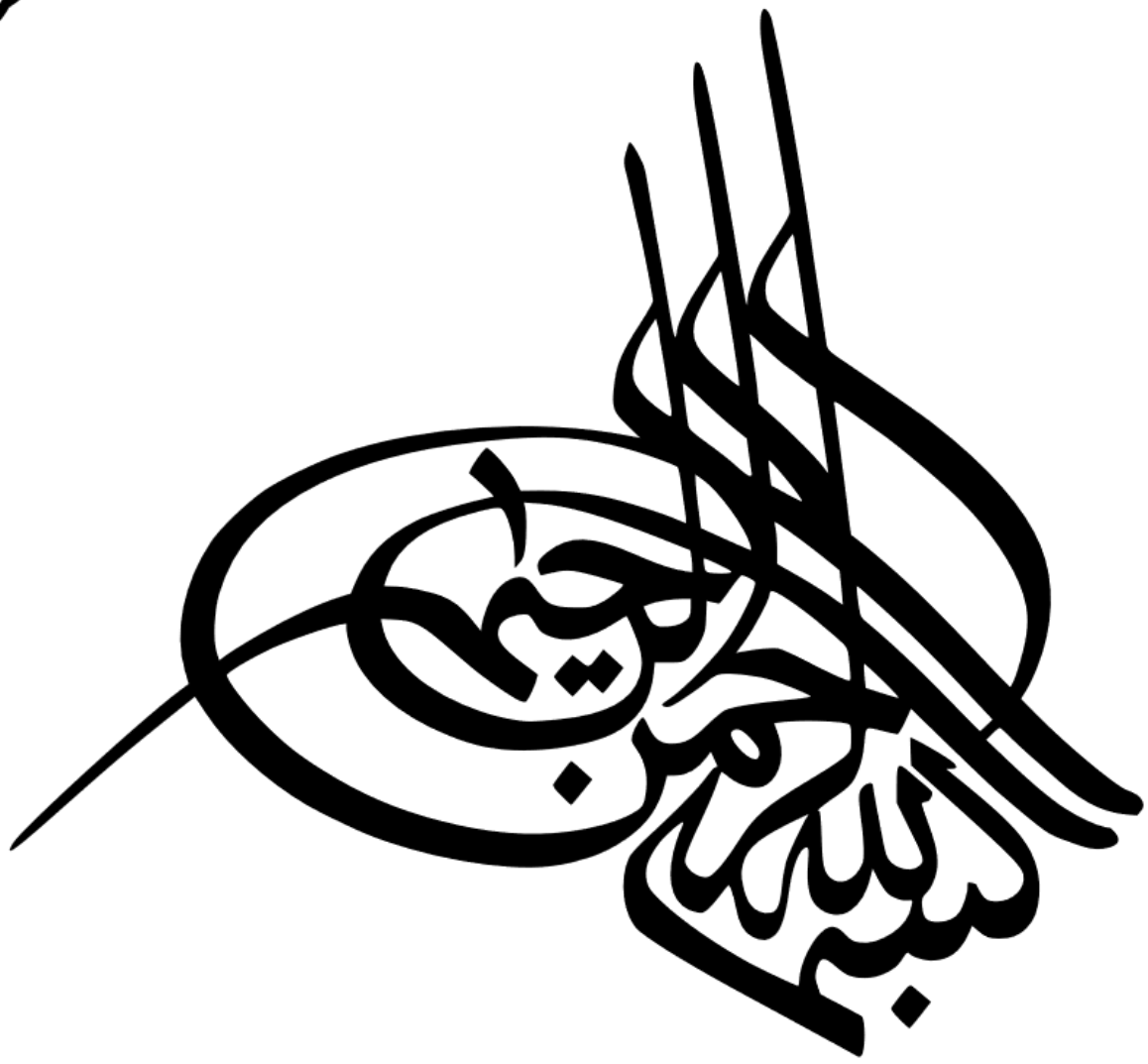
Gouasmia Mohamed El Amine
Lazizi Torki Imed Eddine

Encadré par :

Mr. Sakhara Mohamed Cherif

Promotion 2023 / 2024

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

اهداء

بسم الله الرحمان الرحيم و الصلاة و السلام على سيدنا محمد صلوات ربي و سلامه عليه و على اله و أصحابه الطيبين

أما بعد ,قال الله تعالى '' و قضى ربك ألا تعبدوا الا اياه و بالوالدين احسانا '' و عليه فإن الفضل الأول و الأخير لله عز و جل الذي وفقنا و سدد خطانا و علمنا ما لم نكن نعلم و كان لنا العون و السند منه سبحانه و تعالى وكذلك الفضل لوالدي الكريمين على سهرهما و تربيتهما لي وكذلك مشايخنا الكرماء و من علمنا.

أتقدم بشكري لعائلتي قواسمية و صياد من كبيرها الى صغيرها و خالص الشكر لاخواني و أخواتي الأحباء.

و أود تقديم الشكر لزملائي و أصدقائي الأعزاء لمساندتهم لي و وقوفهم معي في السراء و الضراء و على رأسهم عماد لعزيزي, أنيس بوعلواش , أسامة بن دريهم, سمير دميدم, عبد الحق جفال, البخاري اولاد عمار , جواد لفقير, عبد اللطيف لمرابط, عبد الرحمان منتصر, أيمن بوزيدي, عبد القادر مقري الوجري, أشرف العرفي, أكرم بلحمرة, أنيس مناالله, حشيد عماد, اقبال طهراوي, عبد الرؤوف حجوطي ,فيصل غرينو ,عبدي عبدالله,عبد السلام غرناوط, بلعباس عبدالمالك وكل من كان لنا عونا في الصغيرة و الكبيرة.

و أخيرا لجميع زملائي الجامعيين في دفعة 2023 و كذلك دفعة 2024.

و طاقم العاملين في المدرسة الوطنية للاشغال العمومية والاقامة الجامعية قاريدي 1 لسهرهم على حسن تسيير المنظومة و جزيل الشكر لطاقم عمل قسم الهياكل و المنشات القاعدية DIB.

و أخيرا نسأل الله عز وجل أن تكون هذه المذكرة ذات منفعة لقارئيها.

إن أصبت فمن الله و ان أخطأت فمن نفسي و الشيطان.

و لا ننس الدعاء بالنصر القريب لاخواننا المسلمين المستضعفين في فلسطين و بقاع العالم.

Dédicace :

À mes chers parents, pour leur amour infini, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices.

À mon frère Bilel et mes sœurs, ainsi qu'à toute la famille LAZIZI, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de ma formation.

À mes frères Amine, Adem, Salah, Farouk, Miloud, Radouane, et abd rahime, pour leur amitié, leur soutien et les moments inoubliables partagés ensemble.

À la promotion 2019/2024 de L'ESGEE et L'ENSTP, et en particulier à la promotion DIB, pour leur camaraderie et leur solidarité.

À tous les enseignants de l'ENSTP, et spécialement à ceux du département de DIB, pour leur expertise, leur dévouement et leur enseignement précieux.

À toute l'équipe travailleuse de l'ENSTP, pour leur contribution à la réussite de notre formation.

Et à toutes les autres personnes, de près ou de loin.

ملخص

يدرس هذا المشروع التصميم التفصيلي لخط السكك الحديدية الذي يربط بين مدينتي حاسي مفسوخ ومستغانم. يمتد المقطع المدروس من النقطة الكيلومترية 7+500 إلى 18+000 على طول يزيد عن 10 كيلومترات، مع إنشـــاء محطة بطيوة لنقل البضـائع والركاب .تم تصـميم المشـروع وفقاً لمعايير الاتحاد الدولي للسـكك الحديدية (UIC) وتوصـيات الشـركة الوطنية للنقل بالســكك الحديدية(SNTF) ، باســتخدام برنامج الدراســة والتصــميم CIVIL 3D ، ونظام المعلومات الجغرافية GOOGLE EARTH PRO، وكذلك برنامج GeoStudio لدراسة استقرار المنحدرات.

Résume

Ce projet étudie la conception détaillée de la ligne de chemin de fer reliant les villes de Hassi Mefsoukh et Mostaganem. Le tronçon étudié s'étend du point kilométrique 7+500 à 18+000 sur une longueur de plus de 10 km, avec la création de la station Bethioua pour le transport de marchandises et de passagers.

Le projet a été conçu conformément aux normes de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) et aux recommandations de la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), en utilisant le logiciel d'étude et de conception CIVIL 3D, le système d'information géographique GOOGLE EARTH PRO, ainsi que le logiciel GeoStudio pour l'étude de la stabilité des talus.

Abstract

This project studies the detailed design of the railway line connecting the cities of Hassi Mefsoukh and Mostaganem. The section studied extends from kilometer point 7+500 to 18+000, covering a length of over 10 km, with the creation of the Bethioua station for the transport of goods and passengers.

The project was designed in accordance with the standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the National Railway Transport Company (SNTF), using the study and design software CIVIL 3D, the geographic information system GOOGLE EARTH PRO, as well as the GeoStudio software for the study of slope stability.

Remerciement :

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **ALLAH (Dieu)** Le Tout Puissant, pour nous avoir accordé le courage et la détermination nécessaires à la poursuite de nos études et à la réalisation de ce projet. La rédaction de ces remerciements est une tâche délicate, car il est difficile de résumer en quelques mots les années passées à l'ENSTP. Néanmoins, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance sincère à tous ceux qui ont contribué à notre réussite.

Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous ont aidés à élaborer ce projet Nous remercions également chaleureusement tous les enseignants le personnel de l'école ainsi que la directrice sans qui nous n'aurions pas fait autant Nous tenons également à remercier les honorables membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont accordés en acceptant d'évaluer notre travail Nous remercions aussi le groupe COSIDER et le bureau d'études Moussa Smail pour leurs soutiens et leurs remarques pendant toute la période de stage. Que tous ceux on celles qui nous ont apportés leur soutien et qui nous ont aidé, de près ou de loin, pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression de notre vive et sincère reconnaissance, en particulier nos parents, familles et amis

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

Symbole	Désignation	Unité
R	Rayon de raccordement circulaire	m
R_{min}	Rayon minimal	m
L_{min}	Longueur minimale de l'alignement droit	m
d_{max}	Dévers maximum	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
I_{max}	Insuffisance de dévers maximal	mm
E	Excès de dévers	mm
E_{max}	Excès de dévers maximal	mm
dv	Dévers théorique	mm
L	Longueur de la courbe de transition	m
dp	Dévers pratique	mm
C	Coefficient de dévers	-
L_{RP}	Longueur du clothoïde	m
A	Paramètre de clothoïde	m
R_{vmin}	Rayon verticale minimal	m
dd/dl	Variation de dévers en fonction de la longueur	-
dd/dt	Variation de dévers en fonction du temps	-
Rp	Résistance de pointe	-
Wp	Limite de plasticité	-
WL	Limite de liquidité	-
Ip	Indice de plasticité	-
Ic	Indice de consistance	-
ɣh	Poids volumique humide	t/m^3
ɣd	Poids volumique sec	t/m
Sr	Degré de saturation	-
ω	Teneur en eau naturel	-
Rc	Résistance à la compression	Mpa
C′	Cohésion fictive du sol	Kpa
ϕ́	Angle de frottement fictif	°
ES	Equivalent de sable	cm
A	Superficie du bassin versant	ha
Qa	Débit d'apport	m^3/s
Qs	Débit de saturation	m^3/s
Cr	Coefficient de ruissèlement	-
I	Intensité de la pluie	mm/h
T	Période de retour de l'averse	ans
Tc	Temps de concentration	h
Sm	Section mouillée	m^2
Pm	Périmètre mouillée	m
Ks	Coefficient de rugosité	-
Rh	Rayon hydraulique	m
P	Pente moyenne du bassin versant	-
DH	Différence entre la cote moyenne et la cote minimale	m

Lw	Longueur du bassin versant	km
Qps	Débit a plein section	m^3/s
V	Vitesse d'écoulement	m/s

Abréviation Désignation

SNTF : Société Nationale des Transports Ferroviaires.

ANESRIF : Agence nationale d'études et de suivi de la réalisation des investissements Ferroviaires.

FS : Facteur de sécurité.

UIC : Union internationale des Chemins de fer.

APD : Avant-Projet Détaillé.

BV : Bassin versant.

ADV : Appareil de voie.

LBT : Ligne à Base Tension.

LMT : Ligne à Moyen Tension.

LHT : Ligne à Haute Tension.

AEP : Alimentation en eau potable.

GAZ : Gazoduc.

EIE : étude d'impact sur l'environnement.

PS : Passage Supérieure.

PI : Passage Inferieure.

GF : Gare Franc.

PK : Point Kilométrique.

PU : Puits de reconnaissance.

SC : Sondage carotté.

PD : Essai de pénétration dynamique.

QSi : Classe du sol (UIC).

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE IV

TABLEAU IV 1-COEFFICIENT D'ACCELERATION ET ZONAGE SISMIQUE DE TERRITOIRE NATIONAL (RPOA ,2008). 19
TABLEAU IV 2-REPARTITION DES ESSAIS DE SONDAGE CAROTTE (SC). 21
TABLEAU IV 3-REPARTITION DES ESSAIS DE PUITS DE RECONNAISSANCE A CIEL OUVERT (PU). 21
TABLEAU IV 4-REPARTITION DES ESSAIS AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD (PDL) 22
TABLEAU IV 5-REPARTITION DES ESSAIS DE SONDAGE CAROTTE (SC) 22
TABLEAU IV 6-REPARTITION DES ESSAIS AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD (PDL) 22
TABLEAU IV 7-REPARTITION DES ESSAIS DE PUITS DE RECONNAISSANCE A CIEL OUVERT 23
TABLEAU IV 8- LES ECHANTILLONS PRELEVES. 23
TABLEAU IV 9-PARAMETRES NATURELS 26

CHAPITRE V

TABLEAU V 1-PARAMETRES DE CONCEPTION DU PROJET 37
TABLEAU V 2-PARAMETRES CINEMATIQUE DU TRACE EN PLAN 38
TABLEAU V 3-LES PARAMETRES GEOMETRIQUES POUR UN RAYON DE 1100 M. 39
TABLEAU V 4-TABLEAU RECAPITULATIF DES PARAMETRES DU TRACE. 40

CHAPITRE VII

TABLEAU VII 1-HAUTEUR MINIMALE 48
TABLEAU VII 2-LIGNE ELECTRIQUE 48
TABLEAU VII 3-ROUTES ET PISTES 48
TABLEAU VII 4-PIPELINES 49

CHAPITRE VIII

TABLEAU VIII 1- : REPARTITION MENSUELLE DE LA TEMPERATURE (°C). 52
TABLEAU VIII 2- REPARTITION MENSUELLE DE L'EVAPORATION EN (MM) 52
TABLEAU VIII 3-REPARTITION MENSUELLE DE LA VITESSE MOYENNE DU VENT EN (M/S) 53
TABLEAU VIII 4-CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS. 54
TABLEAU VIII 5-RECAPITULATIF DU CALCUL DU TC 56
TABLEAU VIII 6-PARAMETRES DE MONTANA POUR DIFFERENTES PERIODES DE RETOUR. 56
TABLEAU VIII 7-DEBIT DE CRUE 57
TABLEAU VIII 8-LISTE DES BUSES. 61
TABLEAU VIII 9-LISTE DES DALOTS. 63

CHAPITRE IX

TABLEAU IX 1-TABLEAU 1 DE LA NORME EN-13450 67
TABLEAU IX 2-CLASSIFICATION DE LA QUALITE DES SOLS. 69
TABLEAU IX 3-LA CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATEFORME (FICHE UIC719R) 70
TABLEAU IX 4-LA CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATEFORME (FICHE UIC719R) 72
TABLEAU IX 5-TYPE DE TRAVERSES 74
TABLEAU IX 6-LE POURCENTAGE DE MATERIAUX QUI POURRONT UTILISER COMME REMBLAI. 82

CHAPITRE XI

TABLEAU XI 1-LES CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE REMBLAI. 79
TABLEAU XI 2-LES CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE DEBLAI. 80
TABLEAU XI 3-LES CARACTERISTIQUES DES ZONES DE REMBLAI. 82
TABLEAU XI 4-LES CARACTERISTIQUES DES ZONES DE DEBLAI. 82

CHAPITRE XII

TABLEAU XII 1-LA COMPOSITION DES RESEAUX SELON LEURS DESTINATIONS. _____ 88

CHAPITRE XIII

TABLEAU XIII 1-XIII.6 FONCTIONS DES SIGNAUX _____ 98
TABLEAU XIII 2-SIGNALISATION D'ANNONCE D'ARRET_____ 99

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

FIGURE I 1-LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LIGNE DE PROJET 2
FIGURE I 2-LA CARTE DE LA WILAYA D'ORAN 3
FIGURE I 3-LA CARTE DE LA WILAYA DE MOSTAGANEM. 4
FIGURE I 4-CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION 5

CHAPITRE III

FIGURE III 2-PLUVIOMETRIE MENSUELLE MOYENNE. 13

CHAPITRE IV

FIGURE IV 1-L'EMPLACEMENT DE LA ZONE D'ETUDE. 18
FIGURE IV 2-EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION. 18
FIGURE IV 3-CARTE HYDROGEOLOGIQUE DU NORD DE L'ALGERIE. 19
FIGURE IV 4-CARTE DE ZONAGE SISMIQUE DU NORD DE L'ALGERIE DU DOCUMENT RPOA 2003. 19

CHAPITRE VI

FIGURE VI 1-LA VALEUR DE LA DECLIVITE EN FONCTION DE SA LONGUEUR D'APPLICATION. 43

CHAPITRE VII

FIGURE VII 1- LA HAUTEUR D'EXECUTION POUR UN CATENAIRE. 47

CHAPITRE VIII

FIGURE VIII 1-CARTE DE SITUATION DE LA REGION D'ETUDE. 51
FIGURE VIII 2-SITUATION DE LA STATION PLUVIOMETRIQUE DE ORAN PEPINIERE (CODE : 040502 52
FIGURE VIII 3-CARTE EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (EXTRAIT DE LA CARTE D'ETP DE L'ANRH). 53
FIGURE VIII 4-CARTE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES (ORAN). 53
FIGURE VIII 5-DELIMITATION DES BASSINS VERSANTS 54
FIGURE VIII 6-SCHEMA DE LA BUSE 61
FIGURE VIII 7-SCHEMA D'UN DALOT 3.5 M × 3 M 63

CHAPITRE IX

FIGURE IX 1-GRANULOMETRIE DE BALLAST UTILISE PAR LA S.N.C.F. (NF EN 13450, 2003) 67
FIGURE IX 2-COUCHE D'ASSISE ET COUCHE DE FORME 70
FIGURE IX 3-PROFIL DE RAIL UIC 60 E1 72
FIGURE IX 4-LES ELEMENTS DU RAIL DE TYPE A PATIN 73
FIGURE IX 5-LES CONSTITUANTS DE SYSTEME D'ATTACHE NABLA. 75

CHAPITRE XI

FIGURE XI 1-RESULTAT DE CALCUL FS POUR LA STABILITE DE REMBLAI (CAS NORMAL). 80

FIGURE XI 2-RESULTAT DE CALCUL FS POUR LA STABILITE DE DEBLAI (CAS ACCIDENTEL).... 80
FIGURE XI 3-RESULTAT DE CALCUL FS POUR LA STABILITE DE DEBLAI (CAS NORMAL). 81
FIGURE XI 4-RESULTAT DE CALCUL FS POUR LA STABILITE DE DEBLAI (CAS ACCIDENTEL).... 81

CHAPITRE XII

FIGURE XII 1-GARE DE MARCHANDISES 86
FIGURE XII 2-GARE DE TIRAGE. 86
FIGURE XII 3-SCHEMA DE LA GARE DE CROISEMENT. 87
FIGURE XII 4-EQUIPEMENT DE LA GARE A VOYAGEURS. 88

CHAPITRE XIV

FIGURE XIV 1-APPAREILS DE VOIE 96
FIGURE XIV 2-COMPTEURS D'ESSIEUX 97
FIGURE XIV 3-LES SIGNAUX A MAIN 98

SOMMAIRE

CHAPITRE I : 19
INRODUCTION GENERALE ET PRESENTATION DU PROJET 19
I.1 Description Générale 2
I.2 Présentation de la zone d'étude : 2
I.2.1 Présentation de la wilaya d'Oran : 2
I.2.2 Présentation de la wilaya de Mostaganem : 3
I.2.3 Situation géographique et reliefs 4
I.2.4 La sismicité : 5

CHAPITRE II 6
Recherche bibliographie 6
II.1 Introduction: 7
II.2 Objectives du Projet: 7
II.2.1 Faciliter la Transition entre les Modes de Transport : 7
II.2.2 Optimiser l'Efficacité des Transports de Marchandises : 7
II.3 Justifications et Bénéfices: 7
II.3.1 Réduction des Congestions Routières : 7
II.3.2 Amélioration de la Durabilité Environnementale : 7
II.3.3 Développement Régional 8
II.4 Propositions Concrètes pour le Corridor Oran-Mostaganem : 8
II.4.1 Création de Pôles d'Échange Multimodaux à Oran et Mostaganem : 8
II.4.2 Intégration des Systèmes de Billetterie : 8
II.4.3 Coordination des Horaires : 9
II.5 Conclusion: 9

CHAPITRE III 10
ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT 10
III.1 Introduction: 11
III.2 Evaluation environmental: 11
III.3 Les objectifs d'étude d'impact sur l'environnement : 11
III.4 Impact des voies ferrées sur l'environnement : 12
III.4.1 L'état initial de l'environnement : 12
III.4.2 Milieu biologique : 13
III.4.3 Milieu socioculturel : 14
III.5 Evaluation des impacts prévisibles et les mesure à prendre 14
III.5.1 Impact sur la qualité de vie : 14
III.5.2 Impact sur l'occupation du sol : 15
III.5.3 Effet barrière : 15
III.5.4 Impact sur le paysage : 15
III.5.5 Impact sur les eaux de surfaces : 15

III.6 La description des measures envisages 15
III.6.1 Mesures de protection de la qualité air : 15
III.6.2 Mesures de protection des eaux de surfaces : 16
III.6.3 Mesure de protection contre les émissions sonores : 16
III.7 Conclusion 16

CHAPITRE IV 17
ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE 17
IV.1 Cadre Géologique: 18
IV.1.1 Emplacement : 18
IV.2 Description géologique: 18
IV.2.1 Géomorphologie : 18
IV.2.2 Hydrogéologie : 19
IV.2.3 Tectonique : 19
IV.3 Cadre Géotechnique: 20
IV.3.1 Introduction : 20
IV.3.2 CAMPAGNE D'IVESTIGATION GEOTECHNIQUES 20
IV.3.3 Travaux de terrain (In-situ) : 20
IV.3.4 Travaux au laboratoire : 23
IV.3.5 Les paramètres naturels : 25
IV.4 La classification des sols pour ce projet : 28
IV.5 Application de la classification d'un échantillon : 28
IV.6 Conclusion: 29

CHAPITRE V 30
TRACE EN PLAN 30
V.1 Introduction: 31
V.2 Tracé en plan: 31
V.2.1 Règles à respecter dans le tracé en plan : 31
V.2.2 Paramètres de conception du tracé de la voie : 31
V.2.3 Eléments de tracé en plan : 32
V.2.4 Le rayon minimal : 33
V.2.5 Dévers : 33
V.3 Application au ce projet (VP) : 37

CHAPITRES VI 41
PROFIL EN LONG 41
VI.1 Profil en long: 42
VI.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long : 42
VI.3 Coordination du tracé en plan et profil en long : 42
VI.4 Les éléments du profil en long : 42

VI.5 Eléments caractéristiques du profil en long : 43
VI.5.1 Déclivité maximale [‰] : 43
VI.5.2 Raccordements admissibles en raccordement en profil en long [m] : 43
VI.5.3 Longueur des éléments en long [m] : 44
VI.6 Application au notre projet (PL) : 44

CHAPITRES VII 45
L'ETUDE DES CONTRAINTES 45
VII.1 Introduction: 46
VII.2 Les contraintes: 46
VII.2.1 Les lignes électriques : 46
VII.2.2 Routes et pistes : 48
VII.2.3 Les pipelines : 49
VII.2.4 Les oueds : 49

CHAPITRES VIII 50
ASSAINISSEMENT 50
VIII.1 Cadre hydrologique: 51
VIII.1.1 Situation géographique de la zone d'étude : 51
VIII.1.2 Données climatologiques et hydrologiques : 52
VIII.2 La pluviométrie: 53
VIII.2.2 Estimation du débit de crue : 57
VIII.3 Cadre hydrologique: 58
VIII.3.1 Critères de choix des ouvrages hydrauliques : 58
VIII.3.2 Les types des ouvrages 59
VIII.3.3 Capacité de débit des ouvrages hydrauliques : 59
VIII.4 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques : 59
VIII.4.1 Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) : 59
VIII.4.2 Les ouvrages hydrauliques longitudinaux (fossés) : 64
VIII.5 Conclusion: 64

CHAPITRE IX 65
STRUCTURE DE LA VOIE 65
IX.1 Introduction : 66
IX.2 Couche d'assise : 66
IX.2.1 Ballast : 66
IX.2.2 Sous-couche : 68
IX.3 Plateforme : 68
IX.3.1 Classification des sols pour la plateforme : 68
IX.3.2 La classe de portance de la plate-forme : 70
IX.4 Dimensionnement de la couche d'assise et de la couche de forme pour ce projet : 70
IX.5 Dimensionnement de la couche de forme (CDF) (e_f) : 70

IX.6 Dimensionnement de la couche d'assise (e) : 71
IX.7 La voie: 71
IX.7.1 Le rail : 72
IX.7.2 Les traverses : 73
IX.7.3 Système d'attachement : 75
IX.7.4 Appareils de voie : 75

CHAPITRE X 76
PROFIL EN TRAVERS 76
X.1 Profil en travers (PTV): 77
X.2 Etablissement du profil en travers type : 77
X.3 Application au ce projet (PTV) : 77

CHAPITRE XI 78
TERASSEMENT ET OUVRAGES 78
XI.1. Terrassement : 79
XI.2. Etude de stabilité : 79
XI.2.1 Stabilité de remblais : 79
XI.2.2 Stabilité de déblais : 80
XI.3 Les travaux de terrassement: 82
XI.3.1 Remblais : 82
XI.3.2 Déblais : 82
XI.4. Ouvrages: 83
XI.4.1. Ponts rail : 83
XI.4.2 Ponts route : 83
XI.4.3 Passages supérieurs : 83
XI.4.4 Passages inferieurs : 83
XI.4.5 Ouvrages de protection : 83

CHAPITR XII 84
CONCEPTION DE LA GARE DE BETHIOUA 84
XII. Conception de la gare Betioua 85
XII.1. Introduction : 85
XII.2. Plan de masse d'une gare : 85
XII.3. Les différents types de gares 85
XII.3.1. Les gares des voyageurs : 85
XII.3.2. Les gares de marchandises : 86
XII.3.3. Les gares terminus : 86
XII.3.4. Les gares de passages : 86
XII.3.5. Les gares de triages : 86
Les gares de croisement : 87
XII.4. Aménagement d'une gare : 87

XII.4.1. Installations d'une gare à voyageur : 87
XII.4.2. Gare de marchandises : 88
XII.4.3. Réseau de voie : 88
XII.5. Caractéristiques géométriques des gares : 89
XII.5.1. Marge de glissement à l'aval des signaux : 89
XII.5.2. Garage franc : 89
.XII.5.3 La longueur utile d'une voie de stationnement : 89
XII.5.4. Déclivité dans les gares : 89
XII.5.5. La longueur de quai (normes SNTF) : 89
XII.5.6. La largeur des quais : 90
XII.5.7. Hauteur des quais : 90
XII.5.8. L'entre-axe des quais : 90
XII.5.9. La distance à l'axe de la voie : 90
XII.5.10. Entraxe entre les voies : 90
XII.8. Application dans ce projet : 91

CHAPITRE XIII 92
SIGNALISATION FERROVIAIRE 92
XIII.1 Introduction: 93
XIII.2 Le rôle de la signalisation ferroviaire : 93
XIII.3 Classification et référence des signaux ferroviaires : 93
XIII.4 Conception de la signalization: 94
XIII.4.1 Postes de sécurité : 94
XIII.4.2 Installations extérieures : 94
XIII.4.3 Installations ETCS : 97
XIII.5 Conception de la telecommunication: 97
XIII.6 Fonctions des signaux: 98
XIII.7 Conclusion: 100

CHAPITRE XIV 101
DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF 101

INTRODUCTION

Au XVIIe siècle, la nécessité de transporter des matériaux spécifiques et des charges lourdes, notamment dans le domaine de l'exploitation minière et des carrières, a conduit à l'innovation d'un nouveau système de transport. Ce système possédait des capacités différentes de celles des autres modes de transport, notamment en termes de force et de quantité de matériaux transportés.

Cet essor considérable a donné naissance au **transport ferroviaire** et à la construction des premières **voies ferrées**. Initialement, ces voies étaient constituées de dalles de pierre ou de bois en surface, mais elles se sont révélées insuffisantes pour supporter les charges importantes et les quantités de matériaux nécessaires.

La nécessité de développer un système de transport plus efficace a conduit à l'innovation des premiers types de voies ferrées, notamment celles en acier ou en fonte. Bien que ces systèmes aient offert des avantages en termes de rigidité et de portance, la sécurité et les coûts de construction et d'entretien n'ont pas été pleinement pris en compte dans ces premiers modèles.

Le terme « systèmes de transport ferroviaire » englobe tous les éléments essentiels qui assurent leur fonctionnalité de manière structurée et bien organisée, avec une attention particulière à la sécurité et au confort des usagers. Les cheminots jouent un rôle central dans ce système, garantissant la conduite et la sécurité des trains. En somme, le transport ferroviaire continue d'évoluer pour répondre aux besoins de mobilité et de développement durable.

Ce projet intitulé « ÉTUDE D'APD DE LA LIGNE FERROVIAIRE HASSI MEFSOUKH-MOSTAGANEM DU PK 7+500 AU PK 18+000 AVECC LA CONCEPTION DE LA GARE DE BETHIOUA » consiste en la modernisation de la ligne ferroviaire Hassi Mefsoukh - Mostaganem. Cette ligne est destinée au transport des voyageurs et des marchandises.

CHAPITRE I :

PRESENTATION DU PROJET

I.1 Description Générale

Le projet de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique Hassi Mefsoukh -Mostaganem s'intègre dans le cadre du programme des nouvelles lignes ferroviaires établie par les pouvoir publics depuis 2010, La nouvelle liaison est longue de 55 km et prend naissance à partir de la gare existante de Hassi Mefsoukh pour un trafic mixte (voyageurs et marchandises) à une vitesse maximale 160km/h pour les trains de voyageurs et de 100km/h pour les trains de marchandises.

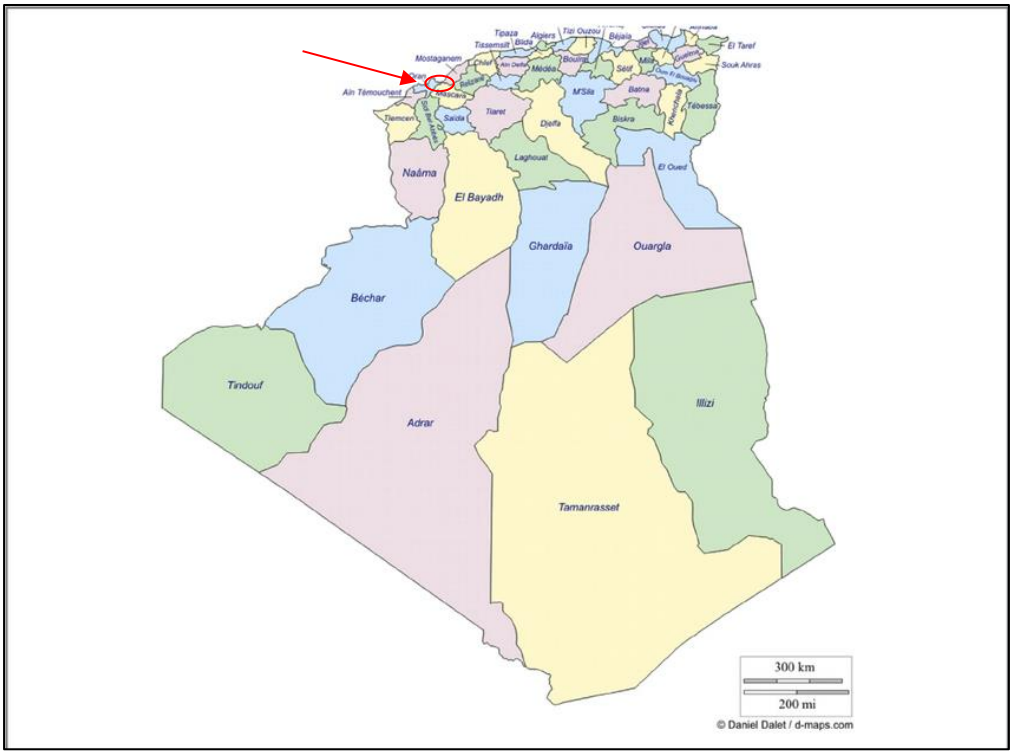


Figure I 1-Localisation géographique de ligne de projet

Notre projet intitulé « ÉTUDE D'APD DE LA LIGNE FERROVIAIRE HASSI MEFSOUKH-MOSTAGANEM DU PK 7+500 AU PK 18+000 AVEC LA CONCEPTION DE LA GARE DE BETHIOUA » consiste en la modernisation de la ligne ferroviaire Hassi Mefsoukh - Mostaganem. Cette ligne est destinée au transport des voyageurs et des marchandises.

I.2 Présentation de la zone d'étude :

I.2.1 Présentation de la wilaya d'Oran :

La Wilaya d'Oran est une wilaya côtière du ouest du pays qui s'étend sur une superficie de 2114 Km^2 avec 140 Km de profil littoral allant du MADAGH à l'Ouest, à la limite Est de la commune de MARSA EL HADJADJ. Sa population est évaluée au dernier recensement de la population de 2023 à 1 584 607 habitants. La répartition de cette population sur son territoire est homogène avec une nette concentration au niveau des agglomérations chefs-lieux de communes.

Elle compte actuellement 26 Communes regroupées autour de 09 Daïras :

- Daïra de Oran : Oran
- Daïra de Ain El Turk : Ain El Turk , Bousfer, El Ançor, Mers El Kébir
- Daïra de Arzew : Arzew, Sidi Benyebka
- Daïra de Bethioua : Aïn El Bia, Bethioua, Marsat El Hadjadj
- Daïra de Es Senia : El Kerma, Es Senia, Sidi Chami
- Daïra de Bir El Djir : Bir El Djir, Hassi Ben Okba, Hassi Bounif
- Daïra de Boutlélis : Aïn El Kerma, Boutlélis,Misserghin[2]
- Daïra de Oued Tlelat : Boufatis, El Braya, Oued Tlelat, Tafraoui
- Daïra de Gdyel : Ben Freha, Gdyel, Hassi Mefsoukh

La wilaya de Oran est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée entre Madagh El Marsa El Hadjadj ;
- À l'Ouest par la wilaya de Ain Temouchent ;
- À l'Est par la wilaya de Mostaganem ;
- Au Sud-Est par la wilaya Mascara ;
- Au Sud–ouest par la wilaya Sidi Bel Abbes.

