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

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Étude en APD de la nouvelle ligne minière BECHAR/TINDOUF(GARA-DJEBILET) du PK0+000 au PK12+750 avec conception d'une gare de bifurcation

Présenté par :
BOUDOUDA Safwane
LOUADJ Riadh

Encadré par :
Ing.KHELIFI Ayoub
Pr.CHIALI Soumya

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba

REMERCIEMENT

Au premier lieu, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu, qui nous a accordé le courage et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons remercier chaleureusement tous ceux qui nous ont soutenus dans l'élaboration de ce projet. En particulier, nous exprimons notre reconnaissance à notre frère et à notre encadreur, M. KHELIFI Ayoub, pour sa disponibilité constante, son aide précieuse et ses orientations tout au long de ce projet.

Nous remercions également de tout cœur nos frères, M. OURANADER Abderraouf et M. GANA Walid, pour leurs remarques pertinentes, leurs encouragements et leur soutien inconditionnel tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont aussi au groupe Cosider T152 et Cosider T154 pour leur soutien et leurs observations durant toute la période de notre stage.

Nous tenons à adresser un grand merci à M. MORSLI ainsi qu'à tout le personnel de l'ENSTP pour leurs précieux conseils et leurs efforts, en particulier Mme Bourebia, Mme Makoudi et Mme Boumehraz.

Enfin, nos vifs remerciements s'adressent aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche, en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicace

À mes chers parents,

Pour leurs sacrifices, leur disponibilité et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire. Votre amour, vos conseils et votre encouragement constant ont été des piliers fondamentaux de ma réussite. Vous avez toujours cru en moi, même dans les moments les plus difficiles, et c'est grâce à votre dévouement et à vos sacrifices que j'ai pu réaliser mes rêves. Je vous suis profondément reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mes frères Maamer, Ahmed, Abdelkader, Aissa, et Ramzi, et à ma chère sœur Khaira

Pour leur appui constant et leurs encouragements.

À toute ma famille,

Pour leur présence et leur amour.

À mes meilleurs amis.

Abdeldjalil, Moncef, Abderaouf, Ayoub, Sofiane, Aymen, Imad, Anis, Sohieb, Amine, Khalil, Lotfi, Zino, Wassime, Ahmed, Salah, Othman, Yassine, Samir, Younes, Dhia, Hakim, Safwane, Mohamed et Moumen,

Pour leur amitié et leur soutien précieux.

À l’ensemble des étudiants de ma promotion,

Pour leur camaraderie et leur esprit de solidarité.

LOUADJ Riadh

DEDICACE

Au nom d'ALLAH, le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux Je remercie ALLAH Tout-Puissant de m'avoir aidé à faire ce travail humble,

Je dédie ce modeste mémoire à ceux qui ont beaucoup sacrifié de leur temps pour mon bonheur et ma réussite.

À mes chers parents **Ahmed** et **Souad**,

Pour leurs sacrifices, leur disponibilité et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours universitaire. Votre amour, vos conseils et votre encouragement constant ont été des piliers fondamentaux de ma réussite. Vous avez toujours cru en moi, même dans les moments les plus difficiles, et c'est grâce à votre dévouement et à vos sacrifices que j'ai pu réaliser mes rêves. Je vous suis profondément reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mon frère **Marwane** et mes sœurs **Safwa** et **Marwa**

Pour leur appui constant et leurs encouragements.

À toute ma famille et mes meilleurs amis,

Pour leur présence et leur amour.

Et tout le personnel de **COSIDER T154** spécialement **OURANADER abd Raouf**

À l'ensemble des étudiants de ma promotion,

Pour leur camaraderie et leur esprit de solidarité.

BOUDOUDA Safwane

Sommaire

Sommaire

I. Présentation du projet : **1**
I.1 Introduction : 1
I.2 Présentation du site : 2
I.2.1 Relief : 2
I.2.2 Climat : 3
I.2.3 Sismicité : 3
I.3 Description de projet : 3
I.4 Caractéristique de notre projet : 4
II. Superstructure de la voie : **5**
II.1 Introduction : 5
II.2 L'armement de la voie : 5
II.2.1 Les rails : 5
II.2.2 Les travers : 8
II.2.3 Les attaches : 9
II.2.4 L'appareil de voie : 10
II.3 Conclusion : 11
III. Tracé en plan **12**
III.1 Introduction : 12
III.2 Condition a respecté du tracé en plan : 12
III.3 Les éléments de tracé en plan : 12
III.3.1 L'alignement : 13
III.3.2 Arc de cercle : 13
III.3.3 Courbe de raccordement : 16
III.4 Les doucines : 19
III.5 Longueur minimale des éléments de tracé : 19
III.6 Application au projet 20
III.7 Conclusion : 22
IV. Profil en long : **23**
IV.1 Introduction : 23
IV.2 Définition : 23

Sommaire

IV.3 Elément géométrique du profil en long : 23
IV.4 Déclivité maximale : 23
IV.5 Choix des alignements droits : 24
IV.6 Choix des cercles : 24
IV.7 Application au notre projet : 25
IV.8 Conclusion : 25
V. Etude hydrologique et hydraulique : 26
V.1 Introduction : 26
V.2 Etude hydrologique : 26
V.2.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants : 27
V.2.2 Temps de concentration : 27
V.2.3 Caractéristiques climatiques et pluviométriques : 29
V.2.4 Calcul de l'intensité de pluie : 31
V.2.5 Calcul du débit maximal dans les bassins : 31
V.3 Calcule hydraulique : 36
V.3.1 Dimensionnement des ouvrages transversale : 36
V.3.2 Dimensionnement des ouvrages longitudinale : 40
V.4 Conclusion : 43
VI. Etude géotechnique et géologique 44
VI.1 Introduction : 44
VI.2 Etude géologique : 44
VI.2.1 Introduction : 44
VI.2.2 Situation géographique du site : 44
VI.2.3 Géologie locale : 45
VI.2.4 Risque géologique : 46
VI.3 Étude géotechnique : 46
VI.3.1 Introduction : 46
VI.3.2 Programme d'investigation géotechnique : 47
VI.3.3 Essais in situ : 48
VI.3.4 Etude de la piézométrie : 50
VI.3.5 Essai au Laboratoire : 51
VI.4 Utilisation des matériaux pour le remblai : 54

Sommaire

VI.4.1 Matériaux de déblai : 54
VI.4.2 Matériaux de Gîtes d'emprunts et carrières : 54
VI.5 Conclusion : 54
VII. Assise ferroviaire **55**
VII.1 Introduction : 55
VII.2 Couches d'assise : 55
VII.2.1 Le ballast : 55
VII.2.2 Sous-couche 56
VII.2.3 Plate-forme 57
VII.3 Application au projet : 59
VII.4 Conclusion : 60
VIII. Profile en travers 61
VIII.1 Introduction : 61
VIII.2 Les éléments du profil en travers 61
VIII.3 Profile en travers type de mon projet : 62
IX. Terrassement et contrainte **64**
IX.1 Terrassement : 64
IX.1.1 Définition : 64
IX.1.2 Stabilité de talus : 64
IX.1.3 Calcule des cubatures : 66
IX.2 Les contraintes : 67
IX.2.1 Introduction : 67
IX.2.2 Les contraintes des réseaux de services : 67
IX.2.3 Les Ouvrages d'art : 68
X. Conception de la gare de bifurcation : **69**
X.1 Introduction : 69
X.2 La gare de bifurcation : 69
X.2.1 Définition : 69
X.2.2 Description général : 70
X.2.3 Aménagement de la gare : 70
X.3 Caractéristique géométrique des gares : 72
X.4 Application au projet : 74

Sommaire

X.5 Assainissement dans les gares : 75
X.5.1 Assainissement transversale : 75
X.5.2 Assainissement longitudinal : 75
XI. Signalisation Ferroviaire **76**
XI.1 Introduction 76
XI.2 Les Risques des Circulations Ferroviaires : 76
XI.3 Principe de signalisation ferroviaire : 76
XI.4 Implantation des signaux en Algérie : 77
XI.5 Les différents types de blocs : 77
XI.5.1 Block Manuel (B.M) : 77
XI.5.2 Block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) : 77
XI.5.3 Block automatique lumineux (B.A.L) : 77
XI.6 Système de Cantonnement (systèmes d'espacement des trains) : 77
XI.7 Définition du système ERTMS : 80
XI.7.1 Les fonctions D'ERTMS : 81
XI.8 Conclusion : 81
XII. Recherche bibliographique **82**
XII.1 Introduction 82
XII.1.1 Définition : 82
XII.2 Facteurs d'ensablement : 82
XII.2.1 Facteurs climatiques : 82
XII.2.2 Facteurs géomorphologiques : 83
XII.2.3 Facteurs anthropiques : 83
XII.3 Impact de l'ensablement sur les infrastructures de transports : 83
XII.3.1 Accumulation de sable sur les rails : 83
XII.3.2 Ensablement des aiguillages et des signaux : 84
XII.3.3 Erosion des talus et des remblais : 84
XII.3.4 Réduction de la visibilité : 84
XII.3.5 Coûts de maintenance accrus : 84
XII.4 Techniques de lutte contre l'ensablement : 85
XII.4.1 Végétalisation 85
XII.4.2 Haies naturelles 85

Sommaire

XII.4.3 Reprofilage des talus : 86
XII.4.4 Fossés piège à sable 87
XII.4.5 L'arasement des dunes : 88
XII.5 Conclusion : 88
XIII. Impact sur l'environnement 89
XIII.1 Introduction : 89
XIII.2 Les éléments environnementaux pris en compte : 89
XIII.2.1 Environnement biologique : 89
XIII.2.2 Environnement socioculturel : 89
XIII.3 Evaluation des impacts du projet sur l'environnement : 90
XIII.3.1 Impacts positifs : 90
XIII.3.2 Impacts negatifs : 90
XIII.4 Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts : 92
XIII.4.1 Mesures d'atténuation des impacts négatifs sur la population : 92
XIII.4.2 Mesures d'atténuation des impacts négatifs sur la faune et la flore : 92
XIII.4.3 Qualité de l'air : 93
XIII.4.4 Mesures d'atténuation des impacts du bruit : 93
XIII.5 Conclusion : 94
XIV. Devis estimatif et quantitatif 95

ملخص

تتضمن هذه المذكرة دراسة مفصلة لمقطع سكة حديدية من مشروع الخط المنجمي الرابط بين بشار وتندوف (غار جبيلات)، وتحديدًا من النقطة الكيلومترية 0+000 إلى النقطة الكيلومترية 12+750، بما في ذلك تصميم محطة تفرع. تم تنفيذ هذه الدراسة وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) وبناءً على توصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية(SNTF) ، باستخدام البرامج التالية:COVADIS 16.0d Géo 5.0، و.AutoCAD

ABSTRACT

This thesis is a detailed study of a section of railway track from the mine renewal project between Béchar and Tindouf, (Gara Djebilet), specifically from PK 0+000 to PK 12+750, including the design of the bifurcation station. This study was designed according to the standards of the International Union of Railways (UIC) and based on recommendations from the National Railway Transportation Company (SNTF), using the following software: COVADIS 16.0d, AutoCAD, and GeO 5.0.

RESUME

Le présent mémoire se concentre sur une étude avant-projet détaillée (APD) de la nouvelle ligne minière reliant Béchar à Tindouf (Gara Djebilet), en couvrant la section allant du PK 0+000 au PK 12+750, et en incluant la conception d'une gare de bifurcation. Cette étude a été réalisée conformément aux normes de l'Union internationale des chemins de fer (UIC) et basée sur les recommandations de la Société nationale des transports ferroviaires algérienne (SNTF). Les logiciels utilisés pour cette étude sont COVADIS 16.0d, AutoCAD, et Géo 5.0.

Liste des figures

Liste des figures

Figure I-1 : présentation de projet 1
Figure I-2 : Localisation de wilaya de Béchar 2
Figure I-3 : Présentation de l'axe du projet sur site par google Earth 3
Figure II-1 Les constituant de la section transversal de rail 6
Figure II-2 Profil rail du type UIC60E1 6
Figure II-3 : Travers Vax U31 9
Figure II-4 : Travers Monoblocs M450 9
Figure II-5 Attache type NABLA 9
Figure II-6 - Branchement à deux voies, et ses éléments constitutifs 10
Figure II-7 caractéristique des appareils de voie de notre projet 11
Figure III-1 élément géométrique de tracé en plan 13
Figure III-2 raccordement de dévers 15
Figure III-3 : Les éléments de tracé en plane 19
Figure V-1 : La délimitation des Bassin Versant dans la Carte 26
Figure V-2 : Température moyenne annuelle de la station de Béchar source ANRH 30
Figure V-3 : Dimensions d'une buse 37
Figure V-4 : notre fossé adoptés 42
Figure VI-1 : Zone d'étude sur carte géologique d'Algérie 1/500 000 45
Figure VI-2 : La carte des zones sismiques en Algérie 46
Figure VII-1 : Epaisseurs des composant de la structure d'assise 59
Figure IX-1: Vérification de la stabilité des déblais avec une pente de 2H/3V 65
Figure IX-2 : Vérification de la stabilité des remblais avec une pente de 2H/3V 66
Figure X-1: schéma illustratif de gare de BIFURCATION 70
Figure X-2 : la marge de glissement 70
Figure X-3 : Schéma de garage franc 71
Figure X-4 : Les heurtoirs de sécurités 72
Figure X-5 : La longueur utile d'une voie de stationnement 72
Figure X-6 Schéma illustratif 73
Figure X-7 : implantation des appareils de voie en alignement 74
Figure XI-1: Schéma illustratif de canton 77
Figure XI-2 : le système de contrôle des trains ERTMS. 81
Figure XII-1 : Risque associé à l'ensablement 82
Figure XII-2Accumulation des sables sur les rail 83
Figure XII-3 : Visibilité diminuée en raison de l'ensablement 84
Figure XII-4 : Disposition schématique de la plantation en quinconce 85
Figure XII-5 : Haie naturelle 86
Figure XII-6 : Profil type de reprofilage des talus de part et d'autre du tracé 87
Figure XII-7 : Coupe transversale du fossé piège à sable 87
Figure XII-8 : plan de détail de lutte contre l'ensablement 88
Figure XIII-1 : Arrosage des pistes de chantier. 93
Figure XIII-2 : Mur anti- bruit 94

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II-1 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 7
Tableau III-1 : Valeurs limites du dévers.....14
Tableau III-2: Les valeurs limites de l'Insuffisance du dévers.....15
Tableau III-3 : Les Valeurs limites de l'excès du dévers.....15
Tableau III-4 : Les valeurs de la courbure.....16
Tableau III-5 : Limitation de la courbure.....17
Tableau III-6 : Limite de la variation des dévers.....18
Tableau III-7: Limite de la variation de l'insuffisance de divers.....18
Tableau III-8: Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes.....19
Tableau III-9: Paramètres géométriques du tracé 20
Tableau III-10Récapitulatif des paramètres du tracer 22
Tableau IV-1 : Les déclivités par rapport les longueurs.....24
Tableau IV-2 : Les longueurs minimales des éléments de profil en long.....24
Tableau IV-3 : les valeurs de rayon minimal Selon la SNTF 24
Tableau IV-4 : Les valeur des paramètres de profil en long 25
Tableau V-1 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants.....27
Tableau V-2 : résultats de calcul des temps de concentration Tc 29
Tableau V-3 : Température moyenne annuelle (°c) de la station de la Béchar ANRH 29
Tableau V-4 : Pluies annuelles maximales fréquentielles : 30
Tableau V-5 : Pluies journaliers maximales fréquentielles (mm) 30
Tableau V-6 : variable de Gumbel.....33
Tableau V-7: Résultats de calcul des débits.....35
Tableau V-8: Listing des ouvrages de drainage transversal projetés 39
Tableau V-9 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai.....41
Tableau V-10 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de déblai. 42
Tableau V-11 : Dimensionnement du fossé proposé.....42
Tableau VI-2 : Programme d'investigation géotechnique. 47
Tableau VI-3 : résultats des puis de reconnaissance.....48
Tableau VI-4 : Résultats des sondages carottés sur la lithologie 49
Tableau VI-5 : Essai SPT 50
Tableau VI-1: Lectures piézométriques sur les sondages 50
Tableau VI-6 : Synthèse des résultats de laboratoire.....52
Tableau VI-7 : Résultats des analyses chimiques 53
Tableau VI-8 : Localisation de gites d'emprunts 54
Tableau VII-1: La classification de sol selon UIC 57
Tableau VII-2: Tableau la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34).....58
Tableau IX-1: Les paramètres géotechniques du notre sols cas déblai.....65
Tableau IX-2 : les résultats de calcul de stabilité de déblai 65
Tableau IX-3 : Les paramètres géotechniques du notre sols cas remblai 66
Tableau IX-4 : les résultats de calcul de stabilité de déblai 66
Tableau IX-5 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise et couche de forme 67
Tableau IX-6 : Récapitulatif des volumes de terrassement 67
Tableau IX-7: Tableau récapitulatif des contraintes des réseaux de service traversées par le tracé 68
Tableau IX-8 : les ouvrages d'art projetés sur notre tronçon 68
Tableau-X-1- Les branchements 74
Tableau XI-1 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication 78

Liste des symboles et abréviations

Symbole	Désignation	Unité
L_{min}	Longueur minimale des alignements et des pleines courbes	m
R_{min}	Rayon minimum de l'alignement circulaire	m
d_{th}	Dévers théorique	mm
d_p	Devers pratique	mm
d_{max}	Dévers maximum	mm
E	Excès de dévers	mm
I	Insuffisance de dévers	mm
$\frac{dd}{dt}$	Variation de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{\Delta I}{\Delta t}$	Variation de l'insuffisance de dévers en fonction du temps	mm/s
$\frac{dd}{dl}$	Variation de dévers en fonction de la longueur	mm/m
A	Paramètre de la clothoïde	m
C	Coefficient de dévers	-
a_v	Accélération centrifuge verticale	m/s^2
$R_{v\ min}$	Rayon vertical minimum	m
p	Déclivité Pente	-
GF	garage franc.	m
Lu	Longueur utile	m
W_P	Limite de plasticité	-
W_L	Limite de liquidité	-
I_P	Indice de plasticité	-
γ h	Poids volumique humide	t/m^3
γ d	Poids volumique sec	t/m^3
γ opt	Poids volumique optimum	t/m^3
Wn	Teneur en eau naturel	-
ω_{opt}	Teneur en eau optimum	-
ϕ	Angle de frottement	°
C	Cohésion du sol	Bars
Sr	Degré de saturation	-
Rc	Résistance à la compression	Bars
Caco3	Carbonate de calcium	-
So4	Sulfate	-
T	Période de retour	ans
tc	Temps de concentration	h
V	Vitesse d'écoulement	m/s
Sm	Section mouillée	m_2

Pm	Périmètre mouillé	m
R_h	Rayon Hydraulique	m
$P_{max, j}$	Pluies maximales journalières	mm
i	L'intensité de pluie	mm/h
I	La pente moyenne	m/m
Kc	L'indice de compacité de GRAVELIUS	-
K_{St}	Coefficient de rugosité	-
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Q	Débit de crue	m^3/s
Qps	Débit a plein section	m^3/s
Qa	**Débit d'apport**	m^3/s

Abréviation désignation

SNTF : Société Nationale des Chemins de Fer.

UIC : Union Internationale des Chemins de fer.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

RPOA : Règlement Parasismique Algérien des Ouvrages d'Art.

APD : Avant-Projet Détaillé.

FSR : Face supérieure de roulement.

ADV : Appareils de voie.

GF : Garage franc.

RN : Route nationale.

PST : Partie supérieure du terrassement.

GTR : Guide technique « Réalisation des remblais et desc ouches de forme ».

CBR : Essai de CBR.

BV : Bassin versant.

Introduction générale :

L'Algérie, pays vaste et diversifié, possède un réseau ferroviaire en expansion qui joue un rôle essentiel dans son développement économique et social. Principalement géré par la Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF), ce réseau s'étend sur plusieurs milliers de kilomètres, reliant les principales villes du pays. Bien que son développement initial ait été fortement influencé par l'époque coloniale française, depuis l'indépendance en 1962, l'Algérie a entrepris une vaste modernisation et extension de son infrastructure ferroviaire pour répondre aux besoins croissants de sa population et soutenir son économie en pleine expansion.

Un projet majeur de cette modernisation est la nouvelle ligne ferroviaire reliant Gara Djebilet à Béchar. Ce corridor stratégique est important pour l'économie algérienne car il facilite le transport du minerai de fer extrait du gisement de Gara Djebilet (Tindouf) vers Béchar, et par la suite vers le nord-ouest du pays pour son exploitation ou exportation. Cette infrastructure joue un rôle central dans l'exploitation optimale des vastes ressources minérales du pays, stimulant ainsi le développement économique régional et créant de nombreux emplois. En connectant des régions éloignées aux principaux centres économiques, cette ligne ferroviaire renforce l'intégration nationale et améliore l'utilisation des ressources naturelles, consolidant la position de l'Algérie sur le marché mondial des minerais.

Dans ce mémoire, nous nous penchons sur l'étude en APD de la nouvelle ligne minière reliant Béchar à Gara Djebilet, s'étendant du PK 0+000 au PK 12+750. Ce projet comprend également la conception d'une gare de bifurcation.

CHAPITRE I : Présentation du projet

I. Présentation du projet :

I.1 Introduction :

Le présent projet a pour objet la construction de la ligne minière ouest nouvelle à voie unique Tindouf (Gara -Djebilet) / Béchar, (Section 1 :PK 0+000 au PK 200+000).

La ligne GARA - DJEBILET (TINDOUF)-BECHAR prévue en voie unique électrifiée mixte d'un linéaire d'environ 950km, cette zone d'étude longée principalement par les routes nationales N° 6 et N°50, dessert les trois Wilayat : Béchar, Beni-Abbes et Tindouf ; la ligne ferroviaire se caractérise par une géométrie qui permet la possibilité d'offrir des vitesses pouvant atteindre 160 km/h pour les voyageurs et un trafic fret d'une vitesse de 70 km/h.

S'agissant d'une ligne ferroviaire lourde, le tonnage à l'essieu est de 32,5 Tonnes

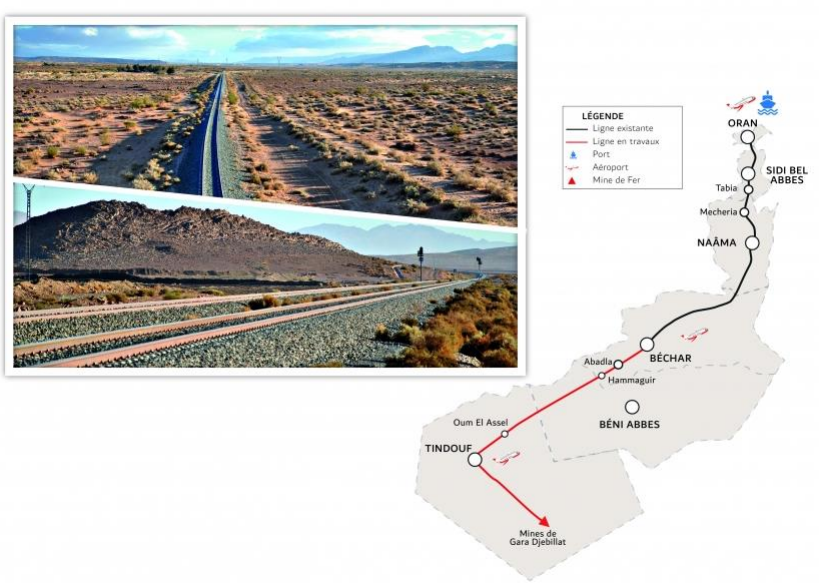


Figure I-1 : présentation de projet[1]

L'objectif de la réalisation de ce méga projet, est le transport à long terme de 50 millions de tonnes de minerai de fer par an vers la zone portuaire d'Oran.

Le projet structurant de la mine de Gara Djebilet représente un choix stratégique pour la diversification des ressources financières hors hydrocarbures.

[1] Ligne Minière Ouest (anesrif.dz)

En plus du développement socio-économique de la wilaya la création d'emploi, il contribuera, également, au développement de l'économie nationale à travers la production de la matière première, et ainsi, la réduction de la facture d'importation.

I.2 Présentation du site :

La wilaya de Béchar est une wilaya algérienne située dans l'ouest du Sahara algérien Elle est composée de 21 communes et 12 daïras avec une population de 270 061 habitants (2008) et une superficie de l'ordre de 168 711 km²



Figure I-2 : Localisation de wilaya de Béchar *2*

La wilaya de Béchar est limitée :

- Au nord par la wilaya de Naâma.
- À l'est par la wilaya d'El Bayadh.
- Au sud par les wilayas de Beni Abbes et de Timimoun.
- À l'ouest par le Maroc.

I.2.1 Relief :

Le relief de la wilaya de Béchar est divers et varié en effet cette région à la porte du Sahara est constituée de la chaîne de montagnes :

- Le Djebel Antar à 1 953 m.
- Le Djebel Grouz à 1 835 m.
- Le Djebel Béchar à 1 206 m.

[2] Wilaya de Béchar — Wikipédia (wikipedia.org)

I.2.2 Climat :

Le climat de la wilaya de Béchar est de type désertique continental qui se caractérise par un été très chaud (+45°C) et un hiver très froid (2°C à 3°C).

Les précipitations sont de faible niveau avec 60 mm/an. Les vents de sables sont très fréquents et violents pouvant atteindre la vitesse de 100 km/h.

I.2.3 Sismicité :

D'après le Règlement Parasismique Algérien (RPOA 2008), publié par le Centre de Génie Parasismique C.G.S, La wilaya de BECHAR est classée zone « 0 » ; c'est-à-dire zone à sismicité négligeable

I.3 Description de projet :

Le présent projet a pour objet l'étude d'avant-projet détaillé (APD) de la ligne de chemin de fer BECHAR–GARA DJEBILET. Le tronçon étudié de ce projet commence à partir du PK 0+000 jusqu'au PK 12+750, avec la conception d'une gare de bifurcation entre PK 9+750 et PK 12+750.

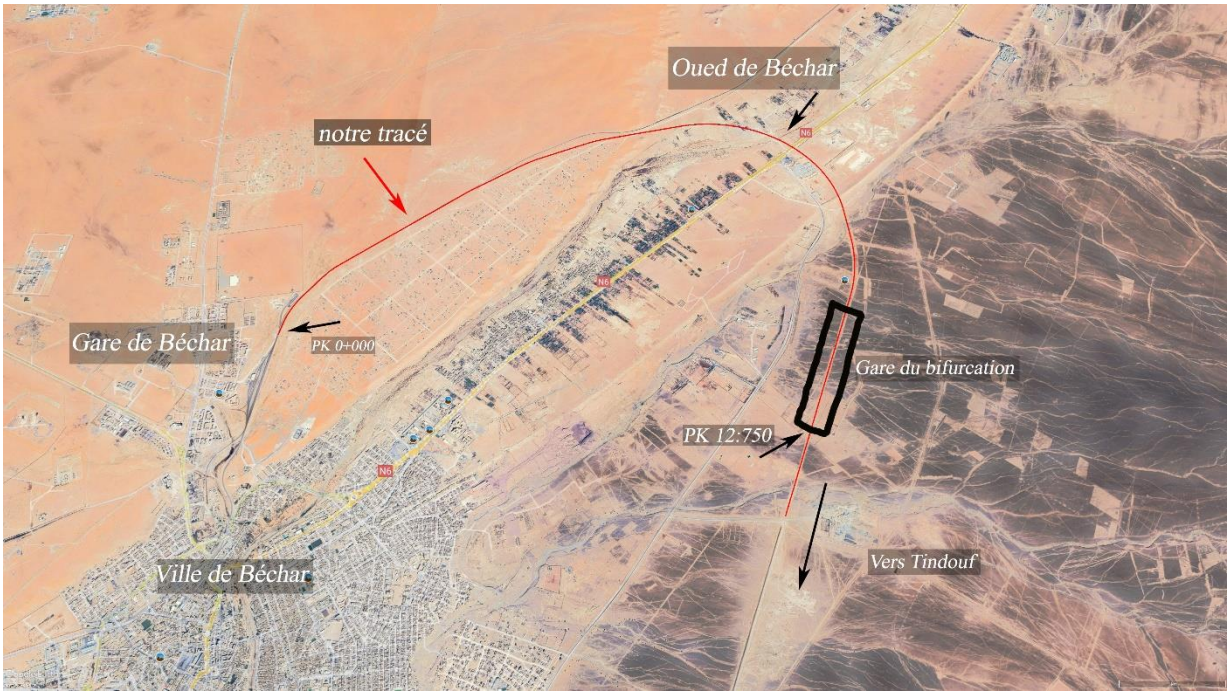


Figure I-3 : Présentation de l'axe du projet sur site par Google Earth

La ligne est destinée au transport de voyageurs sur la section initiale, du PK 0+000 au PK 9+750. Au-delà de la gare de bifurcation, elle devient mixte, c'est-à-dire qu'elle accueillera à la fois des voyageurs et des marchandises.

I.4 Caractéristique de notre projet :

Les caractéristiques générales de la ligne sont résumées :

- La ligne alterne entre des sections à voie unique et des sections à double voie
- Caractéristiques géométriques selon les normes **SNTF** et **UIC**.
- Logiciel a utilisé dans l'étude est : **Covadis 16.0d**
- Mode de traction prévue : Diesel, avec prévision d'une électrification future.
- Longueur :12.750 km.
- Type des rails : rails UIC 60 E1
- Type de travers :
- Bi-bloc de type B440 NP (VAX U31)
- Mono bloc de type M450 NP
- Écartement de la voie (standard) : 1435mm.
- Charges à l'essieu : 22.5 t – ouvrages d'art 25 t
- Charges à l'essieu dans la gare : 32.5 t.
- Distance axe voie – axe caténaire : 3.15m.
- Pente latérale plateforme : **4%.**
- Vitesse de tracé : $\boldsymbol{V_v}$ **=160 km/h –** $\boldsymbol{V_m}$ **=70km/h.**
- La ligne est mixte voyageurs/marchandises.
- Le type d'attaches : Attaches élastiques NABLA Tirefond spécial 22-115 type 5 avec semelle élastique en élastomère d'une épaisseur de 9mm, collé sur la table d'appui des traverses.
- La longueur utile de la gare : 2400 m
- La pente maximale admissible du profil en long est 16 ‰ et 0 ‰ au niveau des gares
- L'entraxe des voies est de 5,00 m.
- Les Appareils de voie choisis dans la gamme ci-après :

- UIC-60 300- 1 :9 avec une vitesse de 50 km/h.