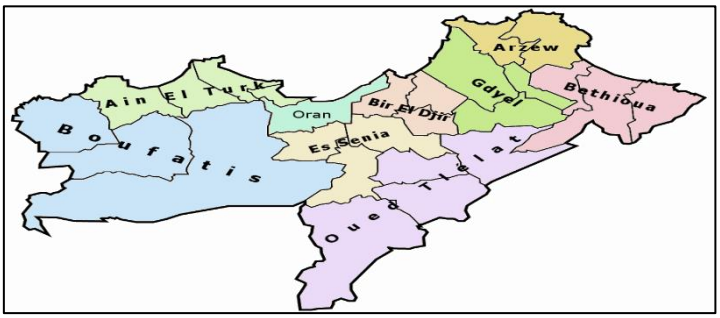


Figure I 2-La carte de la wilaya d'Oran

I.2.2 Présentation de la wilaya de Mostaganem :

La Wilaya de Mostaganem est une wilaya côtière du ouest du pays qui s'étend sur une superficie de 2269 Km^2 avec 124 Km de profil littoral allant du La Macta (farnaka) à l'Ouest, à la limite Est de OULED BOUGHALEM. Sa population est évaluée au dernier recensement de la population à 887 450 habitants. La répartition de cette population sur son territoire est homogène avec une nette concentration au niveau des agglomérations chefs-lieux de communes.

Elle compte actuellement 32 Communes regroupées autour de 10 Daïras :

- Daïra de Mostaganem : Mostaganem
- Daïra de Hassi Maameche : Hassi Mameche, Mazagran, Stidia
- Daïra de Aïn Tedles : Aïn Tedles, Sour, Sidi Belattar, Oued El Kheir

- Daïra de Bouguirat : Bouguirat, Safsaf, Sirat, Souaflia
- Daïra de Sidi Ali : Sidi Ali, Ouled Maallah, Tazgait
- Daïra de Achaacha : Achaacha, Khadra, Nekmaria, Ouled Boughalem
- Daïra de Aïn Nouïssy : Aïn Nouïssy, El Hassiane, Fornaka
- Daïra de Mesra : Mesra, Aïn Sidi Cherif, Mansourah, Blad Touahria
- Daïra de Sidi Lakhdar : Sidi Lakhdar, Hadjadj, Abdelmalek Ramdane
- Daïra de Kheireddine : Kheireddine, Aïn Boudinar, Sayada

La wilaya de Mostaganem est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- À l'Ouest par la wilaya d'Oran ;
- À l'Est par la wilaya de Chlef ;
- Au Sud-Est par la wilaya Relizane ;
- Au Sud–ouest par la wilaya de Mascara.

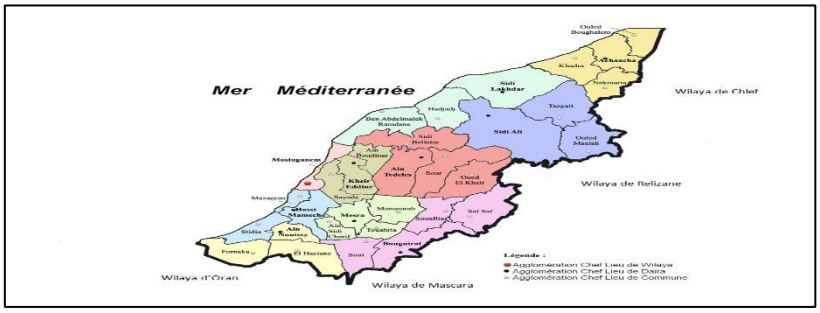


Figure I 3-La carte de la wilaya de Mostaganem.

I.2.3 Situation géographique et reliefs

Le littoral oranais et les régions avoisinantes se distinguent par deux ensembles structuraux distincts, séparés par le bassin subsidiant du Chélif, formé au cours du Néogène. Cette région, située au cœur de la chaîne tellienne, a été fortement affectée par des processus tectoniques durant le Miocène, conduisant à la formation de horsts et de grabens dans le paysage.

La région se résume donc en un Plateau incliné Nord-Ouest - Sud Est et d'où émergent deux massifs formés de terrains d'âge Secondaire (Djebel Khar et les Monts d'Arzew). La région de la zone d'étude est caractérisée par des pentes douces, orientées du nord-est vers le sud-ouest. Les altitudes ne dépassent pas 200 mètres.

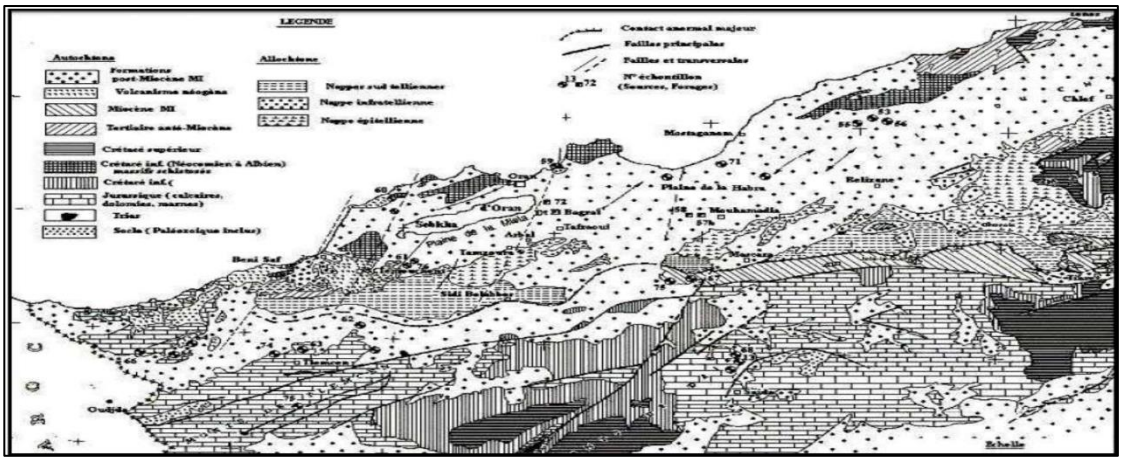


Figure I 4-carte géologique de la région

I.2.4 La sismicité :

L'Algérie se situe sur une frontière active de plaques au niveau de la convergence de l'Afrique et de l'Eurasie. Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 6 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Elle se traduit d'une part par des plissements et par des fracturations qui affectent notamment les niveaux du Miocène post nappes, du Pliocène et du Quaternaire, et d'autre part par une activité sismique.

La région traversée par la ligne ferroviaire appartient à la zone II-a avec une sismicité moyenne

CHAPITRE II

Recherche bibliographie

Promotion de l'Intermodalité des Transports via le Réseau Ferroviaire

II.1 Introduction:

L'intermodalité des transports désigne l'intégration de différents modes de transport (ferroviaire, routier, maritime, aérien) afin d'optimiser les déplacements des passagers et des marchandises. Pour l'Algérie, améliorer l'intermodalité grâce à un réseau ferroviaire moderne et bien connecté peut transformer la mobilité nationale et régionale, tout en soutenant le développement économique et social.

II.2 Objectives du Projet:

II.2.1 Faciliter la Transition entre les Modes de Transport :

Faciliter la transition entre les modes de transport est crucial pour améliorer l'efficacité et la commodité du réseau de transport. En créant des infrastructures bien conçues et intégrées, comme des pôles d'échange multimodaux, les passagers et les marchandises pourront passer rapidement et facilement d'un mode de transport à un autre, que ce soit du train au bus, du port maritime au rail, ou de l'aéroport à la gare ferroviaire. Cette fluidité des correspondances réduit les temps d'attente, minimise les désagréments et encourage une utilisation accrue des transports en commun et des services intermodaux, contribuant ainsi à une mobilité plus durable et efficace.

II.2.2 Optimiser l'Efficacité des Transports de Marchandises :

Optimiser l'efficacité des transports de marchandises est essentiel pour renforcer la compétitivité économique. En développant des hubs logistiques à Arzew et Mostaganem, le transfert des marchandises entre les trains, les camions et les ports maritimes sera grandement facilité. Ces hubs serviront de points névralgiques où les marchandises pourront être rapidement et efficacement déplacées, réduisant ainsi les coûts logistiques et les temps de transit. En améliorant l'intégration des différents modes de transport, ces hubs contribueront à un flux de marchandises plus fluide et à une distribution plus rapide, ce qui est crucial pour les secteurs industriels et commerciaux de la région.

II.3 Justifications et Bénéfices:

II.3.1 Réduction des Congestions Routières :

En promouvant l'utilisation du rail pour les déplacements longue distance et les transports de marchandises, on peut diminuer le trafic routier entre Oran et Mostaganem, réduisant ainsi les embouteillages et les accidents

II.3.2 Amélioration de la Durabilité Environnementale :

Le transport ferroviaire, étant plus écoénergétique que le transport routier, joue un rôle crucial dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En intégrant efficacement les différents modes de transport, tels que les trains, les bus et les transports maritimes, on peut optimiser l'utilisation de chaque mode en fonction de ses avantages spécifiques. Cette synergie permet de minimiser l'empreinte carbone globale du système de transport, contribuant ainsi à un environnement plus propre et plus durable. En adoptant cette approche intermodale, nous pouvons non seulement améliorer l'efficacité des déplacements, mais aussi renforcer notre engagement envers la protection de l'environnement.

II.3.3 Développement Régional

La création de pôles d'échange multimodaux représente une opportunité significative pour revitaliser les zones urbaines et périurbaines en les connectant de manière plus efficace aux centres économiques régionaux. En facilitant les correspondances entre les différents modes de transport, ces infrastructures favorisent une meilleure accessibilité aux emplois, aux services et aux opportunités économiques. De plus, la construction et la gestion de ces pôles créent des emplois locaux dans divers secteurs, tels que la construction, la logistique et les services aux voyageurs. Par conséquent, non seulement ces pôles améliorent la mobilité des citoyens, mais ils contribuent également à stimuler l'économie locale, soutenant ainsi le développement régional et renforçant le tissu social et économique des communautés environnantes.

II.4 Propositions Concrètes pour le Corridor Oran-Mostaganem :

II.4.1 Création de Pôles d'Échange Multimodaux à Oran et Mostaganem :

Pour localiser les pôles d'échange multimodaux, il est essentiel de choisir des sites stratégiques offrant une accessibilité optimale et une connectivité maximale entre différents modes de transport. Les gares ferroviaires, les ports maritimes et les aéroports sont des choix idéaux en raison de leur rôle clé dans le réseau de transport. Cela garantit une accessibilité efficace pour les passagers et les marchandises, ainsi qu'une intégration fluide entre les différents modes de transport.

Pour assurer le bon fonctionnement des pôles d'échange multimodaux, il est essentiel de construire des gares modernes et intégrées offrant des services ferroviaires, routiers, maritimes et aériens. Ces infrastructures doivent inclure des installations pour le chargement et le déchargement des marchandises et des zones de transfert sécurisées pour la commodité et la sécurité des voyageurs. En investissant dans ces infrastructures, on peut créer des pôles d'échange multimodaux performants, favorisant la mobilité durable et le développement économique régional.

Pour la ville de Mostaganem, l'intermodalité est favorable en raison de la proximité des gares routières, des voies ferrées, du port et de l'aéroport, qui se trouvent tous dans un rayon d'environ 10 km. Pour la ville d'Oran, les trois moyens de transport (routier, maritime, ferroviaire) sont proches, mais l'aéroport est relativement éloigné. Nous proposons donc de fournir des bus spéciaux pour l'aéroport. De plus, pour Oran, nous suggérons l'aménagement d'une station multimodale dans la zone de Bethioua.

II.4.2 Intégration des Systèmes de Billetterie :

La mise en place d'un système de billetterie unifié représente une avancée majeure pour faciliter l'utilisation des transports intermodaux. En permettant aux usagers d'acheter un seul billet pour des trajets combinant plusieurs modes de transport, ce système simplifie considérablement le processus de planification et d'achat de billets. Les voyageurs peuvent ainsi bénéficier d'une expérience plus fluide et pratique, en évitant les tracas liés à l'achat de multiples billets pour un même voyage. De plus, un tel système favorise l'usage des transports publics en rendant les trajets intermodaux plus attrayants et accessibles à un plus large public.

Pour garantir la réussite de ce système, il est essentiel de veiller à son accessibilité. Cela implique de le rendre facilement disponible en ligne, via des applications mobiles et dans les gares. Les usagers doivent pouvoir acheter leurs billets en quelques clics, où qu'ils se trouvent, grâce à une plateforme intuitive et conviviale. De plus, des bornes de vente automatique dans les gares et les pôles d'échange permettent aux voyageurs de se procurer des billets rapidement et facilement, même sans accès à Internet. En veillant à ce que ce système soit accessible à tous, nous pouvons encourager une utilisation accrue des transports publics et favoriser ainsi la transition vers une mobilité plus durable et intermodale.

II.4.3 Coordination des Horaires :

La synchronisation des horaires des différents modes de transport est cruciale pour garantir des correspondances fluides et minimiser les temps d'attente des voyageurs. En alignant les horaires des trains, des bus, des ferries et des avions, nous pouvons optimiser l'efficacité du réseau de transport multimodal et offrir aux voyageurs des options de voyage plus pratiques et efficaces. Cette planification intégrée permet aux passagers de passer d'un mode de transport à un autre en toute simplicité, sans de longs délais d'attente entre les correspondances.

En outre, il est essentiel d'offrir aux voyageurs des informations en temps réel sur les horaires et les correspondances via des panneaux d'affichage numériques et des applications mobiles. Ces outils permettent aux voyageurs de rester informés des dernières mises à jour concernant les horaires des transports et les éventuels changements, ce qui contribue à réduire les incertitudes et les désagréments liés aux déplacements. En fournissant des informations précises et en temps opportun, nous pouvons améliorer l'expérience des voyageurs et renforcer leur confiance dans le système de transport multimodal.

II.5 Conclusion:

En intégrant l'intermodalité des transports entre Oran et Mostaganem, l'Algérie peut créer un corridor de mobilité efficace et durable. Notre proposition est de mettre en service l'aéroport de Mostaganem et de concevoir une gare ferroviaire et aussi avec le port maritime pour l'intermodalité des transports La modernisation et l'expansion des infrastructures ferroviaires offrent une opportunité stratégique pour améliorer la mobilité, la durabilité environnementale, la stimulation économique et le développement régional. Ce projet optimisera également les échanges aériens, maritimes et les bases d'échange de marchandises entre Arzew et Mostaganem.

CHAPITRE III

ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

III.1 Introduction:

L'étude d'impact sur l'environnement constitue à la fois une démarche administrative et une analyse technique préalable à la réalisation de projets majeurs tels que les infrastructures routières ou ferroviaires. Son objectif principal est d'évaluer les conséquences potentielles des activités humaines sur l'environnement et la santé publique, et de proposer des mesures pour atténuer ces impacts. Cette étude vise à analyser les perturbations causées aux écosystèmes traversés par la voie projetée et à identifier les impacts sur l'homme, l'environnement, ainsi que sur les ressources naturelles et agricoles, dans le but de mettre en place des actions préventives contre les effets néfastes.

III.2 Evaluation environmental:

L'évaluation environnemental désigne le processus complet visant à :

- Analyser les effets sur l'environnement.
- Mesurer leur acceptabilité environnementale.
- Éclairer les décideurs.

Son but est de :

- Optimiser la prise de décision en tenant compte de manière explicite et sélective des aspects environnementaux.
- Offrir un fondement solide pour gérer les implications environnementales des projets d'aménagement.
- Donner aux citoyens la possibilité de partager leurs opinions sur les changements anticipés dans leur environnement quotidien
- Encourager l'intégration des objectifs essentiels tels que la préservation de l'environnement et le développement durable

L'étude d'impact comprend notamment :

- Une analyse de l'état initial du site et de son environnement,
- Une analyse des effets directs et indirects du projet sur l'environnement,
- Les mesures envisagées pour supprimer, réduire, et, si possible, compenser les conséquences dommageables.

III.3 Les objectifs d'étude d'impact sur l'environnement :

L'objectif d'une étude d'impact sur l'environnement est de comprendre, évaluer et anticiper les conséquences directes et indirectes à court, moyen et long terme d'un projet, ainsi que de recommander des mesures pour minimiser ses effets négatifs. Cette étude vise à :

- Intégrer les contraintes et les opportunités environnementales dans la conception de la nouvelle infrastructure.
- Identifier et évaluer les impacts potentiels du projet sur l'environnement physique, biologique et humain, ainsi que sur les aspects sonores et paysagers.
- Recommander des mesures d'atténuation pour optimiser l'intégration du projet dans son environnement.

- Proposer des solutions pour réduire ou compenser les dommages éventuels causés par le projet.

III.4 Impact des voies ferrées sur l'environnement :

La voie ferrée, en raison de sa forme droite qui traverse différents environnements, a des répercussions sur plusieurs aspects. Tout d'abord, elle a un impact direct sur les terres utilisées pour sa construction et son fonctionnement. Ensuite, elle affecte l'environnement dans son ensemble, notamment l'eau, l'air, les animaux, les plantes, ainsi que les sols et les sous-sols. Ces impacts sont réglementés par des lois et des règlements qui visent à minimiser les dommages et à protéger ces éléments.

De plus, l'introduction d'une nouvelle infrastructure ferroviaire peut modifier considérablement le développement des zones urbaines et l'économie régionale. Par exemple, elle peut influencer la localisation des industries, des commerces et des habitations, ainsi que les flux de population. Ces changements peuvent avoir des effets à long terme sur la croissance économique, l'emploi et la qualité de vie des habitants de la région concernée.

III.4.1 L'état initial de l'environnement :

III.4.1.1 Milieu physique:

Géologie : La zone d'étude s'étendrait dans la région du Littoral Oranais, englobant les monts d'Arzew et les massifs environnants. Elle inclurait également les plaines et les vallées adjacentes, telles que la plaine de la Macta. Cette zone comprendrait les formations géologiques spécifiques mentionnées, telles que les schistes Jurassico-Crétacés, les séries du Crétacé au Miocène inférieur, ainsi que les dépôts alluvionnaires et marins du Quaternaire.

Elle serait délimitée par les cours d'eau principaux, tels que l'Oued Habra, le Tinn et le Sig, descendant des Béni Chougrane, ainsi que par des caractéristiques géographiques distinctives telles que les monts d'Arzew, les massifs rocheux et les plaines basses et marécageuses.

Climatologie : La zone d'étude, située dans le nord de l'Algérie, bénéficie d'un climat méditerranéen. De novembre à avril, les masses d'air arctique apportent une saison froide et humide, avec des précipitations modérées concentrées principalement pendant cette période. De mai à octobre, c'est une saison chaude et sèche, dominée par les masses d'air tropical, Caractérisée par des températures élevées et une faible pluviométrie. Les vents, variables en direction et en vitesse, sont généralement faibles à modérés, avec une prédominance des vents du Nord pendant les saisons de printemps, d'été et d'automne, et des vents d'Ouest-Sud-Ouest en hiver.

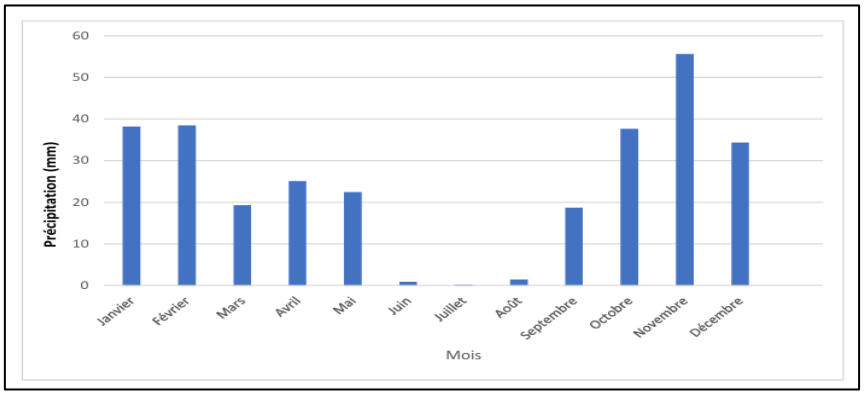


Figure III 1-Pluviométrie mensuelle moyenne.

Hydrographie : La zone d'étude abrite d'importantes ressources en eau, mais leur utilisation est loin d'atteindre son optimum. Le bassin versant de la Macta, s'étendant sur 19 000 hectares, est traversé par deux principaux cours d'eau : l'Oued Mebtouh à l'ouest et l'Oued El Hammam à l'est. Les marais de la Macta se trouvent principalement dans la partie aval de ce bassin, caractérisée par des altitudes souvent inférieures à 9 mètres, favorisant la formation de plans d'eau et de zones humides. Les vallées des oueds Sig et Habra prolongent cette zone vers le sud-est. Malgré un réseau hydrographique dense, la topographie basse de la plaine rend difficile le drainage des eaux de pluie, ce qui peut entraîner des risques de submersion, en particulier dans la partie nord où les altitudes sont très faibles.

III.4.2 Milieu biologique :

Faune Et Flore : Les impacts que la construction et la mise en service de la voie ferrée exerceront sur la faune sont différents, et peuvent se diviser en quatre types principaux : altération et occupation de biotopes, animaux renversés et contraints de s'enfuir. Dans les zones urbaines, la faune existante n'est pas importante à cause de sa proximité des habitations. On trouve essentiellement quelques types d'oiseaux qui vivent au milieu agricole comme la perdrix, l'alouette, pigeons, etc. Les travaux de construction vont aussi perturber la faune existante dans la zone à cause de bruit et des vibrations. L'impact des travaux de construction va être relativement important sur la faune existante dans la zone humide d'El Macta qui sera traversée par la ligne ferroviaire à cause du bruit qui la perturbe. Des arbres et plantes seront enlevés pendant la phase de construction. La superficie est minime par rapport au superficie totale de la forêt.

III.4.3 Milieu socioculturel :

Population et Habitat : La population des communes traversé par la nouvelle ligne ferroviaire est données par le tableau ci-dessus :

Wilaya	Commune	Agglomération	Nature de l'agglomération	Population 2020
Oran	Ain El Biya	Charia Zaghloul	Urbaine	7 492
		Ain Biya	Urbaine	25 863
		El Ayaida	Non urbaine	4 850
	Betioua	Bethioua	Urbaine	9 383
		Arrarsa	Non urbaine	5 582
	Marsa El Hadjaj	Marsat El Hadjadj	Urbaine	8 862
		Djefafla	Non urbaine	2 304

Éléments d'intérêts : Les éléments d'intérêts peuvent être classés comme suit :

- Patrimoine culturel
- Patrimoine historique
- Sites d'intérêt géomorphologique

Aucun élément d'intérêts n'est présent dans la zone d'étude.

III.5 Evaluation des impacts prévisibles et les mesure à prendre

III.5.1 Impact sur la qualité de vie :

Pendant la phase des travaux, diverses conséquences impacteront les populations avoisinantes ainsi que les usagers des routes et des chemins traversés par la voie ferrée. Les travaux pourront entraver la circulation sur certains tronçons de routes ou points spécifiques, nécessitant parfois des déviations temporaires du trafic selon les besoins. Parallèlement, la zone de chantier constituera une barrière à la circulation locale, nécessitant une signalisation adéquate pour prévenir les accidents et assurer la fluidité du passage dans toutes les directions. De plus, durant cette phase, le mode de vie des habitants de la zone sera altéré par les bruits, les émissions, la présence d'ouvriers, les mouvements de machines et l'occupation temporaire d'espaces. Ces impacts sur la population ont une durée limitée en raison de la nature temporaire et itinérante des travaux de construction.

Une fois la voie ferrée opérationnelle, les principales répercussions sur le système social découleront de l'amélioration des communications, ce qui entraînera une nette amélioration de l'infrastructure. Le tracé prévoit des passages et des chemins de service permettant une perméabilité transversale adéquate, assurant ainsi la continuité des chemins traversés et réduisant l'effet de barrière que la voie ferrée peut avoir pendant la phase d'exploitation.

III.5.2 Impact sur l'occupation du sol :

L'occupation de sol va être modifié par le passage de la ligne ferroviaire le long de tracé, Certains bâtit seront démolis et des parties de terrains agricoles et des forêts seront consacrés Pour la construction de la ligne (base de vie, zone de dépôts.).

Les plus implorantes Modifications seront senties dans les zones urbaines où il y aura la démolition des bâtit Traversés par le projet mais le nombre des bâtis à démolir reste minime vue que le tracé Traverse essentiellement des terrains vides et des terrains agricoles.

III.5.3 Effet barrière :

L'effet barrière induit par le tracé dans les mouvements des personnes et véhicules conventionnels ou agricoles associés à ces tâches. Une parcelle peut se voir divisée par le tracé. Concernant cette altération, la conception du tracé a tenu compte du maintien de la servitude de passage des chemins qui se trouvent interceptés, de sorte que l'éventuel impact soit réduit à des niveaux acceptables d'impact résiduel.

III.5.4 Impact sur le paysage :

Deux types d'impacts peuvent affecter les éléments paysagers caractéristiques. Les uns concernent les éléments eux-mêmes (forme, couleur, texture, etc.) tandis que les autres consistent en modifications de leurs environnement (introduction d'éléments nouveaux qui forment des écrans visuels, qui perturbent la structure du paysage etc.). Pendant la phase de construction une légère modification va atteindre le paysage dû aux chantiers mais après la fin du projet et début d'exploitation le changement des paysages existants et presque nul.

III.5.5 Impact sur les eaux de surfaces :

Les rejets liquides pendant la phase de construction seront acheminés soit vers un réseau d'assainissement ou vers des fosses septiques normalisés. Aucun rejet vers les cours d'eaux ou les lacs présents dans la zone d'études n'est prévu. L'impact sur les eaux de surfaces est négligeable.

III.6 La description des measures envisages

III.6.1 Mesures de protection de la qualité air :

Pour diminuer la pollution de l'air à cause de la génération de poussière durant la circulation de la machinerie, le transport, l'exécution des travaux réalisés en chaque activité, etc., il est recommandé l'irrigation des accès et des zones auxiliaires de chantier de façon régulière, surtout, durant la saison sèche de l'année et lors des jours de vent. Les mesures contre la poussière seront appliquées avec une attention particulière dans les zones de travail proches des zones habitées.

Parmi ces mesures sont :

- La limitation de la vitesse des véhicules des travaux sur la zone de terre.
- L'usage de bâche sur les caisses des camions qui transportent un matériel susceptible de générer de la poussière.
- Des arrosages contre la poussière en cas d'extrême nécessité. Ces arrosages devront être considérés spécialement dans des zones habitées durant l'époque sèche et venteuse.
- Ces mesures seront tenues en compte non seulement dans la zone de l'esplanade mais aussi dans les zones d'extractions et de déversements, en réalisant si c'est nécessaire des arrosages réguliers sur les approvisionnements et les chemins afin d'éviter dans la mesure du possible l'affection par la poussière des populations proches.

III.6.2 Mesures de protection des eaux de surfaces :

Un certain nombre de mesures peut être mis en œuvre afin de limiter les risques de pollution accidentelle des eaux de surfaces notamment :

- Interdiction du stationnement des engins de chantier et de tout véhicule lié aux activités du chantier à proximité des cours d'eaux
- Interdiction de stockage temporaire des déchets liquides (huiles usagées…) à proximité des cours d'eau,
- Entretien des engins (vidange, réparation) en dehors des zones de protection des captages,
- Etablir des procédures d'intervention d'urgence au cas d'un déversement accidentel

III.6.3 Mesure de protection contre les émissions sonores :

Pendant les phases de construction, il faut organiser les travaux de telle façon à éviter le travail pendant la nuit dans les zones urbaines ou proches des habitations.
Des écrans de bruit naturel peuvent être mise en place en déposant les déblais du coté au ce Trouve la population ce qui va constituer une barrière naturelle et gratuite contre le bruit.
Pendant la phase d'exploitation, la ligne doit être doté d'écran de bruit dans les places très Proches des habitations.

III.7 Conclusion

La protection des eaux de surface implique l'interdiction de stationnement des engins et de stockage de déchets liquides à proximité des cours d'eau, ainsi que l'entretien des engins en dehors des zones de captage. Enfin, pour minimiser les émissions sonores, il est crucial d'organiser les travaux pour éviter les nuisances nocturnes et d'installer des écrans de bruit naturels et artificiels. La mise en œuvre de ces mesures contribuera à minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et les populations locales, assurant ainsi le succès du projet.

CHAPITRE IV

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

IV.1 Cadre Géologique:

IV.1.1 Emplacement :

La zone d'étude se trouve au sud-ouest de l'embouchure de l'Oued Chéliff, entre les villes de Mostaganem et Arzew. Dans cette région, le littoral est caractérisé par le Golfe d'Arzew

IV.2 Description géologique:



Figure IV 1-L'emplacement de la zone d'étude.

IV.2.1 Géomorphologie :

Du PK 7+500 au PK 16+000, le tracé traverse le Plateau de Saint-Louis, à des altitudes comprises entre 75 et 100 mètres. Il passe au-dessus de matériaux miocènes et pliocènes, caractérisés par un substrat rocheux marneux, ainsi que d'anciens dépôts alluviaux, de dunes consolidées, de colluvions, et d'autres types de dépôts de pente. En surface, on trouve des croûtes calcaires et des sols limono-argileux provenant de l'altération du substrat rocheux.

Du PK 16+000 au PK 18+000 se trouve la zone de transition entre le Plateau de Saint-Louis et la Plaine d'Habra, où l'altitude diminue progressivement de 100 mètres à 10 mètres. Ce tronçon traverse un substrat rocheux marneux, des sols d'altération, des croûtes calcaires associées, ainsi que des dépôts de dunes consolidées et d'anciens dépôts alluviaux. En raison de cette variation d'altitude, des travaux d'excavation importants sont prévus tout au long de ce segment.

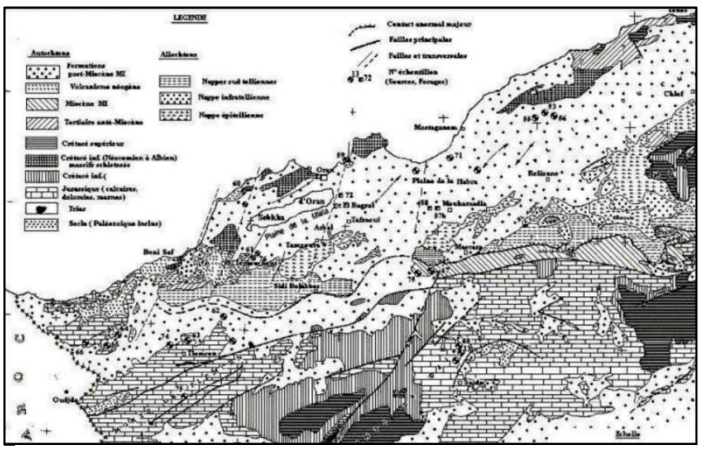


Figure IV 2-Extrait de la carte géologique de la région.

IV.2.2 Hydrogéologie :

Le tracé envisagé traversera deux unités géomorphologiques distinctes : le Plateau de Saint-Louis à l'ouest et la zone de dépression de la Plaine d'Habra dans le tronçon central.
Le tracé de la future ligne de chemin de fer est parallèle à l'axe principal de connexion, représenté par la route N-11, qui relie les villes de Mostaganem et Oran

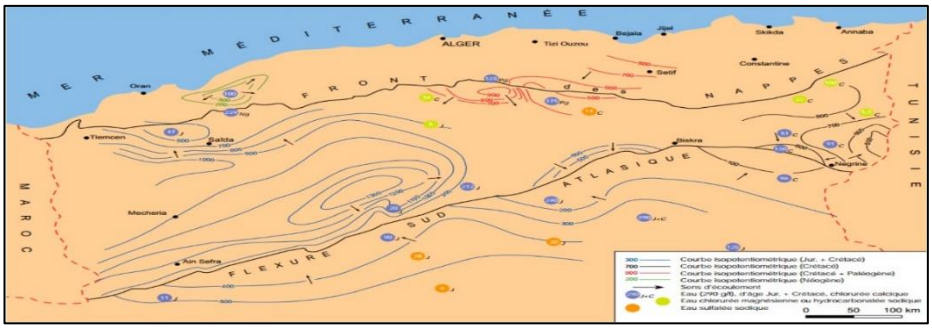


Figure IV 3-Carte hydrogéologique du nord de l'Algérie.

IV.2.3 Tectonique :

Du point de vue tectonique, cette région est située sur une portion particulièrement instable du bassin miocène Nord-Tellien.

Selon le document intitulé « Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art RPOA 2008 », la zone étudiée (ORAN) fait partie de la **Zone II-a** (niveau moyen) sur la carte des zones sismiques de l'Algérie. Voici un extrait de cette carte :
Le coefficient d'accélération de zone est défini en fonction de la zone sismique et de l'importance du pont :

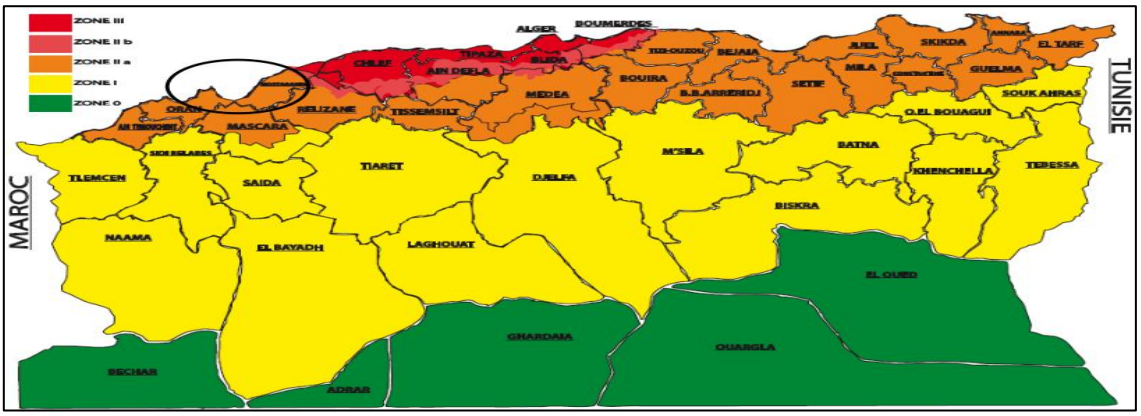


Figure IV 4-Carte de zonage sismique du Nord de l'Algérie du document RPOA 2003.

Tableau IV 1-Coefficient d'accélération et zonage sismique de territoire national (RPOA ,2008).

Groupe de pont	La zone sismique			
	I	II-a	II-b	III
1	0.15	0.25	0.30	0.40
2	0,12	0.20	0.25	0.30
3	0.10	0.15	0.20	0.25

Pour des raisons de simplicité de calcul, notamment pour les remblais, nous considérons le **groupe 2** (Ouvrages courants). Le coefficient d'accélération à prendre en compte pour la vérification de la stabilité sera de **A = 0.20**.

IV.3 Cadre Géotechnique:

IV.3.1 Introduction :

L'analyse géologique et l'interprétation physico-mécanique des résultats des essais in-situ et en laboratoire constituent une base de données indispensable pour élaborer des recommandations géotechniques sur la construction des remblais et sur la dimension des plateformes et des fondations. Grâce à ces recommandations, il est possible de déterminer les techniques de réalisation des remblais et de réaliser les calculs requis pour élaborer les dimensions adéquates des plateformes et des fondations.

IV.3.2 CAMPAGNE D'IVESTIGATION GEOTECHNIQUES

Ces identifications permettent de déterminer toutes les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des terrains présents. L'objectif principal de ces enquêtes est de fournir les données indispensables aux études et aux travaux de terrassement et de fondation.
Les travaux effectués et les résultats de la campagne géotechnique ont été récapitulés et présentés de façon à établir :

- Les caractéristiques et les caractéristiques des sols présents, ainsi que leur classification en fonction du GTR et du UIC ;
- Le calcul de la taille de la structure de la plateforme ferroviaire ;
- Les problèmes et/ou les contraintes techniques géologiques rencontrés le long du tracé doivent être identifiés et localisés ;
- Les zones d'emprunt, ainsi que les carrières de granulats et le ballast ;
- Les suggestions concernant les méthodes de base des divers ouvrages à édifier.

IV.3.3 Travaux de terrain (In-situ) :

L'objectif de ces essais est d'améliorer ou même de substituer les essais traditionnels en laboratoire sur des échantillons intacts pour évaluer avec une plus grande précision les propriétés physiques et mécaniques des sols. Ils sont surtout utilisés dans les terrains très hétérogènes ou très incohérents quand les carottes prélevées sont trop modifiées.

IV.3.3.1 Les sondages carottés (SC):

Les sondages carottés réalisés nous ont permis de déterminer la nature des formations en Place et récupérer des échantillons intacts qui ont été transmis au laboratoire pour subir les Différents essais physiques et mécaniques.

Tableau IV 2-Répartition des essais de sondage carotté (SC).

Essai géotechnique	Pk (localisation)	Profondeur (m)	Équipement associé
SC-1	07+500	10.45	SPT- Piézomètre
SC-2	11+700	22.00	SPT- Piézomètre
SC-3	13+925	20.00	SPT- Piézomètre
SC-4	15+000	15.00	SPT- Piézomètre
SC-5	16+000	15.20	SPT- Piézomètre

IV.3.3.2 Puits de reconnaissance à ciel ouvert (PU):

Les puits de reconnaissance sont réalisés avec plus 2 mètres de profondeur, ils sont réalisés à la pelle mécanique, les sols prélevés seront soumis aux différents essais physico-mécaniques. (Argile, encroutement calcaire, marne friable)

Tableau IV 3-Répartition des essais de puits de reconnaissance à ciel ouvert (PU).

Essai géotechnique	Pk (localisation)	Profondeur (m)
PU-01	07+500	0.70
PU-02	08+500	0.40
PU-03	09+000	1.50
PU-04	10+000	2.00
PU-05	12+300	0.50
PU-06	12+800	0.40
PU-07	13+800	0.70
PU-08	14+800	1.20
PU-09	15+300	1.60
PU-10	16+800	0.70

IV.3.3.3 Essais au pénétromètre dynamique lourd (PDL) :

Le pénétromètre dynamique noté DPT, est un moyen simple, rapide et économique d'investigation des sols in situ. Il va jusqu'au refus ou à une profondeur de 10 m. Il permet de définir lors d'une compagne de reconnaissance :

- L'homogénéité du site ;
- La cote du substratum ;
- Une valeur approchée de la force portante en vue de pré-dimensionner des fondations.

L'essai DPT est le plus simple et le moins coûteux des essais in situ, ce qui explique qu'il est le plus utilisé.

Tableau IV 4-Répartition des essais au pénétromètre dynamique lourd (PDL)

Essai géotechnique	Pk (localisation)	Profondeur (m)
PDL-01	07+500	0.60
PDL-02	08+000	0.60
PDL-03	08+500	0.40
PDL-04	09+000	1.20
PDL-05	09+500	1.20
PDL-06	10+000	0.40
PDL-07	10+900	0.60
PDL-08	11+250	1.20
PDL-09	11+700	8.00
PDL-10	12+300	0.60
PDL-11	12+800	0.40
PDL-12	13+300	6.60
PDL-13	13+800	0.60
PDL-14	14+300	4.20
PDL-15	14+800	1.20
PDL-16	15+300	3.20
PDL-17	16+300	0.80
PDL-18	16+800	1.40

Tableau IV 5-répartition des essais de sondage carotté (SC)

Essai géotechnique	Pk (localisation)	Profondeur (m)	Équipement associé
SC-1	7+500	10.45	SPT- Piézomètre
SC-2	11+700	22.00	SPT- Piézomètre
SC-3	13+925	20.00	SPT- Piézomètre
SC-4	15+000	15.00	SPT- Piézomètre
SC-5	16+000	15.20	SPT- Piézomètre

Tableau IV 6-répartition des essais au pénétromètre dynamique lourd (PDL)

Essai géotechnique	Pk (localisation)	Profondeur (m)
PDL-1	7+500	0.60
PDL-2	8+000	0.60
PDL-3	8+500	0.40
PDL-4	9+000	1.20
PDL-5	9+500	1.20
PDL-6	10+000	0.40
PDL-7	10+900	0.60

PDL-8	11+250	1.20
PDL-9	11+700	8.00
PDL-10	12+300	0.60
PDL-11	12+800	0.40
PDL-12	13+300	6.60
PDL-13	13+800	0.60
PDL-14	14+300	4.20
PDL-15	14+800	1.20
PDL-16	15+300	3.20
PDL-17	16+300	0.80
PDL-18	16+800	1.40

Tableau IV 7-répartition des essais de puits de reconnaissance à ciel ouvert

Essai géotechnique	**Pk (localisation)**	**Profondeur (m)**
PU-1	7+500	0.70
PU-2	8+500	0.40
PU-3	9+000	1.5
PU-4	10+000	2.0
PU-5	12+300	0.50
PU-6	12+800	0.40
PU-7	13+800	0.70
PU-8	14+800	1.20
PU-9	15+300	1.60
PU-10	16+800	0.70

IV.3.4 Travaux au laboratoire :

Des échantillons intacts de la formation d´encroutement calcaire et marneuse, et les échantillons continus des grès et sables prélevés sur les différents sondages, ainsi que des échantillons remanies prélevés dans les puits des reconnaissances ont été soumis à des essais physico-mécanique et chimique, dans le but de permettre une étude plus précise du sol, et une meilleure identification du sol.

Tableau IV 8- Les échantillons prélevés.

Sondage / Puits	**Profondeur(m)**	**Nature lithologique**
SC-01 PK : 07+700	1.50-1.93	Sable fins lâche a passage consolide (grès), brun
	6.00-6.25	Grès
	8.25-8.50	Marne bariolée

SC-02 PK : 11+400	1.20-1.40	Limon argileux, encroute, jaunâtre a blanchâtre
	2.60-3.00	
	5.00-5.30	
	7.95-8.25	Marne bariolée
	11.60-12.00	Limon argileux, encroute, brun blanchâtre
SC-03 PK : 13+925	4.55-4.85	Marne bariolée
	8.55-8.88	
	16.00-16.30	Marne grisâtre
SC-04 PK : 15+000	1.20-1.45	Limon argileux, encroute, jaunâtre a blanchâtre
	3.50-3.75	Sable limoneux fin, encroute, brun blanchâtre
	4.00-4.25	Grès
	5.50-5.75	Grès
	9.50-9.70	Marne grisâtre
	11.50-11.80	
	14.00-14.90	
SC-05 PK : 16+000	2.65-2.95	Marne bariolée
	6.00-6.25	
	13.10-13.40	
PU-01 PK : 07+550	0.20-0.70	Carapace de grès calcaire a remplissage de sable limoneux rougeâtre, a encroutement carbonates blanchâtre
PU-02 PK : 08+500	0.40-1.00	Carapace calcaire gréseux (dalle), rose blanchâtre
PU-03 PK : 09+000	1.00-1.40	Limons sablo-argileux fermes, rougeâtres
PU-04 PK : 10+000	0.40-1.80	Sable limoneux, denses, friables, très encroutes, crayeux blanchâtres
PU-06 PK : 12+300	-	Matériaux insuffisants, la carapace de grés calcaire est massive
PU-07 PK : 12+800	-	Matériaux insuffisants, la carapace de grés calcaire est massive
PU-08 PK : 13+800	-	Matériaux insuffisants, la carapace de grés calcaire est massive

PU-09 PK : 14+800	0.50-1.10	Sable limoneux, denses, friables, très encroutes, crayeux blanchâtres
PU-10 PK : 15+300	1.00-2.00	Limons et sables, très encroutes, consolides
PU-11 PK : 16+800	-	Matériaux insuffisants, la carapace de grés calcaire est massive

IV.3.5 Les paramètres naturels :

- **Le poids volumique du sol (γ) :**

C'est la somme des poids des particules solides et de l'eau d'un volume unité de sol.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Avec W : Poids du sol.
V : Volume du sol.

- **Le poids volumique du sol sec, noté (γ_d):**

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Avec W_S : Poids du sol sec.

- **Degré de saturation (S_r) :**

Le degré de saturation noté (S_r), indique dans qu'elle proportion les vides sont remplis Par l'eau. I] est défini comme le rapport du volume de l'eau au volume des vides. II s'exprime En pourcentage.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

Avec V_W : Volume du l'eau.
V_V : Volume des vides

Le degré de saturation peut varier de **0% (sol sec)** à **100% (sol saturé).**

- **Teneur en eau naturelle (NA5209 et NFP 94050) :**

La teneur en eau se détermine à partir de deux pesées. La première pesée de l'échantillon dans son état initial donne la masse « M » de l'échantillon humide. Une deuxième pesée, effectuée après passage à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures (ce qui entraîne l'évaporation de l'eau libre et de l'eau capillaire), donne la masse sèche de l'échantillon, notée « M_s ».

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Avec : $W_w = W - W_s$

Tableau IV 9-Paramètres naturels

Sondages carottés (SC) / Puits (PU)	Profondeur(m)	Densité sèche (γ_d)	Densité humide (γ_h)	Teneur en eau ω_n %	Teneur en eau de saturation ω_s %	Saturation S_r%
SC-01	1.50-1.93	1.65	1.98	17.65	22.33	96.69
	6.00-6.25	-	2.61	-	-	46.08
	8.25-8.50	1.76	2.07	17.83	19.22	51.93
SC-02	1.20-1.40	1.79	2.01	12.17	18.11	-
	2.60-3.00	1.75	2.07	18.20	19.43	-
	5.00-5.30	1.61	1.96	21.83	24.39	97.48
	7.95-8.25	1.76	2.03	15.21	19.05	98.18
	11.60-12.00	1.79	2.09	16.78	18.13	99.46
SC-03	4.55-4.85	1.64	2.00	21.74	23.89	79.04
	8.55-8.88	1.65	2.01	21.76	23.40	-
	16.00-16.30	1.63	2.01	23.42	24.22	92.74
SC-04	1.20-1.45	1.64	1.82	11.11	24.11	67.18
	3.50-3.75	1.65	1.85	12.28	23.06	93.67
	4.00-4.25	-	2.76	-	-	89.50
	5.50-5.75	-	2.63	-	-	79.87
	9.50-9.70	1.55	1.97	26.78	27.47	92.57
	11.50-11.80	1.55	1.97	27.16	27.67	91.02
	14.00-14.90	1.51	1.95	29.00	29.15	93.01
SC-05	2.65-2.95	1.64	1.90	16.14	24.11	66.94
	6.00-6.25	1.44	1.90	32.19	32.56	98.86
	13.10-13.40	1.61	2.00	23.81	24.92	95.54
PU-01	0.20-0.70	1.55	1.71	9.91	26.59	37.26
PU-02	0.40-1.00	1.61	1.73	7.77	25.09	30.96
PU-03	1.00-1.40	1.58	1.85	17.33	26.39	65.69
PU-04	0.40-1.80	1.59	1.72	7.76	25.68	20.23
PU-09	0.50-1.10	1.60	1.77	10,26	25.34	40.47
PU-10	1.00-2.00	1.56	1.80	15.20	26.94	56.43

IV.3.5.1 Analyse granulométrique:

Elle permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Il s'agit du tamisage (soit au passant de 2 mm, soit au passant de 80 pm) qui permet de distinguer les sols fins, les sols sableux (riches en fines) et les sols graveleux (pauvres en fines).

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous forme d'une courbe dite "courbe granulométrique". Celle-ci est construite en portant sur un graphique le pourcentage de refus de masse tamisée en fonction des différents diamètres de grains.

IV.3.5.2 Limites d'Atterberg:

Ce sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état moyen, de son indice de consistance. Par définition, les limites d'Atterberg (limites de liquidité et de plasticité) sont les teneurs en eau pondérales correspondantes a des états particuliers d'un sol. Elles visent 4 déterminer le domaine hydrique dans lequel un sol argileux à un comportement plastique.

- La limite de liquidité, notée $\mathbf{W_L}$ qui sépare l'état liquide de l'état plastique,
- La limite de plasticité, notée $\mathbf{W_p}$ qui sépare l'état plastique de l'état solide,
- Limite de retrait $\mathbf{W_r}$ est la teneur en eau à partir de laquelle le sol garde son volume constant quand on continue à le séché. Tous les grains du squelette minéral sont alors parfaitement en contact.

IV.3.5.3 Essai PROCTOR

L'essai consiste 4 damer un échantillon de sol de maniéré définie et répétitive en Faisant varier sa teneur en eau. La mesure régulière de la teneur en eau et de la masse Volumique séché du matériau, une fois reportée sur un graphique, permet d'obtenir une courbe En cloche. L'optimum est alors déterminé par le point maximal de la courbe qui donne la Teneur en eau optimale pour une masse volumique maximum.

On parle de Proctor modifié lorsque le compactage est beaucoup plus intense, C'est Par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en Eau optimale, densité sèche maximale) des matériaux destinés à constituer notre plateforme.

IV.3.5.4 Essai C.B.R (California Bearing Ratio)

Cet essai a pour but d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement. Les essais de CBR sont effectués sur des échantillons compactés avec une teneur en humidité optimale, obtenus à partir de l'essai de compactage Proctor.

Sa formule est donnée par :

$$\mathbf{CBR} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{P_s}} \times \mathbf{100}$$

Avec P : a pression mesurée dans les sols du site (N/mm²).

P_S : La pression pour atteindre la pénétration égale sur sol standard (N/mm2).

IV.4 La classification des sols pour ce projet :

Les résultats des essais et la classification selon le GTR et l'UIC sont résumés dans le tableau suivant :

Sondages carottés (SC) / Puits	Profondeur(m)	W_L %	Ip	ω_s %	ω_n %	% passant 80 µm	VBS	Classification GTR	Classification UIC
SC-01	1.50-1.93	-	-	-	-	-	-	-	-
	6.00-6.25	-	-	-	-	-	-	-	-
	8.25-8.50	54.00	30.20	19.22	17.83	94.9	-	**A3m**	**QS1**
SC-02	1.20-1.40	62.30	34.73	18.11	12.17	-	-	**A3ts**	**QS1**
	2.60-3.00	67.57	39.30	19.43	18.20	94.73	-	**A3m**	**QS1**
	5.00-5.30	46.23	24.13	24.39	21.83	93.33	-	**A2s**	**QS1**
	7.95-8.25	43.70	22.40	19.05	15.21	88.40	-	**A2s**	**QS1**
	11.60-12.00	47.46	23.13	18.13	16.78	88.27	-	**A2m**	**QS1**
SC-03	4.55-4.85	69.26	40.53	23.89	21.74	96.67	-	**A4**	-
	8.55-8.88	69.43	41.06	23.40	21.76	96.73	-	**A4**	-
	16.00-16.30	72.68	42.45	24.22	23.42	98.10	-	**A4**	-
SC-04	1.20-1.45	47.12	23.29	24.11	11.11	88.70	-	**A2ts**	**QS1**
	3.50-3.75	40.77	19.80	23.06	12.28	57.63	-	**A2ts**	**QS1**
	4.00-4.25	-	-	-	-	-	-	-	-
	5.50-5.75	-	-	-	-	-	-	-	-
	9.50-9.70	-	-	-	-	-	-	-	-
	11.50-11.80	55.23	30.63	27.67	27.16	98.73	-	**A3m**	**QS1**
	14.00-14.90	53.93	28.56	29.15	29.00	98.10	-	**A3m**	**QS1**
SC-05	2.65-2.95	56.37	32.00	24.11	16.14	85.13	-	**A3ts**	**QS1**
	6.00-6.25	54.30	29.33	32.56	32.19	94.50	-	**A3m**	**QS1**
	13.10-13.40	53.68	27.41	24.92	23.81	94.23	-	**A3m**	**QS1**
PU-01	0.20-0.70	28.27	12.60	26.59	9.91	26.75	0.496	**B6ts**	**QS2**
PU-02	0.40-1.00	25.60	11.43	25.09	7.77	26.99	0.269	**B6ts**	**QS2**
PU-03	1.00-1.40	44.47	22.80	26.39	17.33	67.68	1.069	**A2ts**	**QS1**
PU-04	0.40-1.80	32.79	15.96	25.68	7.76	27.91	0.979	**B6ts**	**QS2**
PU-09	0.50-1.10	37.51	17.31	25.34	10,26	61.93	1.339	**A2ts**	**QS1**
PU-10	1.00-2.00	46.11	24.61	26.94	15.20	87.49	1.777	**A2ts**	**QS1**

IV.5 Application de la classification d'un échantillon :

On prend un échantillon (SC02) de profondeur de 2.60 m à 3.00 m.

Classification selon GTR

D'après le tableau synoptique de la classification des matériaux selon leur nature, on a :

D_{max} = 0.5 mm < 50 mm

Passant à 80 µm = 94,73%, compris entre 35% et 100%

Et on a la valeur de Ip (indice de plasticité) = 39,30, compris entre 25% et 40%

Donc, cet échantillon est de nature A3.
L'état hydrique de cet échantillon est moyen car $0.9\ w_s < w_n = 17.83\ \% \leq 1.2\ w_s$.
Cela implique que la classification de cet échantillon est **A3m**.

Classification selon UIC
D'après la documentation **UIC719** dans le tableau de classification de qualité des sols à partir de la classification de la norme **NF P 11 300 (GTR)**, on a un sol de classe **QS1**.

IV.6 Conclusion:

D'après l'étude géologique et géotechnique, on conclut que notre projet se situe dans un terrain d'après la classification GTR varie entre A_2, A_3 et A_4 et un sol de qualité QS1,QS2 et en zone sismique II-A avec un coefficient d'accélération A=0.20 et avec un sol de type QS1 selon la classification UIC.

CHAPITRE V

TRACE EN PLAN

V.1 Introduction:

L'étude géométrique du tracé de la voie a pour but d'obtenir un bon roulement des trains, il est donc indispensable de chercher la meilleur forme géométrique à donner à la surface de roulement de la voie et du tracé adopté pour cette surface et au même temps qui répond aux conditions exigées par les référentiels ferroviaires (pour des vitesses inferieures à 220 km/h).

V.2 Tracé en plan:

Le tracé en plan de la voie ferrée est une projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal, se composera de la succession judicieuse des éléments suivants : alignement droit, pleine courbe et courbe de transition.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité. Sans omettre que dans les chemins de fer on trouve deux vitesses caractéristiques.

V_R : vitesse des trains rapides (voyageurs),

V_m : vitesse des trains lents (marchandises),

V.2.1 Règles à respecter dans le tracé en plan :

- L'adaptation du tracé en plan au terrain naturel (suivre les courbes de niveau) afin d'éviter les terrassements importants ;
- Éviter de passer par des terrains agricoles, des zones forestières, des propriétés privées, des sites sujets à des problèmes géologiques, des terrains très plastiques et des sols très compressibles ;
- Éviter de franchir les oueds pour limiter au maximum le recours aux ouvrages d'art, principalement pour des raisons économiques ;
- Essayer d'utiliser le plus d'alignements possible ;
- Respecter les
- Normes et les règlementations (le référentiel technique).

V.2.2 Paramètres de conception du tracé de la voie :

Paramètres relevant de la sécurité

- Le rayon de la courbe **R**.
- La variation de la courbure.
- Le dévers et le taux de variation de dévers.

Paramètres relevant du confort

- L'excès de dévers **E**.
- La vitesse maximale du train **V**.
- La longueur des éléments de tracé.
- La variation de l'insuffisance de dévers.

V.2.3 Eléments de tracé en plan :

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

- **L'alignement (R=∞) :** est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation La conception d'une voie ferrée avec des alignements longs offre un meilleur confort aux usagers ainsi que leur sécurité, donc il est recommandé d'utiliser plus d'alignement dans le tracé en plan quand la topographie de la zone le permet.

  L'alignement a une valeur minimale recommandée selon référentiel technique de SNTF.

  - Le cas normal : $\frac{V_R}{2}$
  - Le cas exceptionnel : $\frac{V_R}{3}$

L'arc de cercle (R=constant) : Le raccordement entre les alignements se fait avec les raccordements circulaires. La valeur du rayon de raccordement est en fonction de la vitesse des trains dans la courbe. Le rayon des arcs de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence VR de ne pas dérailler.

La courbe de raccordement : La géométrie des voies ferrées doit permettre une transition progressive (sans chocs) entre des éléments de tracé présentant des accélérations transversales différentes et éviter un accroissement subit de celles-ci à l'entrée d'une courbe. C'est la raison pour laquelle le passage d'un rayon de courbe, de dimension finie ou infinie, à un autre doit être progressif. Ceci est obtenu par l'introduction d'une courbe de raccordement. Ces éléments liés aux rampes de dévers sont des contraintes importantes dans l'élaboration d'un tracé.

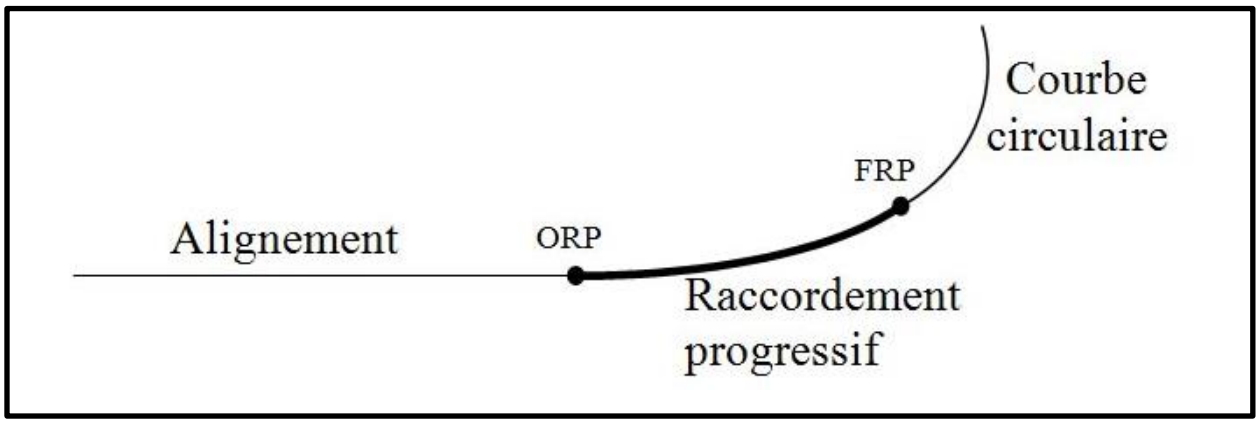


Figure V 1-Eléments géométriques de tracé en plan

V.2.4 Le rayon minimal :

La valeur de rayon minimum admissible est en fonction des vitesses de circulation et le confort des voyageurs.

Pour la détermination de rayon minimal on prend en considération les paramètres suivants :

Le dévers pratique

La vitesse maximale et minimale d'exploitation

La valeur limite d'insuffisance et d'excès du dévers

Le rayon minimum (exprimé en [m]) est calculé par la formule suivante :

$$\frac{\mathbf{11,8 \cdot V_R^2}}{\mathbf{d_{Rmin} + I_{max}}} \leq \mathbf{R_{min}} < \frac{\mathbf{11,8 \cdot V_m^2}}{\mathbf{d_{Rmin} - E_{max}}}$$

Avec : d_{Rmin} : Dévers pour le rayon minimum avec : $\mathbf{d_{Rmin}} = \frac{\mathbf{V_R^2 \cdot E_{max} + V_m^2 \cdot I_{max}}}{\mathbf{V_R^2 - V_m^2}}$

I_{max} : Valeur admissible d'insuffisance de dévers.

V_R : Vitesse maximum des trains voyageurs.

R_{min} : Rayon minimum pour la vitesse maximale.

V.2.5 Dévers :

Le véhicule subit en courbe une instabilité sous l'effet de la force centrifuge qui a tendance à la renverser vers l'extérieur du virage cette force peut conduire au déraillement du train donc il est nécessaire de surélever la file du rail de grand rayon par rapport au niveau de l'autre, d'une valeur appropriée, cette valeur est appelée dévers, il est exprimé en [mm].

Le dévers maximum est limité afin de ne pas perturber le confort des voyageurs et d'éviter le déplacement de marchandises lors de l'arrêt impromptu du train fret dans une courbe.

- Valeur maximale de dévers : 160 mm (Selon le référentiel SNTF)

V.2.5.1 Dévers théorique (d_{th}) [mm]:

Pour un véhicule roulant avec une vitesse V en courbe, l'accélération centrifuge génère des effets indésirables :

Le rejet de véhicule vers le rail extérieur

L'inconfort des passagers

Le déplacement des marchandises dans les wagons

Le risque de renversement des véhicules

Pour empêcher ces effets, le plan de roulement devra être disposé perpendiculairement à la résultante des forces qui agissent sur le train en surélevant le rail extérieur par rapport au rail intérieur, cette surélévation est appelée dévers théorique d_{th}.

$$\mathbf{d_{th} = \frac{11,8 \, . V_R^2}{R}}$$

Avec : d_{th} : Dévers théorique.

R : Rayon de courbe.

V_R: vitesse des trains rapide.

V.2.5.2 Dévers pratique (d_p) [mm] :

Le dévers pratique (d_p) de la voie est inférieur au dévers théorique pour les trains les plus rapides (voyageurs) et supérieur pour les trains les plus lents (marchandise). Afin de conserver l'homogénéité du confort sur l'ensemble de la ligne, le dévers pratique appliqué à la voie est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{d_p = \frac{K}{R} = \frac{1000 . C}{R}}$$

Avec : d_p : dévers pratique

R : rayon de courbe (m)

K : coefficient de la ligne $\mathbf{k = 1000\ C}$

C : coefficient de dévers $\mathbf{C = 0,006\ V_R^2}$ **(**Pour des vitesses inferieures à 220 km/h**)**

V.2.5.3 Insuffisance de dévers (I) [mm] :

Se produise lorsque la vitesse du train en courbe dépasse la vitesse d'équilibre associée au dévers pratique, dans ce cas échéant, la force centrifuge vers l'extérieur sera non compensée. Elle est donné par :

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

L'insuffisance de dévers est aussi liée à l'accélération transversale non compensée par la formule suivante : $\mathbf{a_{nc} = I \times \frac{1}{153}}$ $(\mathbf{m/s^2})$

Les valeurs maximales admissibles de l'insuffisance de dévers selon la SNTF sont :

- Valeur maximale normale : 150 mm
- Valeur maximale exceptionnelle : 160 mm

V.2.5.4 Excès de dévers (E) [mm] :

Lorsque le train les plus lent emprunte une courbe avec une vitesse plus faible que la vitesse d'équilibre correspondant au dévers pratique, ce train est soumis à une force centripète non compensé. Le dévers de la voie est donc excessif et la résultante des forces se déplace vers l'intérieure de la courbe. Cet excès de dévers est calculé comme suit : (il est exprimé en mm)

$$\mathbf{E = d_p - \frac{11,8\ .\ V_m^2}{R}}$$

Les valeurs maximales admissibles de l'excès de dévers selon la SNTF sont :

- Valeur maximale normale : 110 mm
- Valeur maximale exceptionnelle : 130 mm

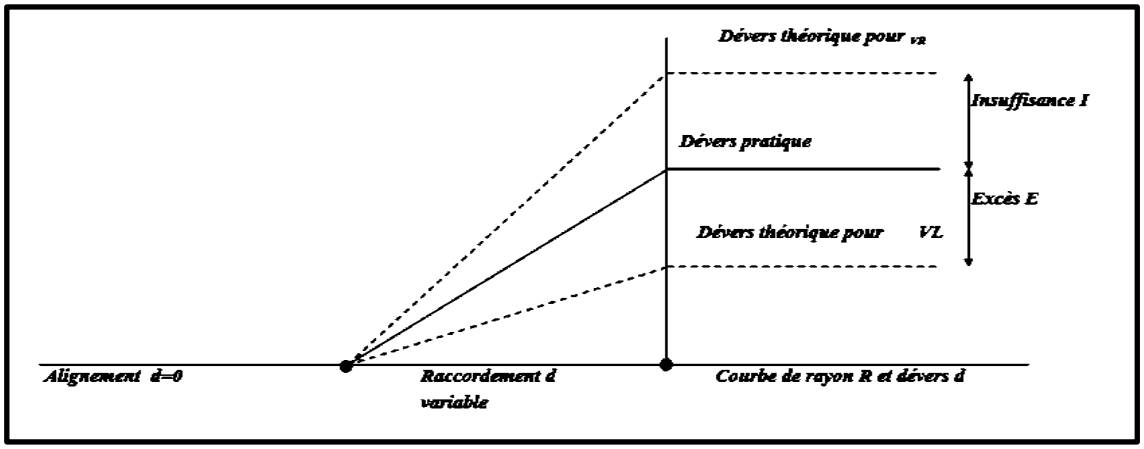


Figure V 2-Raccordement de dévers

V.2.5.5 La variation de dévers par rapport au longueur $\left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)$ [mm/m] :

Le dévers évolue de manière progressive le long de la clothoïde. Cette évolution induit une inclinaison vers la gauche, car les deux rails ne restent plus parallèles, entraînant ainsi une trajectoire inhabituelle du véhicule sur ses quatre points de contact. Ce phénomène est considéré comme un risque majeur pour la circulation des véhicules.

Le gauchissement est défini par taux de variation de dévers par unité de longueur $\left(\frac{\Delta d}{\Delta l}\right)$, il est limité par un taux de variation maximal admissible R_p en (mm/m), afin de garantir une sécurité suffisante contre le déraillement.

- Valeur maximale normale : $\frac{\Delta d}{\Delta l} \leq R_p = \frac{180}{V_R}$
- Valeur maximale exceptionnelle : $\frac{\Delta d}{\Delta l} \leq R_p = \frac{216}{V_R}$

Avec : V_R : Vitesse des trains de voyageurs (maximale) (km/h)

V.2.5.6 Limite de la variation de dévers dans les courbes de transition

Afin d'éviter que les surcharges et les délestages déstabilisent les circulations et les fassent dérailler, la longueur des courbes de transition sera basée sur le dévers choisi et le taux de variation de dévers admissible, selon la relation suivante :

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

Avec L : Longueur de la clothoïde.

D : Le dévers adoptée (d_p)

V.2.5.7 La variation de dévers par rapport au temps $\left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)$ [mm/s] :

La variation du divers dans le temps est aussi limitée par une valeur maximale pour que la vitesse de rotation des véhicules ne nuise pas à leur stabilité, elle est calculée comme suit :

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d \times V_R}{3.6 \times L_{Rp}} \leq \left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{limite}$$

Selon la SNTF sa limite est donnée comme suit :

- Valeur limite normale : $\left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{limite} = 50 \text{ mm/s}$
- Valeur limite exceptionnelle : $\left(\frac{\Delta d}{\Delta t}\right)_{limite} = 60 \text{ mm/s}$

Avec $\left(\frac{dd}{dt}\right)_{limite}$ **:** La valeur limite de la variation de dévers par rapport au temps en (mm/s).

V.2.5.8 La variation d'insuffisance de dévers $\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$ [mm/s] :

Quand le véhicule parcourt la clothoïde, le voyageur ressent progressivement la force centrifuge non compensée à cause de la variation de l'insuffisance de dévers $\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$, cette progression doit être si possible inconsciente pour le voyageur.

Cette variation a une valeur minimale recommandée selon référentiel technique de SNTF.

- Valeur maximale normale = 75mm/s
- Valeur maximale exceptionnelle = 90mm/s

V.3 Application au ce projet (VP) :

Ce chapitre présente les critères de conception du projet et les paramètres géométriques du tracé d'une ligne d'exploration prétendue (Trafic Voyageurs : Vitesse 160 km/h et Marchandises : vitesse 100 km/h) et s'encadrent dans les normes généralement utilisées, notamment les codes UIC.

En conséquence les caractéristiques géométriques et techniques pour cette étude d'APD seront basées sur les caractéristiques fondamentales mentionnées ci-dessus, les paramètres non précisés sur cette dernière seront déduits des recommandations européennes et des pratiques de la S.N.T.F. De ce fait, nous proposons que dans la phase de projet d'APD, les paramètres géométriques et dynamiques établis dans la Fiche UIC703, SNCF IN0272 et ENV13803 soient considérés.

- **Paramètres géométriques du tracé :**

Tableau V 1-Paramètres de conception du projet

Items	**Caractéristiques**
Longueur du tracé	10.500 km
Section du tracé	Voie unique avec future dédoublement
Vitesse de conception du tracé pour le trafic voyageur	160 km/h
Vitesse de conception du tracé pour le trafic marchandises	100 km/h
Longueur maximale des trains marchandises	800 m
Charge à l'essieu de conception en pleine voie	22.5 t
Charge à l'essieu de conception pour les ouvrages	25 t
Ouvrage d'art	Pour double voie

- **Paramètres cinématique du tracé :**

Tableau V 2-Paramètres cinématique du tracé en plan

Paramètre	**Unité**	**Valeur maximale normale**	**Valeur maximale exceptionnelle**
Dévers maximum	mm	160	180
Rayon minimum en plan	m	1050	950
Insuffisance de dévers	mm	150	160
Excès de dévers	mm	110	130
Taux de variation de l'insuffisance de dévers	mm/s	75	90
Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur	mm/m	1.125	1.350
Longueur minimum des éléments	m	80	54

- Détermination du rayon minimale normale (R_{min}) :

On a:

$$\frac{\mathbf{11,8\,.\,V_{max}^2}}{\mathbf{d_{Rmin} + I_{max}}} \leq \mathbf{R_{min}} < \frac{\mathbf{11,8\,.\,V_{min}^2}}{\mathbf{d_{Rmin} - E_{max}}}$$

D'abord, On calcule le d_{Rmin}

$$d_{Rmin} = \frac{V_R^2\,.\,E_{max} + V_m^2.\,I_{max}}{V_R^2 - V_m^2} = \frac{160^2.110 + 100^2.150}{160^2 - 100^2} = 276.66 \text{ mm}$$

Donc

$$d_{Rmin} = 276.66 \text{ mm} > d_{max}\,(\text{SNTF}) = 160 \text{ mm} \rightarrow d_{Rmin} = d_{max} = 160 \text{ mm}$$

Application numérique :

$$R_{min} = \frac{11,8\,.160^2}{160+150} = 974.45 \text{ m} \leq R < \frac{11,8\,.100^2}{160-110} = 2360 \text{ m}$$

Alors on prend $R_{min} = 1050$ m (En raison du fait que c'est le minimum qui respecte les exigences de dévers recommandées par la SNTF (d_{max}=150 mm)).

- Détails du calcul du coefficient de dévers :

On a

$C = 0,006\,V_R^2 \rightarrow C = 0,006 \times 160^2 = 153.6$

La valeur de C doit être un multiple de 15 et respecter la relation suivante :

$0.5 < \frac{C}{0.0118 \times V_R^2} \leq 0.7$, Alors on prend $C = 165$

- Calcul de d_p Correspondant à la rayon minimale R_{min}

$$d_p = \frac{K}{R} = \frac{1000.C}{R}$$

Avec

$$K = 1000.C = 1000 \times 165 = 165000$$
$$R = R_{min} = 1050\ m$$

Application Numérique :

$d_p = \frac{165000}{1050} = 157.14\ mm < d_{max}\ (SNTF) = 160\ mm$ Vérifiée

- **Application au projet pour $R = 1100$ m**

Tableau V 3-Les paramètres géométriques pour un rayon de 1100 m.