- UIC-60 500- 1 :12 avec une vitesse de 65 km/h

CHAPITRE II : Superstructure de la voie

II. Superstructure de la voie :

II.1 Introduction :

La superstructure ferroviaire est très importante pour que les trains puissent circuler en toute sécurité. Elle comprend les rails, les traverses, les attaches, les graviers, les aiguillages et les feux de signalisation. Il est essentiel de bien entretenir et moderniser ces parties de la voie pour éviter les problèmes et assurer que les trains puissent rouler correctement. C'est une grande responsabilité pour les compagnies de train et les personnes qui s'occupent des voies de chemin de fer.

II.2 L'armement de la voie :

L'armement de la voie comprend les rails, les traverses, les fixations et les ballasts, et constitue une partie essentielle de l'infrastructure ferroviaire, garantissant la sécurité et la fiabilité du transport ferroviaire.

II.2.1 Les rails :

Les rails sont des éléments en acier posés sur des traverses en bois ou en béton, formant la voie ferrée. Ils sont disposés en deux lignes parallèles avec un écartement standard de 1435 mm entre eux, ce qui est communément appelé l'écartement standard.

- Longueur minimum des barres élémentaires : de 18 à 36 m.

- Barres élémentaires soudées électriquement en atelier en barre continue de longueur≥ 288 m et soudure aluminothermique en voie.

II.2.1.1 Rôles du Rail :

- Il supporte les charges provenant du poids du train, qu'elles soient verticales ou horizontales (comme la force centrifuge), et les absorbe.
- Il guide les roues du train et assure leur déplacement sur la voie.
- Il permet la transmission du courant électrique, nécessaire pour la signalisation et la traction des trains sur les lignes électrifiées.

II.2.1.2 Type de rail utilisé dans notre projet :

Dans notre projet on a utilisé le rail du type **Vignole UIC 60 E1**

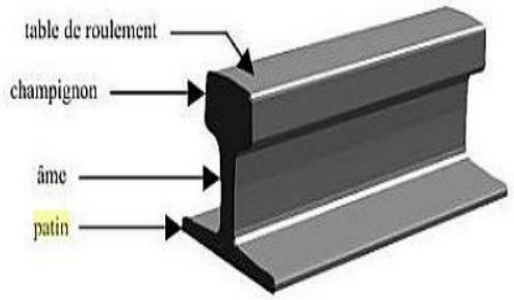


Figure II-1 Les constituant de la section transversal de rail

Pour une section transversale d'un rail du type Vignole on distingue :

- Le patin qui s'appuie sur la traverse

- Le champignon qui constitue la table de roulement

- L'âme : c'est la partie verticale qui relie le champignon au patin

-La table de roulement : Elle est la surface supérieure du champignon

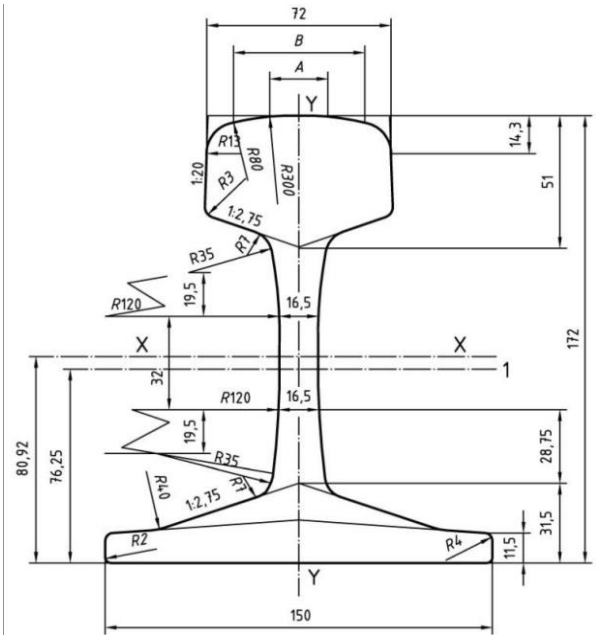


Figure II-2 Profil rail du type UIC60E1

Tableau II-1 : Caractéristiques de rails du type UIC 60 E1

Caractéristique	Valeur
Masse	60.21 kg/ml
Surface de la section	76.7 cm^2
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (axe x-x)	3038.3 cm^4
Moment d'inertie (axe y-y)	512.3 cm^4
Résistance à la traction	$R \geq 880$ N/mm^2
Allongement	$R \geq 10\%$
Dureté au milieu de la table de roulement	260-300 HBW
Épaisseur âme	16.5 mm
Dimension indicative B	52.053 mm
Dressage	Classe A
Nuance	260 (carbone-manganèse)

II.2.1.3 Assemblage des rails :

Les rails sont fabriqués en longueurs comprises entre 18 et 36 mètres. Pour établir la continuité et la solidité des barres formant la voie, il est nécessaire de les relier solidement à leurs extrémités en utilisant des éclisses et des soudures :

Éclisses : Une éclisse est un composant de la voie ferrée, constituant une pièce métallique fixée par des boulons sur les rails. Elle permet de faire la liaison entre deux rails consécutifs. Les éclisses sont souvent utilisées à proximité des aiguillages.

Soudures :

Il y a deux types de soudures à savoir :

• La soudure électrique utilisée en atelier ou bien sur place aux niveaux de chantier qui permet de réaliser des longues barres soudées.

• La soudure aluminothermique réalisé en voie par réaction chimique très exothermique sur une charge de métal d'apport.

II.2.2 Les travers :

En voie ferrée, les rails reposent sur un plancher constitué de traverses, ces dernières étant posées en travers de la voie.

On se concentrera sur les types de traverses les plus couramment utilisées en Algérie :

Traverses en bois : Généralement utilisées au niveau des appareils de voie.

Traverses en béton :

Bibloc : Deux blocs de béton sont reliés par une entretoise en acier pour maintenir l'écartement des rails.

Monobloc : Une poutre en béton précontraint offrant une meilleure résistance à la flexion que les traverses bibloc et une meilleure répartition des charges verticales, évitant ainsi les poinçonnages.

Dans notre projet on a utilisé Travers **Monobloc M450 et B440 (Vax U31)**

Description des travers utilisés : (selon SNCF)

Pour M450 :

M : type de travers = travers Monoblocs

4 : l'épaisseur de la traverse = 220 mm

5 : longueur de la traverse = 2415 mm

0 : Modèle de base (pour rails U50 et UIC60)

Pour B440 (Vax U31) :

B : type de travers = travers Bo-bloc

4 : l'épaisseur de la traverse = 220 mm

4 : longueur de la traverse =2244 mm

0 : Modèle de base (pour rails U50 et UIC60)



Figure II-4 : Travers Monoblocs M450

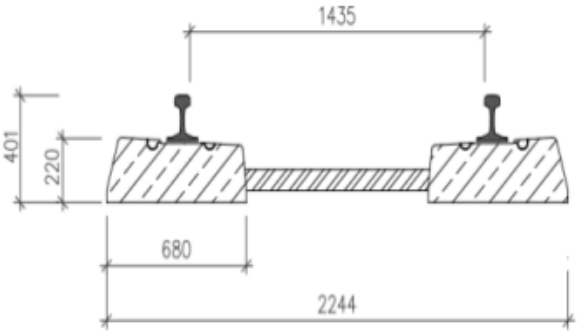


Figure II-3 : Travers Vax U31

Rôles des traverses :

Assurant la transmission des efforts entre le rail et le ballast, les traverses sont responsables du maintien de l'écartement et de l'inclinaison des rails, contribuant ainsi à la stabilité de la voie ferrée. De plus, elles permettent une répartition uniforme des charges exercées par les trains sur le ballast, assurant la sécurité et la durabilité de la voie.

II.2.3 Les attaches :

Elles permettent la fixation du rail sur la traverse via des tire-fond, offrant ainsi une élasticité tant verticale qu'horizontale. Une semelle en élastomère cannelée de 9 mm d'épaisseur est placée entre le rail et la traverse pour absorber les vibrations dans les rails.

Dans notre projet on a utilisé attache de type NABLA tirefond spécial 22-115 type 5



Figure II-5 Attache type NABLA [3]

[3] 3-Attache type nabla. | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

Rôle des attaches :

- Assurer le serrage du rail sur la traverse avec un effort
- La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier un éventuel relâchement du dispositif de fixation.
- Les caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages.
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.

II.2.4 L'appareil de voie :

Les appareils de voie sont des dispositifs permettant au matériel roulant, soit de passer d'une voie sur une autre, soit de traverser une voie. Il est important de noter que les appareils de voie ne peuvent pas être posés en dévers et qu'aucune courbe de raccordement n'est possible pour la voie déviée. Par conséquent, le rayon minimum des aiguillages doit être déterminé en fonction de la vitesse souhaitée pour garantir la sécurité des trains.

Il existe trois catégories d'appareils de voie :

- Le branchement simple,
- Le croisement ou traversée simple,
- La traversée jonction (simple ou double), qui est une combinaison des deux derniers.

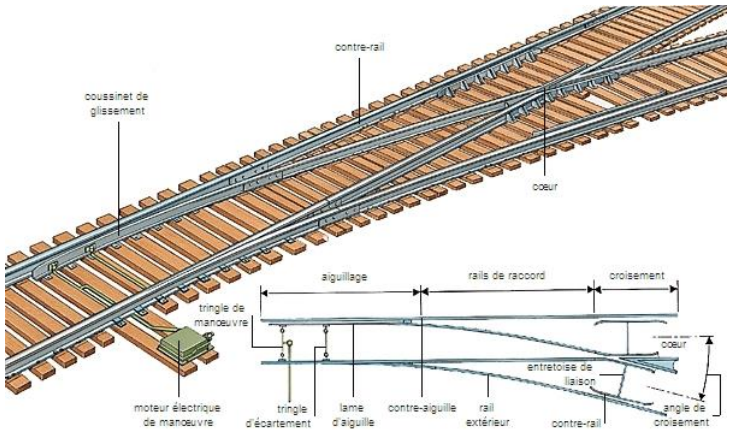


Figure II-6 - Branchement à deux voies, et ses éléments constitutifs[4]

Dans notre projet on a utilisé ces appareils de voie :

- UIC-60 300- 1 :9 avec une vitesse de 50 km/h.

- UIC-60 500- 1 :12 avec une vitesse de 65 km/h

[4] Branchement à deux voies – Média LAROUSSE

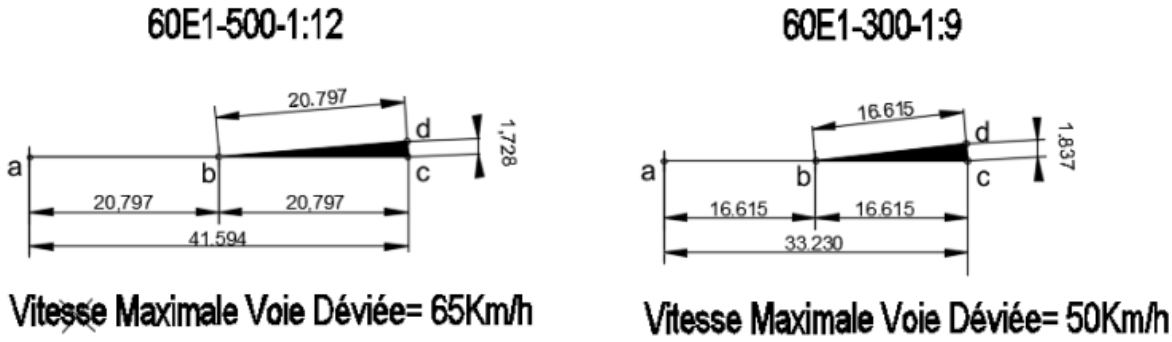


Figure II-7 caractéristique des appareils de voie de notre projet

II.3 Conclusion :

Le choix des éléments de la voie est probablement la partie la plus importante, car il détermine la conception en alliant sécurité et économie. Ainsi, l'optimisation économique de notre projet dépendra principalement de la sélection des appareils constituant la voie.

CHAPITRE III : Tracé en plan

III. Tracé en plan

III.1 Introduction :

Le tracé en plan de la voie ferrée est la projection orthogonale de tous les points sur un plan horizontal. Il se compose généralement d'une série d'alignements droits et d'arcs de cercle, reliés par des courbes de raccordement progressif. L'étude géométrique de ce tracé vise à garantir un roulement parfait et sécurisé des véhicules.

Dans les chemins de fer, on distingue deux vitesses caractéristiques :

V_v : vitesse des trains rapides (voyageurs).

V_m : vitesse des trains lents (marchandises).

III.2 Condition a respecté du tracé en plan :

- Rester dans le couloir choisi conformément à l'étude en phase d'Avant-Projet Détaillé (APD).
- Respecter les rayons et les longueurs minimum recommandés par la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires).
- Utiliser autant que possible des tronçons en alignement rectiligne pour optimiser le tracé.
- Suivre les courbes de niveau pour minimiser les travaux de terrassement.
- Éviter, dans la mesure du possible, de traverser des cours d'eau et des routes afin de limiter les travaux de construction d'ouvrages d'art.
- Si un franchissement est inévitable, il est préférable de le faire perpendiculairement au cours d'eau ou dans les endroits les plus étroits.
- Éviter les zones présentant des problèmes géologiques pour assurer la stabilité du tracé.

III.3 Les éléments de tracé en plan :

Un tracé en plan est constitué de trois éléments géométriques :

- Alignement : R=∞
- Arc de cercle : R = Constante
- Courbe de raccordement : R =variable

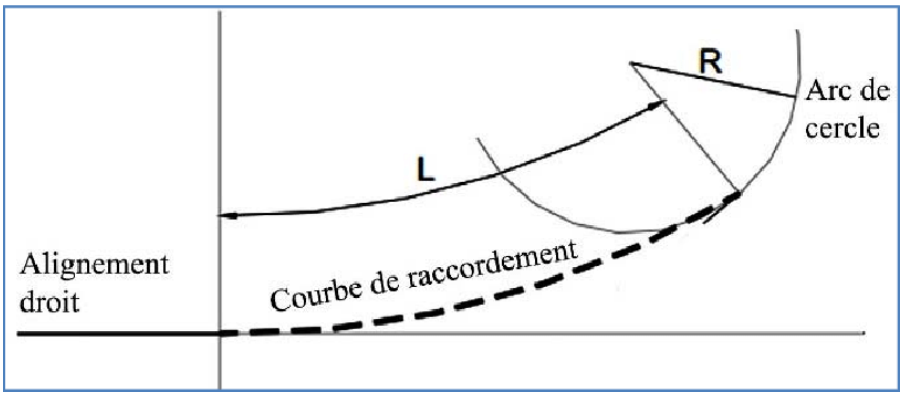


Figure III-1 élément géométrique de tracé en plan

III.3.1 L'alignement :

C'est l'élément le plus simple et le plus favorable à l'exploitation correspond à une courbe de rayon infini (R=∞).

III.3.2 Arc de cercle :

Les effets de la force centrifuge $\boldsymbol{Fc} = \frac{\boldsymbol{m*Vv^2}}{\boldsymbol{R}}$ dans les courbures cette force peut conduire au déraillement de train et la fatigue de voie, pour compenser cette attraction vers l'extérieure de la courbe il est nécessaire d'incliner la voie vers l'extérieure et le rail intérieur d'une même voie s'appelle le devers

III.3.2.1 Dévers Théorique :

La valeur théorique du dévers qui compense entièrement la force centrifuge peut assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs.

$$\mathbf{dth} = \frac{\mathbf{11.8 * V^2}}{\boldsymbol{R}}$$

- dth : dévers théorique en (mm).
- V : vitesse de train en (Km/h).
- R : rayon de courbe en (m).

III.3.2.2 Dévers Pratique :

En pratique, il est impossible de rouler avec le dévers théorique, car les trains circulent à des vitesses minimales différentes selon leur nature (trains marchandise et trains voyageur). C'est pourquoi il a été convenu de définir un dévers pratique.

Le dévers pratique se calcule par :

$$\mathbf{dp} = \frac{\mathbf{1000} * \mathbf{C}}{\boldsymbol{R}}$$

- dp : dévers pratique en (mm)
- R : rayon en (m).
- C : coefficient de dévers

On peut calculer le coefficient de dévers avec l'expression suivants :

$\mathbf{C} = \mathbf{0.006} * \mathbf{Vv}^2$ (Doit être un multiple de 15)

Il doit satisfaire la condition suivante : 0,5 d_{th} < d_p < 0,7 d_{th}

La SNTF a retenu pour une vitesse V≤ 220 Km/h

- **Le divers maximal dp(max) en plain courbe :**

  La valeur de divers maximal doit satisfaire la condition suivante :

Tableau III-1 : Valeurs limites du dévers[5]

Valeur recommandée (mm)	160
Valeur exceptionnel (mm)	180

III.3.2.3 Insuffisance de divers :

L'insuffisance de dévers est la différence entre le dévers théorique et le dévers pratique, engendrant des efforts transversaux non compensés. Pour garantir la sécurité, le confort des voyageurs et des coûts d'entretien raisonnables, cette insuffisance doit être limitée. On l'appelle l'insuffisance maximale.

Insuffisance de divers est exprimée par la formule :

$$I = d_{th(v)} - d_p = \frac{11.8 * Vv^2}{R} - \; dp < I_{max}$$

- I : L'insuffisance de dévers (mm).
- Dth(v) : le dévers théorique des trains(voyageur) rapide (mm).
- dp : dévers pratique (mm).

[5] Référentiel SNTF

Tableau III-2: Les valeurs limites de l'Insuffisance du dévers[6]

Valeur recommandée (mm)	150
Valeur exceptionnel (mm)	160

III.3.2.4 Excès de dévers :

Le dévers théorique, nécessaire pour stabiliser les trains lents, est généralement moindre que le dévers pratique. Cette disparité crée des forces transversales non compensées, poussant les véhicules vers l'intérieur de la voie. Ainsi, afin de contrôler ces forces, on restreint la différence entre les valeurs de dévers, ce que l'on nomme l'excès de dévers (E).

Excès de divers est exprimée par la formule :

$$\mathbf{E} = \mathbf{d_P} - \mathbf{d_{th(m)}} = \mathbf{dp} - \frac{\mathbf{11.8 * Vm^2}}{\boldsymbol{R}} < \boldsymbol{E_{max}}$$

- E : L'Excès de dévers (mm).
- dth(m) : le dévers théorique des trains (marchandise) lente (mm).
- dp : dévers pratique (mm).

Tableau III-3 : Les Valeurs limites de l'excès du dévers

Valeur recommandée (mm)	110
Valeur exceptionnel (mm)	130

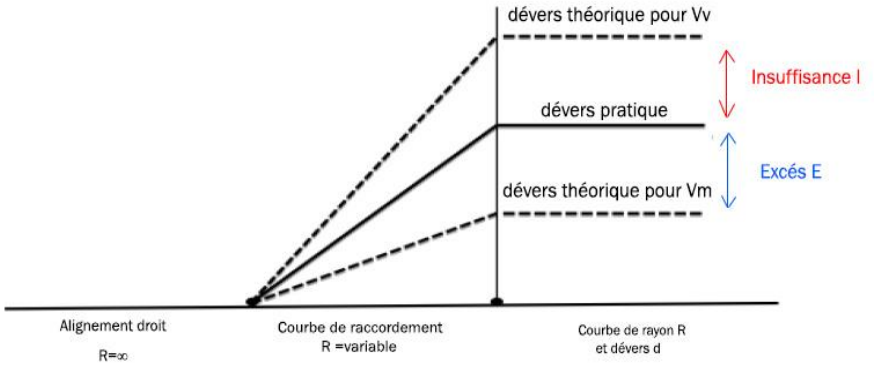


Figure III-2 raccordement de dévers

[6] Référentiel SNTF

III.3.2.5 Rayon Minimum de l'arc de cercle :

Pour limiter l'effet de la force centrifuge sur la voie, éviter l'usure des rails et assurer le confort des passagers, un rayon minimal est requis.

Le divers pour le rayon minimum :

$$\mathbf{d(Rmin)} = \frac{\boldsymbol{Emax.V_{Voy}}^{\mathbf{2}} * \ \boldsymbol{Imax,.V_{mar}}^{\mathbf{2}}}{\boldsymbol{V_{Voy}}^{\mathbf{2}} - \boldsymbol{V_{mar}}^{\mathbf{2}}} < \mathbf{dp_{max}}$$

La valeur de rayon minimal est le max entre :

$$\mathbf{R_{min}} = \frac{\mathbf{11.8} * \boldsymbol{Vmax}^2}{\boldsymbol{I_{max}} + \boldsymbol{dp}}$$

III.3.3 Courbe de raccordement :

La transition entre un tronçon rectiligne et un tronçon courbé crée une soudaine accélération transversale, nuisible au confort des passagers et à la stabilité du véhicule. Par conséquent, il est nécessaire d'insérer un raccordement entre l'alignement et la courbe circulaire afin de permettre une variation graduelle de l'accélération des raccordements progressifs (RP) du type clothoïde seront recommandé.

On construit des courbes de raccordement entre :

- Alignement-courbe
- Deux courbes de mêmes sens avec R1≠R2
- Une courbe et contre courbe

L'emploi des courbes de raccordement se justifier par le calcul de la courbure Δc

Tableau III-4 : Les valeurs de la courbure[7]

Alignement-courbe	Deux courbes de mêmes sens avec R1≠R2	Une courbe et contre courbe
$\Delta c = \frac{1000}{R}$	$\Delta c = \frac{1000}{R1} - \frac{1000}{R2}$	$\Delta c = \frac{1000}{R1} + \frac{1000}{R2}$

Les courbes de raccordement sont recommandés si : $\boldsymbol{\Delta c \geq \frac{2000}{V_{max}^2}}$

[7] Référentiel SNTF

Les courbes de raccordement sont obligatoires si :

Tableau III-5 : Limitation de la courbure[8]

V< 100 km/h	V ≥ 100 km/h
$\Delta c \geq \frac{9000}{V_{max}{}^2}$	$\Delta c \geq \frac{7000}{V_{max}{}^2}$

NB : dans notre projet Les courbes de raccordement sont obligatoires dans tous les rayons car le plus grand rayon est R=2500 m

III.3.3.1 Variation de dévers dans le raccordement :

Pendant son mouvement sur les raccordements, un véhicule subit une rotation progressive autour d'un axe parallèle à celui de la voie et un gauchissement normalement limité par l'action des ressorts de suspension. Donc, le gauchissement et la vitesse de rotation doivent être limités pour assurer un roulement régulier dans les raccordements.

Dans le raccordement parabolique, le divers varier progressivement de 0 à dp

-La variation de dévers par rapport aux longueurs dd/dl :

La longueur des courbes de transition sera fonction du dévers adopté et du taux de variation de dévers admissible cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dl}} = \frac{\mathbf{dp}}{\mathbf{Lrp}} \ \mathbf{en\ (mm/m)}$$

-La variation de dévers par rapport au temps dd/dt :

Cette variation est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\mathbf{dd}}{\mathbf{dt}} = \frac{\mathbf{dp{*}Vmax}}{\mathbf{Lrp{*}3.6}} \ \mathbf{en\ (mm/s)}$$

-Limite de la variation de dévers :

La variation de dévers doits satisfaire les conditions suivantes :

[8] Référentiel SNTF

Tableau III-6 : Limite de la variation des dévers[9]

	Limite de la variation de devers par rapport à la longueur « $\frac{dd}{dl}$ »	Limite de la variation de devers par rapport au temps « $\frac{dd}{dt}$ »
Valeur maximal normal	$\frac{180}{Vv}$ (mm/m)	50 mm/s
Valeur maximal exceptionnelle	$\frac{216}{Vv}$ (mm/m)	60 mm/s

Il en résulte pour la longueur de raccordement **Lrp :**

$$\boldsymbol{Lrp = \frac{dp * V_{max}}{180}}$$

Exceptionnellement :

$$\boldsymbol{Lrp = \frac{dp * V_{max}}{216}}$$

III.3.3.2 Variation de l'insuffisance de divers dans le raccordement :

Lorsque la vitesse du train dépasse sa vitesse d'équilibre, les passagers subissent les effets de la force centrifuge non compensée en raison de l'insuffisance de dévers. Le taux de variation d'insuffisance de dévers doit être limité pour permettre une adaptation progressive et si possible inconsciente du voyageur à ces effets.

La variation d'insuffisance de dévers se détermine par la formule :

$$\boldsymbol{\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I}{Lrp} * \frac{V}{3.6} (mm/s)}$$

-Limite de la variation de l'insuffisance de divers :

La variation de l'insuffisance de divers doits satisfaire les conditions suivantes :

Tableau III-7: Limite de la variation de l'insuffisance de divers

Valeur recommandée (mm)	75 mm/s
Valeur exceptionnel (mm)	90 mm/s

[9] Référentiel SNTF

III.4 Les doucines :

Un raccordement circulaire est utilisé pour limiter l'accélération du mouvement de roulis au changement de pente du rail haut. Pour limiter cette accélération, il est nécessaire d'introduire un raccordement circulaire entre les pentes du rail haut centré sur le point de rupture de pente (ORP ou FRP).

Les doucines sont nécessaires lorsque la vitesse des trains de voyageurs est égale ou supérieure à 60 km/h et qu'il y a une variation de dévers significative (supérieure à $60/V$).

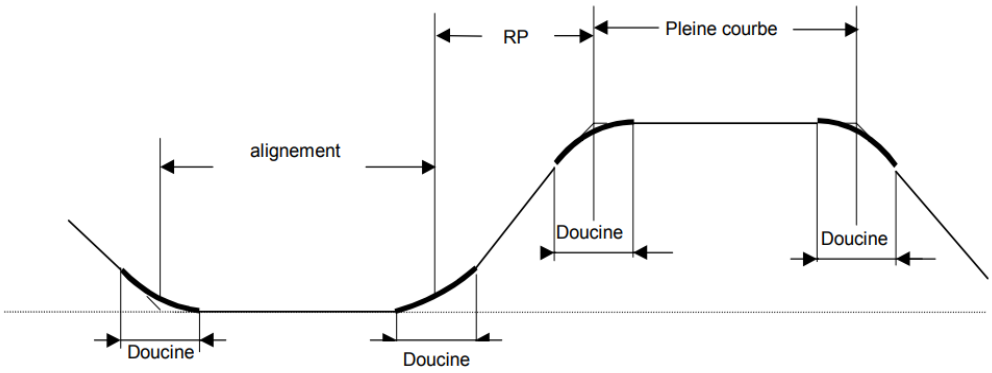


Figure III-3 : Les éléments de tracé en plane[10]

III.5 Longueur minimale des éléments de tracé :

Les éléments de tracé (alignement et courbe) doivent avoir une longueur géométrique supérieur aux longueurs minimales, cette dernière varie selon l'ajout des doucines et des rayons progressifs

Tableau III-8: Les longueurs minimales des alignements et des pleines courbes

Courbes avec RP et doucines		Courbes avec RP sans doucines		Courbes sans RP	
Valeur limite normale	Valeur limite exceptionnelle	Valeur limite normale	Valeur limite ex-ceptionnelle	Valeur limite normale	Valeur limite ex-ceptionnelle
$\frac{Vmax}{2} = 60\ m$	$\frac{Vmax}{3} = 40\ m$	$\frac{Vmax}{3} = 40\ m$	$\frac{Vmax}{5} = 24\ m$	$\frac{Vmax}{3} = 40\ m$	$\frac{Vmax}{5} = 24\ m$

[10] IN 0272

III.6 Application au projet

- **Description de tracé au notre projet :**

Le tracé débute au PK 0+000, à proximité de la gare de Béchar. Il se poursuit sur une voie unique jusqu'au PK 1+200, où un doublement de voie est réalisé jusqu'au PK 3+000 du coté droite de la voie existante avec un entre axe de 5m. Ensuite, il redevient une voie unique jusqu'à la gare de bifurcation, située au PK 9+750.