	Formule	**Application Numérique**	**Valeur**
Dévers théorique [mm]	$d_{th} = \frac{11{,}8\ .\ V_R^2}{R}$	$d_{th} = \frac{11{,}8\ .\ 160^2}{1100}$	274.61
Dévers pratique [mm]	$d_p = \frac{1000.C}{R}$	$d_p = \frac{1000 \times 165}{1100}$	150
Vérification de dévers pratique	$0.5 \times d_{th} < d_p \leq 0.7 \times d_{th}$	$0.5 \times 274.61 < 150 \leq 0.7 \times 274.61$	$137.30 < 150 \leq 192.22$
Insuffisance de dévers [mm]	$I = d_{th} - d_p$	$I = 274.61 - 150$	124.61

Excès de devers [mm]	$E = d_p - \frac{11{,}8\,.\,V_m^2}{R}$	$E = 150 - \frac{11{,}8\,.\,100^2}{1100}$	42.72
La longueur de clothoïde [m]	$\frac{d_p}{R_p} \leq L_{RP}$	$\frac{150}{1.125} \leq L_{RP}$	140
La variation de dévers par rapport à la longueur [mm/m]	$\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{D}{L} = \frac{d_P}{L_{RP}}$	$\frac{\Delta d}{\Delta l} = \frac{150}{140}$	1.07
La variation de dévers par rapport le temps [mm/s]	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d \times V_R}{3.6 \times L_{RP}}$	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{150 \times 160}{3.6 \times 140}$	47.61
La variation d'insuffisance de dévers [mm/s]	$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \times V_R}{3.6 \times L_{RP}}$	$\frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{124.61 \times 160}{3.6 \times 140}$	39.56

Dans le tableau suivant sont présentées le listing des paramètres et des dévers correspondant à chaque rayon qui se trouve pour le tracé sur plan du tronçon d'étude :

Tableau V 4-Tableau récapitulatif des paramètres du tracé.

R (m)	d_{th} (mm)	C	C adopté	Vérification de C	d_p (mm)	d_p adopté (mm)	I (mm)	E (mm)	L_{Rp} (m)	L_{Rp} adopté (m)	$\frac{\Delta d}{\Delta l}$ (mm/m)	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ (mm/s)
1100	274.62	153.60	165.00	0.55	150.00	150	124.62	42.73	133.33	140	1.07	39.56
1500	201.39	153.60	165.00	0.55	110.00	110	91.39	31.33	97.78	100	1.10	40.62

Pour les **7 sommets** de tracé, nous choisissons des rayons de 1100m ou 1500m afin d'éviter des terrassements importants tout en respectant toutes les règles de choix de tracé.

- **Remarque :** Le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel Civil 3D 2024, et les éléments du tracé en plan sont représentés dans l'Annexe I.

CHAPITRES VI

PROFIL EN LONG

VI.1 Profil en long:

Le profil en long représente la projection horizontale des altitudes du fond des rails sur un plan vertical qui traverse l'axe du tracé. Il est constitué d'une succession de pentes et de rampes reliées par des courbes circulaires, ce qui constitue la ligne rouge ou la ligne du projet.

L'évaluation d'un projet ferroviaire sur le plan économique et technique se fait par la construction d'un profil en long. Pour chaque point de cette ligne continue, il est nécessaire de déterminer l'altitude du terrain naturel, celle du projet, la déclivité du projet, ainsi que les distances partielle et cumulée.

VI.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Pour avoir un bon tracé de projet, plusieurs conditions doivent être respectées :

- Rechercher un équilibre entre le volume des remblais et des déblais ;
- La déclivité maximale autorisée est de 16‰ sur les voies principales ;
- Respecter les valeurs minimales des rayons de courbure recommandées par les règlements ;
- Un profil en long légèrement en remblai est préférable à un profil légèrement en déblai, car ce dernier complique l'évacuation des eaux et peut isoler la voie ferrée du paysage ;
- Éviter les angles rentrants en déblai pour éviter la stagnation de l'eau et faciliter son écoulement ;
- Éviter des hauteurs excessives en remblai ;
- Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage ;
- Maintenir des pentes nulles dans les gares pour une meilleure stabilité.

VI.3 Coordination du tracé en plan et profil en long :

Pour garantir de bonnes conditions de sécurité, il est essentiel de s'assurer d'une coordination optimale entre le tracé en plan et le profil en long. Pour ce faire, il faut :

- Éviter que les rayons du profil en long coïncident avec ceux du tracé en plan.
- Éviter de placer une courbe dans le profil en long immédiatement après une courbe dans le tracé en plan.

VI.4 Les éléments du profil en long :

- **Pente :** tronçon de voie ou l'altitude est décroissante dans le sens de circulation (descente).
- **Rampe :** tronçon de voie ou l'altitude est croissante dans le sens de circulation (montée).
- **Palier :** c'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.
- **Courbe de raccordement vertical :** ce sont des arcs de cercles qui assurent la liaison.

VI.5 Eléments caractéristiques du profil en long :

VI.5.1 Déclivité maximale [‰] :

La déclivité d'une ligne influence les capacités de freinage et de démarrage des circulations. La déclivité autorisée varie selon la longueur du tronçon.

Les valeurs de pente et de rampe limites maximale selon l'instruction SNCF/RFF IN 0272 sont indiqués comme suit :

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

En déclivité de **longueur supérieure à 15000m** la déclivité ne doit pas dépasser **13‰** et exceptionnellement **15‰.** Le tableau ci-après précise la valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application :

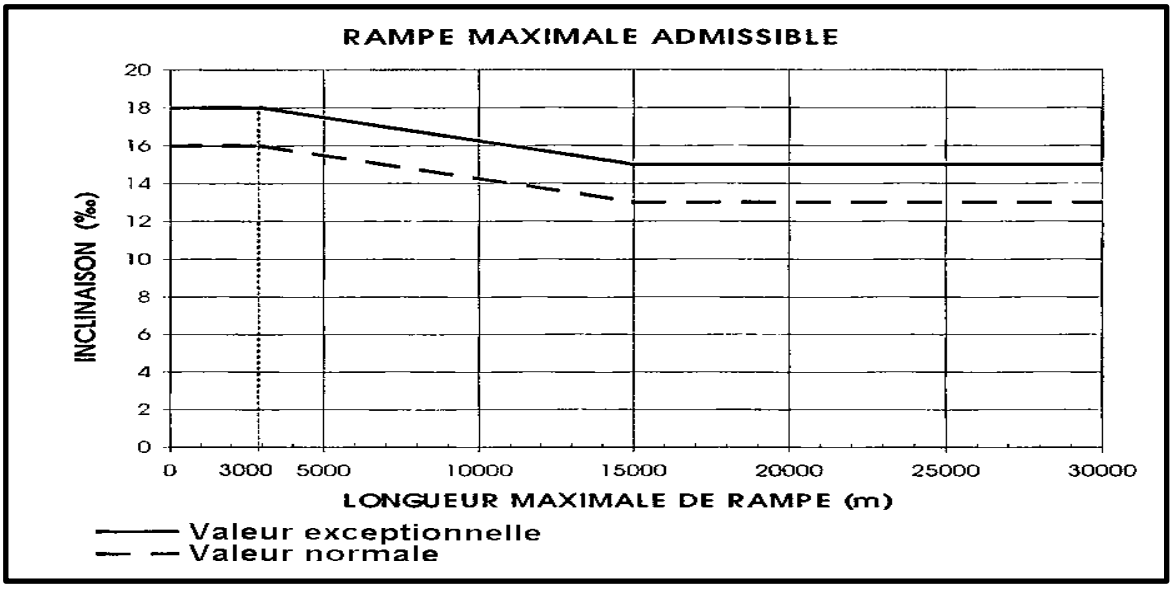


Figure VI 1-La valeur de la déclivité en fonction de sa longueur d'application.

VI.5.2 Raccordements admissibles en raccordement en profil en long [m] :

Les pentes qui forment le profil en long sont reliées entre elles par des courbes circulaires. Les valeurs des rayons minimales admissibles pour le profil en long sont limitées afin de tenir compte des considérations suivantes :

- L'accélération centrifuge générée lorsqu'un véhicule traverse un raccordement de profil en long avec un rayon R_v à une vitesse donnée doit être limitée pour éviter tout inconfort des passagers. Par conséquent, le rayon minimum utilisé pour le profil en long doit être suffisamment large pour ne pas dépasser cette accélération à la vitesse maximale prévue.
- Les raccordements de profil en long utilisent des courbes circulaires sans transitions entre les pentes et les raccordements. Cela crée une accélération verticale soudaine aux extrémités, provoquant des oscillations dans la suspension du véhicule, ce qui nuit au confort des passagers.

Les limites des valeurs des rayons de raccordement en profil (Selon SNTF) :

- Valeur normale : $\mathbf{0.35 \times V_R^2}$
- Valeur exceptionnelle : $\mathbf{0.25 \times V_R^2}$
- Points particuliers à des vitesses inférieures ou égales à 140 km/h (notamment les sauts de mouton) : $\mathbf{0.15 \times V_R^2}$

Avec V_R : La vitesse en km/h

VI.5.3 Longueur des éléments en long [m] :

Pour éviter les oscillations des véhicules dues aux variations successives de déclivités et permettre l'amortissement des oscillations des suspensions, il est nécessaire de définir une longueur minimale pour les éléments concernés.

Selon SNTF la limite de cette longueur est donnée comme suit :

- Valeur minimale normale : $\frac{\mathbf{V_R}}{\mathbf{2}}$
- Valeur minimale exceptionnelle : $\frac{\mathbf{V_R}}{\mathbf{2.5}}$
- Valeur minimale pour prendre en considération les exigences de nivellement des bourreuses. : **30 m**

VI.6 Application au notre projet (PL) :

- **Paramètres géométriques du tracé :**

Paramètre	**Unité**	**Valeur maximale normale**	**Valeur maximale exceptionnelle**
Rayon de raccordement en profil minimum	m	8960	6400
Longueurs minimales des pentes et rampes	m	80	64
Déclivité maximum des pentes et rampes en pleine voie	‰	16	18
Déclivité maximum des pentes et rampes en gare et évitement	‰	0	-

- **Remarque :** Le tracé a été réalisé à l'aide du logiciel Civil 3D 2024, et les éléments du profil en long sont représentés dans l'Annexe II.

CHAPITRES VII

L’ETUDE DES CONTRAINTES

VII.1 Introduction:

La réalisation d'un projet nécessite une étude approfondie des obstacles et des réseaux existants le long du tracé, ce qui affecte l'étude et le choix des différents critères.

Notre projet traverse plusieurs obstacles et contraintes déjà présents sur le site en raison des agglomérations et des zones industrielles.

VII.2 Les contraintes:

VII.2.1 Les lignes électriques :

La ligne ferroviaire sera électrifiée dans le futur il y a lieu de tenir compte du gabarit électrifié pour la caténaire 1x25 KV ou 2x25 KV, il est essentiel de respecter le gabarit des caténaires. De plus, les caténaires doivent être à une distance sécurisée des autres lignes électriques existantes.

Les valeurs indiquées dans la colonne « hauteur minimale » ont été calculées sur la base de l'arrêté interministériel du 2 décembre 1998 portant approbation du règlement technique et de sécurité des ouvrages de distribution d'énergie électrique, appliqué par la SONELGAZ pour le passage des lignes électriques sur les voies électrifiées.

Le calcul de la hauteur des lignes électriques interférant avec la voie ferroviaire électrifiée par rapport au plan de roulement de la voie prend en considération les éléments suivants :

- La distance de sécurité (D) à respecter entre le point le plus haut de la caténaire et la ligne aérienne électrique qui l'interfère.
- La hauteur (H_{cat}) du point le plus haut de la caténaire au point de croisement par rapport au plan de roulement.

Ainsi, la hauteur (H) de la ligne électrique par rapport au plan de roulement est égale à :

$$\mathbf{H=D+H_{cat}}$$

Distance de sécurité (D)

En fonction du niveau de tension de la ligne électrique, la distance de sécurité entre la caténaire et la ligne aérienne sera calculée conformément aux dispositions de l'arrêté interministériel du 2 décembre 1998 portant approbation du règlement technique et de sécurité des ouvrages de distribution d'énergie électrique.

Conformément aux articles 15 et 30 de cet arrêté, cette distance est déterminée par la formule suivante : $\mathbf{D=3+0.0075\times U}$

Où U est le niveau de la tension maximale des deux câbles qui se croisent, exprimée en kV.

VII.2.1.1 Hauteur de la caténaire (H_{cat})

La hauteur de la caténaire est mesurée entre le plan de roulement et le point le plus haut de la caténaire au niveau du croisement. La valeur exacte de cette hauteur ne peut être déterminée qu'en phase d'étude d'exécution, en respectant les normes y afférentes, notamment les normes EN-50119 et EN-50122-1.

La hauteur H_{cat} est calculée selon la formule suivante :

$$\mathbf{H_{cat}=h_1+h_2+h_3}$$

Où : h1 est la hauteur nominale du fil de contact, prise à 5300 mm dans des projets similaires.

h2 est l'encombrement nominal entre le fil de contact et le câble porteur, pris à 1250 mm dans des projets similaires.

h3 est la hauteur entre le point le plus haut de la caténaire sous tension et le feeder au point de croisement (cette hauteur varie selon l'existence ou non du câble d'alimentation ou de renforcement).

Le tableau ci-dessous présente des exemples de hauteurs minimales, calculées pour une caténaire 25 kV en interférence avec différentes lignes aériennes Sonelgaz

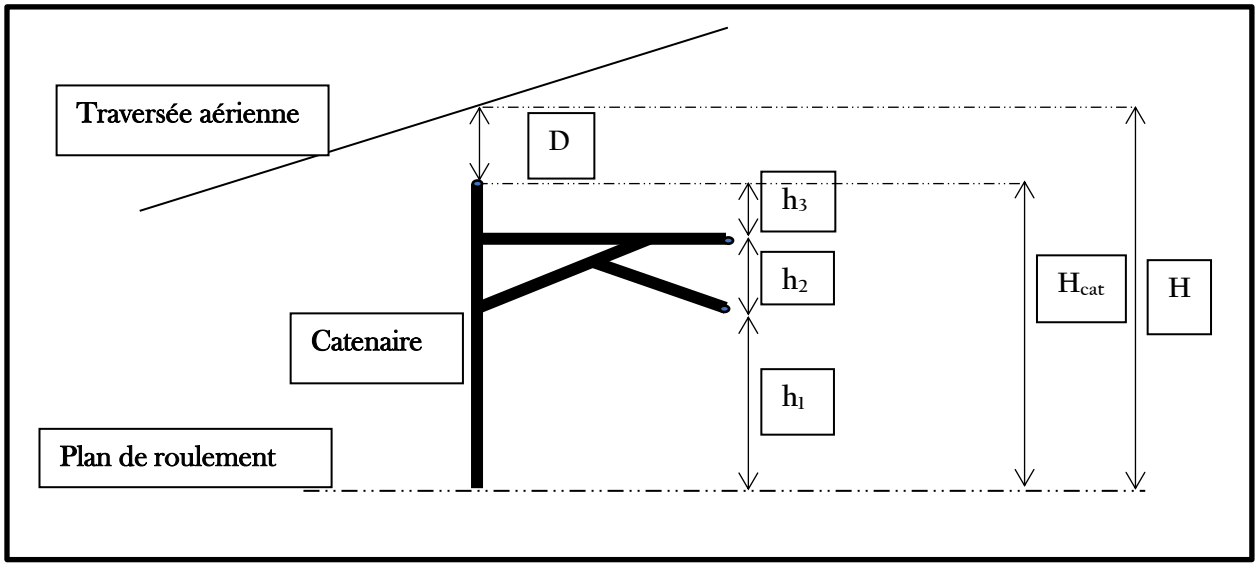


Figure VII 1- La hauteur d'exécution pour un catenaire.

Tableau VII 1-hauteur minimale

h (mm)		H_{cat} (m)	U (kV) (Lignes Sonelgaz)	D (m)	Hauteur minimale théorique H (ml)	Hauteur minimale adopté H (ml)
h_1	5.300	8.550	30	3.225	11.775	12-13
h_2	1.250		60	3.450	12.000	12-13
h_3 (Variable au point de croisement)	Exemple d'un feeder de renforcement au point de croisement h3=2.00		220	4.650	13.200	14
			400	6.000	14.550	15

Et ci-dessous la liste des lignes électrique coïncide avec notre projet avec des solutions proposé pour chaque ligne

Tableau VII 2-ligne électrique

Type de lignes électrique	PK PROJET	Hauteur par rapport au plan de roulement (m)	Hauteur minimale d'exécution (m)	Solutions
MT	9+055.599	**12.56**	12 à 13	Ligne à maintenir
BT	9+919.277	**13.11**	12 à 13	Ligne à maintenir
MT	10+725.997	**8.71**	12 à 13	Ligne à rehausser ou à déplacer
BT	12+122.824	**8.55**	12 à 13	Ligne à rehausser ou à déplacer
MT	12+371.423	**12.29**	12 à 13	Ligne à maintenir
HT	12+631.160	**9.10**	12 à 13	Ligne à rehausser ou à déplacer
HT	13+790.580	**19.09**	12 à 13	Ligne à maintenir
MT	16+393.934	**15.05**	12 à 13	Ligne à maintenir

Avec : BT : Basse tension. MT : Moyen tension. HT : Haut tension.

VII.2.2 Routes et pistes :

Le projet intersecte avec plusieurs pistes et routes. Le tableau suivant résume ces chemins et la solution proposée pour chacun.

Tableau VII 3-Routes et pistes

Pk	Réseau	Solution
7+643	Piste	A supprimer
8+507	Route nationale	Pont rail
9+879	Route nationale	Passage supérieur

10+724	Piste	A supprimer
11+320	Route	Passage inferieur
11+958	Piste	A supprimer
12+109	Piste	A supprimer
12+613	Route	Passage inferieur
14+337	Piste	A supprimer
16+700	Route nationale	Pont route

VII.2.3 Les pipelines :

Lorsque le projet est situé à proximité d'une zone industrielle, il est normal d'intersecter avec plusieurs pipelines. Le tableau suivant résume la liste de ces pipelines avec leur localisation et la solution proposée.

Tableau VII 4-pipelines

Pk	Type	Solution
8+382	GAZ	Ouvrage de protection
8+397	GAZ	Ouvrage de protection
8+411	GAZ	Ouvrage de protection
8+419	GAZ	Ouvrage de protection
8+429	GAZ	Ouvrage de protection
8+328	AEP	Ouvrage de protection
9+020	GAZ	Ouvrage de protection
9+078	AEP	Ouvrage de protection
11+308	GAZ	Ouvrage de protection
12+052	GAZ	Ouvrage de protection
12+077	GAZ	Ouvrage de protection
12+104	GAZ	Ouvrage de protection
12+130	GAZ	Ouvrage de protection
12+922	GAZ	Ouvrage de protection
12+952	GAZ	Ouvrage de protection
13+020	GAZ	Ouvrage de protection
13+033	GAZ	Ouvrage de protection
13+057	GAZ	Ouvrage de protection
13+020	GAZ	Ouvrage de protection
13+077	GAZ	Ouvrage de protection
14+329	AEP	Ouvrage de protection

VII.2.4 Les oueds :

On rencontre un oued au PK 15+930.00, et nous avons franchi cet obstacle en utilisant une buse de diamètre 1,2 m en raison de son faible débit.

CHAPITRES VIII

ASSAINISSEMENT

VIII.1 Cadre hydrologique:

Pour atteindre l'objectif principal de cette étude, qui est de fournir les éléments hydrologiques nécessaires le long de la ligne ferroviaire entre Hassi-Mefsoukh et Mostaganem, du **PK 7+500** au **PK 18+000**, nous devons collecter et analyser des données relatives aux précipitations, à l'évaporation, aux débits des cours d'eau, aux niveaux d'eau, ainsi qu'à d'autres facteurs hydrologiques importants afin d'assurer la stabilité de l'infrastructure et d'améliorer la portance de la plateforme.

VIII.1.1 Situation géographique de la zone d'étude :

Notre zone d'étude fait partie du bassin versant n°4 nommé 'Les côtiers oranais', comme le montre la figure.

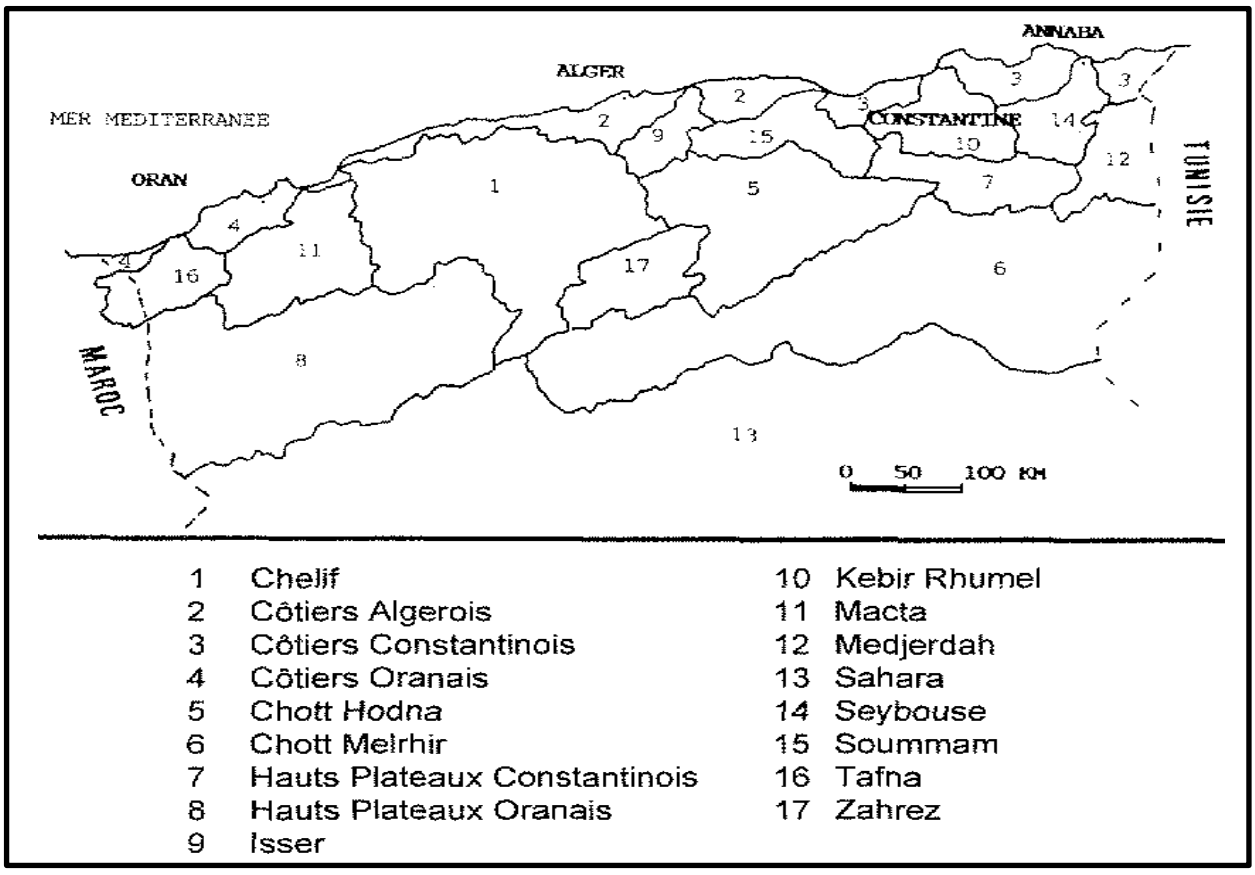


Figure VIII 1-Carte de situation de la région d'étude.

VIII.1.2 Données climatologiques et hydrologiques :

Les données climatiques de la zone d'étude proviennent des observations réalisées par les principales stations hydro-pluviométriques de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM).

Pour notre projet, c'est le station ORAN PEPINIERE (040502).

Station	X (km)	Y (km)	Z (km)	E-type	Coefficient de variation Cv
ORAN PEPINIERE (040502)	196.4	271.3	82	94.36	27%



Figure VIII 2-Situation de la station pluviométrique de ORAN PEPINIERE (code : 040502

VIII.1.2.1 La température:

De manière générale, le climat de la région est de type méditerranéen, caractérisé par des étés secs et chauds et des hivers humides et pluvieux. La température moyenne de la région est de **17°C**, et la répartition mensuelle, obtenue à partir du rapport de synthèse météorologique de l'ONM.

Tableau VIII 1- : Répartition mensuelle de la température (°c).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout
T(c°)	22.04	18.24	13.17	10.35	9.27	9.96	12.72	14.3	18.64	23.74	26.27	25.83

VIII.1.2.2 L'évaporation:

La répartition mensuelle de l'évaporation, selon l'ONM, est présentée dans le tableau suivant :

Tableau VIII 2- Répartition mensuelle de l'évaporation en (mm)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	L'année
EV (mm)	146	98	88	90	88	120	130	204.7	280.7	312.3	292	187	2036.7
EV (%)	9.02	7.12	4.87	4.32	4.53	4.38	6.03	7.14	9.88	13.55	15.07	14.09	100.00

L'évaporation totale mesurée sur une lame d'eau libre dans la région atteindre **2036,7 mm/an.**

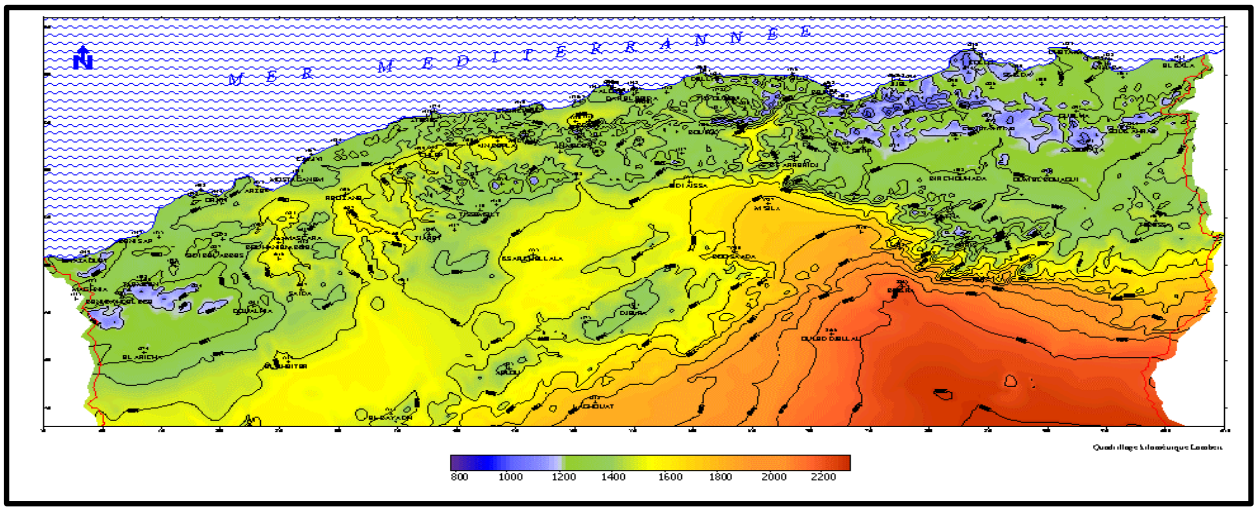


Figure VIII 3-Carte Evapotranspiration potentielle (Extrait de la carte d'ETP de l'ANRH).

VIII.1.2.3 La Vitesse du vent:

La vitesse moyenne du vent varie pendant l'année entre **2.28 et 2.92 m/s** et la vitesse moyenne mensuelle du vent est de **2.52 m/s** ou de **9.08 km/h**.

Tableau VIII 3-Répartition mensuelle de la vitesse moyenne du vent en (m/s)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	L'année
V (m/s)	2.29	2.39	2.38	2.53	2.84	2.28	2.47	2.92	2.74	2.66	2.44	2.32	2.52
V (km/h)	8.24	8.60	8.57	9.11	10.22	8.21	8.88	10.51	9.88	9.58	8.78	8.35	9.08

VIII.2 La pluviométrie:

L'estimation de la pluviométrie moyenne annuelle a été réalisée à partir de la carte des isohyètes de l'Algérie (données de l'A.N.R.H. 1989). La pluviométrie moyenne annuelle est estimée à **398 mm** à la station Oran Pépinière, d'après l'interpolation des courbes isohyètes.

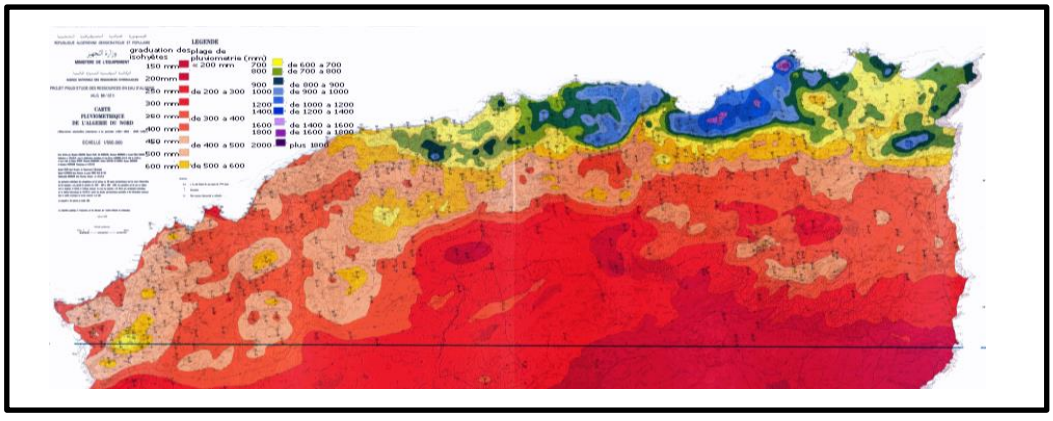


Figure VIII 4-Carte des précipitations annuelles moyennes (Oran).

VIII.2.1.1 Temps de concentration (T_c) [h] :

Le temps de concentration (Tc) correspond au temps de contribution d'un bassin versant pour obtenir le débit de point. Il dépend généralement des caractéristiques hydrologiques du bassin versant.

- **Caractéristiques des bassins versants :**

Voici ci-dessus la délimitation des bassins versants sur une carte



Figure VIII 5-Délimitation des bassins versants

Après avoir délimité les bassins versants sur une carte topographique à l'aide du logiciel Civil 3D, nous avons constaté que notre projet ferroviaire traverse 18 bassins versants, dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VIII 4-Caractéristiques des bassins versants.

N° de BV	PK	H_{max} (m)	H_{min} (m)	H_{moy} (m)	ΔH (m)	S (Km^2)	P (Km)	K_c	Forme de BV	L_w (m)	p (m/m)
01	07+576	75.91	73.48	74.69	2.42	0.075	1.10	1.125	Allongé	407	0.0060
02	08+276	71.98	62.37	67.18	9.61	0.151	1.73	1.246	Allongé	824	0.0117
03	08+997	78.20	57.89	68.05	20.31	0.038	0.84	1.208	Allongé	177	0.1150
04	09+629	120.62	50.27	85.45	70.35	11.313	14.98	1.247	Allongé	5316	0.0132
05	10+321	52.32	47.33	49.82	5.00	0.106	1.32	1.130	Allongé	459	0.0109
06	10+566	51.67	45.46	48.56	6.21	0.078	1.08	1.082	Allongé	335	0.0185
07	11+286	77.94	38.66	58.30	39.28	3.348	8.11	1.242	Allongé	2535	0.0155
08	11+668	64.80	32.82	48.81	31.99	0.345	2.86	1.362	Allongé	879	0.0364
09	12+347	142.85	59.21	101.03	83.64	22.636	26.23	1.544	Allongé	9235	0.0091
10	12+856	90.71	63.97	77.34	26.74	0.417	2.87	1.243	Allongé	1006	0.0266
11	13+522	90.40	80.84	85.62	9.56	0.100	1.27	1.128	Allongé	390	0.0245
12	14+247	90.38	61.45	75.92	28.93	1.539	5.52	1.247	Allongé	2411	0.0120
13	14+910	133.89	71.34	102.62	62.55	0.196	4.45	2.812	Allongé	1334	0.0469
14	15+936	123.61	97.09	110.35	26.52	0.120	1.48	1.195	Allongé	549	0.0483
15	16+168	113.24	112.38	112.81	0.87	0.099	1.44	1.282	Allongé	413	0.0021
	16+287	113.24	112.52	112.88	0.73	0.099	1.44	1.282	Allongé	335	0.0022
16	16+478	148.34	102.22	125.28	46.12	1.926	6.55	1.321	Allongé	2161	0.0213
17	16+937	135.15	111.74	123.44	23.41	0.283	2.27	1.193	Allongé	780	0.0300
18	17+702	156.91	106.52	131.72	50.39	1.304	4.63	1.134	Allongé	1561	0.0323

Avec : La surface du bassin versant (**S**) [Km²].

Le périmètre du bassin versant (**P**) [Km].

Indice de compacité ($\mathbf{K_c}$) : $\mathbf{K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}}}$

Les altitudes caractéristiques (L'altitude maximale ($\mathbf{H_{max}}$), L'altitude minimale ($\mathbf{H_{min}}$), L'altitude moyenne ($\mathbf{H_{moy}}$)) [m].

La longueur du talweg principal ($\mathbf{L_w}$) [Km].

La pente (**p**) [m/m].

DH est la différence entre l'altitude maximale et l'altitude minimale [m].

VIII.2.1.2 Le calcul de T_c en heures :

Le calcul du temps de concentration pour notre projet est déterminé par deux formules, chacune dépendant de la surface du bassin versant.

Les formules et une application de notre projet sont données comme suit :

La formule de Ventura

(Surface < 5 km²)

$$\mathbf{T_C = 0.127 \sqrt{\frac{S}{p}}}$$

Avec : La surface du bassin versant (**S**) [Km²].

La pente (**p**) [m/m].

Application numérique pour le BV 01

$$T_C = 0.127 \sqrt{\frac{0.075}{0.006}} = \mathbf{0.45\ h}$$

La formule de Passini

(5 km² ≤ Surface < 25 km²)

$$\mathbf{T_C = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S \times L_W}}{\sqrt{p}}}$$

Avec : La surface du bassin versant (**S**) [Km²].

La longueur du talweg principal ($\mathbf{L_w}$) [Km].

La pente (**p**) [m/m].

Application numérique pour le BV 04

$$T_C = 0.108 \frac{\sqrt[3]{11.313 \times 5.316}}{\sqrt{0.013}} = \mathbf{3.67\ h}$$

Nous résumons les résultats de notre calcul du temps de concentration ($\mathbf{T_c}$), ainsi que la méthode utilisée.

Tableau VIII 5-récapitulatif du calcul du TC

N° de BV	PK	S (Km²)	Méthode	L_W (km)	Pente (m/m)	T_C (Heures)
1	07+576	0.075	Ventura	0.407	0.006	0.45
2	08+276	0.151	Ventura	0.824	0.012	0.45
3	08+997	0.038	Ventura	0.177	0.116	0.07
4	09+629	11.313	Passini	5.316	0.013	3.67
5	10+321	0.106	Ventura	0.459	0.011	0.39
6	10+566	0.078	Ventura	0.335	0.019	0.26
7	11+286	3.348	Ventura	2.535	0.015	1.86
8	11+668	0.345	Ventura	0.879	0.037	0.39
9	12+347	22.636	Passini	9.235	0.010	6.73
10	12+856	0.417	Ventura	1.006	0.027	0.50
11	13+522	0.1	Ventura	0.390	0.025	0.25
12	14+247	1.539	Ventura	2.411	0.012	1.43
13	14+910	0.196	Ventura	1.334	0.047	0.25
14	15+936	0.12	Ventura	0.549	0.048	0.19
15	16+168	0.099	Ventura	0.413	0.002	0.87
	16+287	0.099	Ventura	0.335	0.002	0.86
16	16+478	1.926	Ventura	2.161	0.021	1.20
17	16+937	0.283	Ventura	0.780	0.030	0.38
18	17+702	1.304	Ventura	1.561	0.032	0.80

VIII.2.1.3 Intensité de Pluie (I) [mm/h] :

L'intensité des précipitations est déterminée selon la loi Intensité-Durée-Fréquence (IDF), qui est une fonction exponentielle décroissante dont les coefficients **a** et **b** sont appelés les paramètres de Montana.

$$\mathbf{I_t = a_t \times T_C^{-b}}$$

Selon l'ANRH, nous disposons des paramètres de Montana pour différentes périodes de retour.