Selon la SNTF on a les données suivantes :

Tableau III-9: Paramètres géométriques du tracé

	Paramètres géométriques de tracé en plan (SNTF)	
	Normale	Exceptionnelle
Excès de dévers	110 mm	130 mm
Insuffisance de dévers	150 mm	160 mm
Dévers max	160 mm	180 mm
Variation de de l'insuffisance de dévers	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ = 75 mm/s	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ = 90 mm/s
Variation de dévers par rapport la longueur Δdp/ΔL	180/Vmax = 1.125	216/Vmax =1.350
Variation de dévers en fonction du temps Δdp/Δt	50 mm/s	60 mm/s
Rayon minimal Rmin== $\frac{11.8*Vmax^2}{Imax+dp}$	975 m	888 m
Longueurs minimales des alignements et pleines courbes (m)	Vmax /2=80	Vmax/3=53

Pour une vitesse de 160 km/h, le rayon minimal normal est de 975 m donc tous les rayons du tracé doivent être supérieure au $\mathbf{R_{min}}$, correspondant à un dévers max de 160 mm, et d'insuffisance de dévers max de 150 mm

Exemple de calcule pour R=1600 m :

Dévers théorique :

$$\text{Dth} = \frac{11.8 * Vmax^2}{R} = \frac{11.8 * 160^2}{1600} = 188.8\ mm$$

Coefficient de dévers :

$$\text{C} = 0.006 * \text{Vmax}^2 \ = \ 0.006 * 160^2 \ = 153.6$$

On prend C=165

Vérification de C :

$$0.5 \ < \frac{C}{0.0118 * Vmax^2} = \frac{165}{0.0118 * 160^2} = 0.55 \leq 0.7$$

Donc C=165 est vérifier

Le dévers pratique :

$$Dp = \frac{1000 * C}{R} = \frac{1000 * 90}{1600} = 103.13mm < 160\text{mm} \quad \text{verifier}$$

On prend Dp =110 mm

Insuffisance de dévers :

$$\text{I} = \text{Dth} - \text{Dp} = 188.80 \ - 110 \ = \ 78.8\ \text{mm} < 150\ \text{mm}$$

Excès de dévers :

$$\text{E} = \text{Dp} - \frac{11.8 * Vmar^2}{R} = \frac{11.8 * 70^2}{1600} = 73.86\ \text{mm} < 110\ \text{mm verifier}$$

La longueur de clothoïde :

$$\text{Lrp} = \frac{\text{dp}}{\frac{\text{dd}}{\text{dl}}} = \frac{100}{1.125} = 97.78\ \text{m}$$

On prend : Lrp=100 m

Limite de la variation de dévers par rapport à la longueur :

$$\frac{dd}{dl} = \frac{dp}{Lrp} = \frac{100}{90} = 1.10mm/m < 1.125\text{mm/m}$$

Limite de la variation de dévers par rapport au temps :

$$\frac{dd}{dt} = \frac{dp}{Lrp} * \frac{Vmax}{3.6} = \frac{110}{100} * \frac{160}{3.6} = 48{,}89mm/m < 50\text{mm/s}$$

La variation d'insuffisance de dévers :

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I}{Lrp} * \frac{Vmax}{3.6} = \frac{88.8 * 160}{90 * 3.6} = 35{,}02mm/m < 75\text{mm/s}$$

Tableau III-10Récapitulatif des paramètres du tracer

Rayon (m)	dth (mm)	C	C adopté	C	dp (mm)	dp adopté	I (mm)	E (mm)	Lrp (m)	Lrp adopté	dd/dL (mm/m)	dI/dt (mm/s)	dd/dt (mm/s)
1000	302.08	153.60	165.00	0.55	165.00	160	142.08	102.18	142.22	150	1.07	42,10	47.41
1600	188.80	153.60	165.00	0.55	103.13	110	78,80	73,86	97,78	100	1,10	35,02	48.89
2500	120.83	153.60	165.00	0.55	66.00	70	50,83	46,87	62,22	70	1.00	32,27	44.44

NB : Le tracé est réalisé à l'aide de logiciel **COVADIS 16.0d** et les éléments di tracé e, plan sont réalisé dans l'annexe **A**.

III.7 Conclusion :

On peut conclure que l'étude géométrique du tracé de la voie vise à garantir un roulement fluide des trains, capables d'atteindre une vitesse de 160 km/h. Cette étude s'appuie sur les paramètres géométriques et techniques préconisés par l'UIC et les règles de la SNTF.

CHAPITRE IV : Profil en long

IV. Profil en long :

IV.1 Introduction :

Établir le profil en long du tracé est une étape fondamentale dans l'évaluation d'un projet ferroviaire, que ce soit du point de vue économique, en évaluant les travaux de terrassement, les déblais, les remblais, ainsi que la nécessité d'ouvrages d'art et de tunnels, ou du point de vue technique, en assurant la conformité aux réglementations en vigueur.

IV.2 Définition :

Profil en long du terrain naturel : C'est la coupe longitudinale du terrain le long du tracé en plan. Ce profil va être le support pour le profil en long.

Profil en long du projet : C'est l'ensemble d'alignements (paliers, pentes, rampes) et de courbes circulaire (convexes, concaves) qui représentent la ligne rouge

Déclivité : C'est la tangente de l'angle que fait le profil en long avec l'horizontal, elle est dénommée « une pente » pour les descentes et « une rampe » pour les montées.

IV.3 Elément géométrique du profil en long :

Les éléments constitutifs de profil en long se définie comme suit :

Pente : C'est la partie du tracé qui donne le sens de la ligne rouge qui est en descente.

Rampe : C'est la partie du tracé qui définit la montée.

Pallier : C'est la partie de la ligne rouge qui se trouve en horizontale.

Courbe de raccordement verticale : Ce sont des arcs de cercle qui assurent la liaison entre deux éléments de la ligne rouge

IV.4 Déclivité maximale :

Le profile en long de la voie ferre est caractérisé par des valeurs très faible de déclivités pour assurer des vitesses de circulation convenables et la sécurité lors de freinage en pente est confort au démarrage de véhicule en rampe, donc la déclivité des droites ne peut pas dépasser un certain maximum fixé par la SNTF :

Tableau IV-1 : Les déclivités par rapport les longueurs[11]

		Normal	*Exceptionnel*
Déclivité maximale	**L<3000 m**	**16 ‰**	**18 ‰**
	3000<L>15000 m	**16 ‰ à 13 ‰**	**18 ‰ à 15 ‰**
	L>15000 m	**13 ‰**	**15 ‰**
	Gares	**0**	**0**

IV.5 Choix des alignements droits :

La position des droites par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs, tels que l'évitement des terrassements inutiles, l'équilibre entre remblais et déblais, et le fait que les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en déclivité

Lorsque le train passe par deux déclivités successives de sens opposés, il subit des accélérations verticales brutales pouvant provoquer d'importantes oscillations des véhicules, entraînant un inconfort pour les passagers et des dommages potentiels aux rails. Donc les éléments de profil en long doivent respecter les longueurs minimales suivantes :

Tableau IV-2 : Les longueurs minimales des éléments de profil en long

Valeur maximal normal	Valeur maximal exceptionnelle
V/2	**V/2.5**

IV.6 Choix des cercles :

C'est un arc de cercle qui assure la liaison entre deux déclivités de la ligne rouge, il permet d'assurer le confort et la sécurité des voyageurs en réduisant les accélérations centrifuge.

La position des cercles par rapport au terrain naturel dépend de plusieurs facteurs tel que :

* Il ne doit pas y avoir d'interférence entres les courbes de transition en plans (clothoïde) et les courbe de raccordement en profil en long.

* Les points de placement des appareils de voie ne doivent pas être en courbe.

Tableau IV-3 : les valeurs de rayon minimal Selon la SNTF

Valeur maximal normal	Valeur maximal exceptionnelle
$0.35V^2$	**$0.25V^2$**

[11] Référentiel SNTF

IV.7 Application au notre projet :

Les paramètres géométriques du profil en long de la SNTF :

Tableau IV-4 : Les valeur des paramètres de profil en long

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

NB : Listing de profil en long sont dans l'annexe **B**

IV.8 Conclusion :

On peut conclure que la constitution du profil en long est essentielle pour évaluer un projet ferroviaire, tant sur le plan économique que technique. Cela permet d'examiner les déclivités, la coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ainsi que l'emplacement des gares.

CHAPITRE V : Etude hydrologique et hydraulique

V. Etude hydrologique et hydraulique :

V.1 Introduction :

La création d'une nouvelle ligne perturbe l'écoulement hydraulique. Alors, il faut assurer la continuité des débits des cours d'eau en dimensionnant suffisamment les ouvrages hydrauliques. D'autre part, la protection de la plate-forme nécessite un bon drainage.

V.2 Etude hydrologique :

L'hydrologie est la science qui étudie le mouvement et les propriétés des eaux à la surface de la terre et dans les couches souterraines. Elle examine les caractéristiques physiques, mécaniques et techniques de l'eau dans son ensemble,

Dans le but de déterminer le débit de crue d'une nouvelle trajectoire pour cette ligne ferroviaire afin d'éviter toute inondation sur cette ligne.

La voie ferrée entre les PK 0+000 et 12+750 franchit plusieurs de cours d'eau. Chacun d'entre eux draine un bassin versant ou impluvium, dont il faut connaitre les dimensions afin de quantifier les écoulements. La délimitation des bassins versants s'effectue avec les fonds cartographiques à l'échelle du 1/25 000

Un bassin versant est la zone géographique qui alimente un cours d'eau et ses affluents en amont d'une section de mesure spécifique. Chaque bassin est délimité par la ligne de partage des eaux, déterminée sur une carte topographique. L'axe du cours d'eau représente la limite opposée du bassin.

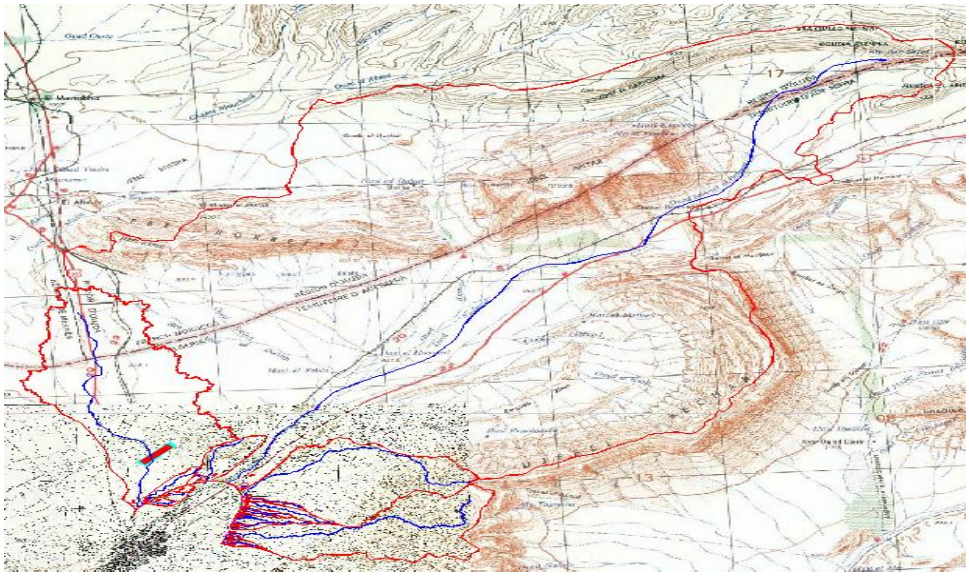


Figure V-1 : La délimitation des Bassin Versant dans la Carte

V.2.1 Caractéristiques morphologiques des bassins versants :

La détermination des caractéristiques morphologiques des bassins versants consiste à calculer, ou évaluer les paramètres explicatifs, indispensables à l'évaluation des débits de crues.

- Les caractéristiques des paramètres des bassins versants sont données par le tableau récapitulatif si dessous :

Tableau V-1 : Caractéristiques morphologiques des bassins versants

BV	PK	Aire (km²)	Talweg (km)	H Max (m)	H Min (m)	H Moy (m)	Pente
1	0+765	138.97	22.925	867	799	833	0.003
2	1+277	3.45	5.616	841	801	821	0.007
3	1+715	1.02	1.556	814	803	808.5	0.007
4	3+066	1.13	1.631	819	808	813.5	0.007
5	3+484	0.65	0.612	824	815	819.5	0.015
6	5+669	0.68	0.830	835	811	823	0.029
7	5+863	9	5.469	869	810	839.5	0.011
8	7+085	1310.03	124.314	1152	805	978.5	0.003
9	7+943	0.55	1.188	831	818	824.5	0.011
10	8+735	66.87	19.569	1276	809	1042.5	0.024
11	8+877	0.9	3.880	854	812	833	0.011
12	9+275	4.82	6.441	882	813	847.5	0.011
13	9+891	1.22	3.087	849	811	830	0.012
14	10+050	0.78	2.572	841	812	826.5	0.011
15	10+413	0.2	0.853	823	813	818	0.012
16	11+131	2.79	4.915	863	812	837.5	0.01
17	11+505	0.35	0.685	822	812	817	0.015
18	11+300	1.4	3.640	848	810	829	0.01
19	12+507	62.36	18.501	1278	807	1042.5	0.025
20	12+709	0.38	0.843	823	809	816	0.017

V.2.2 Temps de concentration :

Le temps de concentration, noté "tc", est défini comme la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau atteigne le débit maximal. Des méthodes simplifiées peuvent être utilisées pour estimer le temps de concentration des bassins versants. Les formules employées dans ce projet sont les suivantes :

V.2.2.1 Formule de Kirpich :

Superficie comprise entre **0.004 et 0.81Km² :**

$$t_c = \frac{(0.000325 \times L^{0.77})}{I^{0.385}}$$

Tc : Temps de concentration en heure**, I :** pente du bassin versant en m/m, **L :** Longueur du cours d'eau principal en (m).

V.2.2.2 Formule de VENTURA :

Superficie inférieure à **5 Km² :**

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

- Tc : Temps de concentration en heure

- S : Surface du bassin versant en km²

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

V.2.2.3 Formule de PASSINI :

Superficie comprise entre **5 et 25 Km² :**

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

Tc : Temps de concentration en heure

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

P : Pente moyenne du bassin versant en (m/m).

V.2.2.4 Formule de GIANDOTTI :

Superficie comprise entre 25 et 200 km² :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h}}$$

Tc : Temps de concentration en heure

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

S : Surface du bassin versant en km².

h: $H_{moy} - H_{min}$(m).

Tableau V-2 : résultats de calcul des temps de concentration Tc

BV	PK	Aire Km²	KIR-PICH S < 1km	VENTURA 1km > S > 5km	PASSINI 5km > S >25km	GIANDOTI 25km > S > 200km	Tc (h)
1	0+765	138.97	6.907	27.334	29.551	17.480	**17.480**
2	1+277	3.45	1.688	2.819	3.531	4.432	**2.819**
3	1+715	1.02	0.628	1.533	1.534	3.398	**1.533**
4	3+066	1.13	0.651	1.614	1.612	3.571	**1.614**
5	3+484	0.65	0.228	0.836	0.661	2.441	**0.228**
6	5+669	0.68	0.224	0.615	0.534	1.639	**0.224**
7	5+863	9	1.389	3.633	3.844	4.650	**3.844**
8	7+085	1310.03	25.388	83.924	109.673	31.435	**31.435**
9	7+943	0.55	0.429	0.898	0.910	2.328	**0.429**
10	8+735	66.87	2.746	6.704	7.767	5.077	**5.077**
11	8+877	0.9	1.067	1.149	1.591	2.623	**1.149**
12	9+275	4.82	1.576	2.658	3.296	3.925	**2.658**
13	9+891	1.22	0.865	1.281	1.562	2.595	**1.281**
14	10+050	0.78	0.777	1.069	1.323	2.426	**0.777**
15	10+413	0.2	0.321	0.518	0.557	1.716	**0.321**
16	11+131	2.79	1.328	2.121	2.633	3.479	**2.121**
17	11+505	0.35	0.249	0.613	0.558	1.898	**0.249**
18	11+300	1.4	1.054	1.503	1.893	2.923	**1.503**
19	12+507	62.36	2.589	6.343	7.297	4.833	**4.833**
20	12+709	0.38	0.279	0.600	0.577	1.763	**0.279**

V.2.3 Caractéristiques climatiques et pluviométriques :

V.2.3.1 Température :

Le climat de la wilaya de Béchar est de type désertique continental qui se caractérise par un été très chaud (+45°C) et un hiver très froid (2°C à 3°C).

Tableau V-3 : Température moyenne annuelle (°c) de la station de la Béchar ANRH

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Moyenne
Tmoy °C	27.9	21.4	14.7	10.8	8.8	13	18.2	18.8	23.5	30.1	33.7	32	**21.1**

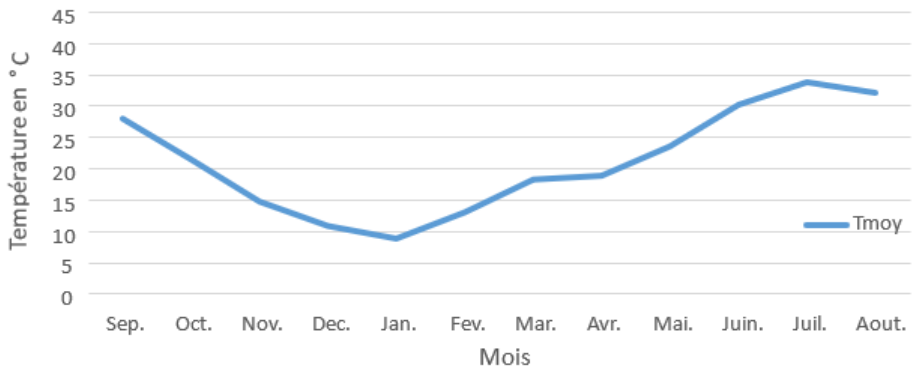


Figure V-2 : Température moyenne annuelle de la station de Béchar source ANRH

Le tableau montre que, les températures, entre novembre et avril, sont inférieures à la moyenne annuelle, mettant en évidence deux périodes :

- Une période chaude de mai à octobre ;
- Une période froide caractérisée par des températures basses, le reste de l'année

V.2.3.2 Les précipitations :

Les données de la région d'étude ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources en eau (ANRH) et de l'Office National de la Météorologie (ONM).

- **Précipitation maximales annuelles :**

Tableau V-4 : Pluies annuelles maximales fréquentielles :

T	Fréquence	Pan. Max (mm)
5	0.800	150.00
10	0.900	177.00
20	0.950	200.00
50	0.980	226.00
100	0.990	244.00

- **Pluies journaliers maximales fréquentielles :**

Tableau V-5 : Pluies journaliers maximales fréquentielles (mm)

T	Fréquence	u	P jmax
5	0.80	1.500	38.30
10	0.90	2.250	50.10
20	0.95	2.970	61.40

50	0.98	3.902	76.00
100	0.99	4.600	86.90

V.2.4 Calcul de l'intensité de pluie :

$$\boldsymbol{P(tc,t) = Pjmax * (\frac{t_c}{24})^{b}}$$

Pjmax : Pluie journalière de fréquence donnée (mm).

b : Exposant climatique pour la station de Bechar b=0.18

$$\boldsymbol{I(t_c,T) = \frac{P(t_c,T)}{t_c}}$$

I : Intensité de la pluie (mm/h).

P(t_c,T) : Pluie correspondant au temps de concentration (m).

t_c : Temps de concentration (heurs).

V.2.5 Calcul du débit maximal dans les bassins :

V.2.5.1 La méthode rationnelle :

Calcul des débits de crue des bassins versants de superficie inférieure à 1 km² :

La méthode rationnelle se traduit par l'équation suivante :

$$\boldsymbol{Q_{max} = 0.278 * C_r * I(t_c,T) * S}$$

Q_{max} (T) : Débit de point de crue (m/s) ;

S : Aire du bassin versant de la section objet d'étude (km2).

C_r : Coefficient de ruissellement.

Le coefficient de ruissellement : est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

C10 = K1+K2+K3

K1 : Dépendant de la pente du bassin versant.

K2 : Dépendant de la nature du sol (perméabilité).

K3 : Dépendant de la couverture végétale du bassin versant.

Les tableaux des coefficients partiels K1, K2, et K3 se trouvent en annexe **C**.

Donc le coefficient de ruissellement pour une période de retour T=10 ans :

C10 = 0.65

La variabilité du coefficient de ruissellement est fonction de la rétention initiale Po du BV :

• Pour C (10) < 0,8 on a P_0 en mm

P 10 : hauteur de la pluie journalière décennale en mm

$$\boldsymbol{P_0 = \left(1 - \frac{C_{10}}{0.8}\right) * P_{10}}$$

• Si C (10) ≥ 0,8, on admettra généralement : P_0 = 0 et C (T) = C (10)

Coefficient de ruissellement C(T) pour une période de retour T > 10 ans.

P_t = pluie journalière de période de retour T

$$\boldsymbol{C(T) = 0.8 * \left(1 - \frac{P_0}{P_t}\right)}$$

Donc le coefficient de ruissellement pour une période de retour T=100 ans :

$\boldsymbol{C_{100}}$ **= 0.7**

V.2.5.2 La méthode de Crupedix :

Bassins versants de superficie supérieur à 50 km2

$$Q10 = R \times (PJ\ max_{(10)} / 80)^2 \times S^{0.8}$$

Avec :

Q10 : débit décennal en m3/s

R : Coefficient régional traduisant l'aptitude au ruissellement que l'on prendra ici égal à 1

R = 0,2 pour des terrains perméables.

R= 1,5 à 1,8 pour des terrains imperméables.

R= 1 pour des terrains intermédiaires.

P10 : pluie journalière de période de retour décennale, en mm.

C : coefficient de ruissellement du bassin.

S : superficie du BV en km².

Évaluation du débit centennal à partir du débit décennal de la formule de Crupédix :

Évaluation du débit QT de période de retour T :

L'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans peut être obtenue par la formule suivante en admettant que la répartition statistique des valeurs observées suive la loi de Gumbel :

$$QT = Q10 + \Delta Q((y/2{,}3) - 1)$$

Avec :

$$\Delta Q = Q_{100}(R) - Q_{10}(R)$$

Résulte de la différence entre les débits décennal et centennal calculés par la formule rationnelle pour le même bassin.

Et y, étant la variable réduite de Gumbel souvent tabulée en fonction de la période de retour

Tableau V-6 : variable de Gumbel

T	F	U
2	0.50	0.367
5	0.80	1.500
10	0.90	2.250
20	0.95	2.970
25	0.96	3.199
50	0.98	3.902
100	0.99	4.600

V.2.5.3 Formule de Transition :

Pour les bassins versants d'une superficie comprise entre 1 km² et 50 km²

Le débit fourni par la formule de transition s'écrit :

Qt = **α** *Q (RT) + **β** *Q (CT)

Avec :

QT : Débit de projet de période de retour T ;

Q(RT) : Débit fourni par la méthode Rationnelle, période de retour T ;

Q(CT) : Débit fourni par la méthode Crupédix, période de retour T ;

α, β : Coefficients de pondération

α : Varie linéairement de 1 à 0 en fonction de la superficie S et

β = 1 - **α**

1 km2< S < 10 km2 **α** = (10-S) /9.

10 km2< S < 50 km2 **α** = (50-S) /40.

V.2.5.4 Formule de Mallet – Gautier :

Calcul des débits de crue des bassins versants de superficie supérieure à 200 km2

Le débit fourni par la formule de Mallet – Gautier s'écrit :

$$Qt = 2\,K \log(1 + A * P) * (\frac{S}{\sqrt{L}}) * \sqrt{1 + 4\log(T) - logS}$$

QT : Débit de pointe de période de retour T (m3/s).

S : la surface en km²

L : Longueur du cours d'eau (km).

P : Pluie moyenne annuelle du bassin versant (m) donné par ONM.

A : Coefficient régional du bassin, varie entre 20 et 30 on prend [A = 20].

K : Coefficient dépendant des caractéristiques géomorphologiques du bassin, varie entre 1 et 3 on prend [K = 2].

T : Période de retour T (Ans)

V.2.5.5 Résultats du calcul des débits du notre projet :

Tableau V-7: Résultats de calcul des débits

BV	Aire	Tc			Intensité		Rationnelle < 1km²		Crupedix entre 50km² et 200km²		Formule de Transition entre 1km² et 50km²			Mallet-Gauthier > 200km²	Valeur retenue 100=ans
	(km²)	(h)	P (10)	P (100)	I (10)	I (100)	Q10 (m³/s)	Q100 (m³/s)	Q10 (m³/s)	Q100 (m³/s)	α	β	Q100 (m³/s)	Q100 (m³/s)	Qmax (m³/s)
1	138.97	17.480	47.322	82.081	2.707	4.696	73.210	126.985	20.316	74.091					**74.091**
2	3.45	2.819	34.074	59.103	12.086	20.963	8.114	14.074	1.056	7.016	0.728	0.272	12.152		**12.152**
3	1.02	1.533	30.535	52.964	19.918	34.548	3.954	6.858	0.398	3.302	0.998	0.002	6.850		**6.850**
4	1.13	1.614	30.818	53.455	19.099	33.128	4.200	7.285	0.432	3.517	0.986	0.014	7.230		**7.230**
5	0.65	0.228	21.674	37.594	94.927	164.654	12.007	20.827	0.278	9.098					**20.827**
6	0.68	0.224	21.599	37.465	96.432	167.264	12.761	22.134	0.288	9.661					**22.134**
7	9	3.844	36.029	62.494	9.374	16.259	16.417	28.475	2.275	14.333	0.111	0.889	15.905		**15.905**
8	1310.03	31.435	52.594	91.226	1.673	2.902	426.525	739.820	122.270	435.566				989.42	**989.42**
9	0.55	0.429	24.277	42.110	56.621	98.212	6.060	10.512	0.243	4.695					**10.512**
10	66.87	5.077	37.880	65.704	7.461	12.941	97.090	168.406	11.316	82.631					**82.631**
11	0.9	1.149	28.990	50.283	25.236	43.772	4.420	7.666	0.360	3.607					**7.666**
12	4.82	2.658	33.716	58.481	12.682	21.998	11.896	20.634	1.380	10.118	0.576	0.424	16.170		**16.170**
13	1.22	1.281	29.562	51.276	23.085	40.042	5.481	9.507	0.460	4.486	0.976	0.024	9.384		**9.384**
14	0.78	0.777	27.021	46.869	34.764	60.298	5.277	9.153	0.321	4.197					**9.153**
15	0.2	0.321	23.051	39.982	71.705	124.374	2.791	4.841	0.108	2.158					**4.841**
16	2.79	2.121	32.373	56.153	15.261	26.471	8.286	14.372	0.891	6.977	0.801	0.199	12.901		**12.901**
17	0.35	0.249	22.019	38.192	88.340	153.229	6.017	10.436	0.169	4.589					**10.436**
18	1.4	1.503	30.425	52.774	20.247	35.120	5.516	9.568	0.513	4.565	0.956	0.044	9.346		**9.346**
19	62.36	4.833	37.546	65.125	7.768	13.474	94.267	163.509	10.701	79.943					**79.943**
20	0.38	0.279	22.465	38.966	80.624	139.845	5.962	10.341	0.181	4.560					**10.341**

V.3 Calcule hydraulique :

V.3.1 Dimensionnement des ouvrages transversale :

Les dimensions retenues pour ces ouvrages sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q100 \leq QS$$

Avec :

Q100 : Débit de crue centennal (débit d'apport) en m^3/s

QS : Débit de saturation de l'ouvrage en m^3/s.

Ce prédimensionnement est vérifié par la suite en calculant Le débit de saturation (QS) des ouvrages transversaux par l'utilisation de la formule de « Manning Strickler » :

$$Qs = Sm\ Ks \times I^{1/2} \times Rh^{2/3}$$

Ks : Coefficient rugosité dépend de la nature des parois internes de l'ouvrage (**Kst=70** correspond au béton grossier avec coffrage bois)

I : pente longitudinale de l'ouvrage (m/m)

Rh : rayon hydraulique = $\frac{\text{section mouillée}}{\text{périmètre mouillé}}$;

Sm : Section mouillée de l'ouvrage (m^2)

Pm : Périmètre mouillée de l'ouvrage (m^2)

Pour les dalots :

Ht ≤ 2.5 m : Hu =80% la hauteur totale ;

Ht > 2.5 m : Hu = Ht-0.5.