Tableau VIII 6-Paramètres de Montana pour différentes périodes de retour.

Période de retour (t) (ans)	ORAN PÉPINIÈRE (040502)	
	$\mathbf{a_t}$	**b**
10	31.22	0.70
20	37.39	0.70
50	46.25	0.70
100	53.25	0.70

Remarque : La valeur du coefficient **a** est choisie pour une période de retour de **100 ans** (**a=53.25**), afin d'assurer que la durabilité des ouvrages hydrauliques soit équivalente à celle de l'infrastructure ferroviaire.

VIII.2.2 Estimation du débit de crue :

On utilise **la méthode rationnelle** pour le calcul du débit de pointe d'une crue. Cette méthode repose sur le principe de transformation d'une pluie de projet, caractérisée par son intensité, supposée uniforme et constante dans le temps, en un débit maximal instantané au temps de concentration, moment où tout le bassin contribue au débit.

Elle convient pour estimer **le débit centennal** sur des surfaces où le temps de concentration est court. Les débits de pointe obtenus avec la méthode rationnelle, pour une période de retour de cent ans, sont calculés pour des **bassins versants de 25 km² de surface ou moins**.

$$\mathbf{Q_{100}} = \frac{\mathbf{C_r} \times \mathbf{I_{100}} \times \mathbf{S}}{\mathbf{3.6}}$$

Avec : Débit de crue de période de retour maximale ($\mathbf{Q_{100}}$) [m^3/s].

La surface du bassin versant (**S**) [Km²].

Le coefficient de ruissèlement (**C_r**) (il est déterminé d'après la formule de KENNESY **Cr=C1+C2+C3**) (ANNEXE VII)

L'intensité de pluie (**I**) [mm/h].

Les résultats de ces calculs sont résumés dans le tableau ci-dessous

Tableau VIII 7-débit de crue

N° de bassin	PK	C1	C2	C3	C_r	I_{100} (mm/h)	S (Km²)	Q_{100} (m3/s)
01	07+576	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**092.98**	**00.075**	**00.58**
02	08+276	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**092.05**	**00.151**	**01.16**
03	08+997	0.2	0.1	0.15	**0.45**	**332.83**	**00.038**	**01.58**
04	09+629	0.05	0.2	0.15	**0.40**	**021.40**	**11.313**	**26.90**
05	10+321	0.05	0.2	0.15	**0.40**	**101.64**	**00.106**	**01.20**
06	10+566	0.05	0.2	0.15	**0.40**	**136.49**	**00.078**	**01.18**
07	11+286	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**034.40**	**03.348**	**09.60**
08	11+668	0.1	0.1	0.15	**0.35**	**102.73**	**00.345**	**03.45**
09	12+347	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**014.01**	**22.636**	**26.43**
10	12+856	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**086.11**	**00.417**	**03.00**
11	13+522	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**138.13**	**00.100**	**01.15**
12	14+247	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**041.29**	**01.539**	**05.29**
13	14+910	0.1	0.05	0.15	**0.30**	**136.73**	**00.196**	**02.24**
14	15+936	0.1	0.1	0.15	**0.35**	**164.36**	**00.120**	**01.91**
15	16+168	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**058.46**	**00.099**	**00.48**
	16+287	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**059.16**	**00.099**	**00.49**
16	16+478	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**046.69**	**01.926**	**07.49**
17	16+937	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**102.97**	**00.283**	**02.43**
18	17+702	0.05	0.1	0.15	**0.30**	**061.86**	**01.304**	**06.72**

- **Application numérique pour le bassin versant N°01 :**
  - **Calcul de I_{100} : on a $T_C = 0.45$ h**

La formule	Application numérique
$I_t = a_t \times T_C^{-b}$	$I_{100} = a_{100} \times T_C^{-b} = 53.25 \times 0.45^{-0.70} = \mathbf{92.97\ mm/h}$

  - **Calcul de Q_{100} :**

La formule	Application numérique
$Q_{100} = \frac{C_r \times I_{100} \times S}{3.6}$	$Q_{100} = \frac{0.39 \times 92.97 \times 0.075}{3.6} = \mathbf{0.75\ m^3/s}$

VIII.3 Cadre hydrologique:

Notre projet consiste à construire une ligne de chemin de fer mixte dont la pérennité est estimée à 100 ans. Deux facteurs principaux ont guidé notre dimensionnement : la largeur du lit et la résistance de la structure aux charges permanentes et aux charges d'exploitation.

De plus, le dimensionnement hydraulique des ouvrages de franchissement (buses, dalots, ponts, etc.) est indispensable pour assurer le transit des écoulements liquides et solides, tout en respectant les contraintes environnementales. Les ouvrages de collecte, tels que les fossés, jouent également un rôle essentiel en canalisant efficacement les eaux de ruissellement superficiel.

VIII.3.1 Critères de choix des ouvrages hydrauliques :

Le choix de l'ouvrage hydraulique approprié dépend des caractéristiques hydrauliques et géométriques des cours d'eau. Il est donc essentiel de prendre en considération les éléments suivants :

- L'importance du débit à évacuer, qui détermine la section d'écoulement et le type de l'ouvrage.
- La hauteur disponible entre la cote du projet et le fond du talweg.
- La rapidité et la facilité de mise en œuvre des produits industrialisés, livrés en éléments transportables et assemblés sur place, peuvent constituer une solution intéressante pour réduire les délais et les coûts de construction.
- Les délais d'exécution, surtout lorsque l'accès au chantier est difficile.
- La résistance aux chocs. Les ouvrages massifs résistent mieux aux impacts provoqués par le charriage de matériaux solides, comme dans le cas des torrents de montagne, par exemple.
- La résistance aux agents chimiques. Les ouvrages métalliques, plus vulnérables à l'action de certaines eaux agressives, nécessitent une protection spéciale. Les ouvrages en béton peuvent également être attaqués par certaines eaux.

VIII.3.2 Les types des ouvrages

VIII.3.2.1 Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) :

Ils doivent être conçus pour assurer le transit des débits de crues sans risque de déversement sur la voie ferrée.

VIII.3.2.2 Les ouvrages hydrauliques longitudinaux (fossés) :

Ils destinés à recueillir les eaux de ruissellement et à les conduire le long de la voie jusqu'à la zone d'écoulement naturel la plus proche. En général, les fossés ont des sections trapézoïdales ou triangulaires.

VIII.3.3 Capacité de débit des ouvrages hydrauliques :

La méthode utilisée pour calculer le débit de saturation est celle de Manning-Strickler, selon la formule suivante :

$$\mathbf{Q_S = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i}}$$

Avec : K : **Coefficient de rugosité = 70** (ouvrages en béton armé)

i : Pente de pose de l'ouvrage (m/m).

R_h : Rayon hydraulique moyen (m) avec $\mathbf{R_h = \frac{S_m}{P_m}}$

S_m : Section mouillée (m²).

P_m : Périmètre mouillée (m)

VIII.4 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques :

VIII.4.1 Les ouvrages hydrauliques transversaux (Buses/Dalots) :

- **Buses :**

Les buses sont couramment utilisées dans les projets en raison de leur caractère économique. Pour un dimensionnement optimal, nous faisons appel à la formule de Manning-Strickler et aux conditions d'auto-curage afin de garantir la sécurité et la durabilité des ouvrages de projet.

- **Prédimensionnement :**
  - Diamètre calculé correspondant au Q_{100}.

Surface mouillé : $S_m = \frac{\pi d^2}{4}$

Périmètre mouillé : $P_m = \pi d$

Alors $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$

Donc

$$Q_S = Q_{100} = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i} \quad \leftrightarrow \quad Q_{100} = K \times \frac{\pi d^2}{4} \times (\frac{d}{4})^{2/3} \times \sqrt{i}$$

$$\rightarrow \quad \mathbf{d = \left(\frac{Q_{100} \times 4^{5/3}}{K \times \pi \times \sqrt{i}}\right)^{3/8}}$$

- Le choix de Φ qui est supérieur au diamètre calculé.
- Vérification de conditions suivantes :

  → $Q_{100} < Q_{PS}$

  → $V < 4\ m/s$ (Avec $R_q = \frac{Q_{100}}{Q_{PS}} = \frac{Q}{Q_{ps}}$ Et puis d'après le tableau dans ANNEXE IX on déduire $R_v = \frac{V}{V_{ps}}$)

  → Pour $R_q = \frac{Q_{100}}{Q_S} = 0.1$, il faut que V > 0.6 m/s

  → Pour $R_q = \frac{Q_{100}}{Q_S} = 0.01$, il faut que V > 0.3 m/s

  → i ≥ 0.2% (dépend du terrain sur le site du projet)

  → Le taux de remplissage recommandé (Rq=Q/Qps) varié entre 70% et 80%

- Application de ce projet : on prend le bassin versant n°01

On a Q_{100} = 0.58 m^3/s, K = 70 (en beton), i = 0.01 = 1% (déterminé à partir du site)

Formule	**Application numérique**	**Résultat**
$d = \left(\frac{Q_{100} \times 4^{5/3}}{K \times \pi \times \sqrt{i}}\right)^{3/8}$	$d = \left(\frac{0.58 \times 4^{5/3}}{70 \times \pi \times \sqrt{0.01}}\right)^{3/8}$	$d = 0.61\ m$

Alors on choisit $\Phi = \mathbf{800\ mm = 0.8\ m}$,$\mathbf{S_m = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}}$ et $\mathbf{P_m = \pi \times \Phi}$

Formule	**Application numérique**	**Résultat**
$Q_S = K \times \frac{\pi \times (\Phi)^2}{4} \times \left(\frac{\Phi}{4}\right)^{2/3} \times \sqrt{i}$	$Q_{PS} = 70 \times \frac{\pi \times (0.8)^2}{4} \times \left(\frac{(0.8)}{4}\right)^{2/3} \times \sqrt{0.01}$	$Q_{PS} = 1.20\ m^3/s$

Et on vérifie les conditions suivantes :

$\mathbf{Q_{100} < Q_{PS}}$	$\mathbf{V < 4\ m/s}$	**Pour $R_q = 0.1$, V > 0.6 m/s**	**Pour $R_q = 0.01$, V > 0.3 m/s**
$0.58\ m^3/s < 1.20\ m^3/s$	$R_q = \frac{Q_{100}}{Q_{PS}} = 0.48$ → $\frac{V}{V_{PS}} = 0.99$ → $V = 2.37\ m/s < 4\ m/s$	$R_q = 0.1$ → $\frac{V}{V_{PS}} = 0.64$ → $V = 1.52 > 0.6\ m/s$	$R_q = 0.01$ → $\frac{V}{V_{PS}} = 0.32$ → $V = 0.76 > 0.3\ m/s$

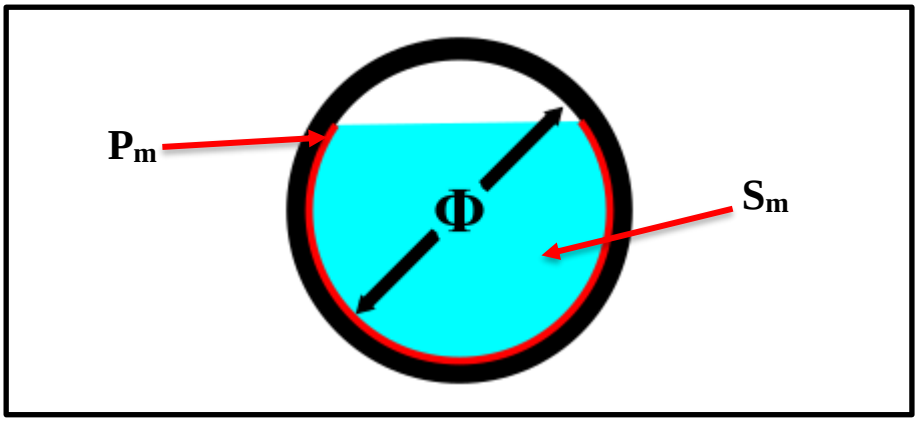


Figure VIII 6-Schéma de la Buse

Le tableau suivant résume les détails du dimensionnement des buses et la vérification des conditions d'auto-curage :
La liste des buses suivante respecte les conditions d'autocurage et la condition $Q_{100} < Q_{PS}$.

Tableau VIII 8-Liste des buses.

N° de BV	PK	d calculé (m)	Φ (mm)	Q_{100} (m^3/s)	Q_{PS} (m^3/s)	V_{PS} (m/s)	R_q	R_v	V (m/s)
1	07+576	0,61	800	0,58	1,2	2,39	0,48	0,99	2,37
2	08+276	0,73	800	1,16	1,47	2,93	0,78	1,1	3,23
3	08+997	0,89	1000	1,58	2,18	2,78	0,72	1,09	3,02
5	10+321	0,74	1000	1,2	2,67	3,4	0,44	0,96	3,28
6	10+566	0,74	800	1,18	1,47	2,93	0,8	1,11	3,24
8	11+668	1,15	1500	3,45	7,05	3,99	0,48	0,99	3,94
10	12+856	1,13	1500	3	6,43	3,64	0,46	0,98	3,56
11	13+522	0,73	800	1,15	1,47	2,93	0,77	1,1	3,22
12	14+247	1,59	1800	5,29	7,4	2,91	0,71	1,08	3,15
13	14+910	1,01	1200	2,24	3,55	3,14	0,63	1,06	3,32
14	15+936	0,95	1200	1,91	3,55	3,14	0,53	1,02	3,19
15	16+168	0,57	800	0,48	1,2	2,39	0,4	0,94	2,25
	16+287	0,57	800	0,49	1,2	2,39	0,4	0,94	2,25
16	16+478	1,81	2000	7,49	9,79	3,12	0,76	1,1	3,42
17	16+937	1,04	1200	2,43	3,55	3,14	0,68	1,08	3,38
18	17+702	1,59	1800	6,72	9,35	3,68	0,71	1,08	3,99

Pour K=70 (Buses en beton armé).

Les dalots :

Les dalots sont **généralement** choisis pour des débits **Q supérieurs à 10 m³/s.** Cependant, les débits admissibles peuvent varier considérablement et être très élevés. Dans de tels cas, on opte pour une batterie de dalots ou de buses lorsque la topographie du site le permet.

- **Prédimensionnement :**

Nous utilisons une méthode d'itération pour obtenir les meilleures dimensions B et H pour les dalots, satisfaisant les conditions suivantes :

→ $Q_{100} < Q_{PS}$

→ $V < 4\ m/s$ (Avec $R_q = \frac{Q_{100}}{Q_{PS}} = \frac{Q}{Q_{PS}}$ Et puis d'après le tableau annexe xx on déduire $R_v = \frac{V}{V_{ps}}$)

→ Pour $R_q = \frac{Q_{100}}{Q_S} = 0.1$, il faut que V > 0.6 m/s

→ Pour $R_q = \frac{Q_{100}}{Q_S} = 0.01$, il faut que V > 0.3 m/s

→ i ≥ 0.2% (dépend du terrain sur le site du projet)

→ Le taux de remplissage recommandé (Rq=Q/Qps) varié entre 70% et 80%

Et pour obtenir le débit correspondant aux dimensions B et H choisies
On a

Surface mouillé : $S_m = B \times H$

Périmètre mouillé : $P_m = B + (2 \times H)$

Alors $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$

Donc $Q_{PS} = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i}$

- Application de ce projet : on prend le bassin versant n°04

Après l'itération, nous obtenons un dalot de dimensions **B = 3,5 m** et **H = 3 m** qui vérifie Et pour **i = 0.002 m/m = 0.2%** et **K = 70.**

Formule	**Application numérique**	**Résultat**
$S_m = B \times H$	$S_m = 3.5 \times 3$	$\mathbf{S_m = 10.5\ m^2}$
$R_h = \frac{B \times H}{B + (2 \times H)}$	$R_h = \frac{3.5 \times 3}{3.5 + (2 \times 3)}$	$\mathbf{R_h = 1.11\ m}$
$Q_{PS} = K \times S_m \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i}$	$Q_{PS} = 70 \times 10.5 \times 1.11^{2/3} \times \sqrt{0.002}$	$\mathbf{Q_{PS}}$ **=35.14 m³/s**

Et on vérifie les conditions suivantes :

$\mathbf{Q_{100} < Q_{PS}}$	$\mathbf{V < 4\ m/s}$	**Pour $\mathbf{R_q = 0.1}$,** **V > 0.6 m/s**	**Pour $\mathbf{R_q = 0.01}$,** **V > 0.3 m/s**
$26.90\ m^3/s$ $< 35.14\ m^3/s$	$R_q = \frac{Q_{100}}{Q_{PS}} = 0.76$ $\rightarrow \frac{V}{V_{PS}} = 1.1$ $\rightarrow V = 3.67\ m/s$ $< 4\ m/s$	$R_q = 0.1$ $\rightarrow \frac{V}{V_{PS}} = 0.64$ $\rightarrow V = 2.14$ $> 0.6\ m/s$	$R_q = 0.01$ $\rightarrow \frac{V}{V_{PS}} = 0.32$ $\rightarrow V = 1.07$ $> 0.3\ m/s$

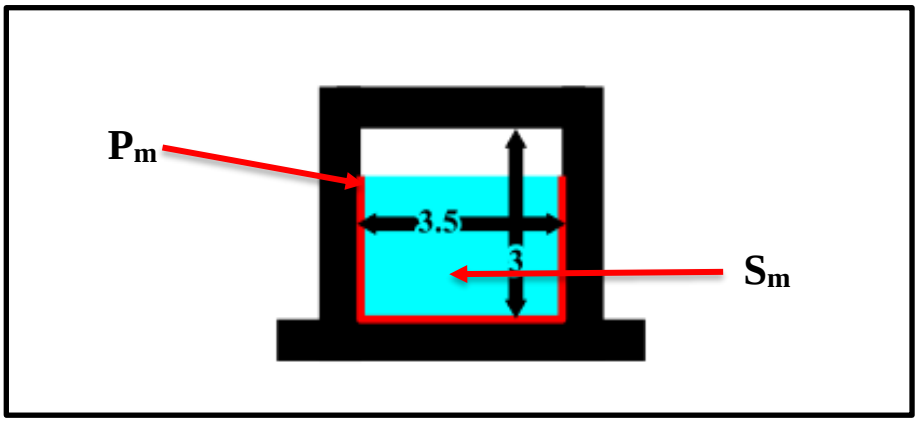


Figure VIII 7-Schéma d'un dalot 3.5 m × 3 m

Le tableau suivant résume les détails du dimensionnement des Dalots et la vérification des conditions d'auto-curage :

La liste des dalots suivante respecte les conditions d'autocurage et la condition $Q_{100} < Q_{PS}$.

Tableau VIII 9-Liste des dalots.

N° de BV	PK	B (m)	H (m)	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	i (%)	Q_{100} (m^3/s)	Q_{PS} (m^3/s)	V_{PS} (m/s)	R_q	R_v	V (m/s)
4	09+629	**3.5**	**3**	10.50	9.50	1.11	**0.2**	26.90	35.14	3.35	0.76	1.10	3.67
7	11+286	**2.5**	**2**	5.00	6.50	0.77	**0.3**	9.60	16.09	3.22	0.59	1.04	3.36
9	12+347	**3.5**	**3**	10.50	9.50	1.11	**0.2**	26.43	35.14	3.35	0.75	1.09	3.66

VIII.4.2 Les ouvrages hydrauliques longitudinaux (fossés) :

Pour le dimensionnement des fosses, on traite le cas le plus défavorable de remblais/déblais, situé entre les points kilométriques 13+979.59 et 15+962.70, avec une hauteur maximale de 12.54 m sur une longueur de 1983.11 m.

Le tableau suivant montre les détails du calcul du débit d'écoulement avec la méthode rationnelle.

	Talus	**Plateforme**	**Berme**
Surface (km^2)	0,036	0,0121	0,0007
Pente (%)	66.67	4	4
I (m/m)	440,31	241,04	649,74
Tc (h) (Ventura)	0,03	0,07	0,017
Cr	0,45	0,9	0,45
Q_i (m^3/s)	1,99	0,73	0,06
Q_{Total} (m^3/s)	2,77		

Nous proposons un fossé de forme trapézoïdale, dont voici les détails, utilisant la formule de Manning-Strickler.

h (m)	**b (m)**	**K_s**	**Pente berges (m/m)**	**S_m (m^2)**	**P_m (m)**	**R_h (m)**	**I (m/m)**	**Q_s (m^3/s)**
0,6	0,6	70	1,5	0,9	2,76	0,33	0,02	4,22

Donc on veut que $Q_{Total}<Q_s$, alors on adopter cette fosse dans les dimensions b=0.6 m et h= 0.6 m

VIII.5 Conclusion:

Cette étude nous permet de dimensionner les ouvrages hydrauliques pour la gestion du drainage. Les ouvrages en question sont les suivants :

- 16 Buses (6× Φ 800 mm, 2× Φ 1000 mm, 3× Φ 1200 mm, 2× Φ 1500 mm, 2× Φ 1800 mm, 1× Φ 2000 mm).
- 02 Dalots (3.5 m × 3 m), 01 Dalot (2.5 m × 2 m).
- Fossé de forme trapézoïdale (b=0.6 m et h= 0.6 m).

CHAPITRE IX

STRUCTURE DE LA VOIE

IX.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons déterminer les différentes dimensions de la couche d'assise et l'épaisseur de la couche de forme en suivant les directives de la fiche UIC 719R. De plus, nous explorerons le rôle et les exigences de chaque couche, ainsi que le rôle des différents composants de la voie et leurs caractéristiques.

IX.2 Couche d'assise :

La couche d'assise a pour but d'assurer le bon comportement de la voie ferrée du point de vue de la rigidité de la stabilité et du drainage. Par définition, La couche d'assise comprend la couche de ballast et la sous-couche (sous ballast).

IX.2.1 Ballast :

Le ballast est un granulat obtenu par le concassage de roches extraites des carrières de pierre dure telles que le granit, la diorite, la rhyolite, le porphyre, le quartzite, etc.

IX.2.1.1 Rôle de ballast:

- Sa granularité spécifique garantit le drainage et l'évacuation des eaux de surface.
- Il agit comme un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie des vibrations par attrition (contact) entre les éléments).
- La couche de ballast permet, grâce au bourrage et au dressage mécanisés, une correction très rapide du nivellement.
- Il assure le confort des passagers ainsi que celui des riverains des voies ferrées.
- La transmission des efforts engendrés par le passage des trains au sol, sans que celui-ci ne se déforme par tassement.
- Le rôle du ballast est également d'enchâsser les traverses afin d'assurer une résistance aux déformations longitudinales, ce qui est particulièrement important pour la technique des longs rails soudés.

IX.2.1.2 Qualité de ballast :

La qualité du ballast est exprimée par un coefficient d'indice global désigné par DRG (Dureté globale), ce coefficient est déterminé expérimentalement à partir de deux essais classiques (l'essai de Los Angeles (**P18-573**) et l'essai Deval ou micro-Deval (**P18-572**)).

Le ballast utilisé en chemin de fer doit avoir au moins les qualités suivantes :

- Essai de la résistance à l'usure (essai Deval ou micro-Deval **MDE ≤ 15**).
- Essai de la résistance à la fragmentation (essai de Los Angles **LA ≤ 24**).
- Essai de la résistance à la compression simple ($\mathbf{R_c \geq 1400\ kg/cm^2}$).
- La catégorie **A** du **tableau 1** de la norme **EN-13450** est exigé (Ballast 31.5/50).

Tableau IX 1-tableau 1 de la norme EN-13450

Catégories	Ballast (d/D)	Granularité Pourcentage en masse de passant							
NF EN-13450		80	63	50	40	31.5	22.4*	31.5 à 50	31.5 à 63
A	31.5/50	100	100	70 à 99	30 à 65	1 à 25	0 à 3	≥ 50	-
* : Il est permis d'utiliser un tamis de 25 mm au lieu du tamis de 22.4 mm avec une tolérance de 0 à 5.									

Et :

- Pour éviter les grains en forme d'aiguilles, la masse de ces grains doit être inférieure à 7% de la masse totale des grains passant au tamis de 50 mm lors de la production et inférieure à 10% lors de la réception.
- Pour obtenir un ballast propre, la masse relative des éléments passant au tamis de 1,6 mm doit être inférieure à 0,5%.
- Pour éviter les grains plats, la masse des grains passant à travers l'ensemble des grilles (dont l'ouverture dépend de la classe granulométrique d/D mm) ne doit pas dépasser 12% de la masse totale lors de la production et 14% lors de la réception.

Le ballast doit avoir une courbe granulométrique située à l'intérieur des limites indiquées dans les fuseaux présentés dans la figure suivante. Les limites minimales et maximales définissent la zone de tolérance à respecter

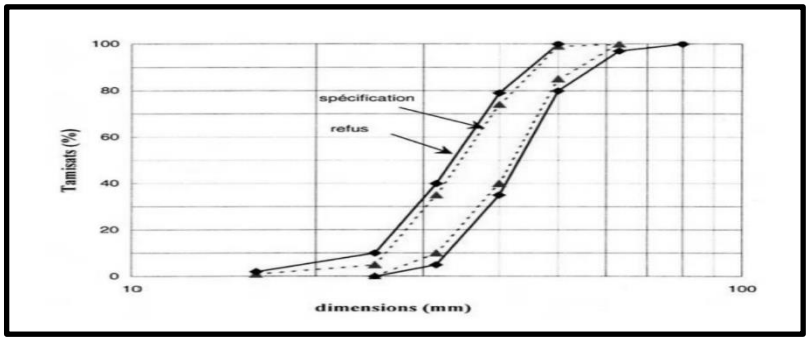


Figure IX 1-Granulométrie de ballast utilisé par la S.N.C.F. (NF EN 13450, 2003)

IX.2.1.3 Profil recommandé de ballast :

L'épaisseur du ballast est mesurée depuis la partie supérieure de la sous-couche jusqu'à l'axe. il sont indiqués comme suit :

- **30 cm** comme un épaisseur normale.
- **35 cm** pour le cas des tunnels et viaducs.

IX.2.2 Sous-couche :

C'est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plateforme, mono ou multicouche, composée de matériaux granulaires (sables ou graviers) bien gradués, qui comprend parfois des membranes de diverses natures, comme des feuilles plastiques étanches (géomembranes) ou des feuilles en feutre synthétique anticontamination (géotextiles).

De haut en bas, elle comprend une couche de 'sous-ballast' en gravier propre bien gradué (0/31.5 mm), suivie d'une couche de fondation dans le cas d'un sol de mauvaise qualité. En outre, si nécessaire, elle peut inclure une couche anti-contamination complétée par des feuilles de géotextile ou de géomembrane.

L'épaisseur et la nature de la sous-couche d'assise dépendent des caractéristiques intrinsèques des sols de la plateforme, des conditions climatiques du site, ainsi que des caractéristiques hydrogéologiques et hydrauliques du site.

IX.2.2.1 Rôle de sous couche:

- Amélioration de la capacité portante et meilleure répartition des charges transmises.
- Contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Protection anti-contamination entre la plateforme et la couche de ballast.
- Protection contre l'érosion et la gélivité.
- Évacuation des eaux de pluie.

IX.2.2.2 Qualité de sous couche:

Pour le sous ballast :

Pour la construction du sous-ballast, et conformément au document des spécifications techniques (**ST590B**), il est prévu d'utiliser du gravier propre entièrement concassé (**0/31.5 mm**), bien gradué, avec une valeur de propreté **Vbg ≤ 1** et un coefficient de forme **A ≤ 25**.

Pour la couche de fondation :

La couche de fondation, conformément à la spécification technique (**ST590B**), est réalisée en gravier sableux entièrement concassé, avec une valeur de propreté Vbg ≤ 1, un coefficient de forme **A ≤ 25**, et **LA+MDE ≤ 50**. Par ailleurs, les matériaux utilisés peuvent provenir soit de sous-produits des carrières à ballast, soit des alluvions de rivière.

IX.3 Plateforme :

IX.3.1 Classification des sols pour la plateforme :

La plateforme est la partie supérieure de l'ouvrage en terre, constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou de sol en place dans le cas d'un déblai. La qualité de la plateforme dépend de deux paramètres : la nature géotechnique du sol et les conditions hydrologiques et hydrogéologiques locales.

On distingue quatre classes de qualité des sols : impropres, médiocres, moyens et bons, selon l'indice de portance du sol. La raideur du sol associée à chacune de ces classes est approximativement comprise entre 12,5 et 25 MPa pour les sols médiocres, entre 25 et 80 MPa pour les sols moyens, et supérieure à 80 MPa pour les sols bons.

Le tableau suivant montre la qualité des différentes classes de sols selon la norme 'Ouvrages en terre et couches d'assise ferroviaires', 2e édition, 01.01.94 (**UIC719R**).

Tableau IX 2-Classification de la qualité des sols.

Classification de sols (Identification géotechnique)	Classe de qualité des sols
0.1 Sols organiques 0.2 Sols fins (comportant plus de 15 % de fines) foisonnes, humides et donc non compactables 0.3 Sols thixotropes (quick-clay par exemple) 0.4 Sols comportant des matériaux solubles (sel gemme ou gypse) 0.5 Sols comportant des matériaux polluants (déchets industriels, par exemple) 0.6 Sols mixtes 'Minéraux organiques'	**QS0** Sols impropres
1.1 Sols comportant plus de 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.2 Roches très évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1.7$ t/m^3 et de friabilité forte - Marnes - Schistes altères 1.3 Sols comportant de 15 à 40 % de fines (sauf sols 0.2) 1.4 Roches évolutives Par exemple : - Craies de $\rho_d < 1.7$ t/m^3 et de friabilité faible - Schistes non altères 1.5 Roches tendres Par exemple : Si Micro-deval en présence d'eau (MDE) > 40 et Los Angeles (LA) >40	**QS1** Sols médiocres
2.1 Sols 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	**QS2** Sols moyens
3.1 Sols comportant moins de 5 % de fines 3.2 Roches dures Par exemple : Si MDE ≤ 25 et LA ≤ 30	**QS3** Sols bons

IX.3.2 La classe de portance de la plate-forme :

L'une des méthodes de classification des sols, selon la fiche UIC719R, est la suivante :

Tableau IX 3-La classe de portance de la plateforme (fiche UIC719R)

Classe de qualité du sol	**Classe de portance envisagée pour la plate-forme**	**Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de portance**	
		Qualité	**Epaisseur minimale : "e_f" (en mètres) (voir figure IX-2)**
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0.50
	P2	QS3	0.35
	P3	QS3	0.50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.35
QS3	P3	QS3	-

IX.4 Dimensionnement de la couche d'assise et de la couche de forme pour ce projet :

D’après l’étude géotechnique, la classification UIC de la majorité de sol support est de **QS1**.

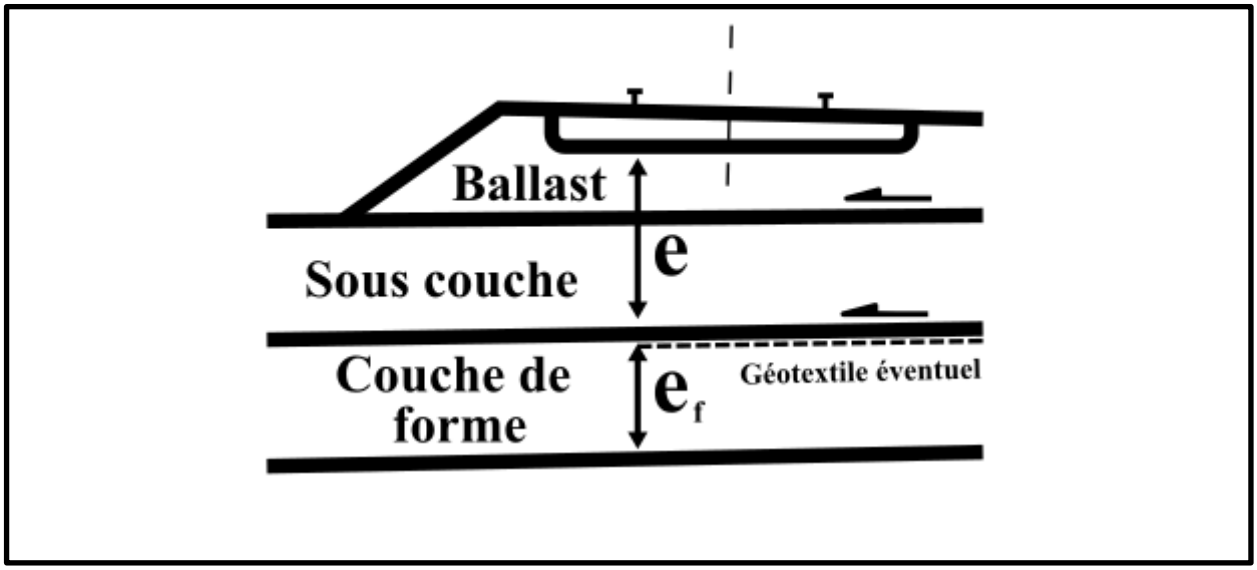


Figure IX 2-couche d’assise et couche de forme

IX.5 Dimensionnement de la couche de forme (CDF) (e_f) :

D’après le tableau IX-3 (La classe de portance de la plateforme, fiche UIC 719R), la classe de portance envisagée pour la plate-forme est **P3 (**Le choix a été fait par le maître d'ouvrage en raison de la disponibilité du QS3 dans la région.**),** c’est-à-dire que l'épaisseur minimale de la couche de forme est de **50 cm**.

IX.6 Dimensionnement de la couche d'assise (e) :

L'épaisseur minimale de la couche d'assise **(e)** est déterminée à partir de la relation suivante, issue de la fiche UIC 703 :

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

Avec : E : Classe de la plateforme P1, P2, P3.
a : Classe de la voie (groupe de 1 à 6 voir UIC 714).
b : Type et longueur de la traverse.
c : Type de dimensionnement.
d : La charge maximale à l'axe.
g : Installation de géotextile .

Pour ce projet, les valeurs de ces paramètres sont les suivantes :

Paramètre	Valeur (m)	Description
E	0.45	Pour les plateformes de classe de portance P3
a	0	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
b	Pour L=2.245	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif).
	0.1275	
c	0	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
d	0.05	Lorsque cette charge est de 22 ,5 tonne/essieu.
d	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.
g	-	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3

e	**0.6275**	**L'épaisseur minimale de la couche d'assise**

Structure de la voie retenue est comme suit :

Couche	Epaisseur (m)
Ballast	0.30
Sous ballast	0.15
Couche de fondation	0.20
Couche de forme	0.50

IX.7 La voie:

La voie ferrée est l'ensemble des éléments situés au-dessus de la couche de ballast. Elle se compose de deux rails en acier, posés sur des supports transversaux appelés traverses, qui sont fixés par des attaches. Pour permettre la ramification et la jonction des voies, on utilise des appareils de voie.

Le rôle de la voie est de supporter et diriger les véhicules ferroviaires ; la solidité et la rigidité doivent être ses caractéristiques. Les éléments qui la constituent doivent former un tout qui conserve sa position et pour arriver de garantir tous ceci on cherche d'abord de définir les caractéristiques de chaque élément d'une manière respects les normes et conforme à qu'est-ce qu'en cherche à réaliser.

IX.7.1 Le rail :

Le rail est une poutre qui répartit les charges des roues dans les directions verticale, transversale et longitudinale, et qui sert au guidage et au maintien de la stabilité de l'essieu. Le contact acier/acier entre la roue et le rail présente l'avantage de limiter la résistance à l'avancement grâce à une surface de contact réduite, tout en permettant le transfert des charges à la traverse via le système d'attaches.