La section et le périmètre mouillés de 80% sont calculés avec les formule suivant :

Sm=Hu*b

Pm=B+2Hu

Pour les buses :

La section et le périmètre mouillés de 80% sont calculés avec les formule suivant :

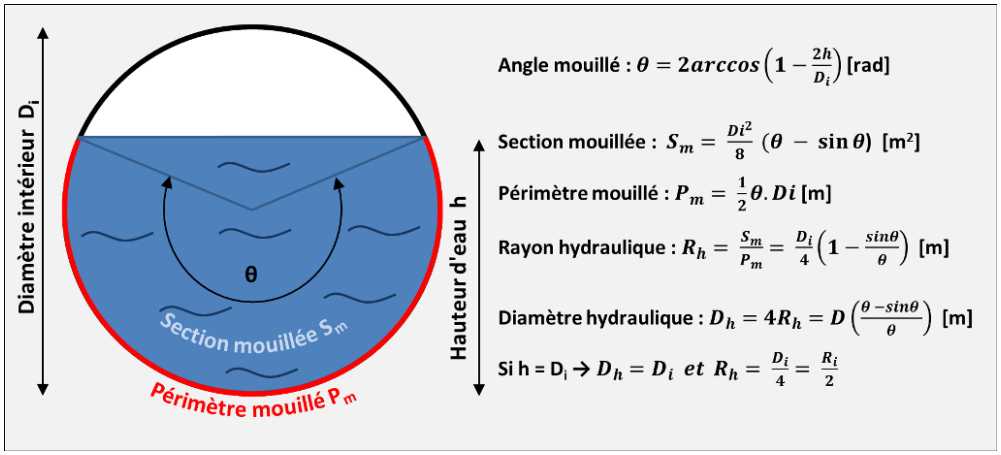


Figure V-3 : Dimensions d'une buse

Pré dimensionnement de la buse :

Exemple de calcul pour BV3 avec Q100=6,850 m³/s et buse de Ø=2000 :

Angle mouillé : $\theta = 2\text{arcocos}\left(1-\frac{2h}{Di}\right) = 2\arccos\left(1-\frac{2*(0.8*2)}{2}\right) = 4.428$ rad

Section mouillée : $Sm = \frac{Di^2}{8}(\theta - \sin\theta) = \frac{2^2}{8}(4.428 - \sin 4.428) = 2{,}694\text{m}^2$

Périmètre mouillée : $Pm = \frac{1}{2}\ \theta\ * Di = \frac{1}{2}\ 4.428\ * 2 = 4{,}428$ m

Rayon hydraulique : $\frac{\text{Sm}}{\text{Pm}} = \frac{2{,}694}{4{,}428} = 0{,}608$ m

Avec :

Une Pente de 0.6 %

Buse en béton : Kst = 70

$$\mathbf{Qs = Ks\ \times I^{1/2} \times Rh^{2/3}.Sm = 70\ \times\ 0.006^{1/2} \times 0.368^{2/3} \times 1.515 = 10,486 m^3/s}$$

Pour 3 buses de Ø=1500 : $Qs = 10{,}486\text{m}^3/\text{s} > Q_{100} = 6{,}850\text{m}^3/\text{s}$

La condition : $Qs > Q_{100}$ est verifier

Vérification d'auto-curage :

1) $Vps = \frac{Qs}{Sm} = \frac{10{,}486}{2{,}694} = 3{,}892 m/s < 4\text{m/s}$
2) Pour $\frac{Q}{Qps} = 0.1$ on a: $\frac{V}{Vps} = 0.638$ => V= 0.638 * 3,892= 2,487m/s < 0.6 m/s
3) Pour $\frac{Q}{Qps} = 0.01$ on a: $\frac{V}{Vps} = 0.32$ => V= 0.32 * 3,892= 1,246m/s < 0.3 m/s

Les conditions d'auto-curage sont vérifier

Pré dimensionnement du dalot :

Exemple de calcul pour BV1 avec Q_{100}=74.091m³/s et dalot de (3*2)

Avec :

Une Pente de 0.6 %

On a dans le cas de Ht ≤ 2.5 m : Hu =80% la hauteur totale

La hauteur utile : $Hu = 0.8 * 2 = 1.6\ m$

Section mouillée : $Sm = Hu * B = 1.6 * 3 = 4.8\ m^2$

Périmètre mouillée : $Pm = B + 2Hu = 6.2$ m

Rayon hydraulique : $\frac{Sm}{Pm} = \frac{4.8}{6.2} = 0.774m$

$$\mathbf{Qs = Ks \times I^{1/2} \times Rh^{2/3}.Sm = 17.917 m^3/s}$$

Pour 5 Dalot de (3*2) on a : $Qs = 89{,}586 m^3/s > Q_{100} = 74.091 m^3/s$

La condition : $Qs > Q_{100}$ est verifier

Vérification d'auto-curage :

1) $Vps = \frac{Qs}{Sm} = \frac{17.917}{4.8} = 3.988\ m/s < 4m/s$
2) Pour $\frac{Q}{Qps}$= 0.1 on a: $\frac{V}{Vps}$ = 0.638 => V= 0.638 * 3.988= 2.385 m/s > 0.6 m/s
3) Pour $\frac{Q}{Qps}$= 0.01 on a: $\frac{V}{Vps}$= 0.32 => V= 0.32 * 3.988= 1.194 m/s > 0.3 m/s

Les conditions d'auto-curage sont vérifier

Tableau V-8: Listing des ouvrages de drainage transversal projetés

N	PK	Q (m^3/s)	TYPE	I (m/m)	Sm (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	Qs (m^3/s)	Vps (m/s)	Pour Rq=0.1 V>0.6 (m/s)	Pour Rq=0.01 V>0.6 (m/s)
1	0+765	74,091	5 Dalot B=2 H=3	0,004	4,8	6,2	0,774	89,586	3,733	2,385	1,194
2	1+215	12,152	Prolongement des ouvrages existant 2 Dalot B=2 H=3								
3	1+715	6,850	Prolongement des ouvrages existant 2 Buses Ø=1500								
4	3+066	7,230	1 Buse Ø=2000	0,006	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246
5	3+484	20,827	2 Dalot H=2 B=2	0,006	3,2	5,2	0,615	25,106	3,923	2,507	1,255
6	5+669	22,134	2 Dalot H=2 B=2	0,006	3,2	5,2	0,615	25,106	3,923	2,507	1,255
7	5+885	15,905	1 Dalot B=2 H=3	0,004	4,8	6,2	0,774	17,917	3,733	2,385	1,194
8	7+085	Viaduc									
9	7+943	10,512	1 Dalot H=2 B=2	0,006	3,2	5,2	0,615	12,553	3,922	2,507	1,255
10	8+735	82,631	5 Dalot B=2 H=3	0,004	4,8	6,2	0,774	89,586	3,733	2,385	1,194
11	8+877	7,666	1 Buse Ø=2000	0,006	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246
12	9+275	16,170	1 Dalot B=2 H=3	0,004	4,8	6,2	0,774	17,917	3,733	2,385	1,194
13	9+891	9,384	1 Buse Ø=2000	0,006	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246
14	10+050	9,153	1 Buse Ø=2000	0,006	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246
15	10+413	4,841	1 Buse Ø=1500	0,01	1,515	3,321	0,456	5,620	3,709	2,370	1,187
16	11+131	12,901	2 Dalot H=2 B=2	0,006	3,2	5,2	0,615	25,106	3,923	2,507	1,255
17	11+505	10,430	1 Buse Ø=2000	0,008	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246
18	11+935	9,346	1 Buse Ø=2000	0,008	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246
19	12+507	79,943	5 Dalot B=2 H=3	0,004	4,8	6,2	0,774	89,586	3,733	2,385	1,194
20	12+709	10,341	1 Buse Ø=2000	0,006	2,694	4,428	0,608	10,486	3,892	2,487	1,246

V.3.2 Dimensionnement des ouvrages longitudinale :

V.3.2.1 Dimensionnement des fossés :

Pour le dimensionnement des fossés, on utilise la formule de **Manning-Strickler** :

$$Qs = Ks \times Rh^{2/3} \times Sm \times I^{1/2}$$

Où :

- La surface mouillée : $Sm = (b + z.h).h$

- Le périmètre mouillé : $Pm = b + 2h.\sqrt{1+z^2}$

- Le rayon hydraulique : $Rh = Sm/Pm$ avec :

- I pente longitudinale de fossé (m/m), égale à 0.002 au minimum

- z la pente des berges.

Pour la conception, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- La pente longitudinale des fossés en zone de déblai correspond à celle du profil en long de la voie.
- Les fossés en béton, qu'ils soient préfabriqués ou coulés sur place, ont un coefficient de rugosité Strickler Ks de 70.
- Les débits sont calculés selon le scénario le plus défavorable, c'est-à-dire avec un remblai ou un déblai de grande longueur et de hauteur importante.
- Le débit à évacuer est la somme des trois débits provenant de la plate-forme, des bermes et des talus : Qa = Qpf + Qb +Qt.

Chaque débit est déterminé en utilisant la méthode rationnelle :

Q10= 0.278 x C x I x A

Q10= Débit décennal (en m3 /s)

C= coefficient de ruissellement ;

I= Intensité de pluie (mm/h) : A=Surface du bassin versant en km² considérer : (la plate-forme ; les bermes ; les talus).

Remarque : période de retour pour le calcul fosse est 10 ans

V.3.2.2 Application sur notre projet :

Cas Remblai :

Le cas plus défavorable :

Longueur= 523.34 m

H talus= 11.2 m

Berme = 2m

Largeur de la plate-forme (longue coté) = 6.8m

Dans ce cas on a 2 types de profil en travers car la hauteur est supérieure à 8m donc on a 2 talus

Tableau V-9 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de remblai.

	Plateforme	Talus 1	Talus 2	Bermes
Cr	**0.7**	**0.4**	**0.4**	**0.4**
P (m/m)	**0.04**	**0.67**	**0.5**	**0.04**
A (km²)	**0.00355**	**0.00455**	**0.0015**	**0.00027**
Tc (h)	**0.0378**	**0.0104**	**0.00695**	**0.0104**
P (10) (m)	**15.682**	**12.443**	**11.561**	**12.437**
I (10) (mm/h)	**414.507**	**1189.013**	**1662.114**	**1191.972**
Q (m³/s)	**0.286**	**0.602**	**0.277**	**0.0358**
Q total(m³/s)	Qpf+Qt1+Qt2+Qb **= 1.201**			

Cas DEBLAIS :

Longueur= 308.82 m

H talus= 12.8 m

Berme = 2m

Largeur de la plate-forme (longue coté) = 6.8m

Dans ce cas on a 2 types de profil en travers car la hauteur est supérieure à 6m donc on a 2 talus

Tableau V-10 : Calcul des débits à évacuer dans le cas de déblai.

	plateforme	Talus 1	Talus 2	Bermes
Cr	0.7	0.4	0.4	0.4
P (m/m)	0.04	0.67	1.00	0.04
A (km²)	0.0021	0.00348	0.00123	0.000479
Tc (h)	0.0291	0.00915	0.00445	0.0139
P (10) (m)	14.959	12.147	10.6702	13.095
I (10) (mm/h)	514.062	1327.162	2395.629	942.297
Q (m³/s)	0.2101	0.514	0.328	0.0502
Q total(m³/s)	Qpf+Qt1+Qt2+Qb = 1.102			

Le choix de type du fossé est en fonction du débit à évacuer qui est rapporté par la plateforme, les bermes et les talus : Qa= Qpf+Qt1+Qt2+Qb

Tableau V-11 : Dimensionnement du fossé proposé.

B	H	z	$S_m(m^2)$	$P_m(m)$	R_h	K_s	I(m/m)	$Qs(m^3/s)$
0.5	0.6	3/2	0.84	2.663	0.315	70	0.005	1.926

On a $Qa = 1.201\ m^3/s < Qs = 1.926\ m^3/s$ Donc c'est verifier

En conclusion, les types des fossés adoptés pour notre projet sont : de forme trapézoïdal (B=0.5m, H=0.6 m, pente=3/2)

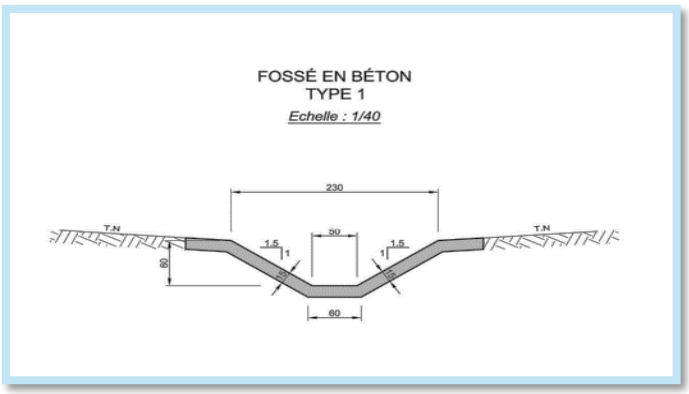


Figure V-4 : notre fossé adoptés

V.4 Conclusion :

Dans un projet linéaire tel qu'une ligne ferroviaire, l'étude hydrologique et hydraulique est primordiale et obligatoire, elle permet d'assurer la pérennité de la voie. D'après notre étude précédente, on déduit son importance dans ce projet par le volume conséquent des travaux de drainages longitudinaux et transversaux à réaliser le long de la ligne :

01 viaducs ,10 buses, 26 dalots.

Un fossé de forme trapézoïdal (B=0.5m, H=0.6 m, pente=3/2) le long de la ligne.

CHAPITRE VI : Etude géotechnique et géologique

VI. Etude géotechnique et géologique

VI.1 Introduction :

Ce chapitre présente les caractéristiques géologiques et géotechniques de la zone et des matériaux sur lesquels la nouvelle ligne, tronçon Bechar Gara Djebilet PK0+000 au PK 12+750 sera réalisée.

VI.2 Etude géologique :

VI.2.1 Introduction :

L'étude géologique vise à identifier et à prévenir les risques, tels que les cavités dues à la dissolution des gypses, les glissements de terrain, les inondations, la sismicité, le retrait-gonflement des argiles, la remontée de la nappe phréatique et le tassement des sols compressibles, qui pourraient compromettre la stabilité des structures. Elle se concentre sur l'interaction entre le sol de fondation et la structure, aboutissant au dimensionnement des ouvrages pour assurer leur stabilité.

VI.2.2 Situation géographique du site :

Notre secteur d'étude est situé dans la partie Sud-Ouest Algérien est limité par :

- Au Nord-Ouest frontière Algéro-marocaine
- A l'Ouest et au Sud-Ouest par la Hamada de Guir
- A l'Est par le grand Erg Occidental et au Sud par la chaine de l'Ougatra.

Les ensembles morphologiques dans notre trace d'étude :

- L'ensemble montagneux accidenté : Djebels.
- L'ensemble tabulaire : plateau désertique appelé « Hamada »
- L'ensemble en cuvette : dépressions.

Une chaine montagneuse qui fait partie de la région de Béchar est comme suite :

- Djebel Antar à 1953 m
- Djebel Grouz à 1835m
- Djebel Béchar à 1206m

VI.2.3 Géologie locale :

Selon la carte géologique d'Algérie 1/500 000 dans la partie de la section d'étude, les formations traversées ce sont comme suite :

Du Pk 0+000 au Pk 2+000 (ec) : Eocène supérieur caractérisé par des argiles conglomératiques, des grés et des calcaires lacustres

Du Pk 2+000 au Pk 2+500 (csc) : Calcaire fissuré du Crétacé supérieur

Du Pk 2+500 au Pk 4+730 (A) : Alluvions actuelles des oueds

Du Pk 4+730 au Pk 5+450 (cm) : Marnes avec de rares intercalations de bancs métriques de calcaires et marno-calcaire du Cénomanien moye

Du Pk 5+450 au Pk 5+850 (cic) : Grès et argiles et marnes rouges à gypse du Crétacé inférieur

Du Pk 5+850 au Pk 11+500 (qt) : Terrasses alluviales des oueds, caractérisées par des niveaux métriques de conglomérats, des argiles rougeâtres sableuses, alluvions, calcaires lacustres et des limons sableux.

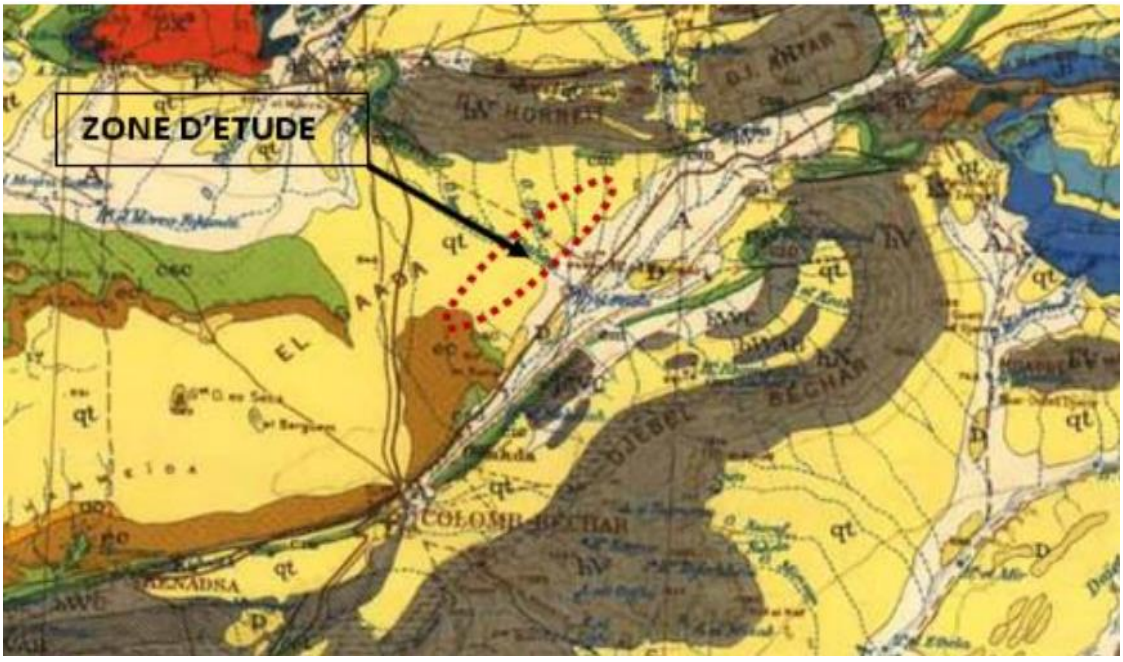


Figure VI-1 : Zone d'étude sur carte géologique d'Algérie 1/500 000

VI.2.4 Risque géologique :

VI.2.4.1 Sismicité

D'après les règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art (RPOA, 2008) le territoire national est subdivisé en cinq (05) zones de sismicité croissante :

Zone 0 : sismicité négligeable ;

Zone I : Sismicité faible ;

Zone IIa : Sismicité moyenne ;

Zone IIb : Sismicité élevée ;

Zone III : Sismicité très élevée.

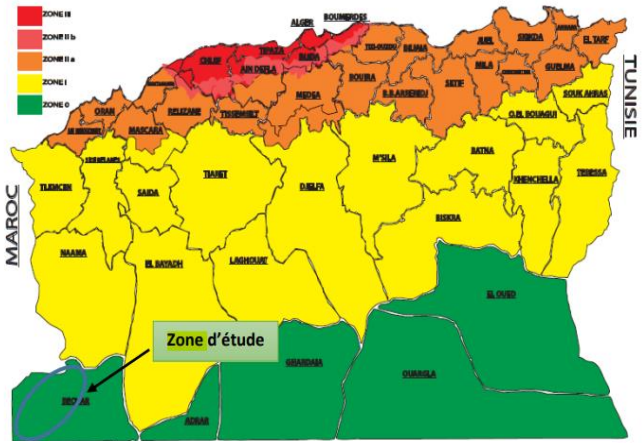


Figure VI-2 : La carte des zones sismiques en Algérie

D'après la carte des zones sismiques la zone d'étude est située dans la zone 0, caractérisée par une sismicité Négligeable.

VI.2.4.2 Ensablement :

Dans la zone d'étude on constate des traces de sable sous forme de pollution éolienne, localisées généralement au niveau des plateaux (Hamada) et des dépressions.

Les principaux pièges à sable rencontrés dans la zone d'étude se trouvent :

- Dans le couvert végétal

- Dans les bassins versants et les lits d'oueds, cela est dû à la dynamique fluviatile qui soutire les sables piégés des versants et les redistribue le long du réseau hydrographique, au cours des crues

- Auteurs des reliefs, ces derniers constituent un obstacle ce qui fait que le sable éolien épouse la forme des reliefs.

VI.3 Étude géotechnique :

VI.3.1 Introduction :

La géotechnique est une science dédiée à l'étude des propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols, essentielle pour la conception et la réalisation des projets d'infrastructure. Dans le cadre des projets ferroviaires, elle permet de localiser et caractériser les différentes couches de terrain traversées. Les investigations géotechniques, telles que les forages, les essais de

pénétration, et les mesures in situ, fournissent des données sur la densité, la résistance, la perméabilité et la compressibilité des sols. Ces informations sont indispensables pour assurer la stabilité et la durabilité des structures ferroviaires.

Dans cette partie sont énumérés les différents types d'investigations de terrain et les essais de laboratoire proposés :

• Reconnaissance sur site.

• Sondages mécaniques.

• Puits de reconnaissance.

• Essais de pénétration Standard SPT.

• Essais de laboratoire sur les échantillons des puits et des sondages.

VI.3.2 Programme d'investigation géotechnique :

Après l'observation du tracé projeté de la voie ferrée, nous proposons le plan d'investigation géotechnique de projet et l'objectif de ce programme sont :

- **Lot Tracé** : Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction la plate-forme et assise ferroviaire.
- **Lot Ouvrage** : Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol pour la construction d'ouvrage et notamment la définition de la fondation.

Tableau VI-1 : Programme d'investigation géotechnique.

Programme d'investigation géotechnique :	Type d'ouvrage en terre	Essais géotechniques	
		Essais in situ	Essais au laboratoire
Lot Tracé : (Dimensionnement de la plate-forme ferroviaire)	Remblais/ Déblais	- Puit de reconnaissance avec un prélèvement d'un échantillon paraffiné par couche	- Essais d'identification physique (G, γ, W, IP...). - Essais mécaniques. - Analyse chimiques.
Lot ouvrage d'art : (Dimensionnement de fondations des ouvrages)	Remblais/ Déblais	- Sondages Pressiométriques. - Sondages carottés. - Essais pénétration standard. SPT	- Essais d'identification physique (G, γ, W, IP.). - Essais mécaniques. - Analyse chimiques.

VI.3.3 Essais in situ :

VI.3.3.1 Les puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissance permettront de définir l'épaisseur de la terre végétale à décaper, d'observer visuellement les formations géologiques et de classer les différentes lithologies. Ils permettront également de déterminer l'épaisseur des dépôts de couverture tels que les remblais et les terrasses, ainsi que de collecter des échantillons remués à soumettre à des essais de laboratoire.

Tableau VI-2 : résultats des puis de reconnaissance

PK	Puits	Profondeur (m)	Lithologie
0+150	PR 01	1.60 m	Tuf graveleux caillouteux (grave plus ou moins anguleuse) de couleur jaunâtre à rougeâtre (encroutement)
1+075	PR 02	0.55 m	Tout venant naturel (grave limon et cailloux dans une matrice tufacée) couleur rougeâtre
02+ 000	PR 03	0.35m	Couche mince de remblais en sable repose sur une dalle gréseux calcaire (encroutement grés calcaire)
3+350	PR 04	0.10 m	Encroutement calcaire de couleur rougeâtre
4+200	PR 05	0.60 m	Encroutement calcaire de couleur jaunâtre sous une couche d'argile tufacée de couleur brunâtre
06+100	PR 06	0.00-1.20	Tout venant naturel
		1.20 ~	Gros blocs (refus)
07+600	PR 07	0.00-0.80	Tout venant naturel
		0.80 ~	Dalle d'encroutement calcaire
08+100	PR 08	0.00-0.40	Sable et limons
		0.40-0.70	Dalle d'encroutement calcaire
		0.70-1.30	Tuf sableux graveleux
		1.30-1.70	Tuf légèrement argileux
10+000	PR 09	0.00-1.00	Tuf limoneux
		1.00-2.00	Alluvions dans une matrice de tuf argileux sableux
11+500	PR 10	1.00 m	Alluvions dans une matrice de tuf couleur jaunâtre

Synthèse lithologique :

Les coupes des puits de reconnaissance établies montrent que la majorité des terrains rencontrés sont des sols fins constitués par des tufs graveleux caillouteux ou des encroutements calcaires.

VI.3.3.2 Sondages carottés :

Dans la plupart des cas, les sondages ont été réalisés avec l'objectif de connaître les caractéristiques géologiques-géotechniques ou de fournir des informations complémentaires sur les terrains en place. Nous donnons ci-dessous, la lithologie des sondages carottés réalisés.

Tableau VI-3 : Résultats des sondages carottés sur la lithologie

PK	N SC	Profondeur (m)	Lithologie
PK :0+710	SC 1	0,00 - 0,50	Tuf sableux limoneux caillouteux
		0,50 – 1,50	Tuf calcaire
		1,50 - 12,00	Roche calcaire incrustée.
PK : 01+ 859	SC 2	0,00 - 0,20	Sable fin rougeâtre
		0,20 -10,00	Intercalation de bancs centimétriques calcaires gréseux et de tuf sableux graveleux et caillouteux beige.
PK : 04+700	SC 3	0,00 - 0,30	Tuf calcaire
		0,30 - 15,00	Roche calcaire.
PK :5+850	SC 4	0,00 - 4,50	Tuf sableux limoneux caillouteux
		4,50 – 8,00	Tuf calcaire
		8,00 - 12,00	Roche calcaire plus ou moins altérée.
PK 9+675	SC 5	0.00-0.40	Terre végétale
		0.40-1.50	Tuf argileux de couleur rougeâtre
		1.50-4.50	Argile tufacée de couleur blanchâtre
		4.50-15.00	Calcaire plus ou moins altéré
PK 10+360	SC 6	0.00-3.00	Alluvions
		3.00-6.60	Alluvions avec une matrice légèrement sablo-limoneuse
		6.60-10.00	Argile rougeâtre
PK 11+320	SC 7	0.00-2.00	Alluvions
		2.00-8.40	Alluvions avec blocs.
		8.40-10.00	Argile limoneuse rougeâtre indurée (argilite)

VI.3.3.3 Essai de Standard Pénétration Test SPT :

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

Tableau VI-4 : Essai SPT

N° Forage	PK	Profondeur (m)	Nspt	Observation
F-01-LM/TB	PK01+850	3,00-3,45	50	Très dense
		6,00-6,45	50	
		9,00-9,45	50	
F-02-LM/TB	PK05+375	1,5-1,95	50	Très dense
		3,00-3,45	50	
		4,50-4,95	50	
SCR- 01	8+750	1.50-1.95	43	Dense
		3.00-3.45	31	Dense
SCD-03	9+675	1.50-1.95	21	Compact
		3.00-3.45	30	Dense
SC0- 03	10+960	1.50-1.95	28	Compact
		3.50-3.95	39	Dense
		6.00-6.45	42	Dense
		8.50-8.95	38	Dense
SCR- 02	11+500	2.00-2.45	28	Compact

Interprétation :

A partir des résultats obtenus, on peut estimer que le sol présent en place est majoritairement un sol **dense** a **très dense**

VI.3.4 Etude de la piézométrie :

Tableau VI-5: Lectures piézométriques sur les sondages

Sondage N°	Coordonnées pk	Niveau piézométrique	Observation
SC 11	**0+71**	**0**	**Sec**
		0	**Sec**
SC 12	**1+235**	**0**	**Sec**
		0	**Sec**
SC 15	**5+850**	**0**	**Sec**

Les levés piézométriques aux niveaux des sondages, ont révélé **un sol sec**

VI.3.5 Essai au Laboratoire :

Les échantillons intacts et remaniés, prélevés dans les puits reconnaissance et les sondages carottés à différentes profondeurs ont fait l'objet d'analyse en laboratoire, elles ont consisté à l'exécution des essais suivants :

Essais Physiques :

Analyses granulométrie : permet de déterminer les pourcentages des différentes familles de grains dans un échantillon, en utilisant le tamisage pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 µm et la sédimentométrie pour les grains les plus fins.

Les limites d''Atterberg : permettent de détecter les teneurs en eau exprimées en pourcentage qui correspondent aux différentes limites des états, tels que la limite de liquidité et la limite de plasticité.

Densité : C'est le rapport entre le poids et le volume (ɤh poids volumique humide, et ɤd poids sec sure le volume humide)

Essais VBS : également appelé essai au bleu, est utilisé pour déterminer l'argilosité d'un granulat de sable ou plus généralement d'un sol.

Essais mécanique :

Indice CBR : est utilisé pour évaluer la capacité des matériaux à supporter les charges des remblais et des couches de forme, ainsi que la traficabilité des engins de terrassement. Cet essai de portance est un indicateur important pour la conception et la construction des routes et des infrastructures.

Proctor modifié : permet de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la densité sèche optimale d'un sol par compactage.

D'après les résultats obtenus dans les essais d'identification, les sols ont été classifiés selon les classifications de GTR, et du UIC

Tableau VI-6 : Synthèse des résultats de laboratoire.

Puits N°	PK	Granulométrie			Wn	Ip	Vbs	ES (%)	Proctor		CBR %(95%PM	Classification GTR	Classification UIC
		Dmax	passant 2mm	<80µm					Wopm	ɣdopm			
PR 01	00+150	50	68	23	2.67	11.06	0.49	11	6.68	2.20	41	B5ts	QS2
PR 02	1+075	50	66	22	2.85	11.75	0.44	11	6.80	2.24	52	B5ts	QS2
PR 03	2+125	50	60	28	3.4	16.13	0.41	9	6.84	2.25	49	B5ts	QS2
PR 04	4+200	50	63	29	4.5	11.85	0.35	10	6.81	2.28	52	B5s	QS2
PR 05	06+100	31.5	60	20	6.88	11.02	0.22	17	10.1	1.86	13.8	B5s	QS2
PR 06	07+600	50	40	18	5.04	10.26	0.16	17	7.99	2.08	11.5	B5s	QS2
PR 07	08+100	31.5	45	21	6.7	12.36	0.17	26	10.5	2.1	14	B5s	QS2
PR 08	10+000	25	55	28	2.13	13.94	0.45	18	5.55	2.09	13.3	B5ts	QS2
PR 09	11+500	50	47	28	2.22	13.32	0.17	21	6.05	2.12	14.5	B5ts	QS2

Exemple de classification :

Classification selon **GTR** pour **PR 01** au **PK0+150** :

Classe des sols :

Dmax = 50 mm ≤50 mm alors la classe de sol est **A** ou **B** ou **D**

Le passant à 80 µm est 23% ≤ 35% alors la sous classe de sol est : **Bi**

(Sol sableux et graveleux avec fines)

On a tamisat a 80µm compris entre 12% et 35% et VBS ≤ 1.5

Donc le sous classe de sols sera **B5** (sable et graves très silteux)

On a : $Wn < 0.6 * Wopt$, $2.67 < 0.6 * 6.68 = 4$ donc la sous classe est **B5ts**.

Classification selon UIC 719 R : Le sol est de classe : **QS2 (sols moyens)**

Interprétation les résultats de laboratoire :

- Les essais granulométriques et sédiment métriques réalisées sur les échantillons testés montrent un pourcentage de passants à 80 µ faible à moyen compris entre 18% et 29% et des passants à 2µ compris entre 40% et 68%, ces résultats montrent que le terrain étudié, présente des formations qui se classent dans la catégorie des sols grenus avec un faible pourcentage de sols fines.
- Les IP varient dans l'intervalle 11.06< IP (%) < 16.13 ces valeurs montrent que le sol présente un état peu plastique.
- Les valeurs de VBS sont comprises entre 0.10 et 0.50 caractérisant ainsi des sols sablo limoneux avec une apparition de la sensibilité à l'eau

VI.3.5.1 Analyse chimique :

Agressivité des sols :

Le niveau d´agressivité du sol, c´est-à-dire les classes d´expositions XAi (attaques chimiques), peut être évalué selon les valeurs de la teneur en sulfates. Selon la norme relative à la classification des environnements agressifs (NF P 18-011, juin 2009),

Tableau VI-7 : Résultats des analyses chimiques

PK	N° Sondages	Profondeur (m)		Analyses chimiques		Classe d'agressivité
		De	À	Sulfate (mg/Kg)	Carbonate (%)	
0+150	PR01	0.00	1.6	830	68	XA1
1+075	PR02	0.00	0.55	540	72	XA1
2+125	PR03	0.00	2.0	820	75	XA1
3+350	PR04	0.00	0.1	820	79	XA1
4+200	PR05	0.00	0.6	650	59	XA1
4+700	SC 13	1,2	1,4	720	86	XA1
		5,2	5,55	580	89	XA1
		7,3	7,6	400	89	XA1
		9,6	10	302	93	XA1
06+100	PR 01	0	1.2	25600	35.2	XA3
07+600	PR 03	0	0.8	5900	13.2	XA2
9+675	SCD 01	4.50	4.70	600	60.53	XA1
10+360	SC 02	8.00	8.30	600	12	XA1
11+320	SC 04	9.00	9.30	43800	67.2	XA3

Résultat et interprétation :

L'analyse chimique a révélé que le sol est majoritairement non agressif, mais comporte certaines zones agressives. Il est donc nécessaire de protéger les ouvrages d'art dans ces zones en utilisant du ciment résistant aux sulfates (CRS).

Risque d'inondation :

Sur cette zone d'étude, aucune zone inondable n'est détectée

VI.4 Utilisation des matériaux pour le remblai :

VI.4.1 Matériaux de déblai :

Dans notre projet on a 2 sites de déblai (PK4+400 au PK5+350 et PK8+075 au PK8+425)

Par la classification GTR on a déterminer que les le type des matériaux de déblais sont de class B5s et qui sont les deux valable pour l'utilisation en remblais mais par des conditions :

Ces sols sont très difficiles à compacter, du fait de leur faible teneur en eau, En conséquence il convient :

- Soit de compacter intensément avec arrosage superficiel
- Soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le ramener en B5m

Cette humidification est encore relativement facile à réaliser

VI.4.2 Matériaux de Gîtes d'emprunts et carrières :

Tableau VI-8 : Localisation de gites d'emprunts

Localisation		Essais in Situ		Nature du sol	Classe UIC	Utilisation
Type	A proximité en parallèle	Essai in Situ	Prof (m)			
Gite 01	PK 12+000	PU 01-LM/TB-GE	4.00	Calcaire Gréseux	QS3	-Sous ballast -couche de forme -couche de fondation
Gite 02	PK 15+000	PU-02-LM/TB-GE	4.00	Dalle conglomératique	QS3	Couche supérieur du remblai

VI.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, On a identifié, à l'aide d'essais en laboratoire, que la classification du sol est **QS2**.

CHAPITRE VII : ASSISE FERROVIAIRE

VII. Assise ferroviaire

VII.1 Introduction :

L'infrastructure de la voie ferrée est la partie sur laquelle repose cette voie, elle sert à repartir sur la plateforme les charges exercées par les traverses et amortir les vibrations de la superstructure, de plus les couches d'assises contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur, le bon comportement de la voie ferrée du point de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast, la couche sous-ballast, couche de fondation et une couche anti contaminant si nécessaire et une couche drainante.

VII.2 Couches d'assise :

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

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

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

- des caractéristiques globales de la plate-forme qui dépendent non seulement des caractéristiques des sols, mais aussi des conditions hydrogéologiques du site ;

- des conditions climatiques du site ;

- du trafic (tonnages, charges, vitesses) ;

- de l'armement (profil des rails, nature et espacement des traverses, etc.).

VII.2.1 Le ballast :

Le ballast est un granulat de 25/50 mm utilisée actuellement en Algérie), il provient de concassage de roches dures (granite, quartzite, grès, gneiss, etc. ...). La couche de ballast a une épaisseur de 25 à 30 cm avec le rôle de :

- Répartir sur la plate-forme les charges concentrées qu'elle reçoit des traverses.
- Amortir une partie très importante de la vibration grâce à ses propriétés rhéologiques.
- Assurer, en raison de sa granulométrie, le drainage rapide de la voie.
- Permettre de rectifier rapidement le nivellement au moyen du bourrage dressage mécanisme.

Les caractéristiques de ballast comme suivant :

- Caractéristique de ballast
- Pierre rocheuse dure concassée, résistance à la compression : ≥ 12KN
- Résistance à la compression : ≥ 12Kn /cm² Maille : 22,4/63 mm
- Limite de maille entre 31,5-50 mm : 50%
- Résistance à l'érosion avec le coefficient Los Angeles : ≤ 15 %
- La granularité du ballast se situe proximité dans la classe 25 à 50 mm (pierre cassée).

VII.2.2 Sous-couche :

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre ballast et plate-forme, Elle comprend :

Une couche sous-ballast :

Le sous-ballast est essentiel dans la construction des voies ferrées. Il sert principalement à égaliser et réduire la raideur de l'assise. Composé de gravier propre bien gradué de 0/31.5 mm, avec au moins 30% de matériau concassé ayant une DRG ≥ 12, il est compacté à 100% OPN. En plus de l'égalisation, le sous-ballast aide à répartir les charges sur le sol de la plateforme.

Une couche de fondation :

La couche de fondation, généralement composée de grave propre bien graduée et compactée à 100% OPN, supporte la circulation des engins de chantier avant l'installation du sous-ballast. Elle n'est pas nécessaire sur les sols de bonne qualité. Les matériaux doivent respecter des spécifications, comme le sous-produit de carrière du ballast (0/31,5 mm) avec un DRG > 10.

La sous-couche est pentée transversalement (en toit ou en pente unique) vers des dispositifs longitudinaux d'assainissement (déblais) ou vers l'extérieur de plateforme (remblais).

La pente transversale minimale est de 4 %.

Elle a des rôles multiples :

- amélioration de la portance par action sur la raideur et meilleure répartition des charges transmises,

- contribution à l'amélioration des propriétés vibratoires,

- anticontamination entre plate-forme et ballast,

- protection contre l'érosion et le gel,

- évacuation des eaux.

VII.2.3 Plate-forme

Partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la sous-couche. La plate-forme est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai.

VII.2.3.1 Classification des sols pour la plateforme :

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

- L'identification géotechnique est utilisée pour déterminer la nature géotechnique du sol.
- Les conditions locales liées à l'hydrogéologie et à l'hydrologie sont considérées comme optimales si :

- Il est important que la couche supérieure du sol ne soit pas située au-dessus d'une nappe phréatique naturelle, avec la mesure du niveau de la nappe effectuée avant toute intervention de rabattement complémentaire et en période climatique défavorable.
- On considère que la plateforme est en bon état si elle ne subit pas de percolations naturelles d'eau à travers le sol, que ce soit de manière transversale, longitudinale ou verticale, qui pourraient être potentiellement polluées.
- Les eaux de pluie sont évacuées correctement de la plateforme et les dispositifs longitudinaux de drainage sont en bon état de fonctionnement.

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

On distingue, selon que les conditions ci-dessus soient bonnes ou mauvaises et selon les modalités de tableau, les quatre classes de qualité **QSi** de sols dans l'Annexe

Selon la fiche **UIC 719R**, la classe de qualité du sol de la plateforme, correspond au **QS2 (Sols moyens)** donc on a classé le sol en **QS2.**

Tableau VII-1: La classification de sol selon UIC

Puits N°	pk	Classification GTR	Classification UIC
PR 01	00+150	B5ts	QS2
PR 02	1+075	B5ts	QS2
PR 03	2+125	B5ts	QS2
PR 04	4+200	B5s	QS2
PR 05	06+100	B5s	QS2
PR 06	07+600	B5s	QS2
PR 07	08+100	B5s	QS2
PR 08	10+000	B5ts	QS2
PR 09	11+500	B5ts	QS2

VII.2.3.2 Classes de portance des plates-formes

La détermination des types de plateforme dépend des caractéristiques des sols qui composent le sommet des remblais ou des sols en place au niveau de la fondation de la plateforme en excavation. Ces caractéristiques incluent le type et l'état hydrique des sols, ainsi que leur épaisseur. Selon le code **UIC 719R**, ces facteurs permettent de définir les classes de qualité des sols et donc la classe de portance de la plateforme.

- En fonction de ces paramètres sont définis, selon le code **UIC719R,** trois types de plateforme (correspondantes à trois classes de capacité de support (Annexe) :
  - **P1 : plate-forme de médiocre qualité.**
  - **P2 : plate-forme de moyenne qualité.**
  - **P3 : plate-forme de bonne qualité**.

Tableau VII-2: Tableau la classe la portance de la plate-forme (normes UIC 719R p.34)

Classe de qualité du sol	Classe de portance de la plateforme	Couche de forme mettre en œuvre pour avoir cette portance	
		Qualité	Epaisseurs min e_f (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	**0.50**
	P2	QS3	**0.35**
	P3	QS3	**0.50**
QS2	P2	QS2	-
	P3	**QS3**	**0.35**
QS3	P3	QS3	-

Plate-forme proposée :

Après avoir pris en compte les informations précédemment mentionnées, y compris la classification de la qualité du sol de la région (QS2) et les directives fournies par les UIC, et en tenant compte du tonnage journalier important et des prescriptions des UIC, nous recommandons de choisir une plateforme de type **P3 (bonne plateforme)**. Cette plateforme est conçue pour offrir un niveau élevé de sécurité, de confort et de performance pour les voyageurs et les marchandises transportées sur les voies ferrées. Les résultats des travaux sur le terrain indiquent

que pour atteindre une bonne plateforme de classe P3, il est nécessaire d'ajouter une couche de forme adéquate.

Couche de forme :

Sur les matériaux **QS2,** une couche de forme dont la qualité de sol est **QS3** et cela sur une épaisseur minimale de **35cm.**

Calcul des épaisseurs minimales des couches d'assise :

Le calcul de l'épaisseur requise est déterminé à partir de la formule fournie dans le code **UIC 719R**, en utilisant les paramètres appropriés pour la section étudiée. Les valeurs des différents paramètres sont disponibles dans l'annexe

$$e\ (\mathrm{m}) = \mathrm{E} + \mathrm{a} + \mathrm{b} + \mathrm{c} + \mathrm{d} + \mathrm{f} + \mathrm{g}$$

VII.3 Application au projet :

Dimensionnement des structures d'assise pour section de **la ligne des voyageurs** entre PK 0+000 au PK9+750 :

E=0.45m pour les plateformes de classe de portance P3.

a=0 m pour les groupes UIC 1 et 2

b = $\frac{2.50-2.24}{2}$ **= 0.13m**, pour les traverses béton (monoblocs) de type **B440 (Vax U31)**

avec L= **2,24 m**

c = 0 ; pour un dimensionnement normal.

d = 0,05m ; pour une charge nominale d'essieux **225kN.**

f = 0 ; pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3

g = 0 ; pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol **QS3**

e = 0,45 + 0 + 0,13 + 0 + 0,05 + 0 ; e = 0.63m≈0.65 m

Soit approximativement 0.65 m. Donc notre structure de voie :

Epaisseur de la couche de ballast : 0.30 m.

- Epaisseur de la couche de sous-ballast : 0.20 m.
- Epaisseur de la couche de fondation : 0.15 m.
- Epaisseur de la couche de Forme : 0.35 m.

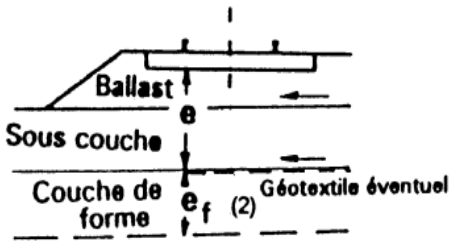


Figure VII-1 : Epaisseurs des composant de la structure d'assise

Nous prenons une épaisseur de 0,15 m pour la couche de fondation, car c'est le minimum requis.

Dimensionnement des structures d'assise pour section de la **ligne minière (marchandises)** pour la gare de bifurcation entre pk 9+750 au pk 12+750 :

E : E=0.45m pour les plateformes de classe de portance P3.
a : 0 m pour les groupes UIC 1 et 2

b = $\frac{2.5-2.4}{2}$ = **0.05m**, pour les traverses béton (monoblocs) de type **M450 NP** avec **L= 2,4 m**

c = 0 ; pour un dimensionnement normal.
d = 0,15 m Étant donné que le tonnage est très élevé dans ce cas exceptionnel, le maître d'ouvrage a proposé cette valeur en se basant sur les normes AREMA.
f = 0 ; pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3
g = 0 ; pas de géotextile lorsque la couche de forme est en sol **QS3**

e = 0.45 + 0 + 0.05 + 0 + 0.15 + 0 ; e = 0.65 m.

Le dimensionnement pour une charge de 32,5 tonnes par essieu nécessite une augmentation de l'épaisseur de la sous-couche de 5 centimètres par rapport à la valeur calculée.

Donc on prend **e= 0.65+0.05=0.70m**

Nous proposons les épaisseurs des couches d'assise ci- dessous :

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

VII.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a calculé l'épaisseur de la couche d'assise (30 cm Ballast, 15 cm, Sous ballast, 20 cm Couche de fondation) et dimensionner la couche de forme (35 cm CDF de qualité QS3) pour la section de **la ligne des voyageurs** entre PK 0+000 au PK9+750 et on a trouvé une couche d'assise (30 cm Ballast, 20 cm Sous ballast, 20 cm Couche de fondation) pour section de la **ligne minière (marchandises)** entre pk 9+750 au pk 12+750.

CHAPITRE VIII : Profile en travers

VIII. Profile en travers

VIII.1 Introduction :

Le profil en travers est important pour la conception et la construction des projets ferroviaires. Il définit les dimensions de la voie, les pentes des talus, les systèmes d'assainissement, ainsi que les mesures de protection contre les risques naturels tels que les ensablements et les éboulements.

Un profil en travers type, utilisé pour les sections homogènes de la voie ferrée, regroupe toutes les dimensions et détails nécessaires, notamment la largeur de la voie, les couches de la superstructure, les pentes des talus, les fossés et les murs de soutènement. Cela permet d'éviter de dessiner chaque profil avec des dimensions spécifiques, simplifiant ainsi la conception du projet et optimisant le temps.

VIII.2 Les éléments du profil en travers

Le profil en travers type doit inclure les éléments suivants :

Eléments de superstructure :

• Le type de rail utilisé.

• La valeur de l'écartement de la voie.

• La distance entre les axes (cas de plusieurs voies), pour notre projet on a une seule voie.

• Le type de traverse utilisé.

• La valeur de devers en courbe (maximum).

• L'épaisseur de la couche de ballast.

Eléments de l'infrastructure :

• Les épaisseurs et la nomination de chaque couche.

• Les pentes transversales de chaque couche.

• La pente latérale de la plate-forme.

Eléments du talus :

• La pente de chaque talus.

Eléments d'assainissement :

• Le type et dimension des ouvrages d'assainissement et/ou des draines.

VIII.3 Profile en travers type de mon projet :

- **Voie unique pk0+000 au pk1+200 et pk 3+000 au 9+750 :**

Le profil type utilisé sur notre tronçon a été choisi selon les exigences de la SNTF, il est le suivant :

• Les rails UIC-60 sont espacés de 1435 mm Avec des travers Bibloc B440 (Vax U31)

• Type de ligne : voie unique voyageur

• La voie repose sur une plateforme de 8 m de largeur

• La pente latérale de la plateforme est de 4%.

• Largeur de marche pied : 1 m.

• Les talus de déblais : H<6 (1H/1V en pente), H>6 (3H/2V en pente avec bermes=2m)

• Les talus de remblais : H<8 (3H/2V en pente), H>8 (2H/1V en pente avec bermes=2m)

• Epaisseur du ballast 30cm.

• Epaisseur de la sous- ballast 20cm.

• l'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.

• l'épaisseur de la couche de fondation est de 15cm.

• Fossé trapézoïdal (b= 0.50 m ; h= 0,6 m).

Doublement (Voie existant et nouvelle voie)

• Les rails UIC-60 sont espacés de 1435 mm Avec des travers Bibloc B440 (Vax U31)

• Type de ligne : Doublement voie existant et notre nouvelle voie de voyageur

• La voie repose sur une plateforme de 13,8 m de largeur

• La pente latérale de la plateforme est de 4%.

• Largeur de marche pied : 1 m.

• Les talus de déblais : H<6 (1H/1V en pente)

• Les talus de remblais : H<8 (3H/2V en pente)

• Epaisseur du ballast 30cm.

• Epaisseur de la sous- ballast 20cm.

• l'épaisseur de la couche de forme est de 35cm.

• l'épaisseur de la couche de fondation est de 15cm.

• Fossé trapézoïdal (b= 0.50 m ; h= 0,6 m).

Les cubatures de terrassement c'est l'évolution des cubes des déblais et des remblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne de projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.

- Les profils en travers.

- Les distances entre les profils.

Tableau suivant représente les résultats de calcul automatique :

Volume déblais (m^3)	Volume remblais (m^3)
266094,7	**369673,4**

Conclusion :

Le profil en travers est très important pour comprendre la forme du terrain et pour planifier les travaux de construction. Il montre les courbes de niveau, les pentes, les hauteurs et les éléments comme les routes et les canalisations**.**

CHAPITRE IX : Terrassement et ouvrage

IX. Terrassement et contrainte

IX.1 Terrassement :

IX.1.1 Définition :

Les terrassements modifient le relief d'un terrain pour créer une plate-forme ferroviaire. Ils incluent des déblais (enlèvement de terres) et des remblais (ajout de terres), parfois de grande hauteur. Des déblais et remblais excessifs peuvent provoquer des ruptures, souvent des glissements de talus. Les talus en construction sont des pentes formées pendant les travaux de terrassement pour une voie ferrée.

IX.1.2 Stabilité de talus :

La stabilité d'un talus fait référence à sa capacité à résister à l'effondrement ou au glissement.

Le calcul de stabilité concerne les grands ouvrages (remblais-déblais) avec des hauteurs importantes (h ≥ 6 m pour déblai et h ≥ 8 pour remblai).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la stabilité d'un talus, notamment :

- Angle de pente.
- Cohésion du matériau.
- Friction interne (angle de Frottement).
- Le poids volumique de sol.

Pour les calculs des stabilités, les facteurs de sécurité globaux, à prendre en considération :

- Fs ≥ 1.5 à long terme.

IX.1.2.1 Cas déblai :

Le calcul de stabilité du déblai ayant la plus grande hauteur est les résultats des calculs de stabilité obtenus sont présentés dans **Le tableau IX 2** et les détails de calcul sont joints en annexe **D** et les déblais inférieurs à 6.0m sont considérés stables au vu de la faible hauteur

Caractéristiques du déblai :

PK : 8+375

Hauteur totale : 12.5m

Pente proposée : 3H/2V avec une berme de 2 m

La charge de la superstructure de la voie ferrée voyageurs et des trains est de 30 KN/m2.

Les paramètres géotechniques du sol :

Tableau IX-1: Les paramètres géotechniques du notre sols cas déblai

Couches	γ [kN/m3]	φ(°)	C(kPa)
Tuf Argileux	19	38	10
Roche Calcaire	23	28.81	200

Vérification de la Stabilité des déblais :

Résultats de calcule des stabilités des talus par **GEO 5.0 2020** dans les cas de notre projet

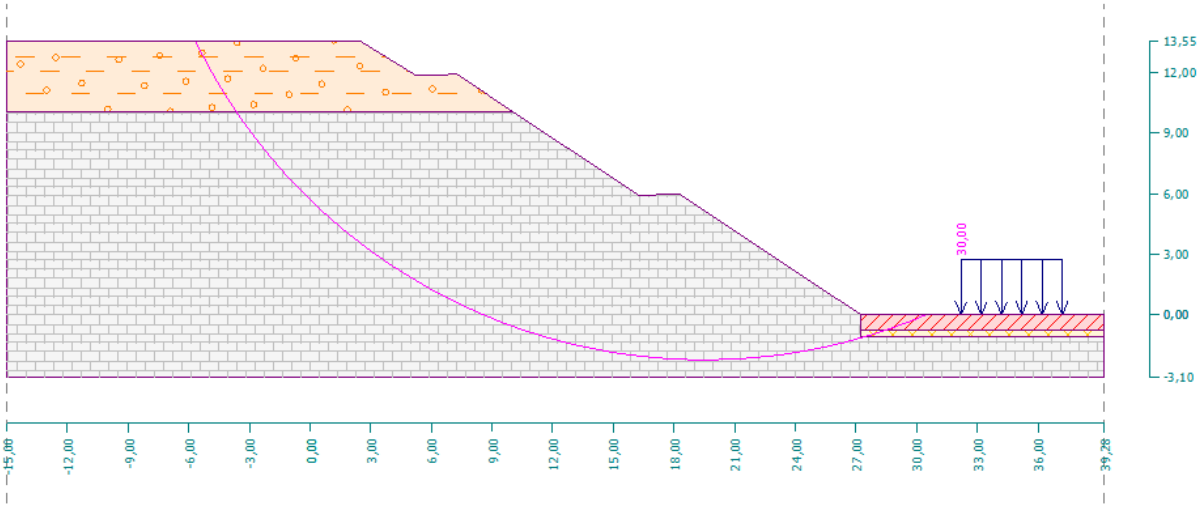


Figure IX-1: Vérification de la stabilité des déblais avec une pente de 2H/3V

Tableau IX-2 : les résultats de calcul de stabilité de déblai

Fs	Fs exigé	Fs calculé	Observations
Long terme	**1,5**	**5,65**	**Vérifiée**

IX.1.2.2 Cas remblai :

Les remblais inférieurs à 8.0m sont considérés stables au vu de la faible hauteur et les résultats des calculs de stabilité obtenus sont présentés dans le tableau **IX-3** et les détails de calcul sont joints en annexe **D**

Caractéristiques du déblai :

PK :12+500

Hauteur totale : 11m

Pente proposée : 2H/1V avec une berme de 2 m

Notre cas située dans la gare de bifurcation on a 3 voies minière de La charge 70 KN/m2 et une voie voyageurs de La charge 30 KN/m2

Les paramètres géotechniques du sol :

Tableau IX-4 : Les paramètres géotechniques du notre sols cas remblai

Couches	γ [kN/m3]	φ(°)	C(kPa)
Tuf Argileux	19	35	5
Tuf Calcaire	19	38	5
Roche Calcaire	20	28.61	200

Vérification de la Stabilité des remblais :

Résultats de calcule des stabilités des talus par **GEO 5.0 2020** dans les cas de notre projet

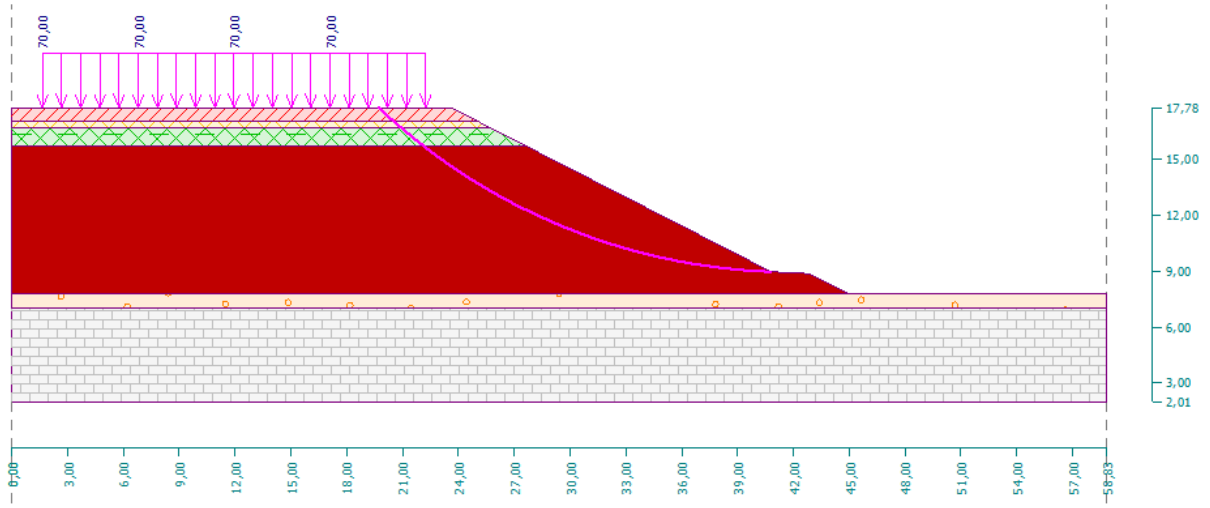


Figure IX-2 : Vérification de la stabilité des remblais avec une pente de 2H/3V

Tableau IX-5 : les résultats de calcul de stabilité de déblai

Fs	Fs exigé	Fs calculé	Observations
Long terme	**1,5**	**1.7**	**Vérifiée**

IX.1.3 Calcule des cubatures :

Les volumes des terrassements sont calculés après avoir défini la ligne rouge du projet et les différentes altitudes du terrain naturel à partir du tracé en plan, du profil en long et du profil en travers. Le calcul des cubatures des terrassements a été effectué à l'aide du logiciel **COVADIS 16.0d** Les tableaux ci-dessous résument les résultats obtenus :

Tableau IX-6 : Récapitulatif des volumes des couches d'assise et couche de forme

Matériau	Volume (m3)
BALLAST	49177.5
COUCHE DE FONDATION	25227.4
COUCHE DE FORME	54252.2
SOUS BALLAST	27741.8
REMBLAI QS3	77744.4

Tableau IX-7 : Récapitulatif des volumes de terrassement

Couche	Volume (m3)
Déblai	266094,7
Remblai	369673,4
Décapage	90491,3

IX.2 Les contraintes :

IX.2.1 Introduction :

Dans n'importe quel projet, avant toute installation de chantier ou commencement de tous travaux, il convient de faire une inspection du site afin de déterminer les contraintes liées aux voiries et réseaux divers (VRD), qui sont considérés comme des obstacles à éviter ou bien à contourner dans les cas inéluctables, pour assurer le bon déroulement des travaux.

Dans la section du projet entre le PK 0+000 et le PK 12+750 qui présente le premier tronçon de la ligne ferroviaire projetée, certains réseaux affectés sont présents le long du parcours.

Ces réseaux sont :

- Lignes électriques.
- Routes et chemins.
- Fibre optique.
- Oueds.
- Conduite pipe de gaz

IX.2.2 Les contraintes des réseaux de services :

Le tableau ci dessue ressemble toutes les lignes des réseaux de services (Lignes électriques, Fibre optique, Conduite pipe de gaz) qui traversent le tracé

Tableau IX-8: Tableau récapitulatif des contraintes des réseaux de service traversées par le tracé

Contrainte	Localisation
Fibre optique	PK 3+487
Ligne d'électricité HT	PK 6+512
Ligne d'électricité BT	PK 7+338
Ligne d'électricité BT	PK 7+350
Conduite pipe de gaz	PK 9+060

IX.2.3 Les Ouvrages d'art :

Pour concevoir un meilleur tracé qui répond aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale de la ligne ferroviaire a projeté et le franchissement des différentes infrastructures existantes et aussi les cours d'eau, on doit doter cette nouvelle ligne des ouvrages suivants :

1-Pont rails : Pont sur Oued, Passage inférieur

2-Ponts routiers : Passage supérieur

3-Les ouvrages hydrauliques :

-Buses et dalots (ces derniers seront détaillés dans chapitre **Etude hydrologique et hydraulique**)

IX.2.3.1 Ouvrages d'art prévues :

Le tracé de la ligne BEHCHAR– GARA DJEBILET du Pk 0+000 au Pk 12+750 traverses des pistes, la RN06, des oueds …etc. De de fait, des ouvrages d'art de franchissement et des ouvrages hydrauliques sont projetés compte tenu des croisements avec ces obstacles.

Viaduc et ouvrage ferroviaire :

Tableau IX-9 : les ouvrages d'art projetés sur notre tronçon

Rétablissements routiers	Localisation	Ouvrage d'art
Piste	PK 3+700	Passage supérieur
Piste	PK 5+398	Passage supérieur
RN 06	PK7+400	Viaduc
Route d'évitement de BECHAR	PK 8+527	Passage supérieur

NB : Notre viaduc est de longueur 1000m car il traverse Oued de Bechar, Piste et RN06

IX.2.3.2 Piste à supprimer :

Il y a 6 pistes à supprimer dans les PK suivants :

- PK 3+190, PK 3+970, PK 7+975, PK 10+172, PK 11+863, PK 11+608.

CHAPITRE X : Conception de la gare de bifurcation

X. Conception de la gare de bifurcation :

X.1 Introduction :

Une gare ferroviaire est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction : permettre la montée et la descente des voyageurs, et/ou le chargement et le déchargement des marchandises ainsi que pour certaines d'entre elles, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains.

Il existe plusieurs types de gare :

- **Gare de voyageur** :

  Les gares de voyageurs sont généralement implantées dans les grandes villes, et dans les lieux de grandes populations, ces gares sont chargées de tous installations pour recevoir les voyageurs

- **Gare marchandise** :

  Les gares de marchandise sont implantées dans les lieux industriels, agricoles et commerciaux importants, à proximité des grandes villes, des ports, des mines, des raffineries de pétrole et des grands laboratoires. Les gares marchandise sont chargées de toutes les installations pour le chargement, le déchargement et le stockage des marchandises. Émis et reçus par eux.

- **Gare mixte :**

  Ces gares seront implantées dans la ville industrielle, agricole et commerciale, et elles seront chargées de plusieurs installations pour recevoir les passagers et pour charger, décharger et stocker les marchandises délivrées par la gare.

- **Gare de croisement :**

  C'est l'une des plus petites gares, Ces gares sont implantées généralement sur les chemins de fer à voie unique, et elles sont chargées d'effectuer le travail de réception des trains des deux côtés de la gare en toute sécurité après l'arrêt de l'un des deux (ou sans arrêt).

X.2 La gare de bifurcation :

X.2.1 Définition :

Une gare de bifurcation ferroviaire est une gare où se séparent ou convergent plusieurs lignes de chemin de fer. Elle joue un rôle important dans le réseau ferroviaire en permettant le passage des trains d'une ligne à une autre. Cela peut inclure des lignes allant dans des directions différentes ou desservant des destinations variées.

X.2.2 Description général :

La future gare de BIFURCATION sera située du PK 9+750 au PK 12+750

- La gare de BIFURCATION se compose de 02 voies principales VA et VB et deux (02) voie d'évitements (de service) V4. V6 plus deux voie tiroir VT.

- La voie principale VA prenne la direction de la gare de Béchar au nord et au sud la direction de gara Djebilet.

- La voie principale VB prenne la direction de la gare de Toumiat.

- La fin deux voie tiroir se terminent par des heurtoirs H1, H2 Respectivement.

- Le schéma proposé de la gare de BIFURCATION se conforme au schéma proposé en phase APD avec quelques ajustements des positions des appareils de voie et des raccordements.