Les rails sont caractérisés par leur profil et la nuance de l'acier qui les compose. Il existe plusieurs types de rails, mais le plus utilisé est le rail Vignole. Ces différents types de rails ont en commun les éléments suivants : le champignon (qui supporte les roues), l'âme (partie médiane), le patin (partie inférieure) et les portes d'éclissage.

IX.7.1.1 Rail à patin (Vignole) :

C'est le type de rail utilisé pour notre projet, spécifiquement le rail UIC 60 E1 (60.21 kg/m).

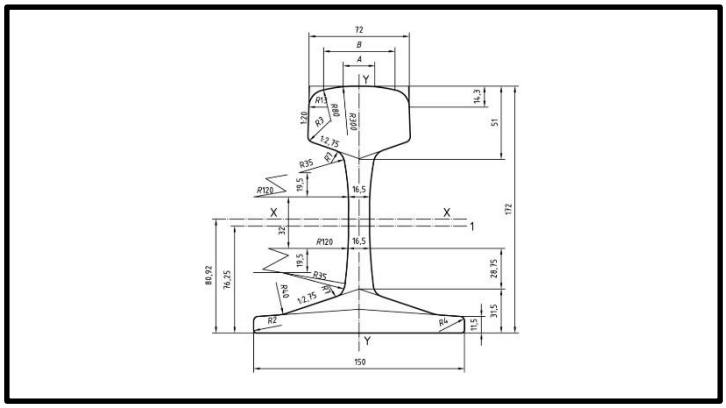


Figure IX 3-Profil de rail UIC 60 E1

La fabrication et la fourniture des rails seront conformes à la version la plus récente de la norme EN 13674-1, avec les caractéristiques suivantes :

Tableau IX 4-La classe de portance de la plateforme (fiche UIC719R)

Géométrie	Rail -60E 1
Surface de la section	76.70 cm^2
Masse par mètre	60.21 kg/m
Moment d'inertie (Axe XX)	3038,3 cm4
Module d'Inertie champignon	333.6 cm^3
Module d'inertie patin	375.5 cm^3
Moment d'inertie (Axe YY)	512,3 cm^4
Dimension indicative A	20.456 mm
Dimension indicative B	52.053 mm
Dressage	Classe A
Nuance	260 (carbone-manganèse)
Longueur minimum des barres élémentaires	18 m

Propriétés mécaniques selon la norme EN 13674-1	*Dureté au milieu de la table de roulement entre 260 et 300 HBW. *Résistance à la traction ≥ 880 N/mm^2 *Allongement ≥ 10 %.
Barres élémentaires soudées électriquement en atelier en barre continue de longueur	≥ 288 m et soudure électrique en voie.

Le schéma suivant montre les éléments du rail de type Vignole.

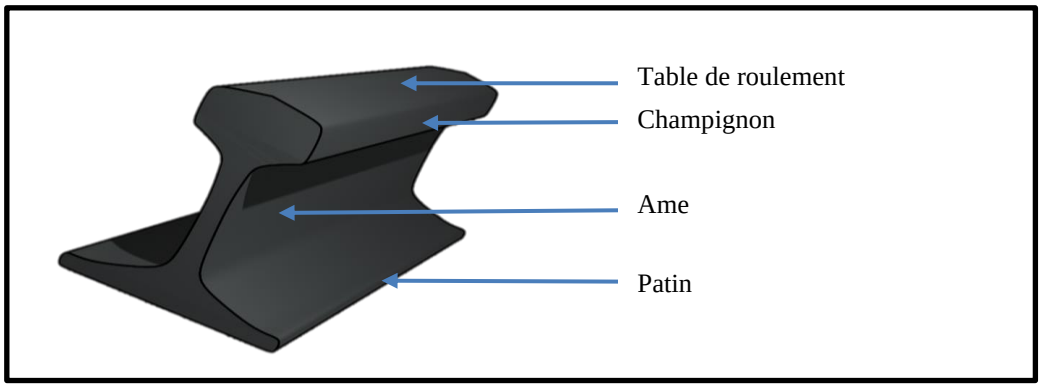


Figure IX 4-les éléments du rail de type à patin

IX.7.1.2 Ecartement des rails:

D'après le règlement UIC, l'écartement normal des rails est de **1435 mm** avec une tolérance de ±0 à ±2 mm.

IX.7.2 Les traverses :

Une traverse est un élément essentiel de la voie ferrée. Disposée en travers de la voie sous les rails.

IX.7.2.1 Le rôle des traverses:

- Répartir las charges verticales
- Ancrer la voie transversalement
- Contribuer à la position géométrique des rails.
- Intégrer L'interface avec les systèmes d'attaches.

IX.7.2.2 Les type de traverses:

Le tableau ci-dessous présente les types de traverses les plus fréquemment utilisés ainsi que leurs avantages et inconvénients :

Tableau IX 5-type de traverses

	Bois	**Métal**	**Béton**	
			Monobloc	**Bi-bloc**
Avantages	- Bonne élasticité. - Propriétés d'isolation électrique. - Convient pour le montage des appareils de voie.	- Résistant à la pourriture. - Nécessite peu d'entretien.	- Bonne résistance latérale de la voie. - Durabilité.	
Inconvénients	- Coût élevé de l'entretien. - Faible résistance latérale. - Vulnérabilité aux agents atmosphériques.	- Défis pour garantir l'isolation électrique. - Résistance latérale insuffisante. - Phénomène de corrosion.	- Sensibilité aux chocs. - Risque de corrosion des traverses bi-bloc au niveau des entretoises. - Difficulté à maintenir le nivellement sur des plateformes de qualité médiocre.	

Pour ce projet, les traverses utilisées pour toutes les sections de voie courante sont des traverses **bi-bloc de type VAX U31 (B 440 NP selon SNCF)**, avec un travelage de 60 cm (soit **1666 unités par kilomètre**).

- Traverse en béton (**Bi-bloc) (**deux blocs sont reliés par une entretoise en acier)

Formées de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique, qui absorbe les efforts en milieu de traverse, avec une hauteur sous rail de 20 cm et longueur de L=2.245 m.

IX.7.3 Système d'attachement :

Nous utilisons un système d'attache élastique avec fixation élastique directe, spécifiquement le système d'attache NABLA avec un insert d'ancrage femelle isolant

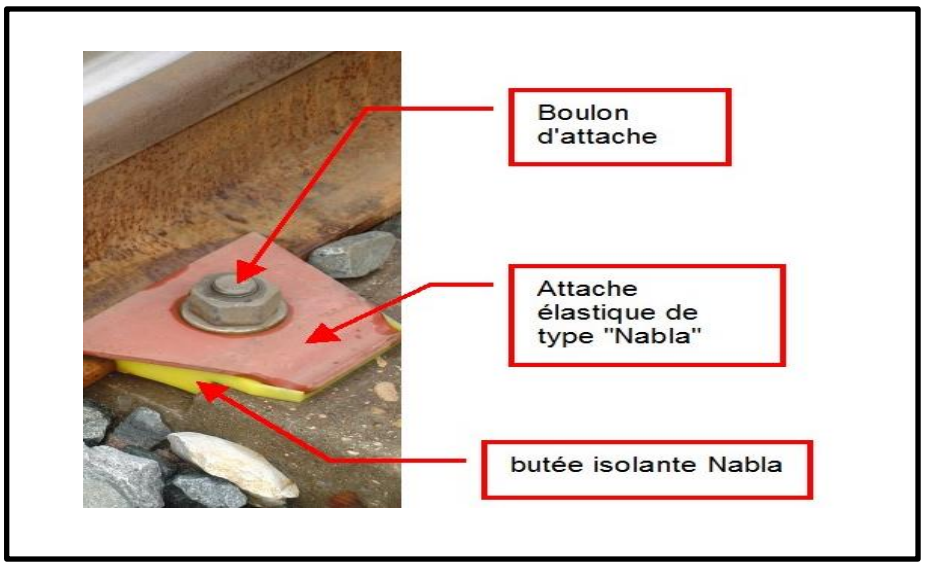


Figure IX 5-les constituants de système d'attache NABLA.

IX.7.3.1 Rôle de système d'attache élastique :

- Assure un effort vertical constant de serrage du rail sur la traverse.
- Offre un couple de renversement important, s'opposant au déversement du rail.
- Transmet les efforts latéraux à la traverse.
- Contribue à l'élasticité et à l'amortissement de la voie grâce aux attaches élastiques.
- Garantit l'isolation électrique.
- Nécessite un entretien minimal, principalement pour vérifier les qualités mécaniques de l'attache.

IX.7.4 Appareils de voie :

Les appareils de voie permettent le franchissement ou le passage d'un train (qu'il soit de voyageurs ou de marchandises) d'une voie principale à une autre voie principale ou à une voie de service, ainsi que le franchissement d'une voie de croisement.

Généralement on utilise deux types d'appareils de voie selon **l'UIC :**

- Appareil branche simple **UIC60 1/9** : c'est-à-dire que la tangente d'angle de l'appareil tgα=1/9 et avec une vitesse de 50 km/h et de rayon 300m. Il utilisé dans le cas d'un passage de voie principale à une voie de service ou de stationnement.
- Appareil branche simple **UIC60 1/12** : c'est-à-dire que la tangente d'angle de l'appareil tgα=1/12 avec une vitesse de 70 km/h et de rayon 500m. Il utilisé dans le cas d'un passage de voie principale à une autre voie principale et dans les entrées des gares ferroviaire.

CHAPITRE X

PROFIL EN TRAVERS

X.1 Profil en travers (PTV):

Le profil en travers d'une voie ferrée correspond à la section transversale de la voie sur un plan vertical perpendiculaire à son axe.
On distingue deux types de profil :

Profil en travers type **PTT**	**Profil en travers courant** **PTC**
Une représentation graphique qui contient toutes les dimensions et tous les détails constructifs, notamment les largeurs de voie, les pentes des surfaces et des talus, les dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, ainsi que le système d'évacuation des eaux. Il détaille précisément tous les éléments constituant la voie	Une représentation des éléments du profil en travers est fournie pour chaque kilomètre du projet, incluant les niveaux du terrain naturel, les niveaux du projet, et le dévers.

X.2 Etablissement du profil en travers type :

- **Eléments de l'infrastructure**

- La pente latérale de la plateforme.
- La pente transversale de chaque couche
- La dénomination et l'épaisseur de chaque couche.

- **Eléments de la superstructure**

- La longueur des butées du ballast
- La valeur du dévers maximum en courbe.
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie
- Le type de traverse utilisé.

- **Eléments du talus**

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

- **Eléments d'assainissement**

- Le type et dimension du fossé ou des drains.

X.3 Application au ce projet (PTV) :

En voie :	**En ouvrage d'art :**
Ecartement de la voie : 1435 mm Pente latérale de la plate-forme : 4 %. Pente latérale de la couche de ballast : 2/3 Pente latérale de la couche de remblai/déblai : 2/3 Epaisseur du ballast : 30 cm Epaisseur du sous-ballast : 15 cm Epaisseur de la couche de fondation : 20 cm Epaisseur de la couche de forme : 50 cm	Epaisseur du ballast : 35 cm Pente latérale : 4 %

CHAPITRE XI

TERASSEMENT ET OUVRAGES

XI.1. Terrassement :

Le terrassement consiste à modeler un sol selon des profils définis par un projet, impliquant la mise en forme du terrain avant la construction. Les travaux de terrassement déplacent des quantités importantes de matériaux, créant des ouvrages en terre soit en remblai, soit en déblai, pour assurer la stabilité de l'ensemble. Selon la nature du projet, cela peut nécessiter l'extraction de certaines épaisseurs de matériaux pour les remplacer par d'autres aux caractéristiques techniques différentes.

Les résultats de cubature sont mentionnés dans l'ANNEXE VIII (Civil 3D)

XI.2. Etude de stabilité :

Nous utilisons le logiciel "**GeoStudio 2018 R2**" pour modéliser les différentes couches de sol avec leurs caractéristiques selon le modèle Mohr-Coulomb (densité apparente, cohésion, angle de frottement) et vérifier la stabilité selon la méthode Bishop.

Nous proposons des talus remblais/déblais avec une pente de **2V/3H** tous les 8 m de hauteur, ainsi que des bermes d'une largeur de 2 m avec une pente de 2 %.

- **Modèle de charge :**

Poids propre du sol : Le poids propre de sol est défini selon l'étude géotechnique.

Charge d'exploitation : Le charge équivalente de trafic du site est **15 KN/m²**.

Sismicité : D'après l'étude géologique, le coefficient d'accélération est A = 0,20, et les coefficients sismiques (selon le RPOA) sont les suivants : $\begin{cases} k_h = A = 0.20 \\ k_v = 0.3 \times k_h = 0.06 \end{cases}$

- **Coefficient de sécurité :**

Le coefficient de sécurité minimal varie entre 1,15 et 1,30, tenant compte des erreurs dues à l'exactitude des méthodes de calcul de la stabilité, des incertitudes expérimentales de la détermination des propriétés physico-mécaniques des roches, ainsi que de l'influence des charges dynamiques. Par conséquent, nous adoptons un coefficient de sécurité minimal (FS) de **1,3 pour le cas statique à long terme**, et de **1,15 pour le cas accidentel.**

XI.2.1 Stabilité de remblais :

Pour l'étude de la stabilité des remblais, nous traitons le cas le plus défavorable, tant en situation normale qu'en situation sismique. Ce remblai est localisé entre le PK 11+345.00 et le PK 13+121.58, avec une hauteur maximale de 16,86 m.

La structure (remblais et limons argileux) et ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau XI 1-Les caractéristiques de la structure de remblai.

Type de sol	Profondeur	γ (KN/m3)	C (KPa)	φ (°)
Matériaux de remblais	0 m – 15.48 m	20	20	30
Limons argileux	15.48 m – 19 m	18	19	39

- **Les résultats :**

Le coefficient de sécurité obtenu dans les calculs de stabilité est supérieur au coefficient de sécurité minimal, comme le montrent les figures suivantes :

Cas statique (FS>1.3)

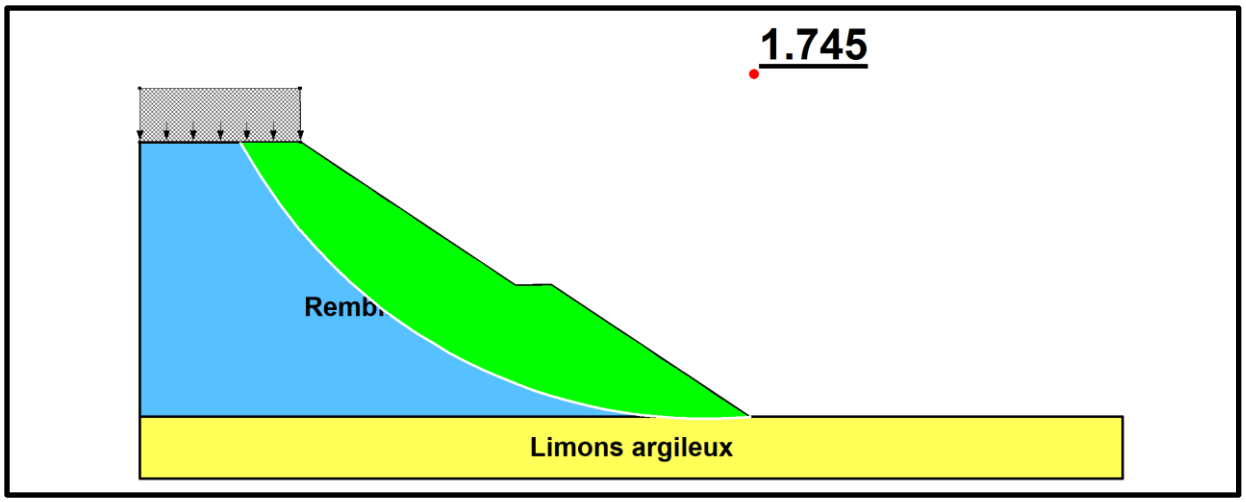


Figure XI 1-Résultat de calcul FS pour la stabilité de remblai (Cas statique).

Cas accidentel (FS>1.15)

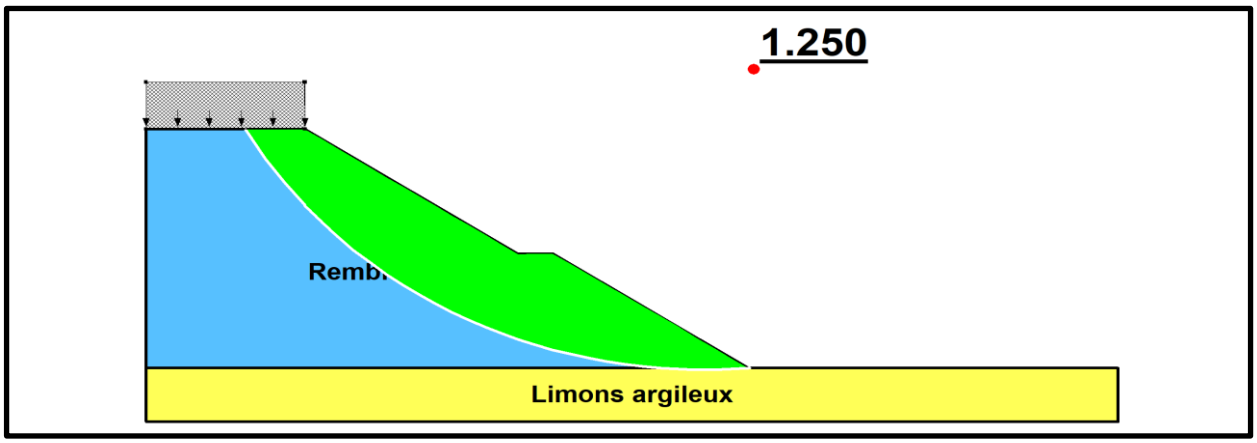


Figure XI 2-Résultat de calcul FS pour la stabilité de déblai (Cas accidentel).

XI.2.2 Stabilité de déblais :

Pour l'étude de la stabilité des déblais, nous traitons le cas le plus défavorable, tant en situation normale qu'en situation sismique. Ce déblai est localisé entre le PK 13+121.58 et le PK 13+979.59, avec une hauteur maximale de 19.68 m.

La structure (limons argileux, marnes bariolées, et marnes en profondeur) et ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau XI 2-Les caractéristiques de la structure de déblai.

Type de sol	Profondeur	γ (KN/m3)	C (KPa)	φ (°)
Limons argileux	0 m - 2.4 m	18	19	39
Marnes bariolées	2.4 m – 17.9 m	19	55	22
Marnes en profondeur	17.9 m – 34.4 m	19	30	18

- **Les résultats :**

Le coefficient de sécurité obtenu dans les calculs de stabilité est supérieur au coefficient de sécurité minimal, comme le montrent les figures suivantes :

Cas statique (FS>1.3)

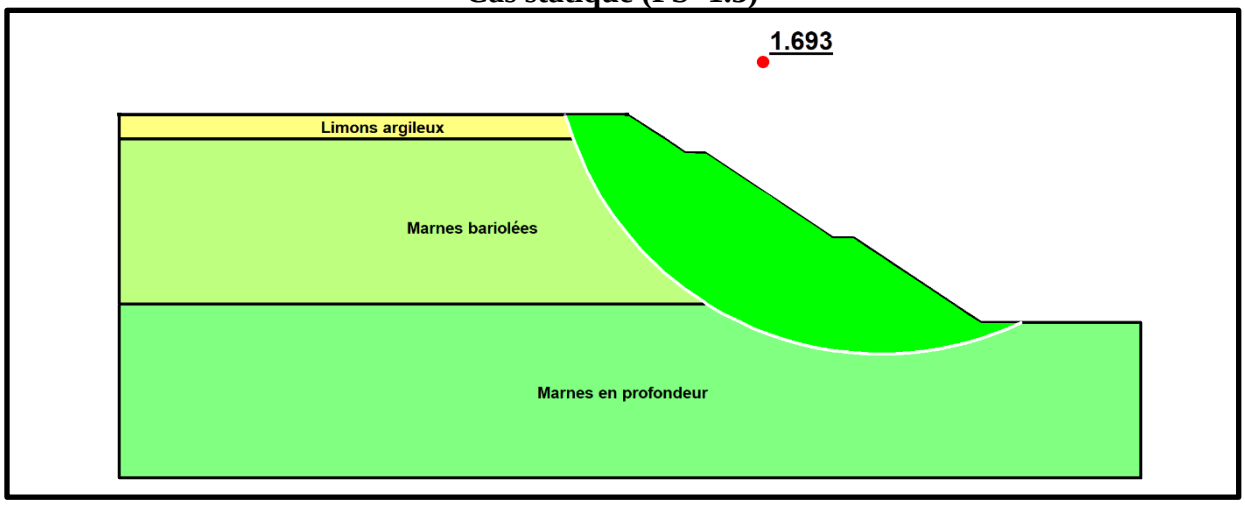


Figure XI 3-Résultat de calcul FS pour la stabilité de déblai (Cas statique).

Cas accidentel (FS>1.15)

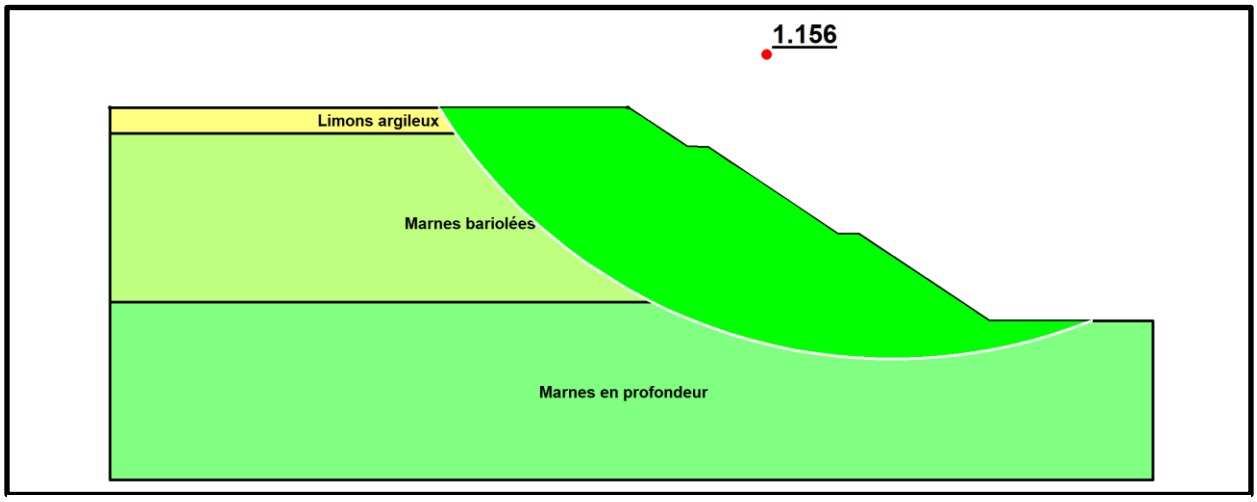


Figure XI 4-Résultat de calcul FS pour la stabilité de déblai (Cas accidentel).

XI.3 Les travaux de terrassement:

XI.3.1 Remblais :

Les caractéristiques des zones de remblai sont les suivantes :

Tableau XI 3-Les caractéristiques des zones de remblai.

Localisation		Longueur (m)	Hauteur maximale (m)
De PK	Au PK		
07+500.00	07+609.54	109.54	1.19
07+840.25	08+381.00	540.75	6.83
08+441.00	08+500.00	59.00	6.92
08+533.00	09+589.25	1056.25	6.94
10+968.88	11+320.00	351.12	6.53
11+345.00	13+121.58	1776.58	16.86
13+979.59	15+962.70	1983.11	12.54
16+419.76	16+665.00	245.24	3.99
17+559.76	18+000.00	440.24	4.56

Les matériaux de remblai sont constitués de sol granulaire sableux avec un pourcentage de fines supérieur à 10%.

XI.3.2 Déblais :

Les caractéristiques des zones de déblai sont les suivantes :

Tableau XI 4-Les caractéristiques des zones de déblai.

Localisation		Longueur (m)	Hauteur maximale (m)
De PK	Au PK		
07+609.54	07+840.25	310.65	2.63
09+589.25	09+875.00	286.36	2.43
09+920.00	10+968.88	1048.88	5.28
13+121.58	13+979.59	858.01	19.68
15+962.70	16+419.76	457.06	14.86
16+740.00	17+559.76	819.76	5.31

- **Réutilisation des matériaux pour remblais :**

D'après l'étude géotechnique on a :

Tableau IX 6-Le pourcentage de matériaux qui pourront utiliser comme remblai.

PK		H_{max} (m)	Type de matériau prédominant	Utilisation (%)	
De	Au			Décharge	Remblais
15+962.70	16+419.76	14.86	Croûte de calcaire et sol sablo argileux d'altération. Substrat rocheux marneux	30	70
16+740.00	17+559.76	5.31			

XI.4. Ouvrages:

Les ouvrages sont des constructions conçues pour faciliter ou sécuriser le franchissement d'obstacles. Les types d'ouvrages mentionnés dans notre étude sont les suivants :

- Pont rail.
- Pont route.
- Passage supérieur.
- Passage inférieur.
- Ouvrages de protection.
- Ouvrages hydraulique (Mentionné dans le chapitre de l'étude hydrologie et hydraulique).

Les gabarits de ces ouvrages dépendent du type de franchissement. Par exemple, la distance minimale entre la partie supérieure des conduites de gaz et la partie supérieure du sous-ballast est de 1,5 m, selon le guide de Sonelgaz.

XI.4.1. Ponts rail :

- Le tracé passe juste à côté de ces conduites et de la route nationale N°11 en 2x2 voies. Ce franchissement est également assuré par un pont rail d'environ 33 m (de **8+500.00 au 8+533.00**).

XI.4.2 Ponts route :

- Un pont route pour la route nationale N° 11 est situé en **PK 16+750.00.**

XI.4.3 Passages supérieurs :

- Un passage supérieur de la route nationale N°97 menant vers la ville de Betioua est prévu au **PK 9+898.50.**

XI.4.4 Passages inferieurs :

- Un passage inférieur est prévu sous les voies V1 et V2 à la sortie de la gare de Betioua. Il est situé au **PK 11+332.50** menant au sud vers le village de Ararsa et au nord vers la ville de Betioua.
- Un passage inferieur de la route situé en **PK 12+613.00**.

XI.4.5 Ouvrages de protection :

Les ouvrages de protection de pipelines sont situés dans les localisations suivantes :

- **Gaz** (PK 8+382, PK 8+397, PK 8+411, PK 8+419, PK 8+429, PK 9+020, PK 11+308, PK 12+052, PK 12+077, PK 12+104, PK 12+130, PK 12+952, PK 12+922, PK 13+020, PK 13+033, PK 13+057, PK 13+077, PK 13+020).

- **AEP** (PK 8+328, PK 9+078, PK 14+329).

CHAPITR XII

CONCEPTION DE LA GARE DE BETHIOUA

XII. Conception de la gare Betioua

XII.1. Introduction :

Une gare est un lieu où les trains stationnent ou passent, et où des manœuvres d'échange de matériel roulant peuvent être effectuées. Elles sont constituées d'un ensemble de voies, certaines étant bordées de quais pour l'embarquement, ainsi que de bâtiments facilitant la circulation des trains et des voyageurs. Trois principaux types de gares sont distingués :

- Gares des voyageurs.
- Gares des marchandises.
- Gares de triage.

Les gares de voyageurs sont généralement situées dans les grands centres urbains et se subdivisent en :

- Gares principales : Ces gares, implantées dans les grandes villes, constituent des hubs de transit entre le réseau ferroviaire et les divers moyens de transport urbains tels que les bus, tramways et métros. Elles accueillent quotidiennement un flux important de voyageurs.
- Haltes : Ces points d'arrêt simples, souvent dépourvus de personnel permanent, offrent des services de base aux voyageurs.

Les gares ont progressivement gagné en importance, tant sur le plan historique que sociologique et esthétique, dépassant ainsi leur simple rôle fonctionnel.

XII.2. Plan de masse d'une gare :

La conception de la gare est réalisée en prenant en considération les fonctions de toutes les installations de base qui la composent. On distingue :

- **La catégorie de la gare :** Celle-ci permet de déterminer le rôle et les composants de la gare.
- **Le trafic :** Il s'agit d'un élément crucial pour estimer et évaluer l'importance de la gare, afin de la concevoir de manière appropriée.
- **L'emplacement de la gare :** Généralement, cet aspect définit et influence les deux éléments précédents.

XII.3. Les différents types de gares

XII.3.1. Les gares des voyageurs :

Il s'agit d'un ensemble fonctionnel conçu pour regrouper toutes les fonctions liées à l'accès au train, incluant l'information sur les voyages, l'achat de billets, ainsi que divers services commerciaux associés au voyage. Dans certaines gares, le flux important de voyageurs justifie la mise en place de fonctions annexes au déplacement proprement dit, telles que des commerces et services divers. Les gares peuvent varier considérablement en taille :

- **Les gares principales :** Situées dans les grandes villes, elles sont des lieux d'échange entre le mode ferroviaire et les divers modes de transport urbains (bus, tramway, métro). Elles voient passer quotidiennement un nombre considérable de voyageurs.
- **Les haltes (points d'arrêt) :** elles constituent un simple point d'arrêt, souvent sans personnel permanent.

XII.3.2. Les gares de marchandises :

Les gares de marchandises assurent la totalité du traitement du trafic marchandises. Elles sont dotées de halles à marchandises et de vastes cours de débord, dans lesquelles.



Figure XII 1-gare de marchandises

XII.3.3. Les gares terminus :

Le bâtiment est généralement au bout des quais, il est composé symétriquement un côté pour les départs, et l'autre pour les arrivés.

XII.3.4. Les gares de passages :

Le bâtiment de la gare est généralement situé le long des voies, du côté orienté vers le centre de l'agglomération. Les quais sont accessibles par une passerelle ou un souterrain, bien qu'il arrive parfois que le bâtiment soit placé au-dessus des quais.

XII.3.5. Les gares de triages :

Les gares de triage assurent la recomposition des trains dits du lotissement, c'est-à-dire des trains qui acheminent les wagons isolées.



Figure XII 2-Gare de tirage.

Les gares de croisement :

Il s'agit de gares situées à une distance significative les unes des autres. Elles sont placées le long de voies uniques afin de permettre le croisement des trains sans risque de collision

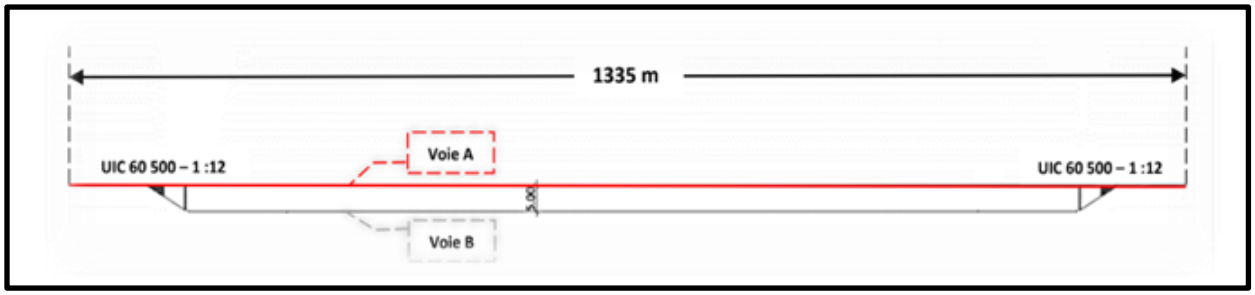


Figure XII 3-Schéma de la gare de croisement.

XII.4. Aménagement d'une gare :

L'aménagement d'une gare ferroviaire, doit être conçu de maniérer à répondre aux besoins des voyageurs et de marchandises prévues dans la région. Pour concevoir une gare, on doit établir les éléments suivants :

- Le plan de masse de la gare.
- Le système d'exploitation.
- Le système de contrôle.

XII.4.1. Installations d'une gare à voyageur :

Dans une gare ferroviaire, diverses installations et structures sont présentes, chacune étant adaptée en fonction du type, de la conception et de la catégorie de la gare :

- Le bâtiment voyageurs (BV) : Il s'agit d'un espace dédié aux passagers, comprenant une salle d'attente, des guichets de billetterie, des postes de sécurité, des kiosques, etc.
- Les bâtiments à usages divers (BUD) : Ces structures abritent des locaux exclusivement réservés au personnel ferroviaire, tels que des cabines de signalisation, des magasins, des bureaux, etc.
- Les quais : Ils sont disposés en parallèle aux voies ferrées, permettant l'accès aux trains.
- Les abris de quais : Ces installations situées sur les quais ont pour objectif de protéger les voyageurs des intempéries.
- Les heurtoirs : Ce sont des dispositifs placés à l'extrémité des voies de garage ou de sécurité pour signaler la fin de celles-ci et empêcher les véhicules en mouvement de dépasser la voie. Ils sont conçus pour absorber l'énergie cinétique des trains qui les heurtent, grâce à des tampons qui réduisent l'impact.
- Les passages souterrains et les passerelles : Ces éléments sont construits dans les gares afin de permettre aux passagers de traverser les voies et de changer de quai en toute sécurité.

  La largeur des passerelles doit être : $B \geq 2.4$ m,

  La hauteur des passerelles doit être : $H > 6.2$ m.



Figure XII 4-Equipement de la gare à voyageurs.

XII.4.2. Gare de marchandises :

Les composantes essentielles de la base d'une gare de marchandises comprennent :

- Un bâtiment de service (BS) dédié à l'accomplissement des formalités de l'acte commercial.
- Des cours de débord pour le chargement et le déchargement des marchandises.
- Des quais de débord.
- Un hall de stockage.
- Un parking pour le stationnement des véhicules.

Il est impératif que l'emplacement de chaque élément soit soigneusement planifié en tenant compte des autres, afin de garantir un fonctionnement fluide et ordonné de la gare.

XII.4.3. Réseau de voie :

Son rôle d'assurer une liaison entre les voies (passer d'une voie à l'autre).

Tableau XII 1-La composition des réseaux selon leurs destinations.

Réseau de voies	Voies composant le réseau
Destiné au transport de voyageurs	Voie principale. Voie de déplacement. Voie de gare.
Destiné aux ateliers d'entretien des véhicules Destiné à l'aire d'approvisionnement En carburant	Voie de liaison. Voie d'entretien. Voie d'approvisionnement.
Destiné au service de la maintenance La voie	Voie d'acheminement vers le hangar de maintenance. Voie de hangar.

XII.5. Caractéristiques géométriques des gares :

XII.5.1. Marge de glissement à l'aval des signaux :

Il s'agit du tronçon de voie situé après le parcours d'un train, en aval d'un signal fermé, où aucun autre train n'est autorisé à circuler. Dans certains réseaux, il est impératif que cette portion de voie reste libre de toute occupation.

- **But de la marge de glissement :**

Son objectif est de réduire au maximum les conséquences d'une collision en cas de situation où un train n'a pas réussi à s'arrêter avant cette zone, en raison d'un problème de freinage ou de rails glissants.

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

$50 \leq LG \leq 200$, selon la vitesse de la ligne, on l'utilise comme marge à l'aval des signaux de Protection, des signaux d'entrée, des signaux intermédiaires ou de sortie.

LG = 200 m pour V > 60 km/h.
LG = 100 m pour 40 km/h < V < 60 km/h.
LG = 50 m pour V < 40 km/h.