L'illustration ci-dessous présente le schéma de voie de la gare au-dessous :

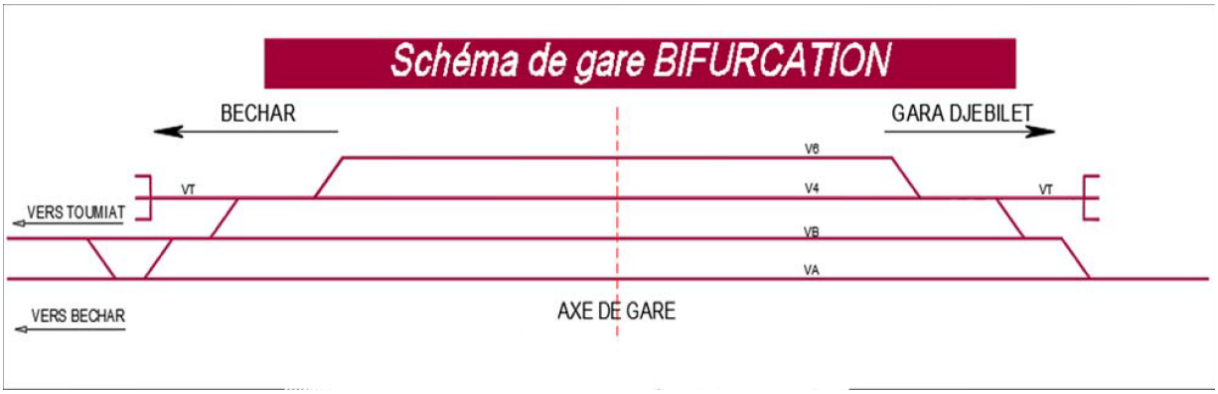


Figure X-1: schéma illustratif de gare de BIFURCATION

X.2.3 Aménagement de la gare :

X.2.3.1 Marge de glissement a l'aval des signaux :

C'est une section de voie qui se situe en aval d'un signal fermé, correspondant au parcours du train. Aucune autre circulation de train n'est autorisée sur cette section. Son objectif est de

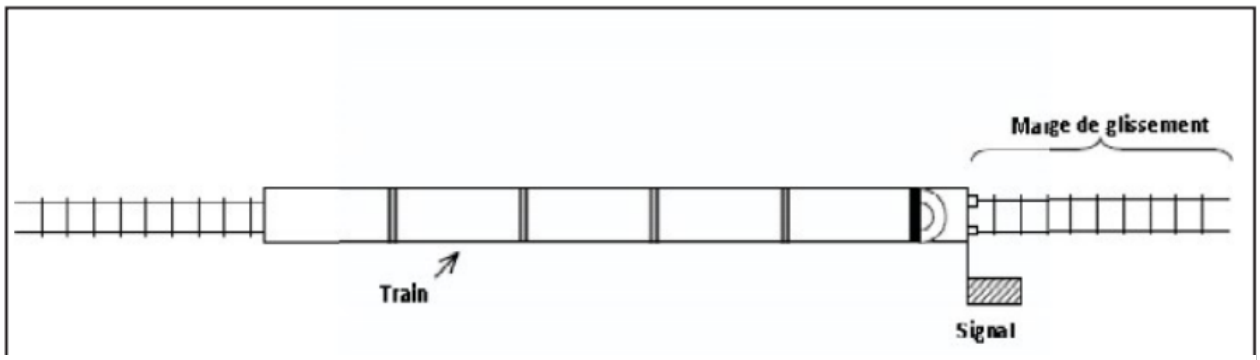


Figure X-2 : la marge de glissement

limiter les conséquences d'un accident et en cas d'interdiction d'occupation, d'éviter une collision en cas de non-arrêt du train avant cette marge

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

-LG = 200m pour V ≥ 60 km/h.

-LG = 100m pour 40km/h ≤ V ≤ 60 km/h.

-LG = 50 m pour V < 40 km/h.

X.2.3.2 Garage franc

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

GF = 3,57 x N + 1 mètre

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

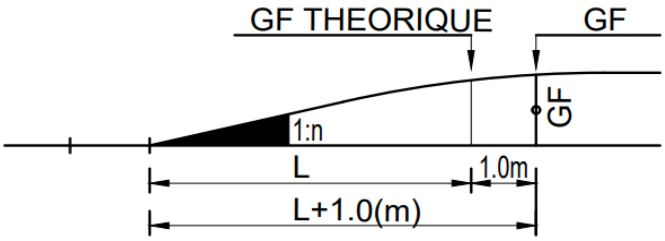


Figure X-3 : Schéma de garage franc

X.2.3.3 Heurtoir :

Sont des dispositifs situés à l'extrémité des voies de garage ou de sécurité pour signaler leur fin et empêcher les véhicules de dépasser. Ils absorbent l'énergie cinétique des trains grâce à des tampons, réduisant l'impact en cas de collision.



Figure X-4 : Les heurtoirs de sécurités

X.3 Caractéristique géométrique des gares :

La longueur utile d'une voie de stationnement :

C'est la longueur nécessaire pour permettre à un train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou sur les autres voies de dépassement voisines, représentant la distance séparant deux garages francs.

La longueur utile (LU) des voies est calculé comme suit :

LU = Longueur du train + Distance de glissement + marge de sécurité

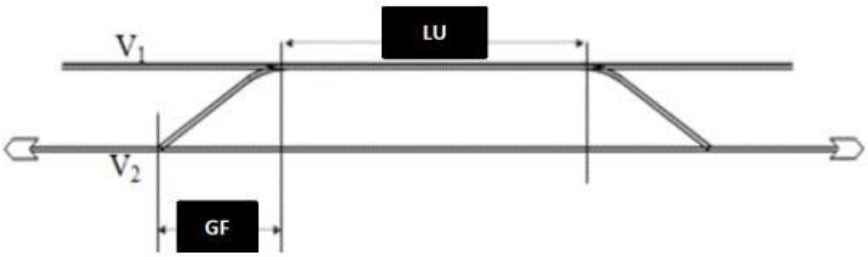


Figure X-5 : La longueur utile d'une voie de stationnement

Déclivité :

En gare, la déclivité est à limiter en fonction des activités qui y sont prévues. Dans notre projet, la déclivité est de 0‰ afin d'éviter tous déplacement

Les appareils de voie :

L'exploitation du chemin de fer exige des dispositifs de liaison et d'intersection des itinéraires. Ils sont désignés sous le forme d'appareils de voie

1- **Règles d'implantation :**

*** En tracé en plan :**

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

*** En pointe :** La longueur minimale d'alignement (L1) devra être égale à$\frac{Vd}{2}$, Vd étant la vitesse exprimée en km/h de franchissement en voie déviée.

***En talon de la branche déviée :**

Si la sortie d'appareil est en alignement : La longueur minimale d'alignement à respecter devra être égale à $\frac{Vd}{2}$.

Si la sortie d'appareil est en courbe :

- Vd < 100 : il conviendra de réserver un alignement de longueur minimale égale à $\frac{Vd}{2}$.ou de prolonger la courbe de l'appareil suivie elle-même d'un raccordement progressif

- 100 ≤ Vd < 160 : il est conseillé de prolonger la courbe de la voie déviée par un raccordement progressif dans le même sens et ce pour toute situation nouvelle.

- Vd ≥ 160 : la condition ci-dessus est obligatoire. Quelle que soit Vd, la longueur des raccordements sera calculée afin d'obtenir une variation maximale d'insuffisance de dévers ΔI/Δt de 75 mm/s (valeur normale) et 90 mm/s (valeur exceptionnelle).

En talon de la voie directe : Longueur minimale d'alignement L2, à réserver, doit être supérieure à 50m.

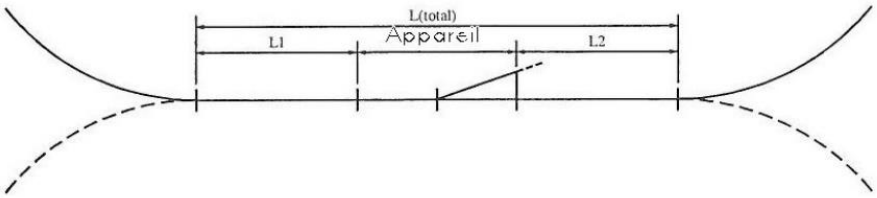


Figure X-6 Schéma illustratif des longueur minimale

Alignement droit intermédiaire :

Des alignements intermédiaires seront effectués lorsque les appareille situés l'un derrière l'autre forme des itinéraires de courbe et contre courbe la langueur doit être L = 0.1*V mais pas moins que L=6 m

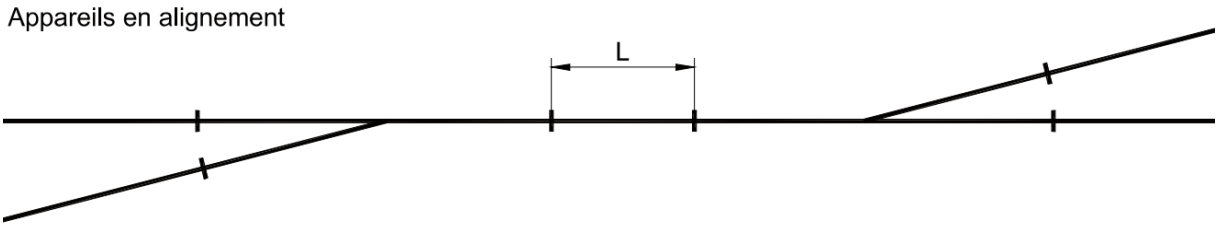


Figure X-7 : implantation des appareils de voie en alignement

Tableau-X-1- Les branchements

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

X.4 Application au projet :

Longueurs de la marge de glissement :

- Comme V ≥ 60 km/h alors LG = 200m.

Entraxe entre les voies :

Entraxe entre les voies est de 5 m

Longueur de garage de franc :

On a 2 types des appareils de voie :

UIC 60-500- 1/12: **GF= 3.57*12 + 1 = 43.84 m**

UIC 60-300- 1/9: **GF= 3.57*9 + 1 = 33.13 m**

La longueur utile :

Selon le maître de l'ouvrage longueurs utiles des voies de la gare sont :

Voie A (voie principale) = 2753.87 m

Voie B (voie principale) = 2568.46 m

V4 et V6 (voie d'évitement) = 2400 m

Voie tiroir = 25 m

X.5 Assainissement dans les gares :

X.5.1 Assainissement transversale :

Pour faciliter le ruissellement des eaux pluviales dans les gares, les surfaces doivent avoir une pente de 4 % en toit ou en V selon le cas, de manière à diriger ces eaux vers les voies. Ensuite, ces eaux sont évacuées grâce aux pentes transversales des plates-formes

X.5.2 Assainissement longitudinal :

Les drains disposés longitudinalement avec des pentes de 4 ‰ permettent de recueillir les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme, et de les évacuer vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

CHAPITRE XI : Signalisation Ferroviaire

XI. Signalisation Ferroviaire

XI.1 Introduction

La signalisation ferroviaire a pour but principal de réguler le déplacement des trains en assurant la distance de sécurité entre eux, en leur indiquant les limites de vitesse et en leur permettant de circuler de manière coordonnée et fluide. De plus, elle joue un rôle dans la protection des voyageurs, du personnel ferroviaire et des installations à proximité.

XI.2 Les Risques des Circulations Ferroviaires :

- **Le déraillement** : incident ou accident dans lequel un véhicule ferroviaire sort des rails, totalement ou partiellement et dont l'origine peut être diverse (avarie sur le matériel roulant ou l'infrastructure, vitesse excessive, etc.).
- **Le nez à nez :** collision frontale entre deux trains.
- **Le rattrapage :** collision par l'arrière lorsqu'un train percute un autre train qui se trouve devant lui.
- **La prise en écharpe :** collision latérale entre deux trains qui se produit à une intersection ou à une jonction de voies.
- **La collision avec un obstacle** (éboulement sur la voie, véhicule routier présent sur un passage à niveau, etc.).

Pour prévenir certains de ces risques, les exploitants ferroviaires ont mis en œuvre des solutions, telles que l'installation de signaux le long des voies.

XI.3 Principe de signalisation ferroviaire :

Les signaux ont appelé à remplir les rôles et les fonctions suivantes :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.

Chacune de ces signalisations comprend habituellement une signalisation d'annonce et une signalisation de rappel ou d'exécution.

XI.4 Implantation des signaux en Algérie :

Les signaux ferroviaires se classent en feux et en panneaux. Les panneaux sont habituellement positionnés du côté gauche de la voie, en accord avec le sens de circulation des trains à gauche, sauf dans les cas où cette disposition n'est pas réalisable.

XI.5 Les différents types de blocs :

Les différents systèmes utilisés pour gérer les signaux, appelés blocks, varient selon la catégorie de la ligne. Les principaux sont les suivants :

XI.5.1 Block Manuel (B.M) :

Utilisé sur les lignes peu fréquentées, ce système requiert l'ouverture manuelle du signal de block par un agent pour autoriser l'entrée sur la voie.

XI.5.2 Block automatique à permissivité restreinte (B.A.P.R) :

Utilisé sur les lignes moyennement fréquentées, ce système d'espacement utilise des signaux automatiques pour contrôler l'entrée des trains dans la voie suivante.

XI.5.3 Block automatique lumineux (B.A.L) :

Utilisé sur les lignes principales, ce système d'espacement utilise des signaux automatiques pour contrôler les trains en fonction de leur position et des conditions de circulation.

XI.6 Système de Cantonnement (systèmes d'espacement des trains) :

Il évite les rattrapages en fractionnant la ligne en cantons protégés par des signaux d'arrêt. Pour cette ligne à densité moyenne de circulation, le type de cantonnement utilisé est le block automatique lumineux (BAL).

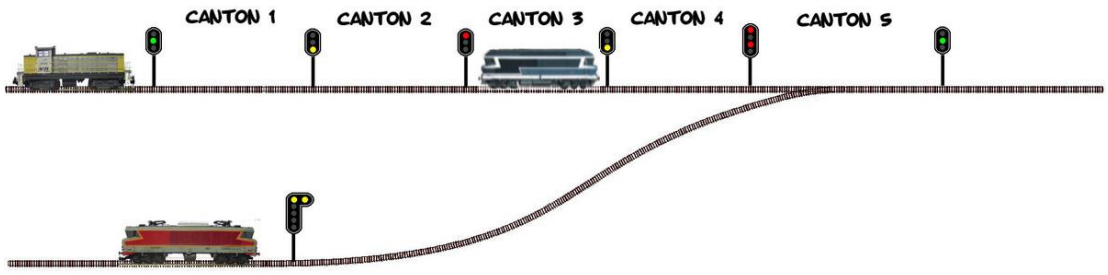
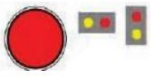


Figure XI-1: Schéma illustratif de canton[12]

[12] Risques Ferroviaires | Wiki SimRail FR/CH/BE (simrail-wiki.fr)

Tableau XI-1 : Les principaux signaux ferroviaires et leur indication

SIGNAL	INDICATION	SIGNALISATION LUMINEUSE	SIGNALISATION MECANIQUE
Signal ouvert Voie libre	Le Voie Libre indique au conducteur que la circulation en marche normale est autorisée		
Le feu vert Clignotant (VL)	Il commande au Mécanicien de réduire la vitesse à 160 km/h		
Carré fermé + feux De nuit	Le carré commande l'arrêt et ne doit en aucun cas être franchi.		
Feu violet ou Carré Violet fermé + feu de Nuit	Commande l'arrêt, il est installé sur les voies de service, son ouverture seule.		
Guidon d'arrêt			
Sémaphore /Feux rouge	Il commande au mécanicien de s'arrêter avant le signal		
Feu rouge clignotant	Marche sans dépasser la vitesse de 15 km/h au franchissement de ce signal		

Feu blanc	Il commande ou confirme au conducteur l'observation de la marche en manœuvre		
Feu blanc clignotant	Il interdit dans tous les cas le départ en ligne d'un train		
Les feux de heurtoir	Ils servent à repérer de nuit, ou en gare, les heurtoirs de fin de voie		
L'avertissement/feu jaune	"Il commande au mécanicien de pouvoir s'arrêter avant les signaux suivants : carré, sémaphore, carré violet, un rouge clignotant."		
Le feu jaune Clignotant(A)	Il commande au mécanicien d'être en mesure de s'arrêter avant le signal annoncé à distance réduite par le signal suivant.		
Le disque D	Il commande au mécanicien de marquer l'arrêt au premier signal ou aiguillage rencontré		
Le ralentissement 60	Le ralentissement 60 pour annonce une aiguille (ou plusieurs) en position "voie déviée" à passer à		

Le rappel de ralentissement 60	une vitesse maximale de 60 km/h.		

Plaque d'identification	Indication
	La pancarte indique une zone à vitesse limitée (Zone d'action).
	Le TIV fixe indique la vitesse à respecter à distance.
	La pancarte indique la sortie de la zone à vitesse limitée (Reprise de vitesse).
	La pancarte indique le point d'arrêt des trains sur le quai concerné (Tête de Train).
	Cette pancarte pour annonce une zone à gabarit limité (pont, tunnel).
	Le tableau indique que le train est dirigé vers un dépôt.

Le système de signalisation classique est obsolète et doit être remplacé par l'ERTMS pour répondre aux besoins actuels du trafic ferroviaire.

XI.7 Définition du système ERTMS :

Le système européen de gestion de trafic des trains, ERTMS (European Rail Traffic Management System), se compose de systèmes interopérables permettant la protection des trains, le pilotage automatique, et la radiocommunication sol-train. Il inclut principalement le système de contrôle/commande ETCS (European Train Control System) et le système de communication radio GSM-R (Global System for Mobiles – Railways).

L'ETCS : fournit des informations aux conducteurs de train, telles que les limites de vitesse, les indications de signalisation et les instructions de conduite. Il garantit également le respect automatique des limitations de vitesse et des distances de sécurité.

Le GSM-R : permet la communication vocale et les échanges de données entre les conducteurs, les opérateurs ferroviaires et le personnel de maintenance. Il fournit également des informations en temps réel sur l'état des voies et des trains.

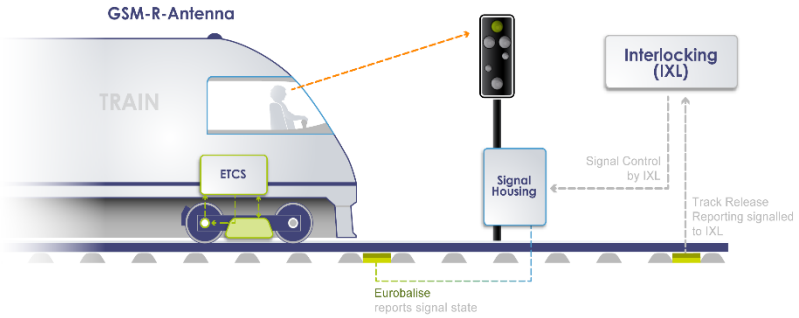


Figure XI-2 : le système de contrôle des trains ERTMS.

XI.7.1 Les fonctions D'ERTMS :

- Contrôle de la signalisation latérale par la balise standard pour communiquer avec un système à bord du train.
- Autorisation de déplacement jusqu'au prochain point de signalisation latérale en utilisant le principe de blocage fixe.
- Transmission des informations de signalisation latérale via l'Unité de Contrôle Latéral (LEU) à bord du train.
- Transmission continue de la position et de la vitesse du train via une antenne à tout moment.
- Protection des trains grâce à une communication intermittente entre la voie et le train via les balises.

XI.8 Conclusion :

Avec l'avènement d'outils informatiques de plus en plus performants, le domaine de la signalisation ferroviaire a connu un développement notable ces dernières années, contribuant de manière significative à la réduction des accidents et à la fluidité de la circulation du matériel roulant. Ces avancées technologiques permettent une gestion plus précise et sécurisée des réseaux ferroviaires, améliorant ainsi l'efficacité et la sécurité du transport ferroviaire.

CHAPITRE XII : Recherche bibliographique

XII. Recherche bibliographique

XII.1 Introduction

L'étude de la lutte contre l'ensablement de la ligne ferroviaire Béchar-Gara Djebilet est essentielle pour le développement et la préservation des infrastructures de transport en Algérie. Cette ligne, indispensable pour le transport de passagers et de marchandises, soutient l'économie régionale et nationale. Cependant, l'ensablement pose un défi majeur dans cette région désertique au climat aride, avec des températures élevées et des vents forts. Le déplacement de dunes peut obstruer les voies ferrées, perturbant ainsi le transport ferroviaire.



Figure XII-1 : Risque associé à l'ensablement

XII.1.1 Définition :

L'ensablement est le processus naturel par lequel le sable est déplacé par le vent ou l'eau et se dépose sur les terres environnantes, formant des accumulations de particules de sable dans diverses régions, notamment les zones désertiques, les terres agricoles, les villages, les routes et les infrastructures.

XII.2 Facteurs d'ensablement :

L'ensablement de la voie ferrée est un phénomène complexe qui peut être influencé par plusieurs facteurs clés. Parmi ces facteurs **:**

XII.2.1 Facteurs climatiques :

Aridité : Le Sahara Algérien se caractérise par un climat aride avec des précipitations faibles et une évaporation élevée. Cette sécheresse limite la croissance de la végétation, laissant le sol nu et exposé à l'érosion éolienne.

Vents forts : La région est sujette à des vents forts et fréquents, particulièrement sirocco, qui transportent d'importantes quantités de sable sur de longues distances.

XII.2.2 Facteurs géomorphologiques :

Erg : Le Sahara Algérien abrite de vastes ergs, des mers de sable composées de dunes mouvantes. Ces ergs constituent des sources importantes de sable mobilisable par le vent.

Relief plat : La topographie plate de certaines régions favorise l'accumulation de sable, sans obstacles pour freiner son déplacement.

XII.2.3 Facteurs anthropiques :

Déforestation : La disparition de la végétation due à des activités telles que la coupe illégale de bois et le surpâturage expose le sol à l'érosion éolienne et augmente la quantité de sable libre.

Activités agricoles : Certaines pratiques agricoles, comme le labour intensif et l'irrigation non contrôlée, peuvent fragiliser la structure du sol et le rendre plus susceptible à l'érosion éolienne.

Urbanisation : L'expansion des villes et des infrastructures dans les zones arides peut perturber les équilibres naturels et accentuer le phénomène d'ensablement.

XII.3 Impact de l'ensablement sur les infrastructures de transports :

XII.3.1 Accumulation de sable sur les rails :

Le sable peut s'accumuler sur les rails, réduisant l'adhérence entre les roues des trains et les rails. Cela peut entraîner des déraillements, une usure accrue des rails et des roues, et une diminution de la vitesse et de la capacité de freinage des trains.



Figure XII-2Accumulation des sables sur les rail

XII.3.2 Ensablement des aiguillages et des signaux :

Le sable peut s'infiltrer dans les aiguillages et les signaux, perturbant leur fonctionnement et augmentant le risque d'accidents.

XII.3.3 Erosion des talus et des remblais :

Le vent peut transporter le sable et éroder les talus et les remblais qui supportent les voies ferrées. Cela peut fragiliser les infrastructures ferroviaires et entraîner des glissements de terrain.

XII.3.4 Réduction de la visibilité :

Les tempêtes de sable peuvent réduire considérablement la visibilité, ce qui oblige les conducteurs de train à ralentir ou à interrompre la circulation, perturbant les horaires et augmentant les risques d'accidents.



Figure XII-3 : Visibilité diminuée en raison de l'ensablement[13]

XII.3.5 Coûts de maintenance accrus :

L'ensablement des voies ferrées nécessite des travaux de nettoyage et de maintenance réguliers, ce qui augmente les coûts d'exploitation des compagnies ferroviaires.

[13] 2024-03-2309:32:52.366017-meto-980x980.webp (980×653) (elkhabar.com.dz)

XII.4 Techniques de lutte contre l'ensablement :

XII.4.1 Végétalisation

La végétalisation le long de la voie ferrée et dans les zones environnantes consiste à planter des espèces adaptées pour stabiliser le sol et prévenir l'érosion éolienne et hydrique. En formant des obstacles naturels contre les vents forts, ces plantes aident à retenir le sable. De plus, en renforçant les berges des oueds dans les zones à risque d'ensablement, la végétalisation contribue à la stabilisation du sol et à la réduction de la vitesse des vents, particulièrement là où les lits des oueds sont comblés de sable.

Pour lutter contre l'ensablement de la ligne ferroviaire Bechar-Gara Djebilet, on utilise des espèces adaptées aux conditions arides, comme le Tamarix et l'Acacia. Ces plantes, résistantes à la sécheresse, stabilisent le sol, forment des barrières naturelles contre le vent, et ne nécessitent pas d'irrigation supplémentaire. La végétalisation, en plus de prévenir l'ensablement.

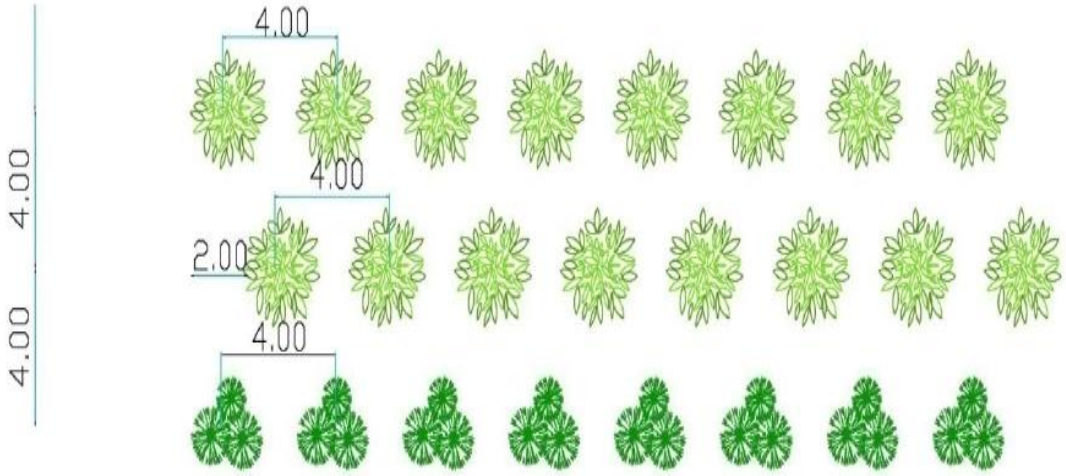


Figure XII-4 : Disposition schématique de la plantation en quinconce

On note que la quantité de rangées d'arbres de chaque côté de la voie ferrée et l'espacement entre les arbres varient en fonction de l'espèce, de l'intensité de l'ensablement et de la configuration du site de plantation.

XII.4.2 Haies naturelles

Une haie naturelle, composée de feuilles de palmier ou de branchages, protège les arbres et arbustes nouvellement plantés et lutte contre l'ensablement de la voie ferrée. Installée le long de la voie, elle forme une barrière physique contre les vents forts, le sable et les débris. La haie doit être perméable au vent pour ralentir sa vitesse et accumuler le sable, et doit avoir

une hauteur de 1 à 1,20 mètre pour être efficace, car le sable déplacé se trouve principalement dans les 30 cm au-dessus du sol**.**

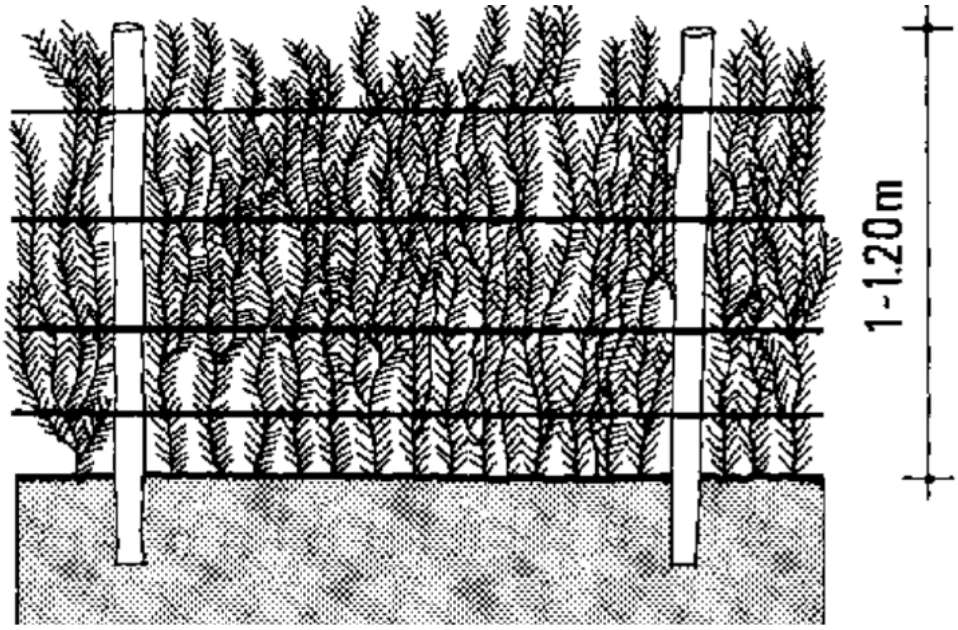


Figure XII-5 : Haie naturelle

XII.4.3 Reprofilage des talus :

Cette technique consiste à modifier la configuration des zones environnantes de part et d'autre de la voie ferrée pour prévenir l'accumulation de sable. Les mesures peuvent inclure le remodelage des talus en créant des pentes plus douces ou l'installation de structures de protection pour réduire les zones exposées aux vents de sable.