XII.5.2. Garage franc :

Le garage franc marque la limite de la partie de voie à occuper par les véhicules garés, selon leur position théorique.

$$\mathbf{GF = 3.57 \times N + 1}$$

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

XII.5.3. La longueur utile d'une voie de stationnement :

La longueur requise est adéquate pour permettre au train de stationner sur la voie de dépassement sans entraver la circulation sur la voie principale ou sur les autres voies de dépassement voisines.

LU = LG + LS + LT + LA + LC

Avec : LU : longueur utile.
LG : longueur de glissement.
LS : longueur de sécurité.
LT : longueur maximale de train.
LA : marge de tolérance d'arrêt.
LC : tronçon d'isolation pour le système de contrôle.

XII.5.4. Déclivité dans les gares :

En gare, il est essentiel de limiter la déclivité en fonction des activités prévues. Généralement, la déclivité est maintenue à 0,0 % afin de prévenir tout déplacement potentiel des trains.

XII.5.5. La longueur de quai (normes SNTF) :

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

XII.5.6. La largeur des quais :

$$\mathbf{B_{min} = \frac{1.5 \times N_{min} + S}{L}}$$

Avec : N_{min} : nombre de voyageurs sur le quai qui est égale à 80 % des voyageurs au départ du train.

S : surface prise par les bâtiments voyageurs sur les quais.

L : longueur d'un quai est égale à la longueur du plus grand train.

1.5 : surface prise par un voyageur.

Cependant, la SNTF recommande pour une telle gare :

- **Quai intermédiaire B > 8 m.**
- **Quai extérieur B ≥ 6m.**

XII.5.7. Hauteur des quais :

La hauteur du bord du quai doit être de 350, 550 ou 760 mm au-dessus de la surface de roulement, en fonction du type de matériel roulant susceptible de s'arrêter à ce quai.

- **Quai bas h= 350 mm**
- **Quai mi- haut h= 550 mm**
- **Quai haut 760< h< 1000 mm**

XII.5.8. L'entre-axe des quais :

- $\mathbf{e_{normal} > 11.3\ m.}$
- $\mathbf{e_{minimal} > 9.3\ m.}$

XII.5.9. La distance à l'axe de la voie :

$$\mathbf{L\ (mm) = 1650 + \frac{3750}{Racordement} + \frac{Ecartement - 1435}{2}}$$

XII.5.10. Entraxe entre les voies :

Entraxe entre les voies égale à 4.2 m.

XII.6. Règles d'implantation :

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

- **En pointe :**

La longueur minimale d'alignement (L1) doit être égale à $V_d/2$, V_d étant la vitesse exprimée en km/h de franchissement en voie déviée.

En talon de la branche déviée :

- Si la sortie de l'appareil est en alignement :

La longueur minimale d'alignement à respecter doit être égale à $V_d/2$.

- Si la sortie de l'appareil est en courbe :

$V_d < 100$: Il convient de réserver un alignement de longueur minimale égale à $V_d/2$ ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie elle-même d'un raccordement progressif.

$100 \leq V_d < 160$: Il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens pour toute situation nouvelle.

$V_d \geq 160$: La condition ci-dessus est obligatoire. Quelle que soit V_d, 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.

XII.7. Assainissement de la gare :

XII.7.1. Assainissement longitudinal :

Pour collecter les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme, des drains longitudinaux avec des pentes de 4 ‰ sont utilisés. Ces drains permettent ensuite l'évacuation de ces eaux vers le réseau d'assainissement via des regards de visite.

XII.7.2. Assainissement transversal :

Pour garantir l'écoulement efficace des eaux pluviales dans les gares, il est essentiel de mettre en place un système d'assainissement transversal. Ce système nécessite une pente de 2 % en V ou en toit sur les quais, permettant ainsi l'évacuation des eaux vers les voies. Ensuite, les eaux sont dirigées grâce aux pentes transversales des plates-formes.

XII.8. Application dans ce projet :

La gare de Betioua est une gare intermédiaire pour le trafic voyageurs. Elle est située du PK 10+025 au PK 11+339, avec une longueur totale de 1314 m. Elle comprend trois voies : V1 et V2 (voies principales), et V4 (voie de service). Le bâtiment voyageur est situé au PK 10+500. Les caractéristiques de la gare sont résumées dans le tableau suivant :

Longueurs de la marge de glissement		200 m
Garage franc	(ADV 1/12)	3.57×12+1=43.84 m
	(ADV 1/9)	3.57×09+1=33.13 m
La longueur utile		V1 : 1112.33 m V2 : 863.38 m V4 : 863.38 m
Déclivité dans les gares		0 %
La longueur de quai		225 m (Banlieue)
La largeur des quais		8 m
Hauteur des quais		550 mm
L'entre-axe des quais		15.5 m
La distance à l'axe de la voie		1650 mm
Entraxe entre les voies (V1 et V2)		4.2 m
La largeur des passerelles		2.5 m
La hauteur des passerelles		6.5 m

CHAPITRE XIII

SIGNALISATION FERROVIAIRE

XIII.1 Introduction:

La signalisation ferroviaire est l'ensemble des signaux conventionnels d'une voie Ferrée, destinés à assurer la sécurité des usagers du rail, sous forme de codes réalisés par des Signaux de forme, de combinaisons, ou de couleur diverse.
On dit que la signalisation ferroviaire contrôle et commande l'évolution de la voie pour L'aiguillage des trains, ainsi que l'évolution des trains sur la voie. La capacité théorique d'une Infrastructure ferroviaire est directement liée à son système de signalisation.

XIII.2 Le rôle de la signalisation ferroviaire :

La sécurité des circulations est la première priorité d'un système ferroviaire. On Identifie cinq grandes problématiques de sécurité, principalement gérées par la signalisation Ferroviaire.
Les risques majeurs liés aux circulations ferroviaires sont les suivants :

- Le franchissement des voies ferrées par des routes sur un même niveau ;
- L'espacement des circulations pour éviter les rattrapages ;
- Les risques de déraillement par excès de vitesse ;
- La protection des circulations dans les établissements, convergence ou cisaillement ;
- La collision frontale de trains qui circulent en sens contraire sur la même voie, nez-à-nez.

Les installations de signalisation ferroviaire permettent de résoudre les grands problèmes Précédents.
Lorsque toutes les conditions de sécurité sont vérifiées, le système ferroviaire cherche ensuite à assurer la fluidité du trafic et le respect des horaires et des débits.

XIII.3 Classification et référence des signaux ferroviaires :

Sur les voies ferroviaires à double sens où la circulation des trains est traditionnellement orientée vers la gauche, les signaux permanents sont généralement positionnés du côté gauche de la voie qu'ils régulent, ou sur la partie gauche de cette voie
La signalisation peut être :

- **Mécanique** : On utilise des signaux obtenus à l'aide d'une aile ou d'une cocarde de couleur.
- **Lumineuse** : il est fait usage de panneaux portant un, ou plusieurs feux de couleur,

Généralement disposées sur un écran noir bordé d'un liseré blanc de forme oblongue ou circulaire.

- **Fixe** : lorsqu'il présente un aspect invariable.
- **Mobile** : lorsqu'il présente au moins deux aspects distincts.

En outre, la signalisation peut également inclure :

- Des tableaux lumineux ;
- Des tableaux mécaniques fixes ou effaçables ;
- Des tableaux ou Des pancartes réflectorisées ;
- Des guidons d'arrêt...

XIII.4 Conception de la signalization:

XIII.4.1 Postes de sécurité :

- Conception de postes de sécurité :

La gestion et la surveillance des équipements de signalisation sont généralement effectuées par des postes de sécurité. Ce système de postes de sécurité comprend des centres de relayage (CR) distribués ainsi qu'un Poste de Commande Centralisé (PCC) central.
Dans chacune des gares, il sera installé un centre de relayage (CR), qui englobe uniquement les Modules de puissance et sert pour la connexion de l'installation extérieure. Les centres de relayage
Seront inoccupés et commandés à distance. Aucune possibilité de commande locale n'est prévue.
Dans la mesure du possible, la logique d'enclenchement pour toutes les gares sera centralisée et installée dans le Poste de Commande Centralisé (PCC).

- Commande des postes de sécurité :

Chaque poste est équipé de six écrans pour la commande des centres de relayage. Ces écrans
Servent à l'affichage de vues d'ensemble des secteurs, à faire des zooms, à la saisie des instructions
Et aux annonces système. Deux autres écrans seront utilisés pour la téléphonie de sécurité (Téléphone et radio) et le système de messagerie et contrôle à distance (SMC).

Tous les CRs et le PCC disposeront d'un système de diagnostic automatique qui transmettra les Messages sur l'état de fonctionnement et les messages d'erreurs au PCC. Le personnel d'entretien
Pourra ainsi établir un diagnostic à distance des défaillances.

- Type de construction des postes de sécurité :

Le type de construction choisi pour le système des postes de sécurité sera le Poste d'Aiguillage Informatisé » (PAI).

XIII.4.2 Installations extérieures :

Les équipements de signalisation extérieurs seront positionnés directement le long de la voie. Leur rôle est de transmettre les autorisations de mouvement (signaux), de définir et de sécuriser les itinéraires des trains (moteurs d'appareils de voie) et de détecter automatiquement la présence des trains.

- **Signaux :**

Les signaux sont utilisés pour la transmission lumineuse des autorisations de mouvement aux conducteurs de train (signaux principaux, signaux de manœuvre) ou pour annoncer ces autorisations de mouvement (signaux d'avertissement).
Le système de signalisation sera le système de signalisation lumineuse utilisé à la SNTF, qui est
Identique au système de signalisation français. Il utilise des feux de couleur rouge, violette, jaune,
Verte et blanche, quelquefois clignotants, disposés selon différentes configurations sur un panneau.
Les indications de signal et leur ordre hiérarchique sont définis comme suit :

- C ou Cv - Carré (rouge ou violet)
- S – Sémaphore
- S - Sémaphore sans arrêt
- M - Manœuvre réduite
- M – Manœuvre
- RR - Rappel de ralentissement 30
- RR - Rappel de ralentissement 60
- A – Avertissement
- R - Ralentissement 30
- A - Pré-avertissement
- R - Ralentissement 60
- VL - Voie libre

Dans les gares à équiper, outre les signaux principaux, signaux d'avertissement et signaux de Manœuvre, des indicateurs de vitesses sous forme de panneaux fixes (TIV fixes) seront en plus Utilisés.
Les distances des signaux d'avertissement sont fixées individuellement pour chaque gare. Elles sont
Calculées sur la base des pentes longitudinales de la voie, des vitesses des trains et de la puissance
De freinage des trains.

- **Moteurs d'appareils de voie :**

Un appareil de voie est un élément de la voie ferrée qui assure le support et le guidage du matériel roulant ferroviaire le long d'un itinéraire spécifique. Les taquets d'arrêt (ou dérailleurs) sont utilisés pour prévenir le risque de dérive, c'est-à-dire le déplacement non contrôlé des véhicules.

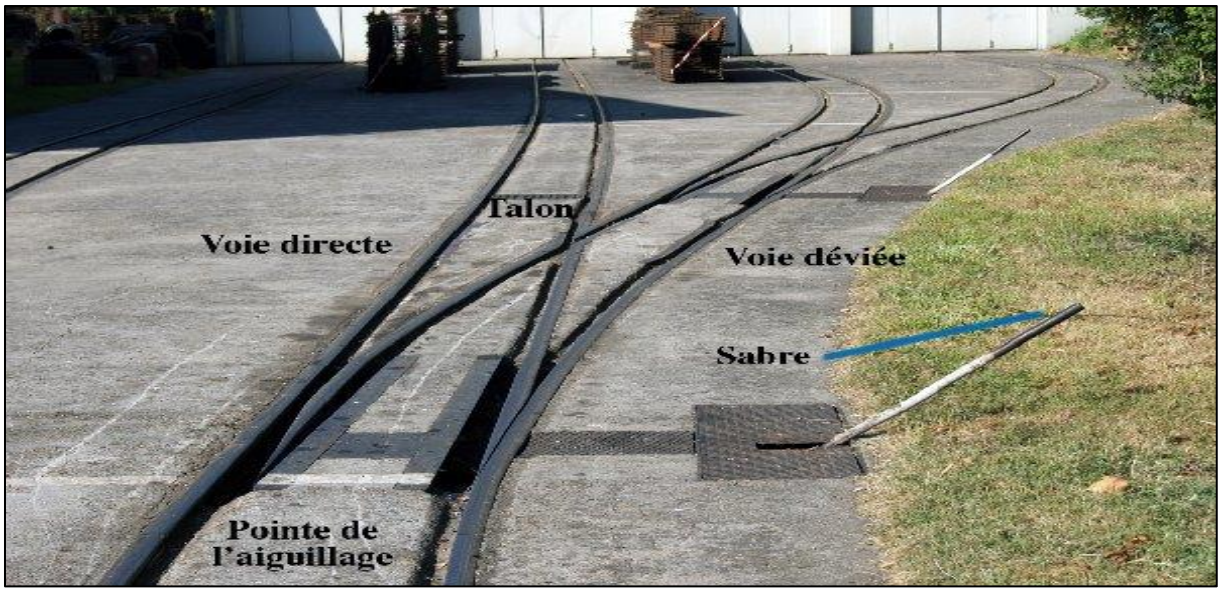


Figure XIV 1-appareils de voie

- **Autorisation Aiguille :**

Afin de pouvoir résoudre sur place un dysfonctionnement d'une aiguille (par exemple, un basculement incomplet de l'aiguille), un dispositif appelé "Autorisation Aiguille (AUAG)" est prévu, que ce soit pour une aiguille individuelle ou pour un groupe d'aiguilles. Il s'agit d'un petit boîtier de commande situé à proximité de la voie, équipé d'un voyant de contrôle rouge, d'une cloche, d'une clé avec verrouillage et d'une manivelle d'aiguillage. La porte du boîtier peut être ouverte avec une clé triangulaire

- **Système de détection de la présence de trains :**

Pour la détection automatique de la présence des trains, un système de détection d'occupation d'une section de voie, déclenché directement par le train et indiquant l'état libre ou occupé de la voie, est nécessaire.
Le système de détection de la présence des trains choisi repose sur la détection par compteurs d'essieux placés aux extrémités de chaque section de ligne. Un compteur d'essieux permet la détection et le comptage de tous les essieux du matériel roulant circulant sur la section, ainsi que leur sens de marche, en utilisant deux capteurs électroniques de roue. En comparant les nombres d'essieux entrants et sortants, il est possible de déterminer l'état de la section de voie (libre ou occupée).
Soient Ax1 et Ax2 deux compteurs d'essieux et TS1 et TS2 des sections de voie. Tant que le nombre d'essieux comptés par Ax2 ne correspond pas au nombre d'essieux comptés par Ax1, la section TS1 est considérée comme "occupée".

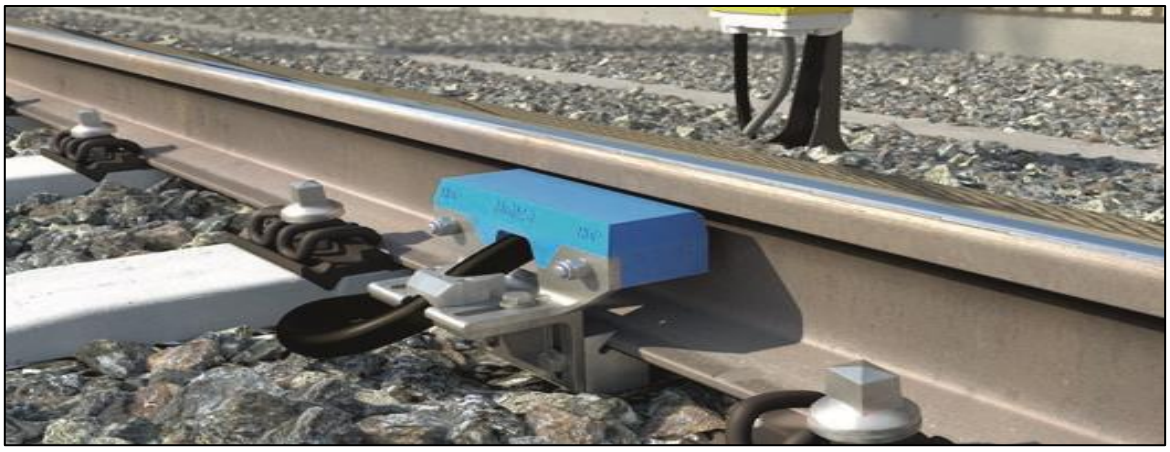


Figure XIV 2-compteurs d'essieux

XIII.4.3 Installations ETCS :

La ligne sera équipée du système ERTMS/ETCS de niveau 1, en complément du système de signalisation classique dont la fonctionnalité est entièrement maintenue. Les composants ETCS de niveau 1 le long de la ligne seront la Lineside Electronic Unit (LEU) et la balise (fixe ou commutable).

Tous les signaux principaux et d'avertissement seront équipés de LEU. Avec la LEU, l'indication de chaque signal est capturée, transformée en télégramme et transmise par câble à la balise de voie correspondante.

Les balises disposées au milieu de la voie transmettent un télégramme déposé dans la balise aux trains qui passent dessus, grâce à un procédé utilisant un transpondeur. Les balises fixes transmettent des données fixes concernant la ligne, telles que le point kilométrique, la déclivité et les signaux à indication fixe, sans nécessiter de câblage. L'approvisionnement en énergie est assuré par l'antenne de balise du train lors de son passage.

Les balises commutables peuvent transmettre des données variables au train, principalement des signaux à indication variable transmis à la balise via la LEU et un câble de données.

Un groupe de balises, comprenant entre deux et huit balises en fonction du volume d'informations à transmettre au train, est disposé au milieu de la voie en amont d'un signal carré ou d'un signal d'avertissement.

Toutes les installations ETCS sont conformes aux spécifications européennes de l'UNISIG énumérées dans les Spécifications Techniques d'Interopérabilité (décision 2006/860/CE de la Commission Européenne).

XIII.5 Conception de la telecommunication:

La ligne sera équipée d'installations de télécommunication afin de garantir les Communications pour les besoins du service et de mettre à disposition des moyens de transmission.

Le système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways) sera utilisé.

Le GSM-R prendra en charge les fonctions de liaison radio avec les trains, de radio de manœuvre et D'entretien, ainsi que des fonctions du système de téléphonie de sécurité.

A cet effet, Le GSM-R sera mis en place sur les postes de travail des opérateurs de sécurité, sur des Terminaux mobiles d'usagers et sur des terminaux fixes d'usagers

XIII.6 Fonctions des signaux:

La SF répond à deux grands besoins : assurer la sécurité en parant les risques ferroviaires, et fluidifier
Le trafic. Pour cela la SF porte plusieurs fonctions essentielles sont :

- **La signalisation à main :**



Figure XIV 3-les signaux à main

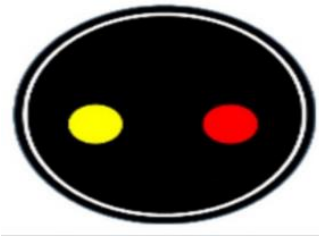
- **La signalisation au sol :** normalement implantée à gauche ou au-dessus de la voie

Concernée.

- **Signalisation d'arrêt :**

Tableau XIII 1-XIII.6 Fonctions des signaux

Signal Signal	**Description**
	**Carré (C)** C'est un signal de protection non Franchissable. Il sert à protéger des Aiguillages (croisements), mais peut aussi Servir à protéger certaines zones Particulières.
	**Carré violet (Cv)** Le carré violet est similaire au carré rouge, Mais ne se rencontre que sur les voies de Manœuvre, ou en protection à l'origine des Itinéraires de refoulement.

	**Guidon d'arrêt (GA)** GA commande au mécanicien de s'arrêter Avant le signal. Elle est en général utilisée Pour protéger un passage à niveau Elle ne Doit être rencontrée que par des circulations En marche à vue ou en manœuvre.
	**Sémaphore(S)** Le feu rouge simple est appelé sémaphore, Et commande au mécanicien de s'arrêter Avant le signal. C'est un signal d'espacement Qui permet d'éviter le rattrapage des trains.
	**Feu rouge clignotant(S)** (S) est un signal dont l'arrêt n'est pas Obligatoire. Le mécanicien qui rencontre ce Signal peut le franchir en marche à vue, sans Marquer d'arrêt, et sans dépasser la vitesse de 15 Km/h. On utilise ce signal pour éviter aux trains Qui ne la desserve pas de s'arrêter à quai ou pour annoncer en carré à distance réduite
	**Disque(D)** (D) commande au mécanicien de passer en marche à vue aussitôt que possible, et de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré. Le disque est rarement implanté en B.A.L, et n'est utilisé que sur des lignes peu fréquentées.

- Signalisation d'annonce d'arrêt : on utilise habituellement

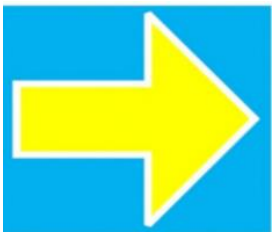
Tableau XIII 2-Signalisation d'annonce d'arrêt

Signal	**Description**
	**Avertissement(A)** (A) commande au mécanicien de pouvoir S'arrêter avant le signal suivant : carré, Sémaphore, carré violet ; ou d'être en mesure De respecter un rouge clignotant.
	**Feu jaune clignotant(A)** (A) commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par l'avertissement suivant. Ce signal est implanté lorsque la distance entre l'avertissement (signal jaune) et le signal d'arrêt (signal rouge) est insuffisante pour permettre l'arrêt du train (canton court).

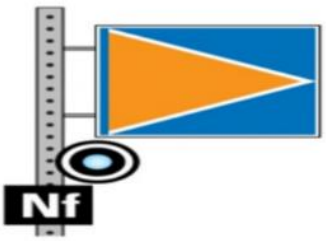
	**Feu vert clignotant (VL)** (VL) est équivalent au feu vert fixe pour les trains dont la vitesse ne dépasse pas 160 Km. Ce signal n'est implanté que sur les lignes dont la vitesse plafond est supérieure à 160 Km/h (lignes à 200 Km/h).
	**Bande jaune horizontale (BJ)** (BJ) est utilisée en complément des règles de l'avertissement. Elle indique au mécanicien que son train est dirigé vers une voie en impasse de longueur réduite (cas par exemple ou la voie est déjà occupée par un train ou un morceau de train que qui doit être abordé).
	**Feu vert (FV)** Le feu vert indique au conducteur que la Circulation en marche normale est autorisé, S'y rien ne s'y oppose.

- **Signalisation de cabine :**

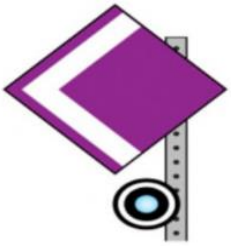
Peut être complétée par une signalisation au sol dans certains cas pour :
Repérer les points à ne pas dépasser comme :



Repère d'arrêt ETCS



repère NF de la TVM



jalon de manœuvre de la TVM

Donner des ordres de traction électrique, des informations aux points d'entrée
Et de sortie du domaine de signalisation de cabine...etc.

XIII.7 Conclusion:

Les lois régissant la circulation ferroviaire sont extrêmement complexes et distinctes des lois régissant d'autres types de circulation. Cette complexité découle principalement des contraintes spécifiques imposées par le fonctionnement des chemins de fer. De plus, la distance requise pour s'arrêter est souvent plus longue que la distance visible pour le conducteur. Ainsi, pour garantir la sécurité et prévenir les accidents, il est nécessaire de disposer de systèmes de contrôle et d'assistance, notamment des signaux dont nous avons discuté précédemment.

CHAPITRE XIV

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT (DA)	Montant HT (DA)
INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
1,1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	01	175 000 000.00	175 000 000.00
1,2	Repli de matériel et des installations de chantier	F	01	31 500 000.00	31 500 000.00
1,3	Etude d'exécution	F	01	23 500 000.00	23 500 000.00
1,4	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	01	11 000 000.00	11 000 000.00
TOTAL 01					**241 000 000.00**
TERRASSEMENTS GENERAUX					
2,1	Décapage de terre végétale épaisseur de 0,40 m	m^3	50400.00	530	26 712 000.00
2,2	Déblai mise en remblai	m^3	189965,60	570	108 280 392.00
2,3	Déblais mise en dépôt	m^3	987068,30	600	592 240 980.00
2,4	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	m^3	832699,90	810	674 486 919.00
2,5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	m^3	54597,10	1 400	76 435 940.00
2,6	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation	m^3	19414,31	1 900	36 887 189.00
2,7	Fourniture et mise en œuvre de la couche de sous ballast	m^3	13447,74	2 500	33 619 350.00
2,8	Fourniture et mise en œuvre de la couche de ballast	m^3	31303,38	5 500	17 200 000.00
TOTAL 02					**1 565 862 770.00**
OUVRAGES D'ART					
3,1	Pont Rail 33m	U	01	35 000 000.00	35 000 000.00
3,2	Passage supérieur	U	01	15 000 000.00	15 000 000.00
3,3	Passage inférieur	U	01	15 000 000.00	15 000 000.00
3,4	Pont Route	U	01	65 000 000.00	65 000 000.00
TOTAL 03					**130 000 000.00**
OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4,1	Fossés trapézoïdaux en béton armé	ml	20550	4 000	82 200 000.00
4,2	06 Buses en Béton Armé Ø 800	ml	60	4 800	288 000.00
4,3	02 Buses en Béton Armé Ø 1000	ml	20	6 900	138 000.00
4,4	03 Buses en Béton Armé Ø 1200	ml	30	10 000	300 000.00
4,5	02 Buses en Béton Armé Ø 1500	ml	20	15 000	300 000.00
4,6	02 Buses en Béton Armé Ø 1800	ml	20	24 000	480 000.00
4,7	01 Buses en Béton Armé Ø 2000	ml	10	30 000	300 000.00
4,8	1 Dalot 2.5 m x 2 m	m^3	10	40 000	400 000.00
4,9	2 Dalots 3.5 m x 3m	m^3	20	47 000	940 000.00
TOTAL 04					**85 346 000.00**

TRAVAUX DE VOIE					
5,1	Fourniture et pose de voie sur les traverses	ml	12000	15 000	180 000 000.00
5,2	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31) avec attaches élastiques	U	20000	7 500	150 000 000.00
5,3	Fourniture et pose d'heurtoir	U	2	550 000	1 100 000.00
5,4	Fourniture et pose d'appareil de voie				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	U	2	13 650 000	27 300 000.00
	b) UIC 60-500-1/12 DG	U	2	13 650 000	27 300 000.00
	c) UIC 60-300-1/9 DD	U	1	10 250 000	10 250 000.00
	d) UIC 60-300-1/9 DG	U	1	10 250 000	10 250 000.00
5,5	Fourniture et pose ballast sur épaisseur de 0,30 m	ml	12000	1 600	19 200 000.00
5,6	Soudage électrique	U	1400	9 500	13 300 000.00
TOTAL 05					**438 700 000.00**
BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING					
6,1	Voiries + parking et quais y compris aménagement annexe	m²	2500	110 000	75 000 000.00
6,2	Bâtiment de Voyageur	m²	80	92 000	7 360 000.00
TOTAL 06					**82 360 000.00**
SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION					
7.1	SIGNALISATION FERROVIAIRE	-	-	-	4 450 000.00
TOTAL 07					**4 450 000.00**

Tableau récapulatif :

Récapitulation		
N° Lot	**Désignations des lots**	**Montant (DA)**
01	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION	241 000 000.00
02	TERRASSEMENTS GENERAUX	1 565 862 770.00
03	OUVRAGES D'ART	130 000 000.00
04	OUVRAGES HYDRAULIQUE	85 346 000.00
05	TRAVAUX DE VOIE	438 700 000.00
06	BATIMENT, QUAIS, VOIRIE ET PARKING	82 360 000.00
07	SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION	4 450 000.00

TOTAL	
MONTANT DU PROJET EN HT (DA)	2 547 718 770.00
MONTANT DE LA TVA (19 %) (DA)	484 066 566.30
MONTANT DU PROJET EN TTC (DA)	3 031 785 336.30
CHIFFRE EN LETTRES	Trois milliards trente et un millions sept cent quatre-vingt-cinq mille trois cent trente-six virgule trente Dinars Algérien

CONCLUSION GENERALE :

Le projet étudié à travers le présent mémoire de fin d'étude représente pour nous une Excellente opportunité de mettre en application des connaissances acquises durant tout notre Cursus a l'ENSTP pour résoudre des problèmes concrets. Effectivement, à travers ce projet qui nous a permis de chercher des solutions à tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter lors d'une étude en avant-projet détaillée d'une ligne ferroviaire.

Notre travail respecte les normes de l'UIC, et les exigences de la SNTF pour le confort et la sécurité des usagers aussi bien que l'économie et l'environnement.

Il a été l'occasion de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine qu'on a Rencontré lors de notre stage pratique chez COSIDER et SETI-RAIL ce qui nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine ferroviaire :

- Conception du tracé en plan, profil en long et profil en travers
- Apprendre les Tools et logiciels utilisé dans les projets ferroviaires.
- Etude géologique et géotechnique.
- Etude hydrologique et hydraulique.
- Conception de la gare.
- Etude d'impact sur l'environnement.
- Réaliser un devis estimatif et quantitatif du projet.

De plus, apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet de travaux publics.

LISTE DES ANNEXES
ANNEXE I

Listing de la géométrie de l'axe en plan

Date : 6/13/2024 5 :05 :31 AM

Axe en plan : PFE Axe 01
Description :
Plage d'abscisse : Début: 7+500.00, Fin: 18+031.00

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			7+500.00	743857.9140	3964457.5280
DR1	ANG=86.9406 (g)	1603.602			
			9+103.60	745427.8936	3964784.1824
CLO2	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			9+243.60	745565.5076	3964809.7824
ARC3	XC=745720.6384				
	YC=3963720.7762				
	R=1100.000	116.263			
			9+359.87	745681.2605	3964820.0712
CLO4	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			9+499.87	745821.2323	3964819.1446
DR5	ANG=101.7718 (g)	2078.039			
			11+577.90	747898.4662	3964761.3190
CLO6	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			11+717.90	748038.2727	3964754.4571
ARC7	XC=747937.7993				
	YC=3963659.0553				
	R=1100.000	514.248			
			12+232.15	748521.1395	3964591.6400
CLO8	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			12+372.15	748636.5557	3964512.4437
DR9	ANG=139.6361 (g)	605.034			

			12+977.19	749128.0636	3964159.6177
CLO10	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			13+077.19	749209.9389	3964102.2117
ARC11	XC=750043.5683				
	YC=3965349.2329				
	R=1500.000	445.090			
			13+522.28	749610.9877	3963912.9620
CLO12	A=387.298				
	R=1500.000	100.000			
			13+622.28	749707.3515	3963886.2594
DR13	ANG=116.5017 (g)	181.978			
			13+804.25	749883.2504	3963839.6156
CLO14	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			13+944.25	750017.7577	3963800.8762
ARC15	XC=749668.7654				
	YC=3962757.7059				
	R=1100.000	414.968			
			14+359.22	750377.4793	3963598.9696
CLO16	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			14+499.22	750480.6087	3963504.3268
DR17	ANG=148.6202 (g)	179.007			
			14+678.23	750609.8990	3963380.5228
CLO18	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			14+818.23	750708.9218	3963281.5914
ARC19	XC=749899.1590				
	YC=3962537.0887				
	R=1100.000	465.414			
			15+283.64	750943.2034	3962883.4575
CLO20	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			15+423.64	750981.6045	3962748.8533
DR21	ANG=183.6583 (g)	237.632			

			15+661.28	751041.9357	3962519.0072
CLO22	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			15+801.28	751080.3367	3962384.4029
ARC23	XC=752124.3811				
	YC=3962730.7718				
	R=1100.000	471.910			
			16+273.19	751319.0291	3961981.5001
CLO24	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			16+413.19	751418.6344	3961883.1552
DR25	ANG=148.2443 (g)	425.068			
			16+838.25	751727.3766	3961590.9894
CLO26	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			16+978.25	751831.0632	3961496.9573
ARC27	XC=752534.7967				
	YC=3962342.3916				
	R=1100.000	663.213			
			17+641.47	752434.5474	3961246.9692
CLO28	A=392.428				
	R=1100.000	140.000			
			17+781.47	752574.3553	3961240.1359
DR29	ANG=101.7587 (g)	249.529			
			18+031.00	752823.7886	3961233.2433

Axe en plan : PFE Axe 01-DeuxiemeVoie GARE
Description :
Plage d'abscisse : Début : 10+025.00, Fin : 11+240.59

Elem	**Caractéristiques**	**Longueur**	**Abscisse**	**X**	**Y**
			10+025.00	746388.0739	3964799.1606
DR1	ANG=101.7733 (g)	1215.592			
			11+240.59	747603.1941	3964765.3050

Axe en plan : Axe Voie de service GARE
Description :
Plage d'abscisse : Début : 10+164.75, Fin : 11+095.96

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			10+164.75	746529.2351	3964795.2276
ARC1	XC=746520.8797				
	YC=3964495.3440				
	R=300.000	58.289			
			10+223.04	746586.9784	3964787.9716
ARC2	XC=746653.0770				
	YC=3965080.5993				
	R=300.000	58.295			
			10+281.34	746644.7277	3964780.7156
DR3	ANG=101.7720 (g)	698.119			
			10+979.46	747342.5766	3964761.2861
ARC4	XC=747350.9259				
	YC=3965061.1699				
	R=300.000	58.247			
			11+037.70	747400.5927	3964765.3097
ARC5	XC=747450.2595				
	YC=3964469.4496				
	R=300.000	58.253			
			11+095.96	747458.6148	3964769.3332

ANNEXE II

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Date : 6/13/2024 5 :16 :12 AM

Profil en long : Voie de service Profil gare
Description :
Plage d'abscisse : Début : 10+164.58, Fin : 11+155.76
LONGUEUR DE L'AXE : 991.180m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			10+164.58	45.144
D1	PENTE= 0.00%	991.172		
			11+155.76	45.144

Profil en long : V02_Gare
Description :
Plage d'abscisse : Début : 10+025.00, Fin : 11+240.59
LONGUEUR DE L'AXE : 1215.590m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			10+025.00	45.144
D1	PENTE= 0.00%	1215.592		
			11+240.59	45.144

Profil en long : PFE Axe 01 - V01
Description :
Plage d'abscisse : Début : 7+500.00, Fin : 18+000.00
LONGUEUR DE L'AXE : 10500.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			7+500.00	75.527
D1	PENTE= -1.44%	519.025		
			8+019.02	68.031
ARC1	S= 8+088.86 Z=67.022			
	R= -9000.000	139.668		
			8+158.69	67.097
D2	PENTE= 0.11%	296.789		
			8+455.48	67.417

ARC2	S= 8+540.80 Z=67.509			
	R= -10000.000	170.617		
			8+626.10	66.146
D3	PENTE= -1.60%	1241.797		
			9+867.90	46.294
ARC3	S= 9+939.82 Z=45.144			
	R= -9000.000	143.856		
			10+011.75	45.144
D4	PENTE= -0.00%	1365.929		
			11+377.68	45.144
ARC4	S= 11+447.78 Z=45.144			
	R= -9000.000	140.197		
			11+517.88	46.236
D5	PENTE= 1.56%	957.139		
			12+475.02	61.148
ARC5	S= 12+700.06 Z=64.654			
	R= -46500.000	450.108		
			12+925.13	65.981
D6	PENTE= 0.59%	1572.762		
			14+497.89	75.257
ARC6	S= 14+573.29 Z=75.702			
	R= -15000.000	150.802		
			14+648.69	76.905
D7	PENTE= 1.60%	1838.993		
			16+487.68	106.243
ARC7	S= 16+552.30 Z=107.273			
	R= -10000.000	129.245		
			16+616.93	107.469
D8	PENTE= 0.30%	1383.073		
			18+000.00	111.655

ANNEXE III

Analyse SLOPE/W

Rapport généré à l'aide de GeoStudio 2018 R2. Copyright © 1991-2018 GEOSLOPE International Ltd.