- Il est préconisé d'effectuer le reprofilage des talus en adoptant une pente de 10%.
- On note qu'est possible d'utiliser les surplus de matériaux excavés de la voie ferrée pour le reprofilage des talus

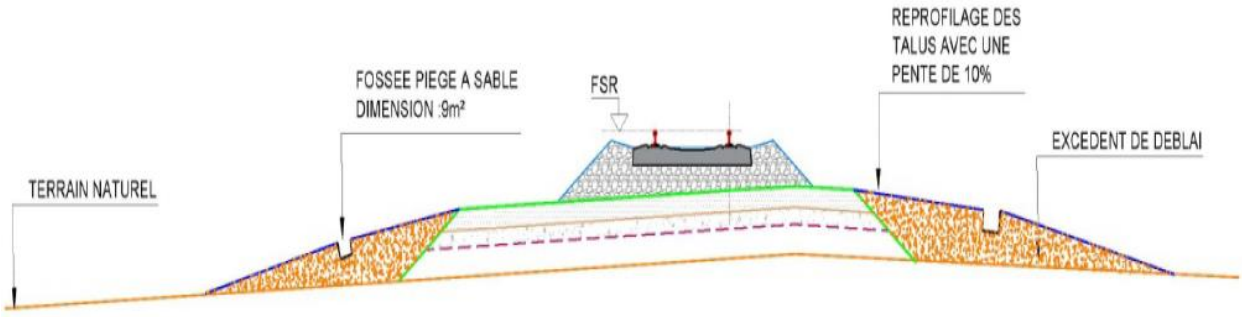


Figure XII-6 : Profil type de reprofilage des talus de part et d'autre du tracé

XII.4.4 Fossés piège à sable

Les fossés pièges à sable sont des excavations en parallèle à la voie ferrée qui sont conçues pour capturer et retenir le sable transporté par le vent, de manière à permettre la sédimentation du sable, tandis que l'eau peut s'écouler ou s'infiltrer librement.

Les profils du fossé piège à sable peuvent varier en fonction de la nature du sol du site d'implantation et des besoins spécifiques. Les trois profils couramment utilisés sont le trapézoïdal, le profil en V et le profil en U ou rectangulaire.

La figure suivante montre une coupe transversale d'un fossé trapézoïdal, ce profil est similaire au profil en V, mais avec des pentes plus douces.

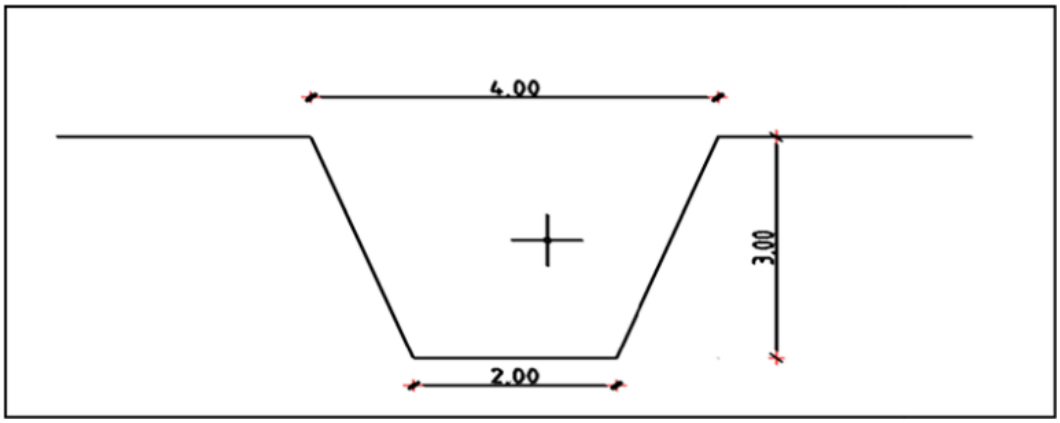


Figure XII-7 : Coupe transversale du fossé piège à sable

XII.4.5 L'arasement des dunes :

L'arasement des dunes proches de la voie ferrée se révèle être une solution technique efficace pour diminuer les problèmes d'ensablement sur la voie. Ces dunes agissent comme des réservoirs de sable, contribuant ainsi à l'ensablement de la voie ferrée. En les arasant, nous réduisons considérablement la source d'approvisionnement en sable qui pourrait être transporté vers la voie ferrée.

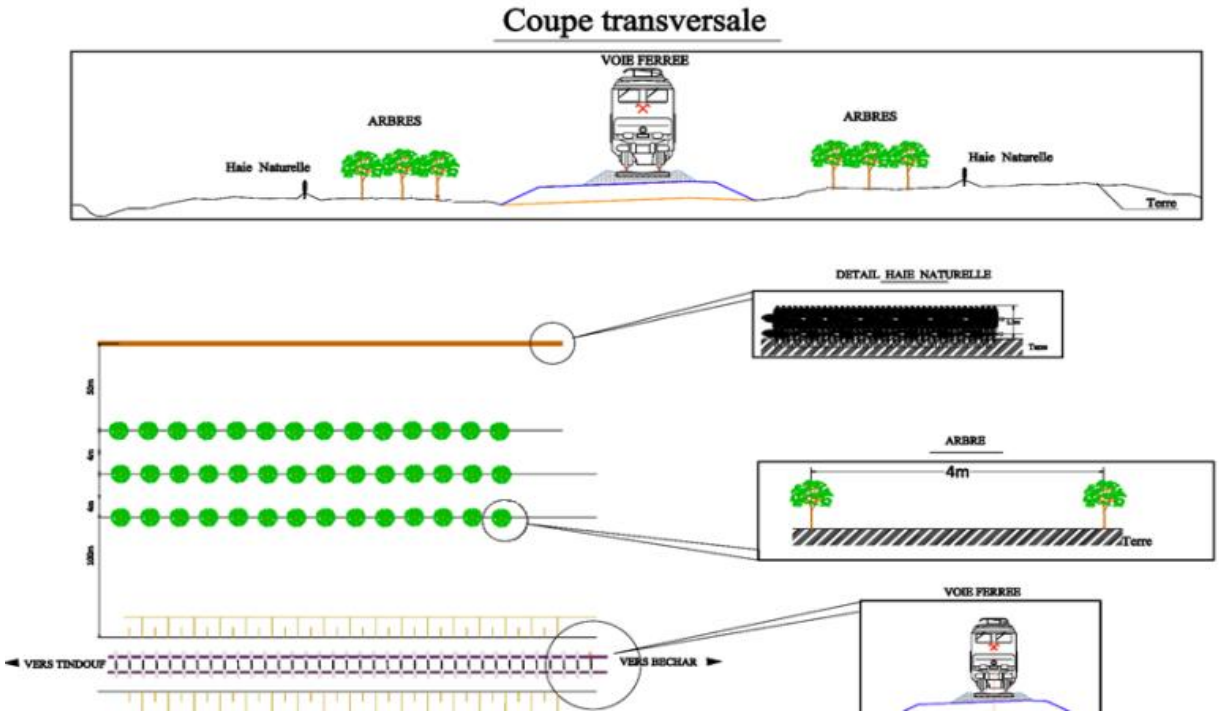


Figure XII-8 : plan de détail de lutte contre l'ensablement

XII.5 Conclusion :

L'ensablement de la ligne ferroviaire reliant Bechar à Gara Djebilet peut avoir de graves conséquences sur les opérations ferroviaires de la région. La zone d'étude est soumise à des conditions météorologiques extrêmes, incluant des tempêtes de sable et des vents forts. Ces conditions peuvent entraîner l'accumulation de sable sur les voies ferrées, perturbant ainsi le fonctionnement normal du réseau ferroviaire. Pour atténuer ce problème, il est nécessaire de mettre en œuvre des techniques spécifiques visant à réduire l'ensablement et à assurer une circulation ferroviaire plus sécurisée et efficace.

CHAPITRE XIII : Impact sur l’environnement

XIII. Impact sur l'environnement

XIII.1 Introduction :

L'impact des infrastructures sur l'environnement est la première étape importante de l'évaluation environnementale. Cette étape consiste à étudier les effets directs ou indirects que les infrastructures peuvent avoir sur l'environnement à court, moyen et long terme. L'objectif est de trouver des solutions pour éliminer, réduire ou compenser les impacts négatifs et maximiser les effets positifs du projet sur l'environnement.

XIII.2 Les éléments environnementaux pris en compte :

XIII.2.1 Environnement biologique :

XIII.2.1.1 La flore :

Le paysage végétal de la région se compose principalement de formations steppiques et pseudo-steppiques du Sahara Nord-occidental algérien, avec des zones de dépressions abritant des végétations arbustives et ripicoles comme le palmier dattier et l'Acacia raddiana.

XIII.2.1.2 La Faune :

Dans cette région, on distingue deux types de faune :

a. La faune domestique :

Principalement des cheptels caprin et camelin, avec une dominance des dromadaires.

b. La faune sauvage :

Reptiles, Scorpions, Mammifères (Gazelles Fennec …), Oiseaux ...

XIII.2.2 Environnement socioculturel :

XIII.2.2.1 Population Et Habitat

La commune de Bechar enregistre le plus grand nombre de population (232 858 habitants), ce qui représente 75,55 % du total de la Wilaya, avec une densité de 47 hab./km².

XIII.2.2.2 Agriculture :

Dans la Wilaya de Bechar, les terres agricoles se répartissent en terres labourables, cultures permanentes et pacages.

XIII.3 Evaluation des impacts du projet sur l'environnement :

XIII.3.1 Impacts positifs :

Les principaux avantages du mode ferroviaire sont :

- La réduction des temps de transport est une des principales raisons pour laquelle la ligne ferroviaire sera réalisée,

- Le gain du temps est suivi par un gains économiques liés aux couts du transport par rapport au transport par camions.

- De grands volumes peuvent être transportés à la fois et sur de grandes distances.

- La sécurité et l'amélioration des transports de la matière première (Fer) après extraction de la mine de Gara Djebilet.

- Sauvegarde de l'environnement par élimination de la consommation des carburants (gasoil).

Modernisation des moyens de transports.

XIII.3.2 Impacts négatifs :

Ces impacts sont généralement temporaires et peuvent avoir une influence directe ou indirecte sur la santé de la population ainsi que sur l'environnement naturel.

XIII.3.2.1 Impacts sur la population :

Les impacts négatifs du projet sur la population en phase de travaux portent sur l'expropriation des biens (bâtis, équipements et terrains agricoles), ainsi que des nuisances (émanations atmosphériques et bruits) générées par les travaux (terrassements, transports de matériaux, installation des équipements…etc.).

XIII.3.2.2 Effet de coupure :

Le chantier de construction provoquera des gênes à la circulation (coupure de routes et pistes d'accès, limitation des possibilités de liaison entre les deux côtés du tracé), notamment en ce qui concerne le déplacement de la population, les accès aux propriétés (champs et terres agricoles, fermes…) déplacement des troupeaux d'animaux, … etc.

XIII.3.2.3 Risque d'accidents :

L'accroissement de la circulation liée à la présence d'engins de chantiers et de camions de transport accroit les risques d'accident pour les travailleurs sur chantier surtout dans les zones de rétablissement des routes et des chemins ou les travaux s'interfèrent avec la circulation routière sur les axes à rétablir, et même pour les habitants situés à proximité des voies d'accès au chantier.

XIII.3.2.4 Impacts sonores :

Le trafic des engins à proximité des zones d'habitats provoque une gêne notable à la population proche de l'emprise du projet.

XIII.3.2.5 Impacts sur la qualité de l'air :

Le chantier peut avoir différents impacts sur la qualité de l'air, liés à :

- Des émanations de gaz par les installations de combustion, gaz d'échappement des engins et des camions, dont les principaux gaz échappés sont les CO, HC, CH4, CO2, NOx, SO2.

- Des émissions de poussières dues au transport de matériaux par les camions ;

- Une dispersion accidentelle de produits chimiques gazeux

XIII.3.2.6 Impacts sur les ressources en eau :

Le nettoyage du matériel de chantier, le lavage des camions et engins de chantier aux bords d'Oued, ainsi que le rejet des déchets sont à l'origine de la pollution des eaux lors de la phase de construction.

La modification du régime d'écoulement des eaux de surfaces à cause des mauvais travaux de terrassements, et de remblaiement.

XIII.3.2.7 Impact sur les eaux superficielles :

Le fonctionnement des engins lors des travaux nécessite des carburants, des huiles et des graisses, ce qui laisse présager un risque de contamination des eaux souterraines par infiltration lors d'un accident de diversement de ces dernier dans la nature.

XIII.3.2.8 Impact sur la faune et la flore :

La flore :

Les travaux de chantier peuvent entrainer l'abattage des pieds d'Arbres, d'Arbustes, et d'autres formations herbacées, ce qui provoque une réduction du couvert végétal,

La faune :

Les bruits et les vibrations occasionnés par les engins provoquent un dérangement de la faune sensibles (les mammifères en particulier), ainsi, les terrassements, qui provoquent la destruction et le changement d'habitat naturel de la faune locale.

XIII.4 Les mesures prises pour réduire ou compenser les impacts :

Les mesures compensatoires comprennent tous les moyens envisagés pour prévenir ou réduire les impacts environnementaux. Cette étude propose une liste d'actions, de dispositifs et de modes de gestion alternatifs visant à prévenir, atténuer ou éliminer les effets négatifs des phases de construction et d'exploitation de la nouvelle ligne ferroviaire.

XIII.4.1 Mesures d'atténuation des impacts négatifs sur la population :

L'expropriation des habitants doit être effectuée selon la réglementation Algérienne en vigueur, notamment la « Loi nº 91-11 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique », qui indique que toute personne déplacée doit être indemnisé et avoir un bien être équivalent ou meilleur que celui d'avant.

Conception des mures acoustiques et/ou des merlons afin de minimiser l'impact du bruit dans la phase exploitation.

Des signalisations claires des chantiers et pistes d'accès seront mises en place afin de limiter les risques d'accident.

XIII.4.2 Mesures d'atténuation des impacts négatifs sur la faune et la flore :

Protection des habitats naturels de la faune par minimisation dans la mesure du possible de destruction des espaces verts et des reboisements, qui sont de nature, l'habitat de la faune sauvage (avec tous ces genres et espèces).

- Mettre en place une signalisation appropriée aux endroits stratégiques (territoires de colonisation faunistique, de nidification, lieux d'existence des espèces protégées ou menacées de disparition…), afin d'éviter les risques d'atteintes majeurs à la faune locale,
- Prendre les mesures adéquates pour limiter les risques de mortalité de la faune sauvage par collision et écrasement.
- Sensibilisation du personnel du chantier sur l'importance de la flore et des faunes locale surtout les espèces protégées et celle en voie de disparition.
- Clôturer la zone des travaux pour éviter les risques d'intrusion faunique.

Solution proposé pour diminue les risques de mortalité de faune :

Création des passages à faune : Inférieurs ou supérieurs, ces ouvrages assurent les axes de déplacement des animaux.

XIII.4.3 Qualité de l'air :

Pour diminuer la pollution de l'air à cause de la génération de poussière durant la circulation des camions de transport, engins de terrassements, l'exécution des travaux, 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 au cours des jours à vent fort.



Figure XIII-1 : Arrosage des pistes de chantier.

XIII.4.4 Mesures d'atténuation des impacts du bruit :

Le bruit figure parmi les préoccupations fortes de la majorité des habitants riverains des infrastructures de transport et reste l'une des atteintes majeures à leur qualité de vie. La quasi-totalité des citoyens se disent personnellement gênés par le bruit à leur domicile (difficultés d'endormissement, de concentration, fatigue, stresse…).

- Pour les nuisances sonores en phase de travaux, la circulation des engins sera limitée, dans des horaires bien définis.
- Les travaux de nuit ne seront effectués qu'en cas d'urgence (rétablissement de routes ou de réseaux).
- La création de chemins latéraux va permettre de faciliter le déplacement des populations.

Solution proposé (Murs antibruit) :

Le mur anti-bruit est un mur extérieur destiné à isoler un espace des nuisances sonores qu'un autre espace induit par son activité.

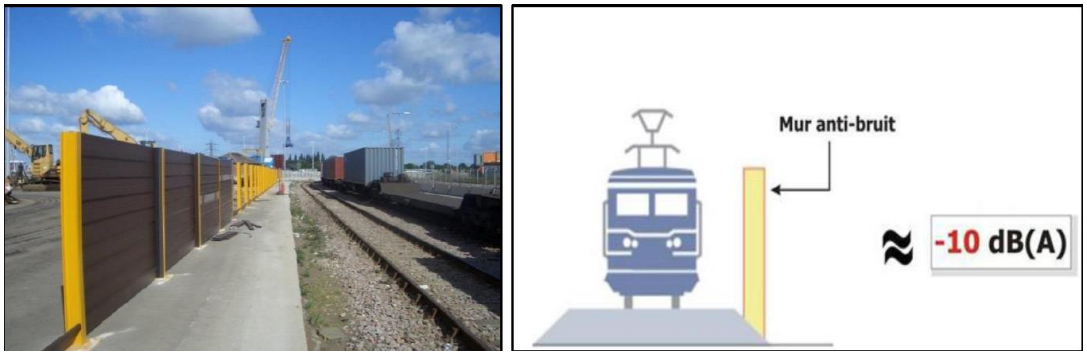


Figure XIII-2 : Mur anti- bruit

XIII.5 Conclusion :

Comme pour tout projet de cette envergure, la construction et l'exploitation de cette infrastructure auront inévitablement des impacts négatifs et irréversibles sur l'environnement, perturbant le fonctionnement naturel et urbain ainsi que le cadre de vie des riverains. Les principaux impacts concernent la consommation de terres et la fragmentation induite par le projet. Ainsi, il est essentiel de mettre en place un suivi et une surveillance rigoureuse des mesures de préservation et de récupération pour garantir une intégration environnementale optimale du projet.

CHAPITRE XIV : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF

XIV. Devis estimatif et quantitatif

N	DESIGNATIONS DES TRAVAUX	U	Prix Unitaire (DZD)	Quantité	Montant Total (DZD)
1-INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					
1.01	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	139,703,152.00	1.00	139,703,152.00
1.02	Repli du matériel et des installations du chantier	F	6,842,584.00	1.00	6,842,584.00
1.03	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	60,363,956.24	1.00	60,363,956.24
TOTAL INSTALLATION GENERALE DE CHANTIER					**206,909,692.20**
2- ÉTUDE D'EXECUTION POSE DE VOIE DE LA LIGNE					
2.01	Étude d'exécution des terrassement	F	200,000,000.00	1.00	200,000,000.00
TOTAL Étude d'exécution					**200,000,000.00**
3 - TERRASSEMENTS GENERAUX					
3.01	Décapage de terre végétale sur une épaisseur de 0,3 m	M³	450.00	90,621.10	40,779,495.00
3.02	Déblai mis en remblai	M³	469.13	245,968.00	115,390,967.84
3.03	Déblai mise en dépôt	M³	486.18	20,687.60	10,057,897.37
3.04	Mise en remblai de terrain issu de lieux d'em-prunt	M³	676.20	139,879.70	94,586,653.14
3.05	Fourniture et mise en œuvre de la couche rem-blais Qs3	M³	1,500.00	77,744.40	11,661,660.00
3.06	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme	M³	1,500.00	54,252.20	81,378,300.00
3.07	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fon-dation	M³	1,900.00	25,227.40	47,932,060.00
3.08	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast	M³	3,341.80	27,741.80	92,707,547.24
TOTAL TERRASSEMENTS GENERAUX					**494,494,580.59**
4 - DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS					
4.01	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 1500mm	Ml	17,000.00	42.70	725,900.00
4.02	Buses de tuyaux en béton armé diamètre 2000mm	Ml	23,000.00	171.34	3,940,820.00
4.03	Fossés trapézoïdaux en béton armé	Ml	4,720.00	23,700.00	111,864,000.00
4.04	Dalot en béton armé type 1 ; coupe transver-sale 2,00 X 3,00 m/2 cellule	M³	47,000.00	3,301.26	155,159,220.00
4.05	Dalot en béton armé type 2 ; coupe transver-sale 2,0 X 2,00 m/2 cellule	M³	42,000.00	547.36	22,989,120.00
TOTAL DRAINAGE ET ASSAINISSEMENTS – TRACE					**294,679,060.00**

5- OUVRAGE D'ART					
5.01	Viaduc	M²	150,000.00	13,000.00	1,950,000,000.00
TOTAL OUVRAGE D'ART					**1,950,000,000.00**
6- TRAVAUX DE LA VOIE					
6.01	Ballastage voie nouvelle	M³	4,500.00	30,814.30	138,664,350.00
6.02	Fourniture des traverses bi-bloc VAX U 31	U	17,000.00	16,250.00	276,250,000.00
6.03	Fourniture des rails NEUFS UIC 60 (60,34 kg/m)	Tonne	23,692.00	2,764.00	335,135,000.00
6.04	Fourniture des attachés pour rails UIC 60	U	523.80	85,004.00	44,525,095.20
6.05	Pose de la voie	ML	5,626.00	45,803.47	257,690,340.22
6.06	Fourniture des traverses monobloc M450	U	25,000.00	13,333.00	333,325,000.00
6.07	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	U	15,899,976.16	4.00	63,599,904.64
6.08	Fourniture des appareils de voie simples UIC 60-300-1/9	U	12,626,324.23	7.00	88,384,269.61
6.09	Pose des appareils de voie simples UIC 60-500-1/12	U	614,526.52	4.00	2,458,106.08
6.10	Pose des appareils de voie simples UIC 60-300-1/9	U	543,302.82	7.00	3,803,119.74
6.11	Soudage électrique	U	1,407.00	11,288.00	15,882,216.00
6.12	Soudage aluminothermique	U	128.00	751.00	96,128.00
6.13	Traverses de Garage Franc	U	40,891.56	11.00	449,807.16
6.14	Heurtoir	U	936,686.56	2.00	1,873,373.12
TOTAL TRAVAUX DE LA VOIE					1,562,136,710.77
7 - AMENAGEMENT EXTERIEUR DE LA GARE					
7.01	Réalisation des travaux d'aménagement de la gare de Bifurcation	F	1	15,000,000.00	15,000,000.00
Total Travaux de Gare					15,000,000.00
PRIX TOTAL hors taxes					**4,723,220,044.56**
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)					**897,411,808.3**
MONTANT DU PROJET EN T T C					**5,620,631,853.86**

Montant total en DA HT :

Cinq milliards six cent vingt millions six cent trente et un mille huit cent cinquante-trois dinars et quatre-vingt-six centimes.

CONCLUSION GENERAL

Le secteur ferroviaire est un pilier essentiel du développement économique et social en Algérie. Dans ce contexte, le projet de la nouvelle ligne minière Béchar-Gara Djebilet, s'étendant du PK 0+000 au PK 12+750 et incluant la conception d'une gare de bifurcation, revêt une importance stratégique majeure. Ce mémoire présente une étude APD (Avant-Projet Détaillé) sur une distance de 12,750 kilomètres.

Cette étude a impliqué des analyses géométriques pour définir précisément le tracé du projet, ainsi que des études géologiques et géotechniques pour évaluer les caractéristiques mécaniques du sol. Des études hydrauliques ont également été menées pour déterminer les ouvrages nécessaires à l'évacuation des eaux pluviales et souterraines. De plus, la conception des fondations et des terrassements a permis de définir les volumes nécessaires et d'estimer les coûts d'investissement du projet.

L'utilisation de logiciels spécialisés tels que COVADIS 16.0d, AUTOCAD et Geo5.0 a été essentielle pour réaliser ces études avec précision et efficacité. L'application rigoureuse des normes de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer) et de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires) a également été fondamentale pour garantir la qualité et la conformité du projet.

En conclusion, ce projet de la ligne minière Béchar-Gara Djebilet renforce non seulement les infrastructures ferroviaires du pays, mais contribue également de manière significative au développement économique régional, à la création d'emplois et à l'amélioration des transports.

o LA BIBLIOGRAPHIE

- SNCF, "Conception du tracé de la voie courante V<220km/h IN 0272.
- SNTF, "Constituants de la voie," Référentiel technique. Chapitre 9 : SNTF, ed.,2005.
- SNTF, "GEOMETRIIE DE LA VOIE," REFERENTIEL TECHNIQUE, 2005.
- UIC, "Caractéristiques de tracé des voies parcourues par des trains de voyageurs rapides
- UIC 703R," Union Internationale des Chemins de fer, DE-Consult, ed., 01.01.89.
- UIC, "ouvrage en terre et couche assise ferroviaire " 719 R, DE-Consult, ed., 1995
- ANESRIF. "agence nationale et de suivi de la réalisation des investissement ferroviaires,"
- Cours voie ferrée de Mr. Morsli "enseignent à ENSTP "
- Cours MDS03 de Mm. BADAOUI. "enseignent à ENSTP "
- Cours hydraulique appliquée Mr R. RAHMANI. "enseignent à ENSTP "
- Mr. Khelifi Ayoub Etude de faisabilité et D'APD de la nouvelle ligne ferroviaire TISSEMSILT –BOUGHEZOUL Du PK 86+000 au PK 108+500, Avec la conception de la gare CHAHBOUNIA
- Mr. OURANADER abd raouf Étude en APD de la nouvelle ligne ferroviaire à voie unique AIN EL BEIDA-KHANCHELA du PK 21+388 au PK 35+510 avec l'aménagement et la conception de la gare de M'TOUSSA.
- Cosider engineering Rapport de l'étude géologique et géotechnique
- Cosider engineering Rapport de l'étude hydraulique et hydrologique
- SETIRAIL Avant-Projet Sommaire Mission SIGNALISATION
- SETIRAIL Avant-Projet Sommaire Mission Etude d'impact sur l'environnement
- SETIRAIL Avant-Projet Sommaire Mission Etude de lutte contre l'ensablement

ANNEXE A : LISTING DE LA GEOMETRIE DE L'AXE EN PLAN.

Client : ENSTP **Préparé par : BOUDOUDA/LOUADJ**

LOGICIEL : COVADIS 16.0d **Date :05/06/2024 à 19 :06:31**

- **Axe en plan :** AXE PFE
- **Description :** étude APD de la nouvelle ligne minière reliant Béchar à Tindouf (Gara Djebilet)
- **Plage d'abscisse :** Début :PK 0+000, Fin :PK 12+750

				Points de Contacts		
Nom	Paramètres		Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement	12.05gr	83,025	0,000	574366,809	3501877,447
Clothoïde 1	Paramètre	-387,298	150,000	83,025	574382,429	3501958,989
Arc 1	Rayon	-1000.000 m	244,323	233,025	574414,316	3502105,522
	Centre X	575379.600 m				
	Centre Y	3501844.318 m				
Clothoïde 2	Paramètre	387,298	150,000	477,348	574506,169	3502331,266
Droite 2	Gisement	37.15gr	278,677	627,348	574585,648	3502458,435
Clothoïde 3	Paramètre	-387,298	150,000	906,025	574739,206	3502690,988
Arc 2	Rayon	-1000.000 m	132,692	1056,025	574824,941	3502814,025
	Centre X	575615.796 m				
	Centre Y	3502202.021 m				
Clothoïde 4	Paramètre	387,298	150,000	1188,717	574912,863	3502913,277
Droite 3	Gisement	55.15gr	1524,220	1338,717	575024,660	3503013,228
Clothoïde 5	Paramètre	-418,330	70,000	2862,937	576186,006	3504000,408
Arc 3	Rayon	-2500.000 m	120,300	2932,937	576239,551	3504045,495
	Centre X	577831.882 m				
	Centre Y	3502118.195 m				
Clothoïde 6	Paramètre	418,330	70,000	3053,237	576334,100	3504119,857
Droite 4	Gisement	60.00gr	541,650	3123,237	576390,535	3504161,270
Clothoïde 7	Paramètre	-400,000	100,000	3664,887	576828,716	3504479,676
Arc 4	Rayon	-1600.000 m	192,392	3764,887	576910,218	3504537,612
	Centre X	577809.868 m				
	Centre Y	3503214.499 m				
Clothoïde 8	Paramètre	400,000	100,000	3957,280	577075,429	3504635,977
Droite 5	Gisement	71.63gr	512,926	4057,280	577165,204	3504680,017
Clothoïde 9	Paramètre	-400,000	100,000	4570,206	577628,034	3504901,109
Arc 5	Rayon	-1600.000 m	180,439	4670,206	577718,707	3504943,270
	Centre X	578362.929 m				
	Centre Y	3503478.695 m				
Clothoïde 10	Paramètre	400,000	100,000	4850,646	577887,617	3505006,464
Droite 6	Gisement	82.79gr	871,355	4950,646	577983,696	3505034,174
Clothoïde 11	Paramètre	-400,000	100,000	5822,000	578823,396	3505266,905
Arc 6	Rayon	-1600.000 m	2631,633	5922,000	578920,032	3505292,607
	Centre X	579298.992 m				
	Centre Y	3503738.134 m				
Clothoïde 12	Paramètre	400,000	100,000	8553,633	580877,222	3504001,172
Droite 7	Gisement	191.48gr	500,931	8653,633	580891,603	3503902,215
Clothoïde 13	Paramètre	-387,298	150,000	9154,563	580958,477	3503405,769
Arc 7	Rayon	-1000.000 m	288,051	9304,563	580974,776	3503256,694
	Centre X	579976.510 m				
	Centre Y	3503197.830 m				
Clothoïde 14	Paramètre	387,298	150,000	9592,614	580950,369	3502970,678
Droite 8	Gisement	219.36gr	3040,926	9742,614	580909,048	3502826,521
				12783,540	579998,338	3499925,170
Longueur totale de l'axe 12783.540 mètre(s)						

ANNEXE B

ANNEXE A : LISTING DE LA GEOMETRIE DE PROFIL EN LOGN.