Paramètres du projet

Système d'unités : Système international d'unités (SI)

CAS NORMALE EN DEBLAI

Paramètres d'analyse
Analyse SLOPE/W
Genre : SLOPE/W
Méthode : Bishop
Paramètres
Conditions de pression interstitielle de: (aucun)
Poids volumique de l'eau : 9.807 kN/m³
Surface de glissement
Direction du mouvement : De gauche à droite
Utiliser le mode passif : Non
Option Surface de glissement : Entrée et sortie
Surfaces de glissement critiques enregistrées : 1
FS Option de calcul : Constante
Avancé
Paramètres de géométrie
Profondeur minimum de surface de glissement : 0.1 m
Nombre de tranches : 30
Facteur de sécurité Paramètres de convergence du fact. De sécurité
Nombre maximal d'itérations : 100
Tolérance du facteur de sécurité FS : 0.001
Matériaux
Limons argileux
Modèle : Mohr-Coulomb
Poids volumique : 18 kN/m³
Cohésion' : 19 kPa
Phi' : 39 °
Phi-B : 0 °
Marnes bariolées
Modèle : Mohr-Coulomb
Poids volumique : 19 kN/m³
Cohésion' : 55 kPa
Phi' : 22 °

Phi-B : 0 °
Marnes en profondeur
Modèle : Mohr-Coulomb
Poids volumique : 19 Kn/m³
Cohésion' : 30 kPa
Phi' : 18 °
Phi-B : 0 °
Points d'entrée et de sortie de surface de glissement
Type de gauche : Plage
Coordonnées gauches de la zone gauche : (1.2754, 34.36) m
Coordonnées droites de la zone gauche : (47.868, 34.36) m
Incrément de la zone gauche : 8
Type de droite : Plage
Coordonnées gauches de la zone droite : (81.265344, 14.68242) m
Coordonnées droites de la zone droite : (96.387, 14.676) m
Incrément de la zone droite : 8
Incréments de rayon : 4
Limites de la surface de glissement
Coordonnées gauches : (0, 34.36) m
Coordonnées droites : (96.387, 14.676) m
Charges de surcharge
Surcharge 1
Surcharge (poids volumique) : 15 Kn/m³
Direction : Vertical

Coordonnées

	X	Y
	0 m	34.36 m
	47.868 m	34.36 m

Résultats du glissement

Surfaces de glissement analysées : 308 of 405 convergé
Surface de glissement actuelle
Surface de glissement : 329
Facteur de sécurité : 1.693
Volume : 389.93398 m³
Poids : 7,391.5594 Kn
Moment de résistance : 142,096.42 Kn·m
Moment d'activation : 83,924.038 Kn·m
Niveau du coef de sécurité (analyse) : 1 de surfaces de glissement 405
Sortie : (85.044303, 14.676) m
Entrée : (42.043925, 34.36) m
Rayon : 30.903003 m
Centre : (71.825582, 42.609152) m

ANNEXE IV

Analyse SLOPE/W

Rapport généré à l'aide de GeoStudio 2018 R2. Copyright © 1991-2018 GEOSLOPE International Ltd.

Paramètres du projet

Système d'unités : Système international d'unités (SI)

CAS ACCIDENTEL EN DEBLAI

Paramètres d'analyse

Analyse SLOPE/W

Genre : SLOPE/W

Méthode : Bishop

Paramètres

Conditions de pression interstitielle de : (aucun)

Poids volumique de l'eau : 9.807 kN/m³

Surface de glissement

Direction du mouvement : De gauche à droite

Utiliser le mode passif : Non

Option Surface de glissement : Entrée et sortie

Surfaces de glissement critiques enregistrées : 1

Optimiser l'emplacement de la surface glissement critique : Non

Option de fissure de tension : (aucun)

Distribution

FS Option de calcul : Constante

Avancé

Paramètres de géométrie

Profondeur minimum de surface de glissement : 0.1 m

Nombre de tranches : 30

Facteur de sécurité Paramètres de convergence du fact. De sécurité

Nombre maximal d'itérations : 100

Tolérance du facteur de sécurité FS : 0.001

Matériaux

Limons argileux

Modèle : Mohr-Coulomb

Poids volumique : 18 kN/m³

Cohésion' : 19 kPa

Phi' : 39 °

Phi-B : 0 °

Marnes bariolées

Modèle : Mohr-Coulomb

Poids volumique : 19 kN/m³
Cohésion' : 55 kPa
Phi' : 22 °
Phi-B : 0 °

Marnes en profondeur

Modèle : Mohr-Coulomb
Poids volumique : 19 kN/m³
Cohésion' : 30 kPa
Phi' : 18 °
Phi-B : 0 °

Points d'entrée et de sortie de surface de glissement

Type de gauche : Plage
Coordonnées gauches de la zone gauche : (1.2754, 34.36) m
Coordonnées droites de la zone gauche : (47.868, 34.36) m
Incrément de la zone gauche : 8
Type de droite : Plage
Coordonnées gauches de la zone droite : (81.265344, 14.68242) m
Coordonnées droites de la zone droite : (96.387, 14.676) m
Incrément de la zone droite : 8
Incréments de rayon : 4

Limites de la surface de glissement

Coordonnées gauches : (0, 34.36) m
Coordonnées droites : (96.387, 14.676) m

Coefficients sismiques

Coef. Sismique horiz : 0.2
Coef. Sismique vert : 0.06

Charges de surcharge

Surcharge 1

Surcharge (poids volumique : 15 kN/m³
Direction : Vertical

Coordonnées

	X	Y
	0 m	34.36 m
	47.868 m	34.36 m

Régions

	Matériau	Points	Aire
Région 1	Marnes en profondeur	11,5,6,14,13,12	1,553.6 m²
Région 2	Marnes bariolées	6,7,8,9,10,3,4,5	1,022.9 m²
Région 3	Limons argileux	3,2,1,4	117.82 m²

ANNEXE V

Analyse SLOPE/W

Rapport généré à l'aide de GeoStudio 2018 R2. Copyright © 1991-2018 GEOSLOPE International Ltd.

Paramètres du projet

Système d'unités : Système international d'unités (SI)

CAS NORMALE EN REMBLAI

Paramètres d'analyse

Analyse SLOPE/W

Genre : SLOPE/W

Méthode : Bishop

Paramètres

Conditions de pression interstitielle de : (aucun)

Poids volumique de l'eau : 9.807 kN/m³

Surface de glissement

Direction du mouvement : De gauche à droite

Utiliser le mode passif : Non

Option Surface de glissement : Entrée et sortie

Surfaces de glissement critiques enregistrées : 1

Optimiser l'emplacement de la surface glissement critique : Non

Option de fissure de tension : (aucun)

Distribution

FS Option de calcul : Constante

Avancé

Paramètres de géométrie

Profondeur minimum de surface de glissement : 0.1 m

Nombre de tranches : 30

Facteur de sécurité Paramètres de convergence du fact. de sécurité

Nombre maximal d'itérations : 100

Tolérance du facteur de sécurité FS : 0.001

Matériaux

Remblai

Modèle : Mohr-Coulomb

Poids volumique : 20 kN/m³

Cohésion' : 20 kPa

Phi' : 30 °

Phi-B : 0 °

Limons argileux

Modèle : Mohr-Coulomb

Poids volumique : 18 kN/m³

Cohésion’ : 19 kPa
Phi’ : 39 °
Phi-B : 0 °

Points d'entrée et de sortie de surface de glissement

Type de gauche : Plage
Coordonnées gauches de la zone gauche : (0.043069, 18.961) m
Coordonnées droites de la zone gauche : (9.036908, 18.961) m
Incrément de la zone gauche : 8
Type de droite : Plage
Coordonnées gauches de la zone droite : (34.379489, 3.482) m
Coordonnées droites de la zone droite : (55.347, 3.482) m
Incrément de la zone droite : 8
Incréments de rayon : 4

Limites de la surface de glissement

Coordonnées gauches : (0, 18.961) m
Coordonnées droites : (55.347, 3.482) m

Charges de surcharge

Surcharge 1

Surcharge (poids volumique) : 15 kN/m³
Direction : Vertical

Coordonnées

	X	Y
	0 m	18.961 m
	0 m	22 m
	9 m	22 m
	9.038 m	18.961 m
	9.038 m	22 m

Résultats du glissement

Surfaces de glissement analysées : 242 of 405 convergé

Surface de glissement actuelle

Surface de glissement : 228
Facteur de sécurité : 1.745
Volume : 132.54943 m³
Poids : 2,650.274 kN
Moment de résistance : 66,853.1 kN·m
Moment d'activation : 38,308.243 kN·m
Niveau du coef de sécurité (analyse) : 1 de surfaces de glissement 405
Sortie : (34.379489, 3.482) m
Entrée : (5.6642184, 18.961) m
Rayon : 29.756286 m
Centre : (31.831096, 33.12896) m

ANNEXE VI

Analyse SLOPE/W

Rapport généré à l'aide de GeoStudio 2018 R2. Copyright © 1991-2018 GEOSLOPE International Ltd.

Paramètres du projet

Système d'unités : Système international d'unités (SI)

CAS ACCIDENTEL EN REMBLAI

Paramètres d'analyse

Analyse SLOPE/W

Genre : SLOPE/W

Méthode : Bishop

Paramètres

Conditions de pression interstitielle de : (aucun)

Poids volumique de l'eau : 9.807 kN/m³

Surface de glissement

Direction du mouvement : De gauche à droite

Utiliser le mode passif : Non

Option Surface de glissement : Entrée et sortie

Surfaces de glissement critiques enregistrées : 1

Optimiser l'emplacement de la surface glissement critique : Non

Distribution

FS Option de calcul : Constante

Avancé

Paramètres de géométrie

Profondeur minimum de surface de glissement : 0.1 m

Nombre de tranches : 30

Facteur de sécurité Paramètres de convergence du fact. de sécurité

Nombre maximal d'itérations : 100

Tolérance du facteur de sécurité FS : 0.001

Matériaux

Remblai

Modèle : Mohr-Coulomb

Poids volumique : 20 kN/m³

Cohésion' : 20 kPa

Phi' : 30 °

Phi-B : 0 °

Limons argileux

Modèle : Mohr-Coulomb

Poids volumique : 18 kN/m³

Cohésion' : 19 kPa

Phi' : 39 °
Phi-B : 0 °

Points d'entrée et de sortie de surface de glissement

Type de gauche : Plage
Coordonnées gauches de la zone gauche : (0.043069, 18.961) m
Coordonnées droites de la zone gauche : (9.036908, 18.961) m
Incrément de la zone gauche : 8
Type de droite : Plage
Coordonnées gauches de la zone droite : (34.379489, 3.482) m
Coordonnées droites de la zone droite : (55.347, 3.482) m
Incrément de la zone droite : 8
Incréments de rayon : 4

Limites de la surface de glissement

Coordonnées gauches : (0, 18.961) m
Coordonnées droites : (55.347, 3.482) m

Coefficients sismiques

Coef. Sismique horiz. : 0.2
Coef. Sismique vert. : 0.06

Charges de surcharge

Surcharge 1

Surcharge (poids volumique) : 15 kN/m³
Direction : Vertical

Coordonnées

	X	Y
	0 m	18.961 m
	0 m	22 m
	9 m	22 m
	9.038 m	18.961 m
	9.038 m	22 m

Résultats du glissement

Surfaces de glissement analysées : 242 of 405 convergé

Surface de glissement actuelle

Surface de glissement : 228
Facteur de sécurité : 1.250
Volume : 132.54943 m³
Poids : 2,650.274 kN
Moment de résistance : 65,695.5 kN·m
Moment d'activation : 52,543.751 kN·m
Niveau du coef de sécurité (analyse) : 1 de surfaces de glissement 405
Sortie : (34.379489, 3.482) m
Entrée : (5.6642184, 18.961) m
Rayon : 29.756286 m
Centre : (31.831096, 33.12896) m

ANNEXE VII

Les paramètres pour le calcul de coefficient de ruissellement selon la méthode de KENESSY

Coefficient C1 :

Pente	**C1**		
≤ 3,5 %	0,01	0,03	0,05
Entre 3,5 et 11 %	0,06	0,08	0,10
Entre 11 et 35 %	0,12	0,16	0,20
> à 35 %	0,22	0,26	0,30

Coefficient C2 :

Nature du sol	**C2**		
Imperméable	0,22	0,26	0,30
Peu perméable	0,10	0,15	0,20
Perméable	0,06	0,08	0,10
Très perméable	0,03	0,04	0,05

Coefficient C3 :

Couverture végétale	**C3**		
Rocheux	0,22	0,26	0,30
Prairie	0,17	0,21	0,25
Labours champs	0,07	0,11	0,15
Forêt et territoire sableux	0,03	0,04	0,05

ANNEXE VIII

Cut/Fill Report

Generated: 2024-06-14 18:36:51

By user: GOUASMIA Med

Drawing: C:\Users\GOUASMIA Med\Desktop\Bureau 2024-06-12\C:\Users\GOUASMIA Med\Desktop\Bureau 2024-06-12\PFE Dessin V 31$.dwg

Volume Summary					
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	Cut (M³)	Fill (M³)
Remblaideblai Voie	full	1.000	1.000	1053249.28	818425.69
Remblaideblai Gare	full	1.000	1.000	121033.47	12229.70

Totals		
	Cut (M³)	Fill (M³)
Total	5483483.79	5826178.70

* Value adjusted by cut or fill factor other than 1.0

ANNEXE IX

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
0,0589	0,545	0,164	0,1168	0,669	0,230	0,1747	0,749	0,282	0,2326	0,813	0,328	0,2905	0,865	0,369	0,3485	0,910	0,407
Rq	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**	**Rq**	**Rv**	**Rh**
0,3495	0,911	0,408	0,4074	0,949	0,444	0,4653	0,981	0,479	0,5233	1,010	0,514	0,5812	1,036	0,548	0,6391	1,059	0,581
0,3506	0,911	0,409	0,4085	0,949	0,445	0,4664	0,982	0,480	0,5243	1,011	0,514	0,5822	1,037	0,548	0,6402	1,059	0,582
0,3517	0,912	0,409	0,4096	0,950	0,445	0,4675	0,982	0,481	0,5254	1,011	0,515	0,5833	1,037	0,549	0,6412	1,059	0,583
0,3527	0,913	0,410	0,4107	0,951	0,446	0,4686	0,983	0,481	0,5265	1,012	0,516	0,5844	1,038	0,549	0,6423	1,060	0,583
0,3538	0,913	0,411	0,4117	0,952	0,447	0,4696	0,984	0,482	0,5275	1,012	0,516	0,5855	1,038	0,550	0,6434	1,060	0,584
0,3549	0,914	0,411	0,4128	0,952	0,447	0,4707	0,984	0,482	0,5286	1,013	0,517	0,5865	1,038	0,551	0,6444	1,061	0,584
0,3560	0,915	0,412	0,4139	0,953	0,448	0,4718	0,985	0,483	0,5297	1,013	0,518	0,5876	1,039	0,551	0,6455	1,061	0,585
0,3570	0,916	0,413	0,4149	0,954	0,449	0,4729	0,985	0,484	0,5308	1,014	0,518	0,5887	1,039	0,552	0,6466	1,062	0,586
0,3581	0,916	0,413	0,4160	0,954	0,449	0,4739	0,986	0,484	0,5318	1,014	0,519	0,5897	1,040	0,553	0,6477	1,062	0,586
0,3592	0,917	0,414	0,4171	0,955	0,450	0,4750	0,987	0,485	0,5329	1,015	0,519	0,5908	1,040	0,553	0,6487	1,062	0,587
0,3603	0,918	0,415	0,4182	0,956	0,451	0,4761	0,987	0,486	0,5340	1,015	0,520	0,5919	1,041	0,554	0,6498	1,063	0,588
0,3613	0,918	0,415	0,4192	0,956	0,451	0,4771	0,988	0,486	0,5351	1,016	0,521	0,5930	1,041	0,554	0,6509	1,063	0,588
0,3624	0,919	0,416	0,4203	0,957	0,452	0,4782	0,988	0,487	0,5361	1,016	0,521	0,5940	1,041	0,555	0,6519	1,064	0,589
0,3635	0,920	0,417	0,4214	0,957	0,453	0,4793	0,989	0,488	0,5372	1,017	0,522	0,5951	1,042	0,556	0,6530	1,064	0,589
0,3645	0,921	0,417	0,4225	0,958	0,453	0,4804	0,989	0,488	0,5383	1,017	0,523	0,5962	1,042	0,556	0,6541	1,064	0,590
0,3656	0,921	0,418	0,4235	0,959	0,454	0,4814	0,990	0,489	0,5393	1,018	0,523	0,5973	1,043	0,557	0,6552	1,065	0,591
0,3667	0,922	0,419	0,4246	0,959	0,455	0,4825	0,991	0,490	0,5404	1,018	0,524	0,5983	1,043	0,558	0,6562	1,065	0,591
0,3678	0,923	0,419	0,4257	0,960	0,455	0,4836	0,991	0,490	0,5415	1,019	0,524	0,5994	1,043	0,558	0,6573	1,066	0,592
0,3688	0,923	0,420	0,4267	0,960	0,456	0,4847	0,992	0,491	0,5426	1,019	0,525	0,6005	1,044	0,559	0,6584	1,066	0,592
0,3699	0,924	0,421	0,4278	0,961	0,457	0,4857	0,992	0,492	0,5436	1,020	0,526	0,6015	1,044	0,559	0,6595	1,066	0,593
0,3710	0,925	0,421	0,4289	0,962	0,457	0,4868	0,993	0,492	0,5447	1,020	0,526	0,6026	1,045	0,560	0,6605	1,067	0,594
0,3721	0,925	0,422	0,4300	0,962	0,458	0,4879	0,994	0,493	0,5458	1,020	0,527	0,6037	1,045	0,561	0,6616	1,067	0,594
0,3731	0,926	0,423	0,4310	0,963	0,459	0,4889	0,994	0,494	0,5469	1,021	0,528	0,6048	1,045	0,561	0,6627	1,068	0,595
0,3742	0,927	0,423	0,4321	0,963	0,459	0,4900	0,995	0,494	0,5479	1,021	0,528	0,6058	1,046	0,562	0,6637	1,068	0,596
0,3753	0,928	0,424	0,4332	0,964	0,460	0,4911	0,995	0,495	0,5490	1,022	0,529	0,6069	1,046	0,563	0,6648	1,069	0,596
0,3763	0,928	0,425	0,4342	0,964	0,460	0,4922	0,996	0,495	0,5501	1,022	0,529	0,6080	1,047	0,563	0,6659	1,069	0,597
0,3774	0,929	0,425	0,4353	0,965	0,461	0,4932	0,996	0,496	0,5511	1,023	0,530	0,6091	1,047	0,564	0,6670	1,069	0,597
0,3785	0,930	0,426	0,4364	0,966	0,462	0,4943	0,997	0,497	0,5522	1,023	0,531	0,6101	1,048	0,564	0,6680	1,070	0,598
0,3796	0,930	0,427	0,4375	0,966	0,462	0,4954	0,998	0,497	0,5533	1,024	0,531	0,6112	1,048	0,565	0,6691	1,070	0,599
0,3806	0,931	0,427	0,4385	0,967	0,463	0,4964	0,998	0,498	0,5544	1,024	0,532	0,6123	1,048	0,566	0,6702	1,071	0,599
0,3817	0,932	0,428	0,4396	0,967	0,464	0,4975	0,999	0,499	0,5554	1,025	0,533	0,6133	1,049	0,566	0,6713	1,071	0,600
0,3828	0,933	0,429	0,4407	0,968	0,464	0,4986	0,999	0,499	0,5565	1,025	0,533	0,6144	1,049	0,567	0,6723	1,071	0,601
0,3838	0,933	0,429	0,4418	0,969	0,465	0,4997	1,000	0,500	0,5576	1,026	0,534	0,6155	1,050	0,568	0,6734	1,072	0,601
0,3849	0,934	0,430	0,4428	0,969	0,466	0,5007	1,000	0,501	0,5586	1,026	0,534	0,6166	1,050	0,568	0,6745	1,072	0,602

0,3860	0,935	0,431	0,4439	0,970	0,466	0,5018	1,001	0,501	0,5597	1,027	0,535	0,6176	1,050	0,569	0,6755	1,072	0,603
0,3871	0,935	0,431	0,4450	0,970	0,467	0,5029	1,001	0,502	0,5608	1,027	0,536	0,6187	1,051	0,569	0,6766	1,073	0,603
0,3881	0,936	0,432	0,4460	0,971	0,468	0,5040	1,002	0,502	0,5619	1,028	0,536	0,6198	1,051	0,570	0,6777	1,073	0,604
0,3892	0,937	0,433	0,4471	0,971	0,468	0,5050	1,002	0,503	0,5629	1,028	0,537	0,6208	1,052	0,571	0,6788	1,073	0,604
0,3903	0,937	0,433	0,4482	0,972	0,469	0,5061	1,003	0,504	0,5640	1,029	0,538	0,6219	1,052	0,571	0,6798	1,074	0,605
0,3914	0,938	0,434	0,4493	0,973	0,470	0,5072	1,003	0,504	0,5651	1,029	0,538	0,6230	1,052	0,572	0,6809	1,074	0,606
0,3924	0,939	0,435	0,4503	0,973	0,470	0,5082	1,004	0,505	0,5662	1,030	0,539	0,6241	1,053	0,573	0,6820	1,075	0,606
0,3935	0,940	0,435	0,4514	0,974	0,471	0,5093	1,004	0,506	0,5672	1,030	0,539	0,6251	1,053	0,573	0,6830	1,075	0,607
0,3946	0,940	0,436	0,4525	0,974	0,471	0,5104	1,005	0,506	0,5683	1,030	0,540	0,6262	1,054	0,574	0,6841	1,075	0,608
0,3956	0,941	0,437	0,4536	0,975	0,472	0,5115	1,005	0,507	0,5694	1,031	0,541	0,6273	1,054	0,574	0,6852	1,076	0,608
0,3967	0,942	0,437	0,4546	0,976	0,473	0,5125	1,006	0,507	0,5704	1,031	0,541	0,6284	1,055	0,575	0,6863	1,076	0,609
0,3978	0,942	0,438	0,4557	0,976	0,473	0,5136	1,006	0,508	0,5715	1,032	0,542	0,6294	1,055	0,576	0,6873	1,076	0,610
0,3989	0,943	0,439	0,4568	0,977	0,474	0,5147	1,007	0,509	0,5726	1,032	0,543	0,6305	1,055	0,576	0,6884	1,077	0,610
0,3999	0,944	0,439	0,4578	0,977	0,475	0,5158	1,007	0,509	0,5737	1,033	0,543	0,6316	1,056	0,577	0,6895	1,077	0,611
0,4010	0,945	0,440	0,4589	0,978	0,475	0,5168	1,008	0,510	0,5747	1,033	0,544	0,6326	1,056	0,578	0,6906	1,077	0,612
0,4021	0,945	0,441	0,4600	0,978	0,476	0,5179	1,008	0,511	0,5758	1,034	0,544	0,6337	1,057	0,578	0,6916	1,078	0,612
0,4032	0,946	0,441	0,4611	0,979	0,477	0,5190	1,009	0,511	0,5769	1,034	0,545	0,6348	1,057	0,579	0,6927	1,078	0,613
0,4042	0,947	0,442	0,4621	0,980	0,477	0,5200	1,009	0,512	0,5780	1,035	0,546	0,6359	1,057	0,579	0,6938	1,079	0,613
0,4053	0,947	0,443	0,4632	0,980	0,478	0,5211	1,010	0,513	0,5790	1,035	0,546	0,6369	1,058	0,580	0,6948	1,079	0,614
0,4064	0,948	0,443	0,4643	0,981	0,479	0,5222	1,010	0,513	0,5801	1,036	0,547	0,6380	1,058	0,581	0,6959	1,079	0,615

Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh	Rq	Rv	Rh
0,697	1,080	0,615	0,755	1,099	0,650	0,813	1,114	0,685	0,871	1,126	0,723	0,929	1,135	0,763	0,987	1,139	0,810	1,044	1,133	0,869
0,698	1,080	0,616	0,756	1,099	0,651	0,814	1,115	0,685	0,872	1,126	0,723	0,930	1,135	0,764	0,988	1,139	0,811	1,046	1,133	0,870
0,699	1,080	0,617	0,757	1,100	0,651	0,815	1,115	0,686	0,873	1,126	0,724	0,931	1,136	0,764	0,989	1,139	0,812	1,047	1,132	0,872
0,700	1,081	0,617	0,758	1,100	0,652	0,816	1,115	0,687	0,874	1,126	0,725	0,932	1,136	0,765	0,990	1,139	0,813	1,048	1,132	0,873
0,701	1,081	0,618	0,759	1,100	0,653	0,817	1,115	0,687	0,875	1,126	0,726	0,933	1,136	0,766	0,991	1,139	0,813	1,049	1,131	0,875
0,702	1,081	0,619	0,760	1,100	0,653	0,818	1,116	0,688	0,876	1,126	0,726	0,934	1,136	0,767	0,992	1,139	0,814	1,050	1,131	0,876
0,703	1,082	0,619	0,761	1,101	0,654	0,819	1,116	0,689	0,877	1,126	0,727	0,935	1,137	0,767	0,993	1,139	0,815	1,051	1,130	0,878
0,705	1,082	0,620	0,762	1,101	0,654	0,820	1,116	0,689	0,878	1,127	0,728	0,936	1,137	0,768	0,994	1,139	0,816	1,052	1,130	0,879
0,706	1,082	0,620	0,764	1,101	0,655	0,821	1,117	0,690	0,879	1,127	0,729	0,937	1,137	0,769	0,995	1,139	0,817	1,053	1,129	0,881
0,707	1,083	0,621	0,765	1,102	0,656	0,823	1,117	0,691	0,880	1,127	0,729	0,938	1,137	0,770	0,996	1,139	0,818	1,054	1,129	0,883
0,708	1,083	0,622	0,766	1,102	0,656	0,824	1,117	0,691	0,881	1,127	0,730	0,939	1,138	0,770	0,997	1,139	0,819	1,055	1,128	0,884
0,709	1,084	0,622	0,767	1,102	0,657	0,825	1,117	0,692	0,883	1,127	0,731	0,940	1,138	0,771	0,998	1,139	0,820	1,056	1,128	0,886
0,710	1,084	0,623	0,768	1,102	0,658	0,826	1,118	0,693	0,884	1,127	0,732	0,942	1,138	0,772	0,999	1,139	0,821	1,057	1,127	0,888
0,711	1,084	0,624	0,769	1,103	0,658	0,827	1,118	0,693	0,885	1,127	0,732	0,943	1,138	0,773	1,001	1,139	0,822	1,058	1,127	0,889
0,712	1,085	0,624	0,770	1,103	0,659	0,828	1,118	0,694	0,886	1,128	0,733	0,944	1,138	0,773	1,002	1,139	0,823	1,060	1,127	0,891
0,713	1,085	0,625	0,771	1,103	0,660	0,829	1,119	0,695	0,887	1,128	0,734	0,945	1,139	0,774	1,003	1,139	0,824	1,061	1,126	0,893
0,714	1,085	0,626	0,772	1,104	0,660	0,830	1,119	0,695	0,888	1,128	0,735	0,946	1,139	0,775	1,004	1,139	0,825	1,062	1,126	0,894
0,715	1,086	0,626	0,773	1,104	0,661	0,831	1,119	0,696	0,889	1,128	0,735	0,947	1,139	0,776	1,005	1,139	0,826	1,063	1,125	0,896
0,716	1,086	0,627	0,774	1,104	0,662	0,832	1,119	0,696	0,890	1,128	0,736	0,948	1,139	0,777	1,006	1,139	0,827	1,064	1,125	0,897
0,717	1,086	0,628	0,775	1,104	0,662	0,833	1,120	0,697	0,891	1,128	0,737	0,949	1,139	0,777	1,007	1,139	0,828	1,065	1,124	0,899
0,718	1,087	0,628	0,776	1,105	0,663	0,834	1,120	0,698	0,892	1,129	0,738	0,950	1,139	0,778	1,008	1,139	0,829	1,066	1,123	0,902
0,720	1,087	0,629	0,777	1,105	0,664	0,835	1,120	0,698	0,893	1,129	0,738	0,951	1,139	0,779	1,009	1,139	0,830	1,067	1,121	0,905
0,721	1,087	0,629	0,779	1,105	0,664	0,836	1,121	0,699	0,894	1,129	0,739	0,952	1,139	0,780	1,010	1,139	0,831	1,068	1,119	0,909
0,722	1,088	0,630	0,780	1,106	0,665	0,838	1,121	0,700	0,895	1,129	0,740	0,953	1,139	0,781	1,011	1,139	0,832	1,069	1,117	0,913
0,723	1,088	0,631	0,781	1,106	0,665	0,839	1,121	0,700	0,897	1,129	0,741	0,954	1,139	0,782	1,012	1,139	0,833	1,070	1,116	0,916
0,724	1,089	0,631	0,782	1,106	0,666	0,840	1,121	0,701	0,898	1,129	0,741	0,955	1,139	0,783	1,013	1,139	0,834	1,071	1,114	0,920
0,725	1,089	0,632	0,783	1,106	0,667	0,841	1,121	0,702	0,899	1,129	0,742	0,957	1,139	0,784	1,014	1,139	0,835			

0,726	1,089	0,633	0,784	1,107	0,667	0,842	1,122	0,703	0,900	1,130	0,743	0,958	1,139	0,785	1,016	1,139	0,836
0,727	1,090	0,633	0,785	1,107	0,668	0,843	1,122	0,703	0,901	1,130	0,744	0,959	1,139	0,786	1,017	1,139	0,837
0,728	1,090	0,634	0,786	1,107	0,669	0,844	1,122	0,704	0,902	1,130	0,744	0,960	1,139	0,787	1,018	1,139	0,838
0,729	1,090	0,635	0,787	1,108	0,669	0,845	1,122	0,705	0,903	1,130	0,745	0,961	1,139	0,788	1,019	1,139	0,839
0,730	1,091	0,635	0,788	1,108	0,670	0,846	1,122	0,706	0,904	1,130	0,746	0,962	1,139	0,789	1,020	1,139	0,840
0,731	1,091	0,636	0,789	1,108	0,671	0,847	1,122	0,706	0,905	1,130	0,747	0,963	1,139	0,789	1,021	1,139	0,841
0,732	1,091	0,636	0,790	1,108	0,671	0,848	1,122	0,707	0,906	1,130	0,747	0,964	1,139	0,790	1,022	1,139	0,842
0,733	1,092	0,637	0,791	1,109	0,672	0,849	1,123	0,708	0,907	1,131	0,748	0,965	1,139	0,791	1,023	1,139	0,843
0,735	1,092	0,638	0,792	1,109	0,673	0,850	1,123	0,709	0,908	1,131	0,749	0,966	1,139	0,792	1,024	1,139	0,844
0,736	1,093	0,638	0,794	1,109	0,673	0,851	1,123	0,709	0,909	1,131	0,750	0,967	1,139	0,793	1,025	1,139	0,845
0,737	1,093	0,639	0,795	1,109	0,674	0,853	1,123	0,710	0,910	1,131	0,750	0,968	1,139	0,794	1,026	1,139	0,846
0,738	1,093	0,640	0,796	1,110	0,674	0,854	1,123	0,711	0,912	1,131	0,751	0,969	1,139	0,795	1,027	1,139	0,847
0,739	1,094	0,640	0,797	1,110	0,675	0,855	1,123	0,712	0,913	1,132	0,752	0,970	1,139	0,796	1,028	1,139	0,848
0,740	1,094	0,641	0,798	1,110	0,676	0,856	1,123	0,712	0,914	1,132	0,753	0,972	1,139	0,797	1,029	1,139	0,849
0,741	1,094	0,642	0,799	1,111	0,676	0,857	1,124	0,713	0,915	1,132	0,753	0,973	1,139	0,798	1,031	1,139	0,850
0,742	1,095	0,642	0,800	1,111	0,677	0,858	1,124	0,714	0,916	1,132	0,754	0,974	1,139	0,799	1,032	1,139	0,851
0,743	1,095	0,643	0,801	1,111	0,678	0,859	1,124	0,715	0,917	1,133	0,755	0,975	1,139	0,800	1,033	1,138	0,853
0,744	1,095	0,644	0,802	1,111	0,678	0,860	1,124	0,715	0,918	1,133	0,756	0,976	1,139	0,800	1,034	1,138	0,854
0,745	1,096	0,644	0,803	1,112	0,679	0,861	1,124	0,716	0,919	1,133	0,756	0,977	1,139	0,801	1,035	1,137	0,856
0,746	1,096	0,645	0,804	1,112	0,680	0,862	1,124	0,717	0,920	1,133	0,757	0,978	1,139	0,802	1,036	1,137	0,857
0,747	1,096	0,645	0,805	1,112	0,680	0,863	1,125	0,718	0,921	1,133	0,758	0,979	1,139	0,803	1,037	1,136	0,859
0,749	1,097	0,646	0,806	1,113	0,681	0,864	1,125	0,718	0,922	1,134	0,758	0,980	1,139	0,804	1,038	1,136	0,860
0,750	1,097	0,647	0,807	1,113	0,682	0,865	1,125	0,719	0,923	1,134	0,759	0,981	1,139	0,805	1,039	1,135	0,862
0,751	1,098	0,647	0,809	1,113	0,682	0,866	1,125	0,720	0,924	1,134	0,760	0,982	1,139	0,806	1,040	1,135	0,863
0,752	1,098	0,648	0,810	1,113	0,683	0,868	1,125	0,721	0,925	1,134	0,761	0,983	1,139	0,807	1,041	1,134	0,864
0,753	1,098	0,649	0,811	1,114	0,684	0,869	1,125	0,721	0,927	1,135	0,761	0,984	1,139	0,808	1,042	1,134	0,866
0,754	1,099	0,649	0,812	1,114	0,684	0,870	1,125	0,722	0,928	1,135	0,762	0,986	1,139	0,809	1,043	1,133	0,867

Bibliographie :

Cours :

- Cours de voie ferre ENSTP (Mr : MORSLI)
- Cours d'hydraulique ENSTP (Mr : RAHMANI. D)
- Cours de GTR de ENSTP (Mme : DERRICHE. Z)

Logiciels utilisés :

- CIVIL 3D 2023.
- GeoStudio 2018 R2.
- EXCEL 2023.
- GOOGLE Earth Pro.

Document :

- REGLES PARASISMIQUES APPLICABLES AU DOMAINE DES OUVRAGES D'ART RPOA 2008.
- Stability modeling with GEOSTUDIO (by GEO-SLOPE 2021)
- STABILITE DES TALUS (Barrages en terre) (Université Tiaret 2011).
- Guide technique Assainissement routier SETRA 2006.
- L 'Étude hydraulique Hatem maati 2010.
- Livre 'Mieux comprendre la voie ferrée' SBB CFF FFS 2015.
- RAPPORT TECHNIQUE Nº C.1 GEOTECHNIQUE de projet (2012-2019).
- UIC 719R 2e Edition.
- DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES D'ASSISE pour la construction et la réfection des voies ferrées (IN260).
- ADV SNTF.
- Guide de terrasement routier GTR.
- Traverses en Béton Norme SNCF.
- IN 0272 (EF 2 C 32) Référentiel Infrastructure Procédure SNCF.
- IN-00230 Implantation des ADV.
- Chap 7.2.3 hydro annexe 2&3 SNTF.
- Chap 7.2.2 Ouvrages en terre annexe 1-27 SNTF.
- Chap 6 Géometrie V2 SNTF.
- Guide technique de SONELGAZ.
- Cours de chemin de fer (A. NEHAOUA).
- Livre TOME I.