Client : ENSTP **Préparé par : BOUDOUDA/LOUADJ**

LOGICIEL : COVADIS 16.0d **Date :05/06/2024 à 19 :22:41**

- **Axe en plan :** AXE PFE
- **Description :** étude APD de la nouvelle ligne minière reliant Béchar à Tindouf (Gara Djebilet)
- **Plage d'abscisse :** Début :PK 0+000, Fin :PK 12+750

Elts Caractéristiques				Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon		Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente	-0.00 %	257,727	0,000	796,499
Cercle 1	Rayon	10000.000 m	97,138	257,727	796,499
	Sommet Absc.	257.727 m			
	Sommet Alt.	796.499 m			
Pente 2	Pente	0.97 %	282,130	354,865	796,971
Cercle 2	Rayon	-35000.000 m	212,057	636,994	799,711
	Sommet Absc.	976.975 m			
	Sommet Alt.	801.363 m			
Pente 3	Pente	0.37 %	492,450	849,051	801,129
Cercle 3	Rayon	25000.000 m	107,117	1341,501	802,929
	Sommet Absc.	1250.126 m			
	Sommet Alt.	802.762 m			
Pente 4	Pente	0.79 %	658,110	1448,618	803,550
Cercle 4	Rayon	-15000.000 m	116,069	2106,728	808,775
	Sommet Absc.	2225.824 m			
	Sommet Alt.	809.248 m			
Pente 5	Pente	0.02 %	208,103	2222,797	809,248
Cercle 5	Rayon	30000.000 m	139,089	2430,900	809,290
	Sommet Absc.	2424.847 m			
	Sommet Alt.	809.289 m			
Pente 6	Pente	0.48 %	370,378	2569,989	809,640
Cercle 6	Rayon	-40000.000 m	98,037	2940,367	811,432
	Sommet Absc.	3133.891 m			
	Sommet Alt.	811.900 m			
Pente 7	Pente	0.24 %	1253,965	3038,405	811,786
Pente 8	Pente	0.05 %	651,795	4292,370	814,780
Cercle 7	Rayon	-50000.000 m	209,090	4944,165	815,106
	Sommet Absc.	4969.165 m			
	Sommet Alt.	815.112 m			
Pente 9	Pente	-0.37 %	797,033	5153,254	814,773
Cercle 8	Rayon	20000.000 m	246,508	5950,287	811,838
	Sommet Absc.	6023.923 m			
	Sommet Alt.	811.703 m			
Pente 10	Pente	0.86 %	1168,501	6196,795	812,450
Cercle 9	Rayon	-20000.000 m	112,983	7365,296	822,550
	Sommet Absc.	7538.168 m			
	Sommet Alt.	823.297 m			
Pente 11	Pente	0.30 %	227,264	7478,279	823,208
Cercle 10	Rayon	-10000.000 m	82,929	7705,543	823,888
	Sommet Absc.	7735.487 m			
	Sommet Alt.	823.933 m			
Pente 12	Pente	-0.53 %	886,496	7788,472	823,793
Cercle 11	Rayon	30000.000 m	126,520	8674,967	819,096
	Sommet Absc.	8833.921 m			
	Sommet Alt.	818.675 m			
Pente 13	Pente	-0.11 %	644,374	8801,487	818,692
Pente 14	Pente	-0.00 %	3337,678	9445,862	817,995
				12783,540	817,995
Longueur totale de l'axe 12783.540 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 12783.665 mètre(s)					

ANNEXE C

ANNEXE C1

Coefficient K_1 :

Pente	**K_1**		
< 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 K_2 :

Nature du sol	**K_2**		
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 K_3 :

Couverture végétale	**K_3**		
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

Les tableaux des coefficients partiels K1, K2, K3

ANNEXE C2

Q / Q p s	V / V p s	h /D	Q / Q p s	V / V p s	h /D
0, 0 0 1	0,1 4	0,0 2	0, 5 3 4	1, 0 2	0, 5 2
0, 0 0 3	0,2 2	0,0 4	0, 5 6 8	1, 0 3	0, 5 4
0, 0 0 7	0, 2 9	0,0 6	0, 6 0 3	1, 0 5	0, 5 6
0, 0 1 3	0, 3 5	0,0 8	0, 6 3 7	1, 0 6	0, 5 8
0, 0 2 1	0, 4 0	0,1 0	0, 6 7 2	1, 0 7	0, 6 0
0, 0 3 1	0, 4 5	0,1 2	0, 7 0 6	1, 0 8	0, 6 2
0, 0 4 2	0, 5 0	0,1 4	0, 7 4 0	1, 0 9	0, 6 4
0, 0 5 6	0, 5 4	0,1 6	0, 7 7 3	1, 1 0	0, 6 6
0, 0 7 1	0, 5 8	0,1 8	0, 8 0 6	1, 1 1	0, 6 8
0, 0 8 8	0, 6 2	0,2 0	0, 8 3 7	1, 1 2	0, 7 0
0, 1 0 6	0, 6 5	0,2 2	0, 8 6 8	1, 1 3	0, 7 2
0, 1 2 6	0, 6 8	0,2 4	0, 8 9 8	1, 1 3	0, 7 4
0, 1 4 8	0, 7 2	0,2 6	0, 9 2 6	1, 1 4	0, 7 6
0, 1 7 1	0, 7 5	0,2 8	0, 9 5 3	1, 1 4	0, 7 8
0, 1 9 6	0, 7 8	0,3 0	0, 9 7 7	1, 1 4	0, 8 0
0, 2 2 2	0, 8 0	0,3 2	1, 0 0 0	1, 1 4	0, 8 2
0, 2 4 9	0, 8 3	0,3 4	1, 0 2 1	1, 1 4	0, 8 4
0, 2 7 7	0, 8 6	0,3 6	1, 0 3 9	1, 1 4	0, 8 6
0, 3 0 7	0, 8 8	0,3 8	1, 0 5 4	1, 1 3	0, 8 8
0, 3 3 7	0, 9 0	0,4 0	1, 0 6 6	1, 1 2	0, 9 0
0, 3 6 8	0, 9 2	0,4 2	1, 0 7 3	1, 1 2	0, 9 2
0, 4 0 0	0, 9 4	0,4 4	1, 0 7 6	1, 1 0	0, 9 4
0, 4 3 3	0, 9 6	0,4 6	1, 0 7 1	1, 0 9	0, 9 6
0, 4 6 6	0, 9 8	0,4 8	1, 0 5 7	1, 0 6	0, 9 8
0, 5 0 0	1, 0 0	0,5 0	1, 0 0 0	1, 0 0	1, 0 0

Tableau : Canalisation circulaires partiellement remplie

ANNEXE D

ANNEXE D1

Classe B (suite)

SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES (suite)

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN REMBLAI →

← NIVEAU DE CLASSIFICATION NECESSAIRE POUR L'EMPLOI EN COUCHE DE FORME →

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 80 µm ≤ 35%	**B Sols sableux et graveleux avec fines**	- tamisat à 80 µm ≤ 12% - tamisat à 2 mm ≤ 70% - **VBS** > 0,2 ou ES ≤ 25	B_4 Graves argileuses (peu argileuses)...	La plasticité de leurs fines rend ces sols sensibles à l'eau. Ils sont plus graveleux que les sols B_5 et leur fraction sableuse est plus faible. Pour cette raison, ils sont en général perméables. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique (humidification - séchage). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe, il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir "moyen". Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	**IPI** ≤ 7 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} th
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} th
					7 < **IPI** ≤ 15 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} h
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} h
					$0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_4 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} m
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} m
					$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_4 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} s
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} s
					$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_4 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} ts
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{42} ts
		- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - **VBS** ≤ 1,5 ou Ip ≤ 12	B_5 Sables et graves très silteux...	La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières, rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A_1. Pour la même raison qu'indiquée à propos des sols A_1 il y a lieu de préférer le critère VBS au critère Ip, pour l'identification des sols B_5. Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite de connaître leur résistance mécanique (Los Angelès, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).	**IPI** ≤ 5 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} th
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} th
					5 < **IPI** ≤ 12 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} h
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} h
					12 < **IPI** ≤ 30 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_5 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} m
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} m
					$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_5 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} s
							LA > 45 ou MDE > 45	B_{52} s
					$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_5 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} ts
							LA > 45 ou MDE >45	B_{52} ts
		- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - **VBS** >1,5 ou Ip >12	B_6 Sables et graves, argileux à très argileux	L'influence des fines est prépondérante ; le comportement du sol se rapproche de celui du sol fin ayant même plasticité que les fines du sol avec toutefois une plus grande sensibilité à l'eau due à la présence de la fraction sableuse en plus grande quantité.	**IPI** ≤ 4 ou $w_n \geq 1{,}3\ w_{OPN}$ ou **Ic** ≤ 0,8	B_6 th		
					4< **IPI** ≤ 10 ou 0,8 < Ic ≤ 1 ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}3\ w_{OPN}$	B_6 h		
					10< IPI ≤ 25 ou 1 < **Ic** ≤ 1,2 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq \mathbf{w_n} < 1{,}1\ w_{OPN}$	B_6 m		
					$0{,}7 w_{OPN} \leq \mathbf{w_n} < 0{,}9\ w_{OPN}$ ou 1,2 < **Ic** ≤ 1,3	B_6 s		
					$\mathbf{w_n} < 0{,}7\ w_{OPN}$ ou **Ic** > 1,3	B_6 ts		

*Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.*

Tableau : Classification du sol selon GTR

ANNEXE D2

COMPACITE	N_{30}
	Nspt (N=N2+N3)
Très lâche	***0 – 4***
Lâche	***4 – 10***
Compact	***10 – 30***
Dense	***30 – 50***
Très dense	***> 50***

Tableau : les résultats de essais de pénétration standard SPT

ANNEXE D3

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

Tableau : Classification UIC selon classification GTR

ANNEXE D4

Classe d´agressivité	Spécifications mg/kg	Environnement chimique
XA1	<2000	Non agressif
XA2	>3000 et ≥12000	Agressivité modérée
XA3	>12000 et ≤24000	Forte agressivité

Tableau : Classification de l'agressivité selon la norme NF P 18-011, juin 2009

ANNEXE D

ANNEXE D5

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

B_5 (états m, s et ts)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
B_5m	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique, qui peut très rapidement interrompre le chantier à cause de l'excès de teneur en eau ou au contraire, conduire à un matériau sec, difficile à compacter	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction frontale C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 0 0 0 2 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	C : compactage moyen	0 0 0 0 0 2 0
		–	évaporation importante	**Solution 1 : arrosage** W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0 0 3 0 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense	0 0 0 0 0 1 0
B_5s	Ces sols sont très difficiles à compacter, du fait de leur faible teneur en eau. En conséquence il convient : - soit de compacter intensément avec un arrosage superficiel - soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le ramener en B_5m Cette humidification est encore relativement facile à réaliser	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction en couche R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 0 0 1 1 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	**Solution 1 : humidification** W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
		–	évaporation importante	**Solution 1 : extraction frontale et arrosage** E : extraction frontale W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 3 0 0 1 2
				Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
B_5ts	**Sols normalement inutilisables en l'état** Mais leur humidification dans la masse peut être envisagée pour les ramener à l'état B_5s, voire B_5m				NON

Tableau : Utilisation des matériaux en remblai d'après GTR

ANNEXE E

ANNEXE E1

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

Tableau : Classes de qualité des sols

ANNEXE E2

E	**0.70m**	Pour les plateformes de classe de portance P1.
	0.55m	Pour les plateformes de classe de portance P2.
	0.45m	Pour les plateformes de classe de portance P3.
a	**0 m**	Pour les lignes des groupes UIC 1 et 2 (ou lignes à V>160 km/h quel que soit le groupe (UIC).
	-0.05 m	Pour les lignes de groups UIC (3,4).
	-0.10 m	Pour les lignes de groupe UIC (5, 6,7, 8,9) avec voyageurs.
	-0.15 m	Pour les lignes de groupe UIC (7, 8,9) sans voyageurs.
b	**0 m**	Pour les travers en bois de longueurs L= 2.6 m
	(2.50-L) /2 m	Pour les travers en béton de longueur L. (L et b en mettre si L>2.5, b peut être négatif)
c	**0 m**	Pour un dimensionnement normal (nouvelle ligne).
	-0.1 m	À titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que ‘’7, 8 et 9 sans voyageurs”.
d	**0 m**	Lorsque la charge nominale maximale d’essieu des véhicules remorques est inférieur ou égale à 20 tonne/essieu.
	0.05 m	Lorsque cette charge est de 22.5 tonne/essieu
	0.12 m	Lorsque cette charge est de 25 tonne/essieu.
f	**0**	Pour toutes les lignes parcourues à V ≤ 160 Km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse.
	0.05 m	Pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
	0,10 m	Pour les plates-formes de classe de portance P1 des lignes parcourues à grande vitesse.
g	**0.01m**	Géotextile lorsque la couche de forme est en sol QS1 ou QS2.
	0	(Pas de géotextile), lorsque la couche de forme est en sol QS3.

Tableau : Les paramètres de dimensionnement E, a, b, c, d, f et g

ANNEXE F

Slope stability analysis

Input data

Project

Date : 31/05/2024

Settings

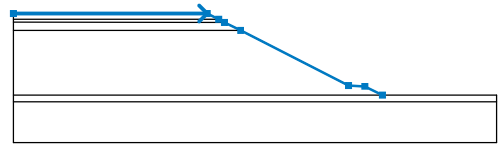
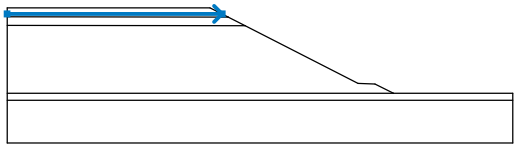
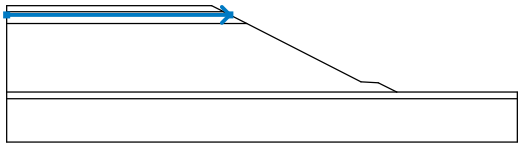
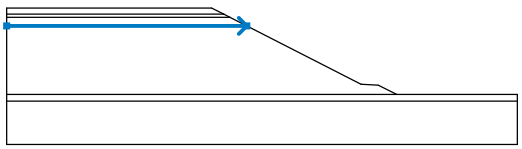
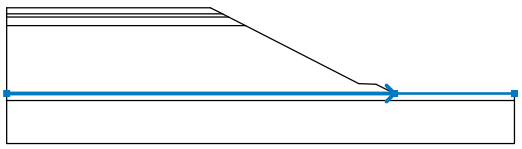
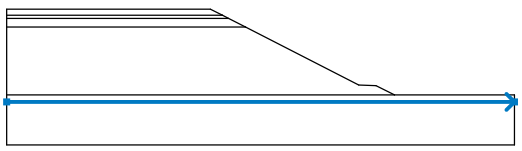
USA - Safety factor

Stability analysis

Earthquake analysis : Standard
Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,50	[–]

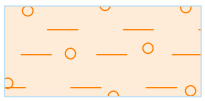
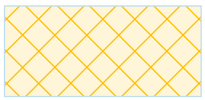
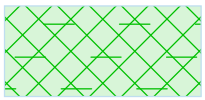
Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	17,78	23,60	17,78	25,01	17,07
		25,71	16,70	27,67	15,71	40,80	8,98
		42,80	8,88	44,93	7,81		
2		0,00	17,08	25,01	17,07		
3		0,00	16,72	25,71	16,70		
4		0,00	15,72	27,67	15,71		
5		0,00	7,81	44,93	7,81	58,83	7,81
6		0,00	7,01	58,83	7,01		

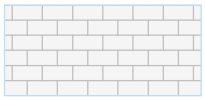
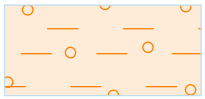
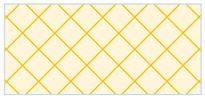
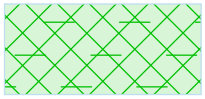
Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m^3]
1	Roche calcaire		28,61	200,00	23,00

ANNEXE F

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
2	TUF CALCAIRE		38,00	5,00	19,00
3	REMBLAI		35,00	5,00	19,00
4	COUCHE D'ASSISE		28,61	10,00	20,00
5	COUCHE DE FORME		30,00	5,00	20,00
6	REMBLAI QS3		30,00	5,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [–]
1	Roche calcaire		23,00		
2	Tuf Calcaire		19,00		
3	Remblais		19,00		
4	COUCHE D'ASSISE		20,00		
5	COUCHE DE FORME		20,00		
6	REMBLAI QS3		20,00		

Soil parameters

Roche calcaire

Unit weight : γ = 23,00 kN/m³
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 28,61 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 200,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 23,00 kN/m³

Tuf Calcaire

Unit weight : γ = 19,00 kN/m³
Stress-state : effective

ANNEXE F

Angle of internal friction : φ_{ef} = 38,00 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 5,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 19,00 kN/m3

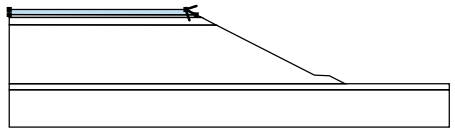
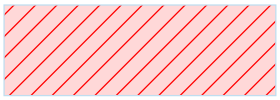
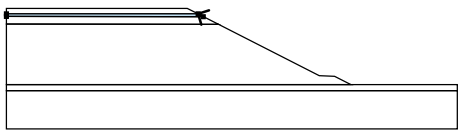
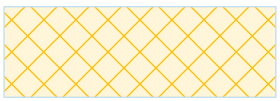
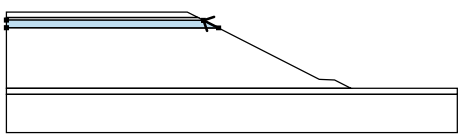
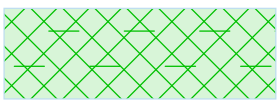
Remblais
Unit weight : γ = 19,00 kN/m3
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 35,00 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 5,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 19,00 kN/m3

COUCHE D'ASSISE
Unit weight : γ = 20,00 kN/m3
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 28,61 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 10,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 20,00 kN/m3

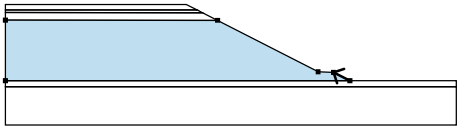
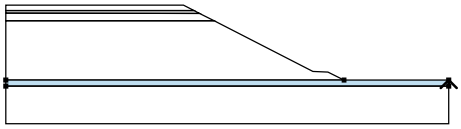
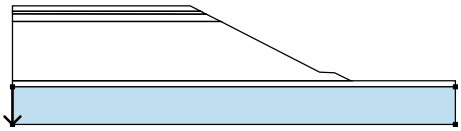
COUCHE DE FORME
Unit weight : γ = 20,00 kN/m3
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 30,00 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 5,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 20,00 kN/m3

REMBLAI QS3
Unit weight : γ = 20,00 kN/m3
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 30,00 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 5,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 20,00 kN/m3

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		25,01	17,07	23,60	17,78	COUCHE D'ASSISE
		0,00	17,78	0,00	17,08	
2		25,71	16,70	25,01	17,07	COUCHE DE FORME
		0,00	17,08	0,00	16,72	
3		27,67	15,71	25,71	16,70	REMBLAI QS3
		0,00	16,72	0,00	15,72	

ANNEXE F

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m] x	z	x	z	Assigned soil
4		44,93	7,81	42,80	8,88	Remblais
		40,80	8,98	27,67	15,71	
		0,00	15,72	0,00	7,81	
5		58,83	7,01	58,83	7,81	Tuf Calcaire
		44,93	7,81	0,00	7,81	
		0,00	7,01			
6		0,00	7,01	0,00	2,01	Roche calcaire
		58,83	2,01	58,83	7,01	

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude q, q_1, f, F	Magnitude q_2	Magnitude unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 1,65	l = 5,15		0,00	70,00		kN/m²
2	strip	permanent	on terrain	x = 6,80	l = 5,15		0,00	70,00		kN/m²
3	strip	permanent	on terrain	x = 11,95	l = 5,15		0,00	70,00		kN/m²
4	strip	permanent	on terrain	x = 17,10	l = 5,15		0,00	70,00		kN/m²

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	41,98	[m]	Angles :	α_1 =	-43,23	[°]
	z =	41,46	[m]		α_2 =	-2,09	[°]
Radius :	R =	32,50	[m]				
The slip surface after optimization.							

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a = 482,36 kN/m

Sum of passive forces : F_p = 818,13 kN/m

Sliding moment : M_a = 15676,84 kNm/m

Resisting moment : M_p = 26589,18 kNm/m

Factor of safety = 1,70 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE

ANNEXE F

Slope stability analysis

Input data

Project

Date : 31/05/2024

Settings

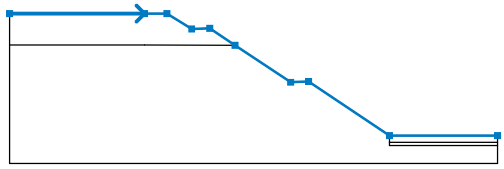
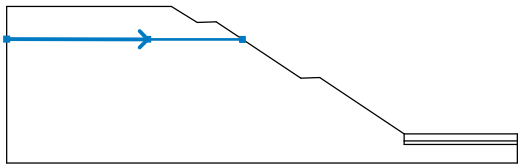
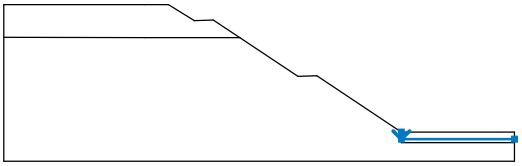
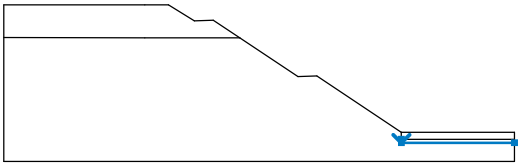
USA - Safety factor

Stability analysis

Earthquake analysis : Standard
Verification methodology : Safety factors (ASD)

Safety factors			
Permanent design situation			
Safety factor :	SF_S =	1,50	[–]

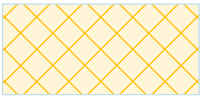
Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-15,00	13,55	0,00	13,55	2,50	13,55
		5,26	11,84	7,26	11,92	10,07	10,04
		16,26	5,92	18,26	6,00	27,26	0,00
		39,28	0,00				
2		-15,00	10,06	0,00	10,05	10,07	10,04
3		27,26	0,00	27,26	-0,75	39,28	-0,75
4		27,26	-0,75	27,26	-1,10	39,28	-1,10

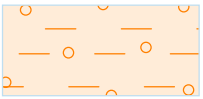
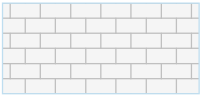
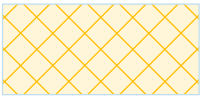
Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m^3]
1	TUF ARGILEUX		38,00	10,00	19,00
2	ROCHE CALCAIRE		28,61	200,00	23,00
3	COUCHE D'ASSISE		28,61	10,00	20,00

ANNEXE F

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m³]
4	COUCHE DE FORME		30,00	5,00	20,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [–]
1	TUF ARGILEUX		19,00		
2	ROCHE CALCAIRE		23,00		
3	COUCHE D'ASSISE		20,00		
4	COUCHE DE FORME		20,00		

Soil parameters

TUF ARGILEUX

Unit weight : γ = 19,00 kN/m³
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 38,00 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 10,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 19,00 kN/m³

ROCHE CALCAIRE

Unit weight : γ = 23,00 kN/m³
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 28,61 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 200,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 23,00 kN/m³

COUCHE D'ASSISE

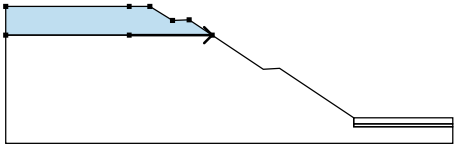
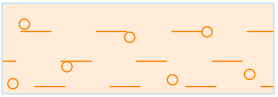
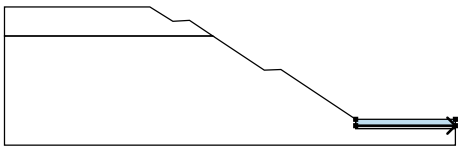
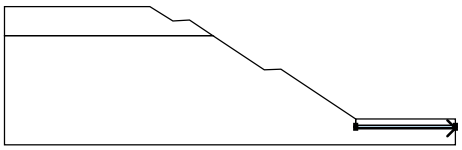
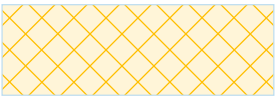
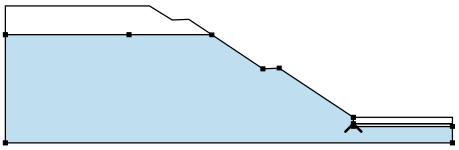
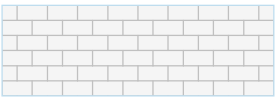
Unit weight : γ = 20,00 kN/m³
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 28,61 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 10,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 20,00 kN/m³

COUCHE DE FORME

Unit weight : γ = 20,00 kN/m³
Stress-state : effective
Angle of internal friction : φ_{ef} = 30,00 °
Cohesion of soil : c_{ef} = 5,00 kPa
Saturated unit weight : γ_{sat} = 20,00 kN/m³

ANNEXE F

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		0,00	10,05	10,07	10,04	TUF ARGILEUX
		7,26	11,92	5,26	11,84	
		2,50	13,55	0,00	13,55	
		-15,00	13,55	-15,00	10,06	
2		27,26	-0,75	39,28	-0,75	COUCHE D'ASSISE
		39,28	0,00	27,26	0,00	
3		27,26	-1,10	39,28	-1,10	COUCHE DE FORME
		39,28	-0,75	27,26	-0,75	
4		27,26	-1,10	27,26	-0,75	ROCHE CALCAIRE
		27,26	0,00	18,26	6,00	
		16,26	5,92	10,07	10,04	
		0,00	10,05	-15,00	10,06	
		-15,00	-3,10	39,28	-3,10	
		39,28	-1,10			

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude q, q_1, f, F	Magnitude q_2	Magnitude unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 32,20	l = 5,00		0,00	30,00		kN/m^2

Surcharges

No.	Name
1	voie

Water

Water type : No water

Tensile crack

Tensile crack not inputted.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Stage of construction 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	19,52	[m]	Angles :	α_1 =	-64,08	[°]
	z =	25,79	[m]		α_2 =	22,92	[°]
Radius :	R =	28,00	[m]				
The slip surface after optimization.							

ANNEXE F

Slope stability verification (Bishop)

Sum of active forces : F_a = 1784,46 kN/m

Sum of passive forces : F_p = 10076,84 kN/m

Sliding moment : M_a = 49964,74 kNm/m

Resisting moment : M_p = 282151,40 kNm/m

Factor of safety = 5,65 > 1,50

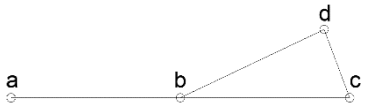
Slope stability ACCEPTABLE

ANNEXE G1

Les coordonnées des appareils de voie

Coordonnées d'Appareil de Voie

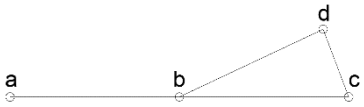
(1) ADV-60E1-500- 1:12-D



	X	Y
a	580909.5727	3502811.4883
b	580903.3536	3502791.6938
c	580897.1006	3502771.8146
d	580895.483	3502772.4303

Coordonnées d'Appareil de Voie

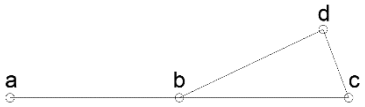
(2) ADV-60E1-500-1:12-D



	X	Y
a	580874.3781	3502716.0737
b	580866.3373	3502690.4504
c	580860.1411	3502670.6449
d	580861.8249	3502670.1877

Coordonnées d'Appareil de Voie

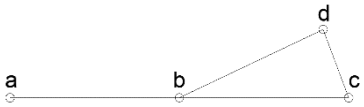
(3) ADV-60E1-300-1:9-D



	X	Y
a	580872.5934	3502710.3397
b	580866.3449	3502690.4825
c	580860.1137	3502670.6638
d	580861.7891	3502670.2124

Coordonnées d'Appareil de Voie

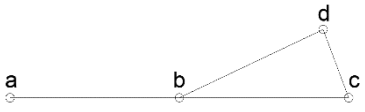
(4) ADV-60E1-300-1:9-D



	X	Y
a	580846.922	3502611.9098
b	580853.1681	3502631.787
c	580859.5387	3502651.6442
d	580857.7064	3502652.027

Coordonnées d'Appareil de Voie

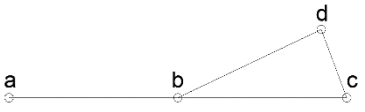
(5) ADV-60E1-500-1:12-D



	X	Y
a	580845.1272	3502606.1704
b	580840.151	3502590.333
c	580835.1762	3502574.4857
d	580836.9567	3502574.0333

Coordonnées d'Appareil de Voie

(6) ADV-60E1-300-1:9-D

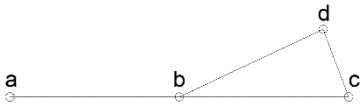


	X	Y
a	580824.6687	3502524.3029
b	580831.4525	3502546.0224
c	580836.419	3502561.7353
d	580834.6365	3502562.2318

ANNEXE G

Coordonnées d'Appareil de Voie

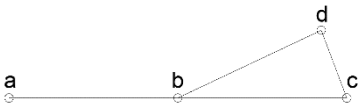
(7) ADV-60E1-500-1:12-D



	X	Y
a	580824.6651	3502524.3082
b	580819.6808	3502508.4494
c	580814.7165	3502492.6047
d	580816.492	3502492.1552

Coordonnées d'Appareil de Voie

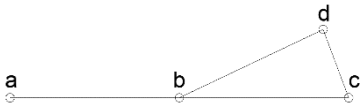
(8) ADV-60E1-300-1:9-D



	X	Y
a	580076.109	3500139.5548
b	580081.0951	3500155.4379
c	580086.0795	3500171.2468
d	580087.785	3500170.6087

Coordonnées d'Appareil de Voie

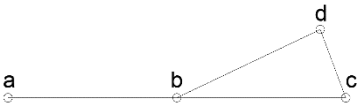
(9) ADV-60E1-300-1:9-D



	X	Y
a	580074.2295	3500133.8334
b	580069.3168	3500117.9988
c	580064.3299	3500102.0889
d	580062.6342	3500102.7586

Coordonnées d'Appareil de Voie

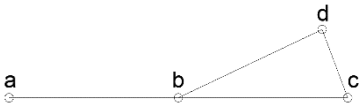
(10) ADV-60E1-300-1:9-D



	X	Y
a	580046.112	3500060.6737
b	580051.1021	3500076.5603
c	580056.0649	3500092.3925
d	580057.7759	3500091.749

Coordonnées d'Appareil de Voie

(11) ADV-60E1-300-1:9-D



	X	Y
a	580009.1202	3499959.5209
b	580015.3572	3499979.3909
c	580021.578	3499999.2024
d	580023.2041	3499998.6